

ОЦІНКА ВЕКТОРА ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ В СИСТЕМАХ ПОЛЕОРІЄНТОВАНОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

Толочко О.І., Чекавський Г.С., Горбанов А.М., Орлова Ю.А.
Донецький національний технічний університет

Розглядається принцип організації відновлення амплітуди і кутового положення вектора потокозчеплення при векторному керуванні асинхронним двигуном і орієнтації системи координат за цим вектором а рахунок застосування спостерігачів стану. Виконуються дослідження режимів роботи системи з непрямим визначенням потокозчеплення на прикладі системи з орієнтацією за вектором потокозчеплення ротора

Реалізація високоякісної системи векторного керування електроприводом на основі асинхронного двигуна (АД) з орієнтацією системи координат за деяким узагальненим вектором потокозчеплення (статора $\vec{\Psi}_S$, головного $\vec{\Psi}_m$ або ротора $\vec{\Psi}_R$) потребує точного визначення модуля і просторового положення цього вектора. Альтернативою безпосередньому вимірюванню потокозчеплення є його оцінка за допомогою спостерігачів стану (СС), які порівняно із математичними моделями є менш чутливими до зміни параметрів об'єкта і забезпечують більшу точність відновлення вектора потокозчеплення.

При розгляданні об'єкта регулювання в системі координат d, q , орієнтованій за обраним вектором потокозчеплення, може бути застосований підхід [1], що полягає у забезпеченні заданих динамічних властивостей СС і системи в цілому шляхом вибору певного бажаного характеристичного поліному спостерігача. Такі спостерігачі матимуть у порівнянні з іншими відомими СС [2, 3] більш прості структуру і алгоритм вибору параметрів коригувальних зв'язків.

В цій роботі даний принцип розглянутий на прикладі синтезу СС, побудованого на основі математичного опису АД в системі координат d, q , орієнтованій за узагальненим вектором потокозчеплення $\vec{\Psi}_R$ ротора ($\psi_{Rd} = |\vec{\Psi}_R| = \Psi_R$, $\psi_{Rq} \equiv 0$). Виконується також аналіз статичних і динамічних властивостей системи векторного керування, замкненої за оцінками модуля і кутового положення вектора потокозчеплення ротора АД.

При традиційному векторному керуванні короткозамкненим АД побудовання СС для визначення вектора потокозчеплення ротора мо-

же бути виконаний на основі такого математичного опису об'єкта регулювання в ортогональній системі координат d, q :

$$\sigma L_S p i_{sd} = u_{sd} - R_l i_{sd} + \sigma L_S \omega_C i_{sq} + k_R T_R^{-1} \Psi_R;$$

$$p \Psi_R = -T_R^{-1} \Psi_R + k_R R_R i_{sq}; \quad \omega_C = \omega_R + k_R R_R i_{sq} / \Psi_R;$$

де u_{sd} – d -складова вектора напруги \vec{U}_S статора; i_{sd}, i_{sq} – складові (намагнічувальна та моментна) вектора струму \vec{I}_S статора; $\omega_R = z_p \omega$ – кутова швидкість обертання поля ротора; ω – частота обертання валу (швидкість) АД; ω_C – кутова частота обертання вектора $\vec{\Psi}_R$ (системи координат d, q); $R_l = R_S + k_R^2 R_R$, $T_R = L_R / R_R$, $k_R = L_m / L_R$, $\sigma = 1 - k_R L_m / L_S$ – похідні параметри від параметрів схеми заміщення – активних опорів обмоток R_S, R_R , повних індуктивностей L_S, L_R , і взаємної індуктивності L_m .

При припущенні про збіг аналогічних параметрів об'єкта і спостерігача може бути синтезований СС, структурна схема якого наведена на рис.1, де позначено $T_l = \sigma L_S / R_l$.

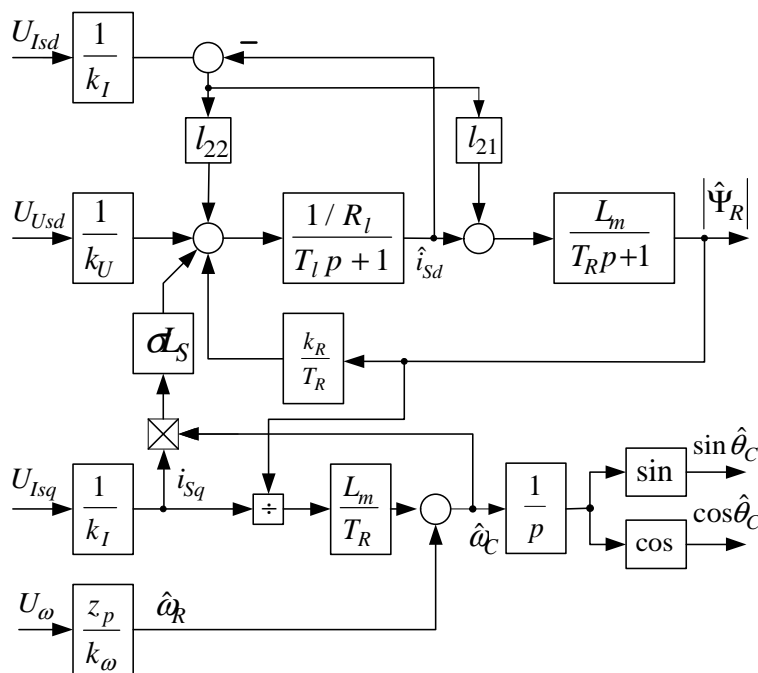


Рис.1. Структурна схема СС.

$e_q = \sigma L_S \omega_C i_{sq}$, який за умови наявності в системі керування відповідного компенсуючого зв'язку не порушує асимптотичності встановлення модуля і кутового положення вектора потокозчеплення ротора.

Коригувальні коефіцієнти СС при припущенні, що параметри АД є постійними, при представленні бажаного поліному в формі

Вхідними сигналами для СС (рис.1) є напруги, що є пропорційними складовій напруги статора u_{sd} , відповідним складовим струму статора та швидкості АД. Через k_U, k_I та k_ω позначені коефіцієнти передачі відповідних вимірювальних пристроїв.

На вході СС присутній нелінійний змінний збурюючий вплив

$H_2(p) = p^2 + \gamma\Omega_0 p + \Omega_0^2$, дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} l_{21} &= \frac{\sigma L_S}{k_R L_m} (T_R^2 \Omega_0^2 - \gamma T_R \Omega_0 + 1) + 1; \\ l_{22} &= \sigma L_S (\gamma \Omega_0 - T_R^{-1}) - R_l, \end{aligned} \right\}$$

де $\Omega_0 = \lambda/T_\mu$ – середньгеометричний корінь характеристичного полінома СС; T_μ – мала некомпенсована стала часу системи.

При моделюванні задалися параметрами двигуна 4А-112-М4 (5,5 кВт, 380 В, 1448 об/хв., 10,4 А), а в якості характеристичного полінома СС прийняли поліном Баттерворта 2-го порядку ($\gamma = \sqrt{2}$), і задалися величиною $\lambda = 1$. Динамічні властивості інвертора напруги (ІН) враховувалися за допомогою ланки чистого запізнювання на інтервал $\tau = 2T_\mu$. Для чисельного рішення рівнянь моделі системи застосовувався метод Рунге-Кутта 4-го порядку.

Дослідження статичних і динамічних властивостей системи векторного керування зі СС виконувалося за допомогою математичної моделі при замиканні контуру регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора за його оцінкою $\hat{\Psi}_R$ і застосуванні гармонічних функцій відновленого значення кутового положення цього вектора – $\sin \hat{\theta}_C$ і $\cos \hat{\theta}_C$ – для орієнтації системи координат.

На рис.2 наведені графіки перехідних процесів в системі при роботі з реактивним навантаженням $M_C = |M_{Cp}| \text{sign}(\omega)$ на валу АД. Задана (ω_z^*) і дійсна (ω^*) швидкості вказані у долях синхронної швидкості АД, складові (i_{sd}^* і i_{sq}^*) струму статора – у долях номінального значення струму статора АД, амплітуда вектора потокозчеплення (Ψ_R^*) і похибка її оцінювання $\tilde{\Psi}_R^*$ вказані у долях номінального (заданого) значення потокозчеплення. Для ілюстрації властивостей системи обрані довільні режими роботи при відпрацьовуванні двополярної трапецієподібної тахограми. Аналіз графіків дозволяє зробити висновок про те, що за розглянутих умов система векторного керування зі зворотними зв'язками за оцінками амплітуди і кутового положення вектора $\tilde{\Psi}_R$ має добрі статичні і динамічні властивості.

Були проведені також дослідження, які показали, що система зі СС має низьку чутливість до пульсацій вихідної напруги ІН з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), що важливо з огляду на те, що математично пов'язаний з нею сигнал u_{sd} є керуючим впливом для СС. Так, на прикладі застосування скалярного закону формування ШІМ

було встановлено, що наявність високочастотних пульсацій вихідної напруги ІН не призводить до погіршення динамічних властивостей системи, хоча і спричинює деяке підвищення похибок оцінювання амплітуди і кутового положення вектора $\tilde{\Psi}_R$ (рис.3).

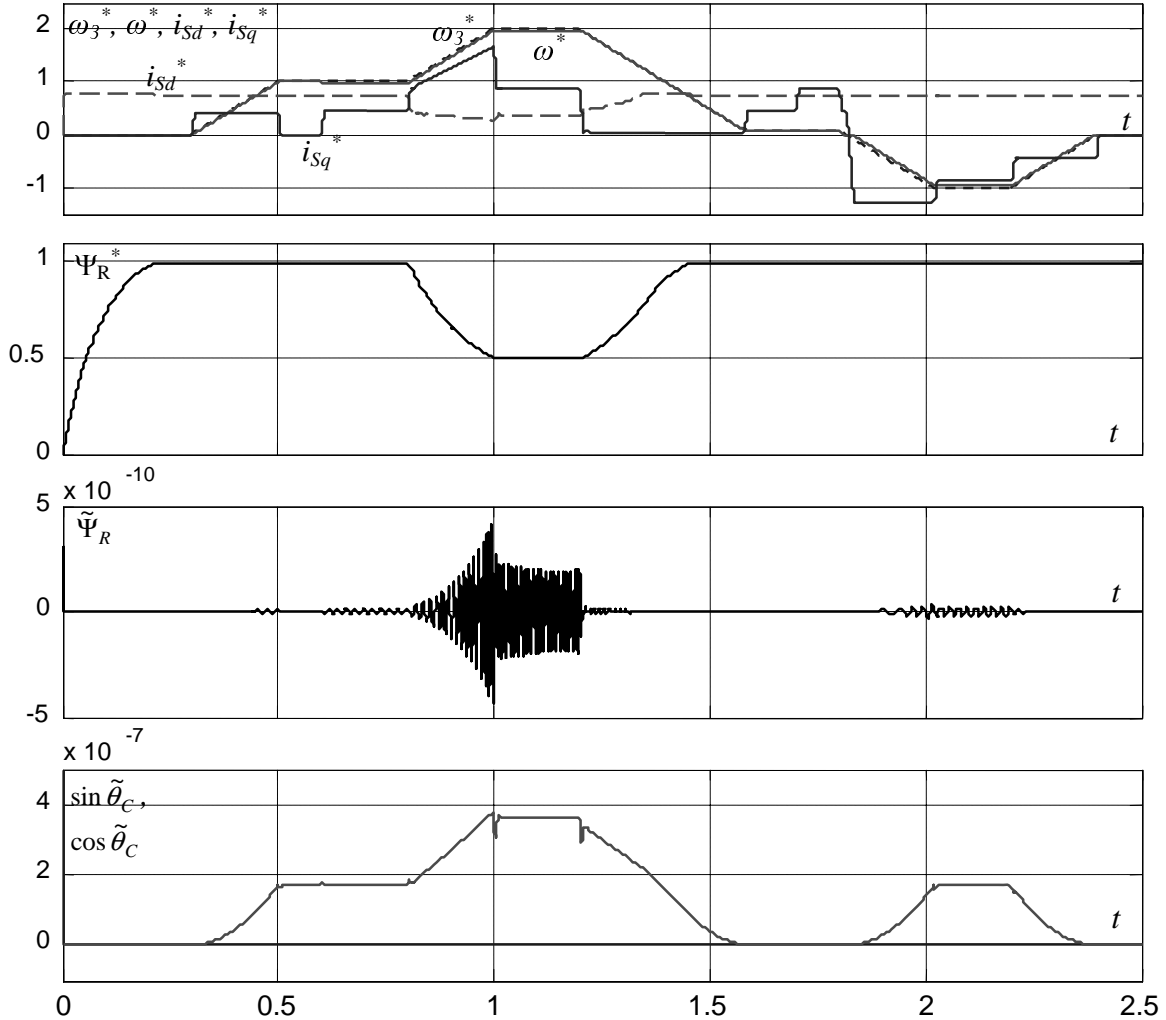


Рис.2. Графіки процесів в системі, замкненій за оцінкою вектора $\tilde{\Psi}_R$

Висновки.

Запропонований підхід дозволяє отримати СС для оцінки вектора потокозчеплення, який відрізняється відносною простотою структури і є асимптотичним. Стосовно до розглянутої системи координат з орієнтацією за вектором $\tilde{\Psi}_R$ потокозчеплення ротора АД відновлювані значення амплітуди і кутового положення цього вектора можуть бути застосовані для організації зворотного зв'язку за оцінкою потокозчеплення, а також для орієнтації системи координат. Система векторного

керування із вказаним непрямым визначенням потокозчеплення має добрі статичні і динамічні властивості.

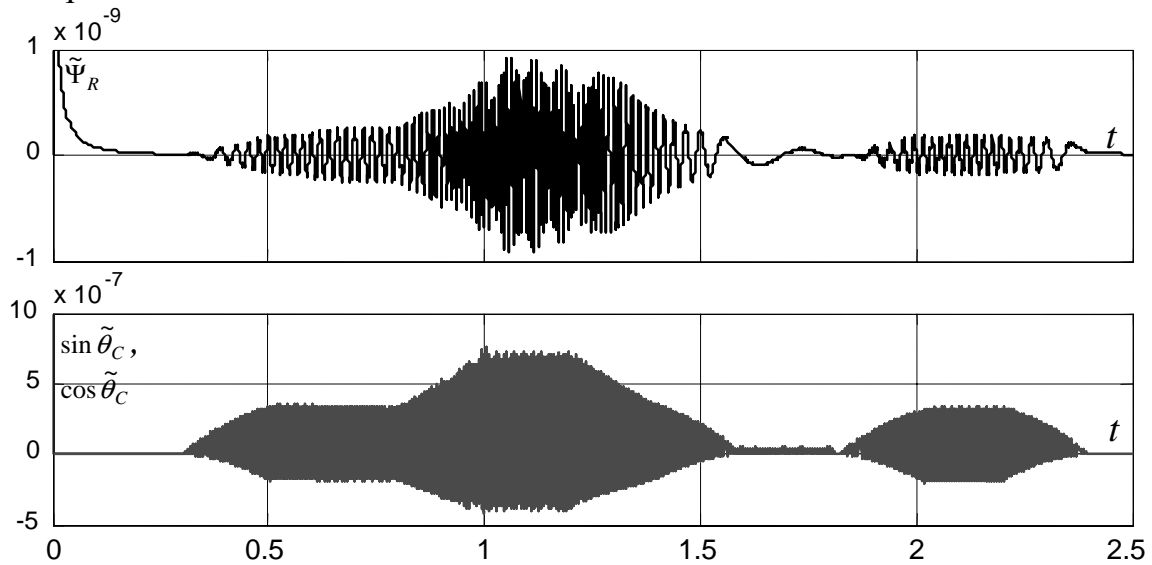


Рис.3. Похибки оцінювання амплітуди і кутового положення вектора $\tilde{\Psi}_R$ при живленні АД від ІН зі скалярною ШІМ і роботі системи за тахограмою, аналогічною до рис.2.

Припущення, що були зроблені при синтезі СС, потребують досліджень в напрямку зниження чутливості спостерігача до зміни параметрів об'єкта регулювання (насамперед, до поточної зміни активного опору ротора АД) з метою підвищення точності відновлення вектора $\tilde{\Psi}_R$ за допомогою запропонованого СС.

Враховуючи математичну подібність моделей АД у різних полеорієнтованих системах координат, при виборі будь-якого іншого базового вектора потокозчеплення ($\tilde{\Psi}_S$ або $\tilde{\Psi}_m$) задача синтезу вирішується аналогічно.

Перелік посилань

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
2. Verghese G. and Sanders S. Observers for Flux Estimation In Induction Machines // IEEE Trans. On Industrial Electronics. – Vol.35. – No.1. – pp. 85 – 94. (1988)
3. Ковбаса С.Н. Исследование грубости наблюдателей магнитного потока асинхронного двигателя // Проблемы создания новых машин и технологий. Науч. тр. КГПУ. – Вып. 1/2001 (10). – Кременчуг: КГПУ, 2001. – С. 87 – 92.

15.04.2008 р.