

використання операторів g_k^i .

Висновки. Поставлено задачу розробки моделі створення автоматизованих систем управління технологічним процесом, який в рамках одного математичного апарату дозволяє описати як технічну, так і людську складові. З використанням операторів, що діють в інформаційному просторі задачу з управління технологічним процесом, побудовано основні елементи теорії автоматичного управління. Це дозволило розробити алгоритм для формування автоматизованих систем управління технологічним процесом, який використовує тільки такі оператори.

Література

1. Dorf R. C. Modern Control Systems / R. C. Dorf, R. H. Bishop. – New York : Prentice Hall, 2010. – 1104 p.
2. Шиян А. А. Теоретико-ігровий аналіз раціональної поведінки людини та прийняття рішень в управлінні соціально-економічними системами / А. А. Шиян. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 404 с.
3. Shiyan A. A. Technologies for HR-Managers: Typology for Person's Economic Behavior, Applications and Mechanism Design / A. A. Shiyan // Labor: Personnel Economics eJournal. – 2011. – Vol 3, Issue 70. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1827706>. – 373 p.
4. Shiyan A. A. Types of Economic Behavior: The Instrument for Management of Individuals, Institutions, Countries and Humankind / A. A. Shiyan, L. O. Nikiforova // Forecasting Models eJournal. – 2011. – Vol 4, Issue 24. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1952651>. – 22 p.
5. Арнольд В. И. Математические методы классической механики / В. И. Арнольд. – М. : Наука, 1974. – 432 с.

References

1. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. New York : Prentice Hall, 2010. 1104 p.
2. Shiyan A. A. Teoretyko-igrovyy analiz racionalnoy povedinky lyudyny ta pryjnyattya rishen v upravlinni socialno-ekonomichnymy systemamy. Vinnytsya: UNIVERSUM-Vinnytsya, 2009. 404 s.
3. Shiyan A. A. Technologies for HR-Managers: Typology for Person's Economic Behavior, Applications and Mechanism Design/ Labor: Personnel Economics eJournal. 2011. Vol 3, Issue 70. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1827706>. – 373 p.
4. Shiyan A. A., Nikiforova L. O. Types of Economic Behavior: The Instrument for Management of Individuals, Institutions, Countries and Humankind. Forecasting Models eJournal. 2011. Vol 4, Issue 24. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1952651>. – 22 p.
5. Arnold V. Y. Matematycheskiye metody klassycheskoj mexaniky. M. : Nauka, 1974. 432 s.

Рецензія/Peer review : 16.12.2014 p.

Надрукована/Printed :24.1.2015 p.

Рецензент: д.т.н., проф. Шинкарук О.М.

УДК 531.7.08

В.В. КУХАРЧУК, Ю.Г. ВЕДМІЦЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ З ДВОМА СТУПЕНЯМИ ВІЛЬНОСТІ. МЕТОД ДВОХ РЕЗОНАНСІВ

В роботі привернуто увагу до багатовимірних вимірювальних перетворювачів моменту інерції в засобах неруйнівного контролю, використання яких порівняно з поширеними одновимірними системами 1-го та 2-го порядків створює фізичні передумови для розробки принципово нових методів вимірювання і контролю моменту інерції з покращеними метрологічними характеристиками, що знайшло своє відображення в запропонованій системі перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності, де за допомогою теорії динамічних аналогій побудовано його узагальнені математичну та електричні моделі і на цій основі розроблено принципово новий метод перетворення моменту інерції – метод двох резонансів.

Ключові слова: момент інерції, вимірювальний перетворювач, число ступенів вільності, динамічні аналогії, математична та електрична моделі, метод двох резонансів.

V.V. KUCHARCHUK, Y.G. VEDMITSKIYY
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

TRANSDUCERS OF MOMENT OF INERTIA WITH TWO DEGREE OF FREEDOMS. TWO-RESONANCE METHOD

In paper the attention is paid to working out of many-dimensional systems of primary transformation of a moment of inertia. Shaping of system of the primary converter of a moment of inertia with two degree of freedoms, construction by means of the theory of its dynamic analogies of the generalised mathematical and two (dual) electric models is the work purpose. In paper the new method of conversion of a moment of inertia also is presented and proved. This method is constructed on mathematical and electrical models of system with two degrees of freedom and has series of advantages in comparison with systems with one degree of freedom. The is in essence new method of measurement and control of a moment of inertia and it has the improved metrological performances. Multidimensionality of system of the primary converter of a moment of inertia is an original cause of it. The paper material is intended for electrical and electromechanical devices of the industry.

Key words: moment of inertia, measuring transducer, number of degrees of freedom, dynamical analogy, mathematical and electrical models, two-resonance method.

Вступ

Огляд відомих методів неруйнівного контролю моменту інерції механічних та електромеханічних систем з обертальною та складною формами руху, дослідження їх математичного забезпечення доводить, що переважну більшість з них розроблено та реалізовано на основі первинних перетворювачів з одним ступенем вільності. Як наслідок, рівняннями руху таких систем є або диференціальні рівняння 1-го порядку, або 2-го. Передусім це стосується таких поширених на сьогодні методів як метод самогальмування, метод крутильних коливань, метод допоміжного маятника, прямий метод тощо [1-3]. Водночас засобів вимірювання або контролю на основі багатовимірних первинних перетворювачів моменту інерції, тобто таких, що мають по два і більше ступенів вільності (відповідно, 3-го, 4-го і вище порядків), дотепер розроблено вкрай мало, а у випадку реалізації, наприклад, неруйнвної форми контролю – їх взагалі не існує [2, 3].

Певна річ, автори не можуть вважати такий стан задовільним. Причин цьому декілька. І кожна з них або пов'язана з тими недоліками, які зазвичай породжує одновимірність системи, або – з перевагами, які потенційно з'являються і можуть бути реалізовані у разі підвищення числа ступенів вільності перетворювальної системи. Водночас, звичайно ж, автори пам'ятають і про можливі загрози, навіть – небезпеки, які приховані в динамічному русі багатовимірних складних систем, через що відразу відкидають категоричність в оцінках підходів і виходять з того, що повнота наукової теорії має бути забезпечена водночас і логічною силою її базисних елементів, і якомога найбільшим числом конкретних практичних реалізацій цього теоретичного базису, які тільки можуть бути затребуваними виробництвом як наразі, так і в майбутньому.

Важливою і беззаперечною перевагою первинних перетворювачів моменту інерції з одним ступенем вільності є низький порядок диференціального рівняння їх руху, що в багатьох випадках спрощує рівняння, а відтак – і алгоритм, перетворення.

Водночас зазначена якість одновимірних перетворювачів породжує і спільний для них недолік: перетворення моменту інерції стає можливим лише у разі наявності попередньої достовірної інформації про інші параметри системи, а саме коефіцієнти жорсткості та дисипації енергії, зразкові моменти інерції тощо. Відсутність такої інформації або взагалі унеможлиблює процес перетворення, або потребує ускладнення, знову таки, того ж алгоритму перетворення. І ускладнення є настільки суттєвим, що отримані вище переваги відразу ж зводяться нанівець. Інших можливостей, як доводить аналіз математичної моделі узагальненого за числом ступенів вільності перетворювача моменту інерції (УПІМІ) [3], система з одним ступенем вільності, на превеликий жаль, не залишає. Це питання на сьогодні постає як проблематичне і потребує свого вирішення.

Вихід автори вбачають в поміркованому штучному збільшенні числа ступенів вільності первинного перетворювача за рахунок введення до складу механічної частини цієї системи додаткових типових елементарних ланок 1-го і 2-го порядків та варіюванні цим числом у спосіб накладення на систему окремих механічних в'язей – з наперед відомими властивостями та параметрами в усіх випадках.

Звичайно ж, зазначена проблематичність, тільки в більш широкому вияві, зберігає свою актуальність і в багатовимірних системах перетворювачів, оскільки число параметрів елементів таких систем зростає в квадратичній (!) залежності до числа ступенів їх вільності [3]. Однак багатовимірність перетворювача водночас створює і додаткові можливості, які здатні не тільки зарадити в розв'язуванні зазначеної задачі, але й істотно покращити інші метрологічні характеристики системи. Передовсім це пов'язано, по-перше, з некритичним характером впливу більшості з невідомих або недостовірних параметрів у разі незначущості енергетичних процесів, які ці параметри описують, і, по-друге, можливістю штучного впливу на критичні параметри у спосіб варіювання кількістю та якістю типових елементарних ланок, механічних зв'язків, створених поміж ними, та в'язей, накладених на них. Водночас багатовимірним перетворювачам моменту інерції притаманні також і окремі, досить особливі стани, перебуваючи в яких ці системи поводять себе як прості, внаслідок чого і їх математичні моделі зазнають суттєвих спрощень. До таких станів, наприклад, відносять резонансні стани. У зв'язку з цим, варто зазначити, що резонансні методи з поміж інших вирізняються високими точністю вимірювання та достовірністю контролю.

Отже, з урахуванням вищезазначеного *метою роботи* є формування системи первинного перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності, побудова за допомогою теорії динамічних (електромеханічних) аналогій його узагальнених математичної і двох (дуальних одна до одної) електричних моделей та розробка на цій основі метода двох резонансів – одного з принципово нових методів вимірювання і контролю моменту інерції з покращеними метрологічними характеристиками.

Первинні перетворювачі моменту інерції з двома ступенями вільності

Первинними перетворювачами моменту інерції з двома ступенями вільності ($n = 2$) будемо називати такі перетворювачі, стан і рух яких завершено і однозначно описується за допомогою двох узагальнених координат q_s та їх швидкостей \dot{q}_s , де $s = 1, 2$.

Математична модель. Математичну модель двовимірного первинного перетворювача моменту інерції отримаємо, скориставшись абстрактною системою узагальненого за числом ступенів вільності n перетворювача моменту інерції (УПІМІ). Ця система описана в роботі [3], де наведено її математичну модель в формі рівнянь Лагранжа другого роду. За умови $n = 2$ зазначена модель набуває спочатку окремого вигляду

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_s} T_A(J_{OB}) \right] + \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_s} \right) - \left[\frac{\partial}{\partial q_s} T_A(J_{OB}) + \frac{\partial T_B}{\partial q_s} \right] = Q_s^{(A)} + Q_s^{(B)}, \quad s = 1, 2,$$

а після урахування особливостей руху, притаманних сучасним первинним перетворювачам моменту інерції, –

$$\begin{cases} (J_{OB} + m_A l^2) \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} + M_A^{(e)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_2} \right) - \frac{\partial T_B}{\partial q_2} = Q_2 - \frac{\partial \Pi}{\partial q_2} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_2}. \end{cases} \quad (1)$$

де T_A і T_B – кінетичні енергії підсистем А і В системи двовимірного перетворювача моменту інерції; Π – її потенціальна енергія; Φ – дисипативна функція Релея; $M_A^{(m)}$ і $M_A^{(e)}$ – головні моменти сил відносно осі обертання, що, відповідно, мають механічне й електромагнітне походження, результуюча яких є узагальненою силою вздовж першої координати; Q_2 – узагальнена сила вздовж другої узагальненої координати; J_{OB} – перетворюваний момент інерції; $q_1, q_2, \dot{q}_1, \dot{q}_2$ – відповідно, система узагальнених координат та узагальнених швидкостей перетворювача.

Перша та друга електричні моделі. Огляд аналітичного апарату теоретичних основ електротехніки, її методів розв’язання задач аналізу і задач синтезу лінійних, нелінійних, параметричних електричних та електромагнітних систем із зосередженими та розподіленими параметрами, що перебувають як в усталених, так і перехідних режимах, а також можливостей і методів експериментального дослідження таких систем, в багатьох випадках за схожих умов незаперечно доводить часткову або повну перевагу над засобами і методами дослідження механічних, електромеханічних та інших за фізичною природою динамічних систем. Тому природно, що якщо тільки така перевага хоч трохи виявляє себе, то процес електричного моделювання і побудова електричних моделей засобів вимірювання та контролю моменту інерції будуть не тільки доцільними, але і необхідними. Відтак в дослідженні фізичних процесів, що спостерігаються під час перетворення моменту інерції, винятково важливого значення набуває теорія динамічних (електромеханічних) аналогій [3], з точки зору якої еволюції різних за фізичною природою неперервних у часі динамічних систем будуть аналогічними, якщо тільки аналогічними будуть рівняння руху цих систем та їх початкові умови. Як показано в роботі [3], завдяки зазначеній теорії електричні моделі первинних перетворювачів моменту інерції постають важливими базисними елементами і в теорії вимірювання та контролю, створюючи сприятливе теоретичне підґрунтя для розробки як нових алгоритмів перетворення заявленого параметра, так і нових методів.

Дві, дуальних одна до одної, електричних моделі процесу первинного перетворення моменту інерції побудуємо за умови $n = 2$ на основі першої та другої узагальнених електричних моделей системи УПМІ [3].

Тоді першу електричну модель для систем первинних перетворювачів моменту інерції з двома ступенями вільності можна представити рівняннями Лагранжа-Максвела в першій системі динамічних аналогій (типу «сила-напруга»), кожне з яких відобразить другий закон Кірхгофа в узагальнених електричних координатах $q_s^{(e)}$ та їх швидкостях i_s ($s = 1, 2$) у вигляді:

$$\begin{cases} (L_{OB} + L) \dot{q}_1^{(e)} = e_1 - \frac{\partial W_e}{\partial q_1^{(e)}} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_1}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial W_m}{\partial i_2} = e_2 - \frac{\partial W_e}{\partial q_2^{(e)}} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_2}, \end{cases} \quad (2)$$

де L_{OB} – індуктивність, яка є електричним аналогом перетворюваному моменту інерції J_{OB} ; $i_1 = \dot{q}_1^{(e)}$ та $i_2 = \dot{q}_2^{(e)}$ – контурні струми, що задають систему узагальнених швидкостей для електричної моделі.

Друга електрична модель первинних перетворювачів моменту інерції з двома ступенями вільності перебуває у відношенні дуальності до першої і в другій системі динамічних аналогій (типу «сила-струм») записується так:

$$\begin{cases} (C_{OB} + C) \ddot{\psi}_1 = J_1 - \frac{\partial W_m}{\partial \psi_1} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial \varphi_1}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial W_e}{\partial \varphi_2} = J_2 - \frac{\partial W_m}{\partial \psi_2} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial \varphi_2}, \end{cases} \quad (3)$$

де кожне з рівнянь Лагранжа-Максвела відображає перший закон Кірхгофа в узагальнених електричних координатах ψ_s та їх швидкостях φ_s ($s = 1, 2$). В системі (3) електричним аналогом перетворюваному моменту інерції J_{OB} слугує електрична ємність C_{OB} , а вузлові потенціали $\varphi_1 = \dot{\psi}_1$ і $\varphi_2 = \dot{\psi}_2$ є електричними аналогами узагальнених швидкостей.

На рис. 1, а і б наведено електричні схеми, відповідно, першої та другої електричних моделей

двовимірних первинних перетворювачів моменту інерції.

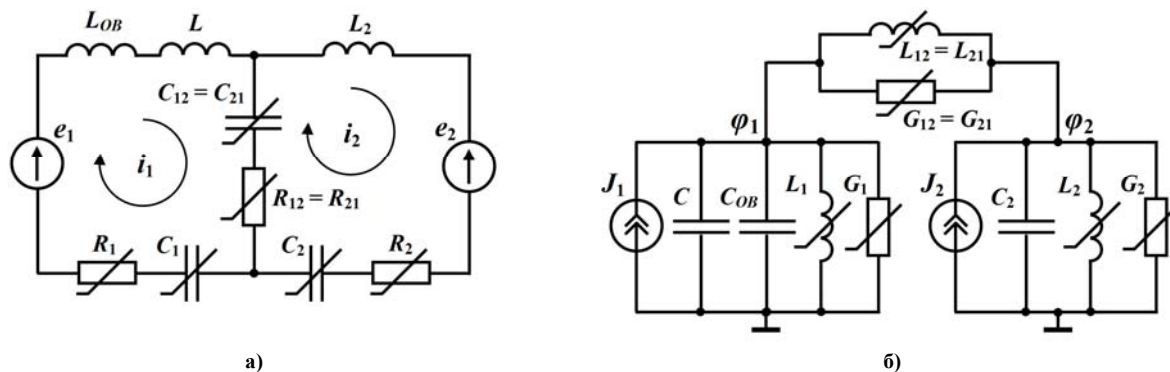


Рис. 1. Електричні схеми першої та другої електричних моделей перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності

Лінеаризація математичної та електричних моделей. Варто зауважити, що отримані математична (2) та електричні (3), (4) моделі перетворювачів моменту інерції з двома ступенями вільності є узагальненими і здатні описувати рух нелінійних первинних перетворювачів моменту інерції. Водночас важливими є і спрощені форми зазначених моделей, зокрема лінійні. Передусім це пов'язано з тим, що в переважній більшості випадків під час реалізації операції перетворення в робочих областях фазового простору первинних перетворювачів моменту інерції реальних механічних і електромеханічних систем параметри їх елементів не зазнають настільки суттєвих змін від зміни координат та швидкостей, щоб їх подання як лінійних було б недопустимим.

Лінеаризовані математичну та обидві електричні моделі двовимірних первинних перетворювачів моменту інерції неважко отримати, якщо записати енергетичні функції, що входять до складу рівнянь Лагранжа другого роду та рівнянь Лагранжа-Максвела, в однорідних квадратичних функціях узагальнених координат та швидкостей з сталими коефіцієнтами. Тоді, наприклад, після перегрупування та з урахуванням особливостей руху лінеаризована математична модель заявленої системи набуває вигляду

$$\begin{cases} J_{OB} \ddot{q}_1 + \beta_1 \dot{q}_1 + \beta_{12} (\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \zeta_{12} (q_1 - q_2) = M_A, \\ J_2 \ddot{q}_2 + \beta_2 \dot{q}_2 + \beta_{12} (\dot{q}_2 - \dot{q}_1) + \zeta_{21} q_2 + \zeta_{12} (q_2 - q_1) = M_B, \end{cases} \quad (4)$$

а перша електрична модель –

$$\begin{cases} L_{OB} \ddot{q}_1^{(e)} + R_1 \dot{q}_1 + R_{12} (\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \frac{1}{C_{12}} (q_1^{(e)} - q_2^{(e)}) = e_1, \\ L_2 \ddot{q}_2^{(e)} + R_2 \dot{q}_2 + R_{12} (\dot{q}_2 - \dot{q}_1) + \frac{1}{C_2} q_2 + \frac{1}{C_{12}} (q_2^{(e)} - q_1^{(e)}) = e_2. \end{cases} \quad (5)$$

Метод двох резонансів

Як зазначалося вище, одержані математичні і електричні моделі (1) – (4) створюють сприятливе теоретичне підґрунтя для розробки покращених методів неруйнівного перетворення і контролю моменту інерції. До таких методів зокрема можна віднести *метод двох резонансів* – принципово новий метод первинного перетворення моменту інерції в засобах вимірювання та контролю, розроблений на основі системи з двома ступенями вільності 3-го порядку. Приклад однієї з таких систем наведено на рис. 2, а.

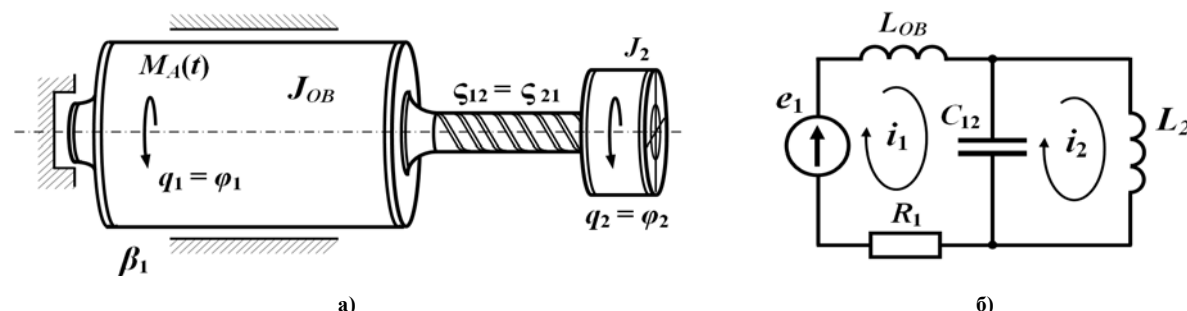


Рис. 2. Приклад перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності 3-го порядку та його електрична модель

З рисунка видно, що до складу перетворювача входять об'єкт вимірювання або контролю з моментом інерції J_{OB} та деяке зразкове тіло із заздалегідь відомим моментом інерції J_2 , які з'єднано між собою пружним на скручування коловим циліндричним стержнем. Поточний стан та рух системи визначається двома узагальненими координатами і їх похідними – кутами повороту ϕ_1, ϕ_2 і кутовими швидкостями $\omega_1 = \dot{\phi}_1, \omega_2 = \dot{\phi}_2$, відповідно. Електричними аналогами зазначених фізичних величин

слугують контурні заряди $q_1^{(e)}$, $q_2^{(e)}$ та струми $i_1 = \dot{q}_1^{(e)}$, $i_2 = \dot{q}_2^{(e)}$, що проходять двома незалежними контурами в колі 3-го порядку, яке є першою електричною моделлю заданого первинного перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності. Схему електричної моделі показано на рис. 2, б. Перехідні та усталені процеси в такому електричному колі описуються системою диференціальних рівнянь 2-го порядку, кожне з яких побудоване на основі другого закону Кірхгофа

$$\begin{cases} L_{OB} \ddot{q}_1^{(e)} + R_1 \dot{q}_1 + \frac{q_1^{(e)} - q_2^{(e)}}{C_{12}} = e_1, \\ L_2 \ddot{q}_2^{(e)} + \frac{q_2^{(e)} - q_1^{(e)}}{C_{12}} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Як доводить аналіз кола засобами математичного апарату теоретичної електротехніки зазначене електричне коло може мати два резонансні стани.

Оскільки рух перетворювача моменту інерції описується системою рівнянь

$$\begin{cases} J_{OB} \ddot{q}_1 + \beta_1 \dot{q}_1 + \zeta_{12} (q_1 - q_2) = M_A, \\ J_2 \ddot{q}_2 + \zeta_{12} (q_2 - q_1) = 0, \end{cases} \quad (7)$$

яка є подібною системі (6), то, відповідно до положень теорії динамічних аналогій, це означає, що схожі резонансні стани, але вже механічної природи, спостерігаються і в системі самого перетворювача моменту інерції, що і відображено на його резонансних характеристиках (рис. 3), побудованих на основі частотного дослідження математичної моделі (7).

Резонансні частоти f_{01} і f_{02} можуть і мають бути визначені, відповідно до алгоритму метода двох резонансів, експериментально в режимі вимушених коливань. Зробити це можна у різний спосіб. Наприклад, за основу можна взяти або амплітудний підхід за ознакою екстремальної зміни амплітудних значень кутових швидкостей об'єкта вимірювання або контролю ω_1 та зразкового тіла ω_2 (див. рис. 3), або фазовий, відповідно, за зміною знаку зсуву фаз між моментом зовнішньої дії на об'єкт вимірювання M_A та його кутовою швидкістю. Звичайно ж, можливі і інші підходи. Варто зазначити, що кожен із таких підходів є окремим напрямком реалізації метода і потребує власного забезпечення – як програмного, так і апаратного.

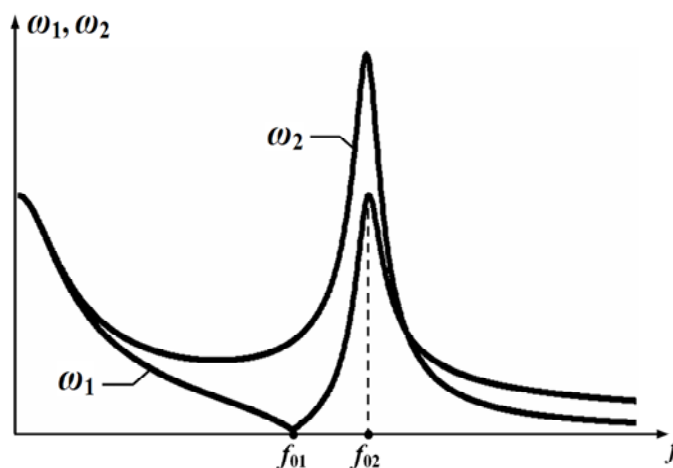


Рис. 3. Амплітуди кутових швидкостей об'єкта вимірювання і зразкового тіла в залежності від частоти вимушених коливань

Що ж до моменту інерції об'єкта вимірювання або контролю, то він із зазначеними резонансними частотами математично пов'язаний співвідношенням

$$J_{OB} = \frac{J_2}{\left(\frac{f_{02}}{f_{01}}\right)^2 - 1},$$

яке неважко отримати на основі першої електричної моделі (див. рис. 2, б) за допомогою відомого в теоретичній електротехніці символічного метода (або метода комплексних амплітуд).

Висновки

В роботі привернуто увагу до багатовимірних вимірювальних перетворювачів моменту інерції в засобах неруйнівного контролю, використання яких порівняно з поширеними одновимірними системами 1-го та 2-го порядків створює фізичні передумови для розробки принципово нових методів вимірювання і контролю моменту інерції з покращеними метрологічними характеристиками, що знайшло своє відображення в запропонованій системі перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності, де за допомогою теорії динамічних аналогій побудовано його узагальнені математичну та електричні моделі і на цій основі розроблено принципово новий метод перетворення моменту інерції – метод двох резонансів.

Література

1. Гернет М. М. Определение моментов инерции / М. М. Гернет, В. Ф. Ратобильский. – М. :

Машиностроение, 1985. – 248 с.

2. Кухарчук В. В. Элементы теории контроля динамических параметров электрических машин : монография / В. В. Кухарчук. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 125 с.

3. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції електротехнічних комплексів та систем на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : дис. ... кандидата техн. наук : 05.09.03 / Ведміцький Юрій Григорович. – Вінниця, 2013. – 260 с.

References

1. Gernet M. M., Ratoby'lskij V. F. Opredelenie momentov inerczii. M., – 1985. – 248 с. [in Russian]
2. Kukharchuk V. V. Elementy teorii kontroliu dynamichnykh parametrov elektrychnykh mashyn. Vinnitsia, – 1998. – 125 с. [in Ukrainian]
3. Vedmits-kyi Yu. H. Kontrol momentu inertsi elektrotekhnicheskikh kompleksiv ta system na osnovi udoskonalenoj teorii elektrodynamichnykh analogii. Vinnitsia, – 2013. – 260 с. [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 20.1.2015 р.

Надрукована/Printed :25.1.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Кучерук В. Ю.

УДК 665.64

И.Л. ЛЕВЧУК

Украинский государственный химико-технологический университет

ИДЕНТИФИКАЦИЙ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ХТП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье предложен новый комбинированный метод идентификации сложных кинетических моделей химико-технологических процессов, использующий итерационный алгоритм и искусственную нейронную сеть для минимизации времени поиска настроечных коэффициентов модели. Разработан алгоритм итерационно-нейросетевой идентификации. Выполнена проверка эффективности предложенного метода и алгоритма на базе кинетической модели процесса каталитического риформинга.

Ключевые слова: математическое моделирование, кинетическая модель, идентификация, нейронная сеть, настроечный коэффициент, каталитический риформинг.

I.L. LEVCHUK

Ukrainian State University of Chemical Technology

IDENTIFICATION OF THE KINETIC MODEL OF CHEMICAL-ENGINEERING PROCESSES USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

This paper proposes a new combined method of identifying complex kinetic models of chemical and technological processes, using an iterative algorithm and artificial neural network to minimize search time adjusting coefficients of the model. Developed the algorithm iteratively-neural network identification. Perform test the effectiveness of the proposed method and algorithm based on the kinetic model of catalytic reforming process.

Keywords: mathematical modeling, kinetic model, identification, neural network, adjusting coefficient, catalytic reforming.

Введение

Непрерывное совершенствование компьютерной техники и рост вычислительной мощности микропроцессорных управляющих устройств позволяет в современных системах управления ХТП использовать сложные математические модели, как наиболее точно описывающие моделируемый процесс и специфику его протекания. При этом одной из проблем, затрудняющих продвижение в данном направлении, остается обеспечение адекватности математической модели объекта управления на протяжении достаточно длительного промежутка времени [1].

Постановка задачи

Математические модели, используемые в системах управления химико-технологическими процессами, можно разделить на две группы [2]. Первая - кинетические модели, основанные на теоретическом анализе физических и химических процессов, протекающих в исследуемом объекте, а также учете конструкций аппаратов и характеристик перерабатываемых веществ. Вторая - эмпирические модели, рассматривающие ХТП в виде «черного ящика» и построенные на основе анализа входной и выходной информации конкретных объектов управления.

Модели первой группы из-за своей сложности требуют значительных временных затрат на этапе идентификации. Уточнение всех настроечных коэффициентов модели занимает длительное время, ведь в процессе поиска с использованием классических итерационных методов при поиске каждого коэффициента приходится многократно, на каждом шаге поискового алгоритма просчитывать математическую модель процесса, что бы выяснить достигнуто ли искомое значение (рис. 1). В итоге время, затрачиваемое на процедуру идентификации, с трудом поддается прогнозированию, что не позволяет эффективно использовать подобные модели в современных АСУ, реализующих режимы реального и квазиреального