

УДК 62-52

Шеремет О. І., Денисова А. М.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ УЗАГАЛЬНЕНОГО ХАРАКТЕРИСТИЧНОГО ПОЛІНОМА ДЛЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

При синтезі системи автоматичного керування важливим є забезпечення стандартних форм перехідної функції вихідної координати регулювання. Ці форми опосередковано можна представити за допомогою нулів та полюсів передавальної функції системи. У свою чергу положення на комплексній площині, як нулів, так і полюсів передавальної функції електро-механічної системи визначаються певними параметрами системи, а саме: значеннями коефіцієнтів підсилення в тому числі і зворотних зв'язків, параметрами різноманітних регуляторів, а також параметрами об'єкта регулювання [1].

У загальному випадку передавальна функція $W(p)$ системи автоматичного керування визначається передавальними функціями окремих складових її елементів, що її формують і які перебувають у певних функціональних зв'язках, що визначаються якоюсь заданою структурною схемою системи [2]. Обмежуючим фактором максимально можливої швидкодії вихідної координати регулювання запропонованих систем, служить частота пропускання джерел живлення двигунів та їх перевантажувальна здатність [3].

Розглянемо синтез регуляторів струму та швидкості електроприводу постійного струму за системою ТП-Д виходячи із загальновідомих принципів налаштування систем підпорядкованого регулювання (СПР). При цьому передбачаються допущення, що тиристорний перетворювач представляється ланкою першого порядку; параметри системи є такими, що внутрішнім зворотним зв'язком за е.р.с. можна знехтувати; потік збудження двигуна постійного струму постійний, а тому має місце співвідношення $C_e\Phi = C_m\Phi = C = \text{const}$ [4].

Метою роботи є синтез регуляторів швидкості і струму двоконтурної СПР швидкості ω_d . Спочатку перевіримо можливість методу узагальненого характеристичного полінома для більш загальної задачі, яка полягає у визначенні передавальної функції регулятора струму $W_{pc}(p)$, при невідомій його структурі. У цьому випадку передавальна функція контуру струму буде:

$$W_I(p) = \frac{\frac{K_{mn}}{T_{mn}T_{я}R_{я}}W_{pc}(p)}{\left(p + \frac{1}{T_{mn}}\right) \cdot \left(p + \frac{1}{T_{я}}\right) + \frac{K_c K_{mn} W_{pc}(p)}{T_{mn}T_{я}R_{я}}} \quad (1)$$

З виразу (1) знайдемо узагальнений характеристичний поліном $H(p)$:

$$H(p) = \frac{(p + 1/T_{mn})(p + 1/T_{я})}{K_c K_{mn} W_{pc} / (T_{mn}T_{я}R_{я})} p + 1. \quad (2)$$

Прирівнявши $H(p)$ та $H_{cm}(p)$, отримаємо:

$$\frac{(p + 1/T_{mn})(p + 1/T_{я})}{\frac{K_c K_{mn} W_{pc}(p)p}{T_{mn}T_{я}R_{я}}} = 2T_{mn}(T_{mn} p + 1). \quad (3)$$

Розв'язавши дане рівняння відносно $W_{pc}(p)$, запишемо:

$$W_{pc}(p) = \frac{T_{я}R_{я} \left(p + \frac{1}{T_{я}} \right)}{2T_{mn}K_cK_{mn}p} = \frac{R_{я}T_{я}}{2T_{mn}K_cK_{mn}} + \frac{R_{я}}{2T_{mn}K_cK_{mn}p} = K_{pc} + \frac{1}{T_{pc}p}. \quad (4)$$

Таким чином, синтезовано регулятор струму при технічному оптимумі його налаштування методом узагальненого характеристичного полінома. При цьому отримані результати є ідентичними тим, які мають місце при традиційному підході до синтезу цього регулятора [5].

Розглянемо детальніше синтез регуляторів швидкості і струму двоконтурної СПР швидкості ω_d . Вважаємо, що, наприклад, для технічного оптимуму структура регуляторів відома: П-регулятор швидкості та ІІІ-регулятор струму з параметрами $K_{рш}$, K_{pc} , T_{pc} відповідно. Якими є вирази для їх розрахунку, поки-що не відомо. Структурна схема такої системи є загальновідомою і її показано на рис. 1.

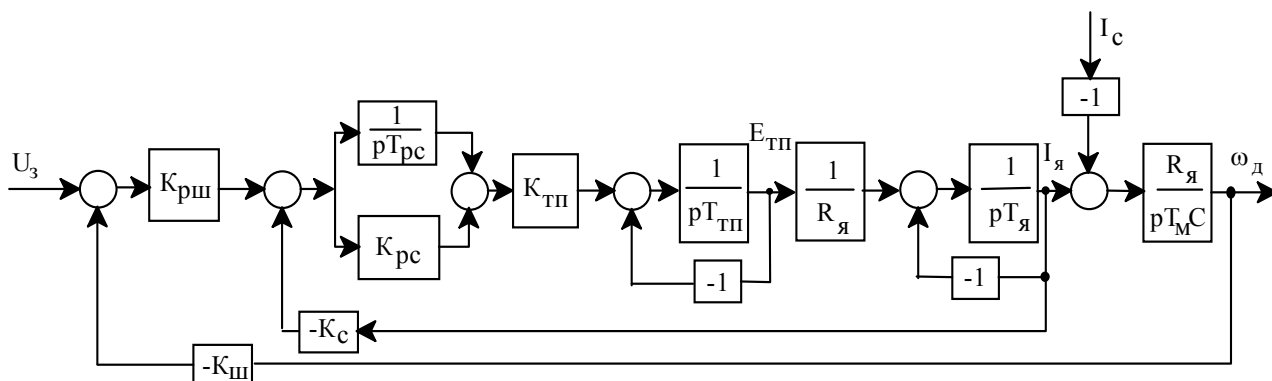


Рис. 1. Структурна схема двоконтурної СПР

Присвоївши відповідні номери інтеграторам, які приведені на рис. 1, можна записати:

$$K_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ K_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{43} & 0 \end{vmatrix}; \quad (5)$$

$$K_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & K_{13} & K_{14} \\ 0 & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ 0 & 0 & K_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Знайдемо матрицеву передатну функцію $W_{uu}(p) = X \cdot U_k^{-1}$. У цьому випадку запишемо:

$$(pE - A) = \begin{vmatrix} p & 0 & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & p & K_{22} & K_{23} \\ 0 & K_{32} & p & K_{33} \\ 0 & 0 & K_{43} & p \end{vmatrix}; \quad (7)$$

$$B_u = \begin{vmatrix} \frac{K_{pu}}{T_{pc}} & 0 & 0 & 0 \\ K_{pu}K_{pc}K_{mn} & 0 & 0 & 0 \\ T_{mn} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Матриця B_u сформована згідно з урахуванням рис. 1, а також $U_k = |U_3 \ 0 \ 0 \ 0|^T$, а тому $j = 1; i = 1; 2$.

Керуючись структурою, що на рис. 1, запишемо елементи матриці A :

$$K_{13} = -\frac{K_c}{T_{pc}}; \quad (9)$$

$$K_{14} = -\frac{K_u K_{pu}}{T_{pc}}; \quad (10)$$

$$K_{22} = -\frac{1}{T_{mn}}; \quad (11)$$

$$K_{23} = -\frac{K_c K_{pc} K_{mn}}{T_{mn}}; \quad (12)$$

$$K_{24} = -\frac{K_u K_{pu} K_{pc} K_{mn}}{T_{mn}}; \quad (13)$$

$$K_{33} = -\frac{1}{T_{mn}}; \quad (14)$$

$$K_{21} = \frac{K_{mn}}{T_{mn}}; \quad (15)$$

$$K_{32} = \frac{1}{R_{я} T_{я}}; \quad (16)$$

$$K_{43} = \frac{R_{я}}{C T_{м}}. \quad (17)$$

Отримаємо вирази передатних функцій по відношенню до U_3 , в тому числі і $W_{uu}(p) = \omega_o(p)/U_3(p)$.

$$W_{uu}(p) = \frac{\frac{K_{pu} K_{mn}}{T_{mn} T_{я} T_{м} C} \left(\frac{1}{T_{pc} p} + K_{pc} \right)}{\frac{p(1+pT_{mn})(1+pT_{я})}{T_{mn} T_{я}} + \frac{K_{mn} K_c}{T_{mn} R_{я} T_{я}} \left(\frac{1}{T_{pc} p} + K_{pc} \right) p + \frac{K_{mn} K_u K_{pu}}{T_{mn} T_{я} T_{м} C} \left(\frac{1}{T_{pc} p} + K_{pc} \right)}. \quad (18)$$

В отриманому виразі є і нулі, і полюси, які визначають динаміку системи [6]. Щоб здійснити синтез системи автоматичного керування згідно методу узагальненого характеристичного полінома, перетворимо цей вираз так, де знаменник є узагальненим характеристичним поліномом системи:

$$W(p) = \frac{1/K_{\text{ш}}}{\frac{p(1+pT_{\text{mn}})(1+pT_{\text{я}})T_{\text{м}}C}{p^2 K_{\text{mn}}K_{\text{ш}}K_{\text{рш}} \left(\frac{1}{T_{\text{рс}} p} + K_{\text{рс}} \right)} p^2 + \frac{K_{\text{с}}T_{\text{м}}C}{R_{\text{я}}K_{\text{рш}}K_{\text{ш}}} p+1}. \quad (19)$$

Вираз оптимізованої за технічним оптимумом передатної функції для двоконтурної СПР, повинен мати вигляд:

$$W_{\text{ш}}^{\text{onm}}(p) = \frac{1/K_{\text{ш}}}{8T_{\text{mn}}^2 p^2 (pT_{\text{mn}} + 1) + 4T_{\text{mn}} p+1}. \quad (20)$$

Прирівняємо складові характеристичних поліномів передатних функцій, а також доповнивши цю систему рівнянь виразом $T_{\text{я}} = K_{\text{рс}}T_{\text{рс}}$, при якому система рівнянь має розв'язки, отримаємо, що:

$$K_{\text{рш}} = \frac{K_{\text{с}}T_{\text{м}}C}{4T_{\text{mn}}R_{\text{я}}K_{\text{ш}}}; \quad (21)$$

$$K_{\text{рс}} = \frac{R_{\text{я}}T_{\text{я}}}{2T_{\text{mn}}K_{\text{mn}}K_{\text{с}}}; \quad (22)$$

$$T_{\text{рс}} = \frac{2T_{\text{mn}}K_{\text{mn}}K_{\text{с}}}{R_{\text{я}}}. \quad (23)$$

Таким чином, отримано ті ж самі загальновідомі вирази, що й при традиційному підході до синтезу, виходячи з технічного оптимуму двоконтурної СПР [7].

Для випадку, коли структура регуляторів невідома, передатна функція виражена через узагальнений характеристичний поліном, матиме вигляд:

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{1/K_{\text{ш}}}{\frac{p(1+pT_{\text{mn}})(1+pT_{\text{я}})T_{\text{м}}C}{W_{\text{рш}}(p)W_{\text{рс}}(p)K_{\text{mn}}K_{\text{ш}}p^2} p^2 + \frac{K_{\text{с}}T_{\text{м}}C}{R_{\text{я}}W_{\text{рш}}(p)K_{\text{ш}}} p+1}. \quad (24)$$

Прирівнявши відповідні складові характеристичних поліномів виразів, отримаємо наступну систему алгебраїчних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{p(1+pT_{\text{mn}})(1+pT_{\text{я}})T_{\text{м}}C}{W_{\text{рш}}(p)W_{\text{рс}}(p)K_{\text{mn}}K_{\text{ш}}p^2} &= 8T_{\text{mn}}^2 (pT_{\text{mn}} + 1), \\ \frac{K_{\text{с}}T_{\text{м}}C}{R_{\text{я}}W_{\text{рш}}(p)K_{\text{ш}}} &= 4T_{\text{mn}}. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Розв'яжемо цю систему рівнянь відносно $W_{\text{рс}}(p)$ і $W_{\text{рш}}(p)$. Отримаємо такі результати:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{R_{\text{я}}}{2T_{\text{mn}}K_{\text{с}}K_{\text{mn}}p} + \frac{T_{\text{я}}R_{\text{я}}}{2T_{\text{mn}}K_{\text{с}}K_{\text{mn}}}, \quad (26)$$

$$W_{pш}(p) = \frac{K_c T_m C}{4T_{mn} R_\alpha K_{ш}}. \quad (27)$$

Дані вирази передатних функцій є ідентичні виразам стосовно двоконтурних СПР, налаштованих на технічний оптимум.

ВИСНОВКИ

Запропонований метод узагальненого характеристичного полінома дає можливість синтезувати системи автоматичного керування на єдиних методологічних засадах, забезпечуючи комплексний підхід до формування нулів та полюсів передатних функцій систем, і ці системи автоматичного керування забезпечують керування вихідною координатою згідно з будь-якою вибраною стандартною формою перехідної функції.

Синтез методом узагальненого характеристичного полінома значно розширює можливості СПР, забезпечуючи їх динамічні показники не тільки у відповідності з технічним чи симетричним оптимумом, але й будь-якою стандартною формою перехідних функцій без використання фільтрів, а тільки за допомогою регуляторів координат регулювання.

Синтезовані системи автоматичного керування методом узагальненого характеристичного полінома дають можливість поєднати переваги систем модального регулювання (великий спектр забезпечення динамічних характеристик) і переваги СПР (поетапне налаштування контурів, обмеження проміжних координат, уніфікація налаштування контурів).

Використання методу узагальненого характеристичного полінома передбачає наявність основної (базової) величини – це задана швидкодія кінцевої координати, при вибраній стандартній формі її перехідної функції. Швидкодія проміжних координат підпорядковується цій базовій величині, на відміну від традиційних методів синтезу СПР, де базовою величиною виступає швидкодія внутрішнього, наприклад струмового контуру, а швидкодія кінцевої координати буде тим меншою, чим більше контурів утворюють систему. Обмежуючим фактором максимально можливої швидкодії вихідної координати регулювання запропонованих СПР, служить частота пропускання джерел живлення двигунів та їх перевантажувальна здатність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маруцак Я. Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним коригуванням: навч. посіб. / Я. Ю. Маруцак. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 208 с.
2. Акимов Л. В. Электромеханические системы скорости и положения с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния / Л. В. Акимов, В. И. Колотило. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 93 с.
3. Маруцак Я. Ю. Синтез регуляторів електромеханічних систем постійного струму методом узагальненого характеристичного полінома / Я. Ю. Маруцак // Технічна електродинаміка. – 2000. – № 2. – С. 72–77.
4. Маруцак Я. Ю. Використання стандартних форм розподілу коренів при синтезі електромеханічних систем методом параметричної оптимізації / Я. Ю. Маруцак // Вісник Харківського Національного політехнічного університету. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Харків: ХНПУ. – 2001. – № 10. – С. 88–90.
5. Маруцак Я. Ю. Синтез регуляторів САР електроприводу ТПЧ-АД методом узагальненого характеристичного полінома / Я. Ю. Маруцак, В. М. Кравцов // Вісник Запорізького технічного університету. Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запоріжжя: ЗДТУ. – 2000. – № 2(4). – С. 141–146.
6. Маруцак Я. Ю. Метод синтезу систем підпорядкованого регулювання, який забезпечує стандартні форми розподілу коренів характеристичного рівняння / Я. Ю. Маруцак // Вісник Харківського державного політехнічного університету. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Спец. вып. – Харків: ХДПУ. – 1998. – С. 190–192.
7. Садовой А. В. Синтез систем оптимального управління електроприводами / А. В. Садовой // Новое в технике автоматизированного электропривода. – Киев: Вища школа, 1990. – С. 104–162.