

ДУАЛЬНИЙ СПОСТЕРІГАЧ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Вступ

У багатьох випадках динамічні та 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.

Постановка задачі

Значна частина теорії побудови систем керування базується на використанні зворотних зв'язків по змінним стану. Однак, на практиці не всі змінні стану доступні до вимірювання, і, як правило, вимірюються тільки вихідні змінні об'єкта керування. В [1,2,3,4] показано, що якщо керований процес є спостережливим, то можна побудувати пристрій спостереження, який на основі інформації про вхідні та вихідні сигнали виробляє, відновлює оцінки змінних стану, на основі яких формуються сигнали зворотних зв'язків для керування процесом. Для цих методів характерно те, що структура регулятора обирається апріорі на основі інформації про об'єкт керування. Класичний спостерігач стану, поданий на рис. 1, повинен будуватися таким чином, щоб відновлений стан $Y_c(t)$ був як можна ближче до дійсного стану $Y(t)$. При цьому вважається що структура спостерігаючого пристрою ідентична по відношенню до дійсної системи керування, що значно обмежує можливі області використання таких методів синтезу при дії на об'єкт керування неконтрольованих зовнішніх збурень та у разі неконтрольованих змін параметрів самого об'єкта керування. В роботах [5,6] була показана можливість застосування спостерігача для керування такими об'єктами.

Основні моменти побудови системи керування при цьому полягають у наступному. На основі вимірювання вихідних координат системи керування та спостерігаючого пристрою здобувається інформація про відхилення вихідних координат об'єкта керування від координат спостерігача

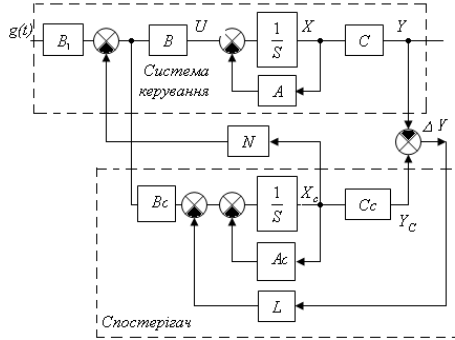


Рис. 1 – Система керування із спостерігачем

$\Delta Y(t) = Y(t) - Y_c(t)$. Але задача спостерігача буде полягати не в оцінці координат змінних стану $X_c(t)$, а в тому, щоб привести вихідні координати $Y(t)$ об'єкта керування до координат $Y_c(t)$, які будемо вважати заданими. Для розв'язання такої задачі необхідно до керуючого впливу $U(t)$ додавати компенсуючі керування $\Delta U_k(t) = F(\Delta Y(t))$ (рис. 2). Отже, тепер задачею спостерігача стає задача стеження за відхиленням дійсного процесу від заданого та виробки компенсуючих впливів, які подаються на об'єкт керування. Спостерігач, який приводить вихідні координати об'єкта керування до координат, що задаються спостерігачем, будемо називати дуальним. В роботі [6] показано, що при $Lk = Wk(s) \gg 1$ еквівалентна передаточна функція всієї системи керування буде визначатися передаточною функцією дуального спостерігача. При виконанні цієї умови система керування стає інваріантною до впливу зовнішніх збуджень, а динамічні властивості (перехідні процеси) наближаються до процесів, які визначаються дуальним спостерігачем.

Відомо, що задача синтезу системи автоматичного керування полягає у виборі деяких корегуючих ланок, за допомогою яких показники якості системи керування приводяться до заданих. Ця задача значно ускладнюється для дискретних систем, нелінійних та багатомірних систем, систем з чистою затримкою, для нестационарних систем та систем з неконтрольованими збудженнями. Уникнути ці складності можна при використанні запропонованого методу, якщо у якості дуального спостерігачючого пристрою взяти пристрій, який налаштовано на перехідні процеси, оптимальні по модулю.

Ці два основних моменту дозволяють будувати автономні системи керування із заданими характеристиками незалежно від дії зовнішнього середовища та непередбаченої зміни параметрів самої системи (коєфіцієнтів передачі, постійних часу, тощо). Також слід зауважити, що для підвищення швидкості збігання розузгодження $\Delta Y(t)$ необхідно підвищувати коефіцієнти передачі компенсуючого каналу $Wk(s)$, а для забезпечення стійкості вводити диференціючі складові. Для забезпечення

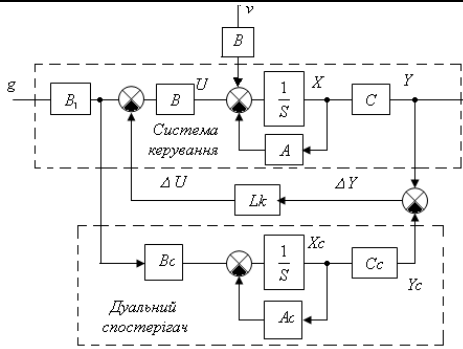


Рис. 2 – Система керування з дуальним спостерігачем

робастості у „великому” при дії зовнішніх впливів в канали компенсації вводяться інтегральні складові, зображення яких присутні у діючих впливах. Отже, канали компенсації як правило мають ПІД-закони керування.

Нижче наводяться приклади дослідження різноманітних систем керування з дуальним спостерігачем, які виконувалися на моделюючому комплексі SHS-TAK, який розроблено на кафедрі технічної кібернетики НТУУ „КПІ” під керівництвом доцента кафедри ШПІТ Сергієм Васильовичем. На рис. 3 представлено неперервну лінійну систему керування, передаточна функція якої складається з передаточних функцій регулятора $W1(s) = \frac{2}{0.1s+1}$ та об'єкта керування $W2(s) = \frac{5}{0.5s+1}$, а бажані динамічні властивості визначаються дуальним спостерігачем з передаточною функцією $W0(s) = \frac{5}{0.2s+1}$. Збуджуючий вплив ЗВ подається на вхід об'єкта керування при $t = 2\text{сек}$. Дослідження перехідних процесів при виключених каналах компенсації показують, що вихідний сигнал об'єкта керування $Y0$ значно відрізняється від заданого $Y1$, а відхилення при дії зовнішнього впливу V великим. При включенні каналів компенсації (рис. 4) динаміка системи керування повністю визначається дуальним спостерігачем $Y0 = Y1$, а неконтрольований зовнішній вплив V повністю компенсується.

На основі перехідних процесів можна зробити наступні висновки: по-перше, застосування дуального спостерігача дозволяє задавати системі керування необхідні режими роботи; по-друге, параметри системи та її структура можуть змінюватися у широкому діапазоні, що дозволяє застосовувати дуальні спостерігачі зниженого порядку; по-третє, система керування стає інваріантною до дії неконтрольованих впливів. Таким чином, застосування дуального спостерігача значно спрощує задачу синтезу систем керування із заданими динамічними властивостями.

Експериментальні дослідження перевірялися аналітичними розрахунками

Аналіз перехідних процесів, здобутих як експериментально так і роз-

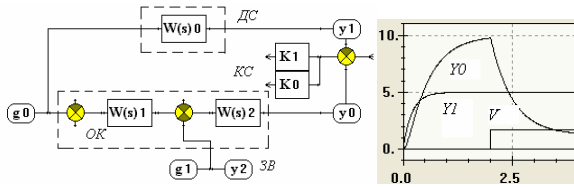


Рис. 3 – Найпростіша система керування з дуальним спостерігачем.(Канали компенсації виключені. Сигнали на виходах об’єкта керування та спостерігача не співпадають, спостерігається великий вплив зовнішнього збудження).

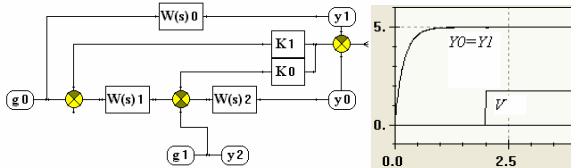


Рис. 4 – Найпростіша система керування з дуальним спостерігачем (канали компенсації включені.Сигнали на виходах об’єкта керування та спостерігача співпадають, вплив зовнішнього збудження не спостерігається)

рахункових, вказує на їх ідентичність та свідчить про вірність зроблених висновків.

На основі здобутих висновків була поставлена задача дослідження неперервної системи ($W(s)0 = \frac{0.2}{0.2s+1}$, $W(s)1 = \frac{1}{0.5s+1}$, $W(s)4 = \frac{1}{s}$) з чистою затримкою $W(s^2)1$ (рис. 6), яка діє на виході об’єкта керування. Для компенсації чистої затримки використовується компенсатор Сімсона ($W(s)5 = \frac{1}{s}$, $W(s^2)1$), а динамічні властивості системи задаються дуальним спостерігачем ($W(s)2 = \frac{1}{0.2s+1}$ та $W(s)6 = \frac{1}{s}$). Елемент чистої затримки ($\tau = 0.5$) моделювався на основі формул розкладу Пада другого порядку

$$\left(W(s^2)0 = \frac{0.25s^2 - 0.5s + 12}{0.25s^2 + 0.5s + 12}; W(s^2)1 = \frac{0.25s^2 - 0.5s + 12}{0.25s^2 + 0.5s + 12} \right).$$

Дослідження перехідних процесів в системі керування при вимкнених каналах компенсації (рис.6а) показує, що замкнута система є нестійкою (сигнали $Y3$, $Y0$ розбігаються). При включенні каналів компенсації система стає стійкою (рис.6б), інваріантною до дії неконтрольованих зовнішніх впливів V , а її властивості визначаються структурою та параметрами дуального спостерігача ($Y3 = Y1$).

Отже, зроблені вище висновки підтверджуються.

На рис. 7 представлена багатомірна система керування зв’язаного керування, яка за допомогою застосування дуальних спостерігаючи при-

$$\begin{aligned}
 &k_1 := 5 \quad k_2 := 2 \quad k_3 := 5 \quad g := 1 \quad \underline{g}(s) := \frac{1}{s} \quad v(s) := 1 \quad \underline{v}(s) := \frac{1}{s} \quad I := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &T_1 := 0.2 \quad T_2 := 0.1 \quad T_3 := 0.5 \quad k_4 := 50 \quad k_5 := 50 \\
 &A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} & 0 & 0 \\ k_4 \frac{k_2}{T_2} & -\frac{1}{T_2} & -k_4 \frac{k_2}{T_2} \\ k_5 \frac{k_3}{T_3} & \frac{k_3}{T_3} & -\left(\frac{1}{T_3} + k_5 \frac{k_3}{T_3}\right) \end{bmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} \frac{k_1}{T_1} & 0 \\ \frac{k_2}{T_2} & 0 \\ 0 & -\frac{k_3}{T_3} \end{pmatrix} \quad \underline{V}(s) = \begin{pmatrix} \underline{g}(s) \\ v(s) \end{pmatrix} \\
 &C_1 = (1 \ 0 \ 0) \quad C_2 = (0 \ 0 \ 1) \\
 &W_1(s) := C_1 (sI - A)^{-1} B \quad W_2(s) := C_2 [(sI - A)^{-1} B] \\
 &Y_1(s) := W_1(s) \cdot \underline{V}(s) \quad Y_2(s) := W_2(s) \cdot \underline{V}(s) \\
 &y_1(t) = Y_1(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow (-5) \cdot e^{(-5) \cdot t} + 5. \\
 &y_2(t) = Y_2(s) \left| \begin{matrix} \text{invlaplace, } s \\ \text{float, } 2 \end{matrix} \right. \rightarrow (-5.0) \cdot e^{(-5) \cdot t} + 5. + 60e^{-2} e^{(-26e2) \cdot t} \cdot \cosh(22e3 \cdot t) - 15 \cdot e^{(-26e2) \cdot t} \cdot \sinh(22e3 \cdot t) \\
 &t = 0, 0.1 \dots 10
 \end{aligned}$$

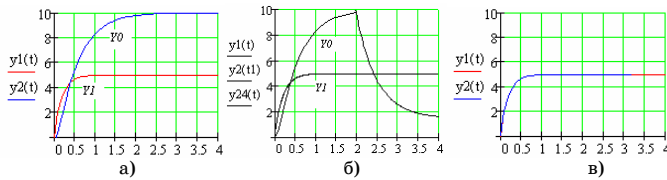


Рис. 5 – Розрахункові перехідні процеси а) при вимкнених каналах компенсації, збуджуючий вплив дорівнює нулю, б) при вимкнених каналах компенсації, збуджуючий вплив включено при $t = 2 \text{сек}$, в) канали компенсації включені, сигнал Y_0 дорівнює Y_1 , зовнішній вплив компенсовано

строїв набуває властивостей автономності роботи каналів керуванні та стає інваріантною до дії зовнішніх впливів V_1 та V_2 . Дослідження перехідних процесів в каналах керування (рис.7а та 7б) підтверджують попередні висновки. Детальне дослідження такої багатомірної системи керування при різноманітних умовах даються в роботі [6].

Результати досліджень були перенесені на дискретні (рис. 8) та нелінійні (рис. 9) системи автоматичного керування . Дослідження показали правомірність попередніх висновків що до доцільності застосування дуального спостерігача в системах керування, відносну простату реалізації таких адаптивних систем керування та можливість компенсації неконтованих збуджень.

Слід зауважити, що розбіжність періодів квантування імпульсних елементів у межах $\pm 30\%$ на процеси адаптації практично не впливає.

Аналіз процесів в адаптивній нелінійній системі з дуальним спостерігачем при різних нелінійних характеристиках (рис. 9а) вказує на стійкі процеси адаптації вихідного сигналу системи до виходу спостерігача. При дії збуджуючих впливів , що прикладаються до виходу нелінійності,

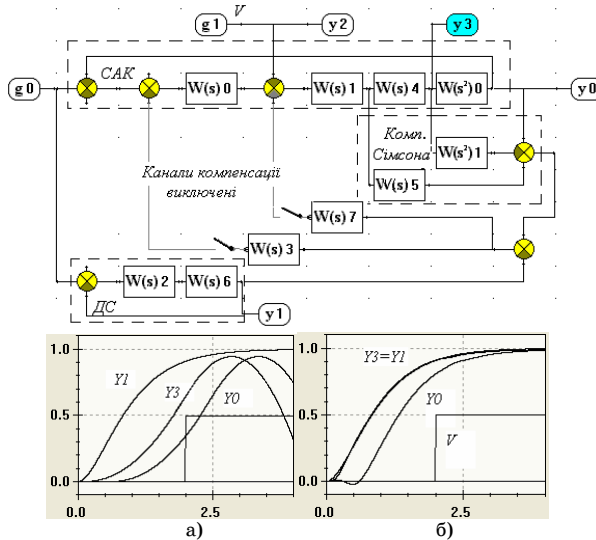


Рис. 6 – Система автоматичного керування з чистою затримкою (а) перехідні процеси при вимкнених каналах компенсації; б) при включених каналах компенсації)

система працює у ковзних режимах. Величина збудження не повинна перевищувати сигнал на виході нелінійності. В протилежному випадку система стає нестійкою.

Висновки

Теоретичні та експериментальні дослідження побудови різноманітних автоматичних систем керування з дуальним 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. Дослідження систем керування різних по математичному опису показали можливість застосування дуального спостерігача зниженого порядку та побудови автономних та інваріантних систем автоматичного керування.

Література

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

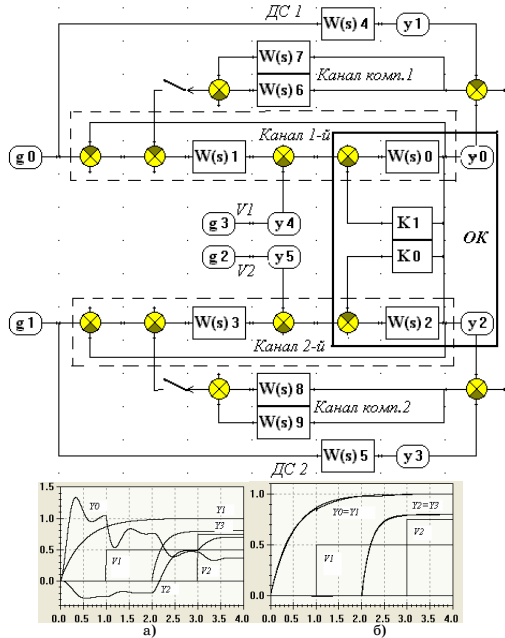


Рис. 7 – Автономна багатомірна система керування з дуальними спостерігачами. а) Перехідні процеси при виключених каналах компенсації; б) при включених каналах компенсації)

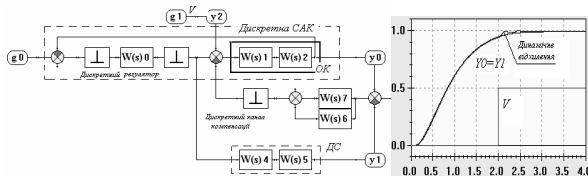


Рис. 8 – Дискретна система автоматичного керування з дуальним спостерігачем зниженого порядку

2. Кухтенко А.И. Задачи инвариантности до ε 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.

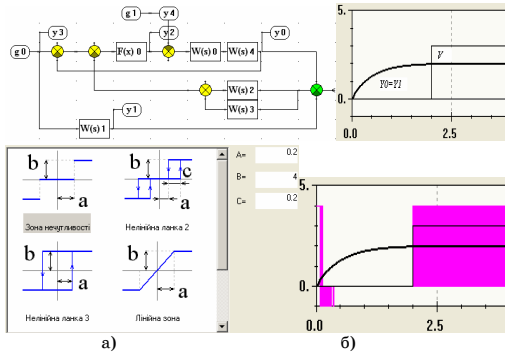


Рис. 9 – Нелінійна система автоматичного керування з дуальним спостерігачем зниженого порядку. а) нелінійності, які досліджувалися з системою керування, б) перехідні процеси на виходах об'єкта керування та спостерігача співпадають; на виході не лінійності спостерігаються ковзні режими

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.
6. Шпіт С.В., Семчишин А.В. Автономна багатомірна система керування з еталонами – спостерігачами // Адаптивні системи автоматичного управління. -2009 - 13(33).- с. .

Отримано 28.02.2009 р.