

*А.Ф. ДАНИЛЕНКО*, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",  
*В.А. ЗМИЕВСКОЙ* (г. Харьков)

## УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Розглянуті питання побудови та використання моделі векторного керування асинхронним електроприводом з математичним аналізом та обґрунтуванням. Вхідними параметрами системи є частота обертання ротора двигуна та обертаючий момент.

There were looked questions about model of vector management asynchronous electric motor with mathematical analyze and motivation. Input parameters of system are frequency of rotation engine rotor and torque.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Применение новых технологий для построения более экономичных транспортных средств показало, что наиболее приемлемым типом двигателя для подобных систем является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Применение данного двигателя обеспечивает простоту эксплуатации, высокую надежность и экологическую чистоту [1].

Постоянное развитие и совершенствование частотно-регулируемых асинхронных электродвигателей требует рассмотрения вопросов анализа и разработки принципиально новых методов управления, с применением современных методов математического моделирования. Наиболее перспективным в наше время считается метод векторного управления, основанный на восстановлении неизвестных параметров системы по уравнениям векторного управления [2]. Данный метод позволяет заменить дорогостоящие датчики измерения магнитного потока на датчики тока или напряжения в обмотках электродвигателя и восстановить неизвестные параметры из решения простых линейных уравнений. Преимуществом этого метода также является возможность раздельного изменения связанных друг с другом характеристик. Так, например, для электродвигателя возможно изменить вращающий момент без изменения скорости вращения двигателя и наоборот [3].

**Цель статьи.** Рассмотреть вопросы анализа системы управления асинхронным электроприводом с применением векторного регулирования. Произвести разработку системы управления асинхронного электропривода с применением средств вычислительной техники.

**Особенности рассматриваемой системы.** Типовая структура электропривода на базе асинхронного короткозамкнутого электродвигателя состоит из самого электродвигателя, преобразователя частоты, включающего инвертор тока или напряжения с широтно-импульсной модуляцией, датчиков

тока, напряжения, скорости вращения вала ротора и микропроцессорной системы управления электроприводом [4].

Основная идея при построении системы с векторным управлением состоит в том, чтобы минимизировать затраты мощности при переходах системы из одного режима работы в другой. При этом обычно при разгоне машины система работает при постоянном моменте, и управление системой использует измерение токовых переменных, а после достижения номинального напряжения – при постоянной мощности с изменением тягового момента. Система векторного управления также может содержать блоки адаптации к нагреву электродвигателя (изменяются индуктивности обмоток и их сопротивления) (рис.), что может снизить стоимость системы за счет отказа от дорогостоящих чувствительных датчиков температуры [5].

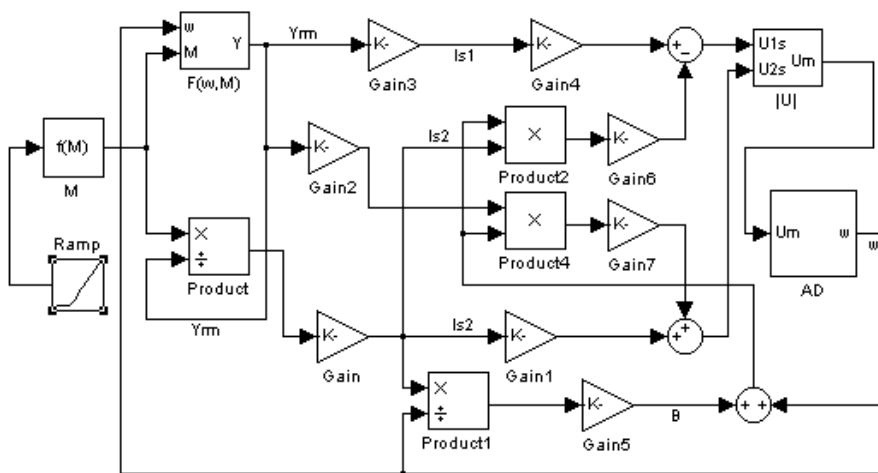


Рис. Структурная схема векторного управления асинхронным электроприводом

В качестве сигналов задания используются частота вращения ротора электродвигателя, полученная с помощью датчика, и тяговый момент двигателя. Аналитически производятся вычисления токов и напряжений статора, потокосцепление ротора, а также коэффициент скольжения. С целью упрощения математической модели системы управления трехфазная система описания параметров двигателя может быть приведена к ортогональной, что позволит уменьшить число дифференциальных уравнений, описывающих режимы его работы, и рассмотреть модель асинхронного электродвигателя переменного тока как эквивалентную ей машину постоянного тока. Для удобства расчета выбрана система координат, вращающихся вместе с полем ротора, что позволяет дополнительно минимизировать полученные после предыдущего преобразования уравнения.

Рассмотренная система, приведенная на рис., была построена с учетом того, что потокосцепление само нормализуется и устанавливается в постоянную величину, что позволяет избавиться от операторов дифференцирования в левой части уравнений и решать их как линейные, без применения методов решения дифференциальных уравнений, которые требуют высокой точности и больших затрат ресурсов микропроцессоров.

**Анализ модели.** Уравнения статорной и роторной цепей асинхронного электродвигателя со скоростью вращения ротора  $\omega$  во вращающейся со скоростью  $\omega_k$  системе координат имеют вид [1, 2]:

$$U_{s1} = \frac{d\Psi_{s1}}{dt} - \Psi_{s2}\omega_k + R_s I_{s1}; \quad (1)$$

$$U_{s2} = \frac{d\Psi_{s2}}{dt} - \Psi_{s1}\omega_k + R_s I_{s2}; \quad (2)$$

$$0 = \frac{d\Psi_{r2}}{dt} - (\omega_k - p\omega)\Psi_{r2} + R_r I_{r1}; \quad (3)$$

$$0 = \frac{d\Psi_{r1}}{dt} - (\omega_k - p\omega)\Psi_{r1} + R_r I_{r2}. \quad (4)$$

Уравнение для определения тягового момента электродвигателя  $M_d = \frac{mpK_r}{2} |\Psi_r \times I_s|$ , где  $m$  – число фаз,  $p$  – число пар полюсов,  $K_r$  – коэффициент связи ротора. Учитывая, что скорость вращения координат совпадает со скоростью вектора потока  $\omega_k = \omega_\Psi$ , вектор  $\Psi$ , проектируемый на ось 1, представляется своим модулем  $\Psi_{rm}$ , а его проекция на ось 2 будет равна нулю и уравнения (1) – (4) примут вид:

$$\omega_k = \omega_\Psi;$$

$$U_{s1} = \frac{d\Psi_{s1}}{dt} - \Psi_{s2}\omega_\Psi + R_s I_{s1};$$

$$U_{s2} = \frac{d\Psi_{s2}}{dt} - \Psi_{s1}\omega_\Psi + R_s I_{s2};$$

$$0 = \frac{d\Psi_{rm}}{dt} + R_r I_{r1};$$

$$0 = (\omega_k - p\omega)\Psi_{rm} + R_r I_{r2};$$

$$M_d = \frac{mpK_r}{2} |\Psi_r \times I_s|.$$

Используя уравнения связи тока и потокосцепления  $\Psi_r = I_r L_r + I_s L_m$ ;  $\Psi_s = I_s L_s + I_r L_m$ , можно сократить число переменных, входящих в уравнения (1) – (4):

$$I_r = \frac{1}{L_r} \Psi_r - I_s \frac{L_m^2}{L_r};$$

$$\Psi_s = I_s L_s + \frac{L_m}{L_r} \Psi_r - I_s \frac{L_m^2}{L_r};$$

$$\Psi_s = I_s L'_s + K_r \Psi_r.$$

Задачей системы управления является стабилизация потока ротора  $\Psi_{rm}$ , которую можно обеспечить, используя приведенные ниже соотношения:

$$U_{s1} = R_s I_{s1} - I_{s2} L'_s \omega \Psi; \quad (5)$$

$$U_{s2} = R_s I_{s2} + \omega \Psi \Psi_{rm} \left( \frac{L'_s}{L_m} + K_r \right); \quad (6)$$

$$I_{s1} = \frac{\Psi_{rm}}{L_m}; \quad (7)$$

$$I_{s2} = \frac{M}{\Psi_{rm}} \frac{2}{mp K_r}. \quad (8)$$

На основании полученных соотношений (5) – (8) была построена рассмотренная система управления (см. рис.), проведено моделирование и исследование ее динамических характеристик в пакете Matlab 6.0 с использованием численных методов решения систем уравнений [6, 7].

**Выводы:** рассмотренный пример моделирования управления асинхронным электродвигателем показал возможность упрощения схемы системы управления, за счет перехода от трехфазной модели к модели с ортогональными координатами со скоростью вращения поля ротора. Результаты исследования, полученные с использованием модели, позволили уточнить параметры системы управления. Предложенная модель системы управления асинхронным электроприводом в дальнейшем будет использована при разработке системы регулирования асинхронного электропривода с применением микроЭВМ.

**Список литературы:** 1. Петров Г.И. Электрические машины. Т. 1, 2. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 396 с. 2. Рудаков В.В., Столяров И.М. и др. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с. 3. Копылов И.П. Электрические преобразователи энергии. – М.: Энергия, 1973. – 400 с. 4. Ефремов И.С., Калинин А.А. и др. Цифровые системы управления электрическим подвижным составом с тиристорными импульсными регуляторами. – М.: Транспорт, 1988. – 253 с. 5. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и миниЭВМ. – М.: Мир, 1981. – 268 с. 6. Дьяконов В. Simulink-4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с. 7. Калашиников В.И. Введение в численные методы: Учеб. пособие. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2002. – 132 с.

Поступила в редакцию 10.04.2005