

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:23:31

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

Введение

- Практическое занятие №1.**
1. Электромагнитные процессы в асинхронных машинах при холостом ходе
- Практическое занятие №2.**
2. Электромагнитные процессы в асинхронных машинах при нагрузке
- Практическое занятие №3.**
3. Потери, КПД асинхронного двигателя
- Практическое занятие №4.**
4. Механическая характеристика асинхронного двигателя
- Практическое занятие №5.**
5. Однофазный асинхронный двигатель
- Практическое занятие №6.**
6. Пусковые свойства асинхронного двигателя
- Практическое занятие №7.**
7. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя
- Практическое занятие №8.**
8. Электромагнитные процессы в синхронной машине
- Практическое занятие №9.**
9. Построение векторных диаграмм синхронного генератора
- Практическое занятие №10.**
10. Расчет основных параметров синхронных генераторов
- Практическое занятие №11.**
11. Расчет основных параметров синхронных двигателей

Литература

Введение

Электрическая машина является существенным элементом энергетических систем и установок, а также многочисленных электротехнических схем, поведение которых в значительной мере зависит от рабочих свойств электрической машины. Поэтому для специалистов, работающих в самых разнообразных отраслях электроэнергетики, является необходимым изучение основ теории электрических машин. Необходимо иметь физические представления о процессах, происходящих в электрических машинах, понимать принцип действия и знать их устройство. Инженерная практика имеет дело с количественными расчетами и теория должна дать для этого необходимую основу. Такой основой должно служить по возможности аналитическое описание рабочих свойств электрических машин и процессов, происходящих в них. Изучающему дисциплину нужно помимо физических представлений усвоить уравнения, описывающие электрические машины, параметры, входящие в эти уравнения, и, наконец, сами методы исследования.

Данные методические указания призваны оказать помощь студентам в практическом применении теоретических знаний для решения задач по расчету параметров и режимов работы электрических машин и трансформаторов.

Практическое занятие №.1

Тема. Электромагнитные процессы в асинхронных машинах при холостом ходе

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

При неподвижном роторе асинхронная машина (АМ) представляет собой трансформатор, отличающийся от обычного трансформатора по конструкции (распределённая обмотка на статоре и роторе, наличие зазора и т.п.). С физической точки зрения неподвижная АМ и трансформатор эквивалентны. Поэтому изучения АМ начинается со случая, когда $n_2=0$ а режим работы – холостой ход.

Пусть ротор АМ имеет фазное исполнение, и его обмотка разомкнута, а статор включён на сеть с напряжением U_1 и частотой f_1 . Этот режим эквивалентен трансформатору при холостом ходе, причём первичная обмотка – это статор, вторичная ротор. Под действием напряжения U_1 по обмотке статора протекает ток холостого хода, создающий магнитный поток, имеющий две

составляющие:

$\dot{\Phi}_m$ – основной поток,

$\dot{\Phi}_{\sigma 1}$ – поток рассеяния статора. Скорость

вращения потока n_1 определяется частотой питающей сети:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (11.1)$$

Основной поток создаёт в обеих обмотках ЭДС:
статора

$$E_1 = \sqrt{2}\pi f_1 w_1 k_{o\delta 1} \Phi_m; \quad (11.2)$$

ротора

$$E_2 = 2\pi f_1 w_2 k_{o\delta 2} \Phi_m. \quad (11.3)$$

Поток рассеяния создаёт в статоре ЭДС:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_{0x\sigma 1} \quad (11.4)$$

Где $x_{\sigma 1}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора. Статор обладает и активным сопротивлением, учитывая которое (а, следовательно, и падение напряжения в r_1), можно записать уравнение напряжений для х.х. обмотки статора заторможенной АМ:

$$\dot{U} = \dot{I}_0 r_1 + j x_{\sigma 1} \dot{I}_0 - \dot{E}_1 \quad (11.5)$$

По аналогии с трансформатором обмотку ротора АМ приводят к обмотке статора, причём $E'_2 = E_1$, а коэффициент приведения напряжений равен:

$$k_u = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 * k_{o\sigma 1}}{w_2 * k_{o\sigma 2}} \quad (11.6)$$

Для приведённой неподвижной АМ можно построить схему замещения, аналогичную схеме замещения трансформатора тоже определяется конструктивными особенностями.

Реактивная составляющая тока холостого хода АД:

$$I_{0p} = \frac{m_1 * p * F_{0m}}{\sqrt{2} * m_1 * w_1 * k_{o\sigma 1}} \quad (11.7)$$

где m_1 – число фаз обмотки статора;

p – число пар полюсов;

F_{0m} – амплитуда МДС, образующей поток взаимной индукции Φ_m .

Активная составляющая тока холостого хода:

$$I_{0a} = \frac{P_m}{m_1 * E_1} \quad (11.8)$$

где P_m – магнитные потери в магнитопроводе статора.

Пример 1. Принимая синусоидальное распределение индукции в зазоре, определить основной магнитный поток асинхронной машины при соединении обмоток статора звездой, если число последовательно соединенных витков фазы статора $w_1 = 336$, обмоточный коэффициент $k_{o\sigma 1} = 0,96$. Напряжение сети $U_c = 380$ В, частота $f = 50$ Гц. Известно также, что падение напряжения на сопротивлениях статорной обмотки составляет 4 % от фазного напряжения.

Решение:

ЭДС фазы обмотки статора:

$$E_1 = U_\phi - \Delta U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} - 0.04 \frac{380}{\sqrt{3}} = 210.86 \text{ В.}$$

Основной магнитный поток асинхронной машины:

$$\Phi_m = \frac{E_1}{\pi * \sqrt{2} * f_1 * w_1 * k_{o\sigma 1}} = \frac{210.86}{3.14 * \sqrt{2} * 50 * 336 * 0.96} = 2,95 * 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Контрольные вопросы и задания:

1. Для чего необходимо приведение асинхронной машины к машине с неподвижным ротором?
2. Сравните режим холостого хода трансформатора с режимом холостого хода асинхронно машины.
3. Как определить составляющие тока холостого хода обмотки статора асинхронной машины?
4. Как определить коэффициент приведения по напряжению?
5. Как выглядит схема замещения неподвижной приведенной асинхронной машины?

Задачи

1. Вычислить магнитный поток асинхронной машины при несинусоидальном распределении индукции, если фазная ЭДС, индуцированная в обмотке статора, $E_1 = 365$ В, число витков фазы статора $w_1 = 176$, обмоточный коэффициент $k_{o\delta 1} = 0,958$, коэффициент насыщения зубцового слоя $k_z = 1,2$, частота тока $f = 50$ Гц. Сравнить полученное значение магнитного потока с его величиной при ненасыщенной машине.
2. Найти ток идеального холостого хода четырехполюсного асинхронного двигателя по следующим данным: ЭДС, индуцированная в фазе статора, $E_{1\phi} = 213$ В, МДС, образующая основной магнитный поток, $F_{0m} = 457,5$ А; число витков обмотки статора $w_1 = 126$, обмоточный коэффициент $k_{o\delta 1} = 0,96$, магнитные потери в магнитопроводе статора $P_m = 150$ Вт.
3. Реактивная составляющая тока холостого хода шестиполюсного асинхронного двигателя $I_{0p} = 40$ А. Амплитуда МДС, образующей основной магнитный поток, $F_{0m} = 1088$ А, обмоточный коэффициент обмотки статора $k_{o\delta 1} = 0,886$. Определить число витков в фазе обмотки статора.
4. ЭДС, индуцированная в фазе обмотки статора асинхронного двигателя при вращении ротора с той же частотой, что и поле статора, $E_1 = 215$ В. Ток в статоре $I_0 = 5,6$ А. Определить составляющие главного сопротивления обмотки статора, если магнитные потери в магнитопроводе статора $P_m = 180$ Вт.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.2

Тема. Электромагнитные процессы в асинхронных машинах при нагрузке

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Скорость поля асинхронной машины n_1 называют синхронной, потому что она постоянна и определяется f_1 , а скорость ротора n_2 – асинхронной, потому что она меньше, чем n_1 .

Относительная разность скоростей вращения n_1 и n_2 называется скольжением s .

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (12.1)$$

В нормальных режимах АД $s = 1,5 \div 7\%$

Скорость вращения ротора:

$$n_2 = n_1(1 - s) \quad (12.2)$$

Частота тока в обмотке ротора:

$$f_2 = sf_1 \quad (12.3)$$

Режимы работы асинхронной машины:

- 1) двигательный: $0 < s \leq 1$;
- 2) генераторный: $-\infty < s < 0$;
- 3) тормозной (противовключение): $1 < s < \infty$.

Действующее значение ЭДС взаимной индукции в фазе вращающегося ротора:

$$E_{2s} = \pi\sqrt{2} f_1 \cdot s \cdot w_2 \cdot k_{об2} \cdot \Phi_m = sE_2. \quad (12.4)$$

Действующее значение ЭДС рассеяния ротора:

$$E_{2\sigma s} = x_{2s} I_2 \quad (12.5)$$

где индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора при скольжении:

$$x_{2s} = 2\pi f_2 L_{2\sigma} = s x_2 \quad (12.6)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния неподвижного ротора:

$$x_2 = 2\pi f_1 L_{2\sigma} \quad (12.7)$$

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

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{r_2^2 + x_{2s}^2}} \quad (12.8)$$

Уравнение токов асинхронной машины:

$$I_1 = I_0 + I_2' \quad (12.9)$$

где I_2' – приведенный ток ротора

$$I_2' = \frac{I_2}{k_1} \quad (12.10)$$

где k_1 – коэффициент приведения по току

$$k_1 = \frac{m_1 k_{\phi 1} w_1}{m_2 k_{\phi 2} w_2} \quad (12.11)$$

Коэффициенты приведения сопротивлений

$$k = k_U k_1 \quad (12.12)$$

Уравнение напряжений для режима КЗ АМ такое же, как и для трансформатора

$$\dot{U}_{1k} = -\dot{E}_{1k} + I_1 z_k \quad (12.13)$$

где $z_k = z_1 + z_2'$

Пример 1. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие данные: максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре $B_\delta = 1,5$ Тл, диаметр расточки статора $D_1 = 180$ мм, длина сердечника статора $l_1 = 141$ мм, число полюсов обмотки статора и ротора $2p = 4$, число последовательно соединенных витков в фазных обмотках статора $w_1 = 48$, ротора $w_2 = 8$, обмоточные коэффициенты статора и ротора $k_{\phi 1} = k_{\phi 2} = 0,93$. Определить фазные значения ЭДС в обмотке статора E_1 и в обмотке ротора при неподвижном его состоянии E_2 и вращающемся со скольжением $s = 8$ %, частоту тока в неподвижном и вращающемся роторе. Частота тока питающей сети $f_1 = 50$ Гц.

Решение:

Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi D_1}{2p} = \frac{3,14 \cdot 180}{4} = 141 \text{ мм.}$$

Основной магнитный поток

$$\Phi = \frac{2}{\pi} B_\delta * I_1 * \tau = \frac{2}{3,14} 1,5 * 180 * 10^{-3} * 141 * 10^{-3} = 0,019 \text{ Вб}$$

ЭДС фазной обмотки статора

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 k_{o61} \Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 48 \cdot 0,93 \cdot 0,019 = 188 \text{ В.}$$

ЭДС в обмотке неподвижного ротора

$$E_2 = 4,44 f_1 w_2 k_{o62} \Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 8 \cdot 0,93 \cdot 0,019 = 31 \text{ В.}$$

ЭДС во вращающемся роторе при скольжении

$$E_{2s} = s * E_2 = 0,08 \cdot 31 = 2,5 \text{ В.}$$

Частота тока в неподвижном роторе $f_2 = f_1 = 50$ Гц, частота во вращающемся роторе

$$f_2 = s f_1 = 0,08 \cdot 50 = 4 \text{ Гц.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Каким скольжением определяется двигательный режим работы асинхронной машины?
2. Как определить ЭДС вращения?
3. Как определяется коэффициент приведения сопротивления роторной цепи?
4. Каким образом обмотку ротора АМ приводят к обмотке ротора, а вращающуюся машину к неподвижной?

Задачи

1. Шестиполюсная асинхронная машина питается от трехфазной сети с частотой 60 Гц. Скольжение машины равно 0,025. Найти угловую скорость и частоту вращения поля и ротора. Как изменятся эти величины при частоте 400 Гц? В каком режиме работает машина?
2. Ротор асинхронного двигателя вращается с угловой скоростью $\omega = 298$ рад/с. В каком режиме и при каком скольжении будет работать машина в первый момент после переключения обмоток статора на противоположное направление вращения, если угловая скорость поля $\omega_1 = 314$ рад/с?
3. Ротор трехфазного асинхронного двигателя вращается с частотой $n = 1440$ об/мин. Определить ЭДС взаимной индукции в фазе ротора E_{2s} , если синхронная частота вращения $n_1 = 1500$ об/мин, а ЭДС при неподвижном роторе $E_2 = 200$ В.

4. ЭДС, индуцируемая в фазе ротора асинхронной машины при скольжении $s = 0,03$, равна 6 В. Найти ток в обмотке неподвижного ротора, если активное сопротивление фазы обмотки ротора $r_2 = 0,01$ Ом, а индуктивность рассеяния $L_{2\sigma} = 2,2 \cdot 10^{-4}$ Гн. Частота сети $f_1 = 50$ Гц.

5. Активное сопротивление фазы обмотки ротора асинхронной машины с фазным ротором $r_2 = 0,01$ Ом, ЭДС взаимной индукции в фазе ротора при неподвижном роторе $E_2 = 212$ В, ток $I_2 = 2400$ А. Определить индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки ротора при скольжении $s = 0,03$.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.3

Тема. Потери, КПД асинхронного двигателя

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции

- уравнения схемы замещения и характеристики

- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Из сети к первичной обмотке асинхронного двигателя подводится мощность:

$$P_1 = m_1 I_1 U_1 \cos \varphi_1 \quad (13.1)$$

Часть этой мощности теряется в виде электрических потерь в первичной обмотке

$$P_{эл1} = m_1 I_1^2 r_1 \quad (13.2)$$

а часть – в стали статора (магнитные потери)

$$P_{мг} = m_1 I_0^2 r_m = \frac{m_1 E_1^2}{r_m} \quad (13.3)$$

Оставшаяся часть передается электромагнитным способом на ротор, согласно схеме замещения (электромагнитная мощность)

$$P_{эм} = m_1 * I_2'^2 \frac{r_2}{s} = m_1 E_1 I_2' \cos \psi_2 \quad (13.4)$$

Часть $P_{эм}$ теряется в виде тепла в обмотке ротора (электрические потери в обмотке ротора)

$$P_{эл2} = m_1 * I_2'^2 * r_2' = m_2 * I_2^2 * r_2 \quad (13.5)$$

оставшаяся часть превращается в механическую мощность, развиваемую на роторе

$$P_{мх} = P_{эм} - p_{эл2} = m_2 I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s} \quad (13.6)$$

часть $P_{\text{мх}}$ теряется в машине в виде механических потерь $p_{\text{мх}}$.

Добавочные потери рассчитать очень трудно, поэтому их принимают равными 0,5% от P_1 при $I_1 = I_n$.

Полезная мощность на валу

$$P_2 = P_{\text{мх}} - p_{\text{мх}} - p_{\text{д}}; \quad (13.7)$$

$$P_2 = P_1 - \Sigma p, \quad (13.8)$$

где суммарные потери

$$\Sigma p = p_{\text{эл1}} + p_{\text{мг}} + p_{\text{эл2}} + p_{\text{мх}} + p_{\text{д}} \quad (13.9)$$

КПД двигателя определяется как

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \quad (13.10)$$

Из выражения для $P_{\text{эм}}$ и $p_{\text{эл2}}$ вытекают соотношения

$$p_{\text{эл2}} = s P_{\text{эм}}; \quad (13.11)$$

$$P_{\text{мх}} = (1-s) P_{\text{эм}}. \quad (13.12)$$

из которых видно, что при $s = 0$ потерь в роторе нет (идеальный холостой ход), а при $s = 1$ вся $P_{\text{эм}}$ идет на потери в обмотке ротора, а $P_{\text{мх}} = 0$. Поэтому с точки зрения КПД чем меньше s , тем лучше ($s_H = 0,02 \div 0,05$).

Пример 1. Асинхронный трехфазный двигатель при напряжении сети $U_c = 380$ В развивает номинальную мощность $P_n = 10$ кВт, вращаясь с частотой $n_n = 2920$ об/мин и потребляя ток $I_{1n} = 18,6$ А при коэффициенте мощности $\cos \varphi_H = 0,913$. В режиме холостого хода двигатель потребляет из сети мощность $P_0 = 325$ Вт при токе $I_0 = 5,04$ А. Активное сопротивление обмотки статора $r_1 = 0,326$ Ом, механические потери мощности $p_{\text{мх}} = 130$ Вт. Схема соединения обмотки статора – «звезда». Определить потери мощности в меди статора и ротора, потери в стали, добавочные потери при нагрузке, коэффициент полезного действия АД.

Решение:

При решении задачи принято допущение, что сумма потерь в стали и механических потерь – величина постоянная.

Потери в стали:

$$P_{\text{ст}} = P_0 - (m_1 I_0^2 + p_{\text{мх}}) = 325 - (3 \cdot 5,04^2 + 130) = 170 \text{ Вт.}$$

Электрические потери в обмотке статора:

$$p_{\text{эл1}} = m_1 I_n^2 r_1 = 3 \cdot 18,6^2 \cdot 0,326 = 338 \text{ Вт.}$$

Потребляемая из сети мощность:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} \cdot \cos \varphi_H = 380 \cdot 18,6 \cdot 0,913 = 11163,8 \text{ Вт.}$$

Электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = P_1 - p_{см} - p_{эл1} = 11163,8 - 170 - 338 = 10655,8 \text{ Вт}$$

Электрические потери в обмотке ротора:

$$P_{эл2} = S \cdot P_{эм} = 0,027 \cdot 10655,8 = 287,7 \text{ Вт.}$$

где при частоте вращения магнитного поля статора $n_1 = 3000$ об/мин скольжение

$$S = \frac{n_1 - n_H}{n_1} = \frac{3000 - 2900}{3000} = 0,027$$

Добавочные потери:

$$P_{\partial} = P_{эм} - P_H - p_{эл2} - p_{мх} = 10655,8 - 10000 - 287,7 - 130 = 238 \text{ Вт}$$

Суммарные потери мощности:

$$\Sigma p = p_{эл1} + p_{эл2} + p_{см} + p_{мх} + p_{\partial} = 338 + 287,7 + 170 + 130 + 238 = 1163,8 \text{ Вт.}$$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_1 - \Sigma p}{P_1} \cdot 100\% = \frac{10000}{11163,8} \cdot 100\% = 89,6\%$$

Контрольные вопросы и задания

1. Какие потери в асинхронном двигателе относятся к постоянным потерям, а какие к переменным?
2. Какие потери относятся к механическим потерям в асинхронном двигателе?
3. Чем определяются добавочные потери в АД и как они рассчитываются?
4. Перечислите все виды потерь мощности в асинхронном двигателе.
5. Какова зависимость между электрическими потерями в обмотке ротора АД и электромагнитной мощностью?

Задачи

1. Электрические потери в обмотке статора АД $p_{эл1} = 500$ Вт. Мощность, подводимая к двигателю, 13,8 кВт. Определить электромагнитную мощность, мощность на валу двигателя, электрические потери в обмотке ротора, механические и добавочные потери, если четырехполюсный двигатель вращается с частотой $n = 1450$ об/мин, КПД машины $\eta = 87\%$. Частота сети 50 Гц, Магнитные потери в магнитопроводе статора принять равными 2/3 от электрических потерь в обмотке статора.

2. Асинхронный двигатель при напряжении сети 380 В в режиме холостого хода потребляет из сети ток 30 А с коэффициентом мощности 0,09. Активное сопротивление фазы шестиполюсной обмотки статора, соединенной в звезду, равно 0,07 Ом. Под номинальной нагрузкой двигатель потребляет из сети активную мощность 145 кВт при коэффициенте мощности 0,88 и вращается с частотой $n = 965$ об/мин. Пренебрегая механическими и добавочными потерями, определить полезный вращающий момент на валу двигателя. Частота питающей сети $f = 50$ Гц.

3. Потребляемая асинхронным двигателем мощность 16,7 кВт, напряжение сети 380 В, коэффициент мощности 0,88. Активное сопротивление обмотки статора, измеренное между ее линейными выводами, 0,56 Ом. Скольжение – 0,033. Предположим, что магнитные потери в сердечнике статора равны половине электрических потерь в обмотке статора, механические и добавочные потери составляют 5 % от суммарных потерь. Определить полезную мощность и коэффициент полезного действия двигателя.

4. Электромагнитная мощность асинхронного двигателя $P_{эм} = 500$ Вт, полная механическая мощность $P_{мх} = 470$ Вт. Найти скольжение, при котором работает двигатель, и электрические потери в роторе.

5. Четырехполюсный АД с фазным ротором при напряжении сети 380 В в режиме холостого хода вращается с частотой 1500 об/мин и при коэффициенте мощности 0,08 потребляет из сети ток 25 А. Активное сопротивление фазы обмотки статора, соединенной в звезду, равно 0,02 Ом. Обмотка ротора включена в треугольник. Сопротивление обмотки ротора, измеренное на кольцах, равно 0,008 Ом. Под номинальной нагрузкой двигатель потребляет из сети 110,5 кВт при коэффициенте мощности 0,85, линейный ток в роторной цепи 278,5 А. Предполагая, что механические потери равны магнитным потерям в сердечнике статора, определить скорость вращения ротора в номинальном режиме.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.4

Тема. Механическая характеристика асинхронного двигателя

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции

- уравнения схемы замещения и характеристики

- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Механической характеристикой называется зависимость электромагнитного момента от скольжения $M_{эм} = f(s)$, при $U_1, f_1 = \text{const}$.

Известно, что

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_1} \quad (14.1)$$

где

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} \quad (14.2)$$

Уравнение механической характеристики

$$M_{эм} = \frac{pm_1 U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{\omega_1 \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})^2 \right]} \quad (14.3)$$

где

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \quad (14.4)$$

Скольжение, при котором $M_{эм}$ достигает максимальных значений $\pm M_m$, называется критическим $\pm s_{кр}$.

$$s_{кр} = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})^2}} \quad (14.5)$$

Обычно в знаменателе r_1 по сравнению с $x_{\sigma 1}$ и $x'_{\sigma 2}$ мало и можно получить

$$s_{кр} = \pm \frac{r'_2}{(x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})} \quad (14.6)$$

Максимальный момент двигателя

$$M_m \cong \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2\omega_1 (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})} \quad (14.7)$$

Для практического построения механической характеристики часто используют формулу Клосса, которая определяет связь между текущим значением $M_{эм}$ и M_m , согласно которой

$$\frac{M_{эм}}{M_m} \approx \frac{2}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} \quad (14.8)$$

Начальный пусковой момент

$$M_n = \frac{pm_1 U_1^2 r'_2}{\omega_1 [(r_1 + r'_2)^2 + (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})^2]} \quad (14.9)$$

Эксплуатационная механическая характеристика АД – это зависимость $M_2 = f(n_2)$, а чаще $n_2 = f(M_2)$, имеет вид:

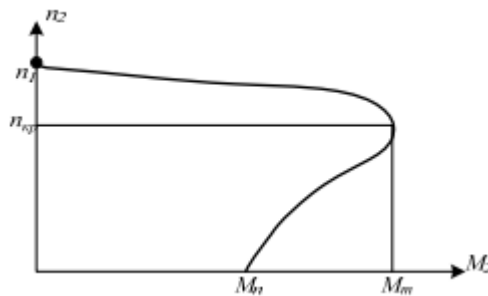


Рисунок 14.1 – Эксплуатационная механическая характеристика АД

Пример 1. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии А2, работающий от сети частотой 50 Гц напряжением 380 В. при соединении обмотки статора «звездой», имеет номинальные параметры: полезная мощность $P_n = 22$ кВт, частота вращения $n_n = 1455$ об/мин, КПД = 90 %, коэффициент мощности $\cos \varphi_{1n} = 0,88$, кратность пускового тока $I_n/I_n = 7$, кратность пускового момента $M_n/M_n = 1,2$ и максимального момента $M_m/M_n = 2$, активное сопротивление фазной обмотки статора 0,21 Ом. Требуется рассчитать параметры и построить механическую характеристику двигателя $n_2 = f(M)$. Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания принять равным $\cos \varphi_k = 0,5 \cos \varphi_{1n}$

Решение:

Потребляемая двигателем мощность в режиме номинальной нагрузки

$$P_{1n} = P_n / \eta = 22 / 0,9 = 24,4 \text{ кВт.}$$

Потребляемый двигателем ток в режиме номинальной нагрузки

$$I_{1H} = \frac{P_{1H}}{3 \cdot U_{1\phi} \cos \varphi_{1H}} = \frac{24400}{3 \cdot 220 \cdot 0,88} = 42 \text{ A}$$

Пусковой ток двигателя

$$I_n = I_{1H} \frac{I_n}{I_{1H}} = 42 \cdot 7 = 294 \text{ A}$$

Сопротивление короткого замыкания двигателя

$$z_k = \frac{U_{1\phi}}{I_n} = \frac{5220}{294} = 0,75 \text{ Ом}$$

Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания

$$\cos \varphi_K = 0,5 \cdot 0,88 = 0,44 \qquad \sin \varphi_K = 0,895 .$$

Активная и индуктивная составляющие сопротивления короткого замыкания

$$r_K = z_K \sin \varphi_K = 0,75 \cdot 0,895 = 0,67 \text{ Ом};$$

$$x_K = z_K \cos \varphi_K = 0,75 \cdot 0,44 = 0,33 \text{ Ом}.$$

Скольжение в режиме номинальной нагрузки

$$s_H = \frac{n_1 - n_{\mu}}{n_1} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0,03$$

Приведенное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора

$$r'_2 = r_K - r_1 = 0,33 - 0,21 = 0,12 \text{ Ом}$$

Номинальное значение электромагнитного момента

$$M = \frac{p m_1 U_1^2 \cdot r'_2 / s_H}{2 \pi f_1 [(r_1 + r'_2 / s_H)^2 + x_K^2]} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 / 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 [(0,21 + 0,12 / 0,03)^2 + 0,67^2]} = 204 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент

$$M_m = M \cdot \frac{M_m}{M} = 204 \cdot 2 = 408 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковой момент

$$M_n = 204 \cdot 1,2 = 245 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критическое скольжение

$$s_{кр} = s_H \left[\frac{M_m}{M} + \sqrt{(M_m/M)^2 - 1} \right] = 0,03 [2 + \sqrt{2^2 - 1}] = 0,11$$

Момент при скольжении $s = 0,5$

$$M = \frac{pm_1 U_1^2 r_2' / s_H}{2\pi f_1 [(r_1 + r_2' / s_H)^2 + x_k^2]} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 / 0,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 [(0,21 + 0,12 / 0,5)^2 + 0,67^2]} = 341 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Рассчитав частоту вращения по формуле

$$n_2 = n_1(1 - s)$$

Таблица 14.1 – Результаты расчета механической характеристики

Номер	1	2	3	4	5
Скольжение	0	0,03	0,11	0,5	1
Частота вращения, об/мин	1500	1455	1335	750	0
Момент, Н·м	0	204	410	341	245

По результатам расчета построить механическую характеристику $n_2 = f(M)$.

Контрольные вопросы и задания

1. Какая характеристика называется механической?
2. Поясните физический смысл механических характеристик АМ.
3. Какое скольжение соответствует максимальному моменту асинхронного двигателя, как его рассчитать?
4. Чему равно скольжение в момент пуска асинхронного двигателя?

Задачи

1. Определить приведенное активное сопротивление обмотки ротора трехфазного четырехполюсного асинхронного двигателя, имеющего номинальную мощность 110 кВт, номинальную частоту вращения $n = 1470$ об/мин, номинальное фазное напряжение $U_{1n} = 220$ В, частоту $f_1 = 50$ Гц, кратность максимального момента $M_m/M_n = 2$, активное сопротивление обмотки статора $r_1 = 0,021$ Ом.
2. Двухполюсный трехфазный асинхронный двигатель в номинальном режиме потребляет мощность $P_1 = 12,5$ кВт при частоте вращения $n = 2930$ об/мин. Частота сети 50 Гц. Построить механическую характеристику двигателя по следующим данным: кратность максимального момента $M_m/M_n = 2,2$, КПД $\eta = 88$ %.
3. При какой частоте вращения асинхронный двигатель развивает максимальный момент, если отношение максимального момента к номинальному моменту $M_m/M_n = 2,2$, а номинальная частота вращения шестиполюсного двигателя при частоте сети 50 Гц $n = 983$ об/мин.
4. Четырехполюсный асинхронный двигатель при номинальной нагрузке потребляет из сети активную мощность $P_1 = 16,9$ кВт. Номинальная частота вращения $n = 1470$ об/мин, суммарные потери в двигателе $\Sigma p = 1,9$ кВт. Отношение пускового момента к номинальному $M_n/M_n = 1,1$. Определить приведенное активное сопротивление обмотки ротора, если активное сопротивление обмотки статора $r_1 = 1,1$ Ом, индуктивные сопротивления обмотки статора и ротора $x_1 + x_2' = 5,2$ Ом. Частота сети $f_1 = 50$ Гц.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.5

Тема. Однофазный асинхронный двигатель

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

В тех случаях, когда потребление электрической энергии невелико (жилые дома, торговые предприятия и др.) или, когда трудно выполнить 3- фазную сеть (железные дороги, электрифицируемые на переменном токе), применяются однофазные сети. При этом возникает необходимость использования однофазных двигателей переменного тока.

Однофазный асинхронный двигатель имеет на статоре однофазную обмотку, а на роторе – короткозамкнутую обмотку в виде беличьей клетки. Можно представить, что 1- фазный асинхронный двигатель получается из 3- фазного путем отключения одной фазы статора.

Однофазный ток статора создает пульсирующее магнитное поле, которое можно разложить на 2 поля, имеющих равные амплитуды и вращающиеся в противоположные стороны.

$$\dot{\Phi} = \dot{\Phi}_{\text{пр}} - \dot{\Phi}_{\text{обр}} \quad (15.1)$$

$$\dot{\Phi}_{\text{пр}} = \dot{\Phi}_{\text{обр}} = \frac{1}{2} \Phi_m \quad (15.2)$$

Прямое поле вращается с синхронной скоростью

$$n_{\text{пр}} = n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (15.3)$$

Обратное – с такой же скоростью, но с другим знаком.

$$n_{\text{обр}} = -n_1 \quad (15.4)$$

Прямая волна имеет по отношению к ротору скольжение

$$s_1 = s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (15.5)$$

Обратная волна по отношению к ротору имеет скольжение

$$s_2 = \frac{-n_1 - n}{-n_1} = 2 - s \quad (15.6)$$

Под действием прямого и обратного полей в роторе наводится ЭДС соответствующей частоты и протекают токи, которые, взаимодействуя со своими полями будут создавать вращающие моменты, противоположные по знаку. В момент пуска $M_{np} = -M_{обр}$, поэтому результирующий пусковой момент равен нулю и однофазный асинхронный двигатель не может самостоятельно прийти во вращение при подключении его к сети, а нуждается в постороннем толчке.

При небольших s асинхронный двигатель развивает вращающий момент, равный M_n , но его надо подтолкнуть. Механическая характеристика однофазного асинхронного двигателя имеет вид суммы двух характеристик:

1) $M_{np} = f(s)$; 2) $M_{обр} = f(s)$, получается при подстановке в уравнение механической характеристики вместо s величины $2-s$ и с учетом того, что M_{np} и $M_{обр}$ на характеристике имеют разные знаки

$$M_{обр} = - \frac{pm_1 U_1^2 * \frac{r_2'}{2-s}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{2-s} \right)^2 + (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})^2 \right]} \quad (15.7)$$

Зависимость $M_{эм} = f(s)$ однофазного асинхронного двигателя показывает, чтобы появился пусковой M_n необходимо во время пуска двигателя создать в нем вращающееся магнитное поле. Для этого на статоре двигателя помимо рабочей обмотки РО применяют ещё одну – пусковую. Эти обмотки располагают на статоре так, чтобы их оси были смещены на 90° эл в пространстве, а по ним протекали токи, сдвинутые во времени на 90° . Для получения временного сдвига в цепь пусковой обмотки включают фазосдвигающий элемент, в качестве которого используют: R , L или C . При достижении частотой вращения значения близкого к номинальному, пусковую обмотку отключают с помощью реле. Таким образом, во время пуска – двигатель 2-х фазный, в рабочем режиме – однофазный.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему невозможен самостоятельный запуск однофазного асинхронного двигателя?
2. Что произойдет, если работающий трехфазный АД перейдет в однофазный режим (сгорит предохранитель в одной из фаз)?
3. Какое назначение имеет фазосдвигающий элемент в схемах включения однофазных АД?
4. Какое скольжение имеет обратная волна по отношению к ротору?

Задачи

1. Частота вращения ротора однофазного асинхронного двигателя $n = 1400$ об/мин, двигатель четырехполюсный. Частота питающей сети 50 Гц. С каким скольжением перемещается ротор по отношению к прямой и обратной волнам магнитных полей обмотки статора?
2. Определить электромагнитный момент однофазного четырехполюсного асинхронного двигателя при частоте вращения ротора $n = 1390$ об/мин. Параметры схемы замещения: $r_{1*} = r_{2*}' = 0.04$; $x_{1*} = x_{2*}'$; $r_{0*} = 0$, $x_{0*} = 2.8$. Двигатель работает при напряжении $U_{1*} = 1$ и частоте 50 Гц.
3. При работе трехфазного асинхронного двигателя оборвался один из линейных проводов. Оценить изменение линейного тока двигателя, если мощность на валу двигателя осталась неизменной.
4. Асинхронный конденсаторный двигатель при напряжении $U_1 = 220$ В имеет в фазе, включенной непосредственно в сеть, ток $\dot{I}_B = 5,2 - j3$ А. Определить величину емкости, обеспечивающей получение кругового поля.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.6

Тема. Пусковые свойства асинхронного двигателя

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

По типу ротора различают способы пуска двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором.

Пуск двигателей с фазным ротором производится с помощью реостата в цепи ротора. Добавочное сопротивление r_d включается в цепь ротора с одной стороны для уменьшения пускового тока ротора, равного

$$r'_d = \frac{E'_2}{(r'_2 + r_d) + jx'_{2\sigma}} \quad (16.1)$$

а с другой – для увеличения пускового момента M_n . Причем r_d выбирается так, чтобы $M_n = M_m$, а $s_{кр}=1$, следовательно

$$s_{кр} \approx \frac{c_1(r'_2 + r'_d)}{x_{\sigma 1} + c_1 x'_{2\sigma}} \quad (16.2)$$

Откуда

$$r'_d = x_k - r'_2 * C_1 / C_1$$
$$r_d = \frac{r'_d}{k^2} \quad (16.3)$$

Начальный пусковой ток двигателя с фазным ротором

$$I_n \approx \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r'_2)^2 + x_k^2}} \quad (16.4)$$

Начальный пусковой момент двигателя с фазным ротором

$$M_n = \frac{m_1 * U_1^2 * r_2'}{\omega_1 [(r_1 + r_2')^2 + x_k^2]} \approx \frac{m_1 * I_n^2 * r_2'}{\omega_1} \quad (16.6)$$

Начальный пусковой момент максимальный, если сопротивление фазы обмотки ротора

$$r_{2m}' = \sqrt{r_1^2 + x_k^2} \approx x_k \quad (16.6)$$

Для расчета активного сопротивления добавочного резистора $r_{доб}$, необходимого для получения заданного повышенного скольжения s при заданной (номинальной) нагрузке:

$$r_d = r_2 (s/s_n - 1) \quad (16.7)$$

Способы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором: прямой, реакторный, автотрансформаторный, переключением «звезда–треугольник».

Прямой пуск – $I_c = I_n$; $M_{n.пр.} = M_n$.

Пуск через реактор с индуктивным сопротивлением x_p :

$$I_c = I_n / \alpha; M_{n.p.} = M_n / \alpha^2 \quad (16.8)$$

где

$$\alpha = \sqrt{[r_k^2 + (x_k + x_p)^2] / (rk^2 + x_k^2)} \quad (16.9)$$

Пуск через автотрансформатор с коэффициентом трансформации k

$$I_c = I_n / k^2; M_{п.ат.} = M_n / k^2 \quad (16.10)$$

Пример 1. Для асинхронного двигателя с фазным ротором, номинальная мощность $P_n = 15$ кВт, номинальное скольжение $s_n = 5$ %, перегрузочная способность $\lambda = M_{max}/M_\mu = 3,0$; число полюсов $2p = 8$, сопротивление обмотки ротора $r_2 = 0,37$ Ом. Рассчитать сопротивления резисторов трехступенчатого пускового реостата ПР (рис. 26.1).

Решение:

Номинальная частота вращения

$$n_n = n_1 (1 - s_n) = 750 (1 - 0,05) = 712 \text{ об/мин.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_\mu = 9.55 P_\mu / \eta_\mu = 9,55 \cdot 15000 / 712 = 201 \text{ Н·м.}$$

Принимаем значение момента переключений, равным номинальному

$$M_2 = 1.0M_H = 1,0 \cdot 201 = 204 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отношение начального пускового момента к моменту переключений принимаем

$$\lambda = M_1/M_2 = 2,1.$$

Начальный пусковой момент

$$M_1 = M_2 \cdot \lambda = 201 \cdot 2,1 = 422 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

т.е. $M_1/M_2 = 422/(3 \cdot 201) = 0,7$; это позволяет применить аналитический метод расчета сопротивлений пускового реостата.

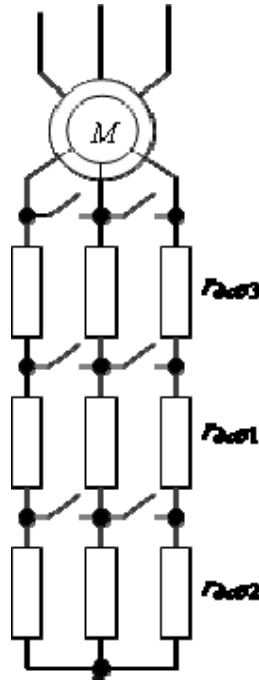


Рисунок 16.1 – Трехступенчатый пусковой реостат

Сопротивление резистора третьей ступени ПР

$$r_{доб3} = r_2(\lambda - 1) = 0,37 / (2,1 - 1) = 0,41 \text{ Ом}.$$

Сопротивление резистора второй ступени ПР

$$r_{доб2} = r_{доб3} \cdot \lambda = 0,41 \cdot 2,1 = 0,86 \text{ Ом}.$$

Сопротивление резистора первой ступени

$$r_{доб1} = r_{доб2} \cdot \lambda = 0,86 \cdot 2,1 = 1,8 \text{ Ом}.$$

Сопротивление ПР на первой ступени

$$R_{ПР1} = r_{доб1} + r_{доб2} + r_{доб3} = 1,8 + 0,86 + 0,41 = 3,07 \text{ Ом}.$$

Сопротивление ПР на второй ступени

$$R_{ПР2} = r_{доб2} + r_{доб3} = 0,86 + 0,41 = 1,27 \text{ Ом}.$$

Сопротивление ПР на третьей ступени

$$R_{ПР3} = r_{доб3} = 0,41 \text{ Ом}.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Какие ограничения имеет прямой пуск в ход асинхронного двигателя?
2. Для чего нужен пусковой реостат в АД с фазным ротором?
3. Чем автотрансформаторный пуск АД предпочтительнее реакторного пуска?
4. Почему нежелателен реостатный пуск АД с короткозамкнутым ротором?

Задачи

1. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором серии 4А имеют следующие данные каталога, приведенные в таблице 10.1: номинальная мощность P_n ; номинальное скольжение s_n ; КПД η_n ; коэффициент мощности $\cos \varphi_n$; ток ротора I_{2n} ; ЭДС ротора E_2 ; перегрузочная способность $\lambda_m = M_{max}/M_n$

Определить: номинальный M_n и максимальный M_{max} моменты; критической скольжение $s_{кр}$ в режиме естественной механической характеристики; сопротивление пускового реостата $R_{лр}$, необходимого для получения кратности пускового момента $M_{л}/M_n = 1,5$, и сопротивление $r_{доб}$, требуемое для получения частоты вращения $n_2 = 0,5 n_1$ при номинальном нагрузочном моменте.

Таблица 16.1 – Данные для задачи 1

Тип двигателя	Величины							
	P_n , кВт	$2p$	s_n , %	η_n , %	$\cos \varphi_n$	I_{2n} , А	E_2 , В	M_{max}/M_n
4АНК225М8	30	8	5	86,5	0,8	165	120	1,8
4АНК250SM8	37	8	5,5	57,5	0,8	190	115	2,2
4АНК250И8	45	8	4	89	0,82	190	140	2,2
4АНК250М8	55	8	3,5	89,5	0,83	185	190	2,2
4АНК280S8	75	8	4	90,5	0,84	257	190	1,9
4АНК280М8	90	8	4	90,5	0,84	267	214	1,9
4АНК315S8	110	8	3,5	91,5	0,84	311	225	1,9
4АНК315М8	132	8	3,5	92	0,84	364	247	1,9
4АНК355S8	160	8	2,7	92,5	0,86	353	285	1,7
4АНК355М8	200	8	2,7	92,5	0,86	359	350	1,7

2. Определить величину начального пускового тока при прямом включении в сеть и величину начального пускового момента трехфазного асинхронного двигателя по следующим данным: номинальная мощность $P_n = 7,5$ кВт, номинальное фазное напряжение $U_{1n} = 220$ В, номинальная частота вращения $n_n = 720$ об/мин, $\cos \varphi_n = 0,75$, КПД $\eta = 86$ %, кратность начального пускового момента $M_n/M_n = 1,4$, кратность начального пускового тока $I_n/I_n = 6$.

3. С помощью реактора ток в сети при пуске трехфазного асинхронного двигателя ограничен до значения $I_c = 2I_n$. Возможен ли пуск двигателя при моменте нагрузки на валу $M_B = 0,15$ Н·м, если кратность начального пускового момента двигателя $k_n = 1,2$, а кратность начального пускового тока $k_I = 5$?

4. Номинальная мощность трехфазного асинхронного двигателя $P_n = 2000$ кВт, номинальная частота вращения $n_n = 1490$ об/мин, кратность начального пускового момента $k_n = 1,2$. Напряжение питающей сети $U_{1c} = 6$ кВ. Обмотка статора соединена в звезду. Определить начальный пусковой момент двигателя при автотрансформаторном пуске со снижением напряжения на зажимах машины до $U_1 = 4$ кВ.

5. Начальный пусковой ток трехфазного асинхронного двигателя $I_n = 130$ А при коэффициенте мощности $\cos \varphi_n = 0,65$, начальный пусковой момент $M_n = 450$ Н·м. Напряжение сети $U_c = 380$ В. Обмотка статора двигателя соединена в звезду. Определить величину активного сопротивления, которое необходимо включить в цепь статора для снижения пускового тока в 2,5 раза. Чему равен при этом начальный пусковой момент двигателя? Какое индуктивное сопротивление обеспечит аналогичные условия пуска?

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.7

Тема. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Способы регулирования угловой скорости ротора

$$\omega = \omega_1(1 - s) = \frac{2\pi f}{p}(1 - s) \quad (17.1)$$

Регулирование частоты вращения за счет изменения угловой скорости вращения поля:

1) изменением частоты тока; при этом для поддержания $\Phi = \text{const}$ при изменении частоты необходимо выполнение условий:

$$U_1/f_1 = \text{const} \text{ при } M_B = \text{const}$$

$$U_1/\sqrt{f_1} = \text{const} \text{ при } M_B = \text{const}/\omega$$

$$U_1/f^2 = \text{const} \text{ при } M_B = k\omega^2$$

2) изменением числа пар полюсов.

Регулирование частоты вращения путем изменения скольжения:

1) изменением напряжения;

2) изменением активного сопротивления цепи обмотки фазного ротора; при этом при введении в цепь обмотки ротора дополнительного сопротивления r_d критическое скольжение:

$$s_{кр} = \pm(r_2' + r_d) / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \quad (17.2)$$

С введенным сопротивлением r_d скольжение на механической характеристике двигателя

$$s_1 = s(r_2 + r_d) / r_2 \quad (17.3)$$

где s – скольжение на естественной механической характеристике ($r_d = 0$)

3) введением дополнительной ЭДС в цепь обмотки фазного ротора.

Скольжение после введения дополнительной ЭДС

$$s_1 = s - k_d' \quad (17.4)$$

где $k_d' = \dot{E}_d / \dot{E}_2 > 0$ если $\dot{E}_d$ в фазе с $\dot{E}_2$, и $k_d' < 0$, если $\dot{E}_d$ в противофазе с $\dot{E}_2$.

Контрольные вопросы и задания

1. Способы регулирования угловой скорости ротора
2. Регулирование частоты вращения за счет изменения угловой скорости вращения
3. Регулирование частоты вращения путем изменения скольжения

Задачи

1. Напряжение на зажимах трехфазного асинхронного двигателя, частота вращения которого регулируется изменением частоты тока, увеличилось в 1,41 раза. Регулирование частоты вращения осуществляется при условии $P_2 = \text{const}$. Определить соответствующее увеличение частоты тока.

2. Определить величину дополнительного сопротивления R_d при введении которого в цепь обмотки фазного ротора шестиполусного асинхронного двигателя частота вращения ротора при той же нагрузке снизится от значения $n = 950$ об/мин до $n = 600$ об/мин. Сопротивление обмотки ротора $R_2 = 0,009$ Ом, частота питающей сети $f_1 = 50$ Гц.

3. Номинальная частота вращения шестиполусного асинхронного двигателя при частоте 50 Гц $n_H = 950$ об/мин. Активное сопротивление обмотки фазного ротора $R_2 = 0,1$ Ом. Как изменится частота вращения двигателя, если при неизменной нагрузке ввести добавочное сопротивление $R_d = 0,5$ Ом?

4. Введением дополнительного сопротивления в цепь ротора асинхронного двигателя с фазным ротором частота вращения двигателя в номинальном режиме снижена на 25 %. Определить величину дополнительного сопротивления R_d и оценить изменение КПД при таком режиме, если номинальная мощность шестиполусного двигателя $P_H = 160$ кВт, номинальная частота вращения $n_H = 970$ об/мин, активное сопротивление обмотки

ротора $R_2 = 0,01 \text{ Ом}$, номинальный КПД $\eta_H = 93\%$. Частота питающей сети $f_1 = 50 \text{ Гц}$.

5. При номинальной частоте вращения $n_H = 950 \text{ об/мин}$ шестиполусного асинхронного двигателя с фазным ротором ЭДС в обмотке ротора $E_{2s} = 9,2 \text{ В}$. В этом режиме в цепь обмотки ротора вводится дополнительная ЭДС $E_\delta = 5 \text{ В}$, находящаяся в фазе с E_{2s} , и той же частоты. Как изменится при этом частота вращения двигателя? Определить частоту вращения двигателя при введении E_δ , находящейся в противофазе с E_{2s} .

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.8

Тема. Электромагнитные процессы в синхронной машине

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Характерным признаком синхронных машин является жесткая связь между частотой вращения ротора n_1 и частотой переменного тока в обмотке статора f_1 :

$$n_1 = f_1 * 60/p \quad (7.1)$$

В обмотке статора в процессе работы синхронной машины индуцируется ЭДС и протекают токи, которые создают магнитодвижущую силу (МДС), максимальное значение которой

$$F_1 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} * m_1 * I_d * w_1 * k_{о61}/p \quad (7.2)$$

Эта МДС создает вращающееся магнитное поле, а в воздушном зазоре δ машины создается магнитная индукция.

Амплитуда продольной составляющей МДС обмотки якоря

$$F_{dm} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} * m_1 * I_d * w_1 * k_{о61}/p \quad (7.3)$$

Амплитуда поперечной составляющей МДС обмотки якоря

$$F_{qm} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} * m_1 * I_q * w_1 * k_{о61}/p \quad (7.4)$$

Где $I_d = I|\sin \beta|$ и $I_q = I|\cos \beta|$ – действующее значение продольной и поперечной систем токов якоря;

β – угол между ЭДС возбуждения $\dot{E}_f$ и током $\dot{I}$ (или МДС F_{am}).

Для явнополюсной синхронной машины справедливо уравнение напряжений:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{1d} + \dot{E}_{1q} + \dot{E}_{\sigma 1} - \dot{I}_1 * r_1 \quad (7.5)$$

где:

$\dot{E}_0$ – ЭДС реакции якоря синхронной машины, пропорциональная основному магнитному потоку синхронной машины Φ_0 ;

$\dot{E}_{1d}$ – ЭДС реакции якоря синхронной машины по продольной оси, пропорциональная МДС реакции якоря по поперечной оси F_{1d} ;

$\dot{E}_{1q}$ – ЭДС реакции якоря по продольной оси, пропорциональная МДС реакции якоря по поперечной оси F_{1q} ;

$\dot{E}_{\sigma 1}$ – ЭДС рассеяния, обусловленная наличием магнитного потока рассеяния Φ_σ , величина этой ЭДС пропорциональна индуктивному сопротивлению рассеяния обмотки статора x_1

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 * x_1 \quad (7.6)$$

$\dot{I}_1 r_1$ – активное падение напряжения в фазной обмотке статора, обычно при решении задач этой величиной пренебрегают ввиду ее небольшого значения.

Для неявнополюсной синхронной машины уравнение напряжений имеет вид

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_c - \dot{I}_1 * r_1 \quad (7.7)$$

Здесь

$$\dot{E}_c = \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} \quad (7.8)$$

где $\dot{E}_1$ – ЭДС реакции якоря неявнополюсной синхронной машины.

Контрольные вопросы и задания

1. Как определить синхронную скорость вращения синхронной машины?
2. Какое поле в синхронной машине называется полем реакции якоря?
3. Какое поле реакции якоря является поперечным, а какое продольным?
4. Напишите уравнение напряжения для явнополюсной синхронной машины.
5. Напишите уравнение напряжения для неявнополюсной синхронной машины.

Задачи

1. Определить магнитный поток взаимной индукции, соответствующий току $I = 1300$ А в трехфазной обмотке двухполюсного турбогенератора, его потокосцепление с фазой обмотки статора и индуцируемую в ней ЭДС, если известно: число витков в фазе обмотки $w_1 = 16$, число пазов на полюс и фазу $q = 8$, шаг обмотки $y = 20$, расчетный зазор $\delta' = 3,3$ см, полюсное деление $\tau = 150$ см, расчетная длина $l_\delta = 210$ см, частота тока 50 Гц.

2. По известным значениям главных индуктивных сопротивлений обмотки якоря по продольной $X_{ad} = 2,02$ Ом и поперечной $X_{aq} = 1,53$ Ом осям гидрогенератора определить соответствующую ЭДС взаимной индукции якоря E_{ad} и E_{aq} для режима работы, характеризуемого током $I = 2800$ А и углом $\beta = 50^\circ$.

3. Номинальная мощность гидрогенератора $S_n = 26200$ кВ·А, номинальное линейное напряжение $U_{nl} = 10,5$ кВ, частота тока $f = 50$ Гц, соединение фаз – звезда, номинальная частота вращения $n_n = 125$ об/мин. Найти амплитуду основной гармонической МДС обмотки якоря, если число витков в фазе $w_1 = 126$, обмоточный коэффициент $k_{об} = 0,94$. Найти составляющие МДС по продольной и поперечной осям при активно-индуктивной ($\beta = 50^\circ$) нагрузке.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.9

Тема. Построение векторных диаграмм синхронного генератора

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции

- уравнения схемы замещения и характеристики

- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Векторная диаграмма ЭДС синхронных генераторов с одной стороны, позволяет на стадии проектирования определять значение $F(x)$ (а, следовательно, и основные конструктивные данные) для обеспечения необходимого режима работы, с другой – оценить эксплуатационные характеристики уже готовой машины при различной нагрузке, не производя при этом многочисленных опытов.

Два типа задач, о которых говорилось выше, определяют два основных вида векторных диаграмм: различают диаграммы Blondеля и диаграммы Потье.

Диаграммы Blondеля

Эти диаграммы используются для анализа характеристик генератора и строятся в следующем порядке. Исходным является уравнение синхронного генератора:

$$\dot{U} = \dot{E} - jx_{ad}\dot{I}_d - j\dot{I}_q x_{aq} - jx_{\sigma a}\dot{I} - \dot{I} * r_a \quad (8.1)$$

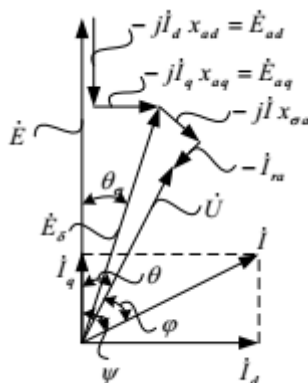


Рисунок 8.1 – Векторная диаграмма Blondеля с учетом сопротивлений реакции якоря (для R-L нагрузки)

Это 1-й вид векторных диаграмм строится в указанном ниже порядке:

$$\dot{E} \rightarrow \dot{I} \rightarrow \dot{E}_{ad} \rightarrow \dot{E}_{aq} \rightarrow \dot{E}_{\delta} \rightarrow \dot{E}_{\sigma a} \rightarrow \dot{I}_{ra} \rightarrow \dot{U}$$

Угол между векторами $\dot{E}$ и $\dot{U}$ θ называется углом нагрузки. В генераторном режиме работы вектор $\dot{E}$ всегда опережает $\dot{U}$ и θ считается положительным. Название θ идёт оттого, что он зависит от нагрузки (активной мощности) синхронного генератора.

$$P = m\dot{U}\dot{I} \cos \varphi \quad (8.2)$$

Из диаграммы можно проследить, что, если, $\dot{U}, \dot{I} = \text{const}$, а φ – меняется, то меняется $\dot{I}_q \Rightarrow \dot{E}_{aq}$, а $\Rightarrow u \theta$.

2-й вид диаграммы Blondеля основан на уравнении, записанном через синхронные сопротивления:

$$\dot{U} = \dot{E} - j\dot{I}_d x_d - j\dot{I}_q x_q - \dot{I} r_a \quad (8.3)$$

и строится в том же порядке, как и предыдущая.

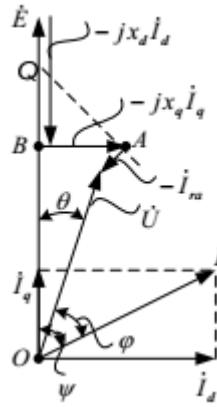


Рисунок 8.2 – Векторная диаграмма Blondеля с учетом синхронных индуктивных сопротивлений

Если в векторах падений напряжений поменять знаки, то получим векторные диаграммы, соответствующие уравнению:

$$\dot{E} = \dot{U} + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q + \dot{I} r_a \quad (8.4)$$

Прямая, проведенная из точки A перпендикулярно вектору $\dot{I}$ до пересечения вектора $\dot{E}$ (или его продолжения) в точке Q будет отсекает отрезок $AQ = x_q I$.

Угол $QAB = \psi$ (так как имеет стороны перпендикулярные сторонам угла ψ), значит

$$AQ = \frac{AB}{\cos \psi} = \frac{\dot{I}_q x_q}{\cos \psi} = \dot{I} x_q \quad (8.5)$$

Это свойство используется в диаграммах Потье, где по $\dot{I}$, $\dot{U} \cos \varphi$ и находят $\dot{E}$.

Для неявнополусных машин $x_d = x_q$, поэтому нет необходимости разлагать ток на составляющие, и векторная диаграмма выглядят значительно проще.

насыщения, т. е. с постоянными x_{ad} и x_{aq} .



Рисунок 8.3 – Векторная диаграмма неявнополюсного СТ

Диаграмма Потье (неявнополюсный синхронный генератор)

Как уже говорилось, такой тип диаграмм используется при проектировании и эксплуатации синхронных машин, когда надо определить i_f , необходимый для обеспечения заданных $\dot{U}$, $\dot{I}$, $\cos \varphi$, с учетом насыщения.

Сначала строят $\dot{U}$ и $\dot{I}$, затем $j\dot{I}x_{\sigma a}$ и $\dot{I}r_a$, находят $\dot{E}_\delta$, необходимую затем для создания режима.

Затем по характеристике холостого хода определяют i_μ необходимую для создания $\dot{E}_\delta$. Затем вычитая из $\dot{F}_{\chi e}$ н. с. р. я. , приведённую к $i_\chi \dot{F}'_a$, получим полную н. с. ОВ.

Диаграмма Потье таким образом состоит из двух: векторная диаграмма ЭДС4. Как определить по диаграмме Потье напряжение на зажимах генератора при сбросе нагрузки? и векторная диаграмма намагниченных сил.

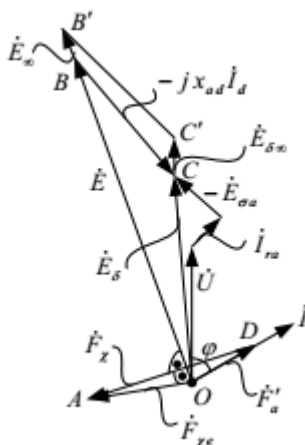


Рисунок 8.4 – Векторная диаграмма ЭДС Потье

При практическом использовании диаграммы Потье, её совмещают с

характеристикой холостого хода.

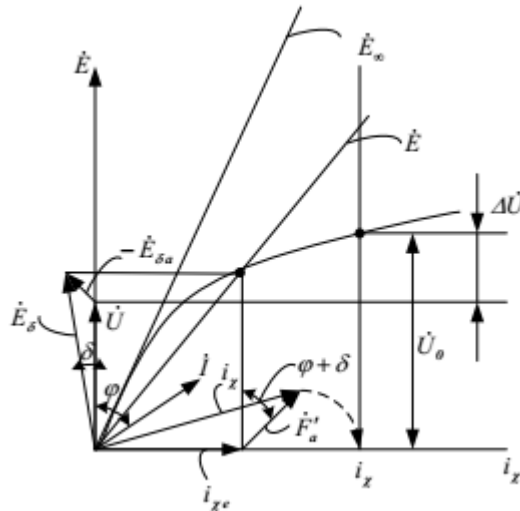


Рисунок 8.5 –Векторная диаграмма намагничивающих сил Потье

При построении принимается $r_a = 0$. Более точные результаты диаграмма даёт, если вместо E_δ отложить $E_{\delta\infty}$, то аналогичным способом получим E_∞ .

По совмещенной диаграмме Потье и характеристики холостого хода можно получить значение напряжения на зажимах при сбросе $\dot{U}_0$ ($i_x = const$) нагрузки и найти изменения напряжения $\Delta \dot{U}$. Разница между $\dot{U}_0$ и $\dot{E}$ при этом имеет место от того, что для режима нагрузки и холостого хода принимается (при определении $\dot{E}$) одна степень насыщения, а на самом деле они различны.

Контрольные вопросы и задания

1. Что определяю с помощью векторных диаграмм синхронного генератора?
2. Каков порядок построение диаграммы Блонделя?
3. Как выглядит диаграмма Блонделя для неявнополюсного генератора?
4. Порядок построения диаграммы Потье для явнополюсного генератора.

Задачи

1. Построить векторную диаграмму для явнополюсного синхронного генератора, имеющего активно-емкостную нагрузку.
2. Построить векторную диаграмму для явнополюсного синхронного генератора, имеющего активную нагрузку.
3. Построить векторную диаграмму для неявнополюсного синхронного генератора, имеющего активно-емкостную нагрузку.
4. Построить векторную диаграмму для неявнополюсного синхронного генератора, имеющего активную нагрузку.

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.10

Тема. Расчет основных параметров синхронных генераторов

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Номинальные параметры генераторов.

Завод-изготовитель предназначает генератор для определенного длительно допустимого режима работы, который называют номинальным. Этот режим работы характеризуется параметрами, которые носят название номинальных.

Для синхронных электрических машин в установившемся режиме работы имеется строгое соответствие между частотой вращения агрегата n , об/мин, и частотой сети f , Гц:

$$n = 60 f / p \quad (9.1)$$

Номинальное напряжение генератора - это линейное (междуфазное) напряжение обмотки статора в номинальном режиме.

Номинальным током статора генератора называется то значение тока, при котором допускается длительная нормальная работа генератора при номинальных параметрах охлаждения (температура, давление и расход охлаждающего газа и жидкости) и номинальных значениях мощности и напряжения, указанных в паспорте генератора.

Номинальная активная мощность генератора – это наибольшая активная мощность, для длительной работы с которой он предназначен в комплекте с турбиной.

Номинальная активная мощность генератора определяется следующим выражением:

$$P = S \cos \varphi. \quad (9.2)$$

Номинальная полная мощность генератора определяется по следующей формуле:

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (9.3)$$

Номинальный ток ротора – это наибольший ток возбуждения генератора, при котором обеспечивается отдача генератором его номинальной мощности при отклонении напряжения статора в пределах $\pm 5\%$ номинального значения и при номинальном коэффициенте мощности.

Номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi$ принимается равным 0,8 для генераторов мощностью до 125 МВ·А, 0,85 для турбогенераторов мощностью до 588 МВ·А и гидрогенераторов до 360 МВ·А, 0,9 для более мощных машин.

Каждый генератор характеризуется также КПД при номинальной нагрузке и номинальном коэффициенте мощности. Для современных генераторов номинальный коэффициент полезного действия колеблется в пределах 96,3 - 98,8 %.

Пример 1. Найти ЭДС, индуцируемую в одной фазе статора генератора переменного тока, если количество витков 24; обмоточный коэффициент 0,9; частота ЭДС 50 Гц, а магнитный поток 0,05 Вб.

Решение:

$$E = 4.44 * f * k_{об} * w * \Phi = 4,44 * 50 * 0,9 * 24 * 0,05 = 239,8 \text{ В}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте понятие номинальных параметров синхронного генератора.
2. В каких пределах колеблется КПД синхронного генератора?
3. Как определить ЭДС фазы обмотки статора синхронного генератора?

Задачи

1. Ротор трехфазного синхронного генератора имеет 12 полюсов. Частота напряжения на зажимах генератора $f = 50$ Гц. Полезная мощность приводного двигателя 5 кВт. Определить вращающий момент на валу генератора.
2. Трехфазный синхронный генератор вырабатывает напряжение частотой $f = 50$ Гц. Число полюсов $2p = 2$. Приводной двигатель создает вращающий момент на валу $M_1 = 29$ Нм. Определить полезную мощность приводного двигателя.
3. Определить напряжение на зажимах трехфазного синхронного генератора, работающего в режиме холостого хода, при соединении обмотки статора по схеме «треугольник» и «звезда», если известно, что частота $f = 50$ Гц, число последовательно соединенных витков фазы обмотки статора $w_1 = 180$, обмоточный коэффициент $k_{об1} = 0,92$, максимальное значение магнитного потока одной фазы $\Phi_{\max} = 0,012$ Вб.
4. Определить нагрузочный ток турбогенератора при линейном напряжении на зажимах $U_n = 6,3$ кВ и коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0,8$, если известны ЭДС возбуждения генератора $E_f = 7,5$ кВ, активное и полное индуктивное сопротивления обмотки якоря $R = 0,235$ Ом, $X_1 = 32,9$ Ом. Обмотка соединена в звезду. Влиянием насыщения пренебречь.
5. Явнополюсный синхронный генератор включен на активно-индуктивную нагрузку $\bar{Z}_H = 8,8 + j6,6$ Ом. Фазный ток генератора $I = 346,8$ А. Определить ЭДС возбуждения генератора (без учета насыщения), если индуктивное сопротивление

обмотки якоря по продольной и поперечной осям: $X_d = 9,89 \text{ Ом}$, $X_q = 6,03 \text{ Ом}$. Активное сопротивление обмотки якоря $R = 0,147 \text{ Ом}$.

6. Имеется трехфазный синхронный генератор мощностью S_n с напряжением на выходе U_n (обмотка статора соединена «звездой») при частоте тока 50 Гц и частоте вращения n_1 . КПД генератора при номинальной нагрузке η_n (табл. 18.1). Генератор работает на нагрузку с $\cos \varphi_n = 0,9$. Требуется определить активную мощность генератора при номинальной нагрузке P_n , ток в обмотке статора I_{1n} , мощность первичного двигателя P_1 и вращающий момент M_1 при непосредственном механическом соединении валов генератора и двигателя.

Таблица 9.1 – Данные к задаче 6

Величины	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_n, \text{кВ}\cdot\text{А}$	330	400	170	470	230	600	780	450	700	500
$U_{1n}, \text{кВ}$	6,3	3,2	0,4	6,3	0,7	3,2	06,3	0,4	6,3	3,2
$\eta_n, \%$	92	92	90	91	90	93	93	91	93	92
$n_1 \text{ об/мин}$	1000	750	600	1000	600	500	1000	500	1000	600

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

- Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
- Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

- Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Практическое занятие №.11

Тема. Расчет основных параметров синхронных двигателей

Цель занятия. формирование у студента компетенций ОПК-3, ИД-5_{ОПК-3}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

- принципов действия современных типов электрических машин, особенностей их конструкции
- уравнения схемы замещения и характеристики
- методы анализа и моделирования электрических машин

Умения:

- анализировать установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин

Владения:

- навыками определения основных параметров электрических машин

Теоретическая часть.

Электромагнитный момент СД

Из принципа действия синхронного двигателя запишем, что сила, действующая на проводник с током в поле:

$$F_{\text{эм}} = B_{\delta} I l. \quad (10.1)$$

Если проводник уложен в статоре диаметром D_a , то $F_{\text{эм}}$ создает электромагнитный момент:

$$M_{\text{эм}} = F_{\text{эм}} D_a / 2 = B_{\delta} I l D_a / 2 \quad (10.2)$$

являющийся в двигателе вращающим моментом. Следует отметить, что в машинах переменного тока вращающий момент создается только активной составляющей тока.

$$M_{\text{эм}} = B_{\delta} * l * I * \cos \varphi * D_a / 2 \quad (10.3)$$

Поскольку уравнение угловой характеристики для СМ имеет вид приведенный ранее, то

$$M_{\text{эм}} = \frac{mEU}{\Omega x_d} \sin \Theta + \frac{mU^2}{2\Omega} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\Theta \quad (10.4)$$

Из выражения (20.4) можно определить: максимальный электромагнитный момент:

$$M_{\text{эмт}} = \frac{mEU}{\Omega x_d} \quad (10.5)$$

синхронизирующий момент:

$$M_{cm} = \frac{dM_{эм}}{d\Theta} = \frac{mEU}{\Omega x_d} \cos \Theta + \frac{mU^2}{\Omega} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\Theta \quad (10.6)$$

коэффициент статической перегружаемости:

$$K_n = M_{эмт}/M_{эмн} \quad (10.7)$$

Определяется номинальным режимом работы ($M_{эмн} = M_{ст}$ статическому моменту нагрузки).

Из выражения (20.4) можно определить реактивный момент (невозбужденной явнополюсной СМ):

$$M_{эмп} = \frac{mU^2}{2\Omega} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\Theta \quad (10.8)$$

который существует из-за магнитной несимметрии явнополюсной СМ, если $x_d = x_q$, $M_{эмп} = 0$.

Физически возникновение реактивного момента в явнополюсной машине объясняется тем, что ротор (невозбужденный) стремится занять по отношению к вращающемуся полю положение, при котором сопротивление магнитного потока и энергия поля минимальны.

Если $M_{cm}=0$, то $M_{эм}=0$ и $\Theta=0$, т.е. ось ротора и поля совпадают. Если вал нагружен, т.е. $M_{эм}$.

Пример 1. Трехфазный синхронный двигатель номинальной мощностью $P_n = 575$ кВт, числом полюсов $2p = 6$ работает от сети промышленной частоты напряжением $U_n = 6$ кВ. Перегрузочная способность двигателя $M_{max}/M_n = 1,5$, кратность пускового тока $I_n/I_n = 5$, кратность пускового момента $M_n/M_n = 1,4$. Схема соединения обмотки статора – «звезда». В номинальном режиме работы двигатель имеет коэффициент полезного действия $\eta = 93\%$, коэффициент мощности при опережающем токе статора $\cos \varphi_n = 0,8$. Определить: 1) потребляемую двигателем из сети активную мощность P_1 и ток I_n , суммарные потери мощности $\Sigma \Delta P$, вращающий момент двигателя M_n при номинальной нагрузке; 2) пусковой ток I_n и пусковой момент M_n ; максимальный момент M_{max} , при котором двигатель выпадает из синхронизма.

Решение:

Потребляемая двигателем из сети активная мощность:

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{575}{0,93} = 618 \text{ кВт.}$$

Потребляемый из сети ток:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{P_1}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi_n} = \frac{618}{\sqrt{3} * 6 * 0,8} = 74,5 \text{ А.}$$

Номинальная частота вращения:

$$n_n = \frac{60 * f}{P} = \frac{60 * 50}{3} = 1000 \text{ об/мин}$$

Развиваемый двигателем вращающий момент:

$$M_n = \frac{P_n}{2\pi * n_n} = \frac{575 * 10^3}{2\pi * (1000/60)} = 5494 \text{ Н * м}$$

Суммарные потери мощности в двигателе:

$$\Sigma \Delta P = P_1 - P_n = 618 - 575 = 43 \text{ кВт.}$$

Пусковой момент двигателя:

$$M_n = 1,4 M_n = 1,4 * 5494 = 7691 \text{ Н*м.}$$

Пусковой ток двигателя:

$$I_n = 5 I_n = 5 * 74,5 = 372 \text{ А.}$$

Максимальный момент двигателя, Нм:

$$M_{\max} = 1,5 M_n = 1,5 * 5494 = 8240 \text{ Н*м.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение электромагнитного момента синхронного двигателя.
2. Каков физический смысл реактивного момента синхронного двигателя?
3. Как определить пусковой ток и пусковой момент синхронного двигателя?
4. Что такое коэффициент статической перегружаемости?

Задачи

1. Трехфазный синхронный двигатель номинальной мощностью P_n и числом полюсов $2p$ работает от сети напряжением U_{1n} (обмотка статора соединена «звездой»). КПД двигателя η_n , коэффициент мощности $\cos \varphi_n$ при опережающем токе статора. Перегрузочная способность двигателя λ , а его пусковые параметры определены кратностью пускового тока I_n/I_n и кратностью пускового момента M_n/M_n . Значения этих величин приведены в таблице 20.1. Требуется определить: потребляемые двигателем из сети активную мощность P_{1n} и ток I_{1n} , развиваемый двигателем при номинальной нагрузке вращающий момент M_n , суммарные потери мощности $\Sigma \Delta P$, пусковой момент M_n и пусковой ток I_n , а также вращающий момент $M_{\max}$, при котором двигатель выпадает из синхронизма.

Таблица 10.1– Данные к задаче 1

Варианты	Величины							
	P_n , кВт	U_{1n} , кВ	$2p$	$\cos \varphi_n$	η_n , %	I_n/I_n	M_n/M_n	$M_{\max}/M_n$
1	575	6,0	16	0,8	93	5,0	1,4	1,5
2	600	3,0	10	0,9	92	5,5	1,7	1,5
3	325	3,0	8	0,9	90	4,5	1,7	1,6
4	60	0,38	6	0,8	89	4,5	2,2	1,6
5	160	0,38	6	0,8	90	4,8	2,4	1,5

2. Трехфазный синхронный двигатель в номинальном режиме имеет технические данные: мощность $P_n = 600$ кВт, напряжение $U_n = 3000$ В, коэффициент полезного действия $\eta_n = 93$ %, коэффициент мощности $\cos \varphi_n = 0,8$, угол нагрузки $\theta = 30^\circ$. Определить потребляемый из сети ток и перегрузочную способность двигателя.

3. Трехфазный синхронный двигатель номинальной мощностью P_n и числом полюсов $2p$ работает от сети напряжением U_{1n} (обмотка статора соединена «звездой»). КПД двигателя η_n , коэффициент мощности $\cos \varphi_n$ при опережающем токе статора. Перегрузочная способность двигателя – λ , а его пусковые параметры определены кратностью пускового тока I_n/I_n и кратностью пускового момента M_n/M_n . Значения этих величин приведены в таблице 20.2. Требуется определить: потребляемые двигателем из сети активную мощность P_{1n} и ток I_{1n} , развиваемый двигателем при номинальной нагрузке вращающий момент M_n , суммарные потери мощности $\Sigma \Delta P$, пусковой момент M_n и пусковой ток I_n , а также вращающий момент $M_{\max}$, при котором двигатель выпадает из синхронизма.

Таблица 10.2 – Данные к задаче 3

Варианты	Величины							
	P_n , кВт	U_{1n} , кВ	$2p$	$\cos \varphi_n$	η_n , %	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$
1	575	6,0	16	0,8	93	500	1,4	1,5
2	600	3,0	10	0,9	92	505	1,7	1,5
3	325	3,0	8	0,9	90	405	1,7	1,6
4	60	0,38	6	0,8	89	4,5	2,2	1,6
5	160	0,38	6	0,8	90	4,8	2,4	1,5

Рекомендуемая литература

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>