

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРОЛЕРІВ НА БАЗІ ДИНАМІЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

© Наконечний М. В., Наконечний Ю.М., 2007  
Національний університет “Львівська політехніка”

**Обґрунтовано доцільність використання нейронних контролерів з розділеними входами для контролю керування об'єктами другого порядку. Показано, що використання таких контролерів приводить до покращення динамічних характеристик систем контролю і керування**

Використання цифрових контролерів в порівнянні з аналоговими характеризується рядом переваг, серед яких найбільш суттєвими є: можливість зміни параметрів контролера шляхом його перепрограмування, цифрова форма обробки інформації, що дозволяє реалізовувати складні алгоритми обчислень та отримувати незалежні від дрейфу параметрів елементів схеми і впливу шумів результати обчислень.

При реалізації сучасних технологій контролю і керування цифровий контроль є частиною складної системи високого рівня і забезпечує процес організації цілеспрямованих дій, які здійснюють перехід об'єкта в заданий стан.

Для контролю і керування процесами в нелінійних об'єктах доцільно використовувати контролери, виконані на базі динамічних нейронних мереж, в яких з врахуванням основних динамічних характеристик об'єкта реалізується бажаний закон керування.

Основною перевагою нейронної мережі є її здатність до навчання, що дозволяє пристосувати нейронний контролер до конкретного об'єкта. Оскільки в такому випадку синтез контролера проводиться на основі одержаних дослідним шляхом послідовностей, а реальний об'єкт характеризується певним діапазоном допустимих значень вхідних і вихідних сигналів, то параметри (вагові коефіцієнти) нейронного контролера не можуть приймати випадкових значень. Вони повинні бути або наперед обчисленими з урахуванням певних припущень, або одержаними шляхом попереднього навчання з використанням математичної моделі об'єкта.

Як відомо, властивості динамічної нейронної мережі визначаються кількістю ліній затримок і способом їх включення у вхідні кола та кола оберненого зв'язку мережі. Це означає, що при побудові контролера вибір архітектури нейронної мережі і способу її навчання повинні здійснюватися,

виходячи з умов забезпечення заданої динаміки процесу в системі і характеристик об'єкта контролю чи керування.

Оскільки задача синтезу полягає у побудові динамічної нейронної мережі, яка повинна виконувати функції контролера, то реалізацію такої мережі доцільно здійснювати на основі пропорційно-інтегрально-диференціального закону, як одного із найбільш універсальних законів керування.

Враховуючи те, що в процесі роботи динамічна нейронна мережа повинна виконувати функції дискретного ПІД-контролера, побудуємо математичну модель такої мережі, наклавши в основу її реалізації вираз пропорційно-інтегрально-диференціального закону керування.

Якщо  $\Delta y(t)$  – вхідний сигнал контролера, а  $U(t)$  – сигнал на його виході, то при реалізації в аналоговій формі ПІД-закону керування функціональну залежність між вказаними величинами можна представити у вигляді:

$$U(t) = K_p \cdot \Delta y(t) + K_I \cdot \int_0^t \Delta y(t) dt + K_D \cdot \frac{d\Delta y(t)}{dt}, \quad (1)$$

де  $K_p$  - коефіцієнт пропорційності,  $K_I$  - коефіцієнт для інтегральної складової,  $K_D$  - коефіцієнт при похідній.

Передавальна функція такого контролера має вигляд:

$$W(s) = \frac{U(s)}{\Delta y(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s. \quad (2)$$

Синтез ПІД-контролера полягає у визначенні коефіцієнтів  $K_p$ ,  $K_I$  і  $K_D$ .

Враховуючи те, що контролер, реалізований на базі динамічної нейронної мережі, відноситься до класу цифрових регуляторів, процедуру його синтезу необхідно здійснювати з урахуванням того, що

операції множення, інтегрування і диференціювання виконуються в цифровій формі.

Цифровий ПІД-контролер із-за відсутності впливу температурного і часового дрейфів аналогових елементів, на базі яких реалізуються складові закону керування, і забезпечення високої точності швидкодії виконання операцій інтегрування і диференціювання дозволяє досягнути задану якість процесу керування в системі.

Дискретний варіант реалізації ПІД-закону керування можна одержати шляхом підстановки в рівняння (2) співвідношення  $S = \frac{(1-z^{-1})}{\Delta t}$ , в результаті чого будемо мати:

$$W(z) = K_p + \frac{K_I \cdot \Delta t}{(1-z^{-1})} + K_D \cdot \frac{(1-z^{-1})}{\Delta t}. \quad (3)$$

Звівши праву частину виразу (3) до спільного знаменника і згрупувавши доданки при від'ємних степенях  $z$ , одержимо:

$$W(z) = \frac{W_{11} + W_{12} \cdot z^{-1} + W_{13} \cdot z^{-2}}{1 + W_{14} \cdot z^{-1}}, \quad (4)$$

де 
$$W_{11} = \frac{K_D + K_p \cdot \Delta t + K_I \cdot \Delta t^2}{\Delta t}; \quad (5)$$

$$W_{12} = \frac{2K_D + K_p \cdot \Delta t}{\Delta t}; \quad (6)$$

$$W_{13} = \frac{K_D}{\Delta t}; \quad (7)$$

$$W_{14} = 1. \quad (8)$$

Різницеве рівняння, яке відповідає співвідношенню (4), має вигляд:

$$U_k = W_{11} \cdot \Delta y_k + W_{12} \cdot \Delta y_{k-1} + W_{13} \cdot \Delta y_{k-2} + W_{14} \cdot \Delta y_{k-1}. \quad (9)$$

Схема динамічної нейронної мережі, яка відповідає рівнянню (9), наведена на рис. 1.

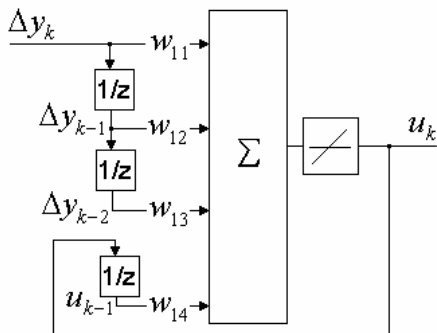


Рис. 1. Дискретне представлення ПІД-контролера на основі співвідношення (9)

Дискретний варіант реалізації ПІД-закону керування можна також одержати шляхом підстановки в рівняння (2) виразу  $S = \frac{2 \cdot (1-z^{-1})}{\Delta t \cdot (1+z^{-1})}$ .

Тоді будемо мати, що

$$W(z) = K_p + \frac{K_I \cdot \Delta t \cdot (1+z^{-1})}{2 \cdot (1-z^{-1})} + K_D \cdot \frac{2 \cdot (1-z^{-1})}{\Delta t \cdot (1+z^{-1})}. \quad (10)$$

Як і в попередньому випадку, після проведення ряду математичних перетворень, отримаємо кінцеву формулу передавальної функції у такому вигляді:

$$W(z) = \frac{W_{11} + W_{12} \cdot z^{-1} + W_{13} \cdot z^{-2}}{1 + W_{14} \cdot z^{-2}}, \quad (11)$$

де 
$$W_{11} = \frac{4 \cdot K_D + 2 \cdot K_p \cdot \Delta t + K_I \cdot \Delta t^2}{\Delta t}; \quad (12)$$

$$W_{12} = \frac{K_I \cdot \Delta t^2 - 4 \cdot K_D}{\Delta t}; \quad (13)$$

$$W_{13} = \frac{4 \cdot K_D - 2 \cdot K_p \cdot \Delta t + K_I \cdot \Delta t^2}{\Delta t}; \quad (14)$$

$$W_{14} = 1. \quad (15)$$

Різницеве рівняння, яке відповідає виразу (11), має вигляд:

$$U_k = W_{11} \cdot \Delta y_k + W_{12} \cdot \Delta y_{k-1} + W_{13} \cdot \Delta y_{k-2} + W_{14} \cdot \Delta y_{k-2}, \quad (16)$$

а схема динамічної нейронної мережі, реалізованої на основі виразу (16), наведена на рис. 2.

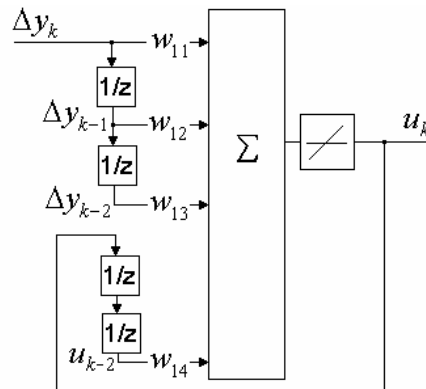


Рис. 2. Дискретне представлення реалізації ПІД-контролера на основі співвідношення (16)

У зв'язку з тим, що контролер, виконаний на основі співвідношення (9) забезпечує більш якісну динаміку функціонування замкненої системи контролю чи керування, зокрема, при його використанні забезпечується більш висока стійкість системи до впливу різноманітних збурюючих

факторів в процесі наступних досліджень, будемо надавати перевагу представленню, наведеному на рис.1.

Взявши за основу представлену на рис. 1 схему контролера, реалізуємо структуру системи автоматичного керування у вигляді, наведеному на рис.3.

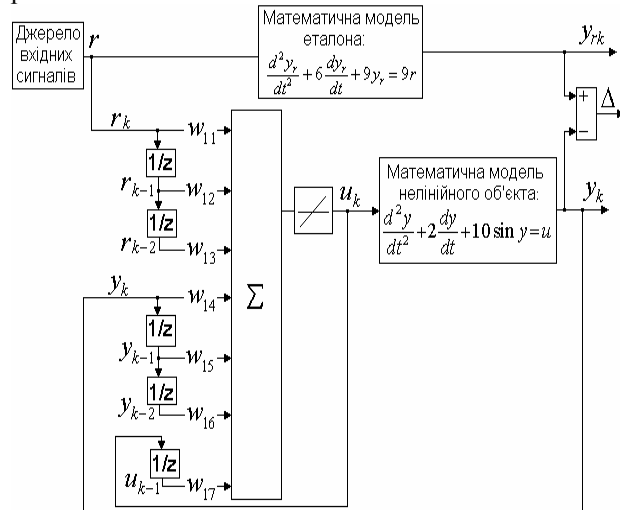


Рис. 3. Структурна схема системи автоматичного керування з використанням контролера, реалізованого на основі співвідношення (9)

Представимо модель нелінійного об'єкта диференціальним рівнянням виду:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \cdot \frac{dy}{dt} + a_0 \cdot \sin y = U. \quad (17)$$

Для проведення процесу навчання контролера виберемо еталон, до якого необхідно максимально наблизити систему (об'єкт з контролером), тобто підібрати коефіцієнти нейронної мережі  $W_{11}$ ,  $W_{12}$ ,  $W_{13}$  і  $W_{14}$  таким чином, щоб при одночасній дії на входи еталона і замкненої системи будь-якого сигналу, значення сигналів на їх виходах були максимально близькими.

Еталон задано таким лінійним диференціальним рівнянням:

$$\frac{d^2 y_r}{dt^2} + b_1 \cdot \frac{dy_r}{dt} + b_0 \cdot y_r = C_0 \cdot r, \quad (18)$$

де  $b_1, b_0, C_0$  - коефіцієнти, числові значення яких визначають бажану динаміку системи.

На рис. 4 наведені осцилограми сигналів, які одержані на виходах еталона і об'єкта, керованого синтезованим нейронним контролером, при подачі на їх входи одиничного стрибка.

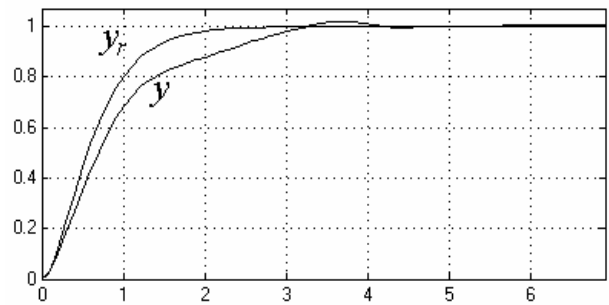


Рис. 4. Сигнали на виходах еталона  $y_r$  і системи з використанням синтезованого нейронного контролера  $y$

Порівняння наведених на рис. 4 сигналів вказує на те, що система автоматичного керування, в якій до входу нейронного контролера підводиться похибка розузгодження  $\Delta u_k$  функціонує не ефективно, так як в динамічному режимі не забезпечує ідентичності сигналів на виходах еталона і керованого контролером об'єкта.

З метою покращення динаміки системи розділимо вхідні сигнали нейронного контролера, тобто замість подачі на вхід контролера сигналу похибки регулювання  $\Delta u_k$  та її попередніх значень  $\Delta u_{k-1}$  і  $\Delta u_{k-2}$  будемо подавати на його окремі входи через власні вагові коефіцієнти величини  $r_k$ ,  $r_{k-1}$ ,  $r_{k-2}$  та  $y_k$ ,  $y_{k-1}$ ,  $y_{k-2}$ .

Схема нейронного контролера з розділеними входами наведена на рис. 5.

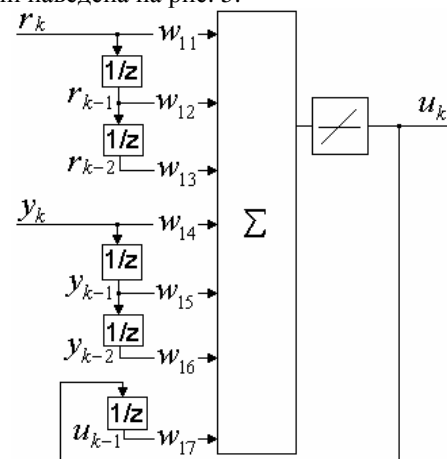


Рис. 5. Схема нейронного контролера з розділеними входами

Рівняння, що описує функціонування нейронного контролера з розділеними входами, має вигляд:

$$U_k = W_{11} \cdot r_k + W_{12} \cdot r_{k-1} + W_{13} \cdot r_{k-2} + W_{14} \cdot y_k + W_{15} \cdot y_{k-1} + W_{16} \cdot y_{k-2} + W_{17} \cdot u_{k-1} \quad (19)$$

Очевидно, що при  $W_{14} = -W_{11}$ ,  $W_{15} = -W_{12}$ ,  $W_{16} = -W_{13}$  схеми на рис. 3 і рис. 5 еквівалентні, однак тепер в процесі навчання схеми, яка наведена на рис. 5, вагові коефіцієнти встановлюються незалежно один від одного, що в разі необхідності дозволить подавати керуючу дію на об'єкт поза межами кола оберненого зв'язку системи. Значення вагового коефіцієнта  $W_{17}$  вважаємо завжди фіксованим і рівним одиниці.

Структурна схема системи автоматичного керування, в якій використовується нейронний контролер з розділеними входами, наведена на рис. 6, а осцилограми процесів на виходах еталона та об'єкта, керованого контролером з розділеними входами, при подачі на їх входи одиничного стрибка показані на рис. 7.

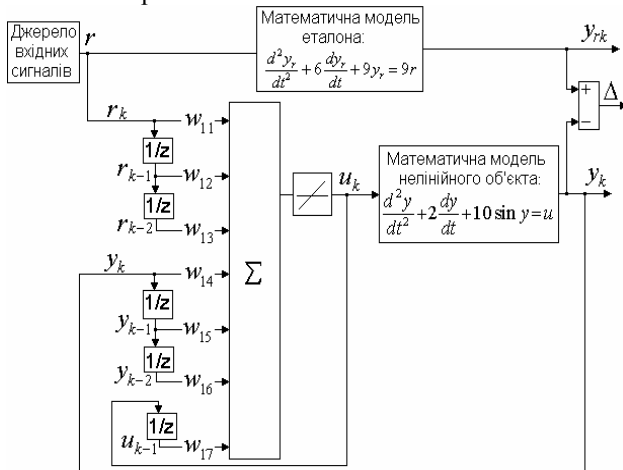


Рис. 6. Структурна схема системи автоматичного керування, реалізованої на базі нейронного контролера з розділеними входами

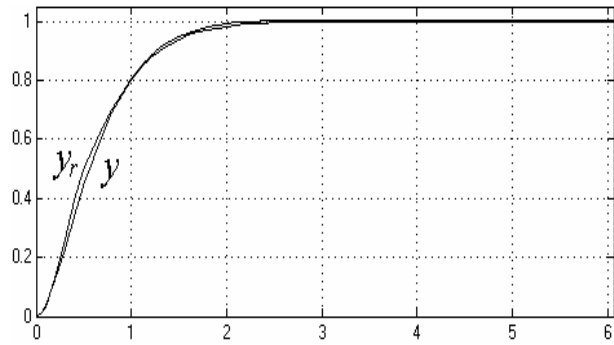


Рис. 7. Сигнали на виходах еталона  $y_r$  і об'єкта, керованого нейронним контролером з розділеними входами  $y$

Порівняння наведених на рис. 4 і рис. 7 осцилограм показує, що використання нейронного контролера з розділеними входами для керування процесом в нелінійному об'єкті приводить до суттєвого покращення динамічних характеристик системи.

1. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов, Б.Е. Федунев. – М.: Физмат лит, 2000.- С.30-35. 2. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. - М.: Горячая линия–Телеком, 2001.- С.25-37. 3. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации. - М.: Финансы и статистика, 2002.- С.51-57. 4. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. - М.: Диалог-МИФИ, 2002.- С.41-49.