

Застосування інтелектуальних систем управління, з використанням нейромережевого контролера управління швидкістю на додачу до контролера з еталонною моделлю у зворотному зв'язку, забезпечує стійке управління електроприводом з СДПМ. Запропонована система дозволяє контролювати реальну швидкість ротора для виконання точного відслідковування сигналів еталонної моделі в широкому діапазоні експлуатаційних умов. Використання похибки між вихідними сигналами швидкості еталонної моделі та реального електродвигуна забезпечує зміну вагових коефіцієнтів та коефіцієнтів опорних сигналів зміщень при надійній взаємодії нейронних мереж КНМ та КНМЕ.

Результати моделювання показали, що запропонована інтелектуальна система управління, яка складається з КНМ і КНМЕ, забезпечує надійний контроль швидкості і стійкі характеристики регулювання при невизначеності параметрів СДПМ і зовнішнього навантаження.

### Список використаних джерел

1. Faa-Jeng, A Permanent-Magnet Synchronous Motor Servo Drive Using Self-Constructing Fuzzy Neural Network Controller [Text] / Faa-Jeng, Chih-Hong Lin // IEEE Trans., Energy Conversion, EC-19, No. 1, 2004, pp. 66-72.
2. Fayez, F. El-Sousy Fuzzy Adaptive Neural-Network Model-Following Speed Control for PMSM Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // WSEAS Transactions on Systems, Issue 4, Vol. 4, April, 2005, pp. 265-261.
3. Fayez, F. El-Sousy, Intelligent Model-Following Position Control for PMSM Servo Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // 6th WSEAS International Conference on Neural Networks, Lisbon, Portugal, June 16-18, 2005, pp. 230-238.
4. Narendra, K. Identification and control of dynamical systems using neural networks [Text] / K. Narendra, K. Parthasarathy // IEEE Trans., Neural Network, NN-1, 1990, pp. 4-27.
5. Fukuda, T. Theory and applications of neural networks for industrial control systems [Text] / T. Fukuda, T. Shibata // IEEE Trans., Ind. Electr., IE-39, 1992, pp. 472-491.

*Стаття надійшла до редакції 11.04.2016 р.*

УДК 621.313.3

**Б.Л. Тишевич**, к.т.н., доц., **М.В. Орлов**, студ. (НТУУ «КПІ»)

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ З СИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ**

---

**B.L. Tyshevych, M.V. Orlov** (National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnical Institute»)

## FEATURES USING MATRIX FREQUENCY CONVERTERS IN ELECTRIC DRIVES WITH SYNCHRONOUS MOTORS

*Розглядаються особливості використання матричного перетворювача частоти в електроприводі з синхронним двигуном у порівнянні з традиційним мостовим перетворювачем частоти. Оцінюються переваги використання матричного перетворювача частоти при роботі з системою корекції для визначенні точного положення ротору синхронного двигуна.*

**Ключові слова:** електропривод; синхронний двигун з постійними магнітами; матричний перетворювач частоти; корекція положення ротору.

*Рассматриваются особенности использования матричного преобразователя частоты в электроприводе с асинхронным двигателем по сравнению с традиционным мостовым преобразователем частоты. Оцениваются преимущества использования матричного преобразователя частоты при работе с системой коррекции для определения точного положения ротора синхронного двигателя.*

**Ключевые слова:** электропривод; синхронный двигатель с постоянными магнитами; матричный преобразователь частоты; коррекция положения ротора.

*In this article analyzed features matrix using a frequency converter with electric induction motor compared with a traditional bridge frequency converter. Investigates benefits of using matrix frequency converter during the work with correction for determining the exact position of the rotor synchronous motor.*

**Keywords:** electric drive; synchronous motor with permanent magnets; matrix frequency converter; rotor position correction.

**Вступ.** Синхронний двигун являє собою електричну машину змінного струму, частота обертання ротора якої дорівнює частоті обертання магнітного поля. На невеликі потужності (до 10 кВт) такі двигуни в основному виконують з постійними магнітами на роторі (СДПМ). На даний момент даний тип двигунів є найбільш перспективним для регульованого електроприводу. Вони мають цілий ряд переваг: високі енергетичні показники (коефіцієнт корисної дії (ККД) більше 90%); менші масу і габарити при однаковій потужності з асинхронними двигунами та двигунами сталого струму; широкий діапазон зміни частоти обертання; висока перевантажувальна здатність по моменту; великий термін служби і висока надійність. Крім того, основною перевагою синхронного електродвигуна є можливість отримання оптимального режиму по реактивній енергії. Синхронний двигун може працювати, не споживаючи і не віддаючи реактивної енергії в мережу, при коефіцієнті потужності рівним одиниці. У цих умовах працюючий синхронний двигун навантажує мережу тільки активним струмом.

Управління швидкістю СДПМ здійснюється з використанням «векторного управління» при якому необхідно знати положення і швидкість ротора для орієнтації і швидкості поля в замкнутому контурі управління. В останні часи дуже інтенсивно проводяться дослідження для безсенсорних систем «векторного управління», які базуються на моделі електромашини, де за зворотною електрорушійною силою (ЕРС) визначається магнітний потік [1].

Проте, такий підхід не дає надійних результатів при низькій швидкості СДПМ. Було запропоновано метод для безсенсорної системи, при якому додатково до параметрів СДПМ враховуються сигнали, що визначають стан напруги та струму живлення [2]. При цьому, положення ротору залежить від параметрів модуляції напруги та струму живлення, що дає більш точну інформацію про координати ротора, також і при низьких швидкостях.

Завдання оцінки координат ротора ускладнюється при використанні традиційних мостових перетворювачів для СДПМ, які унеможливають точне визначення координат ротору внаслідок нелінійностей, таких як часові «мертві зони» та падіння напруги і струму до нульових значень [3]. Тому, в останні роки, значну увагу було приділено розвитку матричним перетворювачам частоти (МПЧ), які за структурою є прямими АС-АС перетворювачами і здатні генерувати напругу майже ідеальної форми вільної від недоліків напруги, що притаманна мостовим перетворювачам [4].

**Мета роботи.** Дослідити особливості використання електроприводу СДПМ з застосуванням МПЧ та порівняти МПЧ з традиційними мостовими перетворювачами. Визначити, як підвищується точність оцінювання координат ротору СДПМ при застосуванні МПЧ.

**Результати дослідження.** У звичайному перетворювачі частоти вхідна змінна напруга з допомогою випрямляча (діодного моста) перетворюється в напругу постійного струму, який живить, в свою чергу, вихідний інверторний міст. А останній вже формує вихідний сигнал змінного струму, що подається на двигун. Частота і напруга змінного струму на двигуні постійно регулюється контуром управління, і, таким чином, двигун видає потрібну швидкість і крутний момент. Ця схема стала звичною, хоча має цілу низку недоліків: передається високий рівень гармонік назад в мережу; має низький коефіцієнт потужності; подача енергії односпрямована і для рекуперації потрібно додатковий блок рекуперації, що підвищує вартість електроприводу в 2-2,5 рази і збільшує габарити і складність системи.

Застосування МПЧ дозволяє вирішити всі ці нагальні проблеми. Конструкція МПЧ нескладна – три фази живлення підключаються до двигуна за допомогою матриці напівпровідникових двонапрямлених перемикачів (рис.1). При впорядкованій роботі цих перемикачів напруга і частота вихідної потужності двигуна можуть регулюватися з високою точністю.

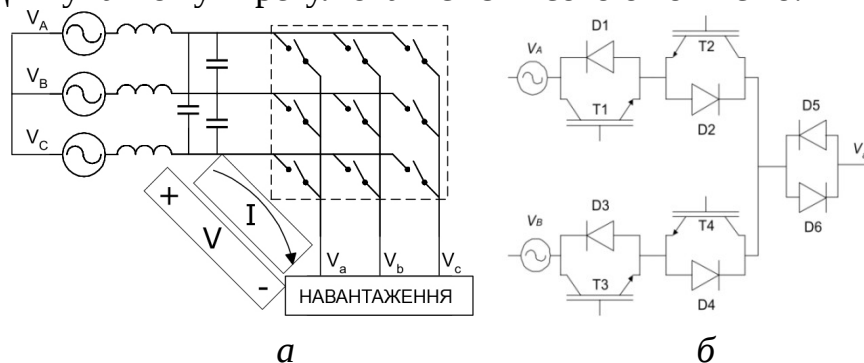


Рис. 1. Схема МПЧ:

*a* – структурна схема; *б* – схема з'єднання перемикачів

Матричний перетворювач належить до групи перетворювачів частоти з безпосереднім зв'язком (без проміжної ланки постійного струму). Кожен з перемикачів складається з двох польових транзисторів з ізольованим затвором (IGBT). В силовій схемі перетворювача використовується 18 IGBT. Силові ключі на IGBT під'єднанні таким чином, що енергія може як підводитися до двигуна, так і відводиться назад у мережу при гальмуванні і рекуперації.

Розглянемо комутацію фаз вхідних напруг  $V_A$  та  $V_B$ , коли струм є позитивним, або негативним. Графіки перемикання, де представлені чотири етапи, які визначають формування напруги на виході показані на рис. 2 [5].

Типова тривалість «мертвої зони», де напругу неможливо визначити, складає приблизно 200 нс, що значно нижче ніж аналогічний час для мостових перетворювачів.

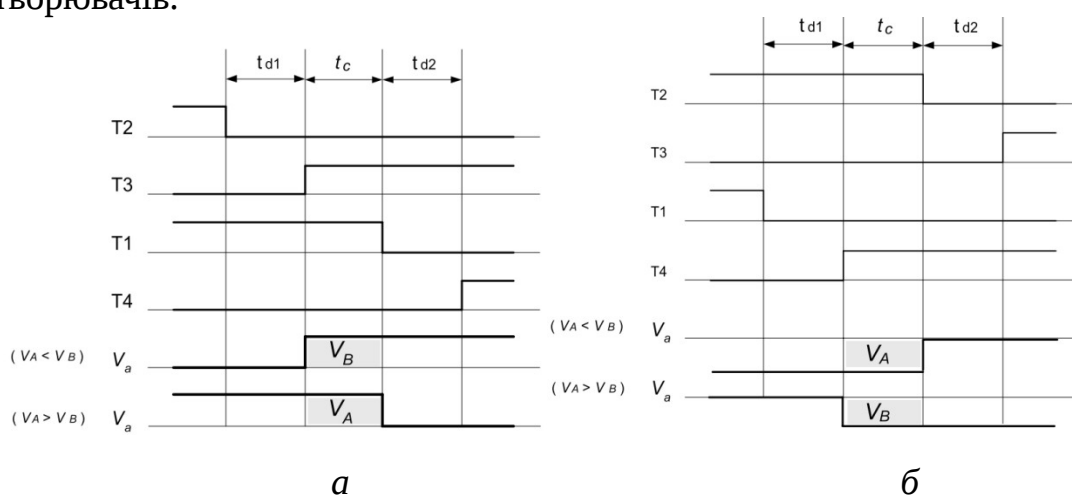


Рис. 2. Чотири етапи комутації для позитивного (*a*) та негативного (*б*) струму

Для визначення точного положення ротора СДПМ при безсенсорному управлінні запропоновано метод корекції, який дає високі результати при використанні МПЧ [6]. Недоліком методу можна вважати необхідність застосування продуктивної мікропроцесорної техніки та проведення стендових досліджень.

Сутність методу полягає у виділенні (фільтрації) гармонійних складових низького порядку – струмів  $I_{alfa}$ ,  $I_{beta}$ , які визначають положення ротору. Значення струмів  $I_{alfa}$ ,  $I_{beta}$  визначаються через фільтрацію струмів  $I_{\alpha}$ ,  $I_{\beta}$  при переході від трьохфазної до двофазної системи координат (перетворення Кларка) в системі векторного управління СДПМ, як показано на рис. 3.

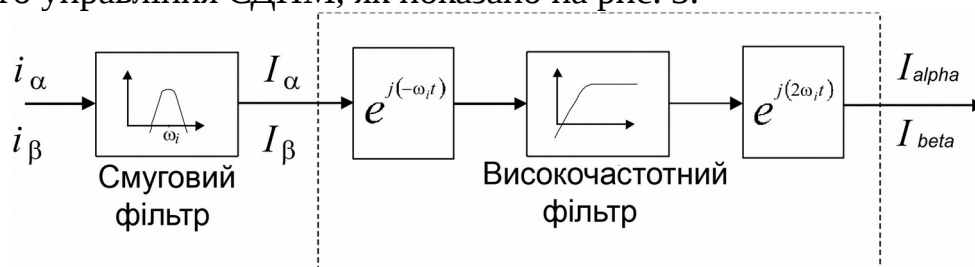


Рис. 3. Структурна схема визначення  $I_{alfa}$ ,  $I_{beta}$ 

На стенді, з використанням датчиків моменту, фіксуються дані про положення ротора при дискретному навантаженні і при використанні тільки двох параметрів (амплітуди та фази) кожної гармонійної складової у сигналах  $I_{alfa}$ ,  $I_{beta}$ , які визначають положення ротора. Для кожного рівня навантаження складається вибірка даних. Фундаментальна складова  $I_{alfa}$ ,  $I_{beta}$  виділяється за допомогою смугового фільтру Батерворта. Спектральний склад  $I_{alfa}$ ,  $I_{beta}$  обмежується (фільтрується) низькочастотним фільтром. Різниця між центральною частотою фільтру Батерворта та частотою зрізу низькочастотного фільтру приблизно два порядки. Далі обчислюється різниця між сигналами з обох фільтрів і заноситься у таблицю, як функція від положення ротора ( $\theta_r$  – дійсне положення ротора) (рис. 4).

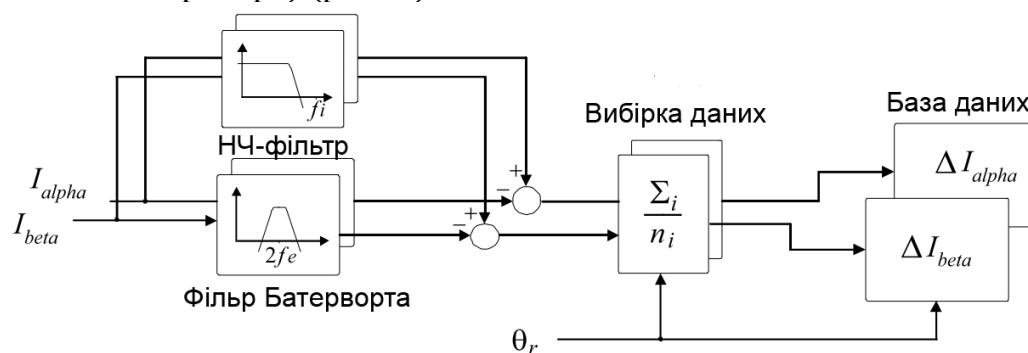


Рис. 4. Структурна схема обробки сигналів для створення бази даних

Остаточно, система для визначення обчислювального положення ротору з використанням системи обробки сигналу представлена на рис. 5. Адресація до даних, які були занесені у базу даних на стенді, здійснюється за значенням струму  $i_{sq}^*$  для двофазної змінної системи координат та уточненого положення ротора  $\hat{\Theta}_r$ . За цими значеннями обираються  $\Delta I_{alfa}$ ,  $\Delta I_{beta}$ , які фільтруються, здійснюється перехід до визначення проміжного оціночного положення ротора  $\hat{\Theta}_\delta$  та здійснюється корекція зсуву фази з врахуванням насичення, яка визначається струмом поточного моменту  $i_{sq}^*$ . Після всіх процедур визначається уточнене положення ротору  $\hat{\Theta}_r$ .

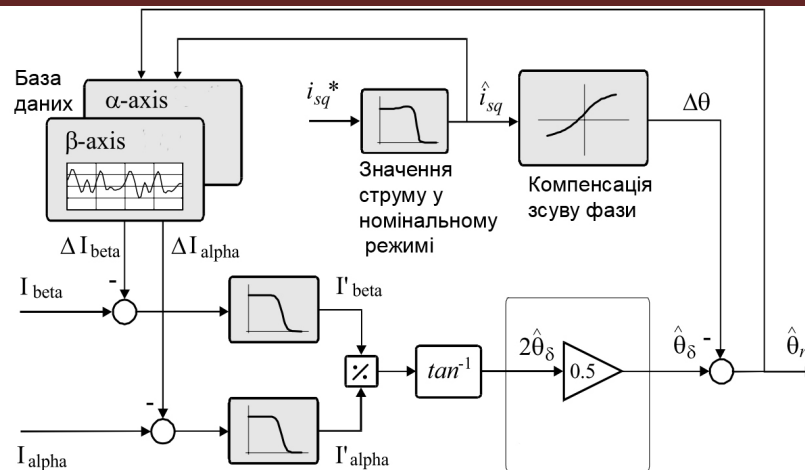


Рис. 5. Структурна схема послідовності операцій для точного визначення положення ротору

Після досліджень були отримані графіки зміни струмів  $I_{\alpha}$ ,  $I_{\beta}$ , які визначають положення ротора та графіки зміни швидкості обертання ротору СДПМ (рис. 6). Як видно із графіків, після застосування корекції значно підвищується точність регулювання швидкістю ротора.

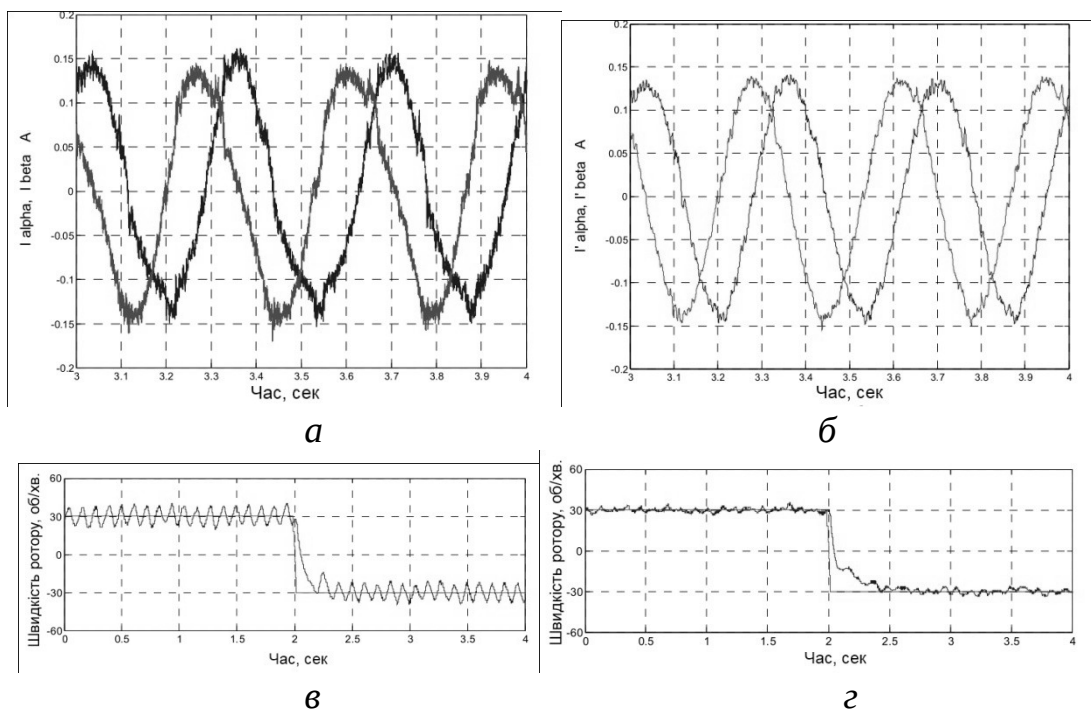


Рис. 6. Графіки зміни струмів  $I_{\alpha}$ ,  $I_{\beta}$  та швидкості ротору:

*a, v* – без корекції положення ротору; *б, з* – при застосуванні корекції положення ротору.

## Висновки



В порівнянні з традиційним мостовим перетворювачем частоти, використання МПЧ у електроприводі з СДПМ дає переваги в точності при визначенні положення ротору і, як наслідок, підвищення якості регулювання швидкістю у широкому діапазоні. Головною перевагою МПЧ є мінімізація нелінійних характеристик, основною з яких є "провали" напруги та струму, що призводить до їх несинусоїдальної форми. Як видно з отриманих результатів, поєднання МПЧ з методикою корекції оціночного положення ротору підвищує якість регулювання швидкості для електроприводів з СДПМ.

### Список використаних джерел

1. Wu, R.A permanent magnet motor drive without a shaft sensor [Text] / R. Wu, G. Slemon // IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 27, no. 5, pp. 1005-1011, Sept./Oct. 1991.
2. Jansen, P. Transducerless position and velocity estimation in induction and salient AC machines [Text]/ P. Jansen, R. Lorenz // IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.31, no. 2, pp. 240-247, March/April 1995.
3. An HF Signal-Injection Based Observer for a Wide Speed Range Sensorless PM Motor Drives Including Zero Speed [Text]: European Power Electronics Conf. EPE Toulouse 2003 / [C. Silva and other].
4. Minimisation of Commutation Delays in Power Converters[Text]: European Power Electronics Conference. EPE Toulouse 2003 / [M. Bland and other].
5. Matrix converters: a technology review [Text] / P. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare, L. Empringham, A. Weinstein. // Industrial Electronics, IEEE Transactions page(s): 276-288 Volume: 49, Issue: 2Apr 2002.
6. Encoderless Position Control of Induction Machines [Text]: presented at EPE Conference, Graz, Austria, 2001/ [N. Teske and other].

*Стаття надійшла до редакції 11.04.2016 р.*

УДК 621.365.5

**О.В. Трохименко**, магістрант, **О.М. Юрченко**, д.т.н. (НТУУ «КПІ»)

### **ЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА ВІД ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ «ІНДУКТОР – ТІЛО, ЩО НАГРІВАЄТЬСЯ»**

---

**O.V. Trokhymenko, O. M. Yurchenko** (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

### **DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF PERFORMANCE RESONANT CIRCUIT SYSTEM «INDUCTOR – HEATED OBJECT»**