

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С КОСВЕННЫМ ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Регулирование механических координат (пути, скорости, ускорения, момента) асинхронного электропривода осуществляется посредством управления электрическими координатами (током и напряжением) асинхронного двигателя (АД). Системы автоматического управления АД по принципу действия можно разделить на две группы:

- 1) системы с управлением вектором (мгновенными значениями) фазных токов АД - векторное управление;
- 2) системы с управлением модулем (амплитудой и частотой) фазных напряжений и токов АД - частотное управление.

Реализация векторного управления возможна двумя способами:

- 1) с использованием обратной связи по магнитному потоку АД, когда мгновенные значения токов определяются задающим воздействием и угловым положением потока АД - система управления "Transvektor" (преобразование вектора) [1] - прямое векторное управление.
- 2) с использованием обратной связи по положению ротора, когда мгновенные значения токов определяются задающим воздействием и угловым положением ротора АД [2] - косвенное векторное управление.

Непосредственное измерение потока двигателя, например, с помощью датчиков Холла, связано с определенными техническими трудностями, вызванными нестабильностью их характеристик, неудобством конструктивного исполнения и др. Можно измерять ЭДС двигателя путем укладки специальной измерительной обмотки в пазы статора вместе с рабочей обмоткой, но имеющей меньшее число витков и сечение проводника. Конструктивные трудности здесь невелики, но технология изготовления такого двигателя все же затруднена. Кроме того, серийные машины не имеют такой обмотки. При измерении потока проявляются зубцовые гармоники, которые могут вызвать появление пульсирующей составляющей при регулировании момента. Это, в свою очередь, вызывает необходимость применения фильтра в цепи обратной связи (ОС). Кроме того, измеряется, как правило, поток в воздушном зазоре и не учитывается поток рассеяния цепи ротора.

Методы косвенного измерения потока (а точнее - вычисления) не дают необходимой точности, поскольку параметры машины могут изменяться в процессе работы (влияние нагрева, насыщения и др.).

В то же время имеются трудности и при реализации другого метода, основанного на измерении частоты вращения двигателя. Решающее преимущество он имеет там, где применяется электропривод, замкнутый по положению (металлорежущие станки с ЧПУ, оборудование ГПС и т.д.), то есть там, где наличие датчика ОС по положению (скорости) так или иначе, необходимо. Для анализа работы АД необходимо получить его математическую модель.

Векторное управление (ВУ) АД рассматривается в синхронной системе координат X, Y . Соотношения переменных АД в координатах X, Y и неподвижной системе координат α, β поясняются с помощью рис. 1, где обозначено: \vec{U}_s - вектор напряжения статора и его составляющие $U_{s\alpha}, U_{s\beta}, U_{s\gamma}, U_{s\delta}$ в осях $\alpha\beta$ и X, Y соответственно; далее в ин-

дексных обозначениях используются: S - статор; r - ротор; x, y, α , β - оси координат; \vec{i}_S - вектор тока статора и его составляющие $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, i_{sx} , i_{sy} .

Угловые положения координат (Рис. 1) характеризуются:

$\theta_\psi = \theta_2 + \theta_r$ - угол потока; $\theta_u = \theta_m + \varphi$ - угол вектора напряжения (XY): $\theta_{is} = \theta_m + \theta_\psi$ - угол вектора тока (α, β), где θ_m - угол момента; φ - угол между векторами тока и напряжения.

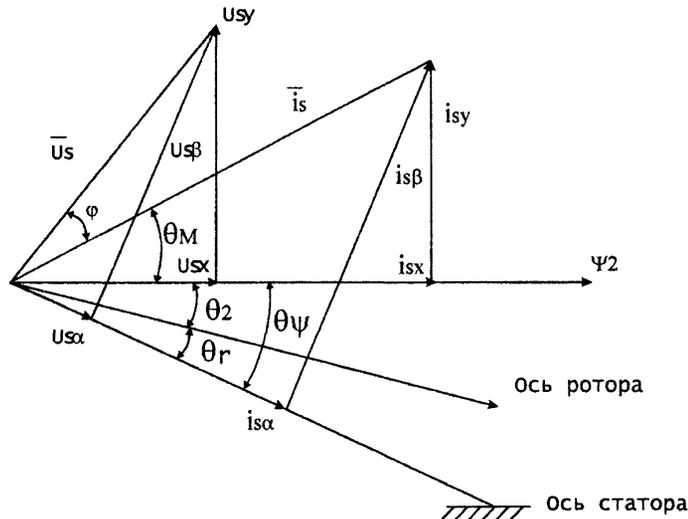


Рис.1 Векторная диаграмма.

Реализация векторного управления АД возможна на основе автономных инверторов напряжения (АИН) в чистом виде и на основе АИН, работающего в режиме источника тока (АИН - ИТ).

Для получения управляющих сигналов воспользуемся математической моделью [3], согласно которой уравнение короткозамкнутого ротора запишем в виде:

$$R_r i_{ry} + p \psi_{ry} + (\omega_0 - \omega_r) \psi_{rx} = 0, \quad (1)$$

$$R_r i_{rx} + p \psi_{rx} - (\omega_0 - \omega_r) \psi_{ry} = 0,$$

где R_r - сопротивление цепи ротора;

ψ_{rx} , ψ_{ry} - составляющие вектора потокосцепления ротора (r) в осях XY;

ω_0 - частота электромагнитного поля статора;

ω_r - частота вращения ротора;

p - символ дифференцирования.

Имея в виду, что $\psi_{rx} = \psi_r$ и $\psi_{ry} = 0 = p\psi_{ry}$, запишем:

$$R_r i_{ry} + \omega_2 \psi_r = 0, \quad (2)$$

$$R_r i_{rx} + p \psi_r = 0.$$

Выразим потокосцепления ротора в виде:

$$\psi_{ry} = L_r i_{ry} + L_m i_{sy} = 0, \quad (3)$$

$$\psi_{rx} = L_r i_{rx} + L_m i_{sx},$$

где L_r , L_m - параметры T-образной схемы замещения АД [1].

Из (3) можно получить зависимость между составляющими вектора тока статора и ротора:

$$i_{rx} = \frac{\psi_{rx}}{L_r} - \frac{L_m}{L_r} * i_{sx}, \quad (4)$$

$$i_{ry} = -\frac{L_m}{L_r} * i_{sy}.$$

На основании (2)...(4) запишем уравнения.

$$\omega_2 = -\frac{R_r}{\Psi_r} * i_{ry} = \frac{R_r * L_M}{\Psi_r * L_r} * i_{sy} \quad (5)$$

$$p\Psi_r = \frac{R_r}{L_r} + (-\Psi_r + L_M * i_{sx}) \quad (6)$$

$$M_3 = K_m * i_{sy} * \Psi_r, \quad (7)$$

$$K_m = \frac{3}{2} * \frac{Z_p}{2} * \frac{L_M}{L_r},$$



где M_3 – электромагнитный момент АД;

Z_p – число пар полюсов.

Уравнения (5)...(8) позволяют получить задающие сигналы (которые здесь и далее обозначены *) тока статора и частоты тока в роторе, при задании момента и потокосцепления ротора.

$$i_{sy}^* = \frac{4}{3 * Z_p} * \frac{L_r}{L_M} * \frac{M_3^*}{\Psi_r^*}, \quad (9)$$

$$i_{sx}^* = \frac{1}{L_M} * (1 + \frac{L_r}{R_r} * p) \Psi_r^*, \quad (10)$$

$$\omega_2^* = \frac{L_M * R_r}{L_r} * \frac{i_{sy}^*}{\Psi_r^*}. \quad (11)$$

Автономный инвертор напряжения в режиме источника тока (АИН-ИТ) обеспечивает формирование токов фаз АД методом отслеживания, задающих сигналов i_{as}^* , i_{bs}^* , i_{cs}^* токов по фазам а, b и с. Для их получения необходимо определить:

амплитуду вектора тока из (9) и (10):

$$|i_s^*| = (i_{sx}^{*2} + i_{sy}^{*2})^{1/2} \quad (12)$$

угол θ_m^* момента:

$$\theta_m^* = \text{tg}^{-1}(i_{sy}^*/i_{sx}^*) \quad (13)$$

и угол тока:

$$\theta_{is}^* = \theta_m^* + \theta_2^* + \theta_r \quad (14)$$

Укрупненная функциональная схема ВУ с АИН-ИТ привода на Рис. 2, где входные величины обозначены , сигналы обратной связи  блоке i_s^* осуществляются преобразования:

$$i_{as}^* = |i_s^*| * \sin \theta_{is}^*,$$

$$i_{bc}^* = |i_s^*| \sin(\theta_{is}^* - 2\pi/3), \quad (15)$$

$$i_{cs}^* = |i_s^*| \sin(\theta_{is}^* + 2\pi/3).$$

Сигналы i_{as}^* , i_{bs}^* и i_{cs}^* поступают на систему управления АИН-ИТ.

Использование современных силовых элементов в АИН, таких как IGBT и MOS-FET транзисторов, позволяет реализовать режим отслеживания заданного сигнала напряжения. Функциональная схема такого электропривода изображена на Рис. 3. Она

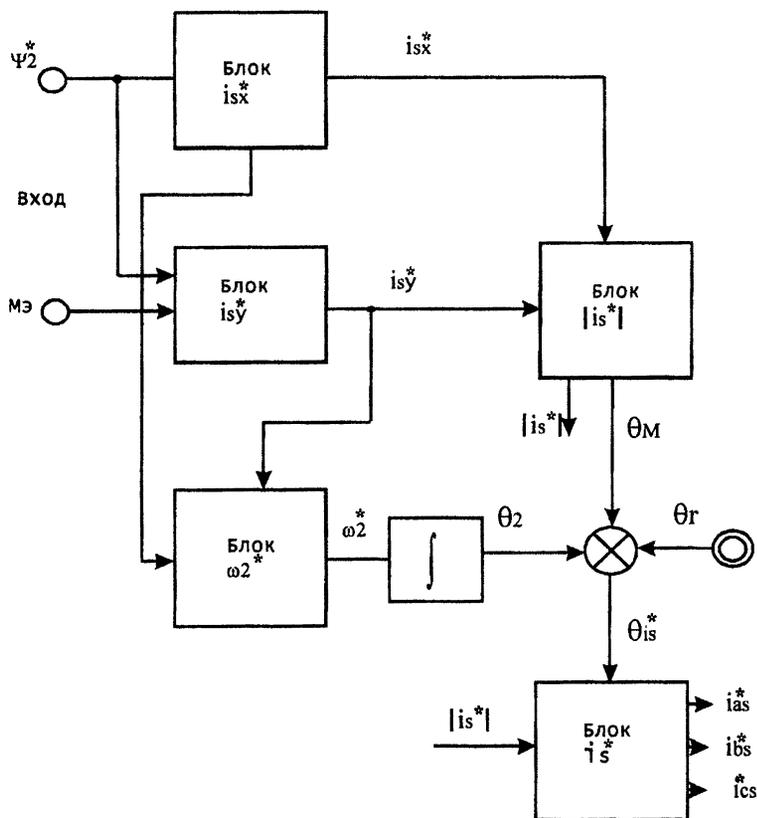


Рис.2 Функциональная схема векторного управления с инвертором напряжения в режиме источника тока.

-  Входные сигналы
 Сигналы обратной связи

аналогично предыдущей в части получения сигналов i_{sx}^* и i_{sy}^* . Контуры токов построены по принципу подчиненного регулирования: задающие сигналы i_{sx}^* и i_{sy}^* сравниваются с сигналами обратной связи i_{sx} и i_{sy} , полученными путем преобразования значений фазных токов i_a , i_b и i_c . Полученное рассогласование подается на регуляторы токов осей PT_x и PT_y

Для получения управляющих сигналов вектора напряжения по осям XU преобразуем уравнения (6), (9), (10), (11).

В результате преобразований получим

$$U_{sx}^* = R_s * i_{qs}^* + L_\sigma * p * i_{qs}^* + \omega_0 * L_\sigma * i_{ds}^* + \omega_0 * \frac{L_M^2}{L_r^2} * \frac{R_r}{\omega_2} * i_{qs}^*, \quad (16)$$

$$U_{sy}^* = R_s * i_{ds}^* + L_\sigma * p * i_{ds}^* - \omega_0 * L_\sigma * i_{qs}^* + \frac{L_M^2}{L_r^2} * R_r * i_{ds}^* - \frac{L_M^2}{L_r^3} * \frac{R_r}{\omega_2} * i_{qs}^*, \quad (17)$$

где $L_\sigma = L_s - L_M^2/L_r$

Выбор того или иного способа реализации косвенного векторного управления определяется коммутационными возможностями силовых ключей и быстродействием микропроцессорной системы управления.

Литература. 1. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с. 2. Бродовский В.Н., Иванов Е.С. Приводы с частотно-

токовым управлением.-М.: Энергия, 1974.-168 с. 3. Петренко Ю.Н., Гульков Г.И. Авто-
матизация типовых технологических процессов и промышленных установок. -Мн.:
БПИ, 1989. - 81 с.

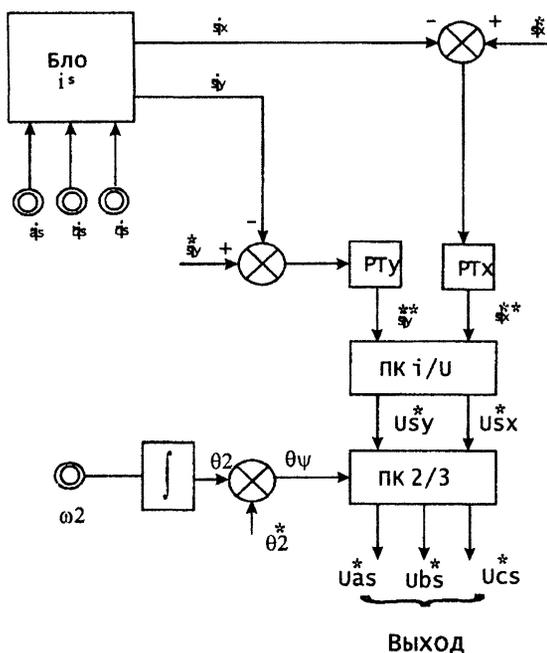


Рис.3. Функциональная схема векторного управления АД с автономным инвертором напряжения

- - входные сигналы
- ⊙ - сигналы обратной связи

УДК 621.3.049.77

В.М. Колешко, В.В. Ковалевский

НЕЙРОКОДИРОВАНИЕ СЕНСОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

Нейроны коры головного мозга переносят информацию о признаках входного воздействия, упорядоченным набором импульсов. При этом происходит нейрокодирование сенсорной информации и для раскрытия “содержания” нейронной импульсной последовательности необходим процесс декодирования [1,2].

Необходимо отметить, что большинство экспериментов в области нейрокодирования сенсорной информации проводятся при условиях, во многом не совпадающих с естественными. Сенсорные сигналы обычно выбираются из ограниченного набора с упрощенной динамикой. Проблема заключается в том, что при использовании входных воздействий, приближенных к реальным, со сложной временной зависимостью, очень трудно количественно охарактеризовать реакцию нейрона. В решении данной проблемы может помочь информационная теория. В частности, она дает точный ответ на один критический вопрос, возникающий при изучении нейрокодирования: “Какая часть “точной временной структуры” (detailed temporal structure) последовательности нервных импульсов содержит информацию, а какая является “шумом”?”. Математически