

**Г.Г. Мона канд. техн. наук**

(Украина, Днепрпетровск, Национальная металлургическая академия Украины)

**Д.В. Цыпленков канд. техн. наук, М.С. Кириченко**

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## **КОСВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ И УГЛА МЕЖДУ СИСТЕМАМИ КООРДИНАТ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

При построении системы векторного управления асинхронным двигателем возникает вопрос определения угла между системой координат, которая вращается синхронно с вектором потокосцепления ротора и неподвижной системой координат. Информация об этом угле необходима для формирования обратных связей по потоко- и моментобразующим составляющим тока статора асинхронного двигателя, что позволяет повысить качество управления асинхронным двигателем за счет более точного формирования управляющих сигналов, которые поступают на вход силового преобразователя. В существующих системах управления асинхронным двигателем при использовании принципов векторного управления для достижения этой цели используют системы, которые описаны многими авторами [2, 3]. Косвенное определение значения этого угла на основании информации о значениях тока и скорости – один из возможных путей решения этой задачи.

При рассмотрении устройств наблюдения потокосцепления ротора [4, 5] принималось допущение, что известны потокообразующая  $I_{1s}$  и моментобразующая  $I_{2s}$  составляющие тока статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Поскольку асинхронный двигатель, как объект управления, описан в системе отсчета, которая вращается и ориентируется на вектор потокосцепления ротора, то эти составляющие прямым измерением определить невозможно. Переход от тока статора, определенного в неподвижной системе координат  $(\alpha, \beta)$ , к потоко- и моментобразующим составляющим тока статора в системе координат, которая вращается синхронно с вектором потокосцепления ротора, выполняется в соответствии с уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} i_{1s}(t) &= i_{\alpha}(t)\cos\gamma_{n-1} + i_{\beta}(t)\sin\gamma_{n-1} \\ i_{2s}(t) &= i_{\beta}(t)\cos\gamma_{n-1} - i_{\alpha}(t)\sin\gamma_{n-1} \end{aligned} \right\},$$

где  $i_{1s}(t)$ ,  $i_{2s}(t)$  – соответственно мгновенные значения потоко- и моментобразующих составляющих тока статора;  $i_{\alpha}(t)$ ,  $i_{\beta}(t)$  – соответственно мгновенные значения тока статора в неподвижной системе координат;  $\gamma_{n-1}$  – угол между мгновенными значениями тока статора в неподвижной системе координат и током статора асинхронного двигателя в системе координат, которая вращается с частотой вращения пространственного вектора потокосцепления ротора определенная в предыдущий момент времени.

Определяя значение угла примем допущение, что значение угла в предыдущий момент времени известно, и это значение фактически определяет потоко- и моментобразующие составляющие тока статора в настоящий момент времени (у величин, определенных в предыдущий момент времени имеется индекс  $n - 1$ , в настоящий момент времени индекс  $n$ ).

При рассмотрении поставленной задачи, помимо неизвестного значения угла между системами отсчета, неизвестной координатой также является потокоцепление ротора. Таким образом, система уравнений, которая описывает объект следующая:

$$\begin{cases} i_{1s}(t) = i_{1\alpha}(t)\cos\gamma_{n-1} + i_{1\beta}(t)\sin\gamma_{n-1}, \\ i_{2s}(t) = -i_{1\alpha}(t)\sin\gamma_{n-1} + i_{1\beta}(t)\cos\gamma_{n-1}, \\ \frac{d\Psi(t)}{dt} = \frac{i_{1s}(t)L_0}{T_r} - \frac{\Psi(t)}{T_r}, \\ \omega_c = \frac{i_{2s}(t)K_r R_r}{\Psi(t)} + \omega_{дв}(t)Z_p, \\ \gamma_n = \int_0^t \frac{d\omega_c}{dt}. \end{cases} \quad (1)$$

де  $\omega_{дв}(t)$  – угловая частота вращения вала двигателя;  $Z_p$  – количество пар полюсов асинхронного двигателя;  $K_r$  – коэффициент электромагнитной связи ротора;  $R_r$  – активное сопротивление обмоток ротора,  $\Psi_{1r}(t)$  – потокоцепление ротора.

Для простоты записи выражений введем обозначения:  $I_{1\alpha} = I_{1\alpha}(t)$ ,  $I_{1\beta} = I_{1\beta}(t)$ ,  $\omega_{дв} = \omega_{дв}(t)$ ,  $\Psi = \Psi(t)$ .

Подставим выражение  $I_{1s}$  из первого уравнения системы (1) в третье уравнение и получим

$$\frac{d\Psi}{dt} + \frac{\Psi}{T_r} = \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha} \cos\gamma_{n-1} + I_{1\beta} \sin\gamma_{n-1}). \quad (2)$$

Это линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка.

Будем искать решение уравнения (2) в виде произведения двух функций от  $t$ :  $\Psi = u(t)v(t)$ . Тогда  $\frac{d\Psi}{dt} = u'v + v'u$ . Подставим выражения для  $\Psi$  и  $\frac{d\Psi}{dt}$  в уравнение (2) и получим

$$u'v + v'u + uv\frac{1}{T_r} = \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha} \cos\gamma_{n-1} + I_{1\beta} \sin\gamma_{n-1})$$

или

$$u'v + u\left(v' + \frac{v}{T_r}\right) = \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha} \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta} \sin \gamma_{n-1}). \quad (3)$$

Выберем функцию  $v$  так, чтобы  $v' + \frac{v}{T_r} = 0$ . Тогда

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{v}{T_r}, \quad \frac{dv}{v} = -\frac{dt}{T_r}, \quad \ln|v| = -\frac{t}{T_r}, \quad v = e^{-(t/T_r)}.$$

Подставим найденное значение функции  $v$  в уравнение (3). Получим

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} e^{-(t/T_r)} &= \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha} \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta} \sin \gamma_{n-1}), \\ du &= \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha} \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta} \sin \gamma_{n-1}) e^{(t/T_r)} dt, \\ u &= \frac{L_0}{T_r} \int (I_{1\alpha}(t) \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta}(t) \sin \gamma_{n-1}) e^{(t/T_r)} dt + C \end{aligned}$$

(произвольная постоянная  $C$  появится после завершения интегрирования в правой части).

Таким образом, общее решение уравнения (2) имеет вид:

$$\Psi = e^{-(t/T_r)} \left( \frac{L_0}{T_r} \int (I_{1\alpha}(t) \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta}(t) \sin \gamma_{n-1}) e^{(t/T_r)} dt + C \right). \quad (4)$$

Определим постоянную времени интегрирования при  $t = t_0 = 0$ :

$$\Psi_0 = e^{-(t_0/T_r)} \left( \frac{L_0}{T_r} \int (I_{1\alpha}(t_0) \cos \gamma_0 + I_{1\beta}(t_0) \sin \gamma_0) e^{(t_0/T_r)} dt + C \right),$$

откуда

$$C = \Psi_0 - \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha}(t_0) \cos \gamma_0 + I_{1\beta}(t_0) \sin \gamma_0), \quad (5)$$

где  $\Psi_0$ ,  $I_{1\alpha}(t_0)$ ,  $I_{1\beta}(t_0)$ ,  $\gamma_0$  – соответственно значения потокосцепления ротора, потоко- и моментобразующих составляющих тока статора и угла между системами координат в момент времени  $t = 0$ , которые могут быть определены в соответствии с работой [5].

С учетом (5) выражение (4) для потокосцепления ротора получит вид:

$$\Psi = e^{-(t/T_r)} \frac{L_0}{T_r} \int (I_{1\alpha}(t) \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta}(t) \sin \gamma_{n-1}) e^{(t/T_r)} dt +$$

$$+ e^{-(t/T_r)} \left( \Psi_0 - \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha}(t_0) \cos \gamma_0 + I_{1\beta}(t_0) \sin \gamma_0) \right). \quad (6)$$

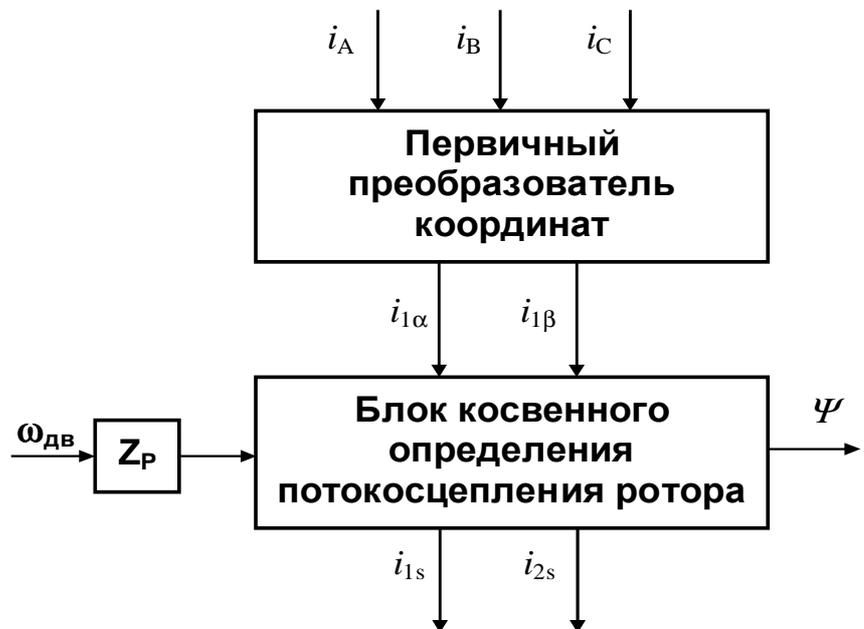
Для определения угла между системами координат подставим выражение  $I_{2s}$  из второго уравнения системы (1) в четвертое уравнение. Получим

$$\omega_c = \frac{(-I_{1\alpha} \sin \gamma_{i-1} + I_{1\beta} \cos \gamma_{i-1}) K_r R_r}{\Psi} + \omega_{дв} Z_p. \quad (7)$$

Тогда из пятого уравнения системы (1) с учетом (6) запишем:

$$\gamma_n = \frac{K_r R_r T_r \ln \left( (I_{1\alpha}(t) \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta}(t) \sin \gamma_{n-1}) e^{(t/T_r)} - \frac{L_0}{T_r} (I_{1\alpha}(t_0) \cos \gamma_0 + I_{1\beta}(t_0) \sin \gamma_0) + \Psi_0 \right)}{L_0 (I_{1\alpha}(t) \cos \gamma_{n-1} + I_{1\beta}(t) \sin \gamma_{n-1})} \times \\ \times (I_{1\beta} \cos \gamma_{i-1} - I_{1\alpha} \sin \gamma_{i-1}) + \omega_{дв} Z_p. \quad (8)$$

На основании полученных выражений была разработана структура устройства для косвенного определения потокосцепления ротора и составляющих тока статора (рисунок). Выходными координатами данного устройства являются потокосцепление ротора, а также потоко- и моментобразующие составляющие тока статора. Координата угла между системами координат используется для расчетов непосредственно в блоке косвенного определения потокосцепления ротора и на рисунке не показана. Первичный преобразователь координат выполняет переход от трехфазной системы ABC к системе координат  $\alpha\beta$ .



Структурная схема устройства для косвенного определения потокосцепления ротора и составляющих тока статора.

Структурная схема устройства для косвенного определения потокосцепления ротора и на рисунке не показана. Первичный преобразователь координат выполняет переход от трехфазной системы ABC к системе координат  $\alpha\beta$ .

### Список литературы

1. Системы подчиненного регулирования электроприводами переменного тока с вентильными преобразователями. / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов и др. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 250 с.
2. Гусяцкий Ю.М., Жуков С.В. Алгоритмы и структуры микропроцессорных систем управления асинхронным электроприводом // Электричество. – 1990. – № 12 – С. 25-33.
3. Калашников В.И., Булахов В.В. Глубокорегулируемые системы векторного регули-

рования // Вестник ХГПУ. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – 2000. – №113. – С. 85-86.

**4.** Параметричний пристрій спостереження в електроприводі змінного струму. /Електроенергетичні та електромеханічні системи. //Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2000. – № 403. – С. 43-49.

**5.** Циценков Д.В., Довгань С.М., Гребенюк А.М. Застосування комбінованого пристрою спостереження у асинхронному електроприводі з векторним керуванням. //Гірнична електромеханіка та автоматика. Наук. – техн. зб. – 2001. – Вип. 67. – С. 46-49.