



УКРАЇНА

(19) UA (11) 53315 (13) U
(51) МПК (2009)
H02P 21/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ БАЖАНИХ СТАТОРНИХ СТРУМІВ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

1

2

(21) u200913639

(22) 28.12.2009

(24) 11.10.2010

(46) 11.10.2010, Бюл.№ 19, 2010 р.

(72) ПОТАПЕНКО ЄВГЕНІЙ МИХАЙЛОВИЧ, ПОТАПЕНКО ЄВГЕН ЄВГЕНОВИЧ

(73) ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) 1. Спосіб формування бажаних статорних струмів асинхронного трифазного електродвигуна з короткозамкненим ротором, який полягає в тому, що складові бажаного статорного струму у синхронному базисі формують у блоці формування бажаного струму окремо, а саме бажаний струм намагнічування задають, бажаний моментний струм формують наступним чином: за допомогою датчика кута повороту ротора вимірюють кут, у блоці обчислення швидкості обчислюють швидкість ротора, на підставі яких, а також бажаних значень кута та швидкості у блоці формування бажаного струму формують бажане значення моментного струму, за допомогою датчиків струму вимірюють дві або три фази струму двигуна, за допомогою блока перетворення (три фази - дві фази) трифазні сигнали перетворюють у двофазні сигнали струмів у статорному базисі, які у свою чергу, за допомогою блока перетворення базисів (статорний - синхронний) перетворюють у сигнали моментного та намагнічуючого струмів у синхронному базисі, котрі відіймають від однойменних сигналів бажаних струмів, різницю подають на регулятори струмів, на виході яких одержують ба-

жані значення керуючих напруг у синхронному базисі, які за допомогою перетворювача базисів (синхронний - статорний) перетворюють у бажані сигнали напруг статорного базису, ці отримані двофазні сигнали за допомогою блока перетворення (дві фази - три фази) перетворюють у трифазні бажані сигнали напруг, за якими у перетворювачі частоти формують трифазну живильну напругу для двигуна, яка формує статорний струм, який **відрізняється** тим, що бажані моментний струм та струм намагнічування формуються наступним чином: за різницями кута та його бажаного значення, а також швидкості ротора та її бажаного значення, у блоці формування бажаного струму формують закон керування, оцінюють невизначеність, на підставі яких формують бажане значення електромагнітного моменту, обмежують його значення, добувають корінь квадратний, результат підсилюють, внаслідок чого отримують бажаний струм намагнічування, а для формування бажаного моментного струму результат отримання кореня квадратного знову підсилюють з іншим коефіцієнтом підсилення, внаслідок чого отримують модуль бажаного моментного струму, якому надають знак бажаного обмеженого електромагнітного моменту.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що бажаний моментний струм формують шляхом підсилення бажаного обмеженого електромагнітного моменту, результат чого змінюють обернено пропорційно бажаному струму намагнічування.

Корисна модель, відноситься до галузі керування електродвигунами, зокрема, асинхронними двигунами (АД).

Відомий спосіб [1] формування бажаних статорних струмів (намагнічування та моментного) асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, за яким складові бажаного статорного (постійного) струму у синхронному базисі формують (див. фіг. 1) у блоці формування бажаного струму 1 окремо: бажаний струм намагнічування задають, бажаний моментний струм формують

наступним чином: за допомогою датчика швидкості ротора 7 вимірюють швидкість ротора, на підставі якої, а також бажаного значення швидкості у блоці формування бажаного струму 1 формують бажане значення моментного струму, за допомогою датчиків струму 9 вимірюють дві або три фази струму двигуна, за допомогою блока перетворення (три фази-дві фази) 10 трифазні сигнали перетворюють у двофазні сигнали змінних струмів у статорному базисі, які, у свою чергу, за допомогою блока перетворення базисів (статорний-

U
(13)

53315
(11)

UA
(19)

синхронний) 11 перетворюють у сигнали моментного та намагнічуючого (постійних) струмів у синхронному базисі, котрі відіймають від однойменних сигналів бажаних струмів, різницю подають на регулятори струмів 2, на виході яких одержують бажані значення керуючих постійних напруг у синхронному базисі, які за допомогою перетворювача базисів (синхронний-статорний) 3 перетворюють у бажані сигнали змінних напруг статорного базису, ці отримані двофазні сигнали за допомогою блоку перетворення (дві фази-три фази) 4 перетворюють у трифазні бажані сигнали напруг, за якими у перетворювачі частоти 5 формують трифазну живлячу напругу для двигуна 6, яка формує статорний струм.

Відомий також спосіб [2], обраний за прототип, який включає формування бажаних статорних струмів (намагнічування та моментного) асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, який (див. фіг. 1) у блоці формування бажаного струму 1, додатково до описаного аналогу, включає знаходження різниці між бажаним кутом повороту ротора двигуна 6 та його дійсним значенням, перепусканням цієї різниці через пропорційний регулятор бажаного кута повороту, в наслідок чого отримується бажана швидкість обертання ротора. Далі послідовність дій співпадає з послідовністю дій описаного вище аналогу.

Недоліками цих способів є те, що при формуванні статорного струму асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором одна його складова (струм намагнічування) фіксується, а формування здійснюється за рахунок другої його складової (моментного струму). Також здійснюється мінімізація споживаної потужності лише для одного з найбільш ймовірного навантаження, а при інших навантаженнях система за споживаною потужністю не оптимальна. При використанні цих способів ВК АД не здійснюється компенсація впливу відхилення параметрів АД від їх номінальних значень, невідомих зовнішніх збурень на нього і, як наслідок, ці способи мають недостатню точність керування та не гарантовані показники якості керування.

В основу корисної моделі, що пропонується, поставлено завдання формування (див. фіг. 1) у блоці формування бажаного струму 1 бажаних статорних струмів (які містять дві складові: моментну та намагнічування) АД з короткозамкненим ротором, сполучення яких забезпечує підвищену точність і задані показники якості керування, а також мінімізує споживану потужність при неточному знанні параметрів електропривода та відсутності знання навантаження та збурень, що діють на нього.

Вирішення цього завдання досягається за рахунок того, що у способі формування бажаних статорних струмів (струму намагнічування та моментного струму) асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором (див. фіг. 1) у блоці формування бажаного струму 1 (див. фіг. 2) формують закон керування електромагнітним моментом m_{00} (блок 1), оцінюють невизначеність \hat{f} (блок 2), на підставі яких формують бажане значення електромагнітного момента m_0 , обмежують його

значення $\overline{m_0}$ (блок 3), добувають корінь квадратний (блок 4), результат підсилюють (блок 5), в наслідок чого отримують бажаний струм намагнічування i_ψ , а для формування бажаного моментного струму результат отримання кореню квадратного

го $\overline{m_0}$ знову підсилюють з іншим коефіцієнтом підсилення (блок 6), в наслідок чого отримують модуль бажаного моментного струму i_{qr} , якому надають знак бажаного обмеженого електромагнітного момента. Також (див. фіг. 3) бажаний моментний струм i_τ формують шляхом підсилення бажаного обмеженого електромагнітного момента

$\overline{m_0}$ (блок 9), результат чого змінюють обернено пропорційно бажаному струму намагнічування (блок 10).

В наслідок того, що бажаний електромагнітний момент m_0 містить компенсуючу складову \hat{f} , здійснюється компенсація всіх завад, які включено до невизначеності f , за рахунок чого досягається висока точність керування та стабільність його показників якості. Одночасне формування струму намагнічування та моментного струму з урахуванням бажаного електромагнітного момента дозволяє досягти мінімізації споживаної потужності при всіх електромагнітних моментах і при будь-якому режимі роботи: сталому або перехідному.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від ознак прототипу, не знайдені, рішення явним чином не впливає з рівня техніки. Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що запропоноване технічне рішення задовольняє критерію "Винахідницький рівень".

Ідея способу, що пропонується, пояснюється на кресленнях (фіг. 1, 2, 3, 4). На фіг. 1 зображено загальну функціональну схему контуру струму, де

- 1 - блок формування бажаного струму;
- 2 - регулятори струмів;
- 3 - перетворювач базисів (синхронний-статорний);
- 4 - блок перетворення (дві фази-три фази);
- 5 - перетворювач частоти;
- 6 - асинхронний двигун з коротко замкненим ротором;
- 7 - датчик кута повороту ротора;
- 8 - блок знаходження похідної кута повороту ротора;
- 9 - датчик струму;
- 10 - блок перетворення (три фази - дві фази);
- 11 - перетворювач базисів (статорний - синхронний).

На фіг. 2, 3 показано блок-схеми запропонованих способів формування бажаних струмів статора з блоками

- 1 - формування закону керування m_{00} ;
- 2 - оцінки невизначеності \hat{f} ;
- 3 - обмеження;
- 4 - добуття кореня квадратного;
- 5 - формування оптимального бажаного струму намагнічування;
- 6 - формування модуля оптимального бажаного моментного струму;

7 - формування знаку оптимального бажаного моментного струму;

8 - формування оптимального бажаного моментного струму;

9 - підсилювання;

10 - формування оптимального бажаного моментного струму;

$\vartheta, \dot{\vartheta}_r$ - кут повороту ротора та його бажане значення;

$\dot{\vartheta}, \ddot{\vartheta}_r$ - швидкість ротора та її бажане значення;

i_{dr}, i_{qr} - бажані статорні струм намагнічування та моментний струм;

\hat{f} - оцінка за допомогою спостережника 2 невизначеності f .

Невизначеність f залежить від відхилень параметрів АД від їх номінальних значень, невідомих навантаження та збурень, що діють на ротор АД.

Спосіб працює наступним чином. Сигнал ϑ кута повороту ротора АД 6 заміряють датчиком 7 на схемі фіг. 1, а сигнал $\dot{\vartheta}$ швидкості обертання ротора АД обчислюють у блоці 8. Сигнали $\vartheta, \dot{\vartheta}$ описують дійсний рух ротора електродвигуна. Сигнали $\vartheta_r, \dot{\vartheta}_r$ описують його бажаний рух. За допомогою сигналів $\vartheta, \dot{\vartheta}$, а також $\vartheta_r, \dot{\vartheta}_r$ у блоці 1 фіг. 1 формують закон керування електромагнітним моментом [3, 4 (с. 102)] (див. блок 1 фігури 2)

$$m_{00} = -k_0 \ddot{\vartheta} - \ddot{\vartheta}_r - k_1 \dot{\vartheta} - \dot{\vartheta}_r + I_0 \ddot{\vartheta}_r$$

де k_0, k_1 - постійні коефіцієнти, які формують показники якості керування (вид перехідних процесів) [3, 4 (с. 102-103)];

У блоці 2 фігури 2 оцінюють невизначеність f оцінкою \hat{f} за допомогою спостережника [3, 4 (с. 96-99)]

$$\dot{z} = -k \ddot{\vartheta} + m_0 + k_0 \ddot{\vartheta}_r, \hat{f} = z + k_0 \dot{\vartheta}$$

де k - коефіцієнт підсилення спостережника;

I_0 - номінальне значення приведенного момента інерції ротора АД;

z - допоміжна змінна.

Обчислюють електромагнітний момент m_0 за залежністю

$$m_0 = m_{00} - \hat{f}$$

У блоці 3 електромагнітний момент m_0 обмежують.

Мінімізацію активної потужності, що споживається АД, забезпечують (див. фіг. 2) блоком 5 для формування бажаного струму намагнічування i_{dr} і блоками 6, 7, 8 для формування бажаного моментного струму i_{qr} використання залежностей [3, 4 (с. 103-108)]

$$i_{dr} = 4 \sqrt{\frac{R_{s0} + R_{r0} (L_{m0} L_{r0}^{-1})^2}{R_{s0}}} \sqrt{\frac{|m_0|}{n L_{m0}}}$$

$$i_{qr} = 4 \sqrt{\frac{R_{s0}}{R_{s0} + R_{r0} (L_{m0} L_{r0}^{-1})^2}} \sqrt{\frac{|m_0|}{n L_{m0}}} \text{sign} m_0$$

де R_{s0}, R_{r0} - відомі номінальні значення опорів статора і ротора, істинні значення яких невідомі і можуть змінюватись у широких межах;

n - кількість пар полюсів АД;

L_{m0}, L_{r0} - значення взаємної індуктивності статора і ротора та індуктивності ротора АД на лінійних ділянках їх кривих;

m_0 - електромагнітний момент;

sign m_0 - знак електромагнітного момента.

Оптимальність бажаних значень статорних струмів (намагнічуючого та моментного) зберігається при всіх розкидах параметрів та при всіх електромагнітних моментах. У випадку інжекції періодичного сигналу у бажаний струм намагнічування для оцінки i_{qr} більш раціонально скористатися виразом

$$i_{qr} = \frac{m_0 L_{r0}}{n L_{m0}^2 i_{dr}}$$

яке реалізується блоками 9, 10 на фіг. 3.

Порівняння споживаної активної потужності (P_{em}^*) стандартної системи (прототипу), у якій i_t - постійна, з оптимальною системою, у якій мінімізується активна потужність (P'_{em}), при створенні одного й того ж електромагнітного момента дано на фіг. 4 [4 (с. 112-115)], де

$$q = |m_0| / |m_0|^* > 1;$$

$|m_0|^*$ - модуль електромагнітного момента, при якому стандартна система (прототип) оптимізована;

$|m_0|$ - модуль поточного електромагнітного момента.

Як витікає з фіг. 4, P_{em}^* більше P'_{em} при всіх q , не рівних одиниці, та P_{em}^* дорівнює P'_{em} при $q=1$, що свідчить про більшу економічність запропонованого способу по відношенню до стандартного способу (прототипу) при всіх електромагнітних моментах, які відрізняються від номінального $|m_0|^*$. З фіг. 4 витікає, що при $q=0,5$ ($q=2$) (при електромагнітному моменті, у 2 рази меншому (більшому) номінального момента ($q=1$)), споживана потужність у системі з запропонованим способом на 20 % менше споживаної потужності стандартної системи.

За допомогою датчиків струму 9 (тут і далі використовується схема на фіг. 1) вимірюють дві або три фази струму двигуна, за допомогою блока перетворення (три фази-дві фази) 10 трифазні сигнали перетворюють у двофазні сигнали змінних струмів у статорному базисі, які, у свою чергу, за допомогою блока перетворення базисів (статорний-синхронний) 11 перетворюють у сигнали моментного та намагнічуючого (постійних) струмів у синхронному базисі, котрі відіймають від однойменних сигналів бажаних струмів, різницю подають на регулятори струмів 2, на виході яких одержують бажані значення керуючих постійних напруг у синхронному базисі, які за допомогою перетворювача базисів (синхронний-статорний) 3 перет-

ворюють у бажані сигнали змінних напруг статорного базису, ці отримані двофазні сигнали за допомогою блоку перетворення (дві фази-три фази) 4 перетворюють у трифазні бажані сигнали напруг, за якими у перетворювачі частоти 5 формують трифазну живлячу напругу для двигуна 6, яка формує статорний струм АД 6.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками забезпечують виявлення нових технічних властивостей. Шляхом схемних удосконалень розроблено спосіб формування бажаних статорних струмів асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, який забезпечує підвищені точність, енергетичну економічність та задані показники якості перехідних процесів електропривода.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію "новизна" та приводить до

нових технічних результатів.

Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що технічне рішення, яке заявляється, задовольняє критерію "Промислове застосування".

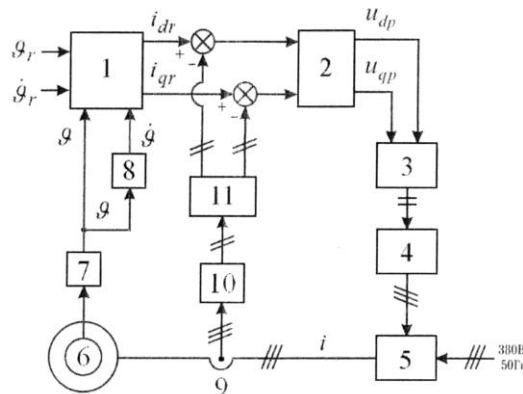
Джерела інформації.

1. Leonhard W. Control of electrical drives / W. Leonhard: Springer, Berlin, 1997. -P. 264-265.

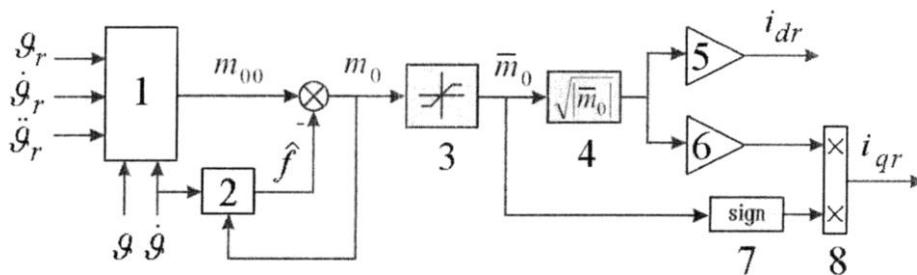
2. VAS P. Sensorless vector and direct torque control / P. Vas. Oxford University Press Inc., New York, 1998. - P. 294-297.

3. Потапенко Е.Е. Энергосберегающее робастное управление асинхронными приводами / Е.Е. Потапенко, Е.М. Потапенко. - Механіка та машинобудування. - 1999. - № 1. - С. 106-111.

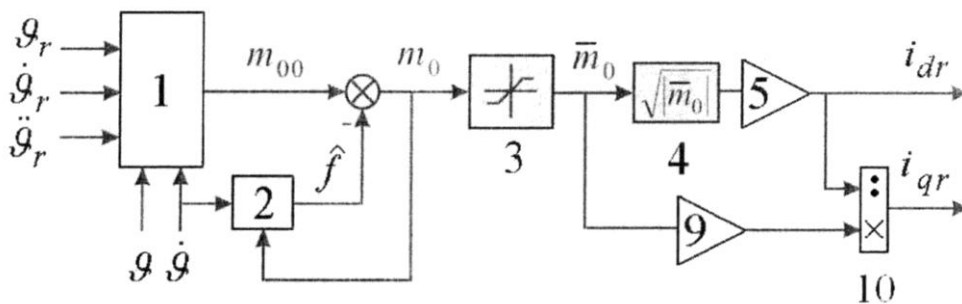
4. Потапенко Е.М. Робастные алгоритмы векторного управления асинхронным приводом / Е.М. Потапенко, Е.Е. Потапенко: Запорожье, ЗНТУ, 2009.-152 с.



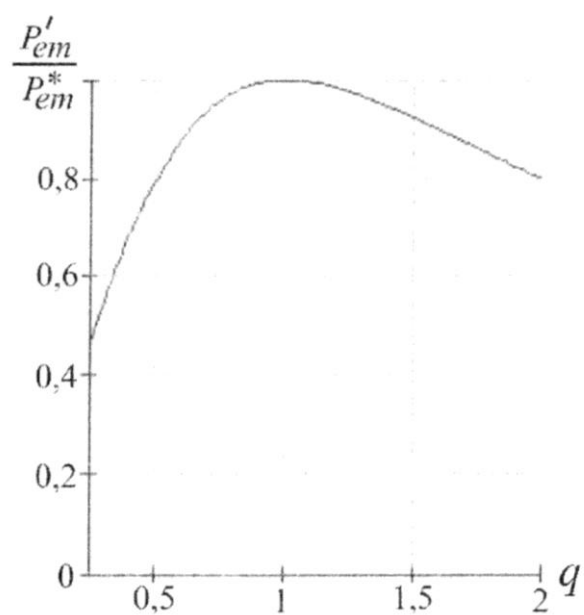
Фігура 1



Фігура 2



Фігура 3



Фігура 4