

## **АВТОНОМНА БАГАТОМІРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ З ЕТАЛОНАМИ - СПОСТЕРІГАЧАМИ**

### **Вступ**

В системах автоматичного керування існує необхідність компенсації впливу зовнішніх збурень на характер зміни керованої величини. Ця задача набуває особливого значення, якщо розглядаються багатомірні системи керування – проблема автономності, яка складається у виборі такої структури та параметрів системи керування, при якій керовані величини не впливають одна на одну і у яких система керування по кожній керованій величині розглядається незалежно, тобто автономно.

Під автономними розуміють такі багатомірні системи, у яких зміна в процесі керування однієї із керованих величин не приводить до зміни інших керованих величин. Проблема автономності як правило зв'язана з проблемою інваріантності, і, як показано у роботах [1,2,3], умови інваріантності та автономності у ряді випадків збігаються.

### **Постановка задачі**

У багатьох випадках динамічні ті статичні властивості системи керування можуть змінюватися у часі, змінюються зовнішні завади, які діють на об'єкт керування. У цих випадках регулятори з жорсткими (незмінними) параметрами не можуть забезпечити потрібні режими роботи. Отже, необхідно змінювати налаштування керуючих пристроїв, параметри деяких елементів системи, вводити у систему канали компенсації, тобто переходити до самонастроювальних (адаптивних) систем керування. Але при цьому процес побудови системи керування стає досить складним, оскільки необхідно одночасно вирішувати задачі аналізу процесу керування, вибірку критерію адаптації, принципу побудови контурів самонастроювання, визначення алгоритму ідентифікації та закону зміни параметрів, розробки структурної моделі та аналізатора динамічних характеристик, тощо.

Значно спростити побудову таких систем можна за рахунок застосування принципу використання спостерігаючи пристроїв у якості еталонної моделі за допомогою яких у систему керування вводяться відповідні корегуючі сигнали, які компенсують впливи зовнішніх збурень, незбіжність початкових умов та непередбачену зміну параметрів об'єкта керування [5].

Проблема синтезу структур, яка має велике значення для систем автоматичного керування з однією керованою величиною, набуває особливого значення для систем багатомірних, тим паче у тих випадках, коли ставиться задача побудови автономних багатомірних систем. В таких

системах керування проблема реалізації умов інваріантності має свою специфіку [4]. Реалізація умов інваріантності в таких системах можлива тільки тоді, коли ці системи є системами комбінованої дії, тобто коли керування в системі здійснюється одночасно по відхиленню та по навантаженню.

Багатомірний об'єкт керування може бути представлено у вигляді двох загальних варіантів, які представлені на рис. 1.

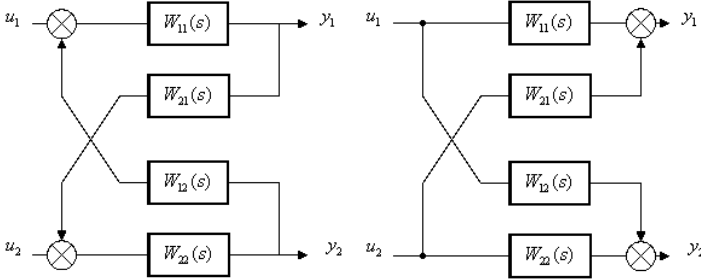


Рис. 1 – Типові структурні схеми двомірного об'єкта керування

Будемо вважати, що структуру та параметри об'єкта керування в процесі керування змінювати цілеспрямовано неможливо.

Розглянемо основний принцип побудови систем з еталоном – спостерігачем на прикладі одномірної системи керування (рис. 2).

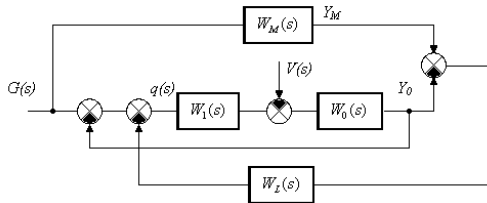


Рис. 2 – Одномірна система із еталоном-спостерігачем, де  $W_0(s)$  – об'єкт керування,  $W_1(s)$  – регулятор,  $W_M(s)$  – етальонна модель (спостерігач),  $W_L(s)$  – канал компенсації

Керована величина при  $V(s) = 0$  визначається як

$$y_0(s) = W_1(s)W_0(s)g(s) - W_1(s)W_2(s)y_0(s) - W_1(s)W_0(s)W_L(s)y_M(s) - W_1(s)W_0(s)W_L(s)y_0(s) \quad (1)$$

З урахуванням  $y_M(s) = W_M(s)g(s)$  з рівняння (1) отримуємо

$$[1 + W_1(s)W_0(s)(1 - W_L(s))]y_0(s) = W_1(s)W_0(s)[1 - W_L(s)W_M(s)]g(s). \quad (2)$$

Тоді

$$y_0(s) = \frac{W_1(s)W_0(s)[1 - W_L(s)W_M(s)]}{1 + W_1(s)W_0(s)[1 - W_L(s)]}g(s). \quad (3)$$

Якщо вибрати  $W_L(s) \gg 1$ , то

$$y(s) \approx W_M(s)g(s). \quad (4)$$

Таким чином, якщо забезпечити умови стійкості та надати контуру автопідстроювання  $W_L(s)$  астатичні властивості, тобто обрати у вигляді ПІД структури, то вихід об'єкта керування буде залежним тільки від передаточної функції спостерігача  $W_L(s)$ . При цьому значно спрощується задача синтезу системи керування із заданими показниками якості за рахунок можливості вибору спостерігача з передаточною функцією зниженого порядку, який задовольняє заданим вимогам до перехідних процесів, наприклад, вимогам до аперіодичних перехідних процесів.

Розглянута структура забезпечує виконання умов інваріантності систем керування до дії неконтрольованих збуджень. Якщо збурення прикладаються до входу об'єкта керування, то відповідно рис. 1 будемо мати

$$y_0(s) = \frac{W_1(s)W_0(s)[1-W_L(s)W_M(s)]}{1+W_1(s)W_0(s)[1-W_L(s)]}g(s) - \frac{W_0(s)}{1+W_1(s)W_0(s)[1-W_L(s)]}V(s) = y_g(s) - y_V(s) \quad (5)$$

Тоді з урахуванням  $W_L(s) \rightarrow \infty$  буде виконуватися умова

$$y_V(s) = -\frac{W_0(s)}{1+W_1(s)W_0(s)[1-W_L(s)]}V(s) \rightarrow 0. \quad (6)$$

Якщо  $W_L(s) = \frac{K_L}{s}$ , то

$$y_V(s) = -\frac{W_0(s)}{1+W_1(s)W_0(s)[1-\frac{K_L}{s}]}V(s) = -\frac{sW_0(s)}{s+W_1(s)W_0(s)[s-K_L]}V(s)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_V(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s y_V(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{sW_0(s)}{s+W_1(s)W_0(s)[s-K_L]} \frac{V_0}{s} \rightarrow 0. \quad (7)$$

Розглянемо роботу одноконтурної системи з передаточною функцією та спостерігачем з передаточною функцією зниженого порядку (рис. 3).

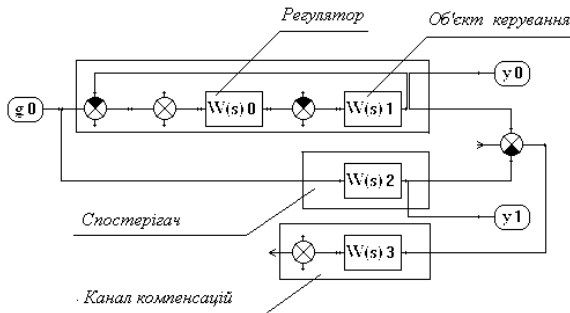


Рис. 3 – Система керування із спостерігачем (канал компенсації виключено)

Позначимо:

$y_0$  – Вихід об'єкта керування

$y_1$  – Вихід спостерігача

$y_2$  – Зовнішнє збурення

$y_3$  – Керуючий вплив

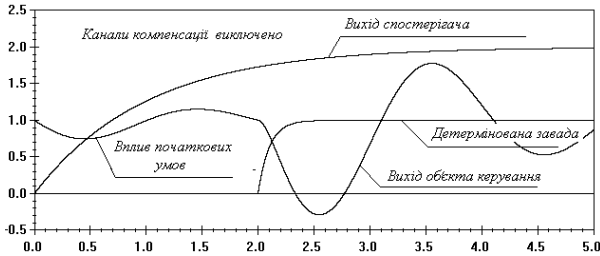


Рис. 4 – перехідні процеси при вимкнених каналах компенсації

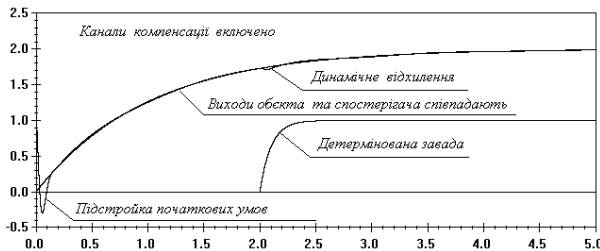


Рис. 5 – перехідні процеси при включеному каналі компенсації

Дослідження перехідних процесів при включеному каналі компенсації показують можливість застосування спостерігача зниженого порядку для забезпечення системі керування заданих показників якості. При цьому коливальні перехідні процеси не скоригованої системи компенсуються та набувають аперіодичні властивості, які задаються еталонним спостерігачем. Таким чином, обираючи спостерігач з відповідними властивостями, можна задавати об'єкту керування потрібні режими роботи. Аналіз перехідних процесів (Рис. 5,6) показує, що система керування із еталонним спостерігачем компенсує розбіжність початкових умов та дію детермінованих та випадкових завад, що діють на вхід об'єкта керування.

Розглянемо особливості побудови каналів компенсації. На рис. 7а показана розбіжність виходів об'єкта керування та спостерігача, об'єкт керування має коливальні властивості, а спостерігач обрано з аперіодичними властивостями. При включенні каналу компенсації (рис. 7Б) об'єкт керування повністю налаштується на властивості спостерігача за рахунок



Рис. 6 – Перехідні процеси при дії випадкової завади

додаткового керуючого впливу, який виробляється регулятором під дією сигналу каналу компенсації.

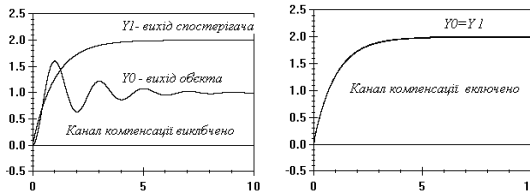


Рис. 7 – Перехідні процеси на виходах спостерігача та об'єкта керування

В цьому випадку канали компенсації можна обирати з “П” законом керування. Відомо, що для підвищення процесу збігання треба збільшувати коефіцієнт підсилювання, але при цьому процес збігання може стати нестійким (рис. 8). В цьому разі для підвищення стійкості необхідно в канал компенсації вводити диференційну складову, тобто обирати “ПД” закон керування. Так при  $W_L(s) = \frac{2s+100}{0.01s+1}$  процес збігання стає не коливальним (рис. 9). Якщо на систему буде діяти стала завада (рис. 10), то для компенсації сталої похибки в канал компенсації слід вводити астатичну складову, тобто застосовувати “ПІД” закон керування в каналі компенсації (при цьому системі надаються властивості робастості).

Система керування набуває вигляду, представленою на рис. 10.

Узагальнюючи зроблені висновки на багатомірну систему (будемо розглядати об'єкт керування з перехресними зв'язками (рис. 1а), включимо в кожний канал керування відповідні спостерігачі із обраними динамічними властивостями (рис. 11).

Позначимо на структурній схемі системи керування:

- $y_0$  – перша керована величина,
- $y_1$  – вихід спостерігача першого каналу,
- $y_4$  – збурення, що діє на перший канал керування,
- $y_2$  – друга керована величина,
- $y_3$  – вихід спостерігача другого каналу,
- $y_5$  – збурення, що діє на другий канал керування,

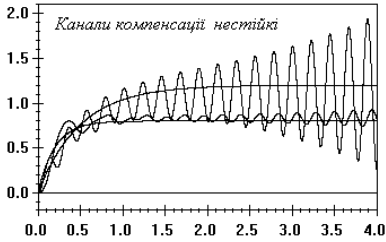


Рис. 8 – Канал компенсації нестійкий ( $K_L = 100$ )



Рис. 9 – Дія сталої завади

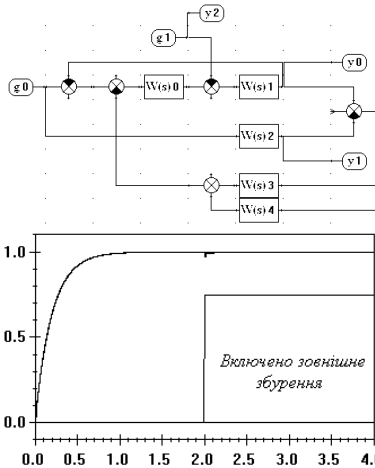


Рис. 10 – Система керування з “ПД” каналом компенсації (стала похибка відсутня )

Для експериментальних досліджень було обрано систему з параметрами:

- об’єкт керування –  $W(s)0 = \frac{5}{s+1}$ ,  $W(s)2 = \frac{0.5}{s+1}$ ,  $K1 = 2$ ,  $K0 = 5$ ,
- регулятор першого каналу –  $W(s)1 = \frac{3}{0.2s+1}$ ,
- регулятор другого каналу –  $W(s)3 = \frac{5}{0.2s+1}$ ,
- спостерігач першого каналу –  $W(s)4 = \frac{1.2}{0.5s+1}$ ,
- спостерігач першого каналу –  $W(s)4 = \frac{1.6}{0.2s+1}$ ,
- перший канал компенсації –  $W(s)6 + W(s)7 = \frac{5s+50}{0.01} + \frac{50}{s}$ ,
- другий канал компенсації –  $W(s)6 + W(s)7 = \frac{5s+50}{0.01} + \frac{50}{s}$ ,

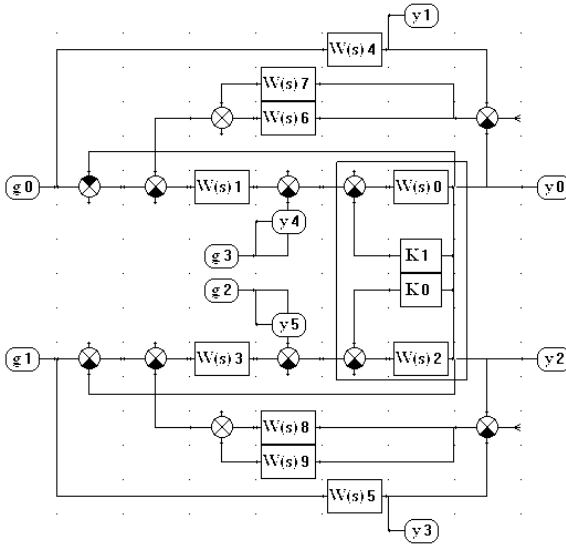


Рис. 11 – Автономна двовірдна система керування із еталонними спостерігачами

Перехідні процеси на виходах об’єкта керування та спостерігачів представлено на рис. 12.

Експериментально досліджувалися вплив розбіжності початкових умов об’єкта керування та спостерігачів до включення каналів компенсації (Рис. 14А) та після їх включення (рис. 14Б). Як бачимо при включених каналів компенсації швидкість збігання значно підвищується.

Компенсація дії зовнішнього впливу, який подається у момент  $t_1 = 1\text{сек}$  на перший вхід об’єкта керування, показана на рис. 15а. Аналіз графіків показує, що при цьому у першому каналі виникає незначне динамічне відхилення, тоді як у другому каналі змін не спостерігається. Дія другої завади на другий вхід показано на рис.15б. Отже, можна зробити висновок, що об’єкт керування є інваріантним по відношенню до

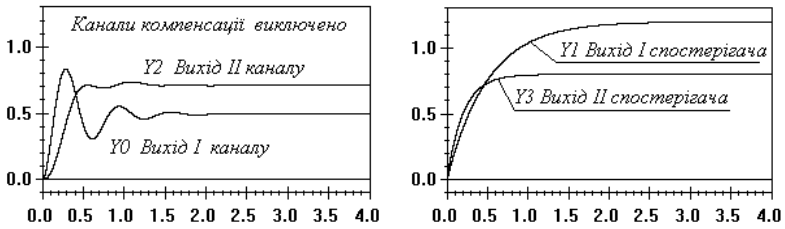


Рис. 12 – Перехідні процеси на виходах об’єкта керування а) до включення каналів компенсації та на виходах відповідних спостерігачів б) після

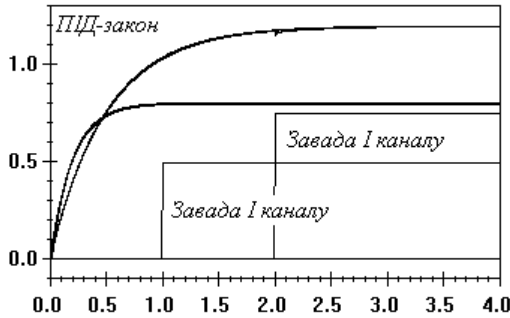


Рис. 13 – Перехідні процеси на виходах об’єкта керування при включених каналах компенсації та на виходах відповідних спостерігачів

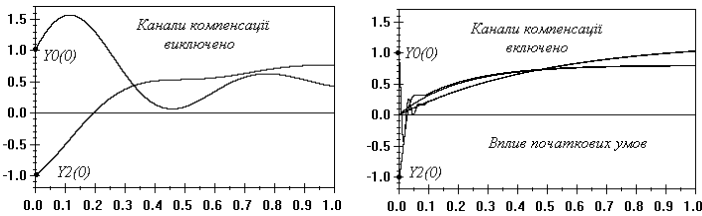


Рис. 14 – Вплив розбіжності початкових умов



зовнішніх завад та одночасно канали об'єкта керування не впливають один на одний, тобто система керування є автономною. Властивість автономності перевірялась і відносно дії випадкових некорельованих завад (рис. 16).

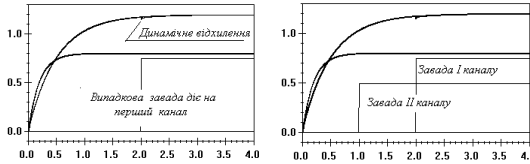


Рис. 15 – Вплив неконтрольованих сталих завад на входи об'єкта керування

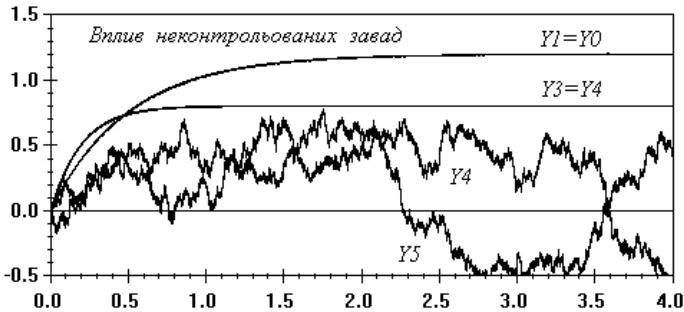


Рис. 16 – Вплив неконтрольованих випадкових завад

Всі експериментальні дослідження, пов'язані з побудовою та аналізом графіків перехідних процесів у розглянутих системах керування, виконувалися на лабораторному стенді “ТАК-SHS”, який було розроблено на кафедрі Технічної кібернетики НТУУ “КПІ” під керівництвом доцента кафедри С.В. Шпіт.

### Висновки

Теоретичні та експериментальні дослідження побудови автономних багатомірних систем керування з еталоном-спостерігачем показали високу ефективність запропонованих методів при значному спрощенні їх фізичної реалізації. При цьому знімається проблема корекції параметрів як об'єкта керування так і регулятора, а сама система керування набуває властивостей грубості (робастості) навіть при значних змінах параметрів системи та впливу неконтрольованих завад у широкому діапазоні.

### Література

1. Кулебакин В.С. Высококачественные инвариантные системы регулирования, в кн. “Теория инвариантности и её применение в автоматических устройствах”, Изд-во АН УССР, 1959.

2. Кухтенко А.И. Задачи инвариантности до  $\varepsilon$  для систем регулирования по отклонению, в кн. . “Теория инвариантности и её применение в автоматических устройствах”, Изд-во АН УССР, 1959.
3. Петров Б.Н. Принцип инвариантности и условия его применения при расчете линейных и нелинейных систем, Труды I Конгресса ИФАК, т. 1, 1960.
4. Мееров М.В., Системы многосвязного регулирования, М., Наука., 1965, 384 ст.
5. Шпіт С.В., Янцеловський С.Г., Ткаченко О.І. Системи автоматичного керування з еталоном – спостерігачем // Адаптивні системи автоматичного управління. -2008- 12(32).- с. 145 – 151.

*Получено 28.11.2008*