

Центр научного развития «Большая книга»



Новая наука: теоретический и практический взгляд

Сборник материалов

Международной научно – практической
конференции
г. Владивосток, 10 ноября 2017 г

2017

УДК 00 (082)
ББК (20, 30,60)
RU-13

RU-13 «Новая наука: теоретический и практический взгляд»: Сборник материалов Международной научно-практической конференции / [Ред. Коротких А.А.]. – Владивосток: Центр научного развития «Большая книга», 2017.

Материалы конференции предназначены для специалистов, научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью использования в научной работе, учебной деятельности, административно - хозяйственной практике.

Материалы публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Электронная версия сборника размещена на сайте «Maxbook» Центр научного развития «Большая книга» <http://maxbook.su/> в разделе «Архив конференций» и находится в свободном доступе.

Сборник материалов конференции размещён в научной электронной библиотеке elibrary.ru и зарегистрирован в базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) по договору № 1187-06/2017К

ISBN 978-5-9500713-6-2

© Коллектив авторов, 2017г.

СЕКЦИЯ 16. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА 231

Дроздова А.В., Поползин И.Ю. Математическая модель машины двойного питания во вращающейся системе координат, связанной с ротором 232

СЕКЦИЯ 17. ЮРИСПРУДЕНЦИЯ 241

Тлеугабулова Д.С. Современное состояние нецелевого расходования бюджетных средств и его исторический аспект 242

Дроздова А.В.
Студент СибГИУ,
г. Новокузнецк, РФ

Поползин И.Ю.
Старший преподаватель кафедры ЭЭиПЭ, СибГИУ
г. Новокузнецк, РФ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ, СВЯЗАННОЙ С РОТОРОМ

Машиной двойного питания (МДП) в общем случае называется схема включения асинхронного двигателя с фазным ротором, в которой на ротор подается напряжение от внешнего источника с возможностью регулирования амплитуды, частоты и фазы этого напряжения [1]. Применение МДП имеет значительные преимущества перед использованием асинхронного двигателя с фазным ротором и роторной станцией, поскольку позволяет управлять потоком энергии скольжения и добиваться высоких показателей энергоэффективности. Выделяют два режима работы МДП: асинхронный, в котором частота добавочного напряжения на роторе всегда равна частоте скольжения, и синхронный, в котором частота добавочного напряжения на роторе задается независимо. Для управления МДП в системах управления электропривода необходимо построение ее математической модели. Задачей данной работы является получение математической модели МДП в асинхронном режиме.

Для описания процессов электромеханического преобразования энергии в машине оптимальным является метод обобщенной двухфазной электрической машины [1], [2], [3]. Суть метода заключается в замене изображающих векторов реальных координат машины (токов, напряжений, потокосцеплений) на их проекции на оси ортогональной

системы координат. Вопрос выбора системы координат является важнейшим при использовании данного метода. Существуют три [2] основных ортогональных системы координат, пригодных для описания процессов в асинхронном двигателе: система $\alpha\beta$, в которой ось α ориентирована по оси А обмотки статора машины, система $x-u$, в которой ось x ориентирована по изображающему вектору потокосцепления статора, и ось $d-q$, в которой ось d ориентирована по фазе А ротора машины. Для описания МДП, процессы электрохимического преобразования в которой определяются параметрами добавочного напряжения, поданного на обмотки ротора, целесообразно выбрать систему координат $d-q$, связанную с ротором.

Примем некоторые допущения, несущественные при рассмотрении большинства реально достижимых режимов работы машины:

- 1) Машина не содержит демпферных контуров;
- 2) Фазы статора и ротора машины симметричны;
- 3) Магнитная система машины не насыщена;
- 4) Токи в обмотках статора и ротора синусоидальны;
- 5) Магнитное поле синусоидально распределено по окружности статора.

Как показано в [1], в общем виде уравнения МДП во вращающейся ортогональной системе координат записываются в виде (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{Su} = R_S i_{Su} + L_S \frac{di_{Su}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Ru}}{dt} - \omega_\kappa (L_S i_{Sv} + L_\mu i_{Rv}), \\ u_{Sv} = R_S i_{Sv} + L_S \frac{di_{Sv}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Rv}}{dt} + \omega_\kappa (L_S i_{Su} + L_\mu i_{Ru}), \\ u_{Ru} = R_R i_{Ru} + L_R \frac{di_{Ru}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Su}}{dt} - (\omega_\kappa - \omega) (L_R i_{Rv} + L_\mu i_{Sv}), \\ u_{Rv} = R_R i_{Rv} + L_R \frac{di_{Rv}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Sv}}{dt} + (\omega_\kappa - \omega) (L_R i_{Ru} + L_\mu i_{Su}), \\ M = \frac{3}{2} z_\Pi L_\mu (i_{Ru} i_{Sv} - i_{Su} i_{Rv}), \end{array} \right. \quad (1)$$

где индексы S и R означают статор и ротор соответственно;

индексы u и v обозначают проекции соответствующих изображающих векторов на оси системы координат u - v , вращающейся с произвольной скоростью ω_κ ;

R – активное сопротивление соответствующей обмотки;

L – индуктивность соответствующей обмотки;

L_μ – индуктивность намагничивания машины;

u – мгновенное значение напряжения на соответствующей обмотке;

i – мгновенное значение тока соответствующей обмотки;

ω – угловая скорость вращения ротора.

Выбранная нами система d - q вращается со скоростью ротора, следовательно, $\omega_\kappa = \omega$, и выражения для мгновенных значений проекций изображающих векторов координат машины на оси d - q с учетом соотношения $\psi = Li$ и скорости вращения поля статора ω_0 примут вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{Sd} = \frac{d\psi_{Sd}}{dt} - \omega_0 \psi_{Sq} + R_S i_{Sd} \\ u_{Sq} = \frac{d\psi_{Sq}}{dt} + \omega_0 \psi_{Sd} + R_S i_{Sq} \\ u_{Rd} = \frac{d\psi_{Rd}}{dt} - (\omega_0 - \omega_\kappa) \cdot \psi_{Rq} + R_R i_{Rd}, \\ u_{Rq} = \frac{d\psi_{Rq}}{dt} + (\omega_0 - \omega_\kappa) \cdot \psi_{Rd} + R_R i_{Rq}, \end{array} \right. \quad (2)$$

Осуществив подстановку выражений для потокосцеплений и выражения для момента, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{Sd} = R_S i_{Sd} + L_S \frac{di_{Sd}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Rd}}{dt} + (L_S i_{Sq} + L_\mu i_{Rq}), \\ u_{Sq} = R_S i_{Sq} + L_S \frac{di_{Sq}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Rq}}{dt} + (L_S i_{Sd} + L_\mu i_{Rd}), \\ u_{Rd} = R_R i_{Rd} + L_R \frac{di_{Rd}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Sd}}{dt}, \\ u_{Rq} = R_R i_{Rq} + L_R \frac{di_{Rq}}{dt} + L_\mu \frac{di_{Sq}}{dt}, \\ M = \frac{3}{2} z_{II} L_\mu (i_{Sd} i_{Rq} - i_{Rd} i_{Sq}), \end{array} \right. \quad (3)$$

где M – электромагнитный момент машины, z_{II} – число пар полюсов.

Система уравнений (3) является математической моделью электромеханического преобразования энергии в машине двойного питания.

Для построения структурной схемы машины в выбранной системе координат осуществим алгебраизацию

уравнений системы (3) заменой $\frac{d}{dt} \rightarrow p$ и применим операторный метод записи дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{Sd} = R_S i_{Sd} + p L_S i_{Sd} + p L_\mu i_{Rd} + \omega (L_S i_{Sd} + L_\mu i_{Rq}), \\ u_{Sq} = R_S i_{Sq} + p L_S i_{Sq} + p L_\mu i_{Rq} - \omega (L_S i_{Sq} + L_\mu i_{Rd}), \\ u_{Rd} = R_R i_{Rd} + p L_R i_{Rd} + p L_\mu i_{Sd}, \\ u_{Rq} = R_R i_{Rq} + p L_R i_{Rq} + p L_\mu i_{Sq}, \\ M = \frac{3}{2} z_{II} L_\mu (i_{Sd} i_{Rq} - i_{Rd} i_{Sq}). \end{array} \right. \quad (4)$$

Введем следующие обозначения:

$T_S = \frac{L_S}{R_S}$ – электромагнитная постоянная времени статора;

$T_R = \frac{L_R}{R_R}$ – электромагнитная постоянная времени ротора. С

учетом вновь введенных обозначений преобразуем систему и приведем ее к следующему виду, дополнив основным уравнением движения электропривода:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{Sd} = \frac{1/R_S}{T_S p + 1} [u_{Sd} - pL_\mu i_{Rd} - \omega(L_S i_{Sq} + L_\mu i_{Rq})], \\ i_{Sq} = \frac{1/R_S}{T_S p + 1} [u_{Sq} - pL_\mu i_{Rq} + \omega(L_S i_{Sd} + L_\mu i_{Rd})], \\ i_{Rd} = \frac{1/R_R}{T_R p + 1} (u_{Rd} - pL_\mu i_{Sd}), \\ i_{Rq} = \frac{1/R_r}{T_r p + 1} (u_{Rq} - pL_\mu i_{Sq}), \\ M = \frac{3}{2} z_{II} L_\mu (i_{Sd} i_{Rq} - i_{Rd} i_{Sq}), \\ \omega = (M - M_c) \frac{1}{Jp}, \end{array} \right. \quad (5)$$

где M_c – момент нагрузки на валу машины, J – момент инерции ротора (или приведенный к ротору момент инерции рабочего механизма).

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} e_{Sd} &= pL_\mu i_{Sd}, e_{Sq} = pL_\mu i_{Sq}, e_{Rd} = pL_\mu i_{Rd}, e_{Rq} = pL_\mu i_{Rq}, \\ e_{Sd\omega} &= \omega(L_S i_{Sq} + L_\mu i_{Rq}), e_{Rq\omega} = \omega(L_S i_{Sd} + L_\mu i_{Rd}). \end{aligned} \quad (6)$$

Выражения (5) определяют ЭДС, наводимые обмотками двухфазной машины в других обмотках и обусловленные вращением обмотки ротора и магнитного поля статора. Подставив полученные выражения в систему (5), получим следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{Sd} = \frac{1/R_s}{T_s p + 1} [u_{Sd} - e_{Rd} - e_{Sd\omega}] \\ i_{Sq} = \frac{1/R_s}{T_s p + 1} [u_{Sq} - e_{Rq} + e_{Sq\omega}] \\ i_{Rd} = \frac{1/R_r}{T_r p + 1} (u_{Kd} - e_{Ss}), \\ i_{Rq} = \frac{1/R_r}{T_r p + 1} (u_{Rq} - e_{Rq}) \\ M = \frac{3}{2} z_{II} L_{\mu} (i_{Sd} i_{Rq} - i_{Rd} i_{Sq}), \\ \omega = (M - M_c) \frac{1}{Jp}. \end{array} \right. \quad (7)$$

Полученной системе уравнений (7) можно поставить в соответствие структурную схему МДП в системе координат d - q , приведенную на рисунке 1.

В данной модели входными управляющими воздействиями являются величины амплитуд проекций обобщенных векторов напряжений на статоре и роторе. Выходными координатами структурной схемы являются электромагнитный момент машины и рассчитываемая на его основе через основное уравнение движения привода угловая скорость вращения ротора. При этом возмущающим воздействием в данной схеме является момент нагрузки (статический момент) привода. Промежуточными координатами являются токи обмоток двухфазной модели машины и ЭДС этих обмоток. Таким образом, данная схема полностью описывает электромеханическое преобразование энергии в МДП с учетом нагрузки на ее валу.

Полученная математическая модель машины двойного питания позволяет проанализировать статические и динамические свойства МДП в асинхронном режиме, а также их изменение при изменении амплитуды и фазы добавочного

напряжения на роторе. Определенным недостатком полученной модели является обилие перекрестных связей, моделирующих ЭДС, что несколько усложняет структурную схему. Этот недостаток может быть устранен с помощью применения метода подвижной самоориентирующейся системы координат [3] или компенсации ЭДС [1].

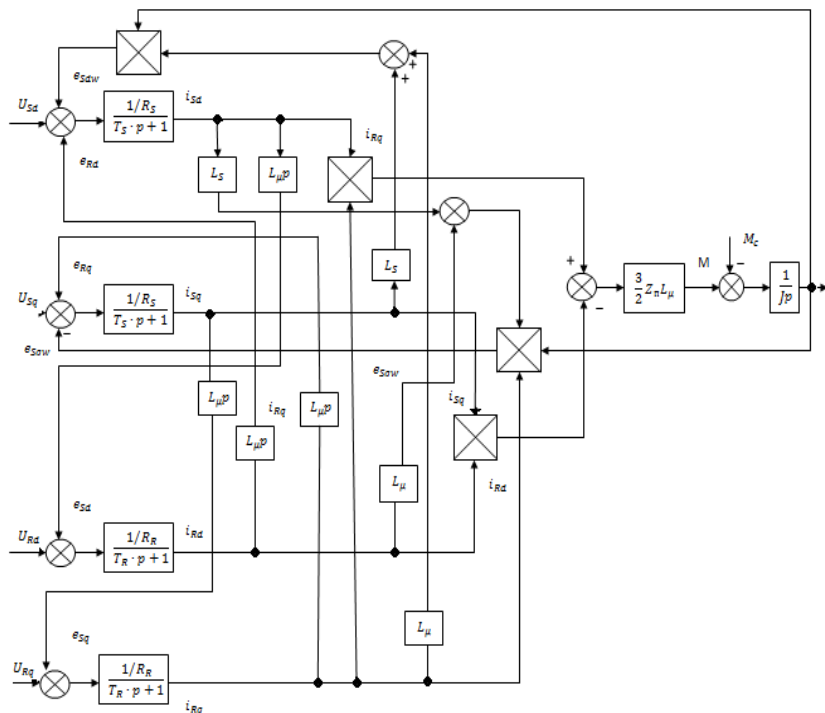


Рисунок 1. Структурная схема МДП в системе координат $d-q$

Список использованной литературы

1. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания [Текст]/ Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.

2. Ключев В. И. Теория электропривода [Текст] / В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

3. Островлянчик В.Ю., Поползин И.Ю. Асинхронный электропривод шахтной подъемной установки, построенный по схеме машины двойного питания с комбинированным управлением [Текст] / В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. - №3. – с. 303-309.

© Дроздова А.В., Поползин И.Ю., 2017