

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»**  
**Высшая школа технологии и энергетики**  
**Кафедра автоматизированного электропривода и электротехники**

# **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**

## **Выполнение контрольных работ**

Методические указания для студентов заочной формы обучения  
по направлению подготовки  
13.03.02 — Электроэнергетика и электротехника

Составители:  
И. Д. Зятиков  
А. В. Кулапина

Санкт-Петербург  
2024

Утверждено  
на заседании кафедры АЭиЭ  
14.05.2024 г., протокол № 6/23-24

Рецензент В. И. Королев

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Введение в специальность» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». В указаниях представлен порядок выполнения и оформления контрольных работ. Приведены задания для выполнения контрольных работ.

Методические указания предназначены для бакалавров заочной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве  
методических указаний

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 29.08.2024 г. Рег.№ 5050/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Требования к оформлению контрольной работы .....	4
ТЕМА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ (ТОЭ) .....	6
Задания для выполнения контрольной работы по теме 1 .....	12
ТЕМА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ .....	15
Задания для выполнения контрольной работы по теме 2 .....	18
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	20

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Цель дисциплины «Введение в специальность» – ознакомить студентов первого курса с содержанием выбранной ими специальности и в краткой форме осветить основные дисциплины, которые лежат в основе их будущей профессии.

Энергетика как сфера деятельности человеческого общества является глобальной системой, включающей как подсистему окружающей среды, так и различные отрасли народного хозяйства. Созданные человеком энергетические установки, имеющие огромные суммарные мощности, оказывают заметное влияние на естественные процессы, происходящие в биосфере. Электротехника в свою очередь является наукой об использовании электричества и магнетизма в человеческой деятельности. В настоящее время все бытовые приборы работают на электроэнергии, поэтому электротехника является одним из самых важных компонентов в жизни каждого человека. Центральным объектом внимания электротехники является ток и его характеристики. Помимо него электротехника рассматривает электромагнитные поля, их свойства и практическое применение в электромеханических системах и в энергетических устройствах. Подготовка бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» ориентирована на создание и применение аппаратных и программных средств управления процессами преобразования энергии.

В процессе обучения студентам читается целый ряд дисциплин, входящих в образовательную программу, в курсе «Введение в специальность» мы кратко осветим основные азы каждой из дисциплин.

### **Требования к оформлению контрольной работы**

Контрольная работа – это один из видов проверки знаний студента, который показывает, на каком уровне он владеет материалом по научной дисциплине, а также может объяснять и использовать полученные знания.

Контрольная работа оформляется в соответствии с государственными стандартами.

Контрольная работа состоит из следующих частей:

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- основная часть работы;
- заключение;
- список литературы.

На титульном листе указываются: название учебного заведения; тема работы; ФИО студента и проверяющего; год и место выполнения.

Содержание работы помещают после титульного листа и задания контрольной работы. В содержании указывается перечень всех разделов работы.

Контрольная работа оформляется с использованием компьютера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 через 1,5 интервала. Цвет шрифта – черный, шрифт – Times New Roman, размер 14.

Текст контрольной работы следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, нижнее – 20 мм, верхнее – 20 мм. Основной текст работы выравнивается «по ширине». Отступ абзаца – 12,5 мм от левой границы текста.

Написание формул осуществляется только с помощью редактора формул (встроенное средство MS Word).

Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в работе. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если иллюстрация в работе одна, то она все равно обозначается с присвоением ей номера, например, рисунок 1. В конце наименования иллюстрации точку не ставят (пример, рисунок 6).

Все страницы работы нумеруются арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту, включая приложения. Номер страницы проставляется по середине нижнего поля листа. Титульный лист включается в общую нумерацию страниц, но номер на нем не проставляется.

Список литературы является составной частью работы и отражает степень изученности рассматриваемой проблемы. При этом в список литературы включаются, как правило, не только те источники, на которые в работе имеются библиографические ссылки, но и те, которые были изучены в ходе исследования темы.

## ТЕМА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ (ТОЭ)

Предмет ТОЭ изучает количественные и качественные стороны электромагнитных процессов в электрических цепях и электромагнитном поле. В теории электрических цепей рассматривают процессы в определенной области пространства с помощью алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений.

При этом оперируют интегральными величинами, дающими общее понятие об исследуемой области. В теории электромагнитного поля используют дифференциальные уравнения в частных производных, которые позволяют характеризовать любую точку пространства.

### Основные понятия

Электрической цепью называется совокупность устройств, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе, токе и напряжении.

Электрическая схема замещения – это графическое изображение электрической цепи идеализированными элементами, которые учитывают явления, происходящие в реальной цепи.

Постоянным током называют ток, неизменный во времени по направлению. Постоянный ток обозначают буквой  $I$ , постоянное напряжение – буквой  $U$ , ЭДС источника – буквой  $E$ . При постоянных токах и напряжениях магнитные и электрические поля не изменяются во времени. Поэтому цепи постоянного тока состоят из источников энергии и резистивных элементов (сопротивлений).

Генерирующие устройства (источники энергии) преобразуют различные виды энергии (механическую, химическую, тепловую, световую) в электрическую. Роль источника энергии заключается в поддержании разности потенциалов. Для этого нужны силы неэлектрического происхождения (сторонние силы), совершающие работу против сил электрического поля. В электрических цепях различают два вида идеализированных источников энергии: идеальный источник ЭДС и идеальный источник тока.

У идеального источника ЭДС сопротивление бесконечно мало. Вследствие этого напряжение на зажимах источника при изменении нагрузки не меняется, меняется ток. У идеального источника тока сопротивление бесконечно велико. Поэтому при изменении нагрузки ток источника тока не меняется, меняется напряжение на его зажимах. Величины внутренних сопротивлений учтены в условных обозначениях: короткая линия в кружке идеального источника ЭДС и разрыв – у идеального источника тока. Идеальных устройств в реальной жизни нет. Реальный источник ЭДС обладает небольшим сопротивлением. Реальный источник тока обладает большим, но

конечным сопротивлением. Приемные устройства образуют внешнюю часть схемы.

### Электрические цепи однофазного синусоидального тока

Токи, электродвижущие силы (ЭДС) и напряжения, изменяющиеся с течением времени, называются переменными. В промышленности и в быту наибольшее применение получили переменные токи (ЭДС и напряжения), изменяющиеся по синусоидальному закону. Указанные электрические величины являются периодическими функциями времени.

Значения тока, напряжения, ЭДС в любой данный момент времени называют мгновенным и обозначают строчными буквами  $i$ ,  $u$ ,  $e$  соответственно. Для одного из двух возможных направлений тока в схеме мгновенное значение тока  $i$  считают положительным, а для другого – отрицательным. Направление тока, для которого его мгновенные значения положительны, называют положительным направлением, оно указывается в схеме стрелкой. Аналогично пользуются понятием о положительном направлении напряжения  $u$  и ЭДС  $e$ .

Мгновенные значения синусоидальных ЭДС, напряжения и тока определяются следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} e &= E_m \sin(\omega t + \psi_e); \\ u &= U_m \sin(\omega t + \psi_u); \\ i &= I_m \sin(\omega t + \psi_i) \end{aligned} \right\}, \quad (1.1)$$

где  $E_m$ ,  $U_m$ ,  $I_m$  – максимальное значение или амплитуда ЭДС, напряжения, тока соответственно;

$\omega t + \psi_e$ ,  $\omega t + \psi_u$ ,  $\omega t + \psi_i$  – аргументы соответствующих синусоидальных функций (фазы ЭДС, напряжения, тока);

$\omega$  – угловая частота, имеющая размерность рад/с, характеризует скорость изменения соответствующей фазы;

$t$  – текущее время, с;

$\psi_e$ ,  $\psi_u$ ,  $\psi_i$  – начальные фазы ЭДС, напряжения, тока, которые равны фазам соответствующих синусоидальных функций для момента времени  $t = 0$ .

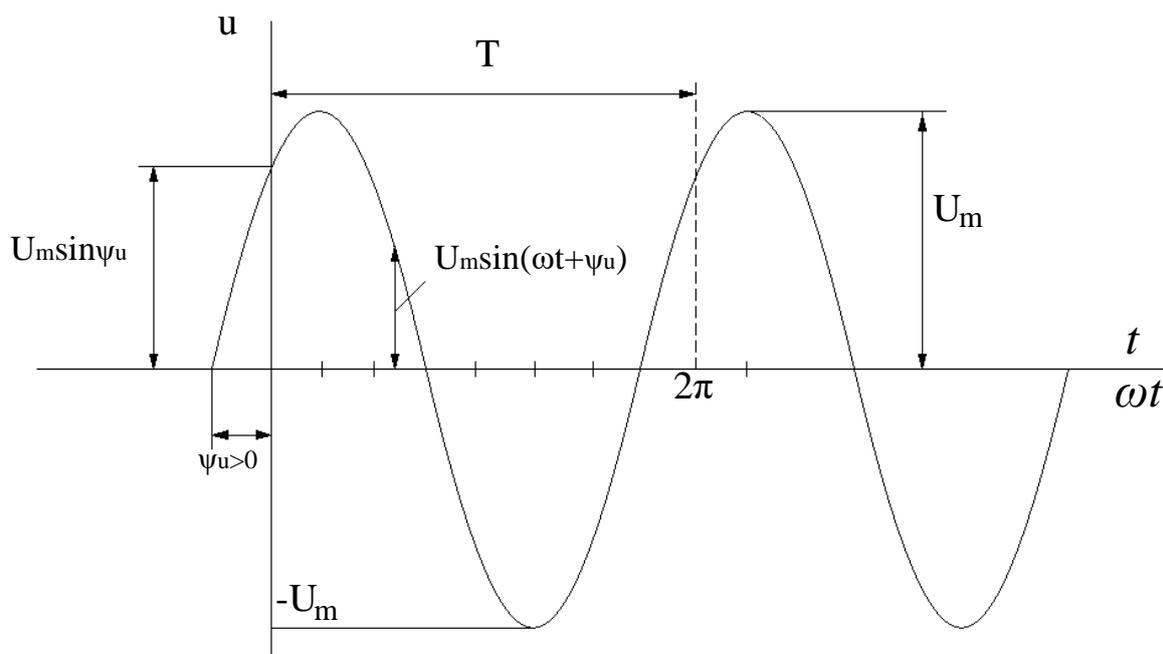


Рисунок 1.1 – График синусоидального напряжения

На рис. 1.1 изображена синусоидальная функция напряжения  $u$ , которая смещена влево от начала координат. Начальная фаза  $\psi_u > 0$  отсчитывается вправо к началу координат. За аргумент функции может быть принято время  $t$  или соответственно угол  $\omega t$ . Аргументу  $t$  соответствует период  $T$ , а аргументу  $\omega t$  – период  $\omega T = 2\pi$ , откуда угловая частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad (1.2)$$

где  $f = 1/T$  – частота, измеряется в герцах (Гц).

Таким образом, любая синусоидально изменяющаяся функция определяется тремя величинами: амплитудой, угловой частотой и начальной фазой.

Важным параметром при анализе цепей синусоидального тока является угол сдвига фаз между напряжением и током на участке цепи. Угол сдвига фаз обозначается буквой  $\varphi$  и определяется разностью начальных фаз напряжения и тока:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (1.3)$$

Угол  $\varphi$  – величина алгебраическая. Если  $\varphi > 0$ , то напряжение опережает ток по фазе; если же  $\varphi < 0$ , напряжение отстает по фазе от тока или ток опережает напряжение. Если  $\varphi = 0$ , то напряжение и ток совпадают по фазе.

### Геометрические элементы схем замещения

Ветвь – часть электрической схемы, состоящая из одного или нескольких последовательно соединенных источников и приемников энергии, ток в которых один и тот же. Можно сформулировать короче. Ветвь – участок схемы

с одним током. Ветви могут быть активными, содержащими источники энергии, и пассивными, состоящими из одних приемников. Узел – это точка в схеме, где сходятся не менее трех ветвей. Тогда ветвь – участок схемы от одного узла до другого узла. Контур – любой замкнутый по ветвям схемы путь. Схема может быть одноконтурной (рис. 1.2) и многоконтурной (рис. 1.3).

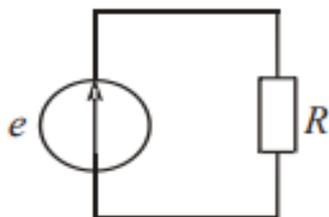


Рисунок 1.2 – Одноконтурная схема

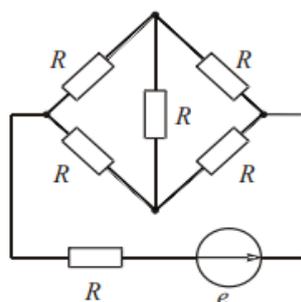


Рисунок 1.3 – Многоконтурная схема

### Закон Ома

Под законом Ома понимают все соотношения, связывающие между собой напряжение и ток. По закону Ома напряжение на резистивном элементе пропорционально току в нем. Закон Ома можно сформулировать и относительно тока:

$$I = GU, \quad (1.4)$$

где  $G$  – проводимость, величина, обратная сопротивлению ( $G = 1 / R$ ).

Проводимость измеряют в сименсах (См). Геометрической интерпретацией закона Ома является вольт-амперная характеристика (ВАХ).

## **Закон Ома для участка цепи гласит: ток прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению**

Если увеличить в несколько раз напряжение, действующее в электрической цепи, то ток в этой цепи увеличится во столько же раз. А если увеличить в несколько раз сопротивление цепи, то ток во столько же раз уменьшится. Подобно этому водяной поток в трубе тем больше, чем сильнее давление и чем меньше сопротивление, которое оказывает труба движению воды.

### **Закона Ома для полной цепи**

При проведении реальных исследований электрических характеристик цепей с постоянным током необходимо учитывать сопротивление самого источника тока. Таким образом в физике осуществляется переход от идеального источника тока к реальному источнику тока, у которого есть свое сопротивление.

Формула закона Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (1.5)$$

где  $R$  – внешнее сопротивление [Ом];

$r$  – сопротивление источника ЭДС (внутреннее) [Ом];

$I$  – сила тока [А];

$\varepsilon$  – ЭДС источника тока [В].

### **Первый закон Кирхгофа**

Первый закон Кирхгофа сформулирован для узла. Узел – это точка в схеме, где сходятся не менее трех ветвей. При использовании ЭВМ для ввода исходных данных узлами выделяют каждый элемент схемы замещения. Эти узлы называют ложными или устранимыми. В дальнейшем речь будет идти о неустраиваемых узлах. Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{j=1}^n I_j = 0. \quad (1.6)$$

**Сумма всех токов, втекающих в узел, равна сумме всех токов, вытекающих из узла.**

Первый закон Кирхгофа на примере рис. 1.4.

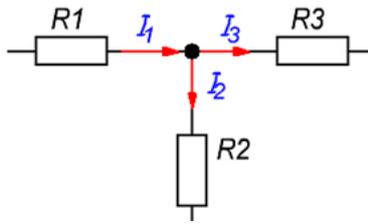


Рисунок 1.4 – Узел электрической цепи

Здесь ток  $I_1$  – ток, втекающий в узел, а токи  $I_2$  и  $I_3$  – токи, вытекающие из узла. Тогда, применяя формулировку № 1, можно записать:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

Чтобы подтвердить справедливость формулировки № 2, перенесем токи  $I_2$  и  $I_3$  в левую часть выражения (1), тем самым получим:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (2)$$

Знаки «минус» в выражении (2) и означают, что токи вытекают из узла.

Знаки для втекающих и вытекающих токов можно брать произвольно, однако в основном всегда втекающие токи берут со знаком «+», а вытекающие со знаком «-» (например, как получилось в выражении (2)).

## Второй закон Кирхгофа

Второй закон Кирхгофа относится к контуру. Алгебраическая сумма напряжений на приемниках в любом контуре равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом же контуре:

$$\sum_{k=1}^m U_k = \sum_{i=1}^p E_i. \quad (1.7)$$

С учетом закона Ома

$$\sum_{k=1}^m R_k I_k = \sum_{i=1}^p E_i. \quad (1.8)$$

Рассмотрим схему на рис. 1.5, состоящую из одного контура.

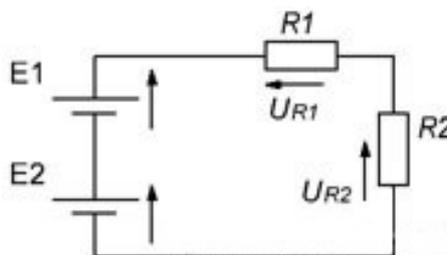


Рисунок 1.5

Здесь полная ЭДС  $E_1 + E_2$ , действующая внутри контура, равна сумме падений напряжения на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ :

$$E_1 + E_2 = U_{R1} + U_{R2}.$$

Если изменить полярность  $E_2$  на противоположную (рис. 1.6), то она будет иметь то же направление (против часовой стрелки), что и  $U_{R1}$  и  $U_{R2}$ .

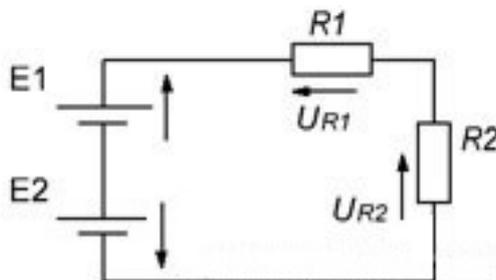


Рисунок 1.6

$$E_1 - E_2 = U_{R1} + U_{R2} \text{ или } E_1 = E_2 + U_{R1} + U_{R2}.$$

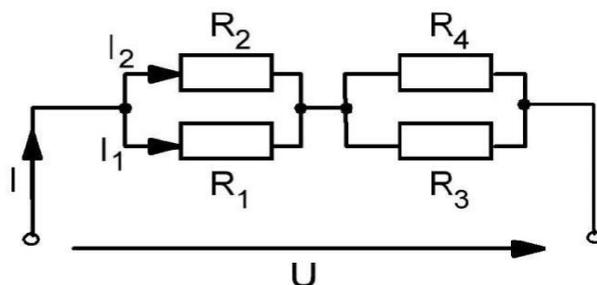
Правило знаков: со знаком плюс записывают напряжения и ЭДС, направления которых совпадают с выбранным направлением обхода контура.

## Задания для выполнения контрольной работы по теме 1

### Задача 1

Для цепи постоянного тока определить общий ток  $I$  и токи  $I_1$  и  $I_2$ . К цепи подведено напряжение  $U = \dots \text{В}$ ; сопротивление резисторов  $R_1 = \dots \text{кОм}$ ,  $R_2 = \dots \text{кОм}$ ,  $R_3 = \dots \text{кОм}$ ,  $R_4 = \dots \text{кОм}$ .

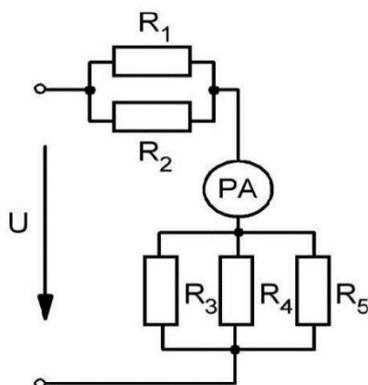
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U$	240	120	100	140	150	220	260	240	130	180
$R_1$	20	10	3	4	20	12	20	15	20	30
$R_2$	15	12	3	16	24	10	30	10	12	15
$R_3$	10	8	6	20	12	15	15	10	5	6
$R_4$	5	6	9	8	10	5	5	5	12	10



## Задача 2

Для электрической цепи постоянного тока определить показания амперметра РА, если известны следующие параметры цепи:  $R_1 = \dots \text{ кОм}$ ,  $R_2 = \dots \text{ кОм}$ ,  $R_3 = \dots \text{ кОм}$ ,  $R_4 = \dots \text{ кОм}$ ,  $R_5 = \dots \text{ кОм}$ ,  $U = \dots \text{ В}$ .

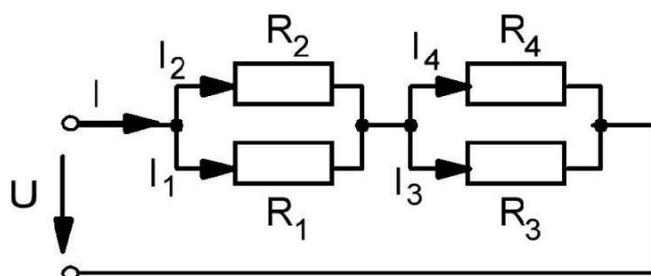
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>R1</b>	80	60	15	30	20	10	6	9	20	15
<b>R2</b>	80	20	3	30	30	15	12	18	30	30
<b>R3</b>	20	40	12	20	25	15	20	8	45	20
<b>R4</b>	60	80	6	15	50	30	10	8	15	20
<b>R5</b>	30	40	4	20	10	10	20	16	20	15
<b>U</b>	150	124	90	105	146	110	108	92	96	80



## Задача 3

На рисунке представлена цепь постоянного тока. К цепи подведено напряжение  $U = \dots \text{ В}$ . параметры цепи известны:  $R_1 = \dots \text{ Ом}$ ,  $R_2 = \dots \text{ Ом}$ ,  $R_3 = \dots \text{ Ом}$ ,  $R_4 = \dots \text{ Ом}$ . Необходимо определить токи в ветвях  $I_1, I_2, I_3, I_4$  и общий ток  $I$ .

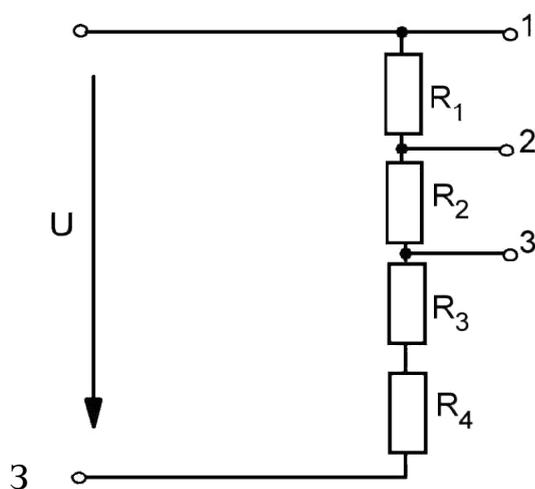
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>R1</b>	20	15	9	12	10	10	20	15	20	5
<b>R2</b>	30	30	6	60	15	30	30	45	30	15
<b>R3</b>	40	20	15	12	6	20	15	20	10	15
<b>R4</b>	60	30	30	24	3	30	30	12	40	30
<b>U</b>	180	220	136	108	120	195	132	150	160	165



### Задача 4

На рисунке представлена схема делителя. Определить: напряжение между зажимами **1-2** и **2-3**, если на вход делителя подается напряжение  $U = \dots \text{ В}$ . Сопротивления резисторов:  $R_1 = \dots \text{ Ом}$ ,  $R_2 = \dots \text{ Ом}$ ,  $R_3 = \dots \text{ кОм}$ ,  $R_4 = \dots \text{ кОм}$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>U</b>	100	120	140	100	150	100	110	120	130	120
<b>R1</b>	100	200	500	200	100	400	800	300	500	200
<b>R2</b>	900	800	500	800	900	600	200	700	500	800
<b>R3</b>	9	19	12	30	40	35	20	15	25	10
<b>R4</b>	90	80	87	69	59	64	79	84	74	89



## ТЕМА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

### Устройство электрической машины постоянного тока

Электрическая машина постоянного тока состоит из двух основных частей: *неподвижной* части (*индуктора*) и *вращающейся* части (*якоря* с барабанной обмоткой). На рис. 2.1 изображена конструктивная схема машины постоянного тока:

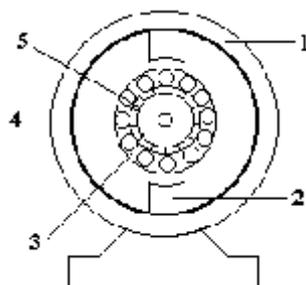


Рисунок 2.1 – Конструктивная схема машины постоянного тока

Индуктор состоит из станины 1 цилиндрической формы, изготовленной из ферромагнитного материала, и полюсов с обмоткой возбуждения 2, закрепленных на станине. Обмотка возбуждения создает основной магнитный поток. Магнитный поток может создаваться постоянными магнитами, укрепленными на станине. Якорь состоит из следующих элементов: сердечника 3, обмотки 4, уложенной в пазы сердечника, коллектора 5. Сердечник якоря для уменьшения потерь на вихревые точки набирается из изолированных друг от друга листов электротехнической стали.

### Принцип действия машины постоянного тока

Рассмотрим работу машины постоянного тока на модели рис. 2.2.

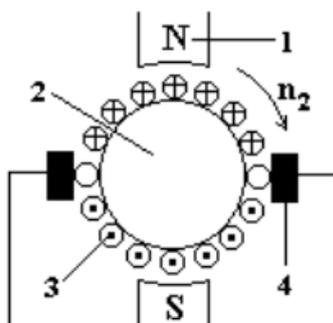


Рисунок 2.2 – Модель машины постоянного тока.

Принцип действия:

1 – полюсы индуктора; 2 – якорь; 3 – проводники; 4 – контактные щетки

Проводники якорной обмотки расположены на поверхности якоря. Очистим внешние поверхности проводников от изоляции и наложим на проводники неподвижные контактные щетки.

Контактные щетки размещены на линии геометрической нейтрали, проведенной посередине между полюсами.

Приведем якорь машины во вращение в направлении, указанном стрелкой. Определим направление ЭДС, индуцированных в проводниках якорной обмотки по правилу правой руки.

На рис. 2.2 крестиком обозначены ЭДС, направленные от нас, точками – ЭДС, направленные к нам. Соединим проводники между собой так, чтобы ЭДС в них складывались. Для этого соединяют последовательно конец проводника, расположенного в зоне одного полюса с концом проводника, расположенного в зоне полюса противоположной полярности (рис. 2.3).

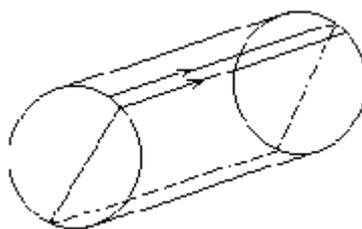


Рисунок 2.3 – Соединение проводников между собой

Два проводника, соединенные последовательно, образуют один виток или одну катушку. ЭДС проводников, расположенных в зоне одного полюса, различны по величине. Наибольшая ЭДС индуцируется в проводнике, расположенном под серединой полюса, ЭДС, равная нулю, – в проводнике, расположенном на линии геометрической нейтрали.

Если соединить все проводники обмотки по определенному правилу последовательно, то результирующая ЭДС якорной обмотки равна нулю, ток в обмотке отсутствует. Контактные щетки делят якорную обмотку на две параллельные ветви. В верхней параллельной ветви индуцируется ЭДС одного направления, в нижней параллельной ветви – противоположного направления. ЭДС, снимаемая контактными щетками, равна сумме электродвижущих сил проводников, расположенных между щетками.

На рис. 2.4 представлена схема замещения якорной обмотки.

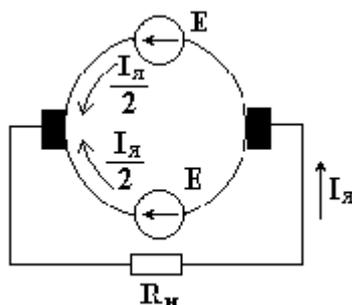


Рисунок 2.4 – Схема замещения якорной обмотки

В параллельных ветвях действуют одинаковые ЭДС, направленные встречно друг другу. При подключении к якорной обмотке сопротивления в параллельных ветвях возникают одинаковые токи  $I_{я}/2$ , через сопротивление  $R_{я}$  протекает ток  $I_{я}$ . ЭДС якорной обмотки пропорциональна частоте вращения якоря  $n_2$  и магнитному потоку индуктора  $\Phi$ .

$$E = C_e \times n_2 \times \Phi, \quad (2.1)$$

где  $C_e$  – константа.

В реальных электрических машинах постоянного тока используется специальное контактное устройство – коллектор. Коллектор устанавливается на одном валу с сердечником якоря и состоит из отдельных изолированных друг от друга и от вала якоря медных пластин. Каждая из пластин соединена с одним или несколькими проводниками якорной обмотки. На коллектор накладываются неподвижные контактные щетки. С помощью контактных щеток вращающаяся якорная обмотка соединяется с сетью постоянного тока или с нагрузкой.

### Пример расчета параметров двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

Двигатель параллельного возбуждения, присоединенный к сети с напряжением  $U_H = 220$  В, потребляет при номинальной нагрузке ток  $I_H = 15$  А, а при холостом ходе –  $I_0 = 1,8$  А. Сопротивление обмотки якоря  $R_{я} = 0,82$  Ом, а сопротивление обмотки возбуждения  $R_{в} = 200$  Ом, номинальная скорость вращения  $n_H = 1350$  об/мин.

Определить номинальную мощность на валу двигателя, номинальный КПД, номинальный момент, пусковой ток  $I_{п}$  при пуске двигателя без реостата, сопротивление пускового реостата  $R_p$  при условии  $I_{пр} = 2,5 I_H$ , пусковой момент при пуске с реостатом. При расчетах принять, что магнитные и механические потери не зависят от нагрузки.

Номинальная мощность на валу двигателя:

$$R_{2H} = R_{1H} - \sum \Delta P,$$

где  $\sum \Delta P$  – потери в двигателе;

$R_{1H}$  – потребляемая мощность;

$$R_{1H} = U_H \cdot I_H = 220 \cdot 15 = 3300 \text{ Вт} = 3,3 \text{ кВт}.$$

Для определения потерь в цепи якоря и цепи возбуждения надо знать ток якоря  $I_{яH}$  и ток возбуждения  $I_{в}$ :

$$I_{в} = U_H / R_{в} = 220/200 = 1,1 \text{ А},$$

$$I_{яH} = I_H - I_{в} = 15,0 - 1,1 = 13,9 \text{ А}.$$

Потери в обмотке якоря в номинальном режиме и в цепи возбуждения:

$$\Delta P_{яH} = I_{яH}^2 R_{я} = 13,9^2 \cdot 0,82 = 158,43 \text{ Вт},$$

$$\Delta P_{в} = I_{в}^2 R_{в} = 1,1^2 \cdot 200 = 242 \text{ Вт}.$$

Магнитные и механические потери:

$$\Delta P_M = P_0 - \Delta P_{я0} - \Delta P_{в},$$

где  $P_0 = U_H \cdot I_0 = 220 \cdot 1,5 = 330$  Вт;

$\Delta P_{я0}$  – потери в цепи якоря при холостом ходе:

$$\Delta P_{\text{я0}} = (I_0 - I_{\text{в}})^2 \cdot R_{\text{ян}} = (1,5 - 1,1)^2 \cdot 0,82 = 0,13 \text{ Вт},$$

$$\Delta P_{\text{м}} = 330 - 0,13 - 242 = 87,87 \text{ Вт}.$$

Суммарные потери в двигателе в номинальном режиме:

$$\sum \Delta P_{\text{н}} = 158,43 + 242 + 87,87 = 488,3 \text{ Вт}.$$

Номинальная мощность на валу двигателя:

$$P_{\text{н}} = 3300 - 488,3 = 2811,7 \text{ Вт} \approx 2,8 \text{ кВт}.$$

Номинальный КПД:

$$\eta_{\text{н}} = P_{2\text{н}} / P_{1\text{н}} = 2,8 / 3,3 = 0,844.$$

Номинальный вращающий момент:

$$M_{\text{н}} = 9550 \cdot P_{2\text{н}} / n_{\text{н}} = 9550 \cdot (2,8 / 1350) = 19,8 \text{ Нм}.$$

Пусковой ток двигателя при пуске без реостата:

$$I_{\text{п}} = U_{\text{н}} / R = 220 / 0,82 = 258,3 \text{ А}.$$

Сопротивление пускового реостата определяется из равенства:

$$I_{\text{пр}} = 2,5 \cdot I_{\text{ян}} = U_{\text{н}} / R_{\text{я}} + R_{\text{р}}, \text{ из чего}$$

$$R_{\text{р}} = U_{\text{н}} / 2,5 I_{\text{ян}} - R_{\text{я}} = \frac{220}{(2,5 \cdot 13,9)} - 0,82 = 5,51 \text{ Ом}.$$

Вращающий момент двигателя определяется уравнением:

$$M = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}},$$

где  $C_{\text{м}}$  – конструктивная постоянная;

$\Phi$  – магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения.

Полагая магнитный поток неизменным, пусковой момент двигателя при включении в цепь якоря дополнительного сопротивления определяется по формуле:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}} / I_{\text{ян}} = 19,8 \cdot 2,5 = 49,5 \text{ Нм}.$$

## Задания для выполнения контрольной работы по теме 2

Двигатель параллельного возбуждения, присоединенный к сети с напряжением  $U_{\text{н}}$ , потребляет при номинальной нагрузке ток  $I_{\text{н}}$ , а при холостом ходе –  $I_0$ . Сопротивление обмотки якоря  $R_{\text{я}}$ , сопротивление обмотки возбуждения  $R_{\text{в}}$ , номинальная скорость вращения  $n_{\text{н}}$ .

Определить:

- номинальную мощность на валу двигателя;
- номинальный КПД;
- номинальный вращающий момент;
- пусковой ток при пуске двигателя без пускового реостата;
- сопротивление реостата  $I_{\text{п}} = 2,5 I_{\text{н}}$  и пусковой момент при пуске двигателя с реостатом.

При решении принять, что механические и магнитные потери не зависят от нагрузки и скорости вращения. Данные двигателя приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Данные двигателя

Вариант	$U_H$	$l_H$	$l_o$	$R_я$	$R_B$	$n_H$
	В	А	А	Ом	Ом	об/мин
0	220	15	1,6	1,2	180	1025
1	110	100	9,5	0,11	50	1000
2	220	163	1,78	1,16	75	1025
3	220	19,8	2,0	1 5	150	960
4	220	32	2,8	0,94	120	1600
5	220	40	4,2	0,52	190	1420
6	220	32	3,5	0,62	200	1350
7	220	60	6,8	0,40	130	935
8	220	50	5,7	0,40	150	1340
9	220	102	9,5	0,12	110	750

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутырин, П. А. Основы электротехники: учебник для студентов средних и высших учебных заведений профессионального образования по направлениям электротехники и электроэнергетики / П. А. Бутырин, О. В. Толчеев, Ф. Н. Шакирзянов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 360 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/33220> (дата обращения: 13.04.2024). – Текст: электронный.
2. Усольцев, А. А. Общая электротехника: учебное пособие / А. А. Усольцев. – 2-е изд., перераб и доп. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 305 с. – Текст: непосредственный.