

впливу ексцентриситету на статичні характеристики. Модель можна використовувати у діагностуванні для вироблення методів оцінки ступеня ексцентриситету ротора.

1. Фильц Р.В. Дискретные аналоги дифференциальных операторов и их применение в задачах электромеханики // Изв. вузов. Электромеханика. – 1990. – № 3. – С. 5–11.
2. Фильц Р.В. Математические основы теории электромеханических преобразователей. – К.: Наук. думка, 1979. – 208 с.
3. Фильц Р. В. Оператор сдвига и его применение в задачах электромеханики // Изв. Вузов. Электромеханика. – 1991. – № 4. – С. 5–12.
4. Шуйский В. Расчет электрических машин. – Л.: Энергия, 1968. – 731 с.
5. Arash Kiyomarsi, Mohammad Reza Hassan Zadeh A new analytical technique for analysis of the rotor eccentricity in rotating electrical machines. – International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics. – 2009. – Vol. 30, № 1–2. – P. 83–93.
6. Dorrell D.G. Calculation of unbalanced magnetic pull in small cage induction motors with skewed rotors and dynamic rotor eccentricity // IEEE Trans. on Energy Conversion. – 1996. – Vol. 11, № 3. – P. 483–488.
7. Toliyat H.A., Arefeen M.S., Parlos A.G. A method for dynamic simulation of air-gap eccentricity in induction machines // IEEE Trans. on Industry Application. – 1996. – Vol. 32, № 4. – P. 910–918.
8. Wazecha A., Weinreb K., Wegiel T. Modyfikacja funkcji permeancji szczeliny powietrznej uwzgledniajaca efekty nasyceniowe w silniku asynchronicznym z ekscentrycznoscia wirnika // Zeszyty naukowe Politechniki Slaskiej, Seria Elektryka. – 2001. – Nr. 177. – S. 113–120.

УДК 621.3.011.72

Ю.Я. Козак, Я.С. Паранчук, І.І. Васильчишин
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ТЗЕ, ЕАП

МАКРОМОДЕЛЬ КОНДЕНСАТОРНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДЛЯ МИТТЄВИХ ЗНАЧЕНЬ СТРУМІВ ТА НАПРУГ

© Козак Ю.Я., Паранчук Я.С., Васильчишин І.І., 2010

Розглянуто побудову нелінійної макромоделі конденсаторного однофазного асинхронного двигуна.

Макромодель розроблено на основі експериментально отриманих перехідних характеристик, зумовлених дією електричних і механічних збурень. Розглядається побудова лінійної та нелінійної математичних макромоделей в координатах миттєвих значень струмів та напруг, механічного моменту на валу та кутової швидкості обертання ротора.

The extract describes formation of nonlinear macromodel of AC single phase condenser motor.

The macromodel is formed based on experimental readings from transient characteristics caused by change in mechanical and electrical motor data. A formation of linear and nonlinear math macromodels is described using instant values of voltage and current, shaft mechanical torque and rotor rpm.

Постановка задачі

Проблема моделювання складних електромеханічних систем загалом сьогодні є доволі актуальною. У статті запропоноване моделювання на основі співвідношення вхід-вихід, тобто лише за вхідними та вихідними величинами в вигляді “чорної скриньки”. Створена з достатньою точністю макромодель однофазного асинхронного двигуна в координатах миттєвих значень струмів та напруг, механічного моменту на валу та кутової швидкості обертання ротора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На сучасному етапі розвитку науки і техніки процес створення нових технічних систем починається, як правило, на основі математичних моделей їх компонент, і тільки на завершальних етапах експериментально досліджуються створені реальні системи. Тому розробка методів і засобів для моделювання компонент електромеханічних систем в сучасних умовах має дуже важливе значення [1, 4].

Незважаючи на велике різноманіття існуючих математичних моделей компонент електромеханічних перетворювачів, не можна стверджувати, що вони цілком влаштовують розробників електромеханічних систем.

Моделі у формі дискретних рівнянь стану легко вписуються в існуючі системи аналізу електронних кіл та електротехнічних систем і не вимагають надлишкових затрат в оперативній пам'яті та в проведенні додаткових розрахунків. Проте є певні труднощі під час побудови макромоделей нелінійних динамічних систем [5].

Вже під час побудови лінійних динамічних моделей окремих компонент електромеханічних систем виникають труднощі, які змушують використовувати для побудови моделі алгоритми, що враховують специфіку кожного конкретного об'єкта. І якщо для побудови лінійних макромоделей існують більш-менш універсальні методи ідентифікації [2], то для випадку нелінійних макромоделей динамічних систем у загальному випадку універсальних методів ідентифікації не існує.

З погляду універсальності, найвигіднішими алгоритмами побудови лінійних і нелінійних математичних моделей є алгоритми, що ґрунтуються на оптимізаційному підході [3]. Тому актуальною є науково-технічна задача в розробці та удосконаленні наявних та створення нових макромоделей нелінійних елементів електромеханічних перетворювачів для розрахунку перехідних процесів динамічних систем, а також поповнення бібліотек моделей сучасних комп'ютерних програм, призначених для їх розрахунку.

Задача дослідження

У роботі показана математична макромоделювання однофазного асинхронного двигуна, побудована на основі експериментально знятих вхідних характеристик та алгоритму з використанням оптимізації.

Виклад основного матеріалу

Зважаючи на те, що на сучасному етапі моделі використовуються здебільшого в програмах автоматичного проектування на ЕОМ, а експериментальні дані є, як правило, множиною дискретних значень сигналу, то для описання цього об'єкта було вибрано форму дискретних рівнянь стану

$$\begin{cases} \vec{x}_{i+1} = F\vec{x}_i + G\vec{v}_i + \vec{\Phi}(\vec{x}_i, \vec{v}_i); \\ \vec{y}_{i+1} = C\vec{x}_{i+1} + D\vec{v}_{i+1}, \end{cases} \quad (1)$$

де \vec{x}_i – дискретні значення вектора змінних стану, \vec{v}_i, \vec{y}_i – вектор вхідних і вихідних змінних, F, G, C, D – матриці відповідних розмірів, $\vec{\Phi}$ – нелінійна функція векторів \vec{x}_i , і \vec{v}_i . Апроксимація нелінійності обмежувалася подвійними та потрійними перехресними добутками компонент векторів \vec{x}_i і \vec{v}_i .

Ідентифікація макромоделі з використанням оптимізації проводиться шляхом знаходження мінімуму деякої функції, яка характеризує відхилення поведінки моделі від поведінки модельованого об'єкта. Якщо модель задається рівнянням $y = \Phi(u, \beta)$, де u – вхідний сигнал, y – вихідний сигнал, Φ – деякий оператор, β – вектор параметрів моделі. То згадана функція, яку називають функцією мети, матиме вигляд $Q(\beta) = E(\tilde{y}, y) \Rightarrow \min > T$, де y – відгук моделі на тестовий сигнал, розрахований за допомогою моделі, \tilde{y} – реакція реального об'єкта на цей самий тестовий сигнал.

Для фіксованого набору тестових сигналів функція мети є функцією лише вектора параметрів моделі β . Отже, знайшовши мінімум функції $Q(\beta)$, знайдемо такі значення вектора параметрів моделі β , за яких відхилення поведінки моделі на заданій множині тестових сигналів від поведінки модельованого об'єкта за критерієм $E(\tilde{y}, y)$ буде мінімальним.

Методи оптимізації бувають детерміновані (під час оптимізації кожний крок жорстко визначається попереднім) та стохастичні (ґрунтуються на використанні випадкової послідовності під час побудови послідовних кроків).

Враховуючи, що в нашому випадку функція мети обраховується числово, тому внаслідок похибок заокруглення можливою є поява великої кількості локальних екстремумів. Для реалізації оптимізаційної процедури вибрано один з методів стохастичного пошуку, а саме метод напрямного конуса Растрігіна, послідовність дії якого полягає у такому [3].

Орієнтація в початковій точці. Будується гіперсфера з центром у точці \bar{x}_0 і радіусом h . На поверхні гіперсфери вибирається m випадкових точок із рівномірним законом розподілу і серед них вибирається точка, в якій значення функції мети найменше. Ця точка вибирається за \bar{x}_1 , визначається вектор пам'яті $w = \frac{x_1 - x_0}{h}$.

На кожному кроці будується гіперконус із вершиною в точці x_i , кутом розкриття ψ і віссю w . Цей гіперконус відсіче від гіперсфери з центром у точці x_i і радіусом h деяку поверхню. На цій поверхні вибирається m випадкових, рівномірно розподілених точок, і за x_{i+1} вибирається точка, в якій значення функції мети найменше. Вектор пам'яті перераховують так:

$$w_{i+1} = \alpha \cdot w_i + \beta \cdot \frac{x_{i+1} - x_i}{h}, \text{ де } 0 \leq \alpha < 1, 0 < \beta \leq 1.$$

Пошук продовжується доти, доки зменшується значення функції мети.

Складність оптимізаційної задачі істотно залежить від кількості невідомих коефіцієнтів, які є змінними у функції мети, причому практично для всіх методів оптимізації обчислювані затрати на оптимізацію зростають швидше ніж кількість невідомих коефіцієнтів, тому оптимізаційна процедура спроститься, якщо її розбити на кілька підзадач так, щоб у кожній з них було менше невідомих коефіцієнтів, ніж у загальній оптимізаційній задачі. Крім того, під час розбиття може істотно зменшитися крутість ярів функції мети, що приведе до додаткового спрощення оптимізаційної задачі.

Алгоритм побудови моделі з використанням оптимізації є таким:

a. Вибір набору змінних та поділ їх на вхідні і вихідні дані та форми майбутньої моделі та отримання відповідної сукупності дискретних вихідних змінних, що відображають певні перехідні процеси.

b. Побудова лінійної макромоделі у вигляді

$$\begin{cases} \bar{x}_{i+1} = F\bar{x}_i + G\bar{v}_i; \\ \bar{y}_{i+1} = C\bar{x}_{i+1} + D\bar{v}_{i+1}. \end{cases} \quad (2)$$

Для оптимізації шляхом ідентифікації коефіцієнтів матриць F , G , C , D використовують метод напрямного конуса Растрігіна з адаптацією параметрів пошуку [2].

c. Доповнення лінійної макромоделі нелінійною функцією $\bar{\Phi}(\bar{x}_i, \bar{v}_i)$.

d. Остаточна оптимізація макромоделі, де процедурі оптимізації підлягають усі коефіцієнти.

e. Перевірка отриманих результатів макромодельовання відгуків на тестові сигнали з даними,

знятими експериментально, та визначення похибки моделі $\varepsilon = \sqrt{\frac{b}{a}} \cdot 100\%$, а також функція мети для процедури оптимізації

$$Q(\vec{\alpha}) = \sum_i (\vec{y}_i - \vec{y}_i^*)^2, \quad (3)$$

де $a = \sum_{i=1}^n (y_i)^2$, $b = \sum_{i=1}^n (y_i^* - y_i)^2$, \vec{y}_i – точне, а \vec{y}_i^* – розраховане за допомогою моделі значення відгуку об'єкта, $\vec{\alpha}$ – вектор параметрів моделі.

Послідовність кроків оптимізаційної процедури є такою:

1. Вибрати форму шуканої моделі (2), записану через невідомі коефіцієнти, яка б достатньо точно описувала об'єкт моделювання. Форма макромоделі, як правило, визначається заданим об'єктом моделювання і вимогами до його макромоделі.
2. Отримати достатній набір експериментальних даних про об'єкт моделювання.
3. Знайти сукупність невідомих коефіцієнтів, яка забезпечує необхідну точність відтворення моделлю реакції системи на тестове збурення.
4. Перевірити якість відтворення побудованою макромоделлю реакцій на інший клас зовнішніх збурень.

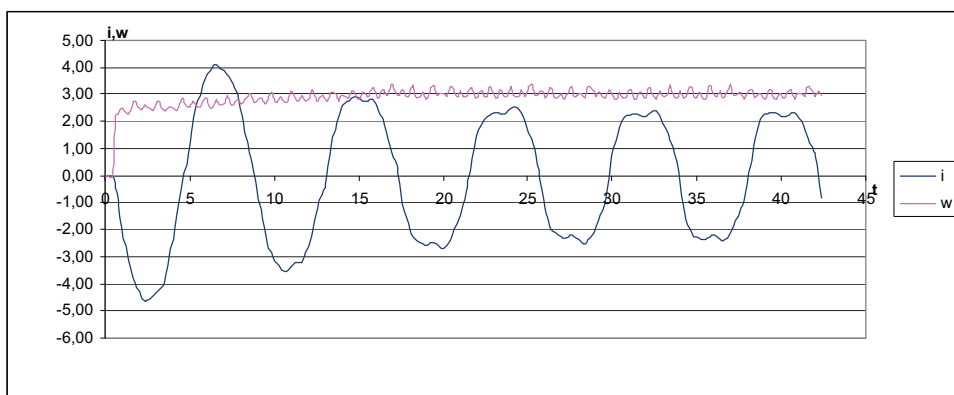


Рис. 1. Часова залежність миттєвих значень струму і швидкості у відносних одиницях

Опис експерименту

Об'єктом моделювання для побудови лінійної та нелінійної математичної макромоделі для миттєвих значень струмів та напруг вибрано однофазний асинхронний двигун, схема якого зображена на рис. 2.

Макромоделі компонентів будують на основі експериментально отриманих даних, які відображають певні перехідні процеси (рис.1). Для проведених досліджень – це такі залежності: перехідний струм $i(t)$ та швидкість обертання ротора $w(t)$ у разі вмикання змінної напруги, а також значення механічного навантаження на валу. Запропонованим експериментом отримуються масиви числових даних дискрет. Для зняття цих залежностей було використано аналогово-цифровий перетворювач ADA-1406 DAC з частотою дискретизації 4 кГц, що є достатнім для реєстрації перехідних процесів, які відбуваються в такому двигуні.

Для побудови макромоделі для цього досліджуваного об'єкта входними величинами є зміна напруги живлення $u(t)$ та механічний момент на валу $M(t)$, а вихідними – перехідний струм $i(t)$ та швидкість обертання ротора $w(t)$. Тобто

$$\vec{v}^T = [u(t) M(t)]; \quad \vec{y} = [i(t) \omega(t)].$$

Отримані експериментальні дані попередньо опрацьовують. Ця процедура призначена для фільтрації шумів, наявність яких може значно ускладнити процедуру ідентифікації моделі та вплинути на її точність. Основними причинами виникнення завад у цьому випадку є завади в аналоговій частині вимірювальної системи та шум квантування АЦП [1, 4]. Зразок записування даних, отриманих під час натурального та математичного експерименту наведено в табл. 1.

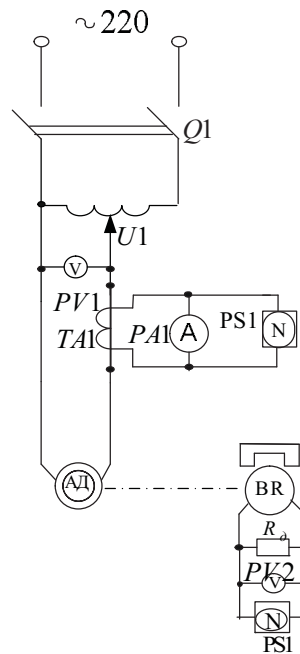


Рис. 2. Схема для експериментальних установок з реєстрації координат асинхронного двигуна:

Q1 – вимикач силового кола; *АД* – конденсаторний двигун; *BR* – тахогенератор; *PS1* –ресструвальний пристрій; *U1* – регулятор напруги; *TA1* – трансформатор струму; *PA1* – амперметр; *PV1, PV2* – вольтметр; *R_д* – додатковий опір

Таблиця 1

Експериментальні дані отримані на часовому інтервалі $t \in [0; 0.05]c$

<i>M, в.о</i>	<i>u, в.о</i>	<i>n, в.о</i>	<i>i, в.о</i>	<i>n, в.о</i>	<i>i, в.о</i>
Експериментальні дані			Змодельовані дані		
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00	0.09	-0.09
0	0	0.00	0.00	0.07	0.00
1	-1.708	2.22	-0.28	2.40	-0.40
1	-1.982	2.27	-1.14	2.66	-1.01
1	-2.169	2.48	-1.95	2.52	-1.84
1	-2.323	2.33	-2.61	2.61	-2.46
1	-2.388	2.29	-3.18	2.58	-3.10
1	-2.388	2.55	-3.63	2.62	-3.61
1	-2.388	2.78	-3.96	2.64	-4.06
1	-1.92	2.48	-4.30	2.64	-4.41
1	-1.613	2.42	-4.58	2.64	-4.66
1	-1.265	2.60	-4.64	2.67	-4.79
1	-0.975	2.47	-4.58	2.70	-4.82
1	-0.759	2.38	-4.47	2.76	-4.73
1	-0.433	2.58	-4.34	2.81	-4.54
1	-0.058	2.74	-4.22	2.86	-4.25
1	0.433	2.42	-4.05	2.89	-3.87
1	1.67	2.54	-3.02	2.97	-2.87
1	2.021	2.50	-2.35	3.01	-2.27
1	2.279	2.39	-1.52	3.06	-1.62
1	2.404	2.62	-0.81	3.09	-0.93
1	2.56	2.86	-0.21	3.10	-0.23
1	2.706	2.57	0.43	3.13	0.47

Побудова моделі

Побудову математичної моделі доцільно проводити поетапно, знаходячи на кожному етапі частину невідомих коефіцієнтів моделі.

1. Побудова лінійної моделі

Під час побудови лінійної моделі користуються здебільшого алгоритмом Хо-Калмана. Основним завданням на цьому етапі є знаходження матриці F, яка задає якісну поведінку моделі. Цю матрицю важко знаходити, оскільки, як зазначалось вище, функція мети є багато-екстремальною.

За отриманим набором експериментальних даних було розраховано таку модель:

$$\begin{cases} \bar{x}_{i+1} = \begin{pmatrix} 0,1931 & 0,3788 & -1,2348 \\ 0,4405 & 0,6909 & 0,3682 \\ -0,3327 & 0,3095 & 0,5041 \end{pmatrix} \cdot \bar{x}_i + \begin{pmatrix} -0,1259 & 0,5281 \\ 0,0881 & -0,6113 \\ -0,0742 & -0,1182 \end{pmatrix} \cdot \bar{v}_i; \\ \bar{y}_{i+1} = \begin{pmatrix} 0,1433 & 1,0943 & 1,4554 \\ 0,2936 & -0,0104 & 0,2750 \end{pmatrix} \cdot \bar{x}_{i+1} + \begin{pmatrix} -0,0184 & -0,5528 \\ -0,1054 & 2,1282 \end{pmatrix} \cdot \bar{v}_{i+1}. \end{cases} \quad (4)$$

Як з'ясувалося з аналізу системи дискретних рівнянь (4), ця модель не відображає різких стрибків вихідної величини в початковий момент часу.

2. Побудова нелінійної моделі

Під час побудови нелінійної моделі оптимізація проводилася в два етапи.

На першому етапі оптимізації підлягали лише члени розкладу нелінійної функції Φ . З фізичних міркувань нелінійну функцію було обмежено двома членами:

$$\bar{\Phi}(\bar{x}, \bar{v}) = \begin{cases} \alpha_1 x_1^2 v_1 + \alpha_2 x_1^3; \\ \alpha_3 x_2^2 v_2 + \alpha_4 x_2^3. \end{cases} \quad (5)$$

На другому проводилося загальне уточнення макромоделі, за якого оптимізації підлягали усі її коефіцієнти.

3. Уточнення нелінійної моделі

Під час побудови нелінійної макромоделі виникли деякі труднощі, які проявлялися в недостатній точності відтворення миттєвих значень струму двигуна. Збільшення розмірності макромоделі чи кількості коефіцієнтів, що описують нелінійну функцію Φ , не дало змоги покращити точність макромоделі внаслідок зростання складності оптимізаційної задачі і нездатності застосованого оптимізаційного алгоритму її розв'язати. Для подолання згаданої проблеми було введено уточнювальну підмодель M2, вхідними змінними якої була прикладена напруга і споживаний струм (див. рис. 3). Побудова уточнювальної підмоделі M2 на практиці виявилася значно простішою, ніж підвищення точності моделі M1.

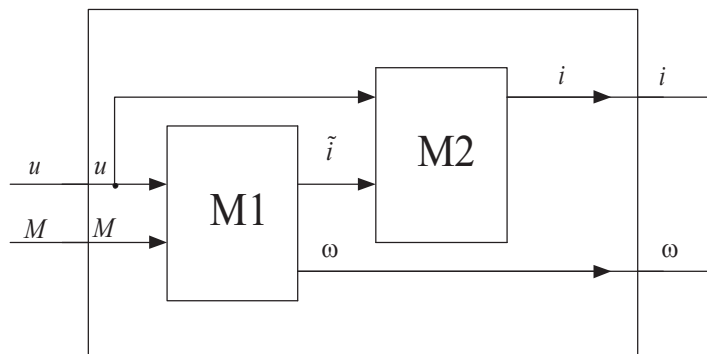


Рис. 3. Структурна схема макромоделі з уточнювальною підмоделлю струму двигуна:

M1 – макромодель двигуна, що отримана на другому етапі проектування;

M2 – уточнювальна підмодель; u, M – вхідні величини; i, ω – вихідні величини;

\tilde{i} – проміжна координата (струм, неточно відтворений підмоделлю M1)

Загальна макромодель конденсаторного двигуна була виведена аналітично з підмоделей M1 і M2 так.

Нехай отримані підмоделі M1 і M2 описуються такими рівняннями:

M1:

$$\begin{cases} \tilde{x}_{i+1} = \tilde{F} \cdot \tilde{x}_i + \tilde{G} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix} + \tilde{\Phi}(\tilde{x}_i \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix}); \\ \begin{pmatrix} w \\ \tilde{I} \end{pmatrix}_{i+1} = \tilde{C} \cdot \tilde{x}_{i+1} + \tilde{D} \begin{pmatrix} u_{i+1} \\ M_{i+1} \end{pmatrix}. \end{cases} \quad (6)$$

M2:

$$\begin{cases} x_{i+1}^* = F^* \cdot x_i^* + G^* \begin{pmatrix} \tilde{I}_i \\ u_i \end{pmatrix} + \Phi^*(x_i^* \begin{pmatrix} \tilde{I}_i \\ u_i \end{pmatrix}); \\ I_{i+1}^* = C^* \cdot x_{i+1}^* + D^* \begin{pmatrix} \tilde{I}_{i+1} \\ u_{i+1} \end{pmatrix}. \end{cases} \quad (7)$$

Перепишемо друге рівняння в системі (6) так:

$$\begin{cases} w_i = \tilde{C}^{(1)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(1)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix}, \\ \tilde{I}_i = \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix}, \end{cases} \quad (8)$$

де

$$\tilde{C} = \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(1)} \\ \tilde{C}^{(2)} \end{pmatrix} \quad \tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{D}^{(1)} \\ \tilde{D}^{(2)} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Підставивши вираз (8) в (7), отримаємо систему рівнянь

$$\begin{cases} x_{i+1}^* = F^* \cdot x_i^* + G^* \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix} \\ u_i \end{pmatrix} + \Phi^*(x_i^* \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix} \\ u_i \end{pmatrix}); \\ I_{i+1}^* = C^* \cdot x_{i+1}^* + D^* \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_{i+1} + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_{i+1} \\ M_{i+1} \end{pmatrix} \\ u_{i+1} \end{pmatrix}. \end{cases} \quad (10)$$

Об'єднавши (10) з першими рівняннями виразів (6) і (8), отримаємо загальну макромодель модельованого об'єкта

$$\begin{cases} \tilde{x}_{i+1} = \tilde{F} \cdot \tilde{x}_i + \tilde{G} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix} + \tilde{\Phi}(\tilde{x}_i \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix}); \\ x_{i+1}^* = F^* \cdot x_i^* + G^* \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix} \\ u_i \end{pmatrix} + \Phi^*(x_i^* \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix} \\ u_i \end{pmatrix}); \\ w_i = \tilde{C}^{(1)} \tilde{x}_i + \tilde{D}^{(1)} \begin{pmatrix} u_i \\ M_i \end{pmatrix}; \\ I_{i+1}^* = C^* \cdot x_{i+1}^* + D^* \begin{pmatrix} \tilde{C}^{(2)} \tilde{x}_{i+1} + \tilde{D}^{(2)} \begin{pmatrix} u_{i+1} \\ M_{i+1} \end{pmatrix} \\ u_{i+1} \end{pmatrix}. \end{cases} \quad (11)$$

Реакцію отриманої моделі на тестові сигнали зображено на рис. 4.

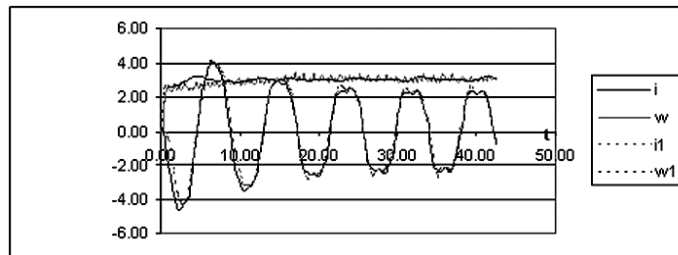


Рис. 4. Відгук на тестовий сигнал нелінійної моделі у відносних одиницях координат

Висновки

Розроблена модель у вигляді “вхід – вихід” має низький порядок при порівняно високій точності відображення поведінки зовнішніх змінних. Похибка цієї макромоделі становить ~6 %, що дає змогу використовувати її під час розрахунку як компонент, так і складних систем, куди модельований об’єкт входить як складова частина.

Запропонований у статті підхід полягає в розбитті побудови на етапи шляхом введення уточнювальної підмоделі, є універсальним і його можна ефективно застосовувати для макромодельовання складних нелінійних об’єктів у межах оптимізаційного підходу до побудови макромоделей.

1. Васьковський Ю.М. Математичне моделювання електромеханічних перетворювачів енергії. – К.: НТУУ “КПІ”. 2003. 2. Стахів П.Г., Ткачук В.І., Козак Ю.Я. Автоматизація побудови макромоделей електромеханічних компонент електротехнічних систем // Технічна електродинаміка. – К.: НТУУ “КПІ”. 3. Козак Ю.Я. Модифікація методу направляючого конуса Растрігіна // Електроніка і зв'язь: Тем. вып. Проблемы физической и биомедицинской электроники. – 1997. 4. Панченко А.М. Моделювання перехідних процесів енергетичних систем. – Харків, 2008. 5. Чуа Л.О., Пен-Мин Лин. Машинный анализ электронных схем: Пер. с англ. – М. Энергия, 1980.

УДК 621.313.333

А.С. Куцик, М.Б. Семенюк, В.Д.Йовбак

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП,
Свалявський технічний коледж НУХТ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СЕРЕДНЬОКРОКОВИХ НАПРУГ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З СИНХРОННОЮ МАШИНОЮ

© Куцик А.С., Семенюк М.Б., Йовбак В.Д., 2010

Наведено математичну модель синхронної машини, а також загальні принципи математичного моделювання електромеханічних систем з застосуванням методу середньокрокових напруг. Порівняно результати, отримані з застосуванням різних методів математичного моделювання.

The article presents mathematical model of electromechanical system with synchronous machine and research results of comparing of different mathematical methods.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень

Галузь застосування математичних моделей постійно розширюється. Сьогодні математичні моделі використовують не лише для досліджень, а й, значною мірою, для керування складними об’єктами і процесами, а також для розв’язання задач діагностування систем керування. В останньому випадку до математичних моделей та їх комп’ютерної реалізації висувають підвищені вимоги щодо швидкодії та числової стійкості для забезпечення тривалої роботи в реальному масштабі часу.

У зв’язку з цим, виникає необхідність у розробленні і використанні нових методів математичного моделювання для створення математичних та цифрових моделей електромеханічних систем (ЕМС) з високою повнотою опису елементів (для забезпечення адекватності в широкому