УДК 621.313.13

Синтез нечіткого регулятора для керування ВРД без давача положення ротора

Т.І. Михайлович[1]

Abstract –**This paper presents a new method for fuzzy-controller synthesis which is used to estimate rotor position in sensorless SRM. Research results of SRM in different operating modes are presented, comparative analysis was performed.**

Keywords – **SRM, fuzzy-logic, sensorless control system, position measurement.**

I. Вступ

Вентильні реактивні двигуни (ВРД), відомі у світі як SRM (switched reluctance motors) знаходять своє застосування у багатьох електроприводах, де необхідно забезпечити надійне перетворення енергії, з можливістю регулювання швидкості та мінімальними затратами: зокрема в електроприводах транспортних засобів, медичному обладнанні, гірничому обладнанні, побутовій техніці тощо. Основними перевагами ВРД є проста будова, високий коефіцієнт корисної дії, широкий діапазон робочих швидкостей, хороші регулювальні характеристики, можливість роботи в агресивних середовищах та при граничних температурах, добрі умови охолодження, унікальна стійкість до відмови окремих елементів тощо. Одним з головних недоліків є необхідність використання давача положення ротора.

II. Аналіз стану проблеми

Давач положення ротора (ДПР) є складовою частиною ВРД і використовується для організації комутаційного процесу. На даний час розроблено цілий ряд ДПР, однак усі вони ускладнюють конструкцію та технологію виготовлення машини, зменшують надійність, збільшують габарити та вимагають додаткових елементів для опрацювання сигналів, обмежують область застосування тощо. Ці недоліки призвели до розробки ряду бездавачевих систем керування [3]. На нашу думку кращими серед них є системи побудовані з використанням інтелектуальних підходів: теорії нечітких множин та нейронних мереж. Вони характеризуються вищою точністю, ширшим діапазоном швидкостей, кращою стійкістю до вхідних похибок. Головним недоліком цих систем є громіздка база правил та необхідність використання швидких процесорів і додаткової пам'яті для опрацювання інформації та так званого навчання мережі, особливо для ШНМ [4].

Завданням дослідження є синтез бездавачевої системи керування ВРД на основі теорії нечітких множин, яка б не мала вищенаведених недоліків.

II. Виклад основного матеріалу

Для синтезу регулятора спочатку необхідно провести аналіз системи. Для проведення досліджень скористаємось моделлю ВРД, описаною в [1]. Рівняння потокозчеплення фази обмотки якоря вентильного реактивного двигуна має вигляд:

$$\psi(\theta, i) = \left[\psi_{10} - \psi_{1t} \cdot \sin(\theta/2)\right] \cdot i + \\ + \psi_y \cdot \sin(\theta/2) \cdot \left[1 - e^{-a \cdot i \cdot \sin(\theta/2)}\right], \quad (1)$$

де θ – електричний кут між віссю паза ротора і зубця статора, i – струм збудження фази, $\psi_{10}, \psi_{1t}, \psi_y, a$ – коефіцієнти.

Продиференціюємо це рівняння як функцію двох змінних:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{d\psi}{di} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{d\psi}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt}, \quad (2)$$

Враховуючи, що рівняння напруги прикладеної до секції ВРД в узагальненій формі:

$$R \cdot i + \frac{d\psi}{dt} = U_M \quad (3)$$

де U_M –напруга яка прикладається до секції двигуна, рівняння (2) можна записати у такому вигляді:

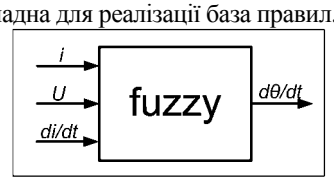
$$\frac{d\theta}{dt} = (U_M - A \cdot \frac{di}{dt}) \cdot \frac{1}{B} \quad (4)$$

де

$$A = \frac{d\psi}{di} = \psi_{10} - \psi_{1t} \cdot \sin(\theta/2) + \\ + \psi_y \cdot a \cdot \sin^2(\theta/2) \cdot e^{-a \cdot i \cdot \sin(\theta/2)}, \quad (5)$$

$$B = \frac{d\psi}{d\theta} = \frac{\cos(\theta/2)}{2} \cdot (\psi_y - \psi_{1t} \cdot i - \\ - \psi_y \cdot e^{-a \cdot i \cdot \sin(\theta/2)} \cdot (1 - a \cdot i \cdot \sin(\theta/2)), \quad (6)$$

Аналізуючи рівняння (4) бачимо, що похідна кута положення ротора залежить лише від струму, похідної струму та напруги живлення. Тому ці змінні буде доцільно вибрати в якості вхідних величин для побудови нечіткого регулятора Рис.1. Враховуючи рекомендації щодо вибору кількості лінгвістичних термів для кожної змінної у кількості 7±2 для трьох змінних отримується досить громіздка та складна для реалізації база правил.



[1] Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, УКРАЇНА, E-mail: tarasmykhailovych@gmail.com

Рис.1. Структурна схема фаззі-регулятора

Базу правил, отриману за таким підходом, представлено в [3]. Для розв'язання цієї проблеми пропонується поетапний (послідовний) підхід до синтезу регулятора. Його структура показана на Рис. 2.

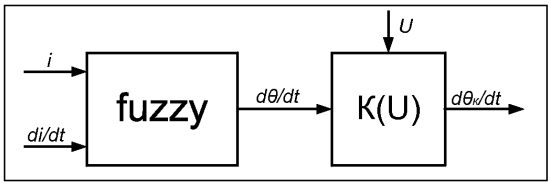


Рис.2. Структурна схема фаззі-регулятора

Для того, щоб отримати базу даних для створення нечіткого регулятора використано математичну модель ВРД з буфером енергії (БЕ) і широтно-фазовою модуляцією [1]. Спочатку проводились дослідження при сталій напрузі живлення зі зміною моменту навантаження. В результаті було отримано дуже громіздку базу даних, однак враховуючи те, що при різних значеннях струмів (моментів навантаження) і відповідних їм значенням похідних струмів, похідна кута знаходиться в околі декількох значень, отриману базу даних вдалося суттєво спростити. Нечіткий регулятор будуємо на основі алгоритму Такагі-Сугено з постійним виходом. Проміжні функції належності обох змінних вибираємо трикутні, а першу та останню – трапецеподібні.

Дослідження запропонованого регулятора проводимо на математичній моделі [1], яка доповнена фаззі-блоком.

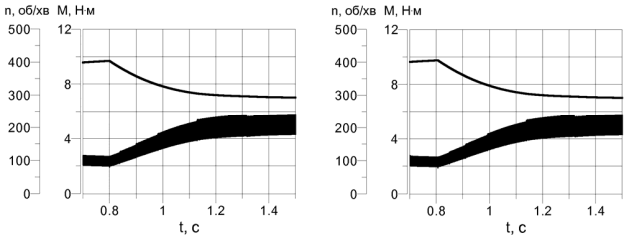


Рис.3. Частота обертання та електромагнітний момент
а) традиційної, б) бездавачевої системи

На Рис.3 представлені графіки зміни електромагнітного моменту та частоти обертання двигуна U-подібної конструкції 24/22 при зміні моменту навантаження з 0,5 до $1{,}2 \cdot M_н$. З наведених вище графіків видно, до синтезований нечіткий регулятор повністю відпрацьовує зміну навантаження.

Як показали дослідження для нормального функціонування першого блоку Рис. 2 достатньо бази даних розміру 6×6. Враховуючи вигляд функцій належності обох змінних та методику алгоритму Такагі-сугено ми тримаємо 26 фаззі-привил.

В результаті подальших досліджень встановлено, що відношення похідної положення ротора при номінальній напрузі до похідної положення ротора при даній напрузі практично не залежить від навантаження тобто від струму. Таким чином для врахування зміни напруги достатньо використати функцію однієї змінної, яка б вносила поправку в залежності від напруги живлення.

Другий блок фаззі-регулятора Рис. 2 будуємо за тою ж схемою, що і перший. Дослідження запропонованого регулятора проводимо на згаданій вище математичній моделі, яка доповнена другою частиною фаззі-регулятора.

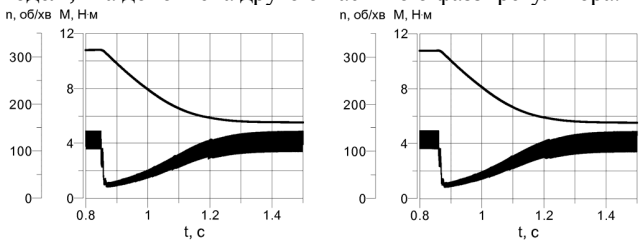


Рис.4. Частота обертання та електромагнітний момент
а) традиційної, б) бездавачевої системи

На Рис.4 представлені графіки зміни електромагнітного моменту та частоти обертання двигуна U-подібної конструкції 24/22 при зменшені напруги живлення з $U_н$ до $0{,}5 \cdot U_н$. З наведених вище графіків видно, до синтезований нечіткий регулятор повністю відпрацьовує зміну напруги живлення.

Для перевірки працездатності синтезованого регулятора проводились дослідження на математичних моделях двигунів різного конструктивного виконання. В результаті досліджень встановлено, що відносна похибка між досліджуваними величинами традиційної та бездавачевої системи не перевищує 10%. Вона досягає найбільших значень у перехідних режимах, що зумовлено не оптимальними налаштуваннями параметрів комутації та похибками, допущеними при наборі бази даних.

III. Висновок

Запропонований послідовний синтез нечіткого регулятора дозволяє суттєво зменшити базу правил. Синтезований регулятор має 32 фаззі-правила та забезпечує надійну роботу двигуна в різних режимах роботи. Проведені дослідження підтверджують адекватність синтезованого регулятора та доцільність використання запропонованого підходу для вирішення такого роду задач.

Список посилань

[1] В. І. Ткачук, „Електромеханотроніка“, підручник — Львів: Видавництво НУ „Львівська політехніка “, 2006.

[2] М. Бычков «Вентильно-индукторный электропривод: современное состояние и перспективы развития», М. «Рынок Электротехники», № 2, 2007 г.

[3] Nesimi Ertugrul, Adrian D. Cheok, “Indirect Angle Estimation in SRM Drives Using Fuzzy Logic Based Motor Model,” IEEE transactions on power electronics, VOL. 15, NO. 6, NOVEMBER 2000. pp. 1029-1044.

[4] Erkan Mese and David A. Torrey, «An Approach for SensorlessPosition Estimation for Switched Reluctance Motors Using Artifical Neural Networks,» IEEE Trans. on powerelectronics, VOL. 17, NO. 1, JANUARY 2002. pp.. 66-75.