

УДК 681.513.6

РЕАЛІЗАЦІЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Лобода О. І., к.т.н.,

Дубініна С. В., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-57-97, e-mail: aleks_loboda@mail.ru

Анотація – запропоновано спосіб реалізації адаптивної системи автоматичного керування, заснований на використанні підлаштованого двоканального коригуючого пристрою динамічних характеристик систем автоматичного керування, що надає можливість визначення фазового зсуву за значеннями коефіцієнту передачі по амплітудам, значно підвищує ефективність і спрощує розрахунки для адаптивних систем керування з нестационарними параметрами.

Ключові слова – адаптивні системи автоматичного керування, амплітудно-частотна характеристика, якісні показники, коефіцієнт передачі, сигнал пошуку, ПД-регулятор, фазо-частотна характеристика.

Постановка проблеми. Суть адаптивного керування полягає в тому, що в залежності від зміни параметрів об'єкта управління, змінюється коефіцієнт передачі коректора або створюваний ним фазовий зсув. Ці зміни відбуваються тільки в тих випадках, коли якість САК стає незадовільною внаслідок зміни властивостей об'єкта керування або впливу на об'єкт керування збурень. Це дозволяє забезпечити і підвищити якісні показники систем, особливо в перехідних процесах.

Аналіз останніх досліджень. Пристрої корекції адаптивних систем керування можна розділити на лінійні, нелінійні і псевдолінійні [1-3]. Основний недолік лінійних коректорів – це те, що зміна параметрів впливає на АЧХ і ФЧХ одночасно. Застосування нелінійних коректорів пов'язане з проблемою обліку залежності частотних характеристик від амплітуди гармонічних коливань вхідного сигналу [4]. Застосування адаптивного псевдолінійного коректору динамічних характеристик дозволяє отримувати необхідні АФЧХ. Зазвичай ці пристрої мають два канали: амплітудний і фазовий, що настроюються незалеж-

но один від одного [4]. При цьому частотні характеристики псевдолінійних коригуючих пристроїв не залежать від амплітуди гармонічних коливань вхідного сигналу [2].

Формулювання цілей статті. Проведення обґрунтування використання запропонованої реалізації адаптивної системи на основі її підстроювання з використанням двоканального псевдолінійного коригуючого блоку за рахунок підвищення запасу стійкості за амплітудою і фазою.

Основна частина. Застосування псевдолінійних коригуючих пристроїв дозволяє забезпечити необхідну якість САК в широкому діапазоні зміни параметрів об'єкта керування і характеру збурюючих впливів, а також їх можна розглядати і як додатковий пристрій з формування керуючого впливу, що підвищує якість керування, для звичайних САК.

Структурна схема псевдолінійного двоканального коригуючого пристрою представлена на рисунку 1. Цей пристрій в звичайних схемах автоматизації включається послідовно з регулятором.

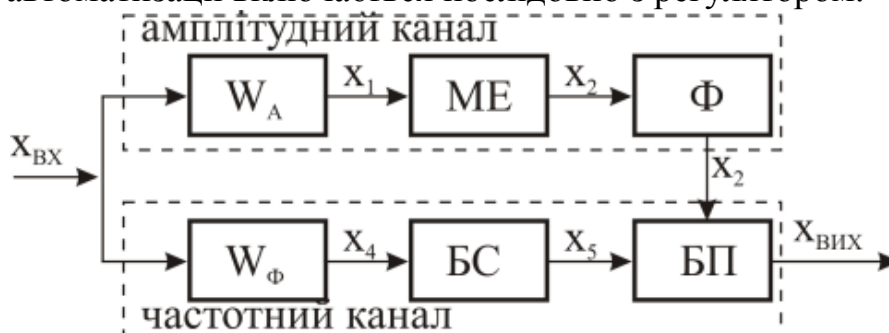


Рис. 1. Структурна схема двоканальних псевдолінійних коригуючих пристроїв, що створює випередження по фазі, приглушує високі частоти: W_A – аперіодична ланка; МЕ – модульний елемент; Φ – фільтр; W_Φ – лінійний елемент; БС – блок сигнатури; БП – блок помноження

Зміну параметру налаштування амплітудного каналу K в межах від 1,6 до 0,2, при $T=1$ с, можна задати на частоті пошукового сигналу $\omega_0=0,4$ рад/с, потрібне значення АЧХ в межах від 0 до -21 дБ відповідно, а зміну параметру T_2 фазового каналу – в межах від 1,2 до 100 с, при значенні $T_1=0,1$ с, можна задати потрібне значення фазового зсуву, що дає коригуюча ланка від 0 до 84° відповідно.

На рисунку 2 приведена структурна схема САК з адаптивним псевдолінійним двоканальним коригуючим пристроєм (Б₁).

В якості смугового фільтра взято фільтр Чебишева другого порядку. Даний фільтр налаштований на пропускання пошукового сигналу частотою $\omega_0=0,4$ рад/с.

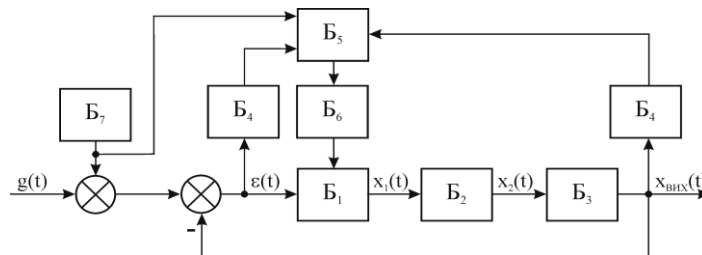


Рис. 2. Структурна схема адаптивної САК з псевдолінійним двоканальним коригуючим пристроєм: $g(t)$ – задаючий вплив; $\varepsilon(t)$ – похибка; $x_1(t)$ – проміжний вплив; $x_2(t)$ – керуючий вплив; $x_{\text{вих}}(t)$ – вихідний сигнал; B_1 – передаточна функція коригуючого пристрою; B_2 – передаточна функція регулятора; B_3 – передаточна функція об'єкта керування; B_4 – смуговий фільтр; B_5 – блок визначення частотних характеристик; B_6 – блок налаштування коригуючого пристрою; B_7 – пошуковий сигнал ($A_0 \sin \omega_0 t$)

В процесі роботи системи протягом часу відбувається зміна параметрів об'єкта керування, тобто відбувається зміна коефіцієнта передачі об'єкта керування і внесеного ним фазового зсуву. Адаптивний псевдолінійний коригуючий пристрій в процесі роботи здійснює визначення на частоті пошукового сигналу зміни коефіцієнта передачі і фазового зсуву об'єкта керування відносно заданих. Після чого вносить до системи фазовий зсув і змінює коефіцієнт передачі так, щоб компенсувати вплив зміни параметрів об'єкта керування на якість процесу управління.

Суттєвою особливістю даної системи є те, що значення фазового зсуву розімкнутої системи на фіксованій частоті визначається за значенням коефіцієнта передачі по амплітуді розімкнутої і замкнутої систем після подачі в систему синусоїдального пошукового сигналу.

Фазовий зсув розімкнутої системи розраховується за формулою

$$\cos \varphi_P(\omega_0) = \frac{A_P^2(\omega_0) - A_3^2(\omega_0) - A_3^2(\omega_0) A_P^2(\omega_0)}{2 A_3^2(\omega_0) A_P(\omega_0)} \quad (1)$$

де $A_P(\omega_0)$, $A_3(\omega_0)$ – коефіцієнти передачі по амплітуді розімкнутої і замкнутої системи відповідно.

Вираз (1) отримано на основі зв'язку між АЧХ розімкнутої та замкнутої систем і визначається за виразом

$$|W_3(j\omega)| e^{j\varphi_3(\omega)} = \frac{|W_P(j\omega)| e^{j\varphi_P(\omega)}}{1 + |W_P(j\omega)| e^{j\varphi_P(\omega)}} \quad (2)$$

де $|W_3(j\omega)|$, $|W_P(j\omega)|$ – АЧХ замкнутої і розімкнутої системи відповідно;

$\varphi_3(\omega)$, $\varphi_P(\omega)$ – ФЧХ замкнутої і розімкнутої системи відповідно.

Визначення фазового зсуву за значеннями коефіцієнту передачі

по амплітудам значно простіше, ніж визначення фазового зсуву класичним методом. Розглянемо роботу цієї системи. Після установки і запуску системи в роботу відбувається подача в систему першого пошукового сигналу, потім на підставі значення амплітуди A_0 пошукового сигналу і амплітуд помилки і регульованої величини в блоці B_5 здійснюється визначення еталонних значень АЧХ розімкнутої та замкнутої систем на частоті ω_0 , а також відбувається визначення еталонного значення $\cos \varphi_p(\omega_0)$ за формулою (1). Після подачі в систему другого і подальших пошукових сигналів в блоці B_5 здійснюється визначення відхилення значень АЧХ розімкнутої та замкнутої систем на частоті ω_0 від еталонних значень. Після цього в блоці B_6 відбувається визначення коефіцієнта передачі K налаштування амплітудного каналу і постійної часу T_2 фазового каналу коректора, що забезпечують стабілізацію частотних характеристик.

Сучасні системи автоматичного керування зазвичай будуються на базі промислових мікропроцесорних контролерів та ЕОМ, тому процедуру визначення коефіцієнта K і постійної часу T_2 зручно виконати на основі застосування кусково-лінійних функцій АЧХ і ФЧХ коректора.

Базові точки кусково-лінійних функцій для ФЧХ і АЧХ на частоті $\omega_0 = 0,4$ рад/с наведені відповідно на рисунках 3 і 4.

Підстроювання коефіцієнтів K і T_2 полягає в тому, що після визначення величини зміни фазового зсуву і коефіцієнта передачі об'єкта керування визначається необхідне значення фазового зсуву і коефіцієнта передачі коректора, що забезпечують незмінність частотних характеристик системи. Для ФЧХ ці значення визначаються як сума поточного значення і величини зміни, а для АЧХ – з умови сталості добутку коефіцієнтів передачі об'єкта керування і коректора. Потім по кусково-лінійним функціям визначаються необхідні значення K і T_2 .

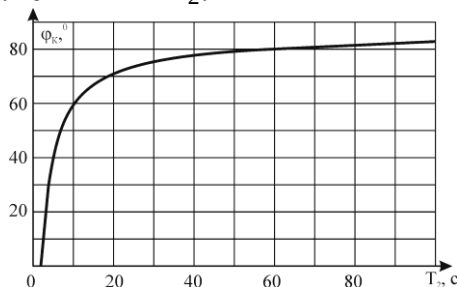


Рис. 3. Базові точки кусково-лінійних функцій для АЧХ на частоті $\omega_0 = 0,4$ рад/с і $T_1 = 0,1$

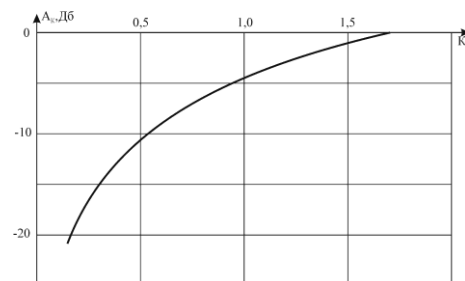


Рис. 4. Базові точки кусково-лінійних функцій для ФЧХ на частоті $\omega_0 = 0,4$ рад/с і $T = 1,0$

Дослідження властивостей системи з адаптивним псевдоліній-

ним двоканалним коректором проводилося в програмі MATLAB. Моделювання систем автоматичного регулювання проводилося для об'єктів першого, другого та третього порядків. На рисунку 5 представлені криві перехідних процесів у системах регулювання тільки з ПД-регулятором (крива 2) і регулятором, доповненим послідовно включеним в коло керування адаптивним псевдолінійним двоканалним коригуючим пристроєм (крива 1).

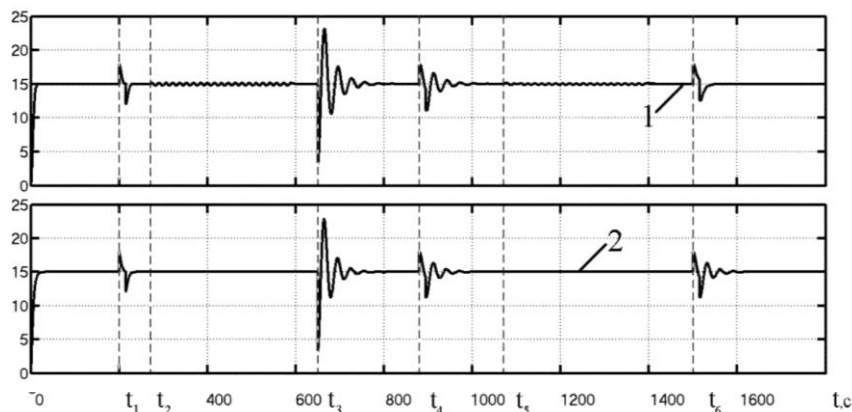


Рис. 5. Перехідні характеристики САК з адаптивним пристроєм

Об'єкт керування моделювався ланкою другого порядку з передаточною функцією виду

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_{01}^2 s^2 + T_{02} s + 1},$$

де K_0 – статичний коефіцієнт передачі об'єкта керування;

T_{01} і T_{02} – постійні часу об'єкта керування.

Ці криві ілюструють здатність адаптації САК до зміни параметрів об'єкта керування.

Спочатку була зроблена настройка ПД-регуляторів обох систем за методом Циглера-Никольса таким чином, щоб перехідний процес при ступінчастому впливі на об'єкт вийшов аперіодичним та налаштували коректора так, щоб він вносив мінімальний фазовий зсув і мінімальне ослаблення АЧХ.

Після запуску систем в роботу і закінчення перехідних процесів в момент часу t_1 в обидві системи надходить імпульсна перешкода (t_4) і, як видно з графіків, відпрацьовується без коливань. В момент часу t_3 , після подачі в систему пошукового сигналу, в САК з адаптивним коректором відбувається визначення еталонних значень K і T_2 для коректора. В момент часу t_3 відбувається зміна постійної часу T_{01} об'єкта керування зі значення 2,8 с, до значення 6,3 с, при цьому коефіцієнт передачі K_0 не змінюється.

При таких параметрах об'єкта керування та початкових налаштуваннях ПД-регулятору перехідний процес на ступеневий вплив стає

коливальним, що видно з графіків при надходженні другої імпульсної перешкоди в момент часу t_4 . Далі в момент часу t_5 , після подачі в систему з коректором чергового пошукового сигналу, відбувається підстроювання значення T_2 адаптивного коректора зі значення 1,2 с до 8,24 с.

При черговому надходженні в обидві системи імпульсної перешкоди в момент часу t_6 в САК з адаптивним коректором характер реакції системи на імпульсну перешкоду має значно кращу якість, ніж реакція системи без коректора, що видно з рисунку 5.

Вид кривої 1 в момент часу t_6 говорить про те, що якість САК з коректором значно краще, ніж без коректора (крива 2), при змінених параметрах об'єкта керування шляхом підстроювання до них коректора. Якість роботи системи з коректором залишається задовільною при зміні постійної часу об'єкта до значення $T_{01} = 13,0$ с, в той час, як при $T_{01} = 8,4$ с система без коректора вже стає нестійкою.

Висновки. З проведеного дослідження бачимо, що застосування запропонованого коригуючого пристрою і способу реалізації адаптивної системи на основі його налаштування дозволяє реалізувати систему регулювання об'єктами з нестационарними параметрами, що змінюються в процесі роботи в широкому діапазоні, за рахунок підвищення запасу стійкості по амплітуді і фазі.

Література

1. Антонов В. Н. Адаптивное управление в технических системах: учебное пособие / В. Н. Антонов, В. А. Терехов, И. Ю. Тюкин. – СПб.: Издательство СПбГУ, 2001. – 244 с.
2. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами: учеб. пособие / Ю. Ю. Громов, Н. А. Земской, А. В. Лагутин и др. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 108 с.
3. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща школа, 1989. – 431 с.
4. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем.: учебник для вузов / Н. Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
5. Калигин Б. С. Качественная теория устойчивости движения динамических систем / Б. С. Калигин. – Мн.: БГУ, 2002. – 198 с.
6. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: самоучитель / В. П. Дьяконов. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лобода А. И., Дубініна С. В.

Аннотация – предложен способ реализации адаптивной системы автоматического регулирования, основанный на использовании подстраиваемого двухканального корректирующего устройства динамических характеристик систем автоматического регулирования. Показан способ реализации определения фазового сдвига по значениям коэффициента передачи по амплитудам, что значительно повышает эффективность и упрощает расчеты для адаптивных систем управления с нестационарными параметрами.

ADAPTIVE RECONSTRUCTION OF SCADA SYSTEM AUTOMATIC CONTROL

A. Loboda, S. Dybinina

Summary

The proposed method of implementing an adaptive automatic control system based on the use of under-arranging the dual correction device dynamic characteristics of automatic control systems. Shows the method implementation for determining the phase shift values of the transmission amplitudes significantly increases the efficiency and simplifies the calculations for adaptive control systems with time-varying parameters.