

и подстанций / А.А. Антюшин, А.Е. Гомберг, В.П. Караваев и др.; Под ред. Э.С. Мусаэляна. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 384 с. 3. Сабадаш І.О. Новітні мікропроцесорні технології в експлуатації мереж 6–35 кВ // *Електрические сети и системы*. – 2011. – № 6. 4. Базилевич М.В., Божик Р.С., Сабадаш І.О. Мікропроцесорна інформаційно-діагностувальна система "Альтра" для селективного визначення приєднання з уземленою фазою // *Енергетика і електрифікація*. – К., 2003. – № 7. – С. 91–95. 5. Перхач В.С. Обчислювальна техніка в електроенергетичних розрахунках. – Львів: Вища шк., 1978. – 280 с.

УДК 621.3.078; 681.532.55

Ю.О. Бобечко, І.Р. Головач, А.О. Лозинський
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра ЕМА

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРЯМОГО ПОШИРЕННЯ СИГНАЛУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КУТА ПОЛОЖЕННЯ РОТОРА ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА

© Бобечко Ю.О., Головач І.Р., Лозинський А.О., 2011

Для створення бездавачевої системи керування вентильним реактивним двигуном (ВРД) синтезовано структуру штучної нейронної мережі (ШНМ) прямого поширення сигналу, входними величинами якої є фазні струми. Методом комп'ютерного симулювання досліджено роботу бездавачевої системи керування з використанням синтезованої ШНМ.

Ключові слова: вентильний реактивний двигун, штучна нейронна мережа, математична модель, бездавачева система керування.

To create a sensorless control system of switched reluctance motors (SRM), a feedforward artificial neural network (ANN), that uses currents as the input signals, was synthesized. By computer simulation was researched the work of the sensorless control system using created ANN.

Key words: switched reluctance motor, artificial neural network, mathematical model, stnsorless control system.

Постановка проблеми

Вентильні реактивні двигуни (ВРД), відомі у світі як SRM (switched reluctance motors), набули широкого застосування у різноманітних електроприводах завдяки простій будові, високому коефіцієнту корисної дії, високій надійності, широкому діапазону робочих швидкостей, можливості роботи в агресивних середовищах і за високих температур, добрих умов охолодження тощо. З іншого боку, до часто згадуваних недоліків цього типу двигунів належать пульсації крутного моменту, акустичні шуми і необхідна наявність давача положення ротора [1, 2]. Сьогодні розроблено багато ДПР, однак усі вони ускладнюють конструкцію та технологію виготовлення ЕМП, підвищують експлуатаційні вимоги, вимагають додаткового апаратного забезпечення для оброблення сигналів, обмежують галузь застосування тощо. Наявність давача положення ротора підвищує вартість та знижує надійність вентильних двигунів.

Останнім часом відбувається новий етап розвитку вентильних приводів, що характеризується спрощенням апаратної структури приводу за рахунок ускладнення програмної. Все більшого поширення набувають дослідження, спрямовані на створення ефективних алгоритмів управління ВРД. Застосовують методики з інших галузей: створення різноманітних детекторів, фільтрів тощо.

У таких системах за допомогою математичного апарата можливо створити детектор, який за непрямыми параметрами зможе оцінити положення ротора і здійснювати комутації.

Отже, актуальним є розвиток бездавачевих систем керування ВРД, зокрема і з використанням методів інтелектуального керування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Огляд відомих непрямих методів виявлення положення ротора ВРД виконано в роботі [3]. Багато з них вимагають роботи з незбудженими фазами [4–7]. В [8] для визначення положення ротора використовуються намагнічувальні характеристики двигуна. Більшість із наведених методів вимагає використання різноманітних додаткових апаратних засобів і значних інформаційних ресурсів для оброблення вимірних сигналів, а також обмеження у діапазоні швидкостей та використовують інтегрування, що призводить до накопичення похибки.

Останнім часом в літературі з'явилася значна кількість публікацій про використання штучного інтелекту в системах керування [9]. Застосування штучного інтелекту для оцінювання позиції ротора ВРД також вивчають багато дослідників. У роботі [10] Хорнік та ін. довели, що штучні нейронні мережі (ШНМ) є універсальними апроксиматорами. У роботі [11] ШНМ використовується для ідентифікації параметрів та керування ВРД. За результатами вимірювання фазних струмів і потокозчеплень ШНМ може оцінити положення ротора.

Мета роботи

Відомі інтелектуальні бездавачеві системи є достатньо складними і потребують значних інформаційних ресурсів для їх роботи. Задача вдосконалення наявних систем вимагає виконання багатьох досліджень. Метою роботи є розроблення бездавачевої системи керування ВРД з використанням принципів теорії нейронних мереж, яка від наявних систем відрізнятиметься простішою структурою, але забезпечуватиме високі техніко-економічні показники. Створення бездавачевої системи керування з використанням принципів теорії нейронних мереж дасть змогу підвищити надійність та знизити вартість двигуна, а також спростити алгоритм керування.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо синтез ШНМ бездавачевої системи керування ВРД для квазіусталеного режиму роботи. Для отримання працездатної ШНМ необхідно:

- вибрати архітектуру мережі;
- сформувати навчальну базу даних;
- навчити мережу на основі отриманої бази даних.

Вибір архітектури ШНМ. Архітектура мережі складається з опису інформації про з'єднання шарів, кількість шарів, кількість нейронів у кожному шарі, виду функції активації кожного шару. Першим етапом розв'язання поставленої задачі був вибір структури нейронної мережі та її архітектури, зокрема, вхідних та вихідних величин для нейронної мережі, а, відповідно, і кількості нейронів вхідного та вихідного шарів. Запропоновано використовувати мережу прямого поширення сигналу (рис. 1), основними перевагами якої є простота у використанні і можливість апроксимації будь-якої характеристики. Вхідними даними були вибрані струми фаз, вихідною величиною – кут положення ротора, оскільки кожному конкретному значенню кута положення ротора відповідає певна комбінація величин фазних струмів (рис. 2), що дає можливість оцінити позицію ротора у разі наявної інформації про струми фаз.

Альтернативними варіантами для створення бездавачевої системи керування можуть бути також системи, де вихідними величинами НМ будуть сигнали на вмикання/вимикання ключів керування в кожній секції ВРД (рис. 3, а), рекурентні нейронні мережі (рис. 3, б) для ідентифікації кута положення ротора Θ та ін. Цим структурам нейронних мереж будуть присвячені подальші дослідження.

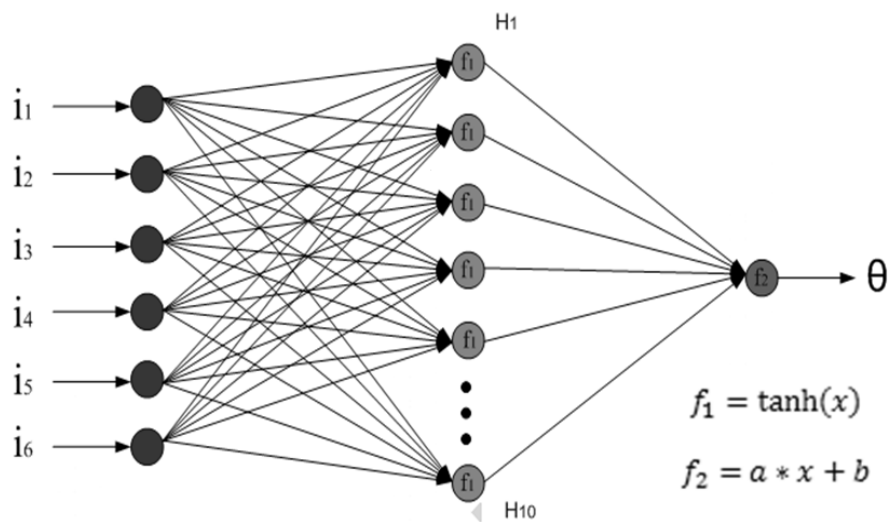


Рис. 1. Архітектура нейронної мережі прямого поширення сигналу

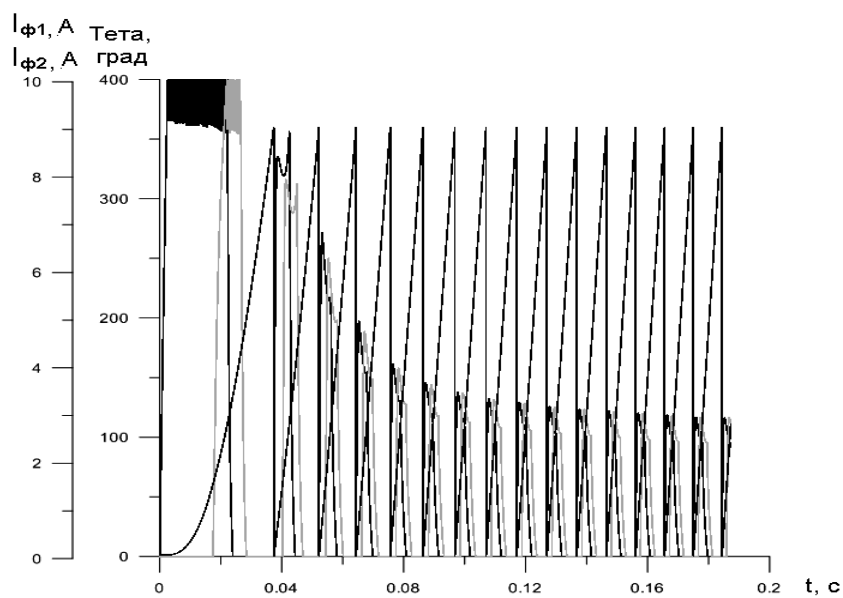


Рис. 2. Кут положення ротора та струми першої та другої фаз шестифазного ВРД

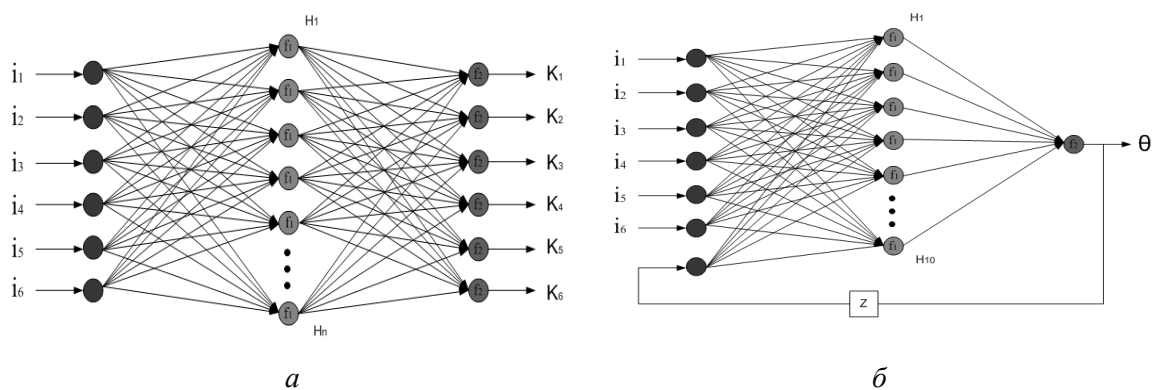


Рис. 3. Альтернативні архітектури ШНМ для керування ВРД:

a – нейронна мережа прямого поширення, де входними сигналами є струми фаз ВРД, а вихідними – сигнали на ключах керування; *б*– рекурентна нейронна мережа, де вихідним є кут положення ротора

На наступному етапі здійснено вибір кількості прихованих шарів та активаційних функцій нейронів мережі прямого поширення сигналу. Як відомо з [12], для більшості задач відтворення залежностей вхід-вихід достатньо використовувати нейронну мережу прямого поширення сигналу з одним прихованим шаром. Для цього типу НМ характерним є використання в прихованому шарі сигмоїдних активаційних функцій, зокрема: гіперболічний тангенс і логістична функція. Це забезпечує хороші умови для процедур навчання. Для навчання використовується метод зворотного розповсюдження похибки (Backpropagation Methode).

Формування навчальної бази даних, навчання нейронної мережі та тестування на отриманих даних. Для навчання нейронної мережі прямого поширення сигналу необхідна велика кількість навчальних даних (як правило, в три рази більше навчальних вибірок ніж ваг мережі). Для отримання необхідних даних використано автоматизовану систему дослідження ВРД, розроблену на кафедрі ЕМА Національного університету «Львівська політехніка». Дослідження для синтезу нейронної мережі для керування ВРД були проведені на моделі шестисекційного ВРД за таких даних: напруга живлення – $U = 60$ В; корисна потужність – 271 Вт; частота обертання – 600 об/хв; коефіцієнт корисної дії – 74 %; Момент навантаження – $M = 5$ Нм.

Кут початкового вмикання секції при цьому дорівнював 1 ел. град, а інтервал комутації – 110 ел. град. Щоб сформувати дані для навчання нейронної мережі було знято характеристики з моделі ВРД при різних напругах живлення і моментах навантаження. Напруги змінювалися в діапазоні: 0.4, 0.6, ..., 1.2U; а моменти навантаження – в діапазоні: 0.2, 0.4, ..., 1.2 М.

Дані для навчання було поділено на три категорії:

- тренувальні дані: використовуються для тренування мережі (близько 75 % даних);
- дані для кросс-перевірки: використовуються для активного тестування мережі протягом тренування і для зупинки тренування (близько 15% даних);
- дані для тестування: використовуються для тестування нейронної мережі після тренування.

Оскільки немає точного способу, щоб попередньо вибрати оптимальну кількість нейронів прихованого шару, то для цього було навчено і протестовано мережі з активаційною функцією гіперболічний тангенс і кількістю нейронів від двох до 18-ти (див. рис. 4).

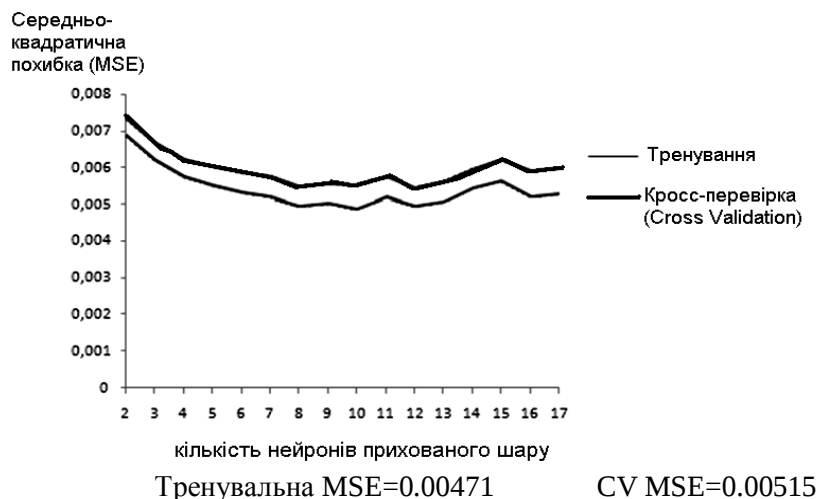


Рис. 4. Визначення оптимальної кількості нейронів прихованого шару

Як видно з рис. 4, штучна нейронна мережа демонструє найменші середньоквадратичні похибки під час навчання, коли кількість нейронів прихованого шару перебуває в межах від 8-ми до 12-ти. Тому було вибрано мережу з 10-ма нейронами у прихованому шарі.

Тестування навченої нейронної мережі було проведено на даних, які не використовувалися під час навчання: напруги живлення, що дорівнює 0.7 від номінальної, і моменту навантаження – 0.9 від номінального (рис. 5).

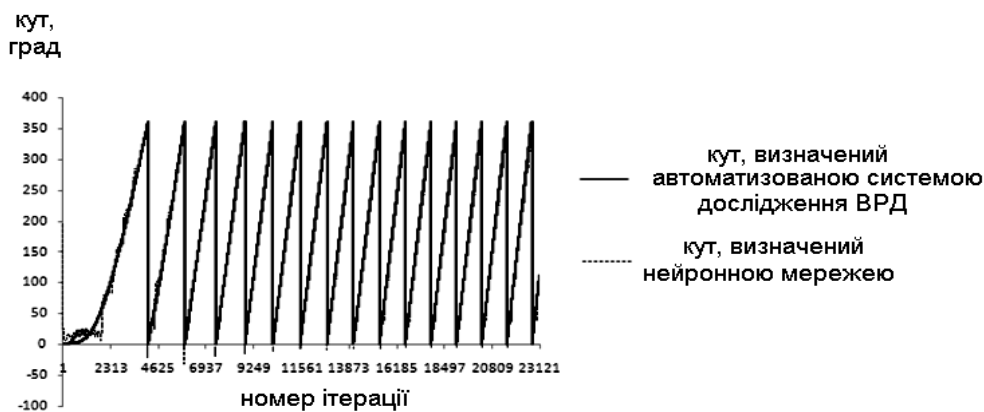


Рис. 5. Кут положення ротора, визначений автоматизованою системою дослідження ВРД, та кут, визначений нейронною мережею

З рис. 5 видно, що мережа дає результат, який істотно відрізняється від еталонного, тільки в момент пуску- перші 0.03–0.05 с.

Тестування навченої ШНМ в режимі реального часу. Навчену ШНМ було реалізовано алгоритмічною мовою ФОРТРАН для використання в автоматизованій системі дослідження ВРД. Після цього методом комп'ютерного симулювання досліджено роботу системи з нейромережовим ідентифікатором кута повороту ротора в квазіусталених режимах. Отримані результати показані на рис. 6. Для порівняння на цьому рисунку отримані і результати для системи з задавачем положення ротора.

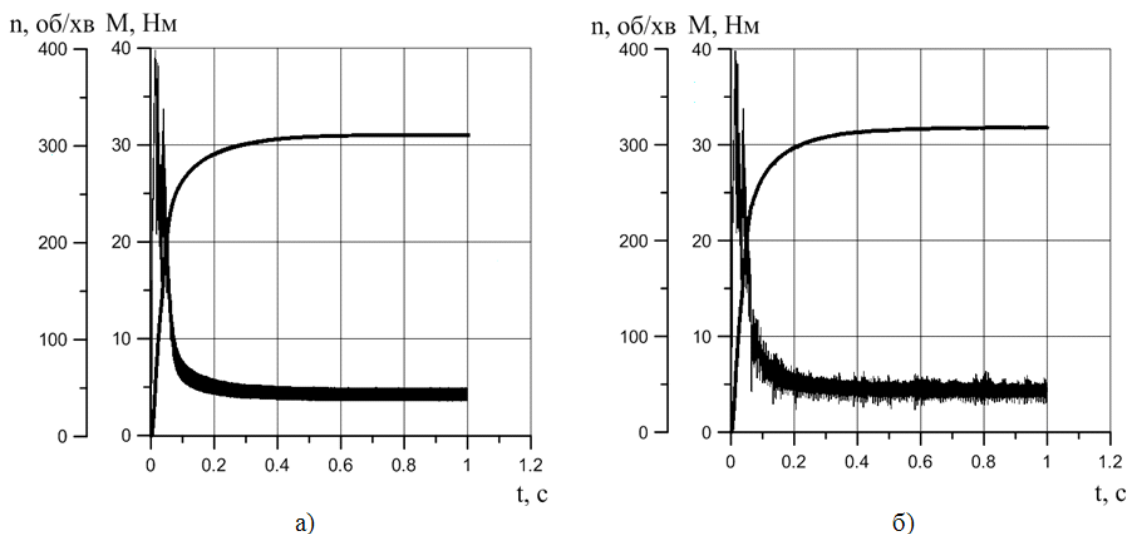


Рис. 6. Швидкість обертання та електромагнітний момент за квазіусталеного режиму роботи для моделі ВРД з давачем положення ротора (а) та для бездавачевої моделі ВРД, в якому для керування застосовується нейронна мережа (б)

Як видно з отриманих результатів, синтезована нейронна мережа справляється з поставленим завданням. Характеристики вентильного двигуна з бездавачевою системою ідентифікації кута положення ротора незначно відрізняються від отриманих для системи з давачем положення ротора.

Висновки

Аналіз отриманих результатів дає змогу стверджувати:

- використання штучних нейронних мереж дозволяє побудувати бездавачеву систему керування ВРД, яка за своїми характеристиками не поступається традиційним системам з давачем положення ротора;

- синтезована структура нейронної мережі зі струмами фаз, як вхідними величинами нейронної мережі, одним прихованим шаром із сигмоїдними активаційними функціями нейронів забезпечує визначення положення ротора для квазіусталених режимів роботи ВРД.

1. Lawrenson P.J., Stephenson J.M., Blekinsop P.T., Corda J., and Fulton N.N. Variable-speed switched reluctance motors. In *Proc. Inst. Elect. Eng. B*, Vol. 127. – July 1980. – P. 253–265. 2. Miller T. J. E. *Switched Reluctance Motors and Their Control*. New York: Clarendon, 1993. 3. Cheok A. and Ertugrul N. Sensorless rotor position detection techniques in switched reluctance motor drives. In *Proc. Australasian Universities Power Eng. Conf.*, Perth, Australia. – Sep. 1995. – P. 27–29. 4. Bass J.T., Ehsani M., and Miller T. J. E.. Robust torque control of switched reluctance motor without shaft position sensor // *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. IE-33. – 1986. – P. 212–216. 5. Acarnley. P.P., Hill R.J., and Hooper C.W.. Detection of rotor position in stepping and switched reluctance motors by monitoring of current waveforms // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – 1985. – Vol. IE-32, no. 3. – P. 215–222. 6. Panda S.K. and Amaratunga G. Switched reluctance motor drive without direct rotor position sensing // *IEEE IAS Annu. Meeting*. – 1990. – P. 525–530. 7. Ehsani M., Husain I. and Kulkarni A.B. Elimination of discrete position sensor and current sensor in switched reluctance motor drives // *IEEE Trans. Ind. Appl.* – Jan.-Feb. 1992. – Vol. 28, no. 1. – P. 128–135. 8. Lyons J.P., Macminn S.R. Preston and M.A.. Flux/current methods for SRM rotor position estimation // *IEEE IAS Annu. Meeting*, 1991. – P. 482–487. 9. Vas P. *Artificial Intelligence-Based Electrical Machines and Drives: Applications of Fuzzy, Neural, Fuzzy-Neural, and Genetic Algorithm-Based Techniques*. – New York: Oxford, 1999. 10. Hornik K., Stinchcombe M. and White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Netw.* – 1989. – Vol. 2. – P. 359–366. 11. Bellini A., Flipetti F., Franceschini G., Tassoni C. and Vas P. Position sensorless control of a SRM drive using ANN-Techniques. In *Proc. IEEE IAS Annu. Meeting*, 1998. – P. 533–539. 12. Осовський С. *Нейронні мережі для обробки інформації*. – М.: Фінанси й статистика, 2004.