



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61511 (13) U
(51) МПК
G01L 3/10 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМК-
НЕНИМ РОТОРОМ

1

2

(21) u201014706

(22) 08.12.2010

(24) 25.07.2011

(46) 25.07.2011, Бюл.№ 14, 2011 р.

(72) КВАШНІН ВАЛЕРІЙ ОЛЕГОВИЧ, МУСІЄНКО
ЮЛІЯ МИКОЛАЇВНА

(73) ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА
АКАДЕМІЯ

(57) Спосіб визначення моменту трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, який полягає в тому, що визначення моменту трифазного асинхронного двигуна відбувається за електричними координатами двигуна, що визначаються датчиками (фазні напруги статора U_A , U_B , U_C та фазні струми i_A , i_B , i_C), момент обчислюється у мікроконтролері та подається на керуючий елемент, який відрізняється тим, що створюється математична модель трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, яка складається з системи рівнянь в трифазних струмах та поточкозчепленнях в системі координат $\alpha - \beta$ (2):

$$\begin{cases} \frac{dI_{SA}}{dt} = \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} U_{SA} - \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} I_{SA} - \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt}, \\ \frac{dI_{SB}}{dt} = \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \frac{1}{2} (U_{SB} - U_{SC}) - \frac{1}{2} \cdot \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} (I_{SB} - I_{SC}) - \\ - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \frac{1}{2} \frac{dI_{S\alpha}}{dt}, \\ \frac{dI_{SC}}{dt} = - \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \frac{1}{2} (U_{SB} - U_{SC}) + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} (I_{SB} - I_{SC}) + \\ + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \frac{1}{2} \frac{dI_{S\alpha}}{dt}, \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m R_r}{L_r} I_{SA} - Z_n \omega \psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta} + \frac{L_m R_r}{L_r} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{SB} - I_{SC}) + Z_n \omega \psi_{r\alpha}, \\ M = 1,5 Z_n \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{SB} - I_{SC}) - I_{SA} \cdot \psi_{r\beta}), \\ \omega = \frac{M - M_c}{J_p}; \end{cases}$$

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;

σ - індуктивність розсіювання;

$\psi_{r\alpha}$, $\psi_{r\beta}$ - проекції потокозчеплення ротора на координатні осі $\alpha - \beta$;

$\psi_{s\alpha}$, $\psi_{s\beta}$ - проекції потокозчеплення статора на координатні осі $\alpha - \beta$,

тоді момент визначається як

$$M = 1,5 Z_n \frac{L_m}{L_r} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\omega \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (U_{SB} - U_{SC}) - \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{L_m R_r}{T_r} (I_{SB} - I_{SC}) \right) - \frac{1}{T_r} \left(U_{SA} - \frac{L_m R_r}{T_r} I_{SA} \right) (I_{SB} - I_{SC}) - I_{SA} \cdot \frac{\omega \left(U_{SA} - \frac{L_m R_r}{T_r} I_{SA} \right) - \frac{1}{T_r} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} (U_{SB} - U_{SC}) - \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{L_m R_r}{T_r} (I_{SB} - I_{SC}) \right)}{\omega^2 + \frac{1}{T_r^2}}.$$

U
(13)

61511
(11)

UA
(19)

Корисна модель належить до галузі техніки, а саме до асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором і може знайти застосування при розробці нових систем керування.

Відомим способом вимірювання є структурна схема асинхронного двигуна в просторових векторах струму статора і потокозчеплення ротора [Колб Ант.А., Колб А.А. Теория электропривода: Учебное пособие. - Д., Национальный горный университет, 2006. - с. 184, рис. 4.31].

Найбільш близьким аналогом способу, що за-являється, вибраним як прототип, є спосіб визначення моменту, який полягає в тому, що 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

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

де L_s, L_r - індуктивний опір статора та ротора відповідно;

Z_n - кількість пар полюсів;

σ - 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 $\alpha - \beta$ [Козярук А.Е., Рудаков В. В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов - Санкт-Петербург, 2004. - С. 26,31, рис. 7].

Загальними суттєвими ознаками відомого способу й того, що заявляється є визначення моменту трифазного асинхронного двигуна, що 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), обчислюється момент у мікроконтролері та подається на керуючий елемент.

Недоліками цього способу визначення моменту трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором є необхідність використовувати переходи з системи природних координатних осей до двокоординатної системи для визначення обертального моменту.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення визначення моменту асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором через вимірювання струмів у кожній фазі статора без використання додаткових перетворювачів координат.

Поставлена задача вирішується за рахунок обчислення моменту в мікроконтролері 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 опорами статора та ротора).

Створюється математична модель трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, що складається з системи рівнянь в трифазних струмах та потокозчепленнях в системі координат $\alpha - \beta$ (2):

$$\begin{cases} \frac{di_{sA}}{dt} = \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} U_{sA} - \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} i_{sA} - \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt}, \\ \frac{di_{sB}}{dt} = \frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \frac{1}{2} (U_{sB} - U_{sC}) - \frac{1}{2} \cdot \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} (i_{sB} - i_{sC}) - \\ - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \frac{1}{2} \frac{di_{s\alpha}}{dt}, \\ \frac{di_{sC}}{dt} = -\frac{L_r}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \frac{1}{2} (U_{sB} - U_{sC}) + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_r R_s}{L_s \cdot L_r - L_m^2} (i_{sB} - i_{sC}) + \\ + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \frac{1}{2} \frac{di_{s\alpha}}{dt}, \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m R_r}{L_r} i_{sA} - Z_n \omega \psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta} + \frac{L_m R_r}{L_r} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{sB} - i_{sC}) + Z_n \omega \psi_{r\alpha}, \\ M = 1,5 Z_n \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{sB} - i_{sC}) - i_{sA} \cdot \psi_{r\beta}), \\ \omega = \frac{M - M_c}{J_p}; \end{cases}$$

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;

σ - 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 $\alpha - \beta$.

Тоді момент визначається як

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

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де показано:

- фіг. 1 - структурна схема визначення моменту асинхронного двигуна;

- фіг. 2 - математична модель асинхронний двигуна для визначення моменту в програмному середовищі MATLAB Simulink;

- фіг. 3 - графік моменту двигуна та його апроксимація. Запропонований спосіб визначає момент

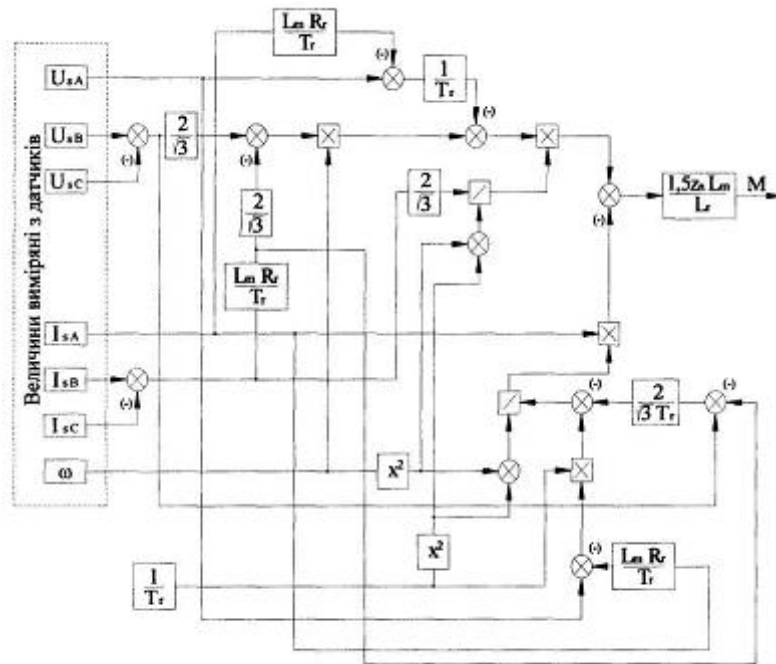
асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в системі природних координат А, В, С.

Приклад.

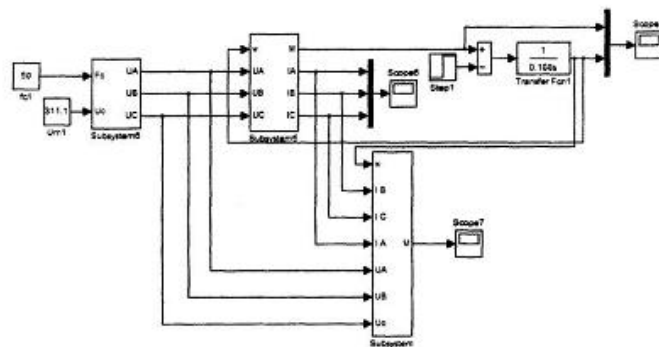
Розглянемо приклад визначення моменту асинхронного двигуна типу K22F355LY8. За паспортними даними визначаємо необхідні коефіцієнти в рівнянні (2) та будуємо математичну модель двигуна в програмному середовищі MATLAB Simulink (фіг. 2) з живленням від трифазної мережі та виміром струмів в кожній фазі статора асинхронного двигуна. Використовуючи виміряні величини, в

програмному середовищі MATLAB Simulink за визначеним рівнянням моменту будуємо структурну схему визначення моменту асинхронного двигуна заданого типу (фіг. 1). При симуляції даної моделі отримаємо графік перехідного процесу моменту, що є ідентичним виміряному моменту при його апроксимації (фіг. 3).

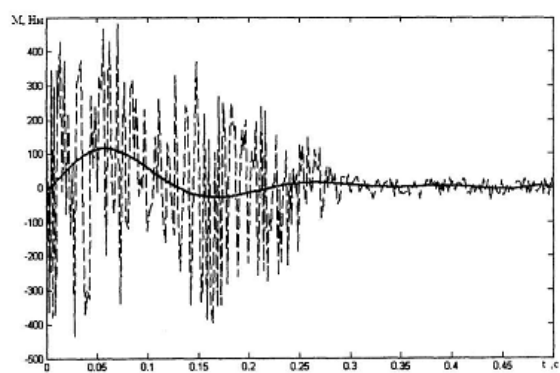
Застосування способу дозволяє перейти до прямого керування без координатних перетворень, що призводить до зменшення похибок та підвищення надійності.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3