

**ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА  
З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ****Чередник Ю. М., Квашнін В. О.**

Приведен расчет момента в микроконтроллере, происходящий по входным параметрам – электрическими координатами двигателя, которые измеряются датчиками (фазные напряжения статора и фазные токи статора, угловая скорость) и рассчитанными параметрами двигателя (индуктивным и активным сопротивлениями статора и ротора). Предложенный способ определяет момент асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в системе естественных координат А, В, С. Рассмотренный способ позволяет перейти к прямому управлению без координатных преобразований, что приводит к уменьшению ошибок и увеличению надежности. Приведенный способ может использоваться в тех случаях, когда установить датчик момента тяжело, например, при модернизации существующих систем электропривода.

Приведено обчислення моменту в мікро контролері, що відбувається за входними параметрами: вимірними електричними координатами двигуна, що визначаються датчиками (фазні напруги статора та фазні струми статора, кутова швидкість) та обчисленими параметрами двигуна (індуктивним та активним опорам статора та ротора). Запропонований спосіб визначає момент асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в системі природних координат А, В, С. Розглянутий спосіб дозволяє перейти к більш до прямого керування без координатних перетворювачів, що призводить до зменшення похибок та підвищення надійності. Приведений спосіб може використовуватися у тих випадках, коли установити датчик моменту надто важко, наприклад, при модернізації існуючих систем електропривода.

Torque calculation in microcontroller, taking place according to input parameter - electrical motor coordinates, which are measured with sensor (the phase stator voltages and the phase stator currents, angular velocity) and calculated with motor parameter (inductive and active stator and rotor resistances) are given. Offered method defines torque of the squirrel-cage asynchronous motor in the system of the natural coordinates A, B, C. Considered method allows to go into direct control without coordinate transformations that leads to error reduction and increase of reliability. Considered method may be used in the case, when the torque sensor it is hard to mount, for instance, at modernizations of existing electric drive systems.

Чередник Ю. Н.

аспирант ДГМА  
kerly\_jul@mail.ru

Квашнин В. О.

канд. техн. наук, доц. кафедры ЭСА ДГМА

УДК 681.518

Чередник Ю. М., Квашнін В. О.

### ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

У тих випадках, коли установити датчик швидкості надто важко, наприклад, при модернізації існуючих систем електропривода, або неможлива з конструктивних причин, алгоритм роботи системи керування повинен бути оснований на інформації, що поступає тільки від датчиків струму та напруги статора двигуна. За вимірними статорними струмами та напругами можуть бути обчислені всі необхідні для побудови системи керування сигнали керування [1].

При обчисленні вектора потокозчеплення існують дві проблеми: чисте інтегрування, с яким пов'язані невизначеність початкових умов й накоплення похибки за рахунок постійних зміщень, і зміна параметрів двигуна в процесі його роботи, особливо, опір статора під впливом зміни температури. Розбіг параметрів дає похибки в обчисленні потокозчеплення, що робить важким керування на низьких швидкостях. Оцінювання потокозчеплення є важливим також для on-line ідентифікації опору ротора. Як вирішення даної проблеми приймають виключення чистого інтегрування та методу on-line ідентифікації параметрів [2]. Метод обчислення потокозчеплення статора, що пропонує Ohtani, Tacada, Tanaka, що представлено виразом:

$$\psi_r = \frac{T_L}{1 + T_L p} e_r + \frac{1}{1 + T_L p} \psi_r^*$$

де  $\psi_r^*$  – задане значення модуля потокозчеплення;  $T_L$  – постійна часу.

Відомий спосіб визначення моменту асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором [3].

Метою роботи є вдосконалення способу визначення моменту трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Визначення моменту трифазного асинхронного двигуна відбувається за електричними координатами двигуна, які визначаються датчиками (фазні напруги статора  $U_A, U_B, U_C$  та фазні струми  $i_A, i_B, i_C$ ) обчислюються еквівалентні складові вектора напруги  $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$  та вектора струму  $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$  в нерухомій відносно статора двигуна системі координат  $(\alpha - \beta)$ , момент обчислюється у мікроконтролері та подається на керуючий елемент й визначається як:

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m z_n}{\sigma L_s L_r} (\psi_{r\alpha} \psi_{s\beta} - \psi_{r\beta} \psi_{s\alpha}), \tag{1}$$

де  $L_s, L_r$  – індуктивний опір статора та ротора відповідно;

$z_n$  – кількість пар полюсів;

$\sigma$  – індуктивність розсіювання;

$\psi_{r\alpha}; \psi_{r\beta}$  – проекції потокозчеплення ротора на координатні вісі  $\alpha - \beta$ ;

$\psi_{s\alpha}; \psi_{s\beta}$  – проекції потокозчеплення статора на координатні вісі  $\alpha - \beta$ .

Обчислення моменту в мікроконтролері відбувається за вхідними параметрами: вимірними електричними координатами двигуна, що визначаються датчиками (фазні напруги статора  $U_A, U_B, U_C$  та фазні струми статора  $i_A, i_B, i_C$ , кутова швидкість) та обчисленими параметрами двигуна (індуктивним та активним опором статора та ротора).

Складемо математичну модель трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в трифазних струмах та потокозчепленнях в системі координат  $\alpha - \beta$  (2):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dI_{sA}}{dt} &= \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} U_{sA} - \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} I_{sA} - \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt}, \\ \frac{dI_{sB}}{dt} &= \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \frac{1}{2} (U_{sB} - U_{sC}) - \frac{1}{2} \cdot \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} (I_{sB} - I_{sC}) - \\ &\quad \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \frac{1}{2} \frac{dI_{s\alpha}}{dt}, \\ \frac{dI_{sC}}{dt} &= -\frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \frac{1}{2} (U_{sB} - U_{sC}) + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} (I_{sB} - I_{sC}) + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \frac{1}{2} \frac{dI_{s\alpha}}{dt}, \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m R_r}{L_r} I_{sA} - z_n \omega \psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta} + \frac{L_m R_r}{L_r} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{sB} - I_{sC}) + z_n \omega \psi_{r\alpha}, \\ M &= 1,5 z_n \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{sB} - I_{sC}) - I_{sA} \cdot \psi_{r\beta}), \\ \omega &= \frac{M - M_c}{J_{1p}}; \end{aligned} \right. \quad (2)$$

де  $I_{sA}, I_{sB}, I_{sC}$  – струм статора в фазах А, В, С відповідно;

$U_{sA}, U_{sB}, U_{sC}$  – напруги статора в фазах А, В, С відповідно;

$L_s, R_s$  – індуктивний та активний опір статора відповідно;

$z_n$  – кількість пар полюсів;

$\sigma$  – індуктивність розсіювання;

$\psi_{r\alpha}; \psi_{r\beta}$  – проєкції потокозчеплення ротора на координатні вісі  $\alpha - \beta$ ;

$\psi_{s\alpha}; \psi_{s\beta}$  – проєкції потокозчеплення статора на координатні вісі  $\alpha - \beta$ .

Через визначені значення швидкості й проєкцій узагальненого вектора напруги ротора й задане зворотнє значення електромагнітної постійної часу ротора обчислюють оцінні значення проєкцій  $\psi_{\alpha}, \psi_{\beta}$  узагальненого вектора потокозчеплення ротора двигуна із залежностей [4]:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{\alpha}' &= \frac{\omega U_{\beta} - U_{\alpha} / T}{\omega^2 + 1 / T^2} \\ \psi_{\beta}' &= \frac{\omega U_{\alpha} - U_{\beta} / T}{\omega^2 + 1 / T^2} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

З урахуванням визначених залежностей проєкцій  $\psi_{\alpha}, \psi_{\beta}$  узагальненого вектора потокозчеплення ротора двигуна від швидкості та напруги, момент визначається як:

$$M = 1,5z_n \frac{L_m}{L_r} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\omega \left( \frac{2}{\sqrt{3}} (U_{sB} - U_{sC}) - \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{L_m R_r}{T_r} (I_{sB} - I_{sC}) \right) - \frac{1}{T_r} \left( U_{sA} - \frac{L_m R_r}{T_r} I_{sA} \right)}{\omega^2 + \frac{1}{T_r^2}} \times \right. \\ \left. \times (I_{sB} - I_{sC}) - I_{sA} \cdot \frac{\omega \left( U_{sA} - \frac{L_m R_r}{T_r} I_{sA} \right) - \frac{1}{T_r} \left( \frac{2}{\sqrt{3}} (U_{sB} - U_{sC}) - \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{L_m R_r}{T_r} (I_{sB} - I_{sC}) \right)}{\omega^2 + \frac{1}{T_r^2}} \right). \quad (4)$$

Запропонований спосіб визначає момент асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в системі природних координат А, В, С.

Розглянемо приклад визначення моменту асинхронного двигуна типу K22F355LY8. За паспортними даними визначаємо необхідні коефіцієнти в рівнянні (1) Використовуючи виміряні величини, в програмному середовищі MATLAB Simulink за визначеним рівнянням моменту будуємо структурну схему визначення моменту асинхронного двигуна заданого типу (рис. 1). Побудуємо математичну модель двигуна в програмному середовищі MATLAB Simulink (рис. 2) з живленням від трифазної мережі та виміром струмів в кожній фазі статора асинхронного двигуна. При симуляції даної моделі отримуємо графік перехідного процесу моменту, що є ідентичним вимірному моменту при його апроксимації (рис. 3).

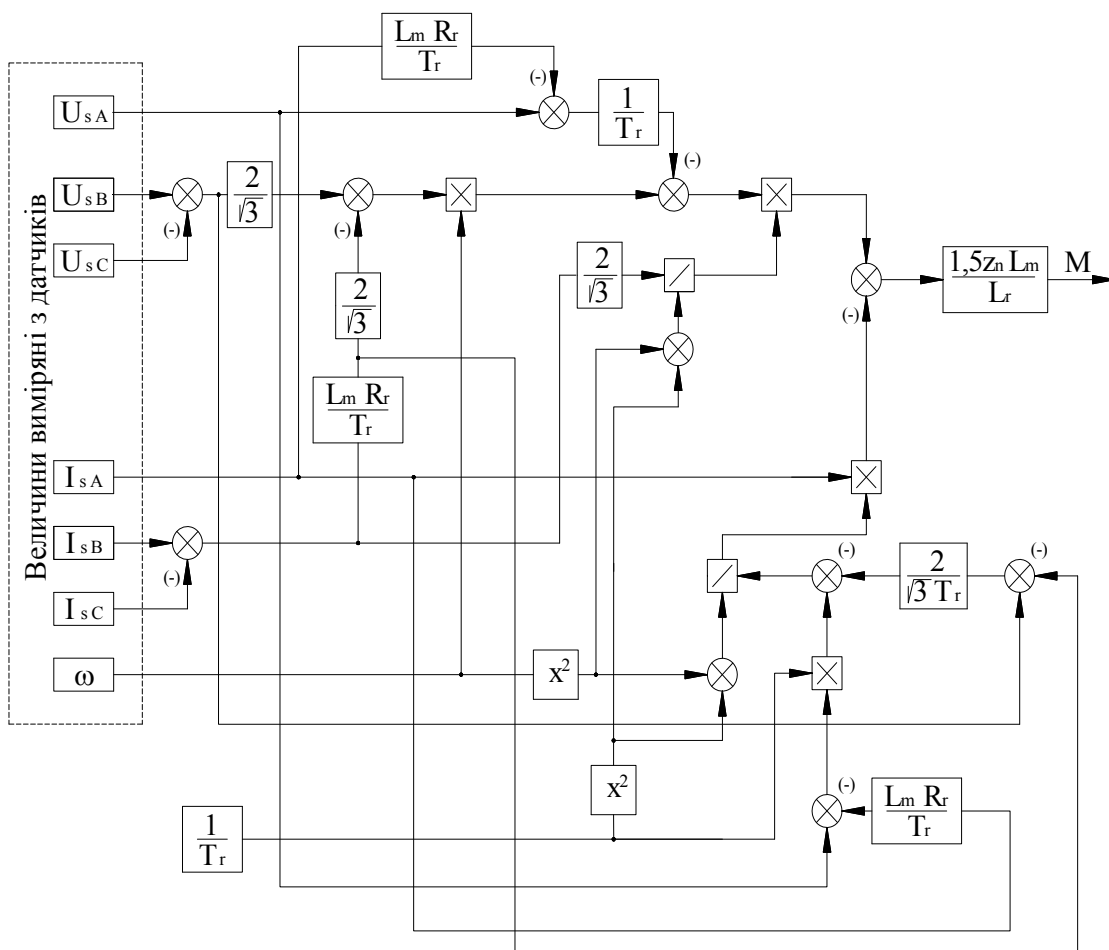


Рис. 1. Спосіб визначення моменту трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

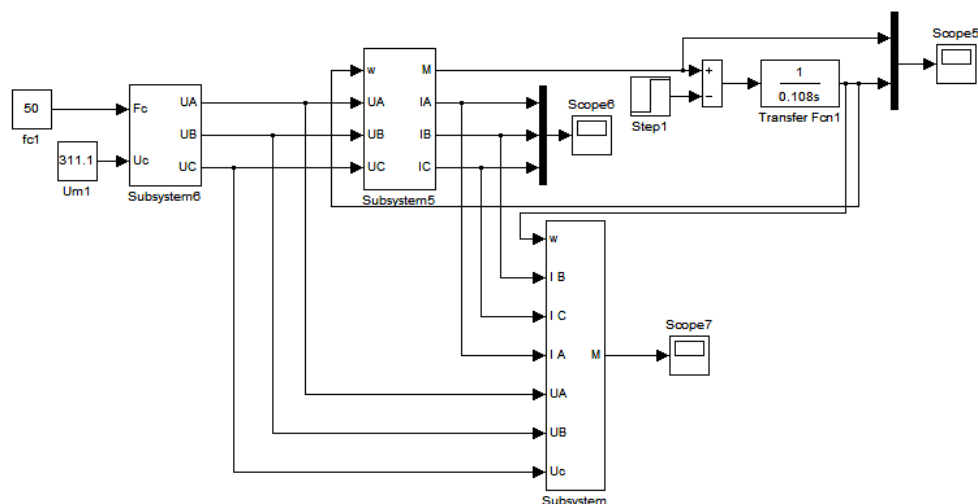


Рис. 2. Математична модель асинхронного двигуна для визначення моменту в програмному середовищі MATLAB Simulink

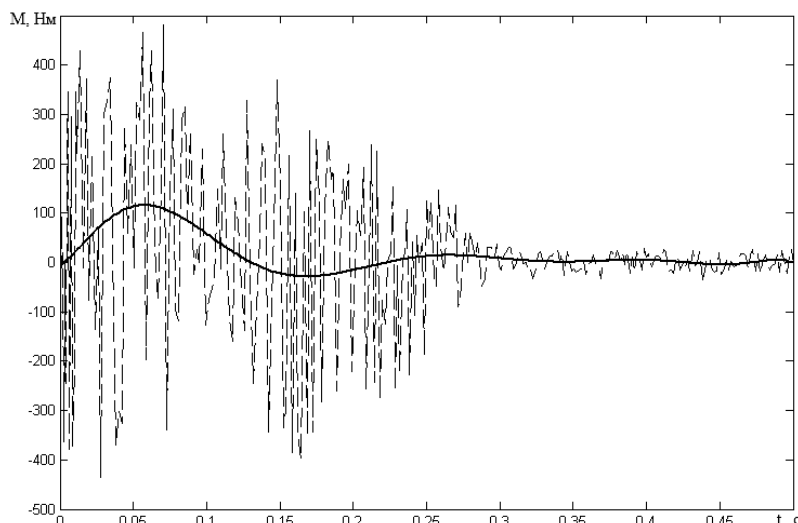


Рис. 3. Графік моменту двигуна та його апроксимація

### ВИСНОВКИ

Таким чином, застосування способу дозволяє перейти до прямого керування без координатних перетворювачів, що призводить до зменшення похибок та підвищення надійності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козярук А. Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 26–31.
2. Ohtani T. Vector Control of Induction Motor without Shaft Encoder / T. Ohtani, N. Tacada, K. Tanaka // IEEE Trans. Indust. Applic. – 1992. – V. 28, № 1. – P. 157–164.
3. Колб Ант. А. Теория электропривода : учебное пособие / А. Колб Ант, А. А. Колб. – Д., Национальный горный университет, 2006. – 184 с.
4. Пат. 39949 України, МПК H02P 21/00. Спосіб визначення потокозчеплення ротора й швидкості частотно-регульованого асинхронного двигуна / Волков Олександр Васильович, Скалько Юрій Сергійович, заявитель и патентообладатель Запорізький національний технічний університет. – № 200809286; заявл. 16.07.08; опубл. 25.03.09, Бюл. № 22.
5. Пат. № и 201014706 України, МПК G01L 3/00. Способ определения момента трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором / Квашин В. О., Чередник Ю. Н., заявитель и патентообладатель: Донбасская государственная машиностроительная академия. – Заявл. 08.12.10; опубл. 01.06.11.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2011 р.