

УДК 62-50

Д. С. Матушкін, магістрант,
А. В. Босак, к.т.н., ст. викл., науковий керівник

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

**ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ СИНХРОННИМ
ДВИГУНОМ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ**

Останнім часом схема векторного керування СДПМ отримала широке визнання у високоефективних застосуваннях. Векторне керування володіє чудовими характеристиками крутного моменту і потоку. Однак ефективність приводів обмежується через невизначеність параметрів. Однак застосування лінійних ПД-регуляторів в системах управління нелінійними об'єктами часто призводить до низької якості процесу регулювання, яке характеризується великими значеннями перерегулювання, статичної помилки і / або часу перехідного процесу. Для вирішення цих проблем використовуються оптимальні, робастні та адаптивні алгоритми управління. Робота, представлена в цій статті, базується на нових оптимальних та адаптивних стратегіях, включаючи нечітке управління з механізмом адаптації для подолання недоліків звичайних стратегій управління.

Ключові слова: СДПМ, векторне керування, нечітке управління, механізм адаптації, динамічні показники якості.

Recently, the Field Oriented Control scheme for PMSM has gained wide acceptance in high performance applications. The FOC has remarkable characteristics of decoupling torque and flux. However, the performance of drives is limited due to uncertainties of parameters. However, the use of linear PID-controller in the control systems of nonlinear objects often leads to low quality of the adjustment process, which is characterized by large values of overshoot, static error and / or transition time. To solve these problems optimal, robust and adaptive control algorithms are used. The work presented in this paper is based on new optimal and adaptive strategies, including fuzzy control with an adaptation mechanism to overcoming the disadvantages of the ordinary control strategies.

Keywords: PMSM, Field Oriented Control, fuzzy control, adaptation mechanism, dynamic quality indicators.

Вступ. З розвитком технології керування силовою електронікою та конструкції двигунів, СДПМ отримав широке застосування в багатьох системах управління. У типових приводах використовуються класичні ПІ- або ПІД-регулятори разом із методом векторного керування. Однак ефективність сильно залежить від параметрів двигуна [1], які змінюються в часі. Таким чином, бажано мати надійний регулятор для зменшення чутливості параметрів. Адаптивний контроль – це ефективний метод боротьби з великими варіаціями параметрів. Різні алгоритми управління потребують станів системи, тому їх непросто реалізувати. Для подолання цієї проблеми та підвищення гнучкості зміни алгоритму управління використовується нечіткий регулятор, який реалізує механізм адаптації. Це дозволяє якісно змінити процес управління, врахувати параметри сигналів в системі (швидкість зміни сигналу, прискорення), а також зробити процес управління більш адаптивним.

Основна перевага нечіткого регулятора полягає в тому, що для його розробки не потрібно математичного моделювання. Він має набір правил управління, який по суті заснований на знаннях поведінки системи та досвіді оператора.

Підвищення ефективності управління є актуальною проблемою в умовах зростаючої складності технологічного обладнання, процесів і систем. Для проектування систем управління складними об'єктами важливу роль відіграє вирішення завдань побудови адекватних математичних або імітаційних моделей і синтезу алгоритмів управління, які

забезпечують вирішення завдань в умовах невизначеності.

Мета дослідження. Розробка схеми управління, що має швидший динамічний відгук, надійну роботу при невизначеності параметрів та зміні швидкості, а також максимальний крутний момент.

Матеріал і результати дослідження. Для управління СДПМ вибрана структура векторного керування, яка використовує принцип модуляції просторового вектора. Повна структура моделі наведена в [2].

Суть векторного керування полягає в тому, що вектор струму статора, в двоосевій синхронній системі відліку, має дві складові: струм намагнічування і струм, який створює момент [3].

Створений крутний момент двигуна є результатом дії цих струмів. При підриманні струму намагнічування на постійній номінальній величині ($I_d = 0$), момент двигуна лінійно пропорційний струму, який створює момент (I_q), що є подібним до управління двигунами постійного струму незалежного збудження.

При побудові математичної моделі СДПМ приймаються такі припущення:

- насичення магнітного кола відсутнє;
- втрати в сталі, обмотки статора симетричні;
- індуктивність розсіювання не залежить від положення ротора в просторі.

Для побудови структурної схеми СДПМ в d-q-осях скористаємося математичною моделлю СДПМ [4]:

$$\begin{aligned} \frac{dI_d}{dt} &= \frac{1}{L_d}(U_d - R_s I_d + \omega_e L_q I_q); \\ \frac{dI_q}{dt} &= \frac{1}{L_q}(U_q - R_s I_q + \omega_e L_d I_d - \omega_e \Psi_f); \\ J \frac{d\omega}{dt} &= M - M_c; \\ M &= \frac{3}{2} Z_p [\Psi_f \cdot I_q + (L_d - L_q) I_d I_q], \end{aligned} \quad (1)$$

де I_d, I_q – струми статора d-q-осей; U_d, U_q – напруги статора d-q-осей; R_s – опір фази статора; $L_d = L_q = L_s$ – індуктивності d-q-осей і статора; ω_e – електрична швидкість обертання фазних струмів статора, ел. рад/с; Ψ_f – потокозчеплення, яке створюється постійними магнітами ротора; J – момент інерції ротора; ω – швидкість обертання ротора; M – електромагнітний момент двигуна; M_c – момент навантаження двигуна.

Рівняння СДПМ в обертовій системі координат (1) забезпечують більшу наочність протікаючих в обмотках статора процесах.

У традиційній системі векторного керування використовуються зворотні зв'язки за швидкістю та струмом, що обробляються ПІД-регуляторами, регулятор швидкості не може створювати умови для точного відпрацювання сигналу завдання за умови впливу моменту навантаження під час його різкої зміни. Для успішного вирішення поставленого завдання необхідно побудувати систему за збуренням та відхиленням, розглядаючи момент навантаження, що оцінюється адаптивним механізмом нечіткого регулятора, як сигнал збурення.

Нечітка поведінка регулятора залежить від функцій приналежності, їх розподілу та правил, що впливають на нечітку зміну в системі. Не існує чіткого методу, щоб точно визначити його параметри. Налаштування нечіткого регулятора – це ітераційний процес, який вимагає випробування кількох комбінацій функцій приналежності та бази правил. Налаштування можна здійснити за допомогою спостереження за реакцією регулятора та

змінюючи нечіткі набори вхідної змінної за помилкою регулювання швидкості $e(t)$ та вихідної змінної u до тих пір, поки не буде отримано задовільного відгуку. В [5] наведено такий спосіб налаштування нечіткого регулятора.

Нелінійні адаптуючі в процесі функціонування коефіцієнти в нечіткому регуляторі дозволяють стійко формувати сигнали управління при зміні параметрів системи в процесі функціонування.

Результати моделювання системи управління СДПМ з використанням ПД-регулятора і нечіткого регулятора з механізмом адаптації наведені на рис. 1.

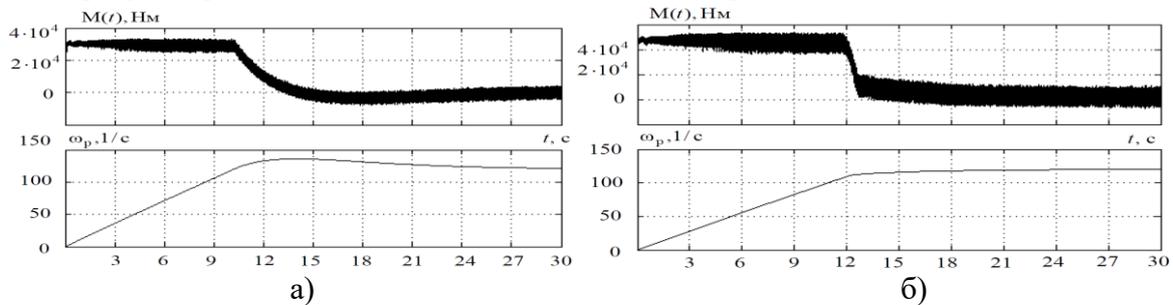


Рисунок 1 – Перехідні процеси за моментом та швидкістю:
а) ПД-регулятор; б) нечіткий регулятор

Проведені дослідження синтезованої системи векторного керування підтвердили ефективність застосування методів нечіткої логіки при проектуванні регуляторів.

Перерегулювання за швидкістю в разі використання стандартного ПД-регулятора становить 14%, при використанні нечіткого регулятора – практично відсутнє, при цьому зменшився час регулювання моменту. До того ж, в першому випадку в перехідному режимі двигун може перейти в генераторний режим, що є недопустимим в процесі функціонування системи.

Висновки. Суть виконаних досліджень полягає в впровадженні у систему управління нечіткого регулятора з механізмом адаптації, що дозволяє покращити показники якості управління.

Отримані результати показують, що:

1. Стратегія управління забезпечує стабільну систему із задовільними показниками роботи з/або без зміни навантаження.
2. Результати моделювання підтвердили ефективність запропонованої схеми адаптації у підтримці гарних показників управління під дією збурюючих впливів.

Перелік використаної літератури

1. Ying Shich Koing, and Pin Ging Huang: High performance position controller for permanent magnet synchronous motor drives based on TM5320F2818 DSP, Proc. Of the 2004 IEEE Int. Conf. on Control applications. Torpei, Taiwan, pp.290-295 Sept.2-4, 2004.
2. Б. Г. Любарський, О. В. Демидов, Т. В. Парфенюк, М. Л. Глебова: Моделирование тягового привода на основе сдпм / Б. // Світлотехніка та електроенергетика / Б. Г. Любарський, О. В. Демидов, Т. В. Парфенюк, М. Л. Глебова. – 2014. – № 2. – С. 41–45.
3. Фираго, Б. И. Теория электропривода: Учеб.пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик // Мн.: Техноперспектива, 2004.
4. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов. – Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008. – 298 с.
5. Матушкін Д. С. Застосування алгоритму нечіткої логіки для налаштування адаптивного ПД-регулятора / Д. С. Матушкін, А. В. Босак // Автоматизація, енергетика та енергетичні системи / Д. С. Матушкін, А. В. Босак. – Кременчук, 2019. – С. 87–91.