

ЭЛЕКТРОПРИВОД И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ШНЕКОВОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Создание ресурсо- и энергосберегающих технологий базируется на двух основных направлениях. Первое из них связано с повышением КПД отдельных элементов системы преобразования энергии. Второе – основано на интегрировании функциональных свойств одним агрегатом и использовании диссипативной энергии. Поскольку первое из направлений при развитой системе оптимизации конструктивных решений определяется, прежде всего, созданием новых активных и изоляционных материалов, темпы его развития ограничены.

Для технологических систем, объединяющих процессы транспортировки, нагрева, перемешивания материалов, наиболее перспективным следует считать второе направление. В этом случае становится возможным сбережение ресурсов за счет объединения отдельных элементов оборудования в одном корпусе и, что очень важно, использование диссипативной энергии указанных элементов, которая ранее при традиционной схеме преобразования и использования энергии бесполезно рассеивалась в окружающую среду [1].

Одним из основных путей повышения технико-экономических показателей электропривода является создание совмещенных в одном корпусе двигателей-смесителей, двигателей-шнеков. Это перспективный класс электромеханических систем, предназначенных для непосредственного осуществления технологических процессов и отличающихся усиленной концентрацией функциональных и энергетических свойств [2, 3].

Технологические режимы многих производственных механизмов на разных этапах работы требуют движения рабочего органа с различной скоростью, что обеспечивается либо механическим путем, либо путем электрического регулирования скорости электропривода. При этом требования к диапазону и точности регулирования скорости могут изменяться в широчайших пределах в зависимости от области применения электропривода.

Необходимость регулирования момента диктуется предъявляемыми к электроприводу техническими и технологическими требованиями. Для нормального функционирования привода необходимо ограничивать момент и ток двигателя допустимыми значениями в переходных процессах пуска, торможения и приложения нагрузки.

Статор электротепломеханического преобразователя (ЭТМП), посаженный на полый вал, создает электромагнитный момент, который в свою очередь приводит к вращению полого цилиндра ротора [4]:

$$M_{ЭМ} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{M}{L_2} \cdot (\vec{i}_1 \cdot \vec{\psi}_2) = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{M}{L_2} \cdot (\psi_{2d} \cdot i_{1q} - \psi_{2q} \cdot i_{1d}), \quad (1)$$

где z_p – число пар полюсов машины; M – взаимная индуктивность статора и ротора; L_2 – индуктивность ротора; \vec{i}_1 – ток статора; $\vec{\psi}_2$ – потокосцепление ротора.

Конструктивные особенности и условия работы ЭТМП с внешним массивным ротором делают крайне затруднительным установку датчика скорости (тахогенератора) на полый цилиндр ротора. Метод скалярного управления можно реализовать только при наличии датчика скорости, что делает применение данного метода неприемлемым для управления ЭТМП.

При векторном управлении необходимыми являются только датчики тока фаз статора двигателя. Поэтому для управления ЭТМП целесообразно использовать бездатчиковую систему векторного управления электроприводом [5], которое удовлетворяет всем технологическим требованиям.

Векторное управление основывается на пространственной ориентации вектора напряжения и преобразовании неподвижной трехфазной системы координат во вращающуюся двухфазную. Входными параметрами для осуществления векторного управления являются мгновенные значения токов, скорость вращения вала ротора, модуль и угол вектора потокосцепления. Измерение тока производят специальные датчики, при этом достаточно использовать датчики только в двух фазах двигателя, т.к. значение тока третьей фазы вычисляется исходя из алгебраической суммы токов, равной нулю. Для измерения вектора потокосцепления необходимо наличие датчиков Холла в воздушном зазоре двигателя.

Полная управляемость электропривода обеспечивается управлением электромагнитным моментом двигателя. Для этого требуется независимо управлять координатами векторов, входящих в выбранное уравнение электромагнитного момента. Общий принцип моделирования и построения системы управления заключается в том, что для этого используется система координат, постоянно ориентированная по направлению какого-либо вектора, определяющего электромагнитный момент. Тогда проекция этого вектора на другую ось координат и соответствующее ей слагаемое в выражении для электромагнитного момента будут равны нулю, и формально оно принимает вид, идентичный выражению для электромагнитного момента двигателя постоянного тока. Система уравнений, описывающих переходные процессы и математическую модель ЭТМП (2):

$$\left. \begin{aligned} i_{1d} &= \frac{1}{r_1 \cdot (T_{12p} + 1)} \cdot (U_{1d} + i_{1q} \cdot \omega_1 \cdot L_1 \cdot \sigma - p \psi_{2d} \cdot k_2) \\ i_{1q} &= \frac{1}{r_1 \cdot (T_{12p} + 1)} \cdot (U_{1q} - i_{1d} \cdot \omega_1 \cdot L_1 \cdot \sigma - \omega_1 \cdot \psi_{2d} \cdot k_2) \\ \psi_{2d} &= i_{1d} \cdot \frac{M}{T_2' p + 1}; \omega_2 = i_{1q} \cdot \frac{M}{T_2' \cdot \psi_{2d}}; M_{ЭМ} = \frac{3 \cdot z_p}{2 \cdot r_2'} \cdot \frac{M}{T_2'} \cdot \psi_{2d} \cdot i_{1q}; \Omega = \frac{M_{ЭМ} - M_C}{J_r p}; \omega_1 = \omega_2 + \Omega \cdot z_p, \end{aligned} \right\} (2)$$

Активное сопротивление ротора $r_2(s) = r_2'$ зависит от скорости ротора: чем больше скорость, тем меньше активное сопротивление ротора. Это обуславливает квадратично прямо-пропорциональную зависимость $r_2' = r_2 \cdot \sqrt{s}$ активного сопротивления ротора от диапазона рабочих скольжений. Чем больше активное сопротивление ротора r_2' , тем меньше электромагнитная постоянная времени ротора T_2' : $T_2' = L_2 / r_2'$. Так как индуктивность обмотки ротора L_2 можно считать относительно постоянной величиной, то и произведение $T_2' \cdot r_2' = L_2$ также можно считать постоянной величиной: $T_2' \cdot r_2' = L_2 \approx \text{const}$.

На графики переходных процессов (рис. 1) не влияет изменение величины активного сопротивления ротора, так как изменение r_2' приведет к соответствующему изменению других параметров математической модели. Эти изменения уравновешивают друг друга, поэтому не оказывают влияния на выходные величины цифровой модели.

Общий массивный ротор разделен на два участка по длине соответствующих зон электромагнитного действия статоров ведущего модуля, работающего в двигательном режиме, и ведомого модуля, работающего в режиме противовключения. В момент включения ведомого модуля его пусковой момент действует как ударный тормозной момент, что вызывает процесс торможения ротора-шнека. При этом обратный момент $M_{эм2}$ не меняет знака при изменениях частоты вращения ротора. Вращающий момент шнекового ЭТМП представляет собой сумму действующих прямого и обратного моментов соответственно ведущего и ведомого модулей.

При проведении исследований было установлено, что время разгона ротора ЭТМП без включения тормозящего модуля до синхронной скорости $\Omega_{\text{синх}} = 78,5 \text{ c}^{-1}$ составляет $t_p = 0,8 \text{ с}$. Следовательно, временную задержку включения тормозящего модуля принимаем равным значению $t_3 = 0,15 \text{ с}$. При временной задержке $t_3 = 0,15 \text{ с}$ ротор на первом этапе пуска разгоняется ведущим модулем до необходимой скорости и при последующем подключении тормозящего блока ЭТМП плавно входит в режим динамического равновесия моментов. Если время задержки излишне большое, то включение тормозящего модуля сопровождается значительными ударными электромагнитными моментами, которые неблагоприятно отражаются на стойкости конструкции.

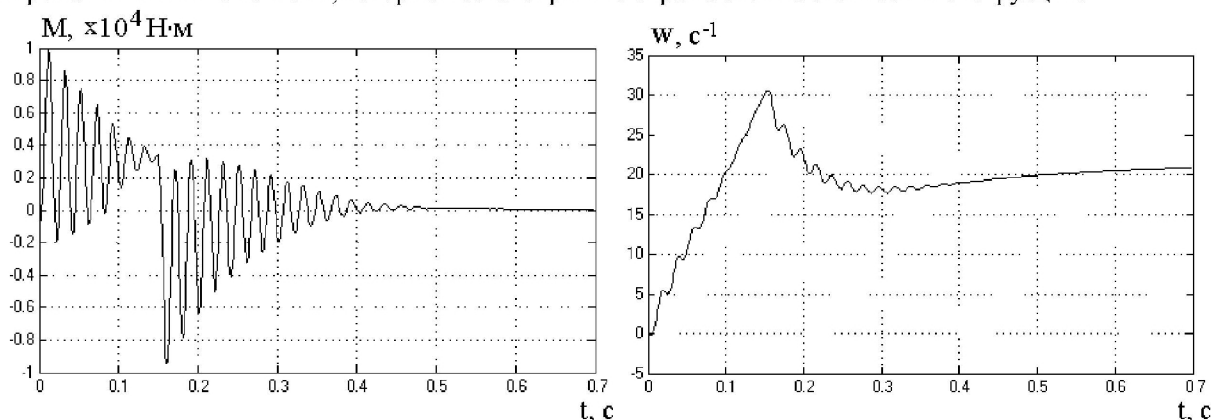


Рис. 1 Переходные процессы в двухмодульном ЭТМП при нагрузке $M_C = 700 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Система управления электроприводом при прямом пуске от сети обеспечивает оптимальный уровень работы двухмодульного ЭТМП. Это делает использование преобразователя частоты нецелесообразным, учитывая его высокую стоимость.

[1] Заблодский Н.Н. Формирование динамических и энергетических характеристик электротепломеханических преобразователей // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. - № 12. – Т.2. – С. 432-433.

[2] Патент України № 49409, E21B 37/00. Заблодський М.М., Дорофеев В.М., Захарченко П.І., Шинкаренко В.Ф., Плюгін В.Є. та ін. Пристрій для видалення парафіну зі стінок нафтогазових свердловин. – Промислова власність. Бюл. № 10, 2004.

[3] Патент України № 50242, F26B 17/18. Заблодський М.М., Дорофеев В.М., Шинкаренко В.Ф., Захарченко П.І., Плюгін В.Є. та ін. Шнековий сушильний апарат. – Промислова власність. Бюл. № 1, 2005.

[4] Фираго Б.И. Теория электропривода. – Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.

[5] Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1987. – 136 с.