

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.3.078.3

М. М. ЛУЦКІВ, І. Т. СТРЕПКО

АНАЛІЗ ІНВАРІАНТНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАПІЗНЕННЯМ

Незважаючи на значну кількість наукових робіт, в яких досліджуються інваріантні системи, питання інваріантності у системах з розподіленими параметрами та запізненням розроблені мало [1, 2, 4].

Розглянемо інваріантну систему, що має ланку з запізненням, структурна схема якої показана на рис. 1. Передаточна функція замкнутої системи відносно збурення X_{f1} , що діє на вході ланки з запізненням

$$\Phi_{f1}(s) = \frac{X_{\text{вих}}(s)}{X_{f1}(s)} = \frac{W_{i1}(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}}{1 + W_{i1}(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}},$$

де $W_1(s)$ — передаточна функція частини системи, що розміщена перед ланкою з запізненням; $W_2(s)e^{-\tau s}$ — передаточна функція ланки з запізненням; $W_{i1}(s)$ — передаточна функція коригуючого пристрою допоміжного каналу інваріантної системи; τ — час запізнення.

З умови абсолютної інваріантності [5]

$$W_{i1}(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} = 0 \quad (1)$$

визначаємо передаточну функцію коригуючого пристрою

$$W_{i1}(s) = \frac{1}{W_1(s)} \quad (2)$$

Якщо точка дії збурення X_{f2} розміщена після ланки з запізненням, то передаточна функція замкнутої системи відносно збурення набирає вигляду:

$$\Phi_{f2}(s) = \frac{W_{i1}(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_3(s)}{1 + W_{i1}(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}}. \quad (3)$$

З умови абсолютної інваріантності

$$W_{i1}(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_3(s) = 0 \quad (4)$$

знаходимо передаточну функцію коригуючого пристрою

$$W_{i1}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{W_1(s)W_2(s)}. \quad (5)$$

Таким чином, для реалізації інваріантних систем з запізненням відносно збурень, що прикладені після ланки з запізненням, потрібні відносно складні і дорогі завбачаючі пристрої. Тому такі системи можна використовувати тільки в окремих випадках.

Передаточна функція замкнутої системи інваріантною відносно сигналу керування $X_{вх}$ (на рис. 1 показано пунктиром) запишеться

$$\Phi(s) = \frac{W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} + W_{i2}(s)W_1(s)W_3(s)e^{-\tau s}}{1 - W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}}$$

Для досягнення абсолютної інваріантності відносно сигналу керування необхідно, щоб [5]

$$\Phi(s) = 1. \quad (6)$$

Звідси визначаємо передаточну функцію коригуючого пристрою

$$W_{i2}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{W_2(s)W_3(s)}. \quad (7)$$

Таким чином, для реалізації інваріантних систем відносно сигналу керування потрібно завбачаючий пристрій. Для систем про-

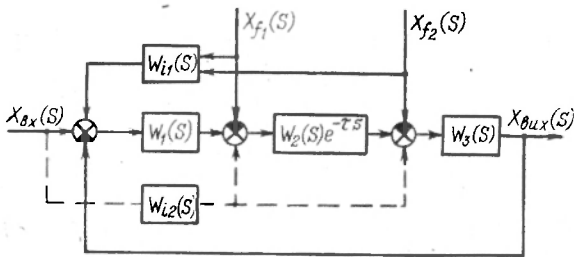


Рис. 1. Структурна схема системи із запізненням інваріантною відносно збурень і сигналу керування.

грамного керування побудова завбачаючого пристрою проста, для цього необхідно додатково відновити програму раніше на час запізнення τ .

Якщо допоміжний канал під'єднати після ланки з запізненням, то передаточна функція коригуючого пристрою

$$W_{i2}(s) = \frac{1}{W_3(s)} \quad (8)$$

аналогічна передаточній функції коригуючого пристрою звичайної системи без запізнення. Тому такому під'єднанню коригуючої ланки потрібно, якщо це можливо, надавати перевагу при проектуванні інваріантних систем з запізненням.

Формально в інваріантних системах похибка регулювання завжди дорівнює нулю і тому не залежить від виду полінома знаменника. Практично точно задовольнити умову абсолютної інваріантності важко, тому необхідно формувати поліном знаменника передаточної функції інваріантної системи так, щоб система була стійкою. Наявність запізнення у системі ускладнює це завдання. Найбільш простим і ефективним методом боротьби із шкідливим впливом запізнення на якість процесу регулювання є метод компенсації впливу запізнення [2], який придатний і для інваріантних систем з запізненням [4].

Розглянемо систему з запізненням інваріанту відносно сигналу керування $X_{\text{кр.}}$. Відносно до структурної схеми рис. 2 запишемо передаточну функцію замкнутої системи

$$\Phi(s) = \frac{W_i(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}[1 + W_1(s)W_k(s)] + W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}}{1 + W_1(s)W_k(s) - W_1(s)W_2(s)W_{\text{кр.}}(s)e^{-\tau s} + W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}} \quad (9)$$

Якщо виконати умову, щоб

$$W_{\text{кр.}}(s) = W_3(s), \quad (10)$$

яка називається умовою компенсації запізнення [2], то із (9) одержуємо

$$\Phi(s) = \frac{W_i(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}[1 + W_1(s)W_k(s)] + W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}}{1 + W_1(s)W_k(s)}$$

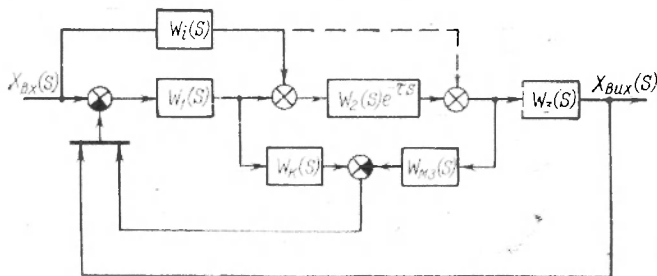


Рис. 2. Структурна схема системи з компенсацією впливу запізнення інваріантної відносно сигналу керування.

Характеристичне рівняння системи не містить множника $e^{-\tau s}$, а це означає, що запізнення не впливає на стійкість, або що в інваріантній системі скомпенсовано вплив запізнення. З умови (6) абсолютної інваріантності і (10) визначаємо передаточну функцію коригуючого пристрою допоміжного каналу.

$$W_k(s) = \frac{[1 + W_1(s)W_k(s)]e^{-\tau s} - W_1(s)W_2(s)W_3(s)}{W_2(s)W_3(s)[1 + W_1(s)W_k(s)]} \quad (11)$$

Для реалізації такої інваріантної системи, як і в попередньому випадку, потрібно завбачаючий пристрій. Якщо допоміжний канал під'єднується після ланки з запізненням (на рис. 2 показано пунктиром), то

$$W_k(s) = \frac{1 + W_1(s)W_k(s) - W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}}{W_3(s)[1 + W_1(s)W_k(s)]}$$

У такому випадку для реалізації інваріантної системи необхідний блок постійного запізнення. Для слідкуючих систем і систем стабілізації реалізація блока постійного запізнення простіша, ніж завбачаючого пристрою, тому в таких системах краще приєднувати допоміжний канал після ланки з запізненням.

Як відомо, у системах з компенсацією впливу запізнення наявна похибка, викликана збуреннями, що діють на ланку

з запізненням. Для усунення її сигнал випередження X_B пропускають через розділяючий пристрій $W_d(s)$, що не пропускає постійної складової сигналу випередження (на рис. 3 показано пунктиром). Для сталої часу розділяючого пристрою ставляться протилежні вимоги. Щоб поліпшити відпрацювання сигналу керування $X_{вх}$, потрібно мати велику сталу часу розділяючого пристрою, а при відпрацюванні збурення X_{f1} слід зменшувати. Цю суперечність можна усунути, вибравши великою сталу часу розділяючого пристрою і скориставшись принципом інваріантності. Якщо стала часу велика, то вона практично не впливає на якість процесу регулювання при відпрацюванні керуючих сигналів, тому далі не враховується.

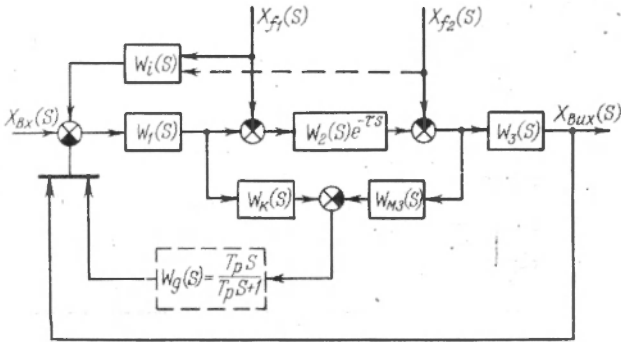


Рис. 3. Структурна схема системи з компенсацією впливу запізнення інваріантної відносно збурень.

Згідно зі структурною схемою рис. 3 інваріантної системи з компенсацією впливу запізнення, запишемо передаточну функцію замкнутої системи відносно збурення X_{f1} при умові (10) компенсації впливу запізнення

$$\Phi_{i1}(s) = \frac{W_i(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}[1 + W_1(s)W_k(s)]}{1 + W_1(s)W_k(s)}$$

З умови абсолютної інваріантності

$$W_i(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s}[1 + W_1(s)W_k(s)] = 0$$

визначаємо передаточну функцію допоміжного каналу інваріантної системи з компенсацією впливу запізнення

$$W_i(s) = \frac{1 + W_1(s)W_k(s)}{W_1(s)}, \text{ або } W_i(s) = \frac{1}{W_1(s)} + W_k(s). \quad (12)$$

Зіставляючи вирази (2) і (12) передаточних функцій коригуючих пристроїв допоміжного каналу інваріантних систем, бачимо, що в інваріантній системі з компенсацією впливу запізнення коригуючий пристрій дещо складніший, але вимоги до фізичної реалізації цих пристроїв в обох випадках однакові.

Якщо точка прикладення збурення X_{f2} розміщена після ланки з запізненням (на рис. 3 показано пунктиром), то передаточна

функція замкнутої системи відносно збурення X_{f2} при умові (10) компенсації впливу запізнення

$$\Phi_{fz}(s) = \frac{W_2(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)e^{-\tau s} - W_2(s)[1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)(1 - e^{-\tau s})]}{1 + W_1(s)W_3(s)}$$

З умови абсолютної інваріантності визначаємо передаточну функцію коригуючого пристрою допоміжного каналу

$$W_1(s) = \frac{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)(1 - e^{-\tau s})}{W_1(s)W_2(s)e^{-\tau s}},$$

$$\text{або } W_1(s) = \left[\frac{1}{W_1(s)W_2(s)} + W_2(s) \right] e^{\tau s} - \frac{1}{W_1(s)W_2(s)} - W_2(s). \quad (13)$$

Порівнюючи вирази (5) і (13) передаточних функцій допоміжних коригуючих пристроїв інваріантних систем, бачимо, що аналогічно до звичайних систем з запізненням для реалізації інваріантних систем з компенсацією впливу запізнення потрібні завбачаючі пристрої.

Для перевірки одержаних результатів проводили моделювання інваріантної системи з компенсацією впливу запізнення з такими вихідними даними:

$$W_1(s) = \frac{167}{0,1s + 1}; \quad W_2(s) = \frac{0,3}{s + 1} e^{-0,5s}; \quad W_3(s) = \frac{1}{0,5s + 1}$$

Коригуючі пристрої визначались за методикою [4].

На рис. 4 показані осцилограми перехідного процесу при відпрацюванні збурень, прикладених до ланки з запізненням в інваріантній системі з компенсацією впливу запізнення (крива 2) і для порівняння процесу (крива 1) в аналогічній системі без запізнення і без допоміжного інваріантного каналу. Величина перерегулювання в інваріантній системі з компенсацією впливу запізнення більше ніж у шість разів менша порівняно з величиною перерегулювання у звичайній системі. Швидкодія зростає більше ніж у два рази.

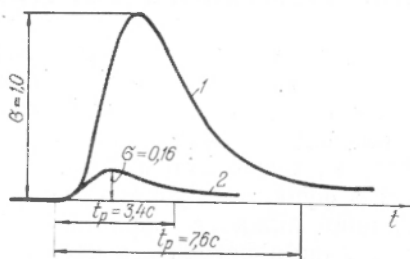


Рис. 4. Осцилограми перехідного процесу.

Таким чином, застосування інваріантних систем з компенсацією впливу запізнення досить ефективний засіб для поліпшення якості процесу регулювання у системах із запізненням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А л и е в Р. Промышленные инвариантные системы автоматического управления. М., «Энергия», 1971.
2. Б о р о в и к о в А. М., И н е ш и н А. П., Л о г и н о в Г. В. Анализ систем с запаздыванием, компенсируемых инвариантным упредителем.— В сб.: Материа-

ы Первой Поволжской конференции по автоматическому управлению. Казань, 1971.

3. Девятков Б. Н. Теория переходных процессов в технологических аппаратах с точки зрения задач управления. Новосибирск, 1964.

4. Луцкий Н. М. Инвариантные системы с компенсацией влияния запаздывания.— «Приборы и системы автоматки», 1973, вып. 27.

5. Современные методы проектирования систем автоматического управления. Под ред. Б. Н. Петрова. М., «Энергия», 1967.

N. M. LUTSKIV, I. T. STREPKO

ON THE PROBLEM OF ANALYSIS OF INVARIANT SYSTEM WITH DELAY

S u m m a r y

Invariant systems with delay and invariant systems with delay-effects compensation are analysed. Conditions of absolute invariance and physical actualization of systems are deduced.