

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОНІКА

DOI: 10.31319/2519-2884.45.2024.9
УДК 62-83:681.513.5

Клюєв О.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-4542-3317, e-mail: kluev2006@ukr.net
Садовой О.В., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-9739-3661, e-mail: sadovoyav@ukr.net
Сохіна Ю.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-4329-5182, e-mail: jvsokhina@gmail.com
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Kliuiev Oleh, Candidate of technical sciences, Associate professor Electrotechnical and electromechanical department

Sadovoi Oleksandr, Doctor of technical sciences, Professor Electrotechnical and electromechanical department

Sokhina Yuliya, Candidate of technical sciences, Associate professor Electrotechnical and electromechanical department

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

СПОСТЕРІГАЧ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ РОТОРА З КОНТУРОМ ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглядається контур градієнтного самонастроювання значення активного опору ротора асинхронної машини (АМ), синтезований для підвищення точності ідентифікації опорного вектора потокозчеплення ротора у векторних системах керування за статором в складі спостерігача потокозчеплення. Алгоритм самонастроювання реалізує параметричний зворотний зв'язок у спостерігачі для підвищення його координатної точності. Здійснено структурний і параметричний синтез замкнутого спостерігача. Методом математичного моделювання доведено підвищення його точності в порівнянні із спостерігачем без алгоритму параметричної ідентифікації.

Ключові слова: асинхронна машина; векторне керування; опорний вектор потокозчеплення; спостерігач потокозчеплення; градієнт за параметром; параметрична ідентифікація; координатна точність.

In the paper to improve the accuracy of identifying the reference vector of the rotor flux linkage in stator vector control systems as part of a flux observer a gradient self-tuning circuit for the value of the active resistance of the rotor of an asynchronous machine (AM) is synthesized. The self-tuning algorithm implements parametric feedback in the observer to improve its coordinate accuracy. A structural and parametric synthesis of a closed observer has been carried out. Using the method of mathematical modeling its accuracy is proven to increase compared to an observer without a parametric identification algorithm.

Keywords: asynchronous machine; vector control; flux linkage reference vector; flux linkage observer; gradient by parameter; parametric identification; coordinate accuracy.

Постановка проблеми

При зміні параметрів асинхронного електропривода з векторним полеорієнтованим керуванням точність ідентифікації вектора потокозчеплення ротора знижується, що підсилює перекресні зв'язки між каналами керування і знижує якість регулювання швидкості. У статті [1] функції чутливості визначені на рівні числових значень, на підставі яких було доведено, що спостерігач потокозчеплення, який розраховує кут повороту опорного вектора потокозчеплення ротора і його амплітуду, має найбільшу чутливість до зміни активного опору фаз ротора АМ. Підвищити точність спостерігача потокозчеплення ротора при зміні параметрів АМ можливо

введенням додаткових координатних зворотних зв'язків з визначенням структури такого спостерігача на основі другої теореми Ляпунова про стійкість руху. Зазначений підхід до синтезу реалізований у статті [2]. Однак підвищити точність пристроїв, що спостерігають, можливо шляхом ідентифікації параметрів АМ, до змін яких найбільш чуттєві вихідні координати спостерігача, тобто реалізацією параметричних зворотних зв'язків [3]. У статті [4] здійснений синтез ідентифікатора потокозчеплення статора для АМ з керуванням за ротором, у якому підвищення точності визначення опорного вектора потокозчеплення статора досягається у результаті оцінки активного опору статора за допомогою контуру параметричного зворотного зв'язку, реалізованого в класі безошуккових градієнтних систем керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [5] розглядаються рівняння статички АМ, записані в осях, зв'язаних зі статором. Система рівнянь статичного стану при синхронній швидкості розв'язується відносно активного опору ротора. Отримана в такий спосіб формула дозволяє одержати дискретні значення активного опору ротора при відомих змінних стану АМ. Однак вивчити перехідні процеси ідентифікації в рамках використовуваної моделі не представляється можливим. У [6] активний опір ротора розраховується на основі обмірюваних струмів і напруг статора АМ, а також друга оцінка цього опору отримується виходячи з обмірюваного датчиком моменту навантаження на валу. Два отриманих значення опору ротора порівнюються і сигнал неузгодженості подається на ПІ регулятор, на виході якого одержується обчислене значення опору ротора, з подальшою його передачею в спостерігач потокозчеплення ротора. У статті [7] синтезований спостерігач постійної часу ротора АМ з використанням методики MRAS. У реальному часі обчислюється функція адаптації, значення якої подається на ПІ регулятор, на виході якого з'являється оцінка постійної часу ротора, що використовується в спостерігачі потокозчеплення ротора. Однак, як впливає зі статті, процес ідентифікації цього параметру має статичну помилку. Для оцінювання активного опору ротора ефективно використовувати розширений фільтр Калмана [8]. В алгоритмі фільтра Калмана необхідно обчислювати якобіан системи рівнянь спостерігача, що являє собою більш трудомістку обчислювальну задачу, чим обчислення градієнта. У [9] активний опір роторного кола АМ визначається за допомогою тришарової нейронної мережі, яка навчається методом зворотного передавання помилки. У цій системі потік і обертовий момент визначаються за допомогою струмів і напруг статора. Помилки потокозчеплення ротора, обертового моменту і передбачуване значення активного опору ротора подаються на нейрони першого шару нейронної мережі, яка оцінює фактичне значення опору ротора, що використовується в системі непрямого векторного керування АМ.

Формулювання мети дослідження

У даній статті ставиться задача підвищити точність спостерігача потокозчеплення ротора в складі векторної системи керування АМ шляхом синтезу контуру параметричного зворотного зв'язку за активним опором фаз ротора з використанням методик, які застосовуються в теорії безошуккових самонастроювальних систем керування.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо задачу визначення опорного вектора потокозчеплення ротора $\vec{\Psi}_r$ при зміні в часі активного опору обмотки ротора R_r . Якщо прийняти, що координати математичної моделі АМ залежать від параметру \hat{R}_r , то повну похідну за часом від цільової функції Q можна записати в такий спосіб

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial \hat{R}_r} \frac{d\hat{R}_r}{dt}. \quad (1)$$

При формуванні функції мети у вигляді позитивно визначеної квадратичної форми умова асимптотичної стійкості процесу ідентифікації параметра \hat{R}_r , що змінюється, повинна бути

$\frac{dQ}{dt} < 0$, що виконується при умові

$$\frac{d\hat{R}_r}{dt} = -\lambda \frac{\partial Q}{\partial \hat{R}_r}, \quad \lambda > 0, \quad (2)$$

де коефіцієнт λ задає швидкість зміни параметра \widehat{R}_r , тем самим визначаючи швидкість спадання цільової функції Q , яка є функцією Ляпунова.

З рівняння (2) настроювання параметра \widehat{R}_r видно, що параметрична ідентифікація здійснюється відомим градієнтним методом. Відповідно до цього методу швидкість настроювання параметрів моделі пропорційна швидкості зміни критерію якості по цим же параметрам. Застосування методу дозволяє звести пошук екстремуму функції мети до розв'язання системи звичайних диференціальних рівнянь. Ступінь близькості моделі й об'єкта задається критерієм самонастроювання, який являє собою деяку функцію від вектора помилок, які є різницею між обмірюваними значеннями координат АМ і обчисленими ідентифікатором. Труднощі в побудові алгоритмів для уточненого визначення характеристик векторів потокозчеплень полягає в тому, що зазначені характеристики тільки обчислюються, але не вимірюються. Отже, якщо їх ввести до складу критерію якості, його величину не можна буде визначити. У таких умовах придатним виявляється критерій у вигляді суми квадратів миттєвих помилок ідентифікації проєкцій струмів. Контрольованими величинами візьмемо проєкції струму статора на осі α, β . Якщо прийняти четверті ступені струмів, то початкова ділянка перехідного процесу ідентифікації при стрибкоподібній зміні параметра проходить інтенсивно. Однак в області малих відхилень, де функція мети стає положистою, градієнт незначний і відбувається тривале дотягування оцінки до оцінюваного параметра. Тому пропонується взяти функцію мети середню між квадратичною і бікватратною, а саме полуторного ступеня від суми квадратів помилок ідентифікації струмів.

Тоді математичний вираз критерію якості самонастроювання буде таким

$$Q = \left[(I_{s\alpha} - \widehat{I}_{s\alpha})^2 + (I_{s\beta} - \widehat{I}_{s\beta})^2 \right]^{\frac{3}{2}}. \quad (3)$$

Часткова похідна від співвідношення (3) за параметром \widehat{R}_r з урахуванням того, що вимірювані значення струмів не залежать від цього параметра, запишеться в такий спосіб

$$\frac{\partial Q}{\partial \widehat{R}_r} = -3 \sqrt{(I_{s\alpha} - \widehat{I}_{s\alpha})^2 + (I_{s\beta} - \widehat{I}_{s\beta})^2} \left[(I_{s\alpha} - \widehat{I}_{s\alpha}) \frac{\partial \widehat{I}_{s\alpha}}{\partial \widehat{R}_r} + (I_{s\beta} - \widehat{I}_{s\beta}) \frac{\partial \widehat{I}_{s\beta}}{\partial \widehat{R}_r} \right]. \quad (4)$$

Оцінки проєкцій вектора струму статора $\widehat{I}_{s\alpha}$ та $\widehat{I}_{s\beta}$ обчислюються при розв'язанні рівнянь математичної моделі АМ в осях α, β . Модель електромагнітних процесів асинхронної машини при вимірі кутової швидкості ротора і керуючої напруги статора представлена наступною системою рівнянь [2]:

$$P \begin{pmatrix} \widehat{I}_{s\alpha} \\ \widehat{I}_{s\beta} \\ \widehat{\Psi}_{r\alpha} \\ \widehat{\Psi}_{r\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_s + k_r^2 \widehat{R}_r & 0 & k_r \widehat{R}_r & k_r \omega \\ L_\delta & & L_r L_\delta & L_\delta \\ 0 & -R_s + k_r^2 \widehat{R}_r & -k_r \omega & k_r \widehat{R}_r \\ k_r \widehat{R}_r & 0 & -\frac{\widehat{R}_r}{L_r} & -\omega \\ 0 & k_r \widehat{R}_r & \omega & -\frac{\widehat{R}_r}{L_r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \widehat{I}_{s\alpha} \\ \widehat{I}_{s\beta} \\ \widehat{\Psi}_{r\alpha} \\ \widehat{\Psi}_{r\beta} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L_\delta} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_\delta} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{s\alpha} \\ U_{s\beta} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де $k_r = L_m / L_r$; $L_\delta = (L_s L_r - L_m^2) / L_r$.

Складаємо рівняння моделі чутливості системи (5) до зміни активного опору \widehat{R}_r обмоток ротора АМ. Ці рівняння одержуються формальним диференціюванням виразів математичної моделі об'єкта (5) відносно змінного параметра, у даному випадку параметра \widehat{R}_r . Тоді рівняння чутливості запишуться у вигляді системи (6).

Матриці стану для систем (5) і (6) однакові, а матриці входу різні. Для системи рівнянь чутливості (6) вхідними змінними служать змінні стану розімкнутого спостерігача потокозчеп-

лення ротора (5). Таким чином, одночасно розв'язуються взаємозалежні системи рівнянь (5), (6) і знаходяться оцінки функцій струмів $\hat{I}_{s\alpha}$, $\hat{I}_{s\beta}$ та їх функції чутливості $\partial\hat{I}_{s\alpha}/\partial\hat{R}_r$, $\partial\hat{I}_{s\beta}/\partial\hat{R}_r$.

$$P \begin{pmatrix} \frac{\partial\hat{I}_{s\alpha}}{\partial\hat{R}_r} \\ \frac{\partial\hat{I}_{s\beta}}{\partial\hat{R}_r} \\ \frac{\partial\hat{\Psi}_{r\alpha}}{\partial\hat{R}_r} \\ \frac{\partial\hat{\Psi}_{r\beta}}{\partial\hat{R}_r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R_s + k_r^2\hat{R}_r}{L_\delta} & 0 & \frac{k_r\hat{R}_r}{L_r L_\delta} & \frac{k_r\omega}{L_\delta} \\ 0 & -\frac{R_s + k_r^2\hat{R}_r}{L_\delta} & -\frac{k_r\omega}{L_\delta} & \frac{k_r\hat{R}_r}{L_r L_\delta} \\ k_r\hat{R}_r & 0 & -\frac{\hat{R}_r}{L_r} & -\omega \\ 0 & k_r\hat{R}_r & \omega & -\frac{\hat{R}_r}{L_r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial\hat{I}_{s\alpha}}{\partial\hat{R}_r} \\ \frac{\partial\hat{I}_{s\beta}}{\partial\hat{R}_r} \\ \frac{\partial\hat{\Psi}_{r\alpha}}{\partial\hat{R}_r} \\ \frac{\partial\hat{\Psi}_{r\beta}}{\partial\hat{R}_r} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{k_r^2}{L_\delta} & 0 & \frac{k_r}{L_r L_\delta} & 0 \\ 0 & -\frac{k_r^2}{L_\delta} & 0 & \frac{k_r}{L_r L_\delta} \\ k_r & 0 & -\frac{1}{L_r} & 0 \\ 0 & k_r & 0 & -\frac{1}{L_r} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{I}_{s\alpha} \\ \hat{I}_{s\beta} \\ \hat{\Psi}_{r\alpha} \\ \hat{\Psi}_{r\beta} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Потім знайдені функції підставляються у вираз (4) для обчислення градієнта цільової функції Q за параметром \hat{R}_r . Вхідними впливами системи рівнянь (6) є періодичні функції змінних стану АМ в осях α, β . Тому розв'язання цієї системи рівнянь, а саме функції чутливості, являють собою, з урахуванням перехідних процесів, складні періодичні функції які не прямують асимптотично до нуля. Отже, градієнт за параметром (4) функції мети (3) буде дорівнювати нулю тільки при рівності значень струмів $\hat{I}_{s\alpha}, \hat{I}_{s\beta}$, що обчислюються, їх вимірюваним значенням $I_{s\alpha}, I_{s\beta}$. Траєкторія зміни в часі параметра \hat{R}_r формується інтегруванням рівняння (2). Для забезпечення більшої інтенсивності перехідного процесу ідентифікації активного опору ротора до інтеграла від градієнта додається пропорційна складова. Тоді закон ідентифікації активного опору ротора АМ приймає вигляд

$$\hat{R}_r = R_{rn} - \lambda_1 \int_0^\infty \frac{\partial Q}{\partial \hat{R}_r} dt - \lambda_2 \frac{\partial Q}{\partial \hat{R}_r}, \quad \lambda_1 > 0, \quad \lambda_2 > 0, \quad (7)$$

де початкове значення оцінки \hat{R}_r прийняте рівним номінальному активному опору фази ротора. Параметри λ_i підбираються в процесі налаштування системи керування багаторазовим розрахунком перехідних процесів на математичній моделі. Коли оцінка \hat{R}_r буде дорівнювати фактичному опору ротора R_r , функція мети Q досягне мінімуму (у нашому випадку нуля), а її градієнт прийме нульове значення $\partial Q/\partial \hat{R} = 0$. При цьому перехідний процес $\hat{R}_r(t)$ дійде до сталого рівня $\hat{R}_r = R_r$.

Збільшення активного опору ротора R_r АМ унаслідок нагрівання обмоток і відхилення його від відповідного параметра \hat{R}_r спостерігача (5) приводить до помилки визначення спостерігачем кута повороту опорного вектора потокозчеплення ротора. Використовуючи наведену в [10] формулу для швидкості обертання вектора потокозчеплення ротора, можна записати наступні вирази:

помилка ідентифікації швидкості обертання вектора потокозчеплення ротора

$$p\Delta\delta = p\hat{\delta} - p\delta = \hat{\omega}\psi_r - \omega\psi_r = \Delta\omega\psi_r = \frac{\hat{\Psi}_{r\alpha} p \hat{\Psi}_{r\beta} - \hat{\Psi}_{r\beta} p \hat{\Psi}_{r\alpha}}{\hat{\Psi}_{r\alpha}^2 + \hat{\Psi}_{r\beta}^2} - \frac{\Psi_{r\alpha} p \Psi_{r\beta} - \Psi_{r\beta} p \Psi_{r\alpha}}{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}; \quad (8)$$

помилка ідентифікації кута повороту вектора потокозчеплення ротора

$$\Delta\delta = \int_0^\infty \Delta\omega\psi_r dt. \quad (9)$$

Відхилення обчисленого модуля вектора потокозчеплення ротора від його обмірюваного фактичного значення визначається за формулою

$$\Delta\Psi_r = \widehat{\Psi}_r - \Psi_r = \sqrt{\widehat{\Psi}_{r\alpha}^2 + \widehat{\Psi}_{r\beta}^2} - \sqrt{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}. \quad (10)$$

Створено математичну модель асинхронного електропривода з векторним керуванням, у складі системи керування якого використовується спостерігач опорного вектора потокозчеплення ротора з градієнтним самонастроюванням такого параметру у своєму складі як активний опір ротора. Математична модель представляє програму, написану мовою програмування середовища технічних розрахунків Matlab. Об'єктом керування прийнята асинхронна машина типу 4A132M4У3 з наступними паспортними даними: $P_n = 11 \text{ кВт}$, $U_{sl} = 380 \text{ В}$; $n_n = 1460 \text{ об/хв}$.

На рис. 1 представлені графік перехідних процесів в асинхронному векторному електроприводі, який містить у своєму складі спостерігач опорного вектора потокозчеплення ротора з контуром параметричного зворотного зв'язку за активним опором ротора. Усі блоки в системі векторного керування стандартні крім спостерігача потоку, дослідження динаміки якого проводилося в такий спосіб. Спершу здійснювалося збудження АМ за каналом реактивної потужності при нерухомому роторі. У момент часу 0.3 с, коли потокозчеплення ротора вже досягло номінального значення, в каналі активної потужності давалося завдання на пуск АМ з постійним номінальним навантаженням до швидкості 140 рад/с. Спершу покладалося, що активні опори АМ R_r і спостерігача (5) \widehat{R}_r дорівнюють один одному. У момент часу 0.4 с, коли ще триває пуск АМ, параметру R_r асинхронної машини привласнювалося його подвоєне значення. Це призводить хоча і до незначної, але неузгодженості струмів статора і його оцінок по осях α, β . З'являється числове значення градієнта (4), яке подається на вхід ПІ регулятора (7). Замикається параметричний зворотний зв'язок за активним опором ротора, оцінка якого \widehat{R}_r асимптотично наближається до справжнього значення оцінюваного параметра R_r АМ, що призводить до збігу струмів, досягненню функцією мети (3) мінімального (нульового) рівня з нульовим значенням градієнта. Коефіцієнти ПІ регулятора приймалися для усіх режимів роботи постійними і дорівнюють: $\lambda_1 = 0,025$; $\lambda_2 = 0,0005$. У момент часу 0.8с активному опору ротора АМ привласнюється його потроєне значення, а в момент часу 1.6 с параметр R_r зменшується до полоторного значення від номінального. Усі ці параметричні збурення відпрацьовує контур градієнтного самонастроювання в складі спостерігача потокозчеплення.

Програмою за формулами (8—10) розраховувалися помилки визначення спостерігачем кута повороту і модуля вектора потокозчеплення ротора. Статичні помилки ідентифікації практично дорівнюють нулю, а в динаміці найбільші пікові неузгодженості наступні: $\Delta\delta = 0,054 \text{ рад} = 3,1 \text{ ел.град}$, $\Delta\Psi_r = 0,027 \text{ В} \cdot \text{с}$. На інтервалі часу 1.5—1.8 с показані струм у фазі А статора (вісь α) і його оцінка, що обчислюється спостерігачем (5). На короткому інтервалі часу перехідного процесу ідентифікації параметричного збурення за активним опором ротора помітна неузгодженість зазначених струмів. На інших інтервалах часу на графіках неузгодженості струмів практично не помітні. Для порівняння на рис. 2 показані струм у фазі А та його оцінка, а також помилки за кутом і модулем вектора потокозчеплення ротора у випадку, коли відсутній контур параметричної ідентифікації опорного вектора ротора спостерігача \widehat{R}_r , який приводить його у відповідність з опором ротора асинхронної машини R_r . Видно, що реальний струм у фазі А статора (синій колір) істотно відрізняється від розрахункового струму (червоний колір), отриманий у результаті розв'язання у реальному часі системи (5). Коефіцієнтам ПІ регулятора λ_1, λ_2 привласнюються нульові значення і при збуреннях активного опорного ротора АМ його оцінка \widehat{R}_r в спостерігачі залишається рівною номінальному значенню. У цьому випадку з'являються статичні помилки кута повороту і модуля вектора потокозчеплення ротора, які визначаються спостерігачем. Статична помилка кута повороту позитивна і не менша ніж $\Delta\delta = 0,1 \text{ рад} = 5,7 \text{ ел.град}$, тобто спостерігач видає в систему керування випереджальне кутове розташування опорного вектора потокозчеплення ротора. Статична помилка величини потоку негативна і за абсолютною величиною не менша ніж $\Delta\Psi_r = 0,07 \text{ В} \cdot \text{с}$, тобто оцінка модуля вектора потокозчеплення ротора менше його справжнього значення.

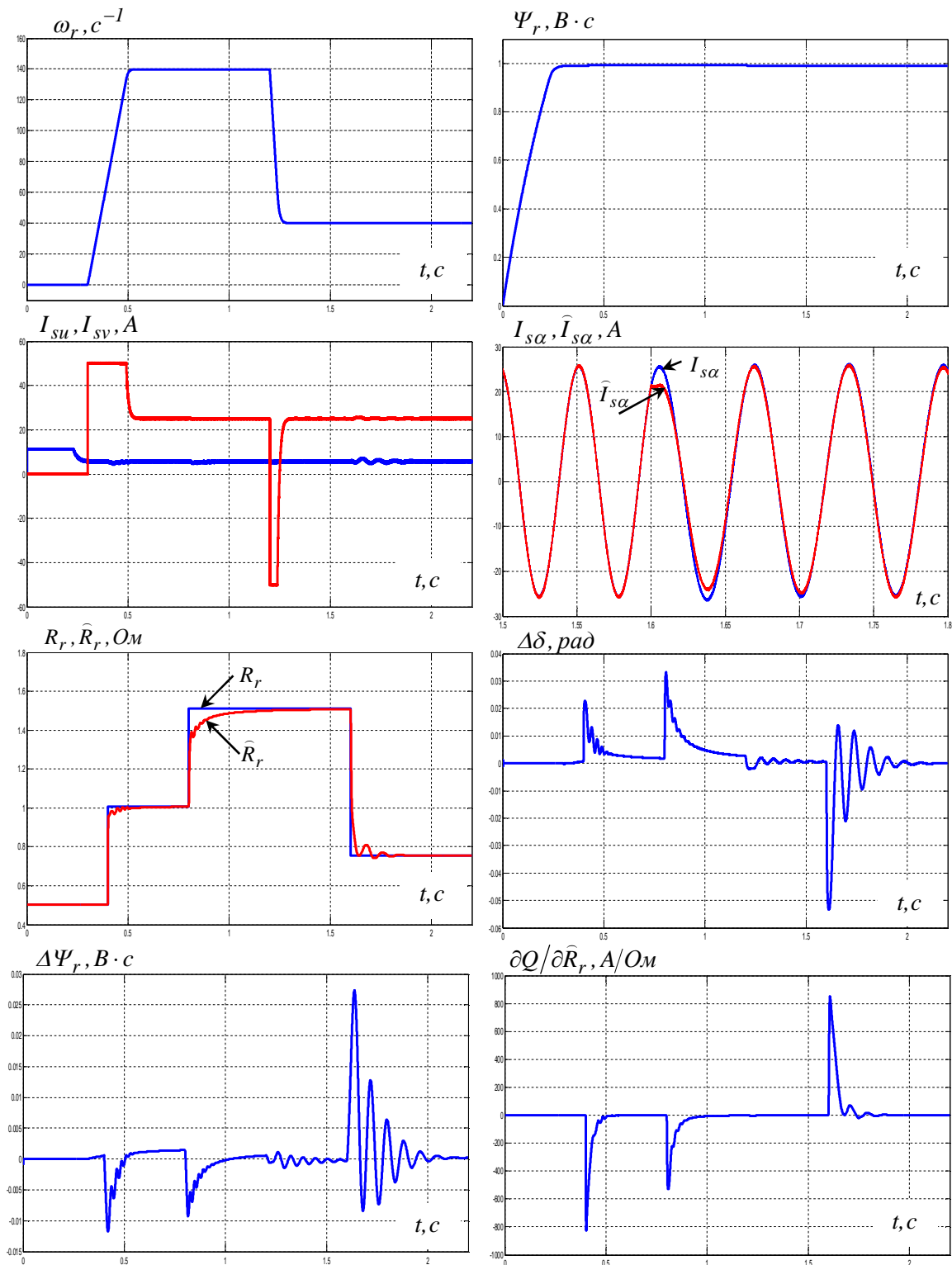


Рис. 1. Графіки перехідних процесів в АМ з векторним керуванням та системою налаштування параметра R_r спостерігача вектора потокозчеплення ротора

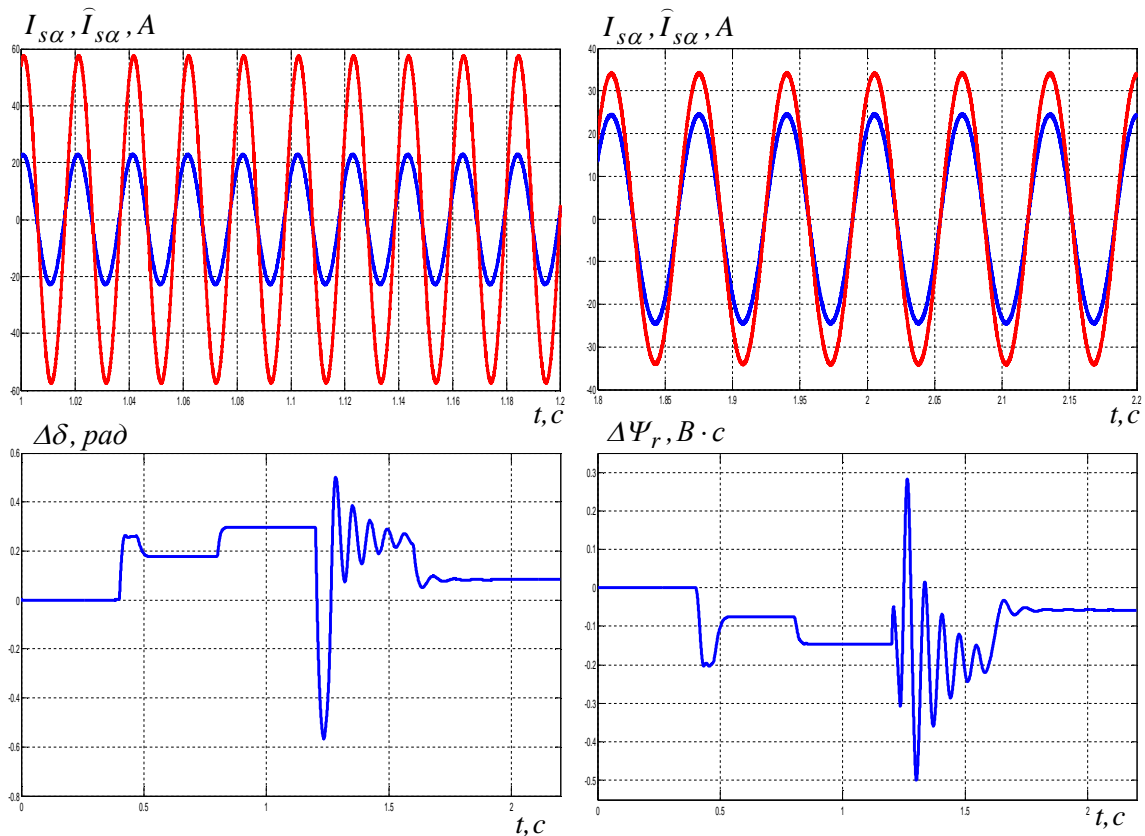


Рис. 2. Перехідні процеси змінних, які характеризують роботу векторної системи керування АМ з спостерігачем потокозчеплення ротора без контуру параметричного зворотного зв'язку

Висновки

У роботі синтезований спостерігач опорного вектора потокозчеплення ротора для векторних систем керування АМ за статором. У запропонованому спостерігачі для підвищення його точності застосований алгоритм аналітичного самонастроювання активного опору ротора як параметра, до зміни якого спостерігач потокозчеплення має найбільшу чутливість. Створено модель чутливості спостерігача (6), необхідну для обчислення градієнта функції мети за параметром. У регуляторі, крім стандартної інтегральної складової, застосовується пропорційна складова, що забезпечує більш інтенсивний перехідний процес параметричної ідентифікації. Завдяки застосуванню параметричного зворотного зв'язку за активним опором ротора, статична помилка ідентифікації кута повороту опорного вектора потокозчеплення ротора зменшилася в $0.1/0.002 = 50$ разів, а помилка визначення модуля вектора потокозчеплення ротора зменшилася в $0.07/0.002 = 35$ разів. Таким чином, за допомогою параметричного зворотного зв'язку, реалізованого в класі градієнтних самонастроювальних систем, вдалося значно підвищити точність спостерігача вектора потокозчеплення ротора АМ, що важливо для забезпечення якості векторних систем керування.

Список використаної літератури

1. Ключев О.В., Садовой О.В., Сохіна Ю.В. Дослідження чутливості спостерігача потокозчеплення ротора до зміни параметрів асинхронної машини. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське, 2021, Вип. 1 (38). С. 57–67., DOI: 10.31319/2519-2884.38.2021.7

2. Sadovoi A.V., Klyuyev O. V., Pletenets V. R., Rybalka O. O. Information support for process observing flux linkage of the rotor asynchronous motor/ Herald of advanced information technology, Odessa, 2021, Vol. 4, No.1, pp. 57–66, DOI: 10.15276/hait.01.2021.5
3. Yanushevsky R. Parametric feedback improving control systems efficiency/ SIAM Review, 1990, Vol. 32, No. 2, pp. 294–299.
4. Ключев О.В., Садовой А.В., Сохина Ю.В. Идентификация координат и параметров асинхронной машины при векторном управлении по цепи ротора/ Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). – Днепродзержинск, 2007, С. 361–365.
5. Beguenane R., Benbouzid M. Induction motors thermal monitoring by means of rotor resistance identification. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1999, 14(3), pp. 566–570. DOI:10.1109/60.790915
6. Mareetia D., Vukosavia S. Rotor parameter identification in field-oriented induction machine control based on electrical torque estimation/ University of Belgrade School of Electrical Engineering, 2008.
7. Li X., Kang Y., Wang H., Chen J., Gao F. Online Identification Method of Induction Motor Parameters Based on Rotor Flux Linkage/IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1187, 2019, DOI:10.1088/1742-6596/1187/2/022019
8. Dafang W., Miaoran W., Dong G., Hui W., Zexu X. Speed and Rotor Resistance Estimation of AC Induction Motor/ SMIMA, 2018, DOI: 10.1051/mateconf/201817302037
9. Ebrahimi M., Rezaei E., Vaseghi B., Danesh M. Rotor resistance identification using neural networks for induction motor drives in the case of insensitivity to load variations/ Iranian Journal of Science and Technology, 2006, Vol. 30, No. B2, pp. 223–236.
10. Ключев О.В., Садовой О.В., Сохина Ю.В. Идентификация похідної струму статора у векторних системах керування асинхронними електроприводами/Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, 18–20 квітня 2024 р., Краматорськ – Тернопіль: ДДМА, 2024, С.194–196.

OBSERVER OF FLUX LINKAGE OF ROTOR WITH CIRCUIT PARAMETRIC FEEDBACK

Abstract

In vector control systems for squirrel-cage induction machines, rotor flux linkage reference vector observers are widely used. Observers can be open-ended but then they become sensitive to changes in their internal parameters and their accuracy in determining the coordinates of the flux linkage reference vector decreases. The greatest sensitivity of the rotor flux linkage observer is to changes in the active resistance of the rotor phases. In this case to increase the accuracy of flux linkage vector identification closed observers are synthesized, introduce various feedbacks. You can use feedback signals based on deviations of the calculated current values from their measured values. Relations for the choice of signs and values of feedback coefficients are obtained based on Lyapunov's second theorem on motion stability. In this way parametric disturbances in an asynchronous machine are compensated by adding coordinate feedback. We can use a different approach. Determine the parameters most susceptible to change and synthesize parametric feedback loops designed to identify these parameters during operation of the electric drive. This article uses exactly this approach. The sum of squared deviations of currents or their degrees is taken as the objective function. To close the feedback you need to calculate the gradient of the objective function over the parameter and apply it to the input of a standard controller. In this case the output of the controller will be the parameter estimation value which is used to calculate the gains and time constants of the flux linkage observer. To calculate the gradient over a parameter the values of the sensitivity functions are required which are found as a result of solving the differential equations of the sensitivity model in real time. All specified elements of an analytical self-tuning system that create parametric feedback are presented in the ar-

ticle. The performance of the control system and the increase in its accuracy using a closed-loop rotor flux linkage observer have been proven by mathematical modeling.

References

- [1] Kliuiev O.V.& Sadovoi O.V.& Sokhina Yu.V. (2021) «*Doslidzhennia chutlyvosti sposterihacha potokozcheplyennia rotora do zminy parametriv asynkhronnoi mashyny*» [Research sensitivity of the rotor flux linkage observer to change parameters of the asynchronous machine] Collection of scholarly papers of Dniprovsky State Technical University (Technical sciences). Kamianske, 2021, Vol. 1 (38), pp. 57-67. DOI: 10.31319/2519-2884.38.2021.7 [in Ukrainian].
- [2] Sadovoi A.V.& Klyuyev O. V.& Pletenets V. R.& Rybalka O. O. (2021) *Information support for process observing flux linkage of the rotor asynchronous motor*. Herald of advanced information technology, Odessa, 2021, Vol. 4, No.1, pp. 57-66, DOI: 10.15276/hait.01.2021.5
- [3] Yanushevsky R. (1990) *Parametric feedback improving control systems efficiency*. SIAM Review, 1990, Vol. 32, No.2, pp. 294–299.
- [4] Kliuiev O.V.& Sadovoi O.V.& Sokhina Yu.V. (2007) «*Identifikaciya koordinat i parametrov asinhronnoj mashiny pri vektornom upravlenii po cepi rotora*» [Identification of coordinates and parameters of an asynchronous machine with vector control over the rotor circuit] Collection of scholarly papers of Dneprodzerzhinsk State Technical University (Technical sciences). Dneprodzerzhinsk, 2007, pp. 361–365. [in Russian].
- [5] Beguenane R.& Benbouzid M. (1999) *Induction motors thermal monitoring by means of rotor resistance identification*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999, 14(3), pp. 566–570. DOI:10.1109/60.790915
- [6] Mareetia D.& Vukosavia S. (2008) *Rotor parameter identification in field-oriented induction machine control based on electrical torque estimation*. University of Belgrade School of Electrical Engineering, 2008.
- [7] Li X.& Kang Y.& Wang H.& Chen J.& Gao F. (2019) *Online Identification Method of Induction Motor Parameters Based on Rotor Flux Linkage*. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1187, 2019, DOI:10.1088/1742-6596/1187/2/022019
- [8] Dafang W. & Miaoran W. & Dong G. & Hui W. & Zexu X. (2018) *Speed and Rotor Resistance Estimation of AC Induction Motor*. SMIMA, 2018, DOI: 10.1051/mateconf/201817302037
- [9] Ebrahimi M. & Rezaei E. & Vaseghi B. & Danesh M. (2006) Rotor resistance identification using neural networks for induction motor drives in the case of insensitivity to load variations. Iranian Journal of Science and Technology, 2006, Vol. 30, No. B2, pp. 223–236.
- [10] Kliuiev O.V.& Sadovoi O.V.& Sokhina Yu.V. (2024) «*Identifikatsiia pokhidnoi strumu statora u vektornykh systemakh keruvannia asynkhronnymy elektropryvodamy*» [Identification of the derivative stator current in vector control systems of asynchronous electric drives] Modern information technologies, means of automation and electric drive: materials of the 8th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference, April 18–20, 2024, Kramatorsk – Ternopil: DDMA, 2024, pp. 194–196. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 19.08.2024