

КЕРУВАННЯ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯМ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ АПЕРІОДИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ПІДВИЩЕНОГО ПОРЯДКУ

Захарченко Ю.О., Родькін Д.І., студенти, Приймак Б.І., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем
та електроприводу

Вступ. У класичному векторному керуванні асинхронними двигунами (АД), як відомо [1], здійснюється декомпозиція об'єкта керування та синтезуються дві автономні системи автоматичного регулювання (САР): САР швидкості (положення) та САР потокозчеплення ротора двигуна. В енергоощадних асинхронних електроприводах магнітний потік двигуна не стабілізується на номінальному рівні, а підтримується на оптимальному для кожного значення моменту навантаження та швидкості двигуна рівні. Значення потокозчеплення, яке визначається у підсистемі оптимізації енерговитрат [2], являється завданням для САР потокозчеплення ротора двигуна. Серед показників якості важливою є швидкодія, що пояснюється двома причинами.

Перша причина полягає у тому, що для зменшення динамічного відхилення швидкості ротора потрібно якомога швидше відновлювати динамічний момент АД при нахилі навантаження, якщо привод перед цим працював з малим навантаженням, а відповідно і з малим магнітним потоком. Друга причина полягає у тому, що в технологічних процесах з короткими інтервалами усталених режимів підвищення ефективності приводу вимагає зменшення часу мінімізації втрат, який значною мірою визначається часом регулювання в САР потокозчеплення ротора двигуна [2].

Враховуючи сказане, стає актуальною задача побудови САР потокозчеплення ротора двигуна із високою швидкодією, а також з достатньою робастністю до параметричних збурень. До перспективних альтернатив у цьому питанні можна віднести аперіодичні регулятори (АР) підвищеного порядку [3]. Особливістю АР, як відомо, є скінченна тривалість перехідних процесів.

Мета роботи – синтез та дослідження цифрового аперіодичного регулятора підвищеного порядку модуля вектора потокозчеплення ротора асинхронного двигуна, призначеного для застосування у векторно-керованому енергоощадному асинхронному електроприводі.

Синтез аперіодичного регулятора потокозчеплення. Для розв'язання задачі синтезу використаємо АД з наступними номінальними значеннями потужності, частоти обертання, фазної напруги та струму: $P_n = 1500 \text{ Вт}$; $n_n = 1413 \text{ об/хв}$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_n = 3.56 \text{ А}$. Структурна схема цифрової САР потокозчеплення ротора двигуна зображена на рис. 1, де Ψ_r , Ψ_r^* – модуль вектора потокозчеплення ротора та його завдання; $W_o(p)$ – передатна функція (ПФ) зведеного об'єкта керування; $W_{reg}(z)$ – дискретна ПФ (ДПФ) регулятора потокозчеплення; T_0 – такт квантування за часом; p – параметр

перетворення Лапласа; $z = e^{T_0 p}$ – параметр z -перетворення; K_ψ – коефіцієнт зворотного зв'язку. Зведений об'єкт керування складається із екстраполятора нульового порядку та двох аперіодичних ланок 1-го порядку. Перша з них описує замкнений контур регулювання потокової складової вектора струму з пропорційно інтегральним (ПІ) регулятором, налаштованим на модульний оптимум [1], де T_μ – мала некомпенсована стала часу у контурі струму; K_i – коефіцієнт передачі давача струму. Друга з аперіодичних ланок описує зв'язок між струмом та потокозчепленням, де L_m – взаємна індуктивність між статором та ротором; T_r – стала часу ротора. Параметри моделі мають наступні значення: $T_\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $L_m = 0.374 \text{ Гн}$; $K_i = 1$; $K_\psi = 1$; $T_r = 0.103 \text{ с}$. Такт квантування вибрано рівним $T_0 = 0.002 \text{ с}$.

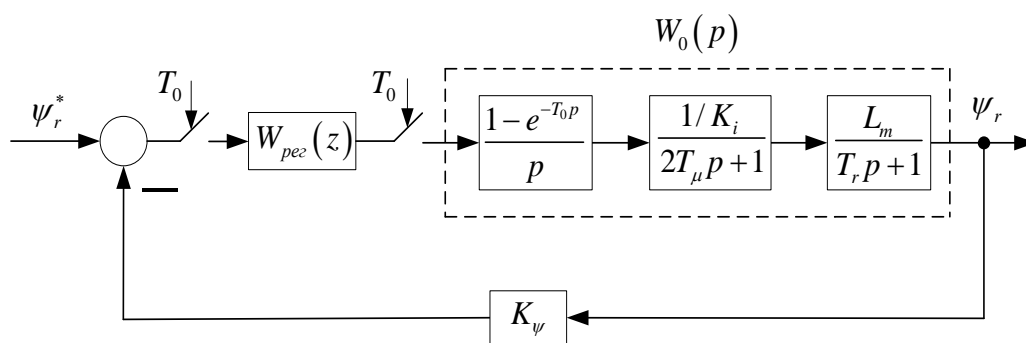


Рисунок 1 – Структурна схема контуру регулювання потокозчеплення ротора

Проведемо синтез ПІ-регулятора для даної системи і налаштуємо його на модульний оптимум [1]. Регулятор матиме ПФ

$$W_{III}(p) = \frac{K_I (T_r p + 1)}{p}, \quad (1)$$

де $K_I = K_i / 4T_\mu L_m K_\psi$. Цей регулятор служитиме нижче прототипом при порівнянні властивостей. Здійснивши дискретизацію (1) чисельним способом, визначимо ДПФ ПІ-регулятора

$$W_{III}(z) = \frac{68.85z - 67.51}{z - 1}. \quad (2)$$

Отримаємо опис неперервної частини САР в дискретному часі. ДПФ зведеного об'єкта керування з урахуванням фіксатора нульового порядку визначиться як

$$W_o(z) = Z\{W_o(p)\} = \frac{L_m}{K_i} \frac{z-1}{z} Z\left\{ \frac{1}{(2T_\mu p + 1)(T_r p + 1)} \right\}, \quad (3)$$

де $Z\{\bullet\}$ – операція визначення z -перетворення. Виконавши дискретизацію (3) чисельним способом, матимемо ДПФ об'єкта керування

$$W_o(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}, \quad (4)$$

де $b_1 = 0.002653$; $b_2 = 0.001893$; $a_1 = 1.349$; $a_2 = 0.3608$.

Тепер проведемо синтез АР підвищеного порядку для САР потокозчеплення ротора за методикою, викладеною в [3]. Згідно з цією методикою, ДПФ регулятора для об'єкта керування (4) матиме вигляд

$$W_{AP}(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + q_3 z^{-3}}{1 - p_1 z^{-1} - p_2 z^{-2} - p_3 z^{-3}}. \quad (5)$$

При цьому параметри (5) отримуються як

$$\begin{aligned} q_0 &= \frac{1}{(1 - a_1)(b_1 + b_2)}; & q_1 &= (a_1 - 1) \cdot q_0 + \frac{1}{b_1 + b_2}; & q_2 &= (a_2 - a_1) \cdot q_0 + \frac{a_1}{b_1 + b_2}; \\ q_3 &= a_2 \left(-q_0 + \frac{1}{b_1 + b_2} \right); & p_1 &= b_1 \cdot q_0; & p_2 &= (b_2 - b_1) \cdot q_0 + \frac{b_1}{b_1 + b_2}; \\ p_3 &= -b_2 \left(q_0 - \frac{1}{b_1 + b_2} \right); \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином бачимо, що параметри регулятора можуть бути обчислені досить просто. Проведемо чисельний синтез АР. Для цього за виразами (6) отримаємо чисельні значення коефіцієнтів АР. В підсумку матимемо ДПФ АР у вигляді

$$W_{AP}(z) = \frac{93.65z^3 - 136.6z + 45.57}{z^3 - 0.2485z^2 - 0.5124z - 0.2391} \quad (7)$$

Виконаємо дослідження якості керування в САР потокозчеплення ротора двигуна з АР підвищеного порядку та з ПІ-регулятором. Результати моделювання системи за номінальних значень параметрів для обох регуляторів при $\Psi_r^* = 1(t) \cdot 0.1$ Вб наведені на рис. 2, 3, де криві 1 отримані при використанні ПІ-регулятора, а криві 2 – АР підвищеного (3-го) порядку. Порівнюючи криві на рис. 2, можна зробити висновок, що АР 3-го порядку демонструє кращі показники якості ніж ПІ-регулятор. Зокрема, час регулювання t_p та перерегулювання σ при АР дорівнюють 0.005 с та 0 %, а при ПІ-регуляторі – 0.016 с та 15 % відповідно. Рис. 3 дозволяє порівняти керувальні змінні на виходах регуляторів та зробити висновок, що максимальне значення керувальної змінної при застосуванні АР більше ніж при застосуванні ПІ-регулятора, хоча і не набагато (9.365 та 6.885 відповідно).

Далі ставилася задача виявлення впливу на показники якості керування відхилень параметрів об'єкта керування від номінальних значень. Таке дослідження зумовлене наявністю залежного від магнітного стану АД параметра L_m та залежного як від магнітного так і, більшою мірою, від

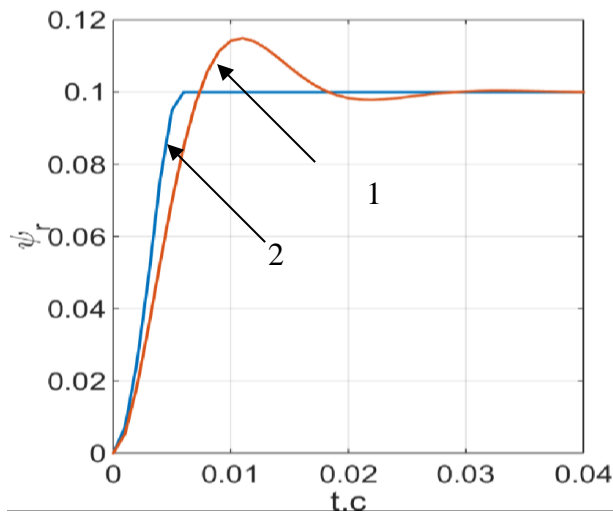


Рисунок 2 – Перехідні процеси потокозчеплення ротора двигуна

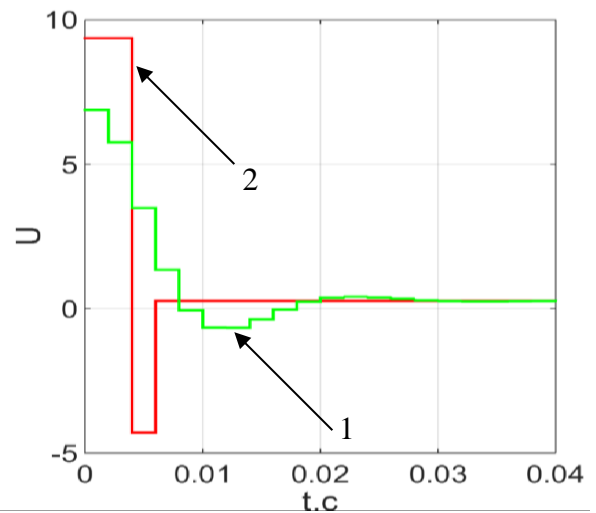


Рисунок 3 – Сигнали керування на виході регуляторів

теплового стану двигуна параметра T_r . Була проведена низка дослідів для різних варіацій параметрів T_r та L_m від їх номінальних значень. Отримані дані зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Залежність показників якості від варіацій параметрів об'єкта

Тип регулятора	Показники якості керування									
	$\Delta L_m = 0;$ $\Delta T_r = 0$		$\Delta L_m = +20%;$ $\Delta T_r = 0$		$\Delta L_m = -20%;$ $\Delta T_r = 0$		$\Delta L_m = 0;$ $\Delta T_r = +30%$		$\Delta L_m = 0;$ $\Delta T_r = -30%$	
	t_p, ms	$\sigma, %$	t_p, ms	$\sigma, %$	t_p, ms	$\sigma, %$	t_p, ms	$\sigma, %$	t_p, ms	$\sigma, %$
ПІ	16	15	14.3	21	17	8.4	18.3	8.6	20	26
АР	5	0	7.7	13	9.5	0	9.5	1	11.5	26.4

Аналізуючи табличні дані, можна зазначити, що АР як для варійованого так і для не варійованого об'єкта керування забезпечує істотний вигравш у швидкодії – час регулювання менший в 2-3 рази ніж для ПІ-регулятора. Проте перерегулювання сягає досить великих значень, особливо при від'ємній ΔT_r . Це засвідчує недостатній рівень параметричної робастності АР. Для усунення цього недоліку можна запропонувати підлаштовувати параметри АР на основі (4), (6), виходячи із наявної в системі інформації про реальні значення L_m та T_r .

Висновки. Проведено синтез та дослідження АР підвищеного порядку модуля вектора потокозчеплення ротора АД. Встановлено, що АР 3-го порядку має в 2-3 рази більшу швидкодію ніж традиційний ПІ-регулятор. Проте параметрична робастність АР не є високою. Цю ваду можна усунути, зробивши АР адаптивним.

Перелік посилань

1. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями/ О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
2. Приймак Б.І. Векторне керування асинхронним електроприводом з нейромережною оптимізацією енерговитрат // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2008. – № 3 (21). – С. 61-71.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.