

УДК 621.3.078.

М. М. ЛУЦКІВ

ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗБУРЕНЬ У СИСТЕМАХ З КОМПЕНСАЦІЄЮ ВПЛИВУ ЗАПІЗНЕННЯ

Найбільш простим і ефективним способом боротьби з негативним впливом запізнення на якість процесу регулювання є спосіб компенсації впливу запізнення [2, 3]. Однак системи з компенсацією впливу запізнення (КВЗ) мають суттєвий недолік — не компенсують збурень, які діють на ланку з запізненням не по каналу керування.

Дослідження показали, що в системах з КВЗ можна усунути похибку збурення. Для цього потрібно сигнал випередження (рис. 1) пропускати через роздільний пристрій, що не пропускає постійної складової сигналу X_B .

Запишемо передаточну функцію замкнутої системи (рис. 1) відносно збурення

$$\Phi_{f1}(s) = \frac{W_{o1}(s) W_{o2}(s) e^{-\tau s} (1 + W_p(s) W_{k1}(s) W_g(s))}{1 + W_p(s) W_{k1}(s) W_g(s) - W_p(s) W_{o1}(s) W_{m2}(s) W_g(s) e^{-\tau s} + \dots + W_p(s) W_{o1}(s) W_{o2}(s) e^{-\tau s}}, \quad (1)$$

де $W_p(s)$ — передаточна функція регулятора; $W_{o1}(s) e^{-\tau s}$ — передаточна функція ланки з запізненням; $W_{o2}(s)$ — передаточна функ-

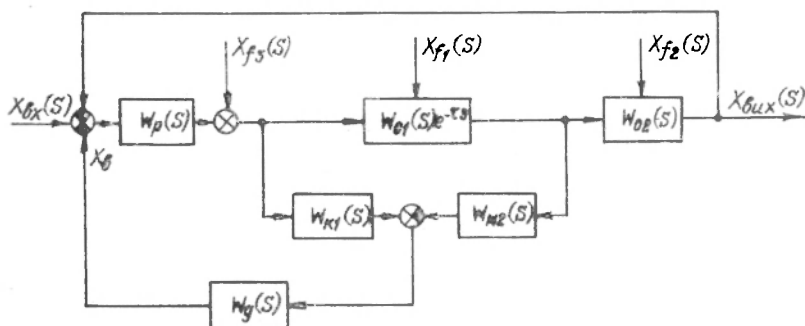


Рис. 1. Структурна схема системи з КВЗ і роздільним пристроєм.

ція інших ланок системи; $W_{m2}(s)$ — передаточна функція моделі; $W_{k2}(s)$ — передаточна функція коригуючого пристрою; $W_g(s)$ — передаточна функція розділяючого пристрою; τ — час запізнення.

Якщо виконати умову компенсації запізнення [2, 3]

$$W_{m2}(s) = W_{o2}(s) \text{ та } W_{k2}(s) = W_{o1}(s) \quad (2)$$

і записати передаточні функції у вигляді виразів

$$W_i(s) = \frac{K_i}{B_i(s)}, \quad (3)$$

то після перетворення з (1) матимемо

$$\Phi_{f1}(s) = \frac{K_{10} K_{o2} e^{-\tau s} (B_p(s) B_{o1}(s) B_{o2}(s) + K_p K_{o1} K_{o2} W_g(s)) - \frac{1}{B_{o1}(s) B_{o2}(s)}}{B_p(s) B_{o1}(s) B_{o2}(s) + K_p K_{o1} K_{o2} W_g(s) + K_p K_{o1} K_{o2} (1 - W_g(s)) e^{-\tau s}}.$$

Прийнявши, що передаточна функція роздільного пристрою

$$W_g(s) = \frac{T_p s}{T_p s + 1},$$

остаточно запишемо

$$\Phi_{f1}(s) = \frac{K_{01}K_{02}e^{-\tau s} [B_p(s)B_{01}(s)B_{02}(s)(T_p s + 1 + K_p K_{01}K_{02})] \frac{1}{B_{01}(s)B_{02}(s)}}{B_p(s)B_{01}(s)B_{02}(s)(T_p s + 1) + K_p K_{01}K_{02}T_p s + K_p K_{01}K_{02}e^{-\tau s}} \quad (4)$$

Якщо зробити великим коефіцієнт передачі розімкнутої системи $K = K_p K_{01} K_{02}$, то сталі часу поліномів $B_p(s)$, $B_{01}(s)$, $B_{02}(s)$ і стала часу T_p порівняно зі сталою часу KT_p при якісному дослідженні відпрацювання збурень можна не враховувати. Тоді з (4) одержуємо

$$\Phi_{f1}(s) = \frac{K_{01}K_{02}e^{-\tau s}(1 + KT_p s)}{(1 + KT_p s + K e^{-\tau s})B_{01}(s)B_{02}(s)} \quad (5)$$

Розглянемо статичний режим роботи системи. Для цього відповідно до теореми про кінцеве значення функції, що визначається за

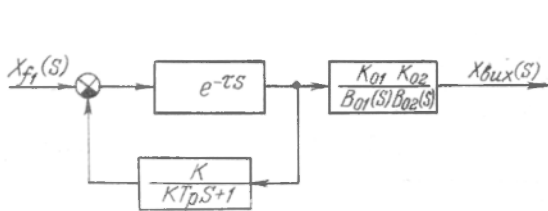


Рис. 2. Еквівалентна структурна схема.

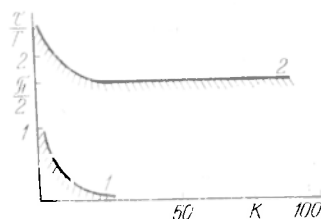


Рис. 3. Графічне зображення області стійкості.

зображенням Лапласа, замінимо оператор s на нуль, вважаючи збурення ступінчастим. Враховуючи, що $B(0) = 1$, маємо

$$\Phi_{f1}(0) = \frac{K_{01}K_{02}}{1 + K}$$

Таким чином, у системах з КВЗ і роздільним пристроєм компенсуються постійні збурення, що діють на ланку з запізненням не по каналу управління.

Вираз (5) передаточної функції замкнутої системи по збуренню можна ще записати так:

$$\Phi_{f1}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{1 + \frac{K}{KT_p s + 1} e^{-\tau s}} \cdot \frac{K_{01}K_{02}}{B_{01}(s)B_{02}(s)}$$

Для наочності на рис. 2 показана еквівалентна структурна схема системи при відпрацюванні збурення. Аналіз структурної схеми свідчить, що перехідний процес у системах з КВЗ і роздільним пристроєм при відпрацюванні збурень визначається в основному сталою часу роздільного пристрою, часом запізнення та коефіцієнтом передачі розімкнутої системи. Параметри об'єкта меншою мірою впливають на перехідний процес. Практично збільшення швидкодії системи при відпрацюванні збурень, що здійснюється за рахунок зменшення сталої часу роздільного пристрою, обмежено

через погіршення якості процесу регулювання при відпрацюванні керуючих збурень. У системах стабілізації для усунення цієї суперечності доцільно мати один роздільний пристрій з великою сталою часу, що вмикається при відпрацюванні задаючих збурень, а інших з малою, що вмикається при нормальному режимі стабілізації.

Величина сталої часу роздільного пристрою визначається за формулою

$$T_p \gg 2T_6 + 4\tau,$$

де T_6 — найбільша стала часу однієї з ланок системи.

У режимі стабілізації стану часу T_p можна зменшити в 3–4 рази.

Проаналізуємо стійкість систем з КВЗ і роздільним пристроєм. Для цього запишемо передаточну функцію замкнутої системи при дотримуванні умови компенсації запізнення (2)

$$\Phi(s) = \frac{W_p(s)W_{01}(s)W_{02}(s)e^{-\tau s}}{1 + W_p(s)W_{01}(s)W_{02}(s)W_g(s) + W_p(s)W_{01}(s)W_{02}(s)(1 - W_g(s))e^{-\tau s}}.$$

Підставляючи замість окремих передаточних функцій відповідні вирази (3), після перетворень маємо

$$\Phi(s) = \frac{K_p K_{01} K_{02} e^{-\tau s}}{B_p(s)B_{01}(s)B_{02}(s) + K_p K_{01} K_{02} W_g(s) + K_p K_{01} K_{02} (1 - W_g(s))e^{-\tau s}}.$$

Вважаючи, що

$$W_g(s) = \frac{T_p s}{T_p s + 1},$$

після підстановки і перетворень записуємо

$$\Phi(s) = \frac{(T_p s + 1)K_p K_{01} K_{02} e^{-\tau s}}{B_p(s)B_{01}(s)B_{02}(s)(T_p s + 1) + K_p K_{01} K_{02} T_p s + K_p K_{01} K_{02} e^{-\tau s}}.$$

При великому коефіцієнті передачі розімкнутої системи, що можна зробити у системах з КВЗ, сталі часу поліномів $B_p(s)$, $B_{01}(s)$, $B_{02}(s)$ і стала часу T_p значно менші порівняно зі сталою часу $K T_p$. Тому при суттєвій величині запізнення під час аналізу стійкості ці сталі часу можна не враховувати. Тоді з останнього виразу запишемо

$$\Phi(s) = \frac{K}{1 + K T_p s - K e^{-\tau s}}.$$

На основі цього виразу запишемо еквівалентну передаточну функцію розімкнутої системи при одиничному зворотному зв'язку

$$W(s) = \frac{K}{K T_p s + 1} e^{-\tau s}$$

і на її основі проаналізуємо стійкість [1].

Вираз частотної характеристики еквівалентної розімкнутої системи має вигляд

$$W(j\omega) = \frac{K}{1 + j\omega K T_p} e^{-j\omega\tau}$$

Прирівняємо модуль одиниці

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 K^2 T_p^2}} = 1.$$

Звідси визначається частота, що відповідає границі стійкості

$$\omega_1 = \frac{\sqrt{K^2 - 1}}{K T_p}.$$

Фазовий зсув на цій частоті

$$\varphi_1 = -\arctg \omega_1 K T_p = -\arctg \sqrt{K^2 - 1}.$$

Враховуючи, що критичне запізнення

$$\tau_{kp} = \frac{\pi + \varphi_1}{\omega_1},$$

знаходимо критичне запізнення для системи

$$\tau_{kp} = K T_p \frac{\pi - \arctg \sqrt{K^2 - 1}}{\sqrt{K^2 - 1}}. \quad (6)$$

При великих коефіцієнтах передачі розімкнутої системи критичний час запізнення визначається величиною сталої часу роздільного пристрою і дорівнює

$$\tau_{kp} = \frac{\pi}{2} T_p.$$

За виразом (6) на рис. 3 побудована область стійкості в координатах «коефіцієнт передачі розімкнутої системи—відносне запізнення». Там же для порівняння нанесена область стійкості для звичайних систем першого порядку з запізненням (крива 2).

Якщо зрівняти можливості звичайної системи першого порядку з запізненням і системи з КВЗ і роздільним пристроєм, то останні мають значні переваги. Шляхом вибору сталої часу роздільного пристрою систему довільного порядку завжди можна зробити стійкою і малочутливою до значної зміни величини часу запізнення при досить великому коефіцієнтові передачі розімкнутої системи.

Дослідження, проведені на моделюючій машині, показали, що якість перехідного процесу в системах з КВЗ і роздільним пристроєм не гірша, ніж у звичайних системах без запізнення, що повністю підтверджує наведений теоретичний аналіз.

Проведений аналіз і результати моделювання показують значні переваги систем з КВЗ і роздільним пристроєм і розкривають широкі перспективи їх використання.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М., «Наука», 1972.

2. Боровиков М. А., Инешин А. П., Логинов Г. В. Анализ систем с запаздыванием, компенсируемых инвариантным упредителем. Материалы Первой поволжской конференции по автоматическому управлению. Казань, 1971.

3. Луцкив Н. М. К вопросу синтеза систем автоматического регулирования с компенсацией влияния запаздывания.— «Известия ВУЗов. Электромеханика», 1972, № 8.

N. M. LUTSKIV

STUDY OF PERTURBATION IN THE DELAY COMPENSATION SYSTEMS

Summary

The author presents the possibility of studying perturbation in the delay compensation systems. The stability of such systems are examined. The data obtained can be widely used in future.