

СИНТЕЗ ПРИСТРОЮ ВІДНОВЛЕННЯ З НЕВИЗНАЧЕНИМ ВХОДОМ

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

Метою даної роботи є синтез пристрою відновлення вектору стану динамічної системи різницевоїм сигналом якого є стійким до сукупності збурень присутніх у контрольованій динамічній системі. Порівняно з іншими методами проектування пристроїв відновлення, інваріантних до збурень, умови його існування нескладно перевіряються за допомогою модифікованої програми розташування полюсів передатної функції з пакету моделювання MATLAB. Ефективність методики підтверджена ілюстративним прикладом синтезу відновлювального пристрою для динамічної системи третього порядку за наявності імпульсних збурень синусоїдального типу.

Ключові слова: вектор стану динамічної системи, пристрій відновлення з невизначеним входом, канонічна форма відновлюваності.

Abstract

The purpose of this work is to synthesize a device for restoring the dynamic system state vector, the difference signal of which is resistant to the set of disturbances present in the controlled dynamic system. In comparison with other methods of designing recovery devices invariant to perturbations, the conditions of its existence are easily verified by means of a modified program for the location of the transfer function poles with the MATLAB simulation package. The effectiveness of the technique is confirmed by an illustrative example of the recovery device synthesis for the third order dynamic system in the presence of impulse perturbations of sinusoidal type.

Keywords: dynamic system state vector, recovery device with uncertain input, observability canonical form.

Постановка задачі

Знання повноформатного вектора стану динамічної системи важливо і принципово не тільки з точки зору прогнозування поведінки сигналів на її виходах, а й при синтезі керівної функції, за допомогою якої здійснюється цілеспрямований вплив на поведінку системи. Проте, у переважній більшості, вектор стану системи у повному обсязі безпосередньо недоступний для спостережень. Зрозуміло, що повноформатний вектор стану повинен відновлюватися лише на основі доступних результатів спостережень. Якщо що результати вимірювань не зовсім точні то результат відновлення вектора стану буде наближеним, тобто оціненим.

Припустимо, що динаміка стаціонарної системи допускає опис у вигляді [1]

$$\dot{\mathbf{s}}(t) = \mathbf{\Sigma}\mathbf{s}(t) + \mathbf{\Gamma}\mathbf{u}(t) + \mathbf{\Omega}\mathbf{d}(t), \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}\mathbf{s}(t), \quad (2)$$

де $\mathbf{s}(t) \in \mathcal{R}^n$ – вектор стану динамічної системи; $\mathbf{y}(t) \in \mathcal{R}^m$ – вектор спостережень; $\mathbf{u}(t) \in \mathcal{R}^p$ – відомий вектор входу; $\mathbf{d}(t) \in \mathcal{R}^l$ – невідомий вектор вхідних збурень; $\mathbf{\Sigma}$, $\mathbf{\Gamma}$, $\mathbf{\Omega}$, \mathbf{H} – апріорно відомі матриці належних розмірів. Відносно рівнянь (2.71)–(2.72) слід зробити такі зауваження:

Для стаціонарної динамічної системи (1)–(2) пристроєм відновлення з невизначеним входом є такий відновник повного порядку

$$\mathbf{z}'(t) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t) + \mathbf{T}\mathbf{\Gamma}\mathbf{u}(t) + \mathbf{W}\mathbf{y}(t); \quad (3)$$

$$\mathbf{y}_z(t) \triangleq \mathbf{s}^*(t) = \mathbf{z}(t) + \mathbf{S}\mathbf{y}(t), \quad (4)$$

у якому похибка оцінювання вектора стану (5) асимптотично прямує до нуля незалежно від того присутнє, чи не присутнє невідоме збурення на її вході.

$$\Delta \dot{s}(t) = (\Sigma_1 - W_1 H) \Delta s(t) + [A - (\Sigma_1 - W_1 H)] z(t) + [W_2 - (\Sigma_1 - W_1 H) S] y(t) + [T - (I - S H)] \Gamma u(t) + (I - S H) \Omega d(t), \quad (5)$$

Це може бути досягнуто у припущенні, що виконується низка умов, а саме: $W = W_1 + W_2$; $(I - S H) \Omega = 0$; $T = (I - S H)$; $A = (\Sigma_1 - W_1 H) = (I - S H) \Sigma - W_1 H$; $W_2 = A S$. Похибка оцінювання $\Delta s(t)$ буде асимптотично прямувати до нуля, якщо власні значення матриці A є стійкими, тобто $s^*(t) \rightarrow s(t)$.

Порядок синтезу пристрою відновлення з невизначеним входом

Однією з найбільш важливих задач, яка розв'язується у процесі проектування пристроїв відновлення з невизначеними входами, є забезпечення стійкості системної матриці $A = \Sigma_1 - W_1 H$ шляхом вибору матриці W_1 у тому випадку, коли пара (H, Σ_1) є лише виявленою. Якщо пара (H, Σ_1) є відновлюваною, то цього можна досягти шляхом трансформації рівнянь об'єкту контролю у відповідності до рівнянь канонічної форми для відновлювальних систем або скористатися програмою розміщення полюсів з пакету Control System Toolbox for MATLAB [2].

У підсумку процедура синтезу пристрою відновлення, інваріантного до невизначених входів зводиться до послідовності таких кроків [3,4]:

1. Перевірити ранги матриць Ω та $H\Omega$, якщо $rank(H\Omega) \neq rank(\Omega)$, то такого пристрою відновлення не існує і надалі перейти до п.10.

2. Обчислити матриці S^* , T , Σ_1 за формулами:

$$S^* = \Omega \left[(H\Omega)^T H\Omega \right]^{-1} (H\Omega)^T; \quad T = I - S^* H; \quad \Sigma_1 = T \Sigma.$$

3. Перевірити чи пара (H, Σ_1) є відновлюваною. Якщо це має місце, то пристрій відновлення існує, і матриця W_1 може бути обчислена за допомогою програми розташування полюсів. Потім перейти до п. 9.

4. Сконструювати матрицю перетворення U для переходу до канонічної форми відновлюваності. Для цього слід довільно вибрати $n_l = rank(N_n)$, де N_n являє собою матрицю відновлюваності для пари (H, Σ_1) і створити вектор-рядок $u^T_{n_l}, \dots, u^T_{n_l}$ з N_n , разом з іншим $(n-n_l)$ вектор-рядком $u^T_{n_l+1}, \dots, u^T_{n_l}$ для утворення не сингулярної матриці $U = \left[u_1, \dots, u_{n_l}; u_{(n_l)+1}, \dots, u_n \right]^T$.

5. Пару (H, Σ_1) привести до канонічної форми відновлюваності за

$$\text{формулами } U \Sigma_1 U^{-1} = \begin{bmatrix} \Sigma_{11} & 0 \\ \Sigma_{12} & \Sigma_{22} \end{bmatrix}; \quad H U^{-1} = [H_1, 0].$$

6. Перевірити чи пара (H, Σ_1) є виявленою. Якщо будь-яке власне значення матриці Σ_{22} нестійке, то пристрою відновлювання не існує і перейти до п. 10.

7. Вибрати n_l бажаних власних значень та присвоїти їх виразу $\Sigma_{11} - W_{1u} H_1$, далі з використанням програми розташування полюсів обчислити W_{1u} .

$$8. \text{ Обчислити вираз } W_1 = U^{-1} W_u = U^{-1} \begin{bmatrix} W_{1u} \\ W_{2u} \end{bmatrix},$$

де W_{2u} може бути довільною матрицею розміру $(n-n_l) \times m$.

9. Обчислити матриці A і W за формулами: $A = \Sigma_1 - W_1 H$; $W = W_1 + W_2 = W_1 + A S$.

10. Завершення процесу синтезу.

Результати моделювання за викладеною методикою демонструються на прикладі динамічної системи третього порядку з передатною функцією

$$W(p) = (p+0,4) \left[(1+2p)(p^2+0,6+0,2) \right]^{-1}, \text{ якій у просторі станів відповідає система векторних рі-$$

внянь $\dot{s}(t) = \Sigma s(t) + \Gamma u(t) + \Omega d(t)$; $y(t) = H s(t)$ з параметрами:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -0,600 & -0,202 & 0 \\ 0 & 0 & -0,5 \end{bmatrix}; \Gamma = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,202 \\ 0,5 \end{bmatrix}; \Omega = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \mathbf{H} = [0,078 \ 1 \ 1]; \mathbf{u} = 1.$$

Збурення імітувались синусоїдальним коливанням $d(t)=4\sin(4t)$, що з'являлось проміж 45 та 55 секундами на часовому інтервалі у сто секунд. Інтегрування виконувалось методом Рунге-Кутта четвертого порядку з використанням програми MATLAB ode45. Полюси обох пристроїв відновлення задавались однаковими $P=[-1; -0,5+j*0,5; -0,5-j*0,5]$, а відповідні матриці передачі обчислювались за допомогою програми place (A,C',P). Результати моделювання показані на рис. 1.

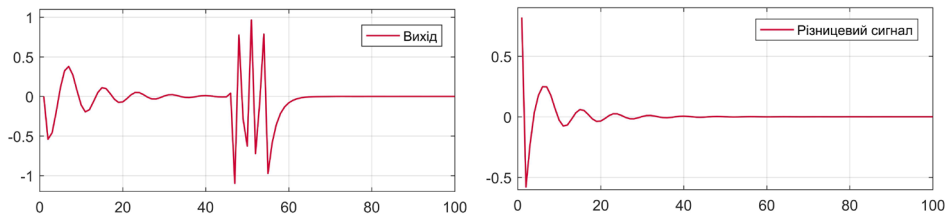


Рис. 1. Результати моделювання пристрою відновлення з невизначеним входом за наявності збурень.

Висновки

1. За результатами моделювання, неважко помітити, що пристрій відновлення з невизначеним входом реагує не на наслідок дії невідомого збурення, а на його джерело (причину), і це одна з його переваг у сенсі швидкодії. Проте, таке розширення функціональних можливостей вимагає додаткових системних ресурсів та структурованості матриці розподілу збурень Ω , тобто для виконання умови $rank(\mathbf{H}\Omega) = rank(\Omega)$ матрицю спостережень доводилось розширювати шляхом уведення допоміжних засобів спостережень і вона приймалась рівною $\mathbf{H} = [0,078 \ 1 \ 1; 0 \ 0 \ 1]$.

2. Головна перевага пристроїв відновлення повного порядку з невизначеними входами у порівнянні з іншими методами, що зазвичай використовують відновники Луенбергера заниженого порядку, проявляється у тому, що залишається більше ступенів свободи у проектуванні, після того як умови роз'єднання оцінок виходів системи від невизначених збурень уже виконані. У цьому розділі залишки ступенів свободи проектування використовувались для поліпшення інших характеристик схем функціональної діагностики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Keller, J., and Sauter, D., "Kalman Filter for discrete-time stochastic linear systems subject to intermittent unknown inputs", IEEE Trans Aut. Control, 58(7), 1882-1887 (2013).
- [2] Samir I. A. Digital Signal Processing: A Primer With MATLAB CRC Press 2020, p. 338.
- [3] Volovik A., Krylik L.; Kobylyanska I; KotyraA; Amirgaliyeva S. Methods of stochastic diagnostic type observers. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2018, Vol. 108082X4; 7 pages, doi: 10.1117/12.2501693.
- [4] Volovyk, A. Y., "Syntheses of dynamic system state vector of the observer in case of uncontrolled disturbance", of International scientific-technical Conference Radio-engineering Circuit, Signals, Devices and Systems, 41-43 (2017).

Воловик Андрій Юрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: voland@vntu.edu.ua.

Урбан Максим Вікторович – студент групи РТ-23М, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: alexlex3445@gmail.com

Volovyk Andrii U. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: voland@vntu.edu.ua.

Urban Maksym V. – student of group RT-23M, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alexlex3445@gmail.com.