

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В. И. Гнатюк

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям
для студентов направления подготовки бакалавров
13.03.01 Теплоэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.3 (076)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

И. Е. Кажекин

Гнатюк, В. И.

Электротехника и электроника: учеб.-методич. пособие по практическим занятиям для студ. бакалавриата по направлению подгот. 13.03.01 Теплоэнергетика и электротехника / **В. И. Гнатюк.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 31 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по практическим занятиям по дисциплине «Электротехника и электроника» для обучающихся по направлению подготовки бакалавров 13.03.01 Теплоэнергетика и электротехника. В учебном пособии приведена тематика практических занятий, даны общие методические рекомендации по решению задач, типовые задачи и примеры их решения.

Список лит. – 3 наименования

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Электротехника и электроника» рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 25.09.2023 г., протокол № 11

УДК 621.3 (076)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2023 г.
© Гнатюк В. И., 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕМАТИКА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.	
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ	6
<i>Тема 1. Основные методы расчета электрических цепей</i>	<i>6</i>
<i>Тема 2. Расчет однофазных цепей синусоидального тока</i>	<i>8</i>
<i>Тема 3. Расчет трехфазных цепей</i>	<i>12</i>
<i>Тема 4. Электрические измерения</i>	<i>15</i>
<i>Тема 5. Трансформаторы</i>	<i>17</i>
<i>Тема 6. Асинхронные электродвигатели</i>	<i>21</i>
<i>Тема 7. Электрические машины постоянного тока</i>	<i>25</i>
2. ОПИСАНИЕ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ	28
ЛИТЕРАТУРА	29

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Электротехника и электроника» является формирование начальных знаний и навыков по анализу линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного токов в установившемся режиме, магнитных цепей постоянного и переменного токов, электротехнических устройств.

Основные задачи дисциплины состоят в изучении основных законов электротехники и базовых расчетов электрических цепей, понимании принципов работы основных электротехнического оборудования.

Целью практических занятий по дисциплины «Электротехника и электроника» является закрепление теоретических знаний по дисциплине путем решения задач.

Задачи практических занятий:

- актуализация теоретических положений электротехники;
- освоение основных расчетных методов;
- выработка практических навыков расчетной работы;
- развитие способностей логического анализа и творческих способностей будущих специалистов в области электроэнергетики.

После выполнения заданий практикума обучаемые должны:

Знать:

- основные законы электротехники для электрических и магнитных цепей;
- основные методы анализа электрических и магнитных цепей в установившемся и переходном режимах;
- устройство, принцип действия и характеристики электрических машин.

Уметь:

- качественно и количественно исследовать электрические и магнитные цепи;

– использовать полученные при изучении дисциплины знания для успешного и мотивированного освоения образовательной программы высшего образования и в последующей работе.

Владеть:

– навыками расчета линейных электрических цепей постоянного и переменного токов, трехфазных цепей, четырехполюсников, фильтров, нелинейных электрических цепей постоянного и переменного токов, переходных процессов.

Развитие практических навыков при изучении основ электротехники и электроники имеет очень большое значение. Понимание теоретического материала и умение применить его для решения конкретных технических вопросов возможно только в результате решения задач.

На практических занятиях рассматриваются типовые виды электрооборудования и разбираются типовые задачи, с которыми может столкнуться в профессиональной деятельности специалист в области техносферной безопасности. Кроме того, процесс решения задач развивает навык логического мышления, воспитывает умение выстраивать путь решения в виде последовательности шагов, дает опыт работы с уравнениями и числами.

При подготовке к практическому занятию, а также перед тем, как приступить к самостоятельному выполнению заданий, необходимо повторить теоретический материал по изданиям [1, 2].

При решении задач рекомендуется придерживаться следующих правил:

1) Перед началом решения необходимо прочитать задание полностью, убедиться, что понятны исходные данные и то, что следует найти.

2) Схема электрической цепи, приведенная в задании, переносится в рабочую тетрадь. При этом ее следует дополнить обозначениями токов и напряжений с указанием их направлений.

3) Если в процессе решения выполняется упрощение электрической цепи, или составляется эквивалентная схема замещения, все эти схемы следует приводить в решении.

4) Полученный результат расчета должен быть проверен. Как правило, существует метод проверки, не требующий дополнительных сложных расчетов. В зависимости от характера задачи для проверки могут использоваться: выполнение законов Кирхгофа, график, векторная диаграмма, баланс мощности, соответствие полученного результата исходным данным или начальным условиям.

1. ТЕМАТИКА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ

Тема 1. Основные методы расчета электрических цепей

Цель занятия: освоение практических методов расчета электрических цепей.

Методические рекомендации по выполнению заданий:

До начала решения необходимо задаться положительными направлениями токов. В принципе это можно сделать произвольно. Однако необходимо понимать, что как правило во внешней цепи источника ток протекает от положительного вывода к отрицательному. В этом случае источник отдает энергию во внешнюю цепь. Если в ходе расчета будет установлено, что во внешней цепи какого-либо источника ток протекает от отрицательного вывода к положительному, то в этом случае источник поглощает энергию от внешней цепи.

Целесообразно вначале решить задачу методом контурных токов. Полученные результаты могут быть использованы для проверки правильности решения задачи другими методами.

При решении задачи методом наложения определяются токи, протекающие при действии в цепи только одного источника (фиктивные токи). Расчет повторяется столько раз, сколько источников в цепи. Каждый действительный ток определяется как алгебраическая сумма фиктивных токов.

Для расчета тока в заданной ветви методом эквивалентного генератора следует представить схему цепи без ветви, в которой определяется ток. После этого следует определить токи, протекающие в оставшихся ветвях схемы и разность потенциалов эквивалентного двухполюсника U_{xx} . Исключив источники ЭДС, определяют внутреннее сопротивление эквивалентного генератора R_0 . После этого вычисляют ток в заданной ветви.

Пример задания:

На рисунке 1 приведена схема электрической цепи. В таблице заданы величины электродвижущих сил (ЭДС) источников электрической энергии и сопротивления резисторов.

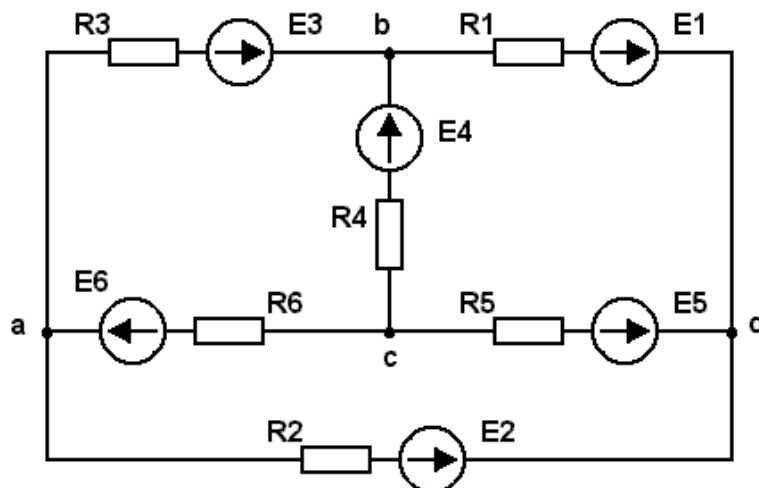


Рисунок 1

Необходимо выполнить следующее:

1. Определить токи во всех ветвях электрической цепи методами контурных токов и наложения.
2. Не производя вычислений, составить уравнения для расчета цепи по законам Кирхгофа. В одно из уравнений подставить полученные при решении в п. 1 значения токов и проверить правильность решения.
3. Определить ток в ветви, указанной в задании, воспользовавшись методом эквивалентного генератора.
4. Построить потенциальную диаграмму для контура электрической цепи, указанного в задании.
5. Определить мощность, отдаваемую каждым источником, и мощность, рассеиваемую на каждом участке цепи. Проверить баланс мощностей.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 1.51, 1.66, 1.77 из [3].

Вопросы для самоконтроля:

1. Какова общая форма системы уравнений при расчете методом контурных токов?
2. В каких случаях метод эквивалентного генератора является предпочтительным?
3. Как определяется внутреннее сопротивление активного двухполюсника при наличии в его составе как источников ЭДС, так и источников тока?
4. Каковы правила составления схем для определения частичных токов в методе наложения?

Тема 2. Расчет однофазных цепей синусоидального тока

Цель занятия: освоение практических методов расчета электрических цепей однофазного синусоидального тока.

Методические рекомендации по выполнению заданий:

В первую очередь необходимо усвоить свойства синусоидальных функций времени: амплитуда, частота, период, начальная фаза. а также принцип представления синусоидальных функций с помощью комплексных чисел. Важным является умение выполнять математические операции с комплексными числами в алгебраической и показательной формах.

Расчеты в цепях переменного тока традиционно ведутся с использованием комплексов действующих значений.

Необходимо знать наизусть формулы взаимосвязи тока и напряжения в индуктивных и емкостных элементах, сопротивления индуктивных и емкостных элементов переменному току, активной, реактивной и полной мощности.

Пример задания 1

На рис. 2 изображена электрическая цепь, питающаяся от источника синусоидального напряжения. Показания приборов: $I = 5 \text{ А}$; $U_1 = 60 \text{ В}$; $U_2 = 15 \text{ В}$; $U_3 = 40 \text{ В}$. Определить напряжение, приложенное к цепи, сопротивление каждого

элемента и полное сопротивление цепи. Заменить цепь эквивалентной. Построить векторную диаграмму.

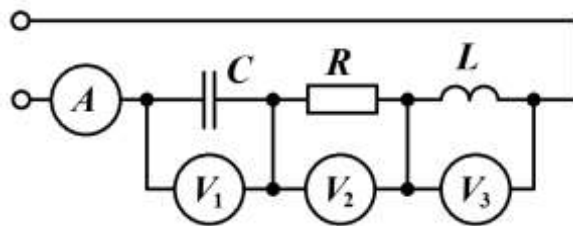


Рисунок 2

Решение:

Определяем сопротивления элементов:

$$X_C = \frac{U_1}{I} = 12 \text{ Ом.} \quad R = \frac{U_2}{I} = 3 \text{ Ом.} \quad X_L = \frac{U_3}{I} = 12 \text{ Ом.}$$

Комплексное сопротивление цепи $Z = R + j(X_L - X_C) = 3 + j4 \text{ Ом.}$

Напряжение, приложенное к цепи $U = I|Z| = 5\sqrt{3^2 + 4^2} = 25 \text{ В.}$

Эквивалентная цепь и векторная диаграмма показаны на рисунке 3.

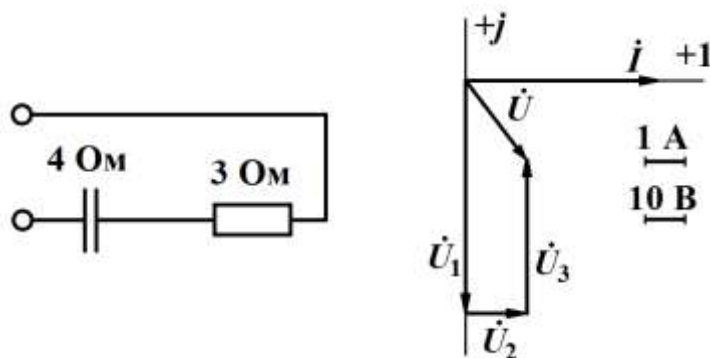


Рисунок 3

Пример задания 2

На рисунке 4 приведена электрическая цепь синусоидального тока. $e_1 = 509 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$; $e_3 = 198 \cos(\omega t - 30^\circ) \text{ В}$; $f = 50 \text{ Гц}$; $R_1 = 100 \text{ Ом}$; $R_3 = 40 \text{ Ом}$; $C_1 = 25,6 \text{ мкФ}$; $L_2 = 0,255 \text{ Гн}$. Определить токи, записать их в виде комплексов действующих значений и в виде функций времени. Построить векторную диаграмму токов, ЭДС, падений напряжения на элементах. Составить баланс активной мощности.

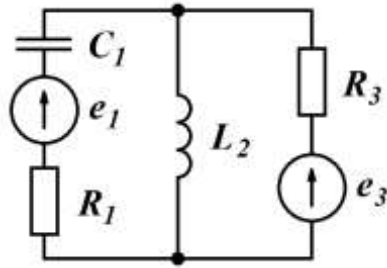


Рисунок 4

Решение:

Представляем ЭДС в виде комплексов действующих значений.

$$\dot{E}_1 = \frac{509}{\sqrt{2}} e^{j30^\circ} = 312 - j180 \text{ В};$$

$$\dot{E}_3 = \frac{225}{\sqrt{2}} e^{j60^\circ} = 70 + j121 \text{ В}.$$

Определяем комплексные сопротивления ветвей.

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j2\pi f C_1} = 100 - j120 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = j2\pi f L_2 = j80 \text{ Ом}.$$

Определяем напряжение на индуктивности U_{L2} методом двух узлов.

Принимаем направление U_{L2} от верхнего по схеме узла к нижнему.

$$\dot{U}_{L2} = \frac{\frac{\dot{E}_1}{Z_1} + \frac{\dot{E}_3}{R_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{R_3}} = 161 e^{j70^\circ} = 25 + j189 \text{ В}.$$

Определяем токи.

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_L}{Z_1} = 1,22 + j1,38 \text{ А}; \quad I_1 = |\dot{I}_1| = 1,84 \text{ А}.$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_L}{Z_2} = 2,35 - j0,31 \text{ А}; \quad I_2 = |\dot{I}_2| = 2,37 \text{ А}.$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_L}{R_3} = 1,14 - j1,68 \text{ А}. \quad I_3 = |\dot{I}_3| = 2,03 \text{ А}.$$

Как видно, для найденных токов выполняется первый закон Кирхгофа ($I_1 + I_3 = I_2$), что является подтверждением правильности расчетов.

Запишем токи в виде функций времени.

$$i_1 = \sqrt{2} I_1 \sin(314t + \arg(\dot{I}_1)) = 2,6 \sin(314t + 48,5^\circ) \text{ A};$$

$$i_2 = 3,36 \sin(314t - 7,4^\circ) \text{ A};$$

$$i_3 = 2,87 \sin(314t - 56^\circ) \text{ A}.$$

Определяем падения напряжения для построения векторной диаграммы.

$$\dot{U}_{R1} = \dot{I}_1 R_1 = 122 + j138 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C1} = \dot{I}_1 \frac{1}{j \cdot 2\pi f C_1} = 145 - j146 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{R3} = \dot{I}_3 R_3 = 45 - j67 \text{ В}.$$

Векторная диаграмма приведена на рисунке 5.

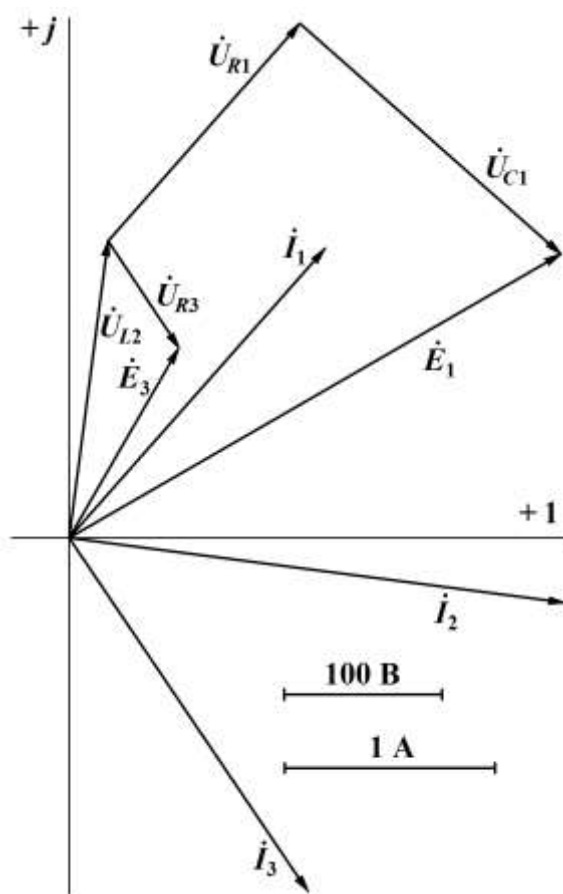


Рисунок 5

Составим баланс активной мощности.

Суммарная активная мощность источников

$$P_{\text{ист}} = \operatorname{Re}(\dot{E}_1 \dot{I}_1^* + \dot{E}_3 \dot{I}_3^*) = \operatorname{Re}[(312 + j180) \cdot (1,22 - j1,38) + (70 + j121) \cdot (1,14 + j1,68)] = 503 \text{ Вт}.$$

Суммарная активная мощность приемников $P_{\text{пр}} = I_1^2 R_1 + I_3^2 R_3 = 503 \text{ Вт}$.

Баланс мощности сходится.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 3.15, 3.23, 3.43 из [3].

Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимают под действующим значением тока (напряжения)?
2. Какому моменту времени соответствует положение векторов напряжения и тока на векторной диаграмме?
3. Каково взаимное расположение на векторной диаграмме векторов тока и напряжения в резистивном, индуктивном и емкостном элементе?
4. Как определить вид синусоидальной функции времени по комплексу действующего значения?
5. Как определить комплексное сопротивление ветви?
6. Назовите способы определения активной мощности, генерируемой источником, и расходуемой в приемнике.

Тема 3. Расчет трехфазных цепей

Цель занятия: освоение практических методов расчета электрических цепей трехфазного синусоидального тока.

Методические рекомендации по выполнению заданий темы:

Для успешного выполнения заданий необходимо знать три основные схемы соединений трехфазных цепей: «звезда – звезда», «звезда – звезда с нейтральным проводом» и «звезда – треугольник». Для каждой схемы следует усвоить соотношение между фазными и линейными напряжениями

и токами, и знать особенности расчета этих цепей при симметричной и несимметричной нагрузке.

Пример задания 1

От симметричного генератора с фазным напряжением 120 В через четырехпроводную линию включены три группы одинаковых ламп. Между фазой *A* и нейтральным проводом включены 30 ламп, между фазой *B* и нейтральным проводом – 25 ламп, между фазой *C* и нейтральным проводом – 20 ламп. Сопротивление каждой лампы 300 Ом. Определить ток в нейтральном проводе. Под каким напряжением окажется каждая группа ламп при обрыве нейтрального провода?

Решение:

Введем обозначения: $U_{\phi} = 120$ В, $R = 300$ Ом, $n_A = 30$, $n_B = 25$, $n_C = 20$.

Определим ток в нейтральном проводе I_N как сумму токов фаз.

$$\dot{I}_N = \frac{\dot{E}_A}{R} \cdot n_A + \frac{\dot{E}_B}{R} \cdot n_B + \frac{\dot{E}_C}{R} \cdot n_C = \frac{\dot{E}_A}{R} (n_A + n_B \cdot e^{-j120^\circ} + n_C \cdot e^{j120^\circ}) = 3 - j\sqrt{3} \text{ А.}$$

$$I_N = \sqrt{9 + 3} = 2\sqrt{3} \approx 3,46 \text{ А.}$$

Определим смещение нейтрали при обрыве нейтрального провода.

$$\dot{U}_{0'} = \frac{\frac{\dot{E}_A}{R} \cdot n_A + \frac{\dot{E}_B}{R} \cdot n_B + \frac{\dot{E}_C}{R} \cdot n_C}{\frac{n_A}{R} + \frac{n_B}{R} + \frac{n_C}{R}} = 12 - j4\sqrt{3} \text{ В.}$$

Определим напряжения на группах ламп при обрыве.

$$U_{A0'} = |\dot{E}_A - U_{0'}| = 108 \text{ В}; \quad U_{B0'} = |\dot{E}_B - U_{0'}| = 121 \text{ В}; \quad U_{C0'} = |\dot{E}_C - U_{0'}| = 132 \text{ В.}$$

Пример задания 2

К симметричному генератору с фазной ЭДС 127 В и внутренним сопротивлением $0,3 + j0,9$ Ом подключена симметричная нагрузка $10 + j6$ Ом по схеме Y/Y через линию с сопротивлением каждого провода $0,5 + j1$ Ом.

Определить:

- ток каждой фазы;
- фазное и линейное напряжения генератора;

- фазное и линейное напряжения нагрузки;
- активную мощность, вырабатываемую генератором и расходуемую в нагрузке.

Построить векторную диаграмму.

Решение:

Так как трехфазная цепь симметричная, расчет и построение векторной диаграммы ведем для фазы А. Решения для других фаз находятся поворотом на $\pm 120^\circ$.

Комплексные сопротивления генератора, провода и нагрузки обозначим соответственно Z_r , $Z_{пр}$ и Z_n .

$$\text{Ток фазы } A \quad \dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A}{Z_r + Z_{пр} + Z_n} = 7,66 - j5,6 = 9,49e^{-j36,2^\circ} \text{ А.}$$

$$\text{Фазное напряжение генератора } \dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{I}_A Z_r = 119,7 - j5,2 \text{ В.}$$

$$\text{Линейное напряжение генератора } \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = \dot{U}_A (1 - e^{-j120^\circ}) = 184 + j96 \text{ В.}$$

$$\text{Фазное напряжение нагрузки } \dot{U}_a = \dot{I}_A Z_n = 110 - j10 \text{ В.}$$

$$\text{Линейное напряжение нагрузки } \dot{U}_{ab} = \dot{U}_a (1 - e^{-j120^\circ}) = 174 + j80 \text{ В.}$$

Активная мощность, вырабатываемая генератором

$$P_r = |\dot{I}_A|^2 \cdot \text{Re}(Z_r + Z_{пр} + Z_n) = 2,92 \text{ кВт.}$$

Активная мощность нагрузки

$$P_n = |\dot{I}_A|^2 \cdot \text{Re}(Z_n) = 2,70 \text{ кВт.}$$

Векторная диаграмма фазы А приведена на рисунке 6. Обратите внимание, что на векторных диаграммах трехфазных систем действительную ось принято располагать вертикально.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 7.25, 7.28, 7.34 из [3].

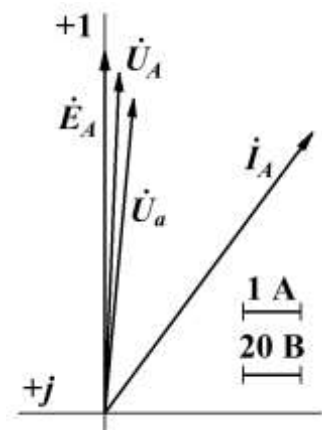


Рисунок 6

Вопросы для самоконтроля:

1. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями симметричной нагрузки при соединении ее звездой?
2. Каково соотношение между линейными и фазными токами симметричной нагрузки при соединении ее треугольником?
3. К чему приводит несимметрия в нагрузке при соединении ее звездой?
4. К чему приводит несимметрия в нагрузке при соединении ее по схеме «звезда – звезда с нейтральным проводом»?
5. Каков наиболее рациональный путь расчета трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником?

Тема 4. Электрические измерения

Цель занятия: изучить методы измерений электрических параметров электрических цепей, погрешности измерений, конструкции и принцип действия электроизмерительных приборов различных систем.

Методические рекомендации по выполнению заданий темы:

В современных условиях контроль технологических процессов осуществляется с помощью различных электроизмерительных приборов. Необходимо знать классификацию по следующим признакам: по роду измеряемой величины (амперметры, вольтметры, ваттметры, фазометры и т.д.); по роду измеряемого тока (для измерения постоянного тока, переменного тока, постоянного и переменного токов); по принципу действия (магнито-электрические, электромагнитные, электродинамические и т.д.); по степени точности измеряемой величины.

Инструментальные погрешности стрелочных электроизмерительных приборов (амперметров, вольтметров, ваттметров) определяется по их классам точности. Класс точности показывает относительную погрешность измерения в процентах при измеряемой величине, соответствующей пределу шкалы.

Пример задания 1

Для измерения напряжения в электрической цепи используется вольтметр класса точности 1,0 с пределом измерения $U_{\text{ном}} = 300$ В. Показание вольтметра $U_{\text{и}} = 100$ В. Определить абсолютную $\Delta U_{\text{абс}}$ и относительную $\gamma_{\text{отн}}$ погрешности измерения и действительную величину измеренного напряжения.

Решение. Так как истинное (действительное) значение измеряемой величины неизвестно, для определения абсолютной погрешности измерения используем класс точности прибора $\gamma_{\text{пр}}$: $\Delta U_{\text{абс}} = \gamma_{\text{пр}} \cdot U_{\text{ном}} / 100\% = 3$ В (приведенная погрешность прибора равна его классу точности, т. е. $\gamma_{\text{пр}} = 1\%$).

Относительная погрешность $\gamma_{\text{отн}} = \gamma_{\text{пр}} \cdot U_{\text{ном}} / U_{\text{и}} = 3\%$. Следовательно, измеренное значение напряжения $U_{\text{и}} = 100$ В может отличаться от его действительного значения не более чем на 3 %.

Пример задания 2

Предельное значение тока, измеряемого миллиамперметром, $I = 4$ А. Сопротивление миллиамперметра $R_{\text{а}} = 5$ Ом. Определить сопротивление $R_{\text{ш}}$ шунта, используемого для расширения предела измерения тока до $I = 15$ А.

Решение. Падение напряжения на клеммах прибора, соответствующее номинальному значению тока: $\Delta U_{\text{а}} = R_{\text{а}} I_{\text{ном}} = 0,02$ В.

Ток в цепи шунта, соответствующий наибольшему значению измеряемого тока: $I_{\text{ш}} = I - I_{\text{ном}} = 15 - 4 \cdot 10^{-3} = 14,996$ А.

Так как шунт подключается параллельно миллиамперметру, то падение напряжения на клеммах прибора оказывается равным падению напряжения на шунте, т. е. $\Delta U = \Delta U_{\text{ш}} = R_{\text{ш}} I_{\text{ш}} = 0,02$ В, откуда $R_{\text{ш}} = \Delta U_{\text{ш}} / I_{\text{ш}} = 0,00133$ Ом.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 8.15, 8.17, 8.18 из [3].

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называют классом точности прибора? Что он позволяет определить?
2. Как определить приборную ошибку электроизмерительного прибора?

3. Запишите определения и формулы абсолютной и относительной погрешностей.

4. Почему электрические измерения рекомендуется производить на второй половине шкалы?

5. Какую схему соединения приборов следует выбрать, если сопротивление исследуемого участка цепи много меньше внутреннего сопротивления вольтметра?

6. Каковы особенности измерения мощности в трехфазных цепях?

Тема 5. Трансформаторы

Цель занятия: закрепить теоретические сведения об устройстве, принципе действия и основных характеристиках трансформаторов.

Методические рекомендации по выполнению заданий темы:

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Классификация трансформаторов по назначению: 1) силовые; 2) сварочные; 3) измерительные; 4) автотрансформаторы. Классификация по числу фаз: 1) однофазные; 2) трехфазные. Работа трансформатора основана на явлении электромагнитной индукции.

Однофазный трансформатор представляет собой замкнутый магнитопровод, на котором расположены две или несколько обмоток. Магнитопровод изготавливают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга теплостойким лаком. Обмотку изготавливают из медного провода и располагают на одном и том же или на разных стержнях, рядом или одну под другой. Обмотку, к которой подводится напряжение сети, называют первичной. Обмотку, к которой подсоединяется нагрузка, называют вторичной.

Основные расчетные соотношения для однофазного трансформатора:

Коэффициент трансформации: $n = U_{\text{ном1}}/U_{\text{ном2}} = w_1/w_2 = I_{\text{ном2}}/I_{\text{ном1}}$.

Мощность трансформатора $S_{\text{НОМ}} = U_{\text{НОМ1}} \cdot I_{\text{НОМ1}}$.

КПД трансформатора – это отношение активной мощности P_2 на выходе трансформатора к активной мощности P_1 на входе: $\eta = P_2 / P_1$.

В линиях электропередачи используют в основном трехфазные силовые трансформаторы. Магнитопровод трехфазного трансформатора имеет три стержня, на каждом из которых размещаются две обмотки одной фазы. Принцип работы и электромагнитные процессы в однофазном и в трехфазном трансформаторах аналогичны. Особенностью трехфазного трансформатора является зависимость коэффициента трансформации K от способа соединения обмоток.

Основные параметры трехфазного трансформатора:

Номинальные мощности в обмотках: $S_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} U_{\text{НОМ1}} \cdot I_{\text{НОМ1}}$.

Коэффициент нагрузки: $k_{\text{Н}} = P_2 / (S_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi)$.

Токи в обмотках при фактической нагрузке: $I_1 = k_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НОМ1}}$; $I_2 = k_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НОМ2}}$.

Суммарные потери мощности: $\Sigma P = P_{\text{СТ}} + P_{\text{М}}$.

Пример задания 1

Определить коэффициент трансформации n трансформатора, число витков w_1 первичной обмотки при числе витков вторичной обмотки $w_2 = 40$, а также номинальные токи $I_{1\text{НОМ}}$ и $I_{2\text{НОМ}}$ в обмотках однофазного трансформатора с номинальной мощностью $S_{1\text{НОМ}} = 3$ кВА, подключенного к питающей сети с напряжением $U_{1\text{НОМ}} = 127$ В, напряжение на зажимах вторичной обмотки при холостом ходе $U_{20} = 60$ В.

Решение:

Коэффициент трансформации трансформатора $n = w_1 / w_2 = U_1 / U_{20} = 2.11$.

Число витков первичной обмотки $w_1 = n w_2 = 84,4$.

Номинальный ток первичной обмотки $I_{1\text{НОМ}} = S_{1\text{НОМ}} / U_{1\text{НОМ}} = 23,6$ А.

Номинальный ток вторичной обмотки $I_{2\text{НОМ}} = S_{1\text{НОМ}} / U_{20} = 50$ А.

Пример задания 2

Определить коэффициент трансформации n трехфазного трансформатора и номинальные действующие значения первичного и вторичного фазных $U_{1\text{ф ном}}$,

$U_{2\phi \text{ ном}}$ и линейных $U_{1\text{л ном}}$, $U_{2\text{л ном}}$ напряжений, при соединении обмоток соответственно по схемам «звезда – звезда» и «звезда – треугольник». Первичная обмотка имеет число витков на фазу $w_1 = 2002$, вторичная $w_2 = 134$. Номинальное линейное напряжение первичной обмотки $U_{1\text{ном}} = 6000 \text{ В}$.

Решение:

Коэффициент трансформации фазных напряжений трансформатора

$$n = w_1 / w_2 = 2002 / 134 = 15.$$

Номинальное первичное фазное напряжение трансформатора

$$U_{1\phi \text{ ном}} = \sqrt{3} \text{ и } U_{1\text{л ном}} / \sqrt{3} = 3470 \text{ В}.$$

Номинальные вторичные напряжения трансформатора при соединении обмоток по схеме «звезда – звезда»:

$$U_{2\text{л ном}} = U_{1\text{л ном}} / n = 400 \text{ В}; \quad U_{2\phi \text{ ном}} = U_{1\text{л ном}} / \sqrt{3} = 2300 \text{ В}.$$

При соединении обмоток по схеме «звезда – звезда» коэффициенты трансформации линейных и фазных напряжений одинаковы:

$$n_{\text{л}} = n_{\phi} = U_{1\text{л ном}} / U_{2\text{л ном}} = 15.$$

Коэффициенты трансформации трансформатора при соединении обмоток по схеме «звезда – треугольник»:

$$n_{\phi} = U_{1\phi \text{ ном}} / U_{2\phi \text{ ном}} = 15; \quad n_{\text{л}} = U_{1\text{л ном}} / U_{2\text{л ном}} = 26.$$

Пример задания 3

Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью $S_{1\text{ном}} = 50 \text{ кВА}$ работает в течение времени $T = 800 \text{ ч/год}$ с полной нагрузкой ($\beta = 1$). Потери мощности холостого хода P_0 трансформатора составляют 0,7%, а потери короткого замыкания при номинальной нагрузке $P_{\text{к}}$ составляют 2,65 % от полной мощности $S_{1\text{ном}}$. Определить КПД $\eta_{\text{ном}}$ при номинальной нагрузке и коэффициенте мощности, равном единице, а также среднегодовой КПД $\eta_{\text{г}}$.

Решение:

Потери мощности холостого хода: $P_0 = 0,007 S_{1\text{ном}} = 0,007 \cdot 50 = 0,35 \text{ кВт}$.

Потери короткого замыкания: $P_{\text{к}} = 0,0265 S_{1\text{ном}} = 0,0265 \cdot 50 = 1,325 \text{ кВт}$.

Суммарные потери мощности при номинальной нагрузке: $\Sigma P_{\text{ном}} = P_0 + P_{\text{к}} = 1,675 \text{ кВт}$.

Коэффициент полезного действия трансформатора при номинальной нагрузке ($\beta = 1$): $\eta_{\text{ном}} = S_{1\text{ном}} / (S_{1\text{ном}} + \Sigma P_{\text{ном}}) = 50 / (50 + 1,675) = 0,968$.

Энергия W_2 , отданная трансформатором за год потребителю электроэнергии: $W_2 = S_{1\text{ном}} \cdot T = 50 \cdot 800 = 40\,000$ кВт·ч.

Энергия W_0 , потребляемая трансформатором при холостом ходе, расходуется в течение всего года (365 дней) независимо от нагрузки. $W_0 = P_0 \cdot 365 = 0,35 \cdot 365 = 128$ кВт·ч.

Энергия, теряемая в проводах обмоток трансформатора при номинальной нагрузке: $W_k = P_k \cdot T = 1,325 \cdot 800 = 1060$ кВт·ч.

Среднегодовой КПД трансформатора: $\eta_r = W_2 / (W_2 + W_0 + W_k) = 0,971$.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 10.18, 10.20 из [3].

Вопросы для самоконтроля:

1. Поясните роль трансформатора в энергетической системе при передаче и распределении электроэнергии.
2. Укажите назначение и устройство основных элементов трансформатора.
3. Поясните принцип работы однофазного трансформатора.
4. Приведите подробную классификацию видов трансформаторов.
5. По каким формулам можно вычислить коэффициент трансформации, и что этот коэффициент обозначает?
6. Перечислить области применения трансформаторов.
7. Объяснить особенности автотрансформаторов и измерительных трансформаторов.
8. Объяснить устройство и особенности трёхфазного трансформатора.
9. Раскройте составляющие потерь в трансформаторе, и как они определяются.

Тема 6. Асинхронные электродвигатели

Цель занятия: изучить разновидности асинхронных электродвигателей и их назначение; рассмотреть устройство, принцип действия и применение асинхронных двигателей; выработать умения и навыки решения типовых задач по теме.

Методические рекомендации по выполнению заданий темы:

Перед выполнением практических заданий необходимо изучить конструкцию асинхронного двигателя и принцип образования вращающегося магнитного поля. При изучении принципа действия асинхронного двигателя важно понять, как законы электромагнитной индукции и электромагнитной силы связаны с появлением вращающего момента, почему частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля.

Анализ работы асинхронного двигателя в различных условиях и его характеристик невозможен без знания формул, определяющих частоту вращения поля, частоту скольжения, частоту тока ротора, вращающий момент. Эти формулы следует выписать и запомнить.

Важнейшими характеристиками асинхронного двигателя являются пусковая и механическая характеристики. Все характерные точки и участки этих характеристик, их физический смысл должны быть поняты и усвоены. С точки зрения применения и эксплуатации двигателя важно знать способы и особенности пуска, регулирования частоты вращения и торможения. При изучении этого материала надо понять электрическую схему того или иного способа и физические процессы, протекающие в двигателе, преимущества и недостатки каждого способа.

Пример задания 1

Определить значения ЭДС E_1 и E_2 , индуцируемых в фазах статора и ротора трехфазного асинхронного электродвигателя, и частоту тока f_2 в роторе при номинальной нагрузке и неподвижном его состоянии. Амплитудное значение магнитного потока двигателя $\Phi_m = 15 \cdot 10^3$ Мкс. Числа витков обмоток статора и

ротора: $w_1 = 200$; $w_2 = 20$, номинальное скольжение ротора $S_{\text{ном}} = 0,05$, частота напряжения питающей сети $f_1 = 50$ Гц, числа фаз обмотки статора и ротора: $m_1 = m_2 = 3$.

Решение:

ЭДС, индуцируемые в обмотках статора двигателя: $E_1 = 4,44 K_1 f w_1 \Phi_m = 4,44 \cdot 0,94 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 15 \cdot 10^5 \cdot 10^{-8} = 625$ В, где K_1 – обмоточный коэффициент обмотки статора (принимается $K_1 = 0,94$; 10^{-8} Мкс = 1 Вб).

ЭДС, индуцируемая в неподвижном роторе двигателя:

$$E_2 = E_1 \frac{m_2 w_2 K_2}{m_1 w_1 K_1} = 625 \frac{3 \cdot 20 \cdot 0,96}{3 \cdot 200 \cdot 0,94},$$

где K_2 – обмоточный коэффициент обмотки ротора асинхронного двигателя (принимается $K_2 = 0,96$).

ЭДС, индуцируемая в обмотке ротора асинхронного двигателя при номинальной нагрузке (при номинальном скольжении ротора $s_{\text{ном}}$): $E_{2x} = s_{\text{ном}} E_2 = 0,05 \cdot 63,8 = 3,19$ В.

Частота тока в роторе двигателя при номинальной нагрузке (при $s = s_{\text{ном}}$): $f_{2s} = f_1 s_{\text{ном}} = 50 \cdot 0,05 = 2,5$ Гц;

Частота тока в роторе при неподвижном состоянии ротора (при пуске, т. е. при $s = 1$): $f_{2\text{пуск}} = f_1 s_{\text{пуск}} = 50 \cdot 1 = 50$ Гц.

Пример задания 2

Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, с числом пар полюсов $p = 1$ и частотой вращения ротора $n_2 = 0,96 n_1$. Двигатель питается от трехфазной сети с частотой напряжения $f_1 = 50$ Гц. Определить частоту вращения n_1 и Ω_1 вращающегося магнитного поля, скольжение s ротора, частоту тока в роторе при пуске $f_{2\text{пуск}}$ и в рабочем режиме f_2' , а также частоту вращения ротора n_2' , частоту тока f_2' в роторе при возрастании нагрузки на валу двигателя, с учетом того, что частота вращения ротора n_2' при этом уменьшилась на 5 % и составляет $0,95 n_2$.

Решение:

Частота вращения магнитного поля (синхронная частота вращения)

$$n_1 = 60 f_1 / p = 60 \cdot 50 / 1 = 3000 \text{ об/мин.}$$

Частота вращения ротора $n_2 = 0,96 n_1 = 0,96 \cdot 3000 = 2880 \text{ об/мин.}$

$$\text{Угловая частота вращения магнитного поля } \Omega_1 = \pi n_1 / 30 = 3,14 \cdot 3000 / 30 = 314 \text{ рад/с.}$$

Скольжение ротора двигателя $s = 1 - n_2 / n_1 = 1 - 2880 / 3000 = 0,04.$

Частота тока в роторе двигателя при пуске $f_{2\text{пуск}} = f_1 s_{\text{пуск}} = 50 \cdot 1 = 50 \text{ Гц.}$

$$\text{Частота тока ротора при частоте вращения двигателя } n_2: f_2' = f_1 s = 50 \cdot 0,04 = 2 \text{ Гц.}$$

Частота вращения ротора при возросшей нагрузке на валу двигателя:

$$n_2' = 0,95 n_2 = 0,95 \cdot 2880 = 2736 \text{ об/мин.}$$

$$\text{Скольжение ротора при возросшей нагрузке: } s' = 1 - n_2' / n_1 = 1 - 2736 / 3000 = 0,088.$$

Частота тока ротора при возросшей нагрузке: $f_2' = f_1 s' = 50 \cdot 0,088 = 4,4 \text{ Гц.}$

Пример задания 3

Определить пусковой $M_{\text{пуск}}$ и максимальный $M_{\text{мах}}$ моменты, а также пусковой ток $I_{\text{пуск}}$ асинхронного электродвигателя при напряжении на его зажимах, пониженном на 20 % от номинального линейного напряжения $U_{1\text{ном}} = 380 \text{ В.}$ Номинальная мощность двигателя $P_{2\text{ном}} = 13 \text{ кВт,}$ номинальная частота вращения $n_{2\text{ном}} = 1450 \text{ об/мин,}$ кратность пускового $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,3$ и максимального $M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}} = 2$ моментов, кратность пускового тока при номинальном напряжении $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 7,$ номинальные значения: КПД $\eta_{\text{ном}} = 0,885$ и коэффициент мощности $\cos \varphi_{1\text{ном}} = 0,88.$

Решение:

$$\text{Номинальный момент на валу асинхронного двигателя: } M_{\text{ном}} = 9550 P_{2\text{ном}} / n_{2\text{ном}} = 9550 \cdot 13 / 1450 = 85,6 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Пусковой момент двигателя: $M_{\text{пуск}} = 1,3 M_{\text{ном}} = 1,3 \cdot 85,6 = 113,8 \text{ Н}\cdot\text{м.}$

Максимальный момент двигателя: $M_{\text{мах}} = 2 M_{\text{ном}} = 2 \cdot 85,6 = 171,2 \text{ Н}\cdot\text{м.}$

Начальный пусковой момент двигателя пропорционален квадрату приложенного напряжения. $M'_{\text{пуск}} = (0,8 U_{1\text{ном}} / U_{1\text{ном}})^2 M_{\text{пуск}} = 0,64 \cdot 113,8 = 88,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Максимальный момент асинхронного двигателя при пониженном напряжении: $M'_{\text{max}} = (0,8 U_{1\text{ном}} / U_{1\text{ном}})^2 M_{\text{max}} = 0,64 \cdot 171,2 = 109,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Номинальный ток двигателя:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{2} U_{1\text{ном}} \cos \varphi_{1\text{но}} \eta_{1\text{ном}}} = \frac{13000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,885} = 25,4 \text{ А}.$$

Пусковой ток двигателя при номинальном напряжении: $I_{1\text{пуск}} = 7 I_{1\text{ном}} = 7 \cdot 25,4 = 178 \text{ А}$.

Пусковой ток асинхронного двигателя при пониженном напряжении (ток пропорционален приложенному напряжению): $I'_{1\text{пуск}} = 0,8 I_{1\text{пуск}} = 0,8 \cdot 178 = 143 \text{ А}$.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 12.18, 12.20, 12.21 из [3].

Вопросы для самоконтроля:

1. Каковы устройство и принцип действия асинхронной машины?
2. Почему асинхронный двигатель принципиально не может достичь синхронной скорости?
3. Объясните физический смысл параметров схемы замещения асинхронной машины. Как они зависят от насыщения?
4. Приведите формулу для вращающегося момента асинхронного двигателя.
5. Для чего в цепь фазного ротора на период пуска вводят добавочное сопротивление? При какой величине этого сопротивления пусковой момент будет равен максимальному?
6. Какие существуют способ пуска асинхронного двигателя? Чем ограничивается применение прямого запуска (прямым включением в сеть)?

Тема 7. Электрические машины постоянного тока

Цель занятия: изучить разновидности электрических машин постоянного тока и их назначение; рассмотреть устройство, принцип действия и применение электродвигателей и генераторов постоянного тока; выработать умения и навыки решения типовых задач по теме.

Методические рекомендации по выполнению заданий темы:

В процессе изучения электрических машин постоянного тока необходимо ознакомиться с их устройством и принципом действия, рассмотреть режимы работы, схемы, характеристики, параметры, возможности практического применения генераторов и двигателей, обратить внимание на общую конструкцию электрических машин постоянного тока. Надо усвоить основные соотношения электрических величин как для генератора, так и для двигателя. Важно провести сопоставление двигателей постоянного тока и асинхронных, выяснить их достоинства и недостатки, знать области применения.

Пример задания 1

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением имеет номинальные данные: полезная мощность на валу $P_{2\text{ном}} = 8$ кВт, напряжение $U_{\text{ном}} = 220$ В, частота вращения $n_{\text{ном}} = 1000$ об/мин, ток, потребляемый из сети, $I_{\text{ном}} = 43$ А. Определить номинальный момент на валу $M_{\text{ном}}$, номинальные суммарные потери мощности $\Sigma P_{\text{ном}}$ и номинальный КПД $\eta_{\text{ном}}$ электродвигателя при номинальном режиме работы.

Решение:

Номинальный момент на валу электродвигателя: $M_{\text{ном}} = 9550P_{1\text{ном}}/n_{\text{ном}} = 9550 \cdot 8/1000 = 76,5$ Н·м.

Номинальная мощность, подведенная к электродвигателю из сети: $P_{1\text{ном}} = U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} = 220 \cdot 43 = 9460$ Вт = 9,46 кВт.

Номинальные суммарные потери мощности в электродвигателе: $\Sigma P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{2\text{ном}} = 9,46 - 8,0 = 1,46$ кВт.

Номинальный КПД электродвигателя: $\eta_{\text{ном}} = P_{2\text{ном}} / P_{1\text{ном}} = 8,0/9,46 = 0,85$.

Пример задания 2

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением имеет номинальные параметры: полезная мощность на валу $P_{2\text{ном}} = 4,5$ кВт, питающее напряжение $U_{\text{ном}} = 220$ В, частота вращения $n_{\text{ном}} = 1500$ об/мин, КПД $\eta_{\text{ном}} = 80,5\%$. Сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}} = 0,43$ Ом, обмотки возбуждения $R_{\text{в}} = 200$ Ом при номинальном режиме работы. Определить сопротивление пускового реостата $R_{\text{п}}$ исходя из условия, что начальный пусковой ток двигателя равен двукратному номинальному значению тока, потребляемому из сети: $I_{\text{пуск}} = 2 I_{\text{ном}}$.

Решение:

Номинальный ток двигателя, потребляемый из сети, $I_{\text{ном}} = P_{2\text{ном}} / (U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}}) = 4500 / (220 \cdot 0,805) = 25,4$ А.

Номинальный ток возбуждения электродвигателя $I_{\text{в ном}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{в}} = 220 / 200 = 1,1$ А.

Номинальный ток якоря двигателя: $I_{\text{я ном}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в ном}} = 25,4 - 1,1 = 24,3$ А.

Начальный пусковой ток двигателя $I_{\text{пуск}} = 2 I_{\text{ном}} = 2 \cdot 25,4 = 50,8$ А.

Ток якоря при пуске двигателя $I_{\text{я пуск}} = I_{\text{пуск}} - I_{\text{в ном}} = 50,8 - 1,1 = 49,7$ А.

Сопротивление цепи якоря двигателя при пуске исходя из заданных условий: $R'_{\text{я}} = R_{\text{я}} + R_{\text{п}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{я}} = 220 / 49,7 = 4,43$ Ом.

Сопротивление пускового реостата, включенного последовательно в цепь якоря двигателя при пуске: $R_{\text{п}} = R'_{\text{я}} - R_{\text{я}} = 4,43 - 0,43 = 4$ Ом.

Максимальный ток в цепи якоря электродвигателя при отсутствии пускового реостата: $I_{\text{я max}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{я}} = 220 / 0,43 = 510$ А. Кратность пускового тока при прямом пуске (без пускового реостата): $K_I = I_{\text{я max}} / I_{\text{я ном}} = 510 / 24,3 = 20,9$.

Таким образом, начальный пусковой ток якоря электродвигателя без пускового реостата оказывается в 20,9 раз больше номинального его значения, поэтому в данном случае пуск двигателя без пускового реостата в цепи якоря недопустим.

Задание для самостоятельной работы:

Решить задачи 11.5, 11.6, 11.7 из [3].

Вопросы для самоконтроля:

1. Каково назначение коллектора в машине постоянного тока?
2. Как влияет скорость вращения на величину тока якоря и почему?
3. Какие величины определяют величину электромагнитного момента?
4. Что такое механические характеристики?
5. Какие способы регулирования скорости вращения возможны для двигателей постоянного тока?
6. Какие параметры определяют пусковой момент двигателя независимого возбуждения?
7. Как изменить направление вращения двигателя независимого возбуждения?
8. Перечислите возможные режимы торможения двигателей независимого возбуждения.

2. ОПИСАНИЕ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Текущий контроль проводится в пределах учебного времени, отведенного на практические занятия. Формой контроля является выполнение практических заданий в рабочей тетради.

Критерии оценки практического занятия:

Оценка «отлично» выставляется, если студент активно работает в течение всего практического занятия, и показывает при этом глубокое овладение лекционным материалом, проявляет умение самостоятельно определить путь решения задачи, знает расчетные соотношения, выполняет все этапы практического задания, получает правильный ответ.

Оценка «хорошо» выставляется при условии соблюдения следующих требований: студент активно работает в течение практического занятия, выполняет учебные задания, но в ответах допускает неточности, проявляет недостаточное умение выбрать наиболее рациональный путь решения задачи, недостаточно полно увязывает конкретные приемы решения с общетеоретическими положениями, не может четко сделать обобщения и выводы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в том случае, когда студент обнаруживает знание лекционного материала и учебной литературы, в целом овладел приемами решения задач. Но на занятии ведет себя пассивно, дает неполные ответы на вопросы, допускает грубые ошибки при выборе теоретических соотношений и выполнении расчетов, не может обобщить и сделать четкие логические выводы.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, когда студент не выполняет заданий преподавателя, не знает теоретический материал, не понимает постановки задачи или сути основных расчетных соотношений, допускает грубые ошибки в расчетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.С. Электротехника: учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – Изд. 7-е, стер. – Москва : Высшая школа, 2002. – 541 с.
2. Рекус, Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехники и основам электроники: учеб. пособие по неэлектротехн. спец. вузов. / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов. – 2-е изд., перераб. – Москва: Высш. шк., 2001. – 416 с.

Локальный электронный методический материал

Гнатюк Виктор Иванович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 2,1. Печ. л. 1,9.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1