

УДК 62-52

Шеремет О. І.

МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ, ЩО НЕ МОЖУТЬ ВІДДІЛЯТИСЬ ВІД ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Нелінійними називаються системи автоматичного керування, математичне описання яких не задовольняє умови лінійності [1]. Полягають ці умови у тому, що при зміні зовнішньої дії на ланку або систему в K разів характер перехідного процесу не змінюється, а змінюється лише масштаб вихідної величини в K разів.

Крім того, реакція ланки або системи на декілька одночасно прикладених дій дорівнює сумі реакцій на кожну з цих дій, прикладених окремо. Якщо система містить хоча б одну нелінійну ланку, то в цілому вона є нелінійною. Нелінійні ланки описуються нелінійними рівняннями. Ознакою нелінійних рівнянь є залежність коефіцієнтів рівнянь від координат системи або їхніх похідних, а також наявність у рівняннях добутоків деяких координат чи їхніх похідних.

Усі реальні системи автоматичного керування електроприводами нелінійні. Рівняння, що описують динамічні процеси в електричній машині, нелінійні, бо індуктивність є функцією струму, ЕРС внаслідок насичення магнітної системи нелінійно залежить від струму збудження, опір обмоток якоря та збудження залежить від температури тощо. Крім того, в електроприводах використовуються підсилювачі з насиченням, елементи механічних передач із люфтами і сухим тертям та інші нелінійні елементи [2].

Велика кількість електромеханічних систем має об'єкти з нелінійностями, які не можна відділити від лінійної частини, тобто не можна виміряти або розрахувати сигнал, який би проходив через об'єкт при відсутності нелінійної частини.

При цьому, однак, об'єкт можна подати як добуток лінійної передатної функції та змінного коефіцієнта підсилення, що визначається нелінійною складовою [3, 4]. Коефіцієнт підсилення лінійної частини при такому підході можна вважати рівним одиниці.

Мета статті – представити метод компенсації нелінійностей, що принципово (за технічними особливостями) не можуть бути відділені від об'єкта автоматизованої електромеханічної системи.

Використовуючи вказаний вище підхід, розглянемо деякий об'єкт, який складається із лінійної частини у вигляді аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{1}{Tp + 1}, \quad (1)$$

та нелінійної, що може бути представлена зоною насичення з коефіцієнтом підсилення k на лінійній частині:

$$E(U) = \begin{cases} -10k & \text{при } U < -10, \\ kU & \text{при } -10 \leq U \leq 10, \\ 10k & \text{при } U > 10, \end{cases} \quad (2)$$

де E – вихідна координата об'єкта, що розглядається;

U – вхідна (керуюча) координата об'єкта (може бути інтерпретована як напруга завантаження).

Поставимо задачу компенсації впливу цієї нелінійності на електромеханічну систему. Типова нелінійна статична характеристика об'єкта з коефіцієнтом підсилення $k = 50$ наведена на рис. 1 [5].

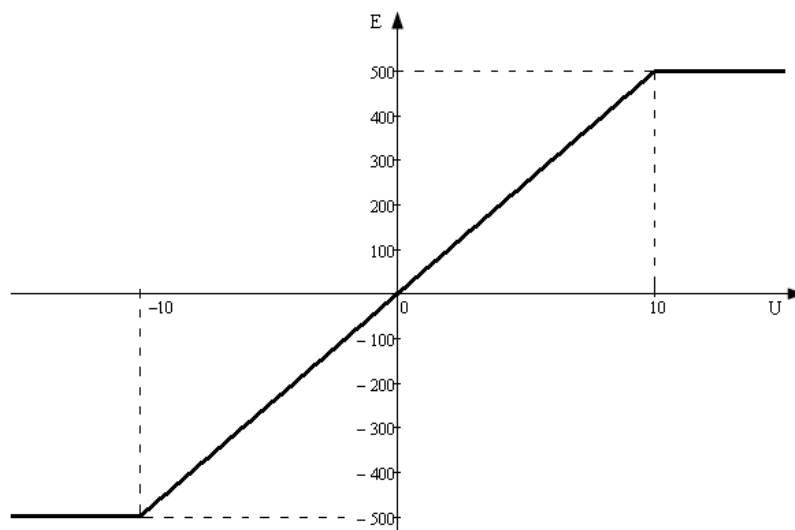


Рис. 1. Нелінійність, що не відділяється від лінійної частини

Таку нелінійність можна «дискретизувати», тобто розбити на певні рівні через однакові проміжки зміни вхідної координати ΔU . Прийнемо $\Delta U = 1$. Крім того, передбачаючи необхідність обернення нелінійності, відійдемо від нульового рівня і, таким чином, одержимо наступні залежності:

$$E_{(диск+)}(U) = \begin{cases} E(\Delta U) & \text{при } 0 \leq U \leq \Delta U, \\ E(\Delta U) & \text{при } \Delta U \leq U \leq 2\Delta U, \\ E(2\Delta U) & \text{при } 2\Delta U \leq U \leq 3\Delta U, \\ \dots & \\ E((n-1)\Delta U) & \text{при } (n-1)\Delta U \leq U \leq n\Delta U, \end{cases} \quad (3)$$

де $E_{(диск+)}(U)$ – дискретизована нелінійність в області додатних значень вхідної координати $U_{d\alpha}$.

$$E_{(диск-)}(U) = \begin{cases} E(-\Delta U) & \text{при } -\Delta U \leq U \leq 0, \\ E(-\Delta U) & \text{при } -2\Delta U \leq U \leq -\Delta U, \\ E(-2\Delta U) & \text{при } -3\Delta U \leq U \leq -2\Delta U, \\ \dots & \\ E(-(n-1)\Delta U) & \text{при } -n\Delta U \leq U \leq -(n-1)\Delta U, \end{cases} \quad (4)$$

де $E_{(диск-)}(U)$ – дискретизована нелінійність в області від’ємних значень вхідної координати U .

Для керування об’єктом, у відповідності до загальних принципів розв’язання зворотних задач динаміки у теорії автоматичного керування, обернемо цю нелінійність, перетворивши формули (3) та (4) до наступного вигляду:

$$E_{(диск+)}^{-1}(U) = \begin{cases} 10/E(\Delta U) & \text{при } 0 \leq U \leq \Delta U, \\ 10/E(\Delta U) & \text{при } \Delta U \leq U \leq 2\Delta U, \\ 10/E(2\Delta U) & \text{при } 2\Delta U \leq U \leq 3\Delta U, \\ \dots & \\ 10/E((n-1)\Delta U) & \text{при } (n-1)\Delta U \leq U \leq n\Delta U. \end{cases} \quad (5)$$

$$E_{(\text{диск-})}^{-1}(U) = \begin{cases} 10/E(-\Delta U) & \text{при } -\Delta U \leq U \leq 0, \\ 10/E(-\Delta U) & \text{при } -2\Delta U \leq U \leq -\Delta U, \\ 10/E(-2\Delta U) & \text{при } -3\Delta U \leq U \leq -2\Delta U, \\ \dots & \dots \\ 10/E(-(n-1)\Delta U) & \text{при } -n\Delta U \leq U \leq -(n-1)\Delta U. \end{cases} \quad (6)$$

Обернення лінійної частини об'єкта не становить труднощів і може бути виконане за загальними правилами обернення структурних схем [4]. На рис. 2 показана структурна схема лінійної частини об'єкта.

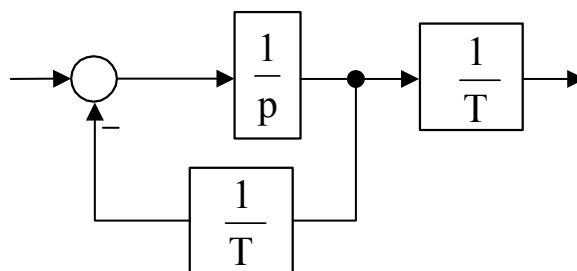


Рис. 2. Структурна схема лінійної частини об'єкта

На рис. 3 наведена обернена структурна схема лінійної частини об'єкта.

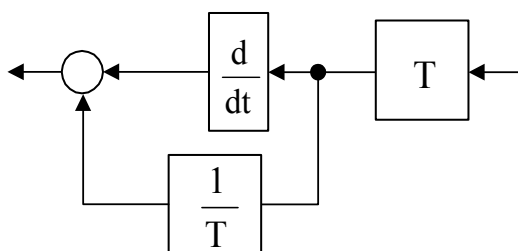


Рис. 3. Структурна схема оберненої лінійної частини об'єкта

Тоді обернений об'єкт з нелінійністю може бути представлений у вигляді структурної схеми, показаної на рис. 4. Обернений нелінійний елемент у цій схемі створює змінний коефіцієнт підсилення, який залежить від дії, що подається на вхід.

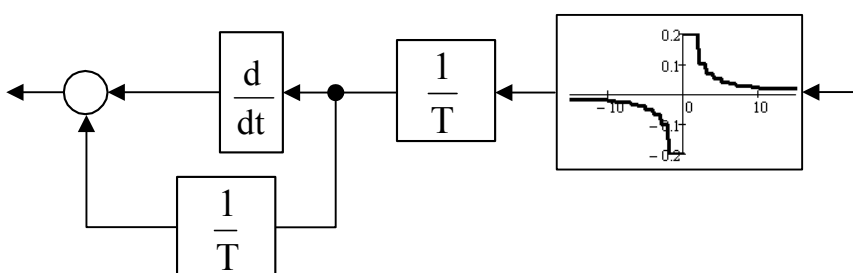


Рис. 4. Структурна схема оберненого нелінійного об'єкта

Оскільки в якості нелінійності використовується зона насичення [6, 7], то при неможливості відділення нелінійної частини об'єкта від лінійної, для компенсації впливу нелінійності потрібно використати більше одного екземпляра об'єкта. Якщо сигнал завдання не призводить до двократного перевищення межі нелінійності, то таких об'єктів повинно бути два, і вмикати їх потрібно паралельно. Один з можливих варіантів реалізації цієї ідеї наведений на рис. 5.

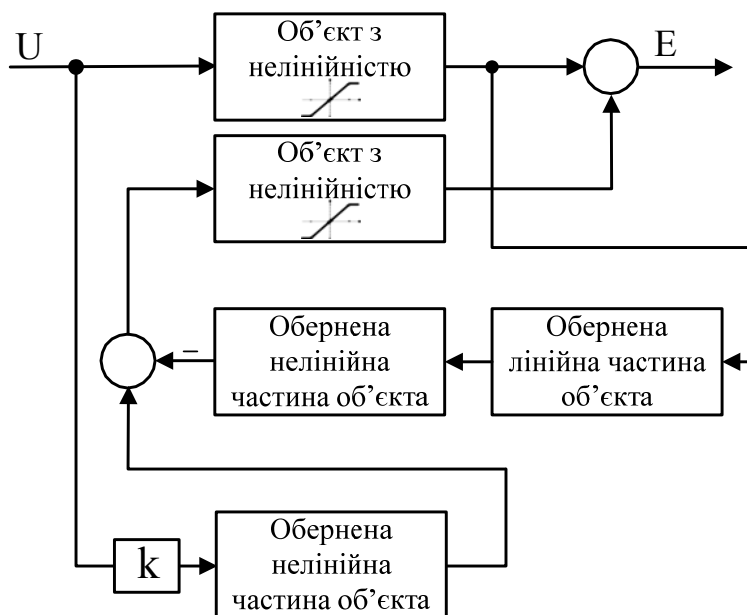


Рис. 5. Функціональна схема об'єкта з нелінійністю, що не відділяється, дія якої компенсується за допомогою обернення лінійної та нелінійної частин

Структурна схема у відповідності до функціональної схеми на рис. 5 та особливості об'єкта, що розглядається, може бути представлена у наступному вигляді (рис. 6).

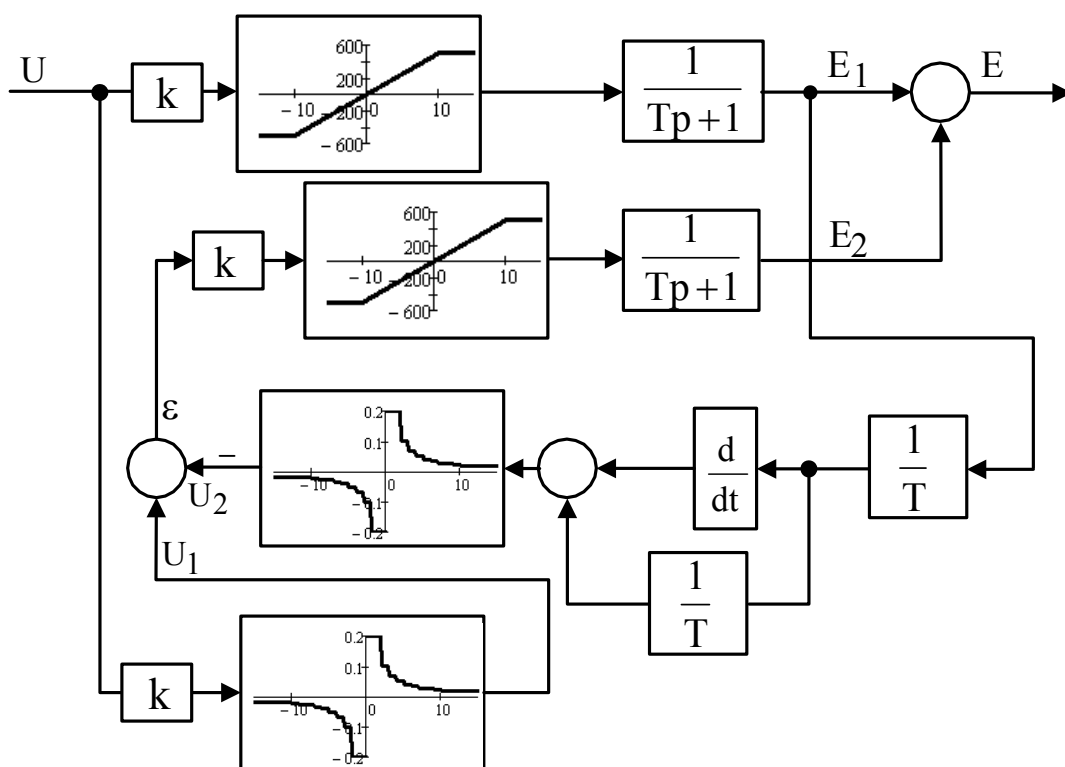


Рис. 6. Структурна схема об'єкта з нелінійністю, що не відділяється, дія якої компенсується за допомогою обернення лінійної та нелінійної частин

Таким чином, при реалізації компенсації нелінійності у об'єкті потрібно використати два екземпляри об'єкта. На перший об'єкт подається завдання U , а на його виході формується сигнал E_1 , що обумовлюється впливом як лінійної, так і нелінійної складових об'єкта.

Далі сигнал E_1 послідовно обертається спочатку лінійною частиною об'єкта, а потім – нелінійною. У результаті формується сигнал U_2 , в якому відобразатиметься вплив нелінійності на E_1 (U_2 буде дорівнювати частині U , що відпрацьована об'єктом). Значення U_1 – це те завдання, яке мав би відпрацювати об'єкт при відсутності у його структурі нелінійної частини. В загальному випадку $U_1 \neq U$. Тоді на вхід допоміжного об'єкта потрібно подати у якості вхідного сигналу розузгодження ε між U_1 та U_2 :

$$\varepsilon = U_1 - U_2. \tag{7}$$

Виконаємо моделювання нелінійного об'єкта [8] у програмному середовищі MATLAB Simulink. Для цього задамося сталою часу $T = 0,005$ с. Обернену дискретизовану нелінійність представимо у вигляді s-функції nonlinear, а обернену лінійну частину – у вигляді маскованої підсистеми Linear (рис. 7, 8).

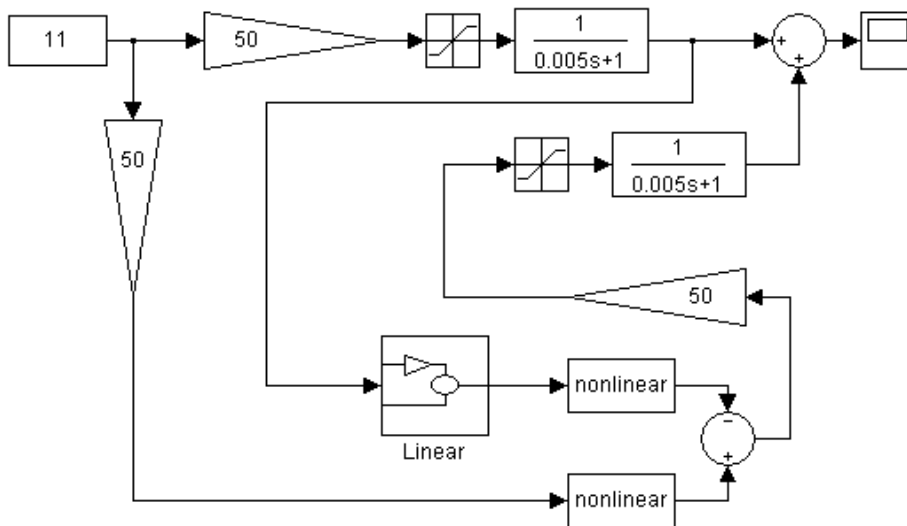


Рис. 7. Модель об'єкта з нелінійністю, що не відділяється, дія якої компенсується за допомогою обернення лінійної та нелінійної частин

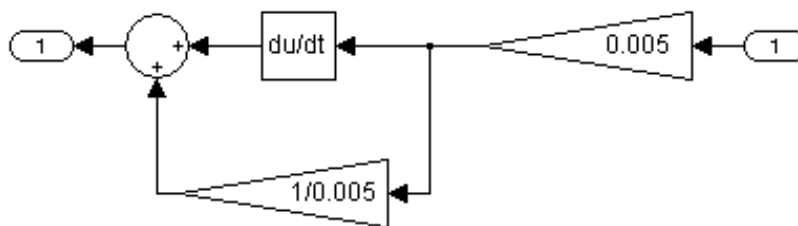
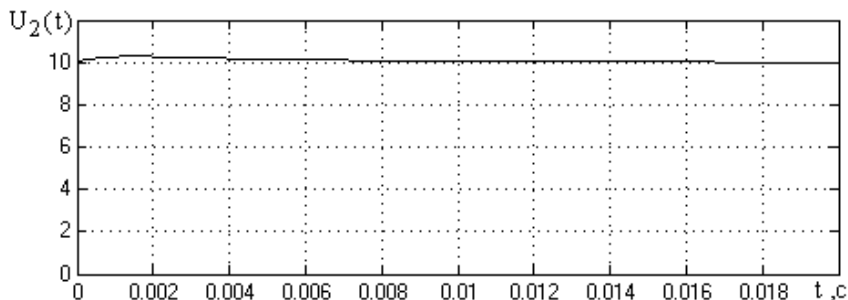


Рис. 8. Модель оберненої лінійної частини об'єкта

Модель, показана на рис. 7, дозволяє компенсувати вплив нелінійної частини об'єкта. В якості прикладу на вхід системи подається сигнал завдання $U = 11$, при якому на виході системи з нелінійністю усталене значення E повинно дорівнювати 500. Проте, у формуванні вихідної координати приймають участь два об'єкти. Перший об'єкт після завершення перехідного процесу на виході матиме значення $E_1 = 500$. Потім E_1 поступає на вхід ланки обернення лінійної та нелінійної частин, у результаті чого утворюється $U_2 = 10$, тобто те вхідне значення, яке реально відпрацьоване об'єктом (рис. 9).

Рис. 9. Залежність U_2 від часу

Значення U_2 віднімається від $U_1 = U = 11$. Розузгодження $\varepsilon = 1$ подається на вхід другого (допоміжного) об'єкту, з виходу якого надходить $E_2 = 50$. Після складання цього значення з $E_1 = 500$ одержуємо усталене значення $E = 550$ (рис. 10), тобто вплив нелінійної частини повністю ліквідується.

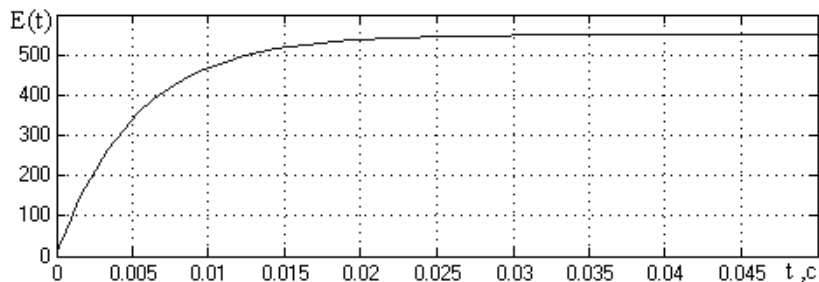


Рис. 10. Залежність вихідної координати від часу

ВИСНОВКИ

Використовуючи розглянуту методику компенсації нелінійностей, можна ліквідувати вплив на систему будь-якої нелінійності, проте, це потребує використання декількох екземплярів об'єкта керування для доопрацювання сигналу, який не може видати один об'єкт з нелінійністю, що не відділяється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учеб. пособ. / Д. П. Ким. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 64 с.
2. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.
3. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Д. П. Ким. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
4. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций : учеб. пособ. для вузов / П. Д. Крутько. – М. : Машиностроение, 2004. – 576 с.
5. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев, Издательство Выща школа Головное издательство, 2009. – 364 с.
6. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления / Е. П. Попов. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
7. Солодовников В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования : учеб. пособ. для вузов / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников. – М. : Машиностроение, 1985. – 536 с.
8. Башарин А. В. Динамика нелинейных автоматических систем управления / А. В. Башарин, И. А. Башарин. – Л. : Энергия, 1974. – 200 с.