

УДК 621.365

Марущак Я.Ю., Кушнір А.П.
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра ЕАП

СИНТЕЗ ДВОКРАТНО-ІНТЕГРУЮЧИХ СИСТЕМ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ТП-Д МЕТОДОМ УЗАГАЛЬНЕНОГО ХАРАКТЕРИСТИЧНОГО ПОЛІНОМА

© Марущак Я.Ю., Кушнір А.П., 2000

Синтезовано параметри двократно-інтегруючої СПР в електроприводі ТП-Д, при яких забезпечується аперіодичний перехідний процес швидкості заданої швидкодії, а також відсутність статичної похибки швидкості при дії моменту статичного навантаження.

У виробничих механізмах та пристроях широко використовують електромеханічні системи автоматичного регулювання (САР), що побудовані за принципом підпорядкованості контурів. Це зумовлено тим, що в таких системах підпорядкованого регулювання (СПР) є можливість забезпечити уніфікацію синтезу та налагодження всіх контурів, що формують систему. Крім цього, в СПР є можливість здійснювати обмеження необхідних координат регулювання. Традиційно синтез таких електромеханічних систем здійснюється відповідно з технічним чи симетричним оптимумом [1]. Вибір того, чи іншого критерію синтезу СПР визначається потребами динамічних та статичних характеристик координат регулювання. Якщо домінуючими є вимоги до динамічних характеристик, при деякій можливій статичній похибці від дії збурень, наприклад у вигляді моменту статичного навантаження (M_c), то використовують системи, синтезовані згідно з технічним оптимумом. Якщо визначальними є вимоги відносно статичних характеристик, при можливих гірших показниках (час регулювання, значення перерегулювання, коливність) динамічних характеристик, то використовують СПР синтезовані згідно з симетричним оптимумом. У таких системах дія M_c не спричинює появу статичної похибки координати регулювання. Якщо йдеться про швидкість, як координату регулювання, то структурна схема такої двократно-інтегруючої СПР у випадку живлення двигуна постійного струму паралельного збудження від тиристорного перетворювача (система електропривода ТП-Д) показана на рис.1.

Завданням цієї роботи є синтез двократно-інтегруючої СПР, регулятори та зворотні зв'язки якої б забезпечили динамічні характеристики швидкості згідно з будь-якою стандартною формою (біноміальна, Баттерворта, Чебишова тощо) [2]. Особливо треба звернути увагу на стандартну біноміальну форму тому, що при цьому забезпечується аперіодичний перехідний процес із заданою швидкодією $\omega_0 = 10/t_p$ (t_p – час регулювання). Зрозуміло, що в силу особливостей функціонування двократно-інтегруючої СПР, вона залишиться астатичною по відношенню до M_c . Отже, йдеться про надання нових динамічних властивостей СПР, показаної на рис.1, при збереженні переваг такої структури. Це завдання можна

вирішити з використанням синтезу електромеханічної системи методом узагальненого характеристичного полінома (УХП) [3].

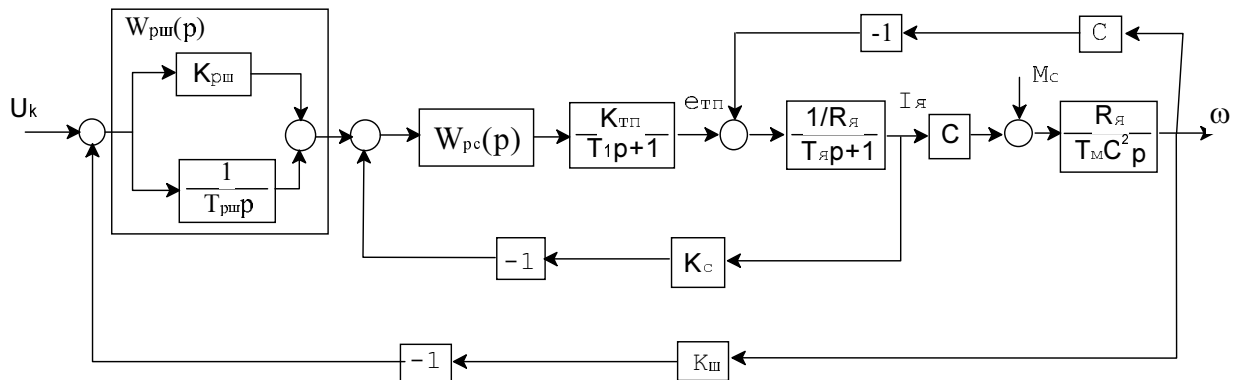


Рис.1. Структурна схема двократно-оінтегруючої СПР швидкості.

Розглянемо спочатку синтез внутрішнього струмового контуру так, як це було зроблено в роботі [4]. Згідно з рис. 1, передавальна функція струмового контуру $W_I(p)$, при нехтуванні дією внутрішнього зворотнього зв'язку за ЕРС двигуна, має вигляд

$$W_I(p) = \frac{K_{тп} W_{рс}(p)}{R_я(T_я p + 1)(T_1 p + 1) + K_с K_{тп} W_{рс}(p)},$$

де $W_{рс}(p)$ – передавальна функція регулятора струму; $K_{тп}$ – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача; T_1 – найменша постійна часу; $T_я$ – постійна часу якорного кола; $R_я$ – опір якорного кола; $K_с$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом якоря.

Розділимо чисельник і знаменник отриманого виразу на $[K_{тп} W_{рс}(p)]$. Тоді одержуємо

$$W_I(p) = \frac{1}{\frac{R_я(T_я p + 1)(T_1 p + 1)}{K_{тп} W_{рс}(p)p} p + K_с}.$$

Знаменник цього виразу і є УХП контуру струму. Прирівнявши вирази при однакових степенях p УХП та якоїсь стандартної, наприклад біноміальної, форми першого порядку $H_{I ст}(p) = p + \omega_{OI}$, отримаємо

$$\begin{cases} \frac{R_я(T_я p + 1)(T_1 p + 1)}{K_{тп} W_{рс}(p)p} = 1, \\ K_с = \omega_{OI}, \end{cases} \quad (1)$$

де ω_{OI} – швидкодія струмового контуру.

Розв'язавши систему рівнянь (1), запишемо

$$\begin{cases} W_{рс}(p) = \frac{R_я(T_я p + 1)(T_1 p + 1)}{K_{тп} p}, \\ K_с = \omega_{OI}. \end{cases} \quad (2)$$

Передавальна функція $W_{\text{ш}}(p)=\omega(p)/U_{\text{к}}(p)$ для структури, показаної на рис.1, має такий вигляд:

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{(K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1) W_{\text{I}}(p) R_{\text{я}}}{T_{\text{рш}} T_{\text{м}} C p^2 + (K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1) W_{\text{I}}(p) R_{\text{я}} K_{\text{ш}}} , \quad (3)$$

де $K_{\text{рш}}$, $T_{\text{рш}}$ – параметри ПІ-регулятора швидкості; $T_{\text{м}}$ – електромеханічна постійна часу; C – добуток конструктивного коефіцієнта двигуна на постійний потік збудження; $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (3) на $[(K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1) W_{\text{I}}(p) R_{\text{я}}]$, отримаємо

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{\frac{T_{\text{рш}} T_{\text{м}} C}{(K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1) W_{\text{I}}(p) R_{\text{я}}} p^2 + \frac{K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} K_{\text{ш}}}{(K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1)} p + \frac{K_{\text{ш}}}{K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1}} .$$

Поставимо вимогу забезпечення СПР динамічних властивостей згідно з якоюсь стандартною, наприклад біноміальною, формою другого порядку. Згідно з методом УХП з урахуванням виразів (2) отримаємо таку систему алгебраїчних рівнянь для контуру швидкості:

$$\begin{cases} \frac{T_{\text{рш}} T_{\text{м}} (p + \omega_{\text{OI}}) C}{(K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1) R_{\text{я}}} = 1 , \\ \frac{K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} K_{\text{ш}}}{(K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1)} = 2\omega_{\text{ош}} , \\ \frac{K_{\text{ш}}}{K_{\text{рш}} T_{\text{рш}} p + 1} = \omega_{\text{ош}}^2 , \end{cases} \quad (4)$$

де $\omega_{\text{ош}}$ – швидкодія контуру швидкості.

Оскільки система рівнянь (3) третього порядку, а є дві невідомі $K_{\text{рш}}$ і $T_{\text{рш}}$, то надамо статус невідомої величини ще й коефіцієнтові зворотного зв'язку за швидкістю $K_{\text{ш}}$. Розв'язавши систему рівнянь (4), отримаємо розв'язки

$$\begin{cases} T_{\text{рш}} = \frac{(p + \frac{\omega_{\text{ош}}}{2}) 2R_{\text{я}}}{(p + \omega_{\text{OI}}) \omega_{\text{ош}} T_{\text{м}} C} , \\ K_{\text{рш}} = \frac{(p + \omega_{\text{OI}}) T_{\text{м}} C}{(p + \frac{\omega_{\text{ош}}}{2}) R_{\text{я}}} , \\ K_{\text{ш}} = (2p + \omega_{\text{ош}}) \omega_{\text{ош}} . \end{cases}$$

Оскільки $K_{\text{ш}}$ залежить від оператора p , то тут потрібно говорити не про коефіцієнт зворотного зв'язку, а про передавальну функцію каналу зворотного зв'язку за швидкістю (ПД-ланка).

Очевидно, що параметри $T_{рш}$ та $K_{рш}$ повинні бути дійсними числами, а це матиме місце при виконанні умови $\omega_{ош}=2\omega_{ол}$. З урахуванням цієї умови можна записати, що

$$\begin{cases} T_{рш} = \frac{2R_я}{\omega_{ош} T_M C} , \\ K_{рш} = \frac{T_M C}{R_я} , \\ K_{ш} = (2p + \omega_{ош}) \omega_{ош} . \end{cases} \quad (5)$$

Аналізуючи вираз (5), видно, що така двоконтурна СПР з ПІ-регулятором швидкості та ПІД-регулятором струму має свої принципові особливості, а саме: швидкодія струмового контуру повинна бути вдвічі меншою від швидкодії контуру швидкості. Зворотний зв'язок за швидкістю має диференціальну складову, тобто крім жорсткого зворотного зв'язку за швидкістю є ще й гнучкий.

Дослідимо тепер вплив дії M_c на синтезовану СПР. Передавальна функція $W_{ш}^c(p)$ СПР (рис.1) по відношенню до збурення M_c з урахуванням виразів (2) і (5), має вигляд

$$W_{ш}^c(p) = \frac{\frac{R_я}{T_M C^2} p}{p^2 + 2p\omega_{ош} + \omega_{ош}^2} .$$

Отже, коефіцієнт передачі $W_{ш}^c(0) = K_{\omega}^c = 0$, тобто така САР є астатичною по відношенню до збурення M_c , а її динамічні характеристики відповідають стандартній біноміальній формі. Тим самим для синтезованої СПР властиві переваги двократно-інтегруючих систем при відсутності недоліків, що існують у СПР, синтезованих за симетричним оптимальним.

Було проведено цифрове моделювання такої системи для електропривода ТП-Д з такими параметрами: $P_H = 4,5$ кВт, $U_H = 220$ В, $I_H = 24,3$ А, $n_H = 3000$ об/хв, $R_я = 1$ Ом, $T_1 = 0,015$ с, $T_я = 0,034$ с, $T_M = 0,174$ с, $C = 0,678$ Вс, $K_{ш} = 26$.

На рис.2 показані перехідні процеси при пуску та накиді навантаження при швидкодії $\omega_{ош} = 20$ с⁻¹ (криві 1, 2) і $\omega_{ош} = 10$ с⁻¹ (криві 3, 4). Кривим 1 і 3 відповідає $I_я(t)$, а кривим 2 і 4 відповідає $\omega_d(t)$. При $t = 1.2$ с змодельовано накид навантаження.

Якщо моделювати синтезовану СПР з урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС, котрим нехтувалося під час синтезу системи, а також з урахуванням струмообмеження, то отримаємо перехідні процеси, які показані на рис.3 при $\omega_{ош} = 50$ с⁻¹. Кривій 1 відповідає $I_я(t)$, кривій 2 – $\omega_d(t)$. З рис.3 видно, що час перехідного процесу $t_p = 0,5$ с відрізняється від очікуваного ($t_p = 0,2$ с). Це наслідок дії струмообмеження, але аперіодичність координат регулювання та їх астатичність до дії M_c зберігається.

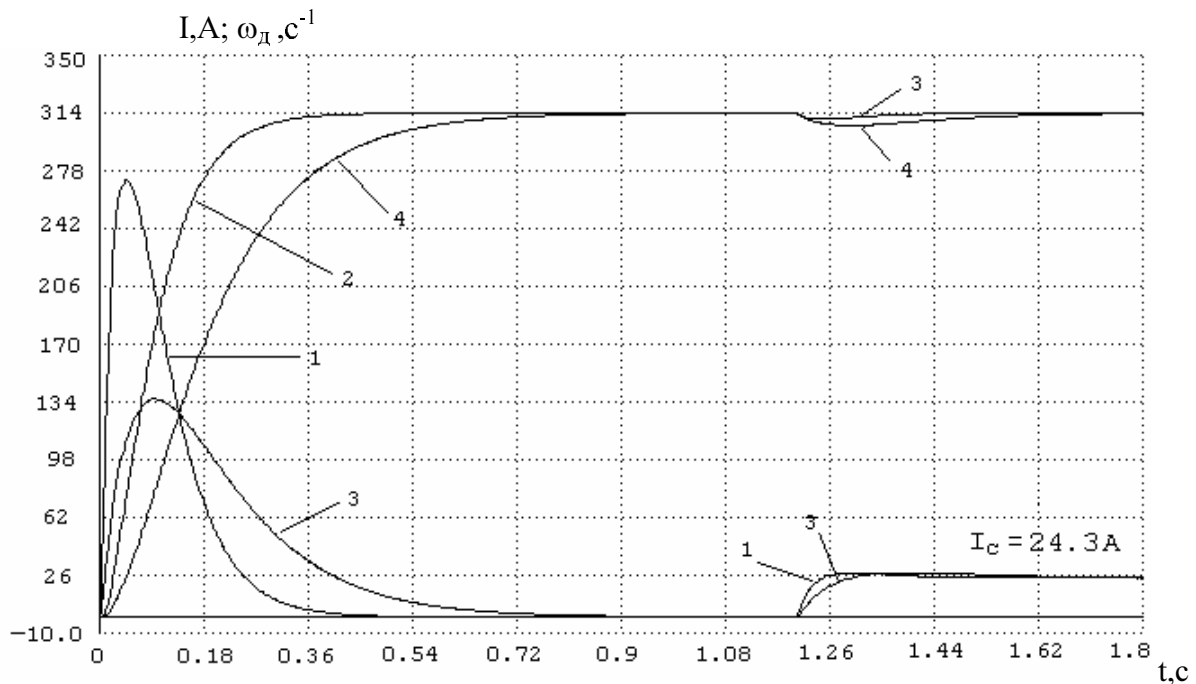


Рис.2. Перехідні процеси в двократно-інтегруючій лінійній СПР, синтезованої методом УХП.

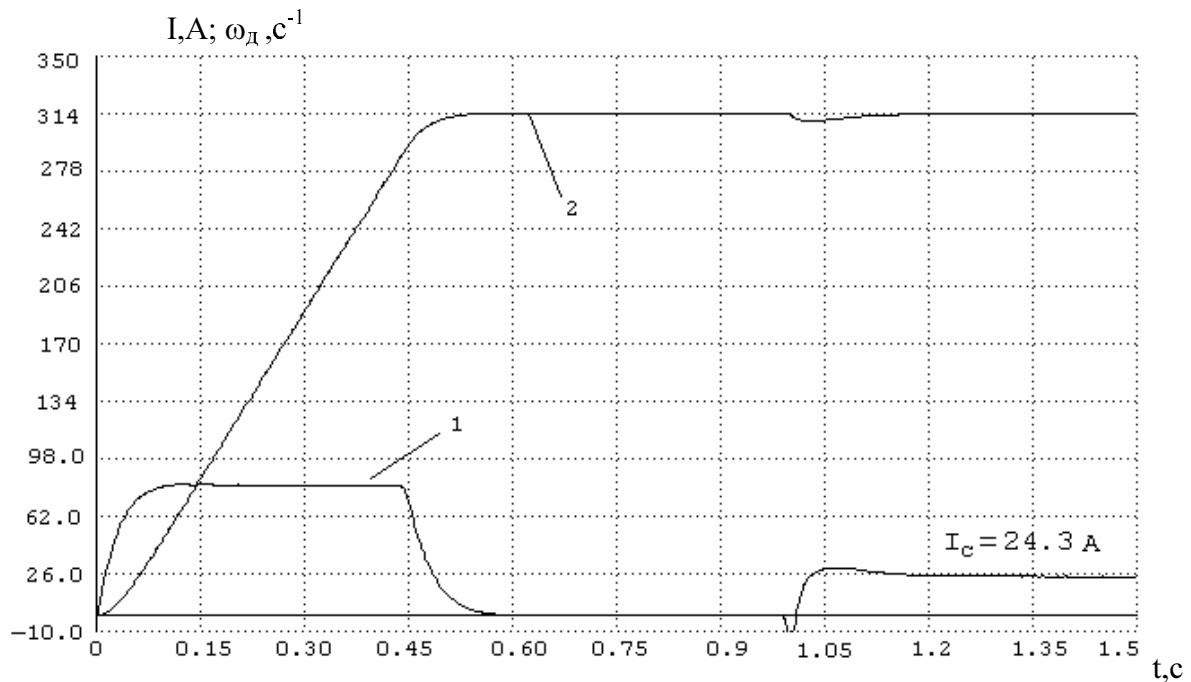


Рис.3. Перехідні процеси в двократно-інтегруючій СПР, синтезованої методом УХП при дії струмообмеження.

Висновки

1. Використання методу УХП для синтезу двократно-інтегруючих СПР забезпечує астатизм системи по відношенню до збурення M_c при будь-яких стандартних формах перехідних функцій координат регулювання, зокрема біноміальної.

2. Синтезовані регулятори СПР методом УХП дають можливість зробити базовою швидкодією кінцеву координату регулювання, якій підпорядковується швидкодія внутрішнього контуру.

3. Наявність внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС, а також дія струмообмеження не вносить суттєвого погіршення в функціонування такої СПР.

1. Лебедев Б.Д. и др. Управления вентиляными электроприводами постоянного тока. М., 1970. 2. Осичев А.В., Котляров В.О., Марков В.С. Стандартные распределения корней в задачах синтеза в электроприводе // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Тр. конф. Харьков, 1997. С.104–109. 3. Лозинский О.Ю., Марущак Я.Ю. Лозинский А.О. Некоторые аспекты формирования управляющих воздействий в электро-механических системах // Электротехника. 1999. № 5. С.52–56. 4. Марущак Я.Ю. Метод синтеза регулятора струму // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Вестн. ХГПУ (спец. вып.). Харьков, 1998. С.193–195.

УКД 621.314.014

Мещан И.В.

Запорожский государственный технический университет

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ НАГРЕВА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

© Мещан И.В., 2000

Розглянуто існуючі та перспективні електричні нагрівачі для очистки стрілочних переводів від снігу та льоду, проаналізовано різні способи нагрівання. Запропоновано використання індукційного нагрівання стрілочних переводів і на підставі проведених експериментальних досліджень доводяться переваги цього способу над нагріванням за допомогою ТЕНів.

Бесперебойная работа железнодорожного транспорта в зимних условиях в значительной степени зависит от надежной защиты путей от снега и образующегося льда, а также от своевременной их очистки.

В настоящее время стрелочные переводы очищают специальными станциопорными пневматическими устройствами для обдува стрелок с дистанционным управлением. Применяют также газо- и электрообогревательные устройства.

Электрообогревательные устройства, являющиеся наиболее компактными и удобными в эксплуатации, работают по принципу косвенного нагрева рельсов. Тепло, выде-