

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Благовещенск, 2017

Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного университета

Составитель: Усенко В.И.

Электрические машины: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 22 с.

©Амурский государственный университет, 2017
©Кафедра автоматизации производственных
процессов и электротехники, 2017
©Усенко В.И., составитель

Содержание

Введение	4
1. Краткий курс лекций	5
2. Методические рекомендации к практическим занятиям	19
3. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов	25
Библиографический список	30

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Электрические машины» является освоение основ теории электромагнитных процессов и электромеханического преобразования энергии, овладение методами анализа и расчета электромеханических преобразователей, приобретение студентами навыков самостоятельного исследования путем закрепления теоретического материала в ходе выполнения лабораторных работ, на практических занятиях и в процессе курсового проектирования.

Задачи дисциплины в процессе всех видов занятий по изучению дисциплины студенты должны выполнить следующие задачи:

- изучить устройство и принцип действия различных типов электрических машин и трансформаторов на основе физических явлений и законов, связанных с их работой и усвоенных в курсах физики и теоретической электротехники;

- научиться составлять математические модели и схемы замещения электрических машин и трансформаторов и описывать переходные процессы в них;

- изучить основные характеристики, методы исследования и основы проектирования, усвоить вопросы испытания и эксплуатации электрических машин и трансформаторов.

В результате изучения дисциплины обучающиеся должны:

Знать

устройство, принцип действия и основные характеристики трансформаторов и электрических машин;

способы пуска и регулирования скорости электрических двигателей;

способы включения на параллельную работу синхронных генераторов и условия включения в сеть трансформаторов.

Уметь

выбирать трансформаторы или электрические машины для конкретных условий;

определять параметры и выполнять расчеты основных типов трансформаторов и электрических машин.

Владеть

навыками проведения испытаний и экспериментов с трансформаторами и электрическими машинами для снятия их основных характеристик.

КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Тема 1. Введение. Однофазные и трехфазные трансформаторы.

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, имеющее две или большее число индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции параметров электрической энергии переменного тока.

Частота, токи, напряжения, мощности и другие параметры, относящиеся к тому режиму работы, для которого трансформатор предназначен изготовителем, называются номинальными. Они указываются на табличке, прикрепленной к трансформатору. В зависимости от соотношения между номинальными напряжениями первичной и второй обмоток различают трансформаторы понижающие и повышающие. В повышающем трансформаторе первичная обмотка является обмоткой низшего напряжения (НН), вторичная – обмоткой высшего напряжения (ВН). В понижающем – наоборот.

Электромагнитные процессы в трансформаторе при нагрузке описываются тремя уравнениями в комплексной форме. Для упрощения описания процессов в трансформаторе и получения его схемы замещения величины вторичной обмотки к первичной обмотке. Под «приведением» понимается особый расчетный прием, при котором реальный трансформатор, имеющий в общем случае различные числа витков w_1 и w_2 первичной и вторичной обмоток, заменяется эквивалентным

трансформатором с числом витков во вторичной обмотке $w_2' = w_1$. Вторичные величины приведенной обмотки обозначаются верхним индексом «штрих». В результате приведения получается следующая математическая модель трансформатора:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1; \\ \dot{E}_2' &= \dot{U}_2 + R_2' (\dot{I}_2') + jX_2' \cdot (\dot{I}_2'); \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \end{aligned}$$

Система уравнений приведенного однофазного трансформатора позволяет составить схему замещения трансформатора – графическую интерпретацию системы уравнений:

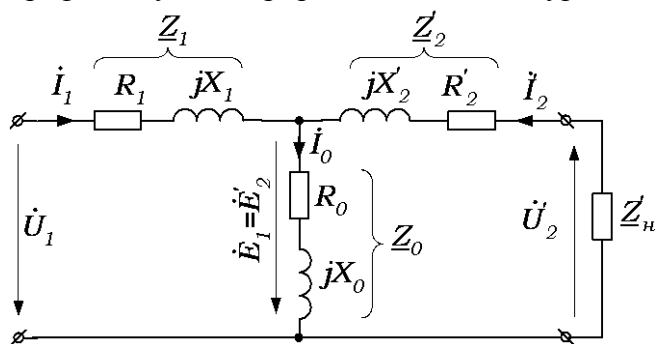


Схема замещения приведенного трансформатора

Параметры схемы замещения и потери трансформатора определяются с помощью опытов ХХ и КЗ.

По данным опыта ХХ при номинальном фазном напряжении рассчитываются коэффициент трансформации, ток холостого хода в процентах, сопротивление взаимной индукции и его составляющие, потери ХХ.

По данным опыта КЗ при номинальном первичном токе рассчитываются сопротивление короткого замыкания и его составляющие, потери КЗ, напряжение КЗ в процентах и его составляющие. Определяется изменение напряжения и КПД трансформаторе при заданной нагрузке.

Трансформация трехфазных токов и напряжений осуществляется с помощью группы из трех однофазных двухобмоточных трансформаторов или с помощью трехфазного двухобмоточного трансформатора. Обмотки отдельных фаз соединяются или в звезду, или в треугольник.

Для включения трехфазных трансформаторов на параллельную работу необходимо соблюдение следующих условий:

1. Включаемые параллельно трансформаторы должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации.
2. Включаемые параллельно трансформаторы должны иметь одинаковые группы соединения.
3. Включаемые параллельно трансформаторы должны иметь одинаковые относительные напряжения короткого замыкания.

Группа соединений обмоток трансформатора характеризует угловое смещение векторов линейных ЭДС обмоток НН по отношению к векторам линейных ЭДС обмоток ВН. Группа характеризуется своим номером. При этом под номером группы соединения понимается время на часах, минутная стрелка которых соединена с ЭДС обмотки ВН и установлена на цифре 0 (12), а часовая стрелка с одноименной ЭДС обмотки НН. Из 12 возможных групп используются только две группы: 0 и 11 с выводом в случае необходимости нулевой точки звезды.

На электрических станциях и подстанциях широкое применение получили трехобмоточные трансформаторы, которые используются для связи различных электрических систем с неодинаковыми напряжениями, когда требуется передача электроэнергии на различные расстояния, для компенсации реактивной мощности в ЛЭП, когда к одной из обмоток трехобмоточного

трансформатора подключен синхронный компенсатор, и для многих других целей. Наиболее распространенными являются трехобмоточные трансформаторы с одной первичной и двумя вторичными обмотками. Номинальная мощность трансформатора есть номинальная мощность его наиболее мощной обмотки. Все три напряжения короткого замыкания трехобмоточного трансформатора вне зависимости от мощности данной обмотки приводятся к номинальной мощности трансформатора. Эти напряжения КЗ и указываются на шитке трансформатора.

Условия параллельной работы трехобмоточных трансформаторов формулируются следующим образом:

1. Номинальные напряжения обмоток ВН, СН и НН должны быть соответственно равны.
2. Напряжения короткого замыкания каждой пары обмоток (ВН–НН; ВН–СН; СН–НН) параллельно работающих трансформаторов должны быть соответственно равны.
3. Группы соединений соответствующих обмоток должны быть тождественны.
4. Отношение номинальных мощностей соответствующих обмоток ВН, СН, НН параллельно работающих трансформаторов не должно быть больше 3.

Основным электрооборудованием высокого напряжения крупных электрических станций и ЛЭП наряду с мощными трансформаторами являются автотрансформаторы, т.е. трансформаторы, в которых две обмотки имеют общую часть. Автотрансформаторы экономически выгоднее обычных двух- или трехобмоточных трансформаторов. Развитие электрических сетей высокого напряжения часто требует соединения между собой высоковольтных ЛЭП различных напряжений. Для такого электрического соединения высоковольтных сетей «соседних» напряжений, как, например, 110 и 154, 154 и 220, 220 и 330, 330 и 500, 500 и 750 кВ, экономически оправдано применять автотрансформаторы.

В автотрансформаторе под обмоткой высшего напряжения понимается вся совокупность витков, в которых индуктируется напряжение, равное высшему напряжению. Мощность автотрансформатора различается как проходная мощность (номинальная мощность или транзитная) и типовая мощность (расчетная мощность). Обычно типовая мощность автотрансформаторов значительно меньше проходной.

Тема 2. Электромагнитные процессы в синхронных машинах при холостом ходе и нагрузке.

Синхронной машиной называется двухобмоточная электрическая машина переменного тока, одна из обмоток которой присоединена к электрической сети с постоянной частотой ω_1 , а вторая возбуждается постоянным током ($\omega_2 = 0$).

СМ в основном применяются в качестве преобразователей механической энергии в электрическую. СМ применяются также и в качестве двигателей, особенно в крупных установках, не требующих регулирования скорости.

К числу номинальных данных синхронной машины относятся: номинальная мощность (для генераторов – полная электрическая мощность; для двигателей – механическая мощность на валу двигателя); коэффициент мощности; коэффициент полезного действия (только для двигателей); линейное напряжение обмотки якоря (статора); частота вращения; частота якоря; линейный ток якоря; напряжения и ток обмотки возбуждения. Все промышленные машины в России выполняются на стандартизованную частоту 50 Гц.

В режиме холостого хода синхронной машины ток в обмотке якоря (статора) равен нулю. Обмотка возбуждения, расположенная на вращающемся с угловой скоростью Ω роторе, при питании постоянным током I_f образуют вращающееся магнитное поле возбуждения, которое индуцирует в обмотке якоря ЭДС E_f .

Обмотка возбуждения имеет две разновидности исполнения: распределенная ОВ (применяется при неявнополюсной конструкции ротора), сосредоточенная ОВ (применяется при явнополюсной конструкции ротора). МДС сосредоточенной ОВ на протяжении полюсного деления имеет постоянную величину, равную $F_{fm} = I_f w_f$, где w_f – число витков на полюс ОВ (число витков катушки одного полюса); I_f – ток возбуждения.

Расчет магнитной цепи при холостом ходе проводится для определения тока возбуждения I_f или МДС возбуждения F_{fm} , которые образуют магнитное поле взаимной индукции с потоком $\Phi_{fm} = \Phi_m$, индуцирующим в обмотке статора заданную ЭДС E_f .

МДС возбуждения

$$F_{fm} = F_1 + F_2,$$

где $F_1 = F_\delta + F_{z1} + F_{a1}$ – магнитное напряжение воздушного зазора и магнитопровода статора (зубцы и ярмо); F_2 – магнитное напряжение ротора.

Магнитные напряжения в области ротора рассчитываются для полного магнитного потока в основании зубцов (полюсов) ротора, который складывается из потока Φ_m и потока рассеяния, сцепленного с обмоткой возбуждения $\Phi_{f\sigma}$:

$$\Phi_2 = \Phi_m + \Phi_{f\sigma} = \sigma_f \Phi_m.$$

Характеристика холостого хода и намагничивания синхронной машины следующие:

характеристика холостого хода

$$E_f = f(I_f) \text{ или } E_f = f(F_{fm});$$

основная характеристика намагничивания

$$\Phi_m = f(F_{fm});$$

переходная характеристика намагничивания

$$\Phi_m = f(F_1);$$

характеристика намагничивания зазора

$$\Phi_m = f(F_\delta);$$

характеристика намагничивания для потока рассеяния

$$\Phi_{f\sigma} = f(F_1);$$

характеристика намагничивания магнитопровода ротора

$$\Phi_2 = f(F_2).$$

Магнитное поле в нагруженной синхронной машине образуется током в ОВ и симметричной системой токов в многофазной обмотке. В образовании поля взаимной индукции принимает участие МДС обмотки возбуждения с амплитудой $F_{fm} = w_f I_f$ и основная гармоническая МДС обмотки якоря с амплитудой

$$F_{am} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I w_1 k_{i1}}{p}.$$

С целью упрощения расчета поля статора его определяют как сумму полей от составляющих МДС по двум взаимно перпендикулярным осям ротора-модели: продольной оси d , совпадающей с осью полюсов и направленной по МДС F_{fm} , и поперечной осью q , совпадающей с осью промежутка между полюсами.

Воздействие первой гармонической МДС обмотки якоря (статора) на МДС обмотки возбуждения (полюсов). Это воздействие носит название явления реакции якоря. Реакция якоря оказывает влияние на характеристики и поведение синхронной машины как при установившемся режиме, так и при переходных режимах работы. Реакция якоря зависит от характера нагрузки.

При индуктивной нагрузке по обмотке якоря протекает система продольных размагничивающих токов. При емкостной нагрузке по обмотке якоря протекает система продольных намагничивающих токов. При активной нагрузке магнитное поле МДС якоря получается поперечным. Суммируясь с полем возбуждения, поперечное поле несколько увеличивает результирующее поле, отклоняя его от продольной оси.

Уравнение напряжений для фазы якоря *неявнополюсной* СМ при нагрузке, при пренебрежении активным сопротивлением фазы ОЯ имеет вид:

$$\dot{E}_f + \dot{E}_\sigma + \dot{E}_a = \dot{U},$$

где $\dot{E}_f = f(F_\delta)$ – ЭДС возбуждения, индуцированная полем взаимной индукции от МДС возбуждения F_{fm} , определяемая по спрямленной ХХХ; $\dot{E}_\sigma = -jX_\sigma \dot{I}$ – ЭДС рассеяния, индуциро-

ванная полем рассеяния токов якоря, определяемая через индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря X_σ ; $\dot{E}_a = -jX_a\dot{I} - \text{ЭДС}$ взаимной индукции якоря, индуцированная полем взаимной индукции от системы токов якоря; \dot{U} – фазное напряжение на выводах обмотки якоря.

Уравнение напряжений для фазы якоря *явнополюсной* СМ при нагрузке, при пренебрежении активным сопротивлением фазы ОЯ имеет вид:

$$\dot{E}_f + \dot{E}_\sigma + \dot{E}_{ad} + \dot{E}_{aq} = \dot{U},$$

где \dot{E}_{ad} и \dot{E}_{aq} – ЭДС взаимной индукции якоря, индуцированные полем взаимной индукции от системы токов \dot{I}_d и \dot{I}_q обмотки якоря, определяемые через главные индуктивные сопротивления X_{ad} и X_{aq} :

$$\dot{E}_{ad} = -jX_{ad}\dot{I}_d, \quad \dot{E}_{aq} = -jX_{aq}\dot{I}_q.$$

Эти соотношения позволяют записать уравнение напряжений якоря в другой форме:

$$\dot{E}_f = \dot{U} + jX_\sigma\dot{I} + jX_{aq}\dot{I}_q + jX_{ad}\dot{I}_d$$

или

$$\dot{E}_f = \dot{U} + jX_q\dot{I}_q + jX_d\dot{I}_d,$$

где $X_d = X_\sigma + X_{ad}$, $X_q = X_\sigma + X_{aq}$ – полные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной оси.

Записанному уравнению соответствует векторная диаграмма для явнополюсной СМ (без учета насыщения в режиме генератора), которая называется диаграммой Blondеля.

При эксплуатации синхронного генератора, питающего автономную нагрузку, режим работы изменяется в зависимости от того, какие потребители электроэнергии подсоединены к генератору. В нормальных эксплуатационных режимах, когда мощность, потребляемая нагрузкой, не превосходит номинальной, амплитуда и частота генератора должны быть близкими к номинальным. В современных установках это достигается автоматическим регулированием возбуждения и частоты вращения приводного двигателя. СГ при автономной нагрузке имеет следующие характеристики.

Регулировочная характеристика генератора – это зависимость тока возбуждения от тока якоря $I_f = f(I)$ при постоянном напряжении, угловой скорости вращения и коэффициенте мощности нагрузки ($U = \text{const}$, $\Omega = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$).

Регулировочная характеристика показывает, как нужно регулировать ток возбуждения I_f , чтобы при изменении сопротивления нагрузки напряжение на зажимах генератора оставалось неизменным.

Внешняя характеристика генератора – это зависимость напряжения на выводах генератора от тока якоря $U = f(I)$ при постоянном токе возбуждения, угловой скорости вращения и коэффициенте мощности нагрузки ($I_f = \text{const}$, $\Omega = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$).

Внешние характеристики показывают, как изменяется напряжение на зажимах генератора при увеличении тока нагрузки, если ток возбуждения и характер нагрузки неизменны.

Характеристика короткого замыкания – это зависимость тока якоря от тока возбуждения $I_\epsilon = f(I_f)$ при симметричном коротком замыкании на выводах обмотки якоря.

Нагрузочная характеристика – это зависимость напряжения на выводах генератора от тока возбуждения $U(I_f)$ при постоянном токе якоря, угловой скорости вращения и коэффициенте мощности нагрузки ($I = const, \Omega = const, \cos\varphi = const$).

Нагрузочная характеристика показывает, как изменяется напряжение на зажимах генератора при варьировании тока возбуждения, если ток якоря поддерживается постоянным по амплитуде и фазе за счет регулирования сопротивления нагрузки.

подавляющая часть энергии вырабатывается синхронными генераторами, включенными параллельно и питающими общую нагрузку. Т.к. параллельно включенные генераторы работают синхронно друг с другом или находятся в синхронизме, то включение их на параллельную работу называется *синхронизацией*.

При достаточно большой мощности электрической системы по сравнению с мощностью одной машины мощность системы может считаться бесконечно большой. Это означает, что при любых изменениях режима работы включенной в систему синхронной машины (сопровождающихся изменениями тока якоря и развиваемой ею мощности) частота и амплитуда напряжения системы остаются постоянными.

При включении СГ в сеть на параллельную работу необходимо соблюдать следующие условия: ЭДС генератора в момент подключения его к сети должна быть равна и противоположна по фазе напряжению сети; частота генератора должна быть равна частоте переменного напряжения в сети; порядок следования фаз на выводе генератора должен быть таким же, что и на зажимах сети.

Включить генератор в сеть с параллельно работающими генераторами можно или способом точной синхронизации, или способом самосинхронизации.

Тема 3. Асинхронные машины.

Асинхронной машиной называется двухобмоточная электрическая машина переменного тока, у которой только одна обмотка (первичная) получает питание от электрической сети с постоянной частотой ω_1 , а вторая обмотка (вторичная) замыкается накоротко или на электрические сопротивления.

Асинхронные машины в основном применяют в качестве двигателей.

В зависимости от конструктивного исполнения ротора различают два основных типа асинхронных двигателей: двигатели с короткозамкнутой обмоткой на роторе и двигатели с фазной обмоткой на роторе.

К числу номинальных данных асинхронных двигателей относятся: механическая мощность, развиваемая двигателем; частота сети; линейное напряжение статора; линейный ток статора; частота вращения ротора; коэффициент мощности; коэффициент полезного действия.

Если у трехфазной обмотки статора выведены начала и концы фаз и она может быть включена в звезду или треугольник, то указываются линейные напряжения и токи для каждого из возможных соединений в виде дроби $U_{лY}/U_{л\Delta}$ и $I_{лY}/I_{л\Delta}$.

Скольжение асинхронной машины

$$s = (\Omega_1 - \Omega) / \Omega_1,$$

где $\Omega_1 = 2\pi f_1/p = \omega_1/p$ – угловая скорость магнитного поля взаимоиндукции; Ω – угловая скорость вращения ротора.

В режиме двигателя: $\Omega_1 > \Omega > 0$ и скольжение s положительно ($0 < s \leq 1$).

В режиме генератора: $\Omega > \Omega_1$ и скольжение s отрицательно ($-\infty < s < 0$).

В режиме тормоза: $\Omega < 0$ и скольжение положительно ($1 < s < \infty$).

Кроме этих трех режимов работы асинхронной машины, в которых происходит электромеханическое преобразование энергии, существуют два характерных режима: режим идеального холостого хода ($s = 0, \Omega = \Omega_1$) и режим короткого замыкания ($s = 1, \Omega = 0$), при которых не происходит преобразования энергии.

Частота вращения ротора

$$n = n_1 (1 - s),$$

где $n_1 = 30\Omega_1/\pi$ – синхронная частота вращения.

Действующее значение ЭДС взаимной индукции в фазе статора (без учета насыщения)

$$E_1 = (2\pi/\sqrt{2}) f_1 w_1 k_{01} \Phi_m.$$

Действующее значение ЭДС рассеяния в фазе статора

$$E_{1\sigma} = X_1 I_1,$$

где $X_1 = 2\pi f_1 L_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора; I_1 – ток в фазе статора.

Действующее значение ЭДС взаимной индукции в фазе ротора (без учета насыщения):

при неподвижном роторе ($\Omega = 0, s = 1$)

$$E_2 = (2\pi/\sqrt{2}) f_1 w_2 k_{02} \Phi_m;$$

при вращающемся роторе

$$E_{2s} = (2\pi/\sqrt{2}) f_2 w_2 k_{02} \Phi_m = sE_2,$$

где $f_2 = sf_1$ – частота ЭДС в фазах ротора.

Действующее значение ЭДС рассеяния ротора

$$E_{2\sigma s} = X_{2s} I_2,$$

где $X_{2s} = 2\pi f_2 L_{2\sigma} = sX_2$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора при скольжении s ; $X_2 = 2\pi f_1 L_{2\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки неподвижного ротора.

Ток в фазе ротора, обусловленный действием ЭДС E_{2s} ,

$$I_2 = E_{2s} / \sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}.$$

Ток \dot{I}_2 отстает от ЭДС \dot{E}_{2s} на угол $\beta_2 = \arctg X_{2s}/R_2$, где R_2 – активное сопротивление фазы обмотки ротора для тока частоты f_2 .

Уравнение напряжений обмотки статора и ротора

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + (R_1 + jX_1)\dot{I}_1, \quad \dot{E}_{2s} = (R_2 + jX_{2s})\dot{I}_2,$$

где $R_1 + jX_1 = \underline{Z}_1$ – полное сопротивление фазы обмотки статора.

Механическая мощность, развиваемая электромагнитным моментом M при перемещении ротора с угловой скоростью Ω .

$$P_{\text{мех}} = \dot{M}\Omega = M\Omega_1 (1 - s).$$

Полезная механическая мощность, передаваемая через вал исполнительной машине,

$$P_2 = M_2 \Omega,$$

где M_2 – полезный момент на валу двигателя.

Электромагнитная мощность

$$P_{ЭМ} = P_1 - P_{Э1} - P_M.$$

Электромагнитная мощность $P_{ЭМ}$ меньше потребляемой мощности на $P_{Э1}$ и P_M , где $P_{Э1} = m_1 I_1'^2 R_1$ – потери электрические в активном сопротивлении обмотки статора; $P_M = m_1 E_1 I_0 \cos \beta_0'$ – потери магнитные в магнитопроводе статора.

Механическая мощность

$$P_{Мех} = P_{ЭМ} - P_{Э2}.$$

Механическая мощность $P_{Мех}$ отличается от электромагнитной мощности $P_{ЭМ}$ на величину электрических потерь в активном сопротивлении обмотки ротора:

$$P_{Э2} = m_2 I_2'^2 R_2 = m_1 I_2' R_2'^2 = s P_{ЭМ}.$$

Полезная механическая мощность P_2 меньше механической мощности, сообщаемой ротору $P_{Мех} = (1 - s) P_{ЭМ}$, на величину механических P_T и добавочных P_D потерь:

$$P_2 = P_{Мех} - P_T - P_D.$$

Коэффициент полезного действия машины в режиме двигателя

$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \Sigma P / P_1,$$

где $\Sigma P = P_M + P_{Э1} + P_{Э2} + P_T + P_D$.

Уравнение напряжений эквивалентного неподвижного ротора

$$\dot{E}_2 = (R_2/s) \dot{I}_2 + jX_2 I_2 = (R_2 + jX_2) \dot{I}_2 + R_2 \frac{(1-s) I_2}{s},$$

где $R_2 (1-s)/s = R_{Мех}$ – дополнительное сопротивление, вводимое в фазы обмотки неподвижного ротора.

Мощность, выделяемая в дополнительном сопротивлении обмотки ротора неподвижной машины,

$$m_2 R_2 \frac{1-s}{s} I_2^2 = P_{Мех},$$

где $P_{Мех} = P_{Э2} (1-s)/s$ – механическая мощность, развиваемая ротором вращающейся машины.

ЭДС обмотки ротора, приведенная к статорной обмотке,

$$E_2' = k_U E_2 = E_1,$$

где $k_U = w_1 k_{01} / (w_2 k_{02})$ – коэффициент приведения для напряжения ротора.

Сопротивления фазы обмотки ротора, приведенные к статорной обмотке:

$$R_2' = k_Z R_2, \quad X_2' = k_Z X_2, \quad Z_2' = k_Z Z_2, \quad R_{Мех}' = R_2' (1-s)/s,$$

где $k_Z = k_U / k_I = m_1 (w_1 k_{01})^2 / [m_2 (w_2 k_{02})^2]$ – коэффициент приведения сопротивлений.

Основные уравнения электрических цепей асинхронной машины, приведенной к трансформатору:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \underline{Z}_1 I_1, \quad \dot{E}_2' = \dot{E}_1 = \underline{Z}_2' \dot{I}_2' + R'_{\text{мех}} \dot{I}_2'; \\ \dot{E}_2' &= \dot{E}_1 = -\underline{Z}_0 \dot{I}_0, \quad \dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_0. \end{aligned}$$

Основным уравнениям асинхронной машины соответствует пространственно-временная диаграмма асинхронной машины, приведенной к трансформатору.

Схемы замещения асинхронной машины

Т-образная схема замещения (рис. 3.1, а):

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_1 \frac{1 + Y_0 \underline{Z}'_{2\varepsilon}}{\underline{Z}_1 + \underline{C}_1 \underline{Z}'_{2\varepsilon}}, \quad -\dot{I}_2' = \dot{U}_1 \frac{1}{\underline{Z}_1 + \underline{C}_1 \underline{Z}'_{2\varepsilon}},$$

где $\underline{Z}'_{2\varepsilon} = R'_2/s + jX'_2$, $Y_0 = 1/\underline{Z}_0$, $\underline{C}_1 = (\underline{Z}_0 + \underline{Z}_1)/\underline{Z}_0 = c' + jc''$,

$$c' = [(R_0 + R_1)R_0 + (X_0 + X_1)X_0]/(R_0^2 + X_0^2),$$

$$c'' = [(X_0 + X_1)R_0 - (R_0 + R_1)X_0]/(R_0^2 + X_0^2).$$

Г-образная схема замещения (рис. 3.1, б):

$$\dot{I}_{00} = \dot{U}_1/(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_0), \quad \dot{I}_2'' = -\dot{I}_2'/\underline{C}_1.$$

В упрощенной Г-образной схеме замещения (рис. 3.1, в)

$$c'' = 0, \quad c' = 1, \quad \underline{C}_1 = 1, \quad \dot{I}_{00} \approx \dot{I}_0, \quad \dot{I}_2'' = -\dot{I}_2'.$$

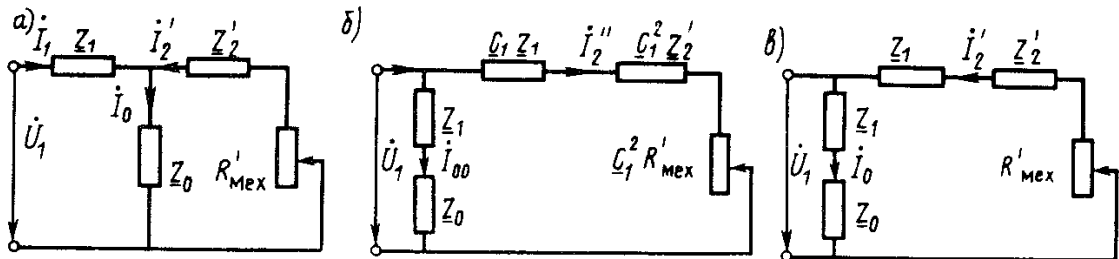


Рис.3. Схемы замещения асинхронной машины

Тема 4. Машины постоянного тока.

Машиной постоянного тока называется электрическая машина, обмотка якоря которой соединяется с электрической сетью постоянного тока с помощью механического преобразователя частоты. Машина постоянного тока используется в промышленности в качестве двигателя и генератора.

К номинальным данным машины постоянного тока относятся: номинальная мощность (для генераторов – полезная мощность на зажимах машины, отдаваемая в сеть, для двигателей – полезная механическая мощность на валу); ток цепи якоря, напряжение на главных зажимах машины, частота вращения и коэффициент полезного действия.

Преобразование энергии в генераторном режиме.

Механическая мощность, подводимая к валу машины,

$$P_1 = M_1 \Omega,$$

где M_1 – вращающий момент первичного двигателя.

Механическая мощность, преобразуемая электромагнитным путем в электромагнитную мощность,

$$P_{\text{мех}} = P_1 - P_T - P_M - P_D = M\Omega = P_{\text{эм}},$$

где P_T – механические потери; P_M – магнитные потери в зубцах и ярме якоря; P_D – добавочные потери; M – механический вращающий момент, уравнивающий электромагнитный момент.

Электромагнитная мощность

$$P_{\text{эм}} = M\Omega = c_0 I_{\text{я}} \Phi \Omega = E I_{\text{я}}.$$

Электрическая мощность, снимаемая со щеток якоря,

$$P_{\text{я}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{э}} = (U + R_{\text{я}} I_{\text{я}}) I_{\text{я}} - R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2 = U I_{\text{я}},$$

где $P_{\text{э}} = R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2$ – электрические потери в цепи якоря.

Полезная электрическая мощность

$$P = P_{\text{я}} - P_{\text{в}} = U I_{\text{я}} - U I_{\text{в}} = U I,$$

где $P_{\text{в}} = R_{\text{в}} I_{\text{в}}^2$ – мощность, расходуемая на питание обмотки независимого (параллельного) возбуждения; $I_{\text{в}}$ – ток параллельной обмотки возбуждения; $I = I_{\text{я}} - I_{\text{в}}$ – ток выводов машины; $R_{\text{в}}$ – сопротивление цепи возбуждения с учетом регулировочного реостата.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = P/P_1 = 1 - \Sigma P/(P + \Sigma P),$$

где $\Sigma P = P_T + P_M + P_D + P_{\text{э}} + P_{\text{в}}$ – сумма потерь.

Преобразование энергии в режиме двигателя.

В режиме двигателя $U > E$, ток $I_{\text{я}} < 0$, поэтому мощности P_1 , $P_{\text{мех}}$, $P_{\text{эм}}$, P и моменты M_1 , M_2 получаются отрицательными и полезная механическая мощность P_1 меньше потребляемой из сети электрической мощности P на потери в машине ΣP .

Коэффициент полезного действия

$$\eta = |P_1|/|P| = 1 - \Sigma P/(|P_1| + \Sigma P).$$

Генераторы постоянного тока.

По схеме включения обмоток возбуждения различают: генераторы с независимым возбуждением – обмотка возбуждения питается от постороннего источника; генераторы с параллельным возбуждением – обмотка возбуждения включается на зажимы якоря; генераторы с последовательным возбуждением – обмотка возбуждения включается последовательно с якорем; генераторы со смешанным возбуждением, имеющие две обмотки – параллельную и последовательную.

Условия самовозбуждения при холостом ходе: наличие остаточной намагниченности; включение обмотки возбуждения, при котором ток, появившийся в ней под действием $E_{\text{ост}}$, усиливает остаточное магнитное поле; тангенс угла наклона линейной части характеристики холостого хода больше тангенса угла наклона характеристики напряжения на обмотке возбуждения $U_{\text{в}} = R_{\text{в}0} I_{\text{в}}$, $R_{\text{в}0} \leq (dE/dI_{\text{в}}) I_{\text{в}} = 0$, где $R_{\text{в}0} = R_{\text{в}} + R_{\text{р}}$; $R_{\text{р}}$ – регулировочное сопротивление в цепи возбуждения.

Характеристики генератора при нагрузке ($\Omega = \text{const}$).

Внешняя характеристика

$$U = f(I) \text{ при } R_{\text{в0}} = R_{\text{в}} + R_{\text{р}} = \text{const}$$

Регулировочная характеристика

$$I = f(I_{\text{в}}) \text{ при } U = \text{const}.$$

Нагрузочная характеристика

$$U = f(I_{\text{в}}) \text{ при } I_{\text{я}} = \text{const}.$$

Характеристика короткого замыкания

$$I = f(I_{\text{в}}) \text{ при } U = 0.$$

По схемам включения обмоток возбуждения двигателя постоянного тока аналогичны генераторам и отличаются только тем, что в них предусматриваются дополнительные реостаты, предназначенные для пуска и регулирования частоты вращения двигателя.

Ток в обмотке якоря и угловая скорость вращения двигателя

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} = \frac{U - c_0 \Omega \Phi}{R_{\text{я}}}; \quad \Omega = \frac{U - R_{\text{я}} I_{\text{я}}}{c_0 \Phi}.$$

Начальный пусковой ток двигателя при пуске с помощью пускового реостата

$$I_{\text{я0}} = U / (R_{\text{я}} + R_{\text{п0}}),$$

где $R_{\text{п0}}$ – начальное значение пускового сопротивления, которое по мере увеличения Ω и E постепенно уменьшают.

Механическая и моментная характеристики двигателя в установившемся режиме, соответственно:

$$\Omega = f(M) = U / (c_0 \Phi) - R_{\text{я}} M / (c_0^2 \Phi^2),$$

$$M = f(I_{\text{я}}) = c_0 I_{\text{я}} \Phi,$$

при $U = \text{const}$, $R_{\text{р}} = \text{const}$, $R_{\text{ш}} = \text{const}$, $R_{\text{и}} = \text{const}$, где $R_{\text{р}}$ – сопротивление регулировочного реостата в цепи параллельной обмотки; $R_{\text{ш}}$, $R_{\text{и}}$ – сопротивления реостата, шунтирующие последовательную обмотку и якорь (см. рис. 64–41 из [1]).

Для определения зависимости $\Phi = f(I_{\text{я}})$ используют графические построения с помощью характеристики намагничивания активного слоя машины или параболическую аппроксимацию характеристики холостого хода.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Задачей практических занятий является закрепление знаний, полученных на лекциях, выработка практических навыков применения информации, необходимой инженеру в процессе его деятельности. При решении задач обращается внимание на логику решения, на правильность используемых методов. После этого проводится анализ полученного решения, результат сопоставляется с реальными объектами, что вырабатывает у студентов инженерную интуицию.

К выполнению заданий следует приступать после прочтения теоретического материала, изложенного на лекциях и в рекомендуемой литературе. При возникновении затруднений с выполнением заданий необходимо проконсультироваться у преподавателя. Далее по каждой теме приводится по одному примеру или одной задаче для демонстрации разделов дисциплины «Электрические машины».

Тема 1. Введение. Однофазные и трехфазные трансформаторы.

Задача. Электрические потери в обмотках однофазного трансформатора $P_{\gamma} = 200$ Вт, магнитные потери $P_M = 45$ Вт. Известны реактивная мощность, необходимая для образования магнитного поля взаимной индукции $Q_0 = 214$ вар, и реактивная мощность для образования магнитного поля рассеяния обмоток $Q_{\sigma} = Q_{\sigma 1} + Q_{\sigma 2} = 310$ вар. Определить коэффициент мощности первичной сети, если при напряжении $U_2 = 220$ В и отстающем токе $I_2 = 30$ А коэффициент мощности вторичной сети $\cos\varphi_2 = 0,8$.

Исходные данные:

$$P_{\gamma} = 200 \text{ Вт}; P_M = 45 \text{ Вт}; Q_0 = 214 \text{ вар}; Q_{\sigma} = 310 \text{ вар}; U_2 = 220 \text{ В}; I_2 = 30 \text{ А}; \cos\varphi_2 = 0,8.$$

Решение.

Активная и реактивная мощности, потребляемые приёмником:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 = 220 \cdot 30 \cdot 0,8 = 5\,280 \text{ Вт};$$

$$Q_2 = U_2 I_2 \sin\varphi_2 = 220 \cdot 30 \cdot 0,6 = 3\,960 \text{ вар}.$$

Активная и реактивная мощности, потребляемые из сети:

$$P_1 = P_{\gamma} + P_M + P_2 = 200 + 45 + 5\,280 = 5\,525 \text{ Вт};$$

$$Q_1 = Q_{\sigma} + Q_0 + Q_2 = 310 + 214 + 3\,960 = 4\,484 \text{ вар}.$$

Коэффициент мощности первичной сети:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} = \frac{5\,525}{\sqrt{5\,525^2 + 4\,484^2}} = 0,776.$$

Коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{5\,280}{5\,525} = 0,96.$$

Тема 2. Электромагнитные процессы в синхронных машинах при холостом ходе и нагрузке.

Задача. Определить продольную и поперечную составляющие МДС статора (якоря) трехфазного СГ номинальной мощностью 150 кВА при напряжении 6,3 кВ, если его четырехполюсная обмотка статора с обмоточным коэффициентом $k_{o\sigma 1} = 0,92$ содержит в каждой фазе по $w_l = 312$ последовательно соединенных витков. Нагрузка генератора номинальная при $\cos\psi_1 = 0,8$.

Решение. Номинальный ток нагрузки:

$$I_1 = \frac{S_{iii}}{\sqrt{3}U_{1iii}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 13,76 \text{ А}.$$

Максимальное значение МДС трехфазной обмотки статора:

$$F_1 = \frac{1,35 I_1 w_1 k_{i\dot{a}1}}{p} = \frac{1,35 \cdot 13,76 \cdot 312 \cdot 0,92}{2} = 2666 \text{ A}.$$

Поперечная составляющая МДС статора:

$$F_{q1} = F_1 \cos \psi_1 = 2666 \cdot 0,8 = 2133 \text{ A}.$$

Продольная составляющая МДС статора:

$$F_{d1} = F_1 \sin \psi_1 = 2666 \cdot 0,6 = 1600 \text{ A}.$$

Тема 3. Асинхронные машины.

Задача. Трехфазный асинхронный двигатель работает от сети напряжением 660 В при соединении обмоток статора звездой. При номинальной нагрузке он потребляет из сети мощность $P_1 = 16,7$ кВт при коэффициенте мощности $\cos \varphi_1 = 0,8$. Частота вращения $n_{ном} = 1470$ об/мин. Требуется определить КПД двигателя $\eta_{ном}$, если магнитные потери двигателя $P_m = 265$ Вт, а механические потери $P_{мех} = 123$ Вт. Активное сопротивление фазы обмотки статора при рабочей температуре 115°C составляет $r_1 = 1,1$ Ом.

Решение. Ток в фазе обмотки статора

$$I_{1ii} = \frac{P_1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{1ii} \cos \varphi_1} = \frac{16,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,8} = 16,8 \text{ A}.$$

Электрические потери в обмотке статора:

$$P_{y1} = 3 I_{1ii}^2 r_1 = 3 \cdot 16,8^2 \cdot 1,1 = 931 \text{ A}\hat{\delta}.$$

Электромагнитная мощность двигателя:

$$P_{y1} = P_1 - (P_i + P_{y1}) = 16,7 \cdot 10^3 - (265 + 931) = 15504 \text{ A}\hat{\delta}.$$

Номинальное скольжение:

$$s_{ii} = \frac{n_1 - n_{ii}}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02.$$

Электрические потери в обмотке ротора:

$$P_{y2} = s_{ii} P_{y1} = 0,02 \cdot 15504 - (265 + 931) = 310 \text{ A}\hat{\delta}.$$

Добавочные потери:

$$P_{\dot{a}\dot{a}} = 0,005 P_1 = 0,005 \cdot 16,7 \cdot 10^3 = 83 \text{ A}\hat{\delta}.$$

Суммарные потери:

$$\Sigma P = P_i + P_{y1} + P_{i\dot{a}\delta} + P_{\dot{a}\dot{a}} = 1712 \text{ A}\hat{\delta}.$$

КПД двигателя в номинальном режиме:

$$\eta_{i\dot{i}} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1} = 1 - \frac{1712}{16,7 \cdot 10^3} = 0,898.$$

Тема 4. Машины постоянного тока.

Задача. Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего следующие паспортные данные : мощность на валу $P_{ном} = 2,5 \text{ кВт}$; напряжение $U_{ном} = 110 \text{ В}$; скорость вращения якоря $\omega_{ном} = 157,1 \text{ с}^{-1}$; КПД $\eta_{ном} = 0,83$, рассчитать:

1. естественные механическую и электромеханическую характеристики;
2. искусственные механическую и электромеханическую характеристики; при включении в цепь якоря добавочного сопротивления $R_d = 1,5 \text{ Ом}$; определить частоту вращения якоря двигателя для момента сопротивления $M_c = 0,8 \cdot M_{ном}$ при работе двигателя на естественной и искусственной характеристиках;

Исходные данные:

$$P_{i\dot{i}} = 2500 \text{ А}\hat{\text{д}} ; U_{i\dot{i}} = 110 \text{ А} ; \omega_{i\dot{i}} = 157,1 \tilde{\text{н}}^{-1} ; \eta_{i\dot{i}} = 0,83 ;$$

$$R_{\tilde{\text{а}}} = 1,5 \hat{\text{И}} ; M_{\tilde{\text{н}}} = 0,8 \cdot M_{i\dot{i}} ; I_1 = 2 \cdot I_{i\dot{i}} ; I_2 = 1,4 \cdot I_{i\dot{i}} .$$

Решение.

1. Естественная механическая и электромеханическая характеристики.

Номинальная мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_{1i\dot{i}} = \frac{P_{i\dot{i}}}{\eta_{i\dot{i}}} = \frac{2500}{0,83} = 3012 \text{ А}\hat{\text{д}} .$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{i\dot{i}} = \frac{P_{i\dot{i}}}{\omega_{i\dot{i}}} = \frac{2500}{157,1} = 15,9 \text{ А} \cdot \tilde{\text{и}} .$$

Номинальный ток якоря:

$$I_{i\dot{i}} = \frac{P_{1i\dot{i}}}{U_{i\dot{i}}} = \frac{3012}{110} = 27,4 \text{ А} .$$

Коэффициент потока и ЭДС:

$$C = \frac{M_{i\dot{i}}}{I_{i\dot{i}}} = \frac{15,9}{27,4} = 0,581 \text{ А} \cdot \tilde{\text{н}} .$$

Угловая скорость идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{U_{i\dot{i}}}{C} = \frac{110}{0,581} = 188 \tilde{\text{н}}^{-1} .$$

Номинальная ЭДС якоря:

$$E_{i\dot{i}} = C \cdot \omega_{i\dot{i}} = 0,581 \cdot 157,1 = 91,3 \text{ А} .$$

Сопротивление обмотки якоря:

$$R_{\dot{y}} = \frac{U_{i\dot{i}\dot{i}} - E_{i\dot{i}\dot{i}}}{I_{i\dot{i}\dot{i}}} = \frac{110 - 91,3}{27,4} = 0,683 \hat{I} \dot{i}$$

Момент сопротивления и соответствующий ему ток:

$$M_{\dot{n}} = 0,8 \cdot M_{i\dot{i}\dot{i}} = 0,8 \cdot 15,9 = 12,7 \hat{I} \dot{i} ;$$

$$I_{\dot{n}} = 0,8 \cdot I_{i\dot{i}\dot{i}} = 0,8 \cdot 27,4 = 21097 \hat{A}$$

Частота вращения якоря двигателя и ЭДС для момента сопротивления M_c при работе на естественной характеристике:

$$\omega_{\dot{a}\dot{n}}(M_{\dot{n}}) = \omega_0 - \frac{R_{\dot{y}}}{C^2} M_{\dot{n}} = 188 - \frac{0,683}{0,581^2} \cdot 12,7 = 163,5 \hat{n}^{-1};$$

$$E_{\dot{a}\dot{n}} = C \cdot \omega_{\dot{a}\dot{n}} = 0,581 \cdot 163,5 = 95 \hat{A}$$

Формулы для построения естественных характеристик:

$$\omega_{\dot{a}}(M) = \omega_0 - \frac{R_{\dot{y}}}{C^2} \cdot M ; \quad \omega_{\dot{a}}(I) = \omega_0 - \frac{R_{\dot{y}}}{C} \cdot I .$$

2. Искусственная механическая и электромеханическая характеристики.

Частота вращения якоря двигателя и ЭДС для момента сопротивления M_c при работе на искусственной характеристике:

$$\omega_{\dot{e}\dot{n}}(M_{\dot{n}}) = \omega_0 - \frac{R_{\dot{y}} + R_{\dot{y}}}{C^2} M_{\dot{n}} = 188 - \frac{0,683 + 1,5}{0,581^2} \cdot 12,7 = 107 \hat{n}^{-1};$$

$$E_{\dot{e}\dot{n}} = C \cdot \omega_{\dot{e}\dot{n}} = 0,581 \cdot 107 = 62,2 \hat{A}$$

Формулы для построения искусственных характеристик:

$$\omega_{\dot{e}}(M) = \omega_0 - \frac{R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}}}{C^2} \cdot M ; \quad \omega_{\dot{e}}(I) = \omega_0 - \frac{R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}\dot{y}}}{C} \cdot I .$$

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА И ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Учебный план предусматривает выполнение курсового проекта по электрическим машинам, включающим проектирование трансформатора и синхронного гидрогенератора. Наличие пособий по соответствующим машинам позволяет студентам приступить к выполнению курсового проекта по трансформаторам с самого начала семестра. С этой целью выделяется практическое занятие. Спустя два месяца студенты получают задание на КП по гидрогенераторам. Для этой цели выделяются два практических занятия в соответствующее время.

Проект выполняется с использованием пособий:

Усенко В.И., Русинов В.Л. Проектирование трансформаторов: Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. Ун-т, 2014, 59 с.

Усенко В.И., Русинов В.Л. Расчет гидрогенераторов: Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. Ун-т, 2004, 113 с.

Критерии оценки курсового проекта на защите курсового проекта.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент изучил основные положения теории проектирования трансформаторов и гидрогенераторов, особенности их конструкции, методику определения основных размеров и построения эксплуатационных характеристик.

Оценка «хорошо» ставится, если студент изучил основные положения теории проектирования трансформаторов и гидрогенераторов, особенности их конструкции, методику определения основных размеров и построения эксплуатационных характеристик, выбор типа обмоток и их расчет.

Оценка «отлично» ставится, если студент изучил основные положения теории проектирования трансформаторов и гидрогенераторов, особенности их конструкции, методику определения основных размеров и построения эксплуатационных характеристик, выбор типа обмоток и их расчет, методику расчета магнитной цепи трансформаторов и выбор размеров и основных параметров обмотки возбуждения гидрогенераторов.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа представляет собой особую, высшую степень учебной деятельности. Она обусловлена индивидуальными психологическими различиями обучающегося и личностными особенностями и требует высокого уровня самосознания, рефлексивности. Самостоятельная работа может осуществляться как во внеаудиторное время (дома, в лаборатории), так и на аудиторных занятиях в письменной или устной форме.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам. Организуется, обеспечивается и контролируется данный вид деятельности студентов соответствующими кафедрами.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т. д. Значимость самостоятельной работы выходит далеко за рамки отдельного предмета, в связи с чем выпускающие кафедры должны разрабатывать стратегию формирования системы умений и навыков самостоятельной работы. При этом следует исходить из уровня самостоятельности абитуриентов и требований к уровню самостоятельности выпускников, с тем, чтобы за весь период обучения достаточный уровень был достигнут.

При проведении самостоятельной работы, связанной с проработкой теоретического материала, студентам предлагается законспектировать рассматриваемый вопрос, в случае необходимости задать возникшие вопросы на практическом занятии или на консультации.

При изучении дисциплины «Электрические машины» практикуются следующие виды и формы самостоятельной работы студентов:

- выполнение практических работ
- подготовка к устному опросу
- подготовка к тестированию
- подготовка к письменной контрольной работе, тестированию, контрольной точке.

Самостоятельная работа тесно связана с контролем (контроль также рассматривается как завершающий этап выполнения самостоятельной работы), при выборе вида и формы самостоятельной работы следует учитывать форму контроля.

Формы контроля при изучении дисциплины «Электрические машины»:

- устный опрос;
- контрольная работа;
- контрольная точка;
- письменная работа;

- тестирование.

Самостоятельная работа проводится в виде подготовительных упражнений для усвоения нового, упражнений при изучении нового материала, упражнений в процессе закрепления и повторения, упражнений проверочных и контрольных работ, а также для самоконтроля.

Для организации самостоятельной работы необходимы следующие условия:

- готовность студентов к самостоятельному труду;
- наличие и доступность необходимого учебно-методического и справочного материала;
- консультационная помощь.

Самостоятельная работа может проходить в лекционном кабинете, лаборатории, компьютерном зале, библиотеке, дома. Самостоятельная работа тренирует волю, воспитывает работоспособность, внимание, дисциплину и т.д.

Рекомендации по организации аудиторной самостоятельной работы

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы являются:

- выполнение практических работ по инструкциям; работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными;
- само- и взаимопроверка выполненных заданий;

Выполнение практических работ осуществляется на практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными может реализовываться на лекционных и практических занятиях. Данные источники информации могут быть представлены на бумажном и/или электронном носителях, в том числе, в сети Internet. Преподаватель формулирует цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само- и взаимопроверка выполненных заданий чаще используется на лекционном, практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

Рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;
- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирова-

ние, контент-анализ и др.); подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии, заданий в тестовой форме и др.;

– для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; составление схем; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

Ежедневно обучающийся должен уделять выполнению внеаудиторной самостоятельной работы в среднем не менее 3 часов.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др.

Методические рекомендации по изучению теоретических основ дисциплин

Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплин включает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;

- знакомство с Интернет-источниками;

- подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы);

- подготовку и написание рефератов;

- выполнение контрольных работ;

- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы;

проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.

При выполнении самостоятельной работы по написанию реферата студенту необходимо: прочитать теоретический материал в рекомендованной литературе, периодических изданиях, на Интернет-сайтах; творчески переработать изученный материал и представить его для отчета в форме реферата, проиллюстрировав схемами, диаграммами, фотографиями и рисунками.

Тексты контрольных работ и рефератов должны быть изложены внятно, простым и ясным языком.

При ответе на экзамене необходимо: продумать и четко изложить материал; дать определение основных понятий; дать краткое описание явлений; привести примеры. Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.

Методические рекомендации к выполнению контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области физиологии и биохимии растений. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Контрольные выполняются студентами в аудитории, под наблюдением преподавателя. Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Епифанов, А.П. Электрические машины [Электронный ресурс]: учеб./ А.П. Епифанов.- М.: Лань, 2006.- 272с. (ЭБС Лань).
2. Гольдберг, О.Д. Электромеханика: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 512 с.
3. Абрамов, А.И. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. Уч. пособие для вузов./ А.И. Абрамов, А.В. Иванов-Смоленский . – М.: Высшая школа, 2001.
4. Кацман, М.М. Электрические машины {Текст}: Учебник: Рек. Минобр. РФ/ М.М. Кацман.- 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2009.- 470с.
5. Читечян В.И. Электрические машины. Сборник задач/ В.И. Читечян. – М.: Высшая школа, 1988.
6. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 350 с.
7. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов/ А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 320
6. Кривохижа, Я.В. Электрические машины переменного тока [Текст] : учеб. пособие/ Я.В. Кривохижа, А.Е. Серов; АмГУ. Эн.ф.- Благовещенск: Изд-во Амур. гос.ун-та, 2001. - 44 с.