

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОМАСОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ НА ОСНОВІ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ СЕРЕДНІХ КВАДРАТІВ

Розглянуто ідентифікацію параметрів двомасового електромеханічного об'єкта. Застосовано структуру базисних функцій, отриману на основі синтезованої дискретної математичної моделі об'єкта, і метод найменших середніх квадратів. Отримано суттєве зменшення часу здійснення ідентифікації.

Рассмотрена идентификация параметров двухмассового электромеханического объекта. Использованы структура базисных функций, полученная на основе синтезированной дискретной математической модели объекта, и метод наименьших средних квадратов. Получено существенное уменьшение времени выполнения идентификации.

The parameter identification of two-mass electromechanical object is considered. The basis function network, obtained with synthesized time-discrete mathematic object model, and least mean square method are used. The significant time decrease of identification process is obtained.

Вступ. Сучасні електромеханічні системи відіграють суттєву роль в автоматизації технологічних процесів. При цьому актуальним є завдання автоматичного настроювання систем регулювання, що є підставою для практичної реалізації теоретичних передумов високоякісного керування технологічними процесами і, як наслідок, підвищення якісних показників і продуктивності виробництва.

Між тим, є певний розрив між теоретично обґрунтованими ефективними алгоритмами регулювання і їх втіленням у практичне використання, що пов'язане з недостатньо розробленими питаннями автоматичної ідентифікації параметрів об'єктів регулювання. Певною мірою це стосується електромеханічних систем із пружними кінематичними зв'язками.

Аналіз попередніх досліджень. Ідентифікації параметрів об'єктів і визначення на цій основі параметрів регуляторів присвячено багато публікацій. З точки зору складних електромеханічних систем можна звернути увагу на способи, що базуються на рекурентних методах ідентифікації об'єктів регулювання. Ці питання ґрунтовно розглянуто, наприклад, в роботах [3, 4].

В [4] досліджено використання для ідентифікації рекурентного методу найменших квадратів (RLS-метод).

Проте аналіз, наданий в [3], свідчить, що певні переваги має метод найменших середніх квадратів (LMS-метод), який потребує суттєво менших обчислювальних витрат, має кращу числову нечутливість, не є настільки вибагливим до процесу активації об'єкту регулювання під час ідентифікації.

Слід відмітити, що практичне застосування методу ідентифікації параметрів двомасового об'єкту базується на дискретній математичній моделі, отриманій за спрощеним підходом. Між тим, відома більш точна дискретна модель, обґрунтована і проаналізована в [2]. Отже, уявляється доцільним виконати дослідження щодо ідентифікації параметрів двомасового об'єкта регулювання на основі моделі з [2], оскільки попередній аналіз свідчить про можливість отримання кращих результатів.

Мета роботи. Удосконалити метод ідентифікації параметрів двомасового електромеханічного об'єкта за принципом найменших середніх квадратів.

Матеріал та результати досліджень. Методу найменших середніх квадратів у разі ідентифікації параметрів двомасового об'єкта регулювання з урахуванням інформації, наданої в [3], у загальному вигляді відповідає векторно-матрична структурно-функціональна схема, зображена на рис. 1. У схемі вектор вхідних змінних $\mathbf{u}$, склад якого розглянуто далі, зазнає функціонального перетворення за рахунок блоку базисних

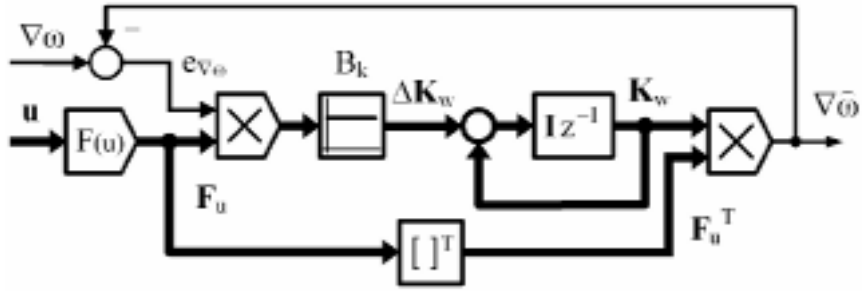


Рис.1. Структурно-функціональна схема методу ідентифікації

функцій $F(u)$, в наслідок чого маємо вектор F_u . Множення компонентів вектора F_u на похибку ідентифікації $e_{\nabla\omega}$ з наступним масштабуванням завдяки блоку B_k дає прирощення вагових коефіцієнтів ΔK_w . Цифрове інтегрування цих прирощень визначає вектор вагових коефіцієнтів K_w . Далі формується вихідна змінна ідентифікації $\nabla\bar{\omega}_1$ як добуток вектора K_w та транспонованого вектора F_u^T .

Змінні, які враховуються у процесі ідентифікації, визначаємо на основі дискретної моделі двомасового об'єкта, розглянутої в [2]. Структурну схему моделі характеризує рис. 2. Модель відображає зв'язки у дискретні моменти часу між середнім моментом $\bar{M}$ і кутовою швидкістю ω_1 двигуна, пружним моментом у кінематичній передачі $\bar{M}_{12}$, реактивним моментом навантаження $\bar{M}_c$ і кутовою швидкістю виконуючого органу механізму ω_2 . Із цієї схеми впливають вирази передавальних функцій:

$$S_{\omega}(z) = \frac{\omega_1(z)}{\bar{M}(z)} = \frac{1}{1-z^{-1}} \cdot \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}; \quad (1)$$

$$S_M(z) = \frac{\omega_1(z)}{\bar{M}_c(z)} = \frac{1}{1-z^{-1}} \cdot \frac{c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}, \quad (2)$$

де

$$b_0 = k_{J1}; \quad b_1 = k_{J1} \cdot [k_{J2} \cdot (k_c + k_d) - 2];$$

$$b_2 = k_{J1}(1 - k_{J2}k_d); \quad a_1 = (k_{J1} + k_{J2})(k_c + k_d) - 2;$$

$$a_2 = 1 - (k_{J1} + k_{J2}) \cdot k_d; \quad c_1 = -k_{J1}k_{J2}(k_c + k_d);$$

$$c_2 = k_{J1}k_{J2}k_d.$$

У разі незначного демпфірування у пружній кінематичній передачі механізму, тобто якщо виконуються умови $k_d \ll k_c$, $k_{J2}k_d \ll 1$ і $(k_{J1} + k_{J2}) \cdot k_d \ll 1$ маємо: $b_2 = b_0$; $a_2 = 1$; $c_2 \approx 0$, з урахуванням чого із передавальних функцій (1) і (2) впливає різницеве рівняння

$$\begin{aligned} \nabla\omega_{1[n]} = \omega_{1[n]} - \omega_{1[n-1]} = & -a_1 \nabla\omega_{1[n-1]} - \\ & - \nabla\omega_{1[n-2]} + b_0 \bar{M}_{[n]} + b_1 \bar{M}_{[n-1]} + \\ & + b_0 \bar{M}_{[n-2]} + c_1 \bar{M}_{c[n]} \text{sign}(\omega_{2[n-1]}); \end{aligned} \quad (3)$$

де n – номер інтервалу дискретності.

Подібно до розглянутого в [3] це рівняння є підставою для вибору першою зворотної різниці від кутової швидкості двигуна $\nabla\omega_1$ як змінної, що визначає похибку ідентифікації (див. рис. 1). А вектор вхідних змінних обирається як

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{[n]} = & [\nabla\omega_{1[n-1]} \quad \nabla\omega_{1[n-2]} \rightarrow \\ & \rightarrow \bar{M}_{[n]} \quad \bar{M}_{[n-1]} \quad \bar{M}_{[n-2]} \quad \omega_{1[n-1]}]^T. \end{aligned} \quad (4)$$

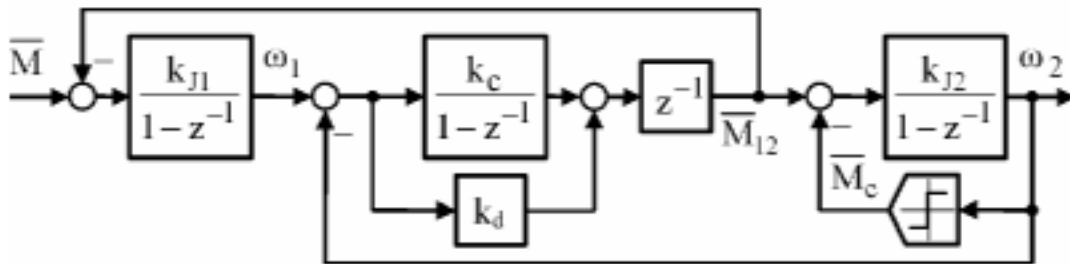


Рис.2. Структурна схема дискретної моделі двомасового об'єкта

З урахуванням інформації з [3], загальної схеми методу ідентифікації (рис. 1) і рівняння (3) визначено структурну схему формування вихідної змінної ідентифікації $\nabla\omega_1$ (рис. 3). Для функціонального перетворення вектора вхідних змінних застосовано: для врахування механічного навантаження – нелінійна функція $sign(\omega_{1[n-1]})$, для інших змінних – лінійне перетворення шляхом множення на відповідні коефіцієнти k_f .

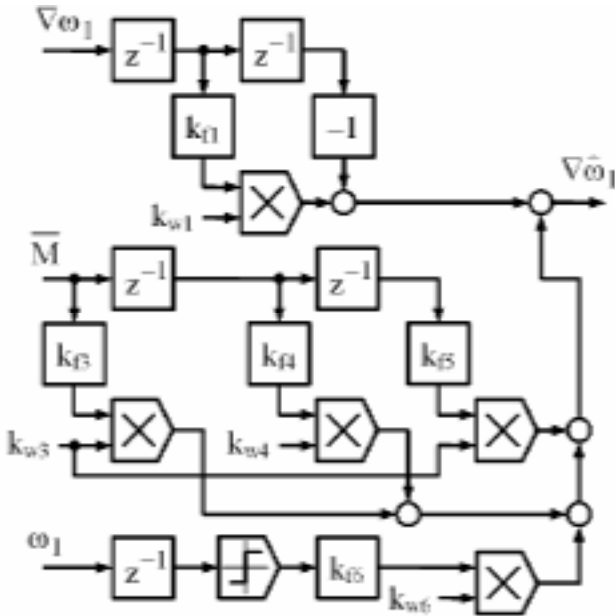


Рис.3. Структурна схема формування вихідної змінної ідентифікації

Отже, маємо вектор

$$\mathbf{F}_{u[n]} = [k_{f1}\nabla\omega_{1[n-1]} \quad -\nabla\omega_{1[n-2]} \quad k_{f3}\bar{M}[n] \rightarrow k_{f4}\bar{M}[n-1] \quad k_{f5}\bar{M}[n-2] \quad k_{f6}sign(\omega_{1[n-1]})]^T. \quad (5)$$

Множення транспонованого вектора $\mathbf{F}_u^T$ на вектор вагових коефіцієнтів

$$\mathbf{K}_{w[n]} = [k_{w1} \quad 1 \quad k_{w3} \quad k_{w4} \quad k_{w3} \quad k_{w6}]^T \quad (6)$$

дає ідентифіковане значення приросту кутової швидкості двигуна $\nabla\hat{\omega}_1$ як вихідної змінної процесу ідентифікації параметрів об'єкта.

Слід відзначити, що відповідності до рекомендацій, наданих у [3], коефіцієнти лінійного перетворення $k_{f1}-k_{f5}$ обираються умови забезпечення однакового порядку числових значень відповідних компонентів вектора $\mathbf{F}_u$. А коефіцієнт k_{f6} має становити

приблизно $1/20$ максимальної величини векторної компоненти $k_{f1}\nabla\omega_{1[n-1]}$.

Вагові коефіцієнти ідентифікації розраховуються згідно з рис. 1 на основі різницевого рівняння

$$k_{wi[n]} = k_{wi[n-1]} + k_{Si}\mathbf{F}_{ui[n]}e_{\nabla\omega[n]}, \quad (7)$$

де k_S – коефіцієнти з блоку $\mathbf{B}_k$, які визначають швидкість змінення вагових коефіцієнтів у процесі ідентифікації; i – індекс відповідної компоненти векторів.

Отримані внаслідок ідентифікації кінцеві значення вагових коефіцієнтів k_{wi} дають змогу прийняти до уваги такі рівняння:

$$\begin{aligned} a_1 &= (k_{J1} + k_{J2}) \cdot k_c - 2 = -k_{f1} k_{w1}; \\ b_0 &= k_{J1} = k_{f3} k_{w3}; \\ b_1 &= k_{J1}(k_c k_{J2} - 2) = k_{f4} k_{w4}; \\ c_1 \bar{M}_c &= -k_{J1} k_c k_{J2} \bar{M}_c = k_{f6} k_{w6}, \end{aligned} \quad (8)$$

а потім розрахувати параметри об'єкта за формулами

$$\begin{aligned} k_{J1} &= k_{f3} k_{w3}; \\ k_c &= \frac{-(k_{J1} k_{f1} k_{w1} + k_{f4} k_{w4})}{k_{J1}^2}; \\ k_{J2} &= \frac{2k_{J1} + k_{f4} k_{w4}}{k_{J1} k_c}; \\ \bar{M}_c &= \frac{-k_{f6} k_{w6}}{k_{J1} k_c k_{J2}}. \end{aligned} \quad (9)$$

На основі розглянутих теоретичних передумов було здійснено комп'ютерне моделювання процесу ідентифікації параметрів двомасового електромеханічного об'єкта, яке дало позитивні результати. Це дозволило перейти до експериментальних досліджень на лабораторній установці.

Функціональну схему лабораторної установки електромеханічної системи зображено на рис. 4.

До складу установки входять електродвигун постійного струму М1: ($P_{ном} = 0,45$ кВт, $M_{ном} = 4,3$ Н·м, $n_{ном} = 1000$ об/хв) і асинхронний двигун М2 ($P_{ном} = 0,75$ кВт, $n_{ном} = 1395$ об/хв).

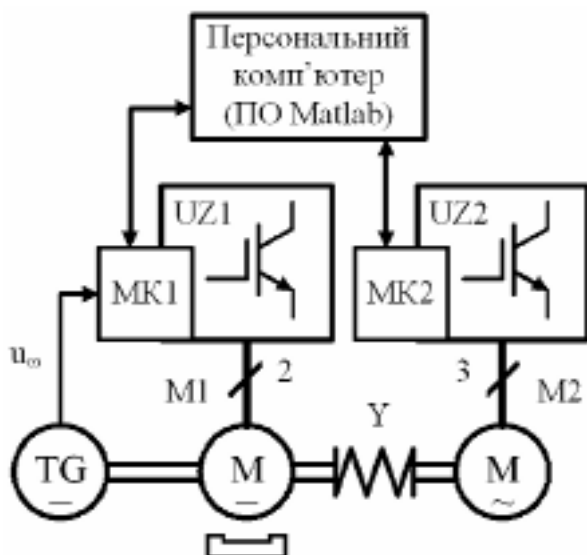


Рис.4. Функціональна схема лабораторної установки

Двигуни з'єднано через пружну муфту Y , що забезпечує імітування електромеханічної системи з пружною кінематикою.

Для живлення двигунів маємо широтно-імпульсний перетворювач напруги $UZ1$ та перетворювач частоти $UZ2$, керування якими забезпечують мікропроцесорні контролери $MK1$ і $MK2$. Контролери програмується за допомогою пакету Matlab/Simulink. Швидкість двигунів контролюється тахогенератором TG . Також у системі забезпечено вимірювання та ввід у контролери середніх значень силових струмів.

Під час експериментів здійснювалося регулювання швидкості двигуна $M1$. Двигун $M2$ створював механічне навантаження.

Були проведені експериментальні дослідження, подібні до виконаних при моделюванні системи, щодо процесів ідентифікації параметрів двомасового об'єкта. Характерні результати наведено на рис. 5.

Ідентифікація здійснювалася під час розгону двигуна при постійному обертовому моменті, що було забезпечено відповідним функціонуванням контуру регулювання струму. Процес ідентифікації розпочинався при кутовій швидкості $\omega_1 = \omega_{1min}$ і закінчувався при досягненні заданої похибки ідентифікації $e_{\nabla\omega_1} \leq e_{min}$. Після цього було реалізовано процес гальмування електроприводу.

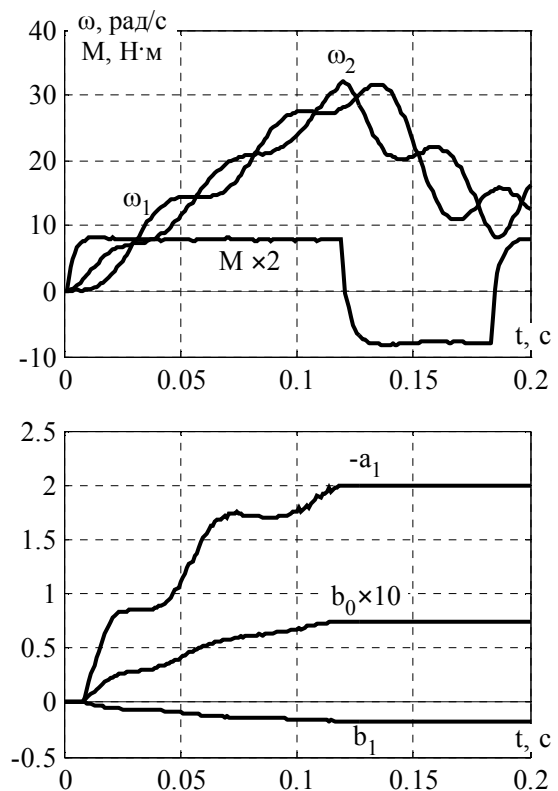


Рис. 5. Часові діаграми процесу ідентифікації параметрів двомасового об'єкта регулювання

Бачимо, що змінення параметрів у процесі ідентифікації має аперіодичний характер. Час здійснення ідентифікації становить приблизно 0,1 с. Між тим, результати, надані в роботі [3], свідчать, що ідентифікація триває більш ніж 1 с. Отже, маємо суттєве зменшення часу ідентифікації.

Крім того, у порівнянні з [3] для виконаних розробок обчислювальні витрати зменшуються приблизно на 30 %. Це забезпечено використанням більш точної дискретної моделі двомасового об'єкта, в наслідок чого замість шести параметрів визначенню підлягають лише чотири параметри.

Перевірку адекватності результатів ідентифікації здійснено шляхом реалізації регулювання стану пружної електромеханічної системи. При цьому визначення параметрів регулятора та спостерігача стану виконано на основі теоретичного обґрунтування, запропонованого в [1]. Функціонування електромеханічної системи характеризує процес регулювання відповідно до рис. 6.

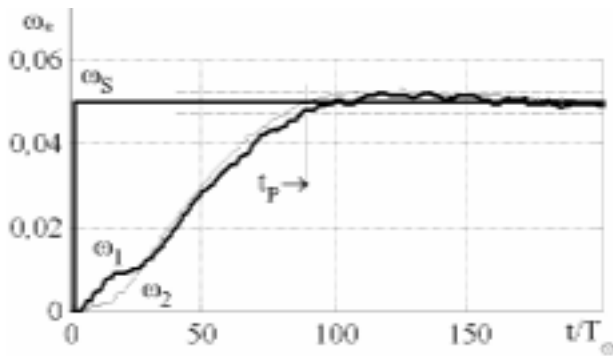


Рис.6. Часова діаграма регулювання стану електромеханічної системи при стрибку завдання

Результати досліджень процесів регулювання при інтервалі дискретності $T_\omega=1$ мс (рис. 6) свідчать, що ідентифіковані параметри об'єкта регулювання досить точно відповідають дійсним.

Слід відзначити, що наявність на виході тахогенератора фільтра низької частоти з постійною часу $T_f=1$ мс не враховувалась під час реалізації функцій ідентифікації. Як показали результати моделювання і експериментальних досліджень такий фільтр практично не впливає на процес ідентифікації.

На даному етапі розробок ідентифікацію параметрів об'єкта було виконано у спеціальному режимі функціонування електромеханічної системи. Подальші дослідження спрямовано на реалізацію адаптивної системи регулювання у робочому режимі.

Висновки

1. Проведено дослідження процесів ідентифікації параметрів двомасового електромеханічного об'єкта на основі методу найменших середніх квадратів у спеціальному режимі функціонування системи.

2. При реалізації ідентифікації застосовано розроблену дискретну математичну модель об'єкта, що дало змогу скоротити час ідентифікації і зменшити обчислювальні витрати.

3. Отримано позитивні результати при імплементації результатів ідентифікації в алгоритм регулювання стану електромеханічної системи.

4. Визначено необхідність проведення подальших досліджень з точки зору реалізації адаптивного регулювання у робочому режимі функціонування системи.

Список використаної літератури

1. Старостін С.С. Оптимізація дискретних регуляторів та спостерігачів стану електромеханічних об'єктів / Старостін С.С. // Електромашинобуд. та електрооблад. – К.: – 2004. – Вип.63. – С.17-25.
2. Старостін С.С. Синтез і аналіз дискретної математичної моделі двомасового електромеханічного об'єкта /Старостін С.С. // Електромашинобуд. та електрооблад. – К.: – 2008. – Вип.70. – С. 18-23.
3. Beineke S. Online-Schätzung von mechanischen Parametern, Kennlinien und Zustandsgrößen geregelter elektrischer Antriebe // Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 8: Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, №816. - Düsseldorf: VDI-Verlag, 2000. – 200 s.
4. Brickwedde A. Selbsteinstellender, on-line adaptiver Regler auf Mikrorechnerbasis für elektrische Antriebe /Dissertation. - Braunschweig, 1985. – 214 s.

Отримано 12.10.2009



Старостін
Сергій Станіславович,
канд. техн. наук, доцент,
зав. каф. систем програм.
управління і мехатроніки
Донецьк. нац. техн. ун-ту.
Тел. (062) 304-71-31,
e-mail: starostin@mail8.
dgtu.donetsk.ua



Сергієнко
Ганна Сергіївна,
молодший науковий спів-
робітник
тієї ж кафедри