

3. Березин, С. Е. "Управление воздухоудовками—действенная мера энергосбережения в инфраструктуре водоотведения." Журнал «Водоснабжение и санитарная техника 3 (2012): 55-58.
4. Данилович, Д. А. "Энергосбережение и альтернативная энергетика на очистных сооружениях канализации." М: Водоснабжение и санитарная техника 1 (2011).

A. Kovalchuk, O. Romanets

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

WAYS TO REDUCE OPERATING COSTS FOR ELECTRICITY FOR ENTERPRISES CLEANING WASTEWATER

The article analyzes the measures to reduce electricity consumption of aeration system for enterprises biological treatment of industrial wastewater. Considered air control multistage and single-stage blowers, creating membrane elements and replacing the old system of aeration.

Keywords: anaerobic processes, aerobic process, treatment and biogas.

1. Blagodarnaya G. "Energysaving in waste water treatment." (2013).
2. Yurchenko V., Smirnov A., and Esin M. " Experience improved energy efficiency of sewage treatment facilities Utilities cities 107 (2013): 176-183.
3. Berezin S. " Manage blowers-effective measure energy savings in wastewater infrastructure." Magazine Water Supply and Sanitary Equipment 3 (2012): 55-58.
4. Danilovich D. " Energy conservation and alternative energy at the wastewater treatment plant." M: Water supply and sanitary engineering 1 (2011).

УДК 628.356.3

А.М. Ковальчук, канд. техн. наук, доцент, **А.П. Романец**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В статье проанализированы меры по сокращению потребления электроэнергии системой аэрации для предприятий биологической очистки промышленных сточных вод. Рассмотрены вопросы регулировки подачи воздуха многоступенчатыми и одноступенчатыми воздухоудовками, создания мембранных элементов и замены старой системы аэрации.

Ключевые слова: аэрация, энергоэффективность, энергопотребление.

Надійшла 26.10.2014

Received 26.10.2014

УДК 621.311.001.57(063)

О.М. Закладний, канд. техн. наук, доцент; **Д.Ю. Могилат**

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент; **В.Г. Смоляр**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РУХУ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖУВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ АДАПТИВНОЇ ФАЗЗИ - НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Проведено аналіз та порівняння двох віртуальних моделей електропривода руху з вентиляним двигуном (ВД) з синхронною машиною на постійних магнітах для електронавантажувача. У першій моделі використовується ПІ-регулятор з нечіткою логікою для використання енергоефективного закону управління ВД. У другій швидкість оцінюється за допомогою регулятора на основі штучної нейронної мережі (ШНМ). Для використання енергоефективного закону управління ВД застосовано адаптивний механізм, заснований на порівняльній моделі - регуляторах на базі адаптивної фаззи-нейронної мережі (АФНМ) та ШНМ. Проаналізовано показники швидкодії в різних станах систем: постійному, змінному, перехідному тощо. За результатами дослідження вибрано другу модель, яка найбільшою мірою задовольняє вимоги до керування електроприводом руху електронавантажувача.

Ключові слова: електронавантажувач, вентиляний двигун, синхронна машина з постійними магнітами, фаззи-нейронна мережа, фаззи-логіка, адаптивне керування.

© Закладний О.М., Могилат Д.Ю., Закладний О.О., Смоляр В.Г., 2014

Вступ

Останнім часом запровадження керування за допомогою штучного інтелекту (ШІ): нечітке керування, нейронні мережі, генетичний алгоритм тощо набуває актуальності як важлива складова вдосконалення систем керування електроприводом. Застосування в електроприводі руху електронавантажувача синхронних машин з постійними магнітами (СМПМ) потребує нових алгоритмів керування. Через нелінійність СМПМ виникає багато проблем, пов'язаних з підтриманням високої продуктивності системи. Комбінований алгоритм розроблено на основі адаптивного ПІ-регулятора з використанням адаптивного алгоритму керування. Цей комбінаційний алгоритм пропонується для використання у синхронному двигуні на постійних магнітах [1]. Непряме векторне керування широко застосовується у системі електропривода з СДПМ. У системах керування промислових механізмів значне поширення отримав ПІ-регулятор. Але цей регулятор не може забезпечити потрібну високу продуктивність і надійне керування в різних варіаціях параметрів, таких як збурення, швидкість, крутний момент тощо. Для вирішення цієї проблеми, було розроблено метод адаптивного керування, що виявилось набагато кращим, ніж ПІ-регулятор [2]. Але цей метод складний у реалізації через потребу застосування алгоритму та математичного моделювання з великим часом розрахунку [3]. Ефективність цього методу виявилась вищою ніж інших методів векторного керування.

Для вирішення цих проблем було розроблено прямий fuzzy-регулятор. Продуктивність штучної нейронної мережі (ШНМ) різносторонньо досліджена для максимального наближення до функціонального призначення. Але, оскільки не можна керувати потоком в цьому методі, з'являється ефект насичення, і використовується датчик швидкості.

Метою роботи є побудова та дослідження двох віртуальних моделей електропривода з вентилем двигуном для електронавантажувача - з підпорядкованим керуванням та з регулятором на основі фаззі-нейронної мережі та вибір такої з них, що має кращі динамічні показники й задовольняє вимоги енергоефективності.

Результати досліджень**Система приводу**

Рис. 1 демонструє систему векторного керування СМПМ.

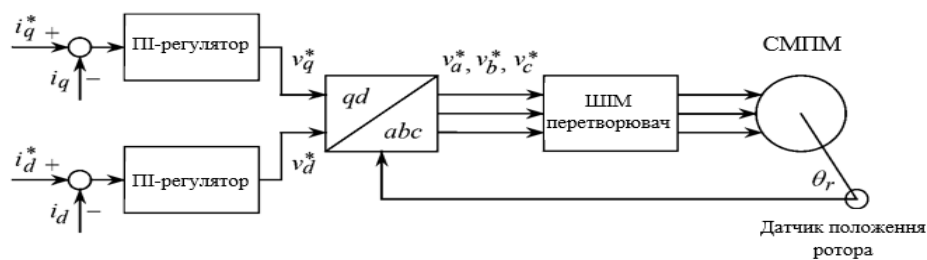


Рис. 1 Векторна система керування СМПМ

Математична модель приводу СМПМ описується рівняннями (1)–(4):

$$p i_d = (v_d - R i_d + \omega_r L_q i_q) / L_d \quad (1)$$

$$p i_q = (v_q - R i_q - \omega_r L_d i_d - \omega_r \phi_{af}) / L_q \quad (2)$$

$$p \omega_r = (T_e - T_L - B \omega_r) / J \quad (3)$$

$$T_e = \frac{3}{2} P [\phi_{af} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (4)$$

Моделювання системи електроприводу руху електронавантажувача з ПІ- регулятором, з fuzzy –логікою

Розглянемо першу віртуальну модель, у якій використовується ПІ-регулятор з fuzzy-логікою. В даній моделі використовується двигун потужністю 2,2 кВт, напругою 220 В з частотою обертання 3000 об/хв. Двигун живиться від шестипульсного перетворювача напруги. Сигнали спрацювання ключів перетворювача створюються за допомогою сигналів ефекта Хола, які надходять з датчиків положення ротора двигуна.

Навантаження, приведені до валу двигуна на початку симуляції, дорівнює 0 Нм, а вже на 0,1 с симуляції досягає свого номінального рівня 11 Нм. При цьому спостерігається стрибок швидкості (рис.2а), зростання струму статора для підтримки номінальної швидкості та електромагнітного моменту (рис.2б та рис. 2в).

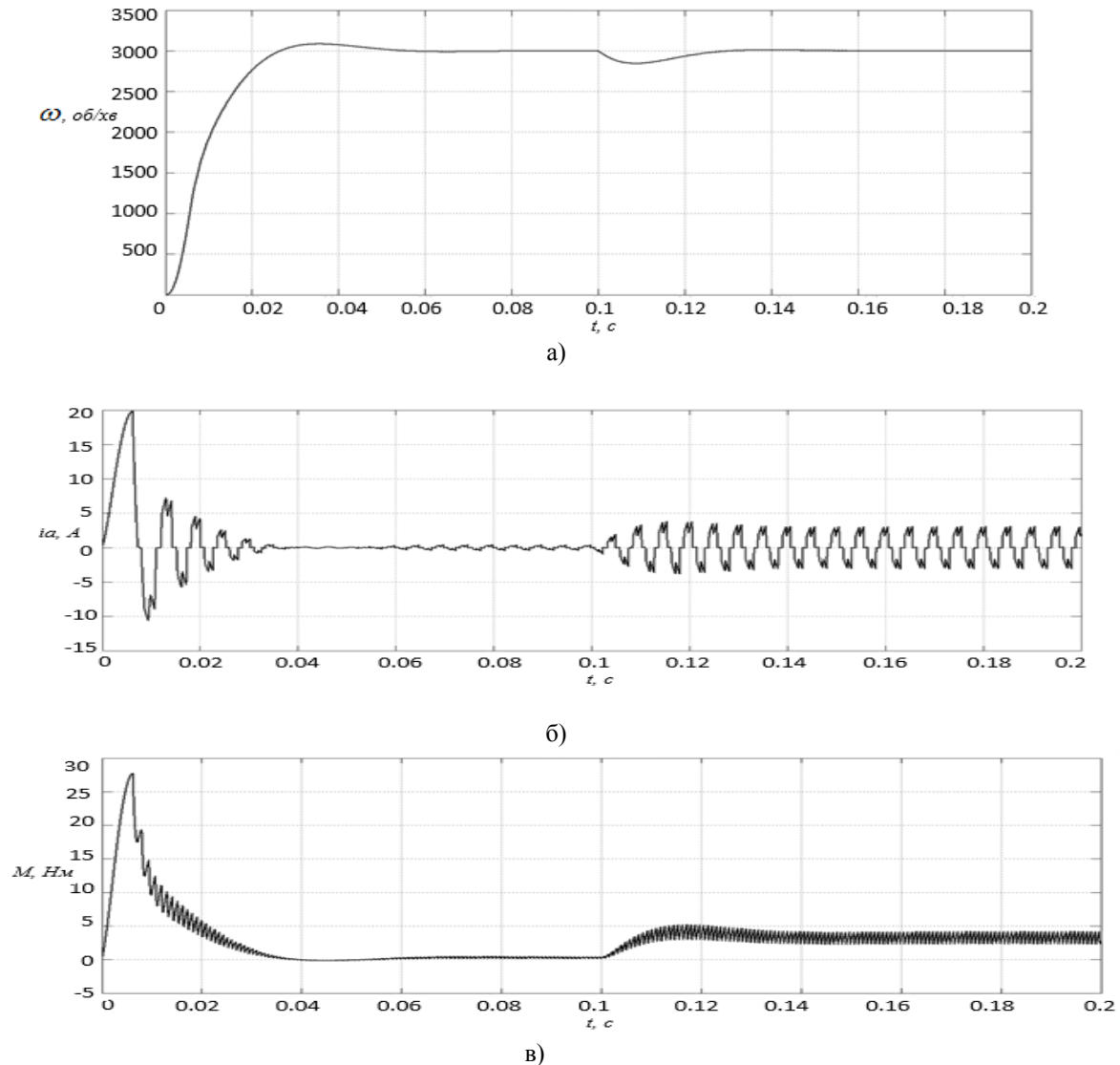


Рис. 2 Результати моделювання

а) крива швидкості ВД, б) крива струму статора ВД, в) крива електромагнітного моменту ВД

В даній моделі використовується два контури керування: внутрішній відповідає за роботу інвертора, а зовнішній контролює швидкість двигуна зміною напруги живлення.

Крива струму статора має пилоподібну форму, фазна напруга – трапецеїдальну форму з викидами, викликаними спрацюванням ключів, а крива фазної ЕРС має трапецеїдальну форму.

ПІ-регулятор з нечіткою логікою постійно змінює регульовальні параметри системи для підтримання сталої величини кута запасу δ на мінімальному рівні, а отже, – це все забезпечує виконання енергоефективного (третього) способу керування ВД, що робить цю модель кращою за швидкодією та за всіма динамічними показниками [1].

Моделювання адаптивного ФНМ – регулятора

Структурну схему запропонованого адаптивного ФНМ–регулятора зображено на рис.3. Дана модель використовується для точного визначення потрібних характеристик, які відповідають критеріям проектування, як час регулювання і похибка. Вихід моделі – відношення бажаного сигналу $\omega_m(k)$ до сигналу керування. Останній буде порівнюватися з фактичним відгуком системи $\omega_r(k)$ для генерації адапційного сигналу, який дозволить зменшити різницю. Як показано на рис. 3, адаптивний фаззі–регулятор з'єднаний паралельно з контуром ФНМ.[3]

Рис. 4 показує адаптивний фаззі–регулятор (АФР) еталонної моделі. Контур АФР з'єднаний паралельно з контуром ФНМ.

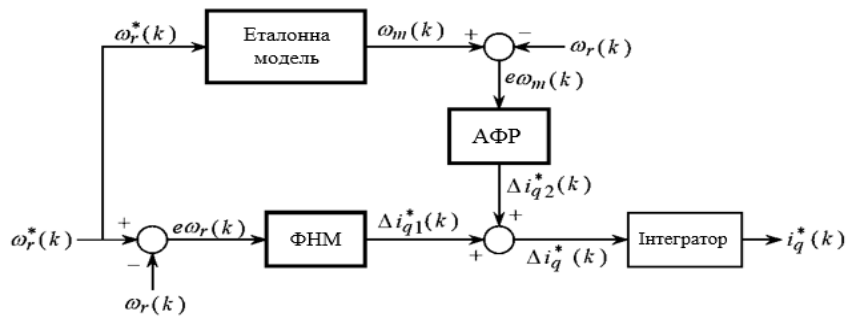


Рис. 3 Алгоритм адаптивного ФНМ – регулятора

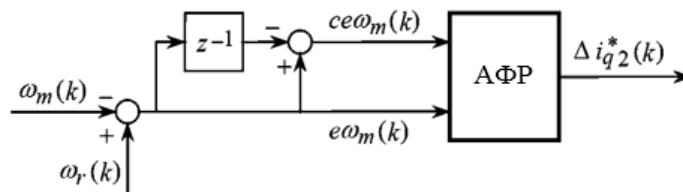


Рис. 4 АФР з еталонною моделлю

Помилка $e\omega_m(k)$ між виходом моделі, фактичною швидкістю та її зміною $ce\omega_m(k)$

$$e\omega_m(k) = \omega_m(k) - \omega_r(k) \quad (5)$$

$$ce\omega_m(k) = e\omega_m(k) - e\omega_m(k-1) \quad (6)$$

Вхідні змінні будуть оброблені АФР для створення коригуючого виразу $\Delta i_{q2}^*(k)$, який додається до виходу алгоритму $\Delta i_{q1}^*(k)$ для отримання $\Delta i_q^*(k)$. Еталонний струм отримується інтегруванням $\Delta i_q^*(k)$.

$$\Delta i_q^*(k) = \Delta i_q^*(k-1) + [\Delta i_{q1}^*(k) + \Delta i_{q2}^*(k)] \quad (7)$$

Порівняння отриманих результатів моделювання систем

На рис. 5 показано систему приводу СМПМ з АФНМ та ШНМ. Регулятор забезпечує ефективні показники для системи разом із варіаціями параметрів і робочих точок (АЦП – аналого-цифровий перетворювач затримки).

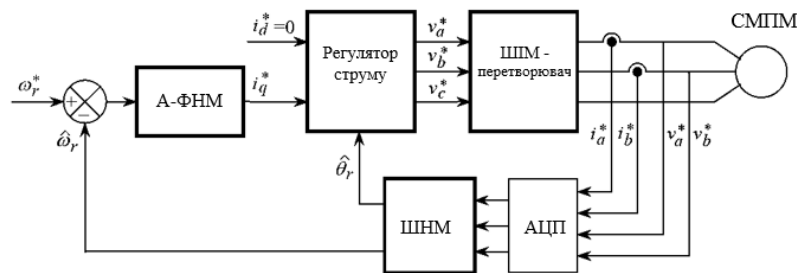


Рис. 5 Система електроприводу з СМПМ з АФНМ та ШНМ

Параметри СМПМ: $U = 220V$; $P = 2,2кВт$; $N_{\text{поллюсів}} = 4$; $R_s = 0,98 \text{ Ом}$; $\varphi_a = 0,147Вб$; $f = 60Гц$; $L_d = 9,1мГн$; $L_q = 18,82мГн$; $I_{ам} = 15A$, $n = 750 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

На рис.6 зображено результати порівняння швидкості та струму осі q ПІ-регулятора з fuzzy-логікою, а також регулятора з АФНМ. Розрахункова швидкість – це швидкість, розвинена до 1800 об/хв, починаючи з 0,2 с, а момент навантаження зростає до 3 Нм на інтервали з 0,6 с до 0,8 с.

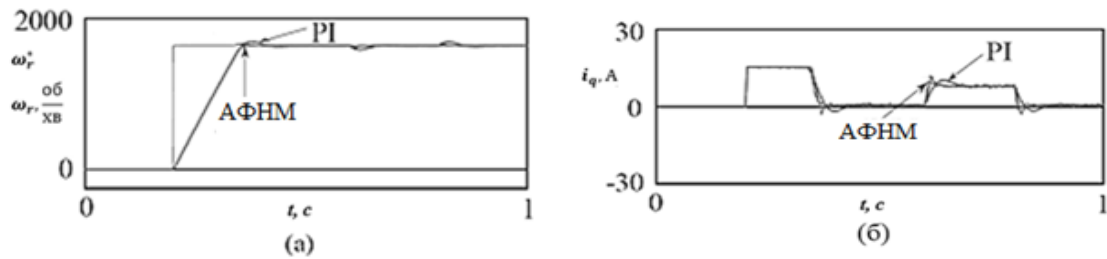


Рис. 6 Порівняння характеристик швидкодії з ПІ-регулятором, та регулятором з АФНМ

На рис. 7 показники швидкодії, отримані від ФНМ регулятора в той час, коли швидкість спочатку дорівнює 0, потім 500 об/хв, а далі – 500 об/хв. На рис. 7(а) показано швидкість керування та реальну швидкість, рис. 7(б) – швидкість керування та розрахункову швидкість, рис. 7(в) – струми осі q , рис. 7(г) – реальний кут та кут, розрахований ШНМ.

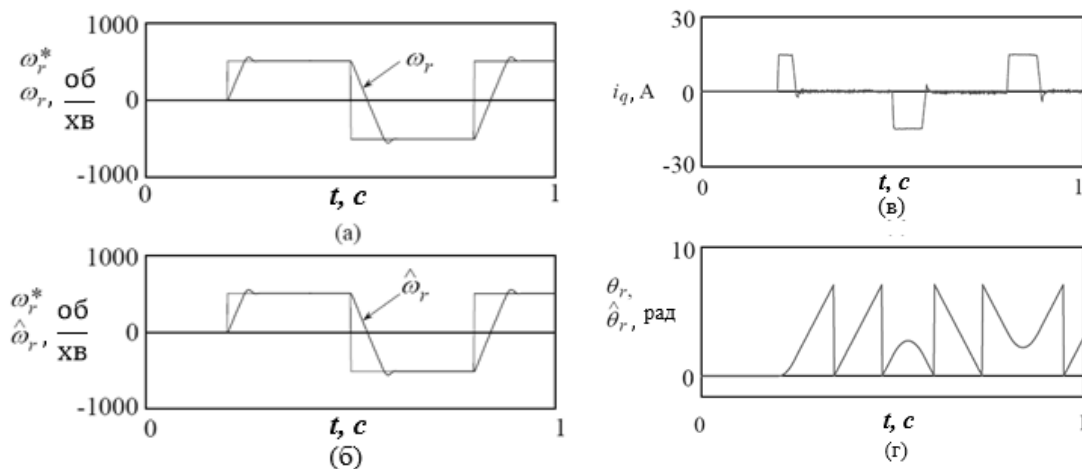


Рис. 7 Показники швидкодії ФНМ та ШНМ регулятора при зміні крокової швидкості керування

На рис. 8 зображено показники швидкодії АФНМ. АФНМ показує кращу продуктивність на відміну від ПІ-регулятора з fuzzy-логікою, крім того, вона покращується навіть зі зміною швидкості та моменту. ШНМ регулятор також показав задовільні результати.

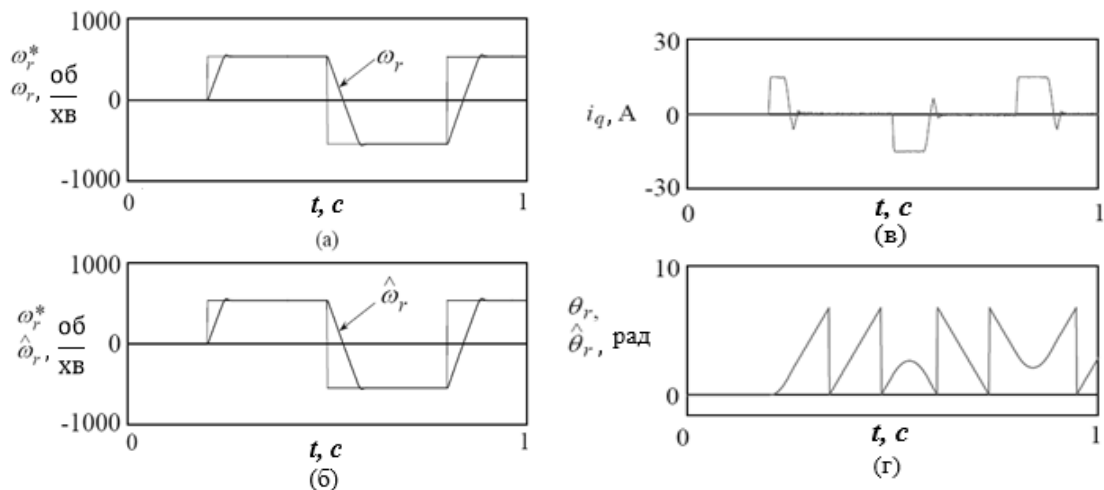


Рис. 8 Показники швидкодії АФНМ та ШНМ регулятора при зміні крокової швидкості керування

Висновки. У даному дослідженні запропоновано дві віртуальні моделі для привода електронавантажувача: з ПІ регулятором на основі fuzzy-логіки та з АФНМ регулятором для забезпечення високих показників керування приводу з СМПП за допомогою третього закону керування. Було проведено порівняння цих двох систем, яке виявило, що на відміну від першої системи з ПІ регулятором з fuzzy-логікою друга система з АФНМ регулятором поєднує пріоритетність фаззі-законів, послідовність методів кластеризації та багаточарові нейронні мережі, а разом з ШНМ регулятором має

таку перевагу, як адаптивне керування завдяки нейронним мережам та надійність фаззи-керування. Ще одною перевагою другої системи є застосування адаптивного механізму, заснованого на порівняльній моделі. Отже, за показниками швидкодії в різних станах системи, надійності та нечутливості до зміни параметрів була вибрана друга система з АФНМ та ШНМ регуляторами, яка в найвищій мірі задовольняє потреби систем керування електроприводом руху електронавантажувача.

Список літератури

1. Закладний О.М., Закладний О.О., Броницький В.О., Могилат Д.Ю. Енергоефективний електропривод електронавантажувача // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2013. №1. С. 36-41.
2. О.М. Закладний, О.О. Закладний, Д.Ю. Могилат, В.Г. Смоляр. Керування вентилюючим двигуном електронавантажувача за допомогою фаззи-нейронної мережі // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2014. №3. С. 64-68.
3. Hong-Gyun Lee, Jung-Chul Lee, Su-Myeong Nam, Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, Dong-Hwa Chung, "The Speed Control and Estimation of IPMSM using Adaptive FNN and ANN", ICCAS2005, June 2-5 2012, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea.

О.М. Закладний, Д.Ю. Могилат, О.О. Закладний, В.Г. Смоляр
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

CONTROL OF ELECTROMOTIVE DRIVE IN FORKLIFT USING ADAPTIVE FUZZY - NEURAL NETWORK

The analysis and comparison of two virtual models with VE electric drive. The first model uses a PI controller with fuzzy logic to use the third control law VE. The second evaluation was applied by means of the speed based on artificial neural network (ANN). For the third control law in VE an adaptive mechanism was used, it is based on comparative models - regulators based on adaptive fuzzy neural network (AFNM) and ANN in the drive with synchronous machine with permanent magnets (SMPM). Performance indicators were analyzed in different states: constant, variable, transition, etc. .. From finale results the better system was chosen.

Keywords: forklift, synchronous machine with permanent magnets, fuzzy neural network, fuzzy logic, adaptive control drive.

1. Zakladnyi O.O., Zakladnyi O.M., Bronytskyi V.O., Mogylat D.Yu. Energoefektivnyy elektropriyvod Electronavantaguvacha // *Energetyka: ekonomika, tehnologiya, ekologiya*. 2013. №1. S. 36-41.
2. O.O. Zakladnyi, O.M. Zakladnyi, D.Yu. Mogylat, V.G. Smolyar Keruvanya electronavantaguvacha za dopomogoyu fazi-neyronnoyi meregi // *Energetyka: ekonomika, tehnologiya, ekologiya*. 2014. №3. S. 64-68.
3. Hong-Gyun Lee, Jung-Chul Lee, Su-Myeong Nam, Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, Dong-Hwa Chung, "The Speed Control and Estimation of IPMSM using Adaptive FNN and ANN", ICCAS2005, June 2-5 2012, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea.

УДК 621.311.001.57(063)

А.Н. Закладной, канд. техн. наук, доцент; **Д.Ю. Могилат**
О.А. Закладной, канд. техн. наук, доцент; **В.Г. Смоляр**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКА С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНОЙ ФАЗЗИ-НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Проведен анализ и сравнение двух виртуальных моделей электропривода движения с вентилюющим двигателем (ВД) с синхронной машиной на постоянных магнитах для электропогрузчика. В первой модели используется ПИ-регулятор с нечеткой логикой для использования энергоэффективного закона управления ВД. Во второй была применена оценка скорости с помощью регулятора на базе искусственной нейронной сети (ИНС). Для использования энергоэффективного закона управления ВД в ней применена адаптивный механизм, основанный на сравнительной модели - регуляторах на базе адаптивной фаззи-нейронной сети (АФНС) и ИНС в приводе с синхронной машиной на постоянных магнитах (СМПМ). Проанализированы показатели быстродействия в различных состояниях систем: постоянном, переменном, переходном и др. По результатам была выбрана вторая модель, которая наиболее удовлетворяет условиям управления электроприводом движения электропогрузчика.

Ключевые слова: электропогрузчик, вентилюющий двигатель, синхронная машина с постоянными магнитами, фаззи-нейронная сеть, фаззи логика, адаптивное управление.

Надійшла 29.12.2014

Received 29.12.2014