

СИСТЕМИ З ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Одним з методів поліпшення якості процесу регулювання є компенсація малих сталих часу ланок системи. Такі системи мають високі показники якості при відносній простоті коригуючих пристроїв [1].

У цій роботі розглядаємо та аналізуємо систему з диференціальним зворотним зв'язком, що дає змогу компенсувати малі постійні часу та досягти близьких до оптимальних показників якості.

Відповідно до структурної схеми системи з диференціальним зв'язком (рис. 1) запишемо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{W_1(s) W_2(s) W_3(s)}{1 + W_2(s) W_{K1}(s) - W_2(s) W_{K2}(s) + W_1(s) W_2(s) W_3(s)}, \quad (1)$$

де $W_2(s)$ — передаточна функція ланки, охопленої диференціальним зворотним зв'язком; $W_1(s)$, $W_2(s)$ — передаточні функції інших ланок системи; $W_{K1}(s)$, $W_{K2}(s)$ — передаточні функції коригуючих пристроїв, які утворюють диференціальний зворотний зв'язок.

Якщо вибрати передаточну функцію другого коригуючого пристрою $W_{K2}(s)$ з умови, що

$$W_{K2}(s) = W_1(s) W_3(s), \quad (2)$$

то з виразу (1) отримаємо

$$\Phi(s) = \frac{W_1(s) W_2(s) W_3(s)}{1 + W_2(s) W_{K1}(s)}. \quad (3)$$

У характеристичному рівнянні системи, яка описується передаточною функцією (3), відсутні множники $W_1(s)$ і $W_3(s)$, що надалі використовується для компенсації сталих часу цих ланок.

Запишемо передаточні функції всіх ланок системи у вигляді дробу

$$W_i(s) = \frac{k_i}{B_i(s)}, \quad (4)$$

де $B_i(s)$ — поліноми від оператора s , що мають кінцеве число дійсних і комплексно-спряжених коренів; k_i — коефіцієнти передачі окремих ланок системи.

Якщо вибрати передаточну функцію першого коригуючого пристрою $W_{K1}(s)$ з умови, що

$$W_{K1}(s) = k_1 W_3(s) = \frac{k_1 k_3}{B_3(s)},$$

то з формули (3), з урахуванням (4), після перетворення одержуємо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{k_1 k_2 k_3}{B_2(s) B_3(s) + k_1 k_2 k_3} \cdot \frac{1}{B_1(s)}. \quad (5)$$

Аналізуючи характеристичне рівняння (5) скоригованої таким чином системи, робимо висновок, що поліном $B_1(s)$ не впливає

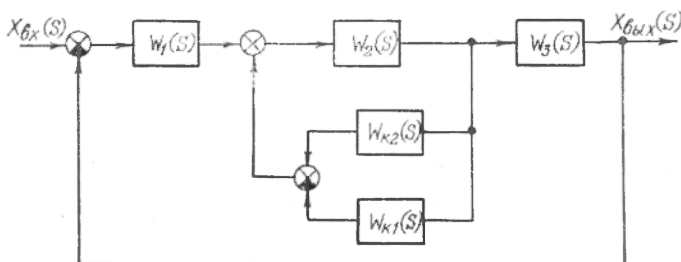


Рис. 1. Структурна схема системи з диференціальним зв'язком.

на стійкість замкнутої системи. Іншими словами, в системі скомпенсовано вплив постійних часу першої ланки $W_1(s)$ на стійкість.

Приймаючи передаточну функцію першого коригуючого пристрою

$$W_{K1}(s) = k_3 W_1(s) = \frac{k_1 k_3}{B_1(s)}$$

аналогічно попередньому, одержуємо

$$\Phi(s) = \frac{k_1 k_2 k_3}{B_1(s) B_2(s) + k_1 k_2 k_3} \cdot \frac{1}{B_3(s)}.$$

У цьому випадку в системі скомпенсовані сталі часу третьої ланки.

Для компенсації сталих часу ланки, охопленої диференціальним зворотним зв'язком, необхідно, щоб передаточна функція першого коригуючого пристрою

$$W_{K1}(s) = \frac{k_1 k_3 B_2(s)}{B_1(s) B_3(s)},$$

тоді

$$\Phi(s) = \frac{k_1 k_2 k_3}{B_1(s) B_3(s) + k_1 k_2 k_3} \cdot \frac{1}{B_2(s)}.$$

Для компенсації сталих часу всіх ланок необхідно, щоб $W_{11}(s) = k_1 k_3 B_2(s)$, тоді

$$\Phi(s) = \frac{k_1 k_2 k_3}{1 + k_1 k_2 k_3} \cdot \frac{1}{B_1(s) B_2(s) B_3(s)}$$

Таким чином, за допомогою диференціального зворотного зв'язку можна здійснити компенсацію впливу на стійкість сталих часу довільних ланок системи. Доцільно компенсувати малі сталі часу, при цьому одержують хороші показники якості перехідних процесів, які близькі до оптимальних.

Для одержання першого коригуючого пристрою, що фізично реалізується, не слід охоплювати диференціальним зворотним зв'язком ланки, сталі часу яких компенсуються.

При наявності диференціального зворотного зв'язку, що утворюється двома контурами, в одному з яких є додатний зворотний зв'язок, постає питання, як будуть впливати зміни параметрів системи на стійкість такої системи. Чи не призведе незначне порушення умови (2) до якісних змін динамічних властивостей системи, тобто чи належать такі системи до класу «грубих».

Для простоти викладок розглянемо вплив зміни коефіцієнта передачі ланок на стійкість системи.

На основі виразу (1) з урахуванням (2) і (4) для випадку компенсації сталих часу ланки $W_1(s)$ після перетворення одержуємо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{k_1 k_2 k_3}{B_2(s) B_3(s) + k_2 k_{11} - k_2 k_{21} + \beta k_1 k_2 k_3} \cdot \frac{1}{B_1(s)}, \quad (6)$$

де k_{11} і k_{21} — коефіцієнти передачі відносно першого та другого коригуючих пристроїв; β — коефіцієнт, який враховує варіацію коефіцієнтів передачі k_1 і k_2 відповідних ланок системи.

Після перетворення виразу (6) з урахуванням того, що $k_{11} = k_{21} = k_1 k_3$, запишемо рівняння системи

$$(B_2(s) B_3(s) + \beta k_1 k_2 k_3) B_1(s) = 0. \quad (7)$$

Аналізуючи характеристичне рівняння (7), робимо висновок, що система буде «грубою» відносно варіації коефіцієнтів передачі ланок системи і має достатній запас «грубості».

Якщо змінюється коефіцієнт передачі другого коригуючого пристрою, що утворює контур із додатним зворотним зв'язком, то характеристично рівняння можна записати як

$$[B_2(s) B_3(s) + k_1 k_2 k_3 (2 - \beta)] B_1(s) = 0, \quad (8)$$

де β — коефіцієнт, який враховує варіацію коефіцієнта передачі другого коригуючого пристрою.

Таким чином, система залишається «грубою» і в цьому випадку. Лише при більш як двократному збільшенні коефіцієнта передачі у характеристичному рівнянні (8) з'являється член з від'ємним знаком, що, звичайно, призводить до нестійкості системи.

Отже, системи з диференціальним зворотним зв'язком, які компенсують сталі часу ланок системи, є «грубими» і мають достатній запас стійкості при варіації коефіцієнтів передачі всіх ланок системи, в тому числі й коригуючих пристроїв.

Можливості систем з компенсацією сталих часу за допомогою диференціального зворотного зв'язку продемонструємо на прикладах систем третього і четвертого порядків. Для порівняння використаємо нормовані передаточні функції, які є базою для вибору бажаної передаточної функції, що задовольняє поставлені техніч-

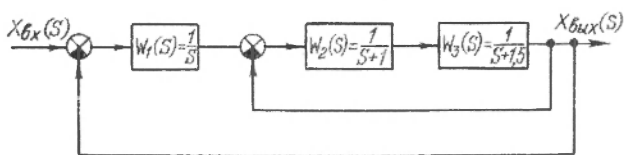


Рис. 2. Структурна схема системи, яка відповідає нормованій передаточній функції.

ні вимоги, які мають оптимальні показники якості перехідного процесу і дають змогу будувати фізично здійснені системи [2].

Розглянемо нормовану передаточну функцію з законом розподілу полюсів, що відповідають критичному затуханню перехідного процесу [2],

$$\Phi_H(s) = \frac{1}{s^3 + 2.5s^2 + 2.5s + 1}.$$

На рис. 2 показана структурна схема системи, яка скоригована звичайним жорстким зворотним зв'язком і відповідає нормованій передаточній функції, в чому можна переконатись, записавши передаточну функцію замкнутої системи.

Вважаючи, що перша ланка — регулятор, параметри якого можна вибирати довільно, а друга та третя ланки — незмінна частина системи, побудуємо систему з диференціальним зворотним зв'язком (рис. 3), в якій компенсується стала часу ланки $W_3(s)$.

Згідно з рис. 3, записуємо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{k_1 \frac{1}{s+1}}{1 + \frac{k_1}{0.366} \frac{1}{s+1}} \cdot \frac{1}{s+1.5}.$$

Після перетворень одержуємо

$$\Phi(s) = \frac{\frac{k_1}{1+0,666k_1}}{\frac{s}{1+0,666k_1} + 1} \cdot \frac{0,666}{0,666s+1}$$

При коефіцієнті підсилення $k_1 > 10$ перехідна функція системи з достатньою точністю описується виразом

$$h(t) := \frac{0,666k_1}{1+0,666k_1} (1 + e^{-\frac{t}{0,666}}).$$

Порівняння перехідних процесів показало, що час перехідного процесу в системі з диференціальним зворотним зв'язком $t_p = 1,87$, а нормований $t_n = 4,8$.

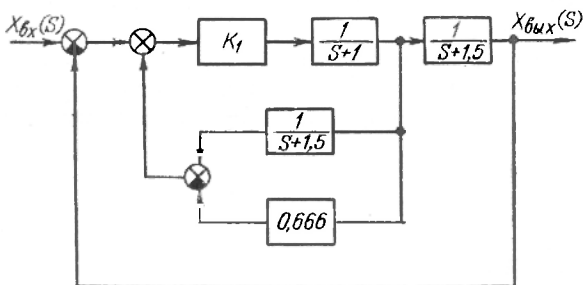


Рис. 3. Структурна схема системи другого порядку з диференціальним зворотним зв'язком.

Для систем четвертого порядку нормована передаточна функція [2]

$$\Phi_n(s) = \frac{1}{s^4 + 3s^3 + 4,25s^2 + 3s + 1}.$$

Їй відповідає структурна схема, аналогічна рис. 2, передаточна функція внутрішнього розімкнутого контура якої після розкладу на множники,

$$W_n(s) = \frac{1}{(s+1,83)(s^2+2,1s+1,13)}.$$

На основі рис. 1, 3 можна скласти структурну схему системи з диференціальним зворотним зв'язком, в якій скомпенсовано комплексно-спряжені сталі часу, що відповідає компенсації сталих часу коливної ланки.

Відповідно записуємо передаточну функцію замкнутої системи у вигляді

$$\Phi(s) = \frac{\frac{k_1 \cdot 0,54}{1+k_1 \cdot 0,48}}{\frac{0,54}{1+k_1 \cdot 0,48} s + 1} \cdot \frac{1}{s^2 + 2,1s + 1,13}$$

При коефіцієнті підсилення $k_1 > 10$ малою сталою часу можна нехтувати, тоді перехідна функція системи з достатньою точністю описується виразом

$$h(t) = \frac{0,88k_1}{1 + 0,88k_1} [1 - 5,6e^{-1,06t} \sin(0,19t + \arctg 0,178)],$$

де 1,06 і 0,19 — дійсна та уявна частини коренів характеристичного рівняння.

Порівняння перехідних процесів показало, що час перехідного процесу в системі третього порядку з диференціальним зворотним зв'язком $t_p = 4,5$, а нормований $t_n = 5,5$.

У більшості випадків у реальних системах є малі сталі часу, які значно менші порівняно зі сталими часу нормованих передаточних функцій, тому показники якості таких систем з диференціальним зворотним зв'язком вищі порівняно з нормованими, що наведені в цій роботі.

Таким чином, застосування диференціального зворотного зв'язку дає змогу відносно просто будувати системи, які мають більш високі показники якості порівняно зі звичайними методами корекції.

Список літератури: 1. Боровиков М. А., Инешин А. П. Способ коррекции систем автоматического регулирования. — Электричество, 1972, № 9. 2. Соколов Н. Н. Аналитический метод синтеза линеаризованных систем автоматического регулирования. М., «Машиностроение», 1966.

N. M. LUTSKIV, I. T. STREPKO

DIFFERENTIAL FEEDBACKS SYSTEMS

Summary

Differential feedbacks systems allowing to compensate influence on stability of individual time constants and to improve the quality of transitive procesaes are under investigation.

The stability of such systems is also analized. Here also given the results of comparison of transitive processes quality proving the truth of the results obtained.