Садовой О.В., **Україна**
Шеремет О.І. **Дніпродзержинськ, Краматорськ**

Дніпродзержинський державний технічний університет
Донбаська державна машинобудівна академія

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

Вступ. Більшість електромеханічних систем включають до свого складу об'єкти керування, які мають суттєво нелінійну частину типу зони насичення [1]. Будь-який об'єкт керування можна подати як добуток лінійної та нелінійної складових [2]. Лінійну складову можна розглядати у вигляді деякої передатної функції. Якщо привести коефіцієнт підсилення цієї складової до одиниці, то вона впливатиме виключно на поведінку об'єкта впродовж динамічного режиму роботи, а коефіцієнт підсилення об'єкта і його залежність від вхідної дії буде визначатись нелінійною складовою. При цьому нелінійну складову слід розглядати як деяку дискретну функцію, вихідні рівні якої залежать від тієї дії, що подається на вхід.

Постановка задачі. Задача полягає у формуванні зворотної нелінійності по відношенню до тієї, яку потрібно компенсувати, та визначення за її допомогою розузгодження між вихідними координатами нелінійного об'єкта та об'єкта при відсутності нелінійної частини.

Матеріали досліджень. Розглянемо за цим принципом типовий нелінійний об'єкт, що є аперіодичною ланкою в деякому діапазоні значень вхідної координати, а після досягнення нею граничного значення набуває нелінійних властивостей.

Передатна функція лінійної частини такого об'єкта може бути представлена у наступному вигляді: $W(p)=1/(Tp+1)$, де T – стала часу. Нелінійна частина може бути представлена зоною насичення з коефіцієнтом підсилення k у діапазоні значень вхідної координати від $-U_{\max}$ до U_{max} (рис. 1):

$$E(U)=\begin{cases}-E_{\max}\ при\ \ U<-U_{\max}, \\ kU\ при\ \ -U_{\max}\le U\le U_{\max}, \\ E_{\max}\ \ при\ \ U>U_{\max},\end{cases} \qquad 1)$$

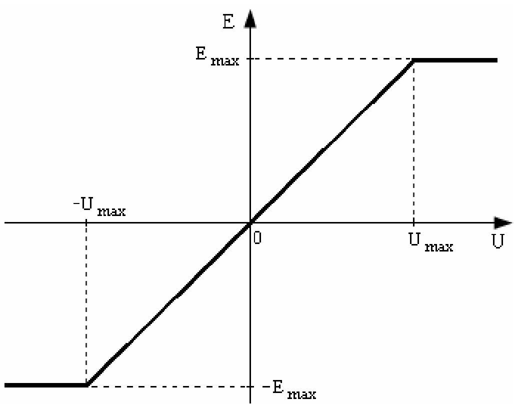

Рис. 1 Нелінійність об'єкта, що розглядається

де E – вихідна координата об'єкта; U – вхідна координата (завдання), що подається на об'єкт; U_{max} – максимальне значення вхідної координати, при якому вихідна координата досягає насичення на рівні E_{max}.

В якості прикладу розглянемо нелінійність типу зони насичення, що має наступні чисельні параметри E_{max} = 500, U_{max} = 10, k = 50.

Таку нелінійність можна «дискретизувати», тобто розбити на певні рівні через однакові проміжки змінення вхідної координати ΔU. Приймемо ΔU = 1. Крім того, передбачаючи необхідність обернення нелінійності, потрібно відійти від нульового рівня так, як це показано на рис. 2. Математично дискретизація такої нелінійності може бути представлена наступним чином:

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

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

$$E_{(диск-)}(U)=\begin{cases}E(-\Delta U)при-\Delta U\le U\le 0, \\ E(-\Delta U)при-2\Delta U\le U\le -\Delta U, \\ E_{d\alpha}(-2\Delta U)при-3\Delta U\le U\le -2\Delta U, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ E(-(n-1)\Delta U)при-n\Delta U\le U\le -(n-1)\Delta U,\end{cases} \qquad (3)$$

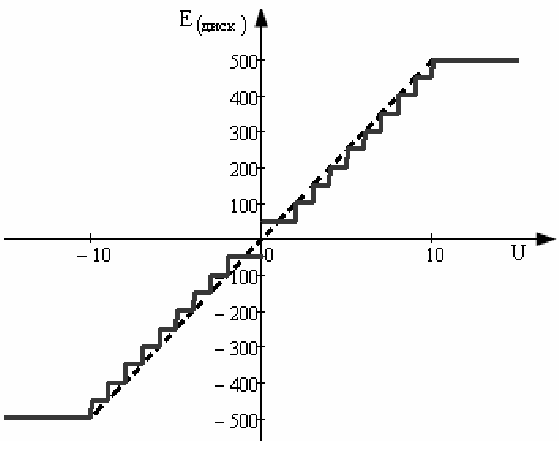

Рис. 2 Дискретизована нелінійність об'єкта

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

Для керування об'єктом з нелінійністю (1) у відповідності до загальних принципів розв'язання зворотних задач динаміки у теорії автоматичного керування [3] обернемо цю нелінійність, перетворивши формули (2) та (3) до наступного вигляду:

$$E^{-1}_{(диск+)}(U)=\begin{cases} U_{\max}/E(\Delta U) \;\; при \;\; 0\le U\le \Delta U, \\ U_{\max}/E(\Delta U) \;\; при \;\; \Delta U\le U\le 2\Delta U, \\ U_{\max}/E(2\Delta U) \;\; при \;\; 2\Delta U\le U\le 3\Delta U, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ U_{\max}/E((n-1)\Delta U) \;\; при \;\; (n-1)\Delta U\le U\le n\Delta U. \end{cases} \quad (4)$$

$$E^{-1}_{(диск-)}(U)=\begin{cases} U_{\max}/E(-\Delta U) \;\; при \;\; -\Delta U\le U\le 0, \\ U_{\max}/E(-\Delta U) \;\; при \;\; -2\Delta U\le U\le -\Delta U, \\ U_{\max}/E(-2\Delta U) \;\; при \;\; -3\Delta U\le U\le -2\Delta U, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ U_{\max}/E(-(n-1)\Delta U) при -n\Delta U\le U\le -(n-1)\Delta U. \end{cases} \quad (5)$$

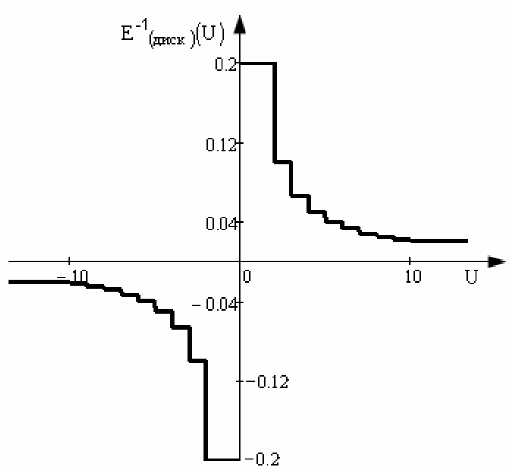

Рис. 3 Обернена дискретизована нелінійність

Відповідна обернена дискретизована нелінійність типу зони насичення наведена на рис. 3. Якщо існує можливість вимірювання або обчислення величини сигналів у системі до нелінійної частини об'єкта та після неї, то компенсувати вплив нелінійності можна за рахунок визначення розузгодження між сигналом, який проходить через об'єкт у системі з нелінійністю, та сигналом, що існував би при її відсутності. Сигнал у електромеханічній системі при відсутності нелінійної частини у об'єкті можна визначити за рахунок використання функцій виду (4) та (5) за структурною схемою на рис. 4.

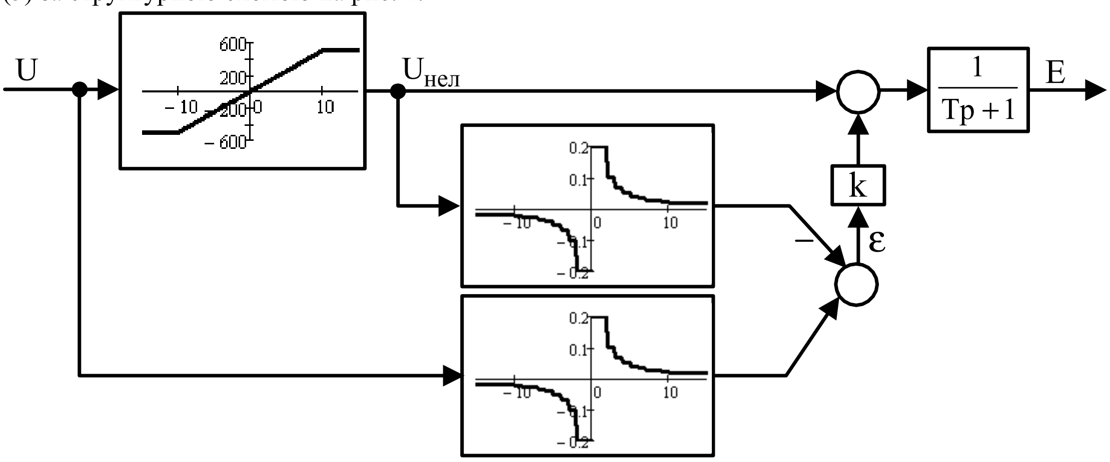

Рис. 4 Структурна схема системи з урахуванням оберненої дискретизованої нелінійності

Сигнал розузгодження ε формується як різниця між сигналом завдання, що не проходить через нелінійну частину об'єкта, та сигналом $U_{нел}$, який формується на виході нелінійності. Таким чином, розузгодження можна визначити за наступною формулою:

$$\varepsilon = E^{-1}(U)-E^{-1}(U_{нел}). \quad (6)$$

Модель об'єкта, реалізована у MATLAB Simulink, наведена на рис. 5. При моделюванні задаємося сталою часу T = 0,005 с. Блоки типу saturation мають на лінійному відрізку коефіцієнт підсилення, що дорівнює одиниці, тому виконуємо масштабування вхідного сигналу у k = 50 разів. Обернену дискретизовану нелінійність представляємо у вигляді s-функції MATLAB – nonlinear, яку формуємо за залежністю, показаною на рис. 3.

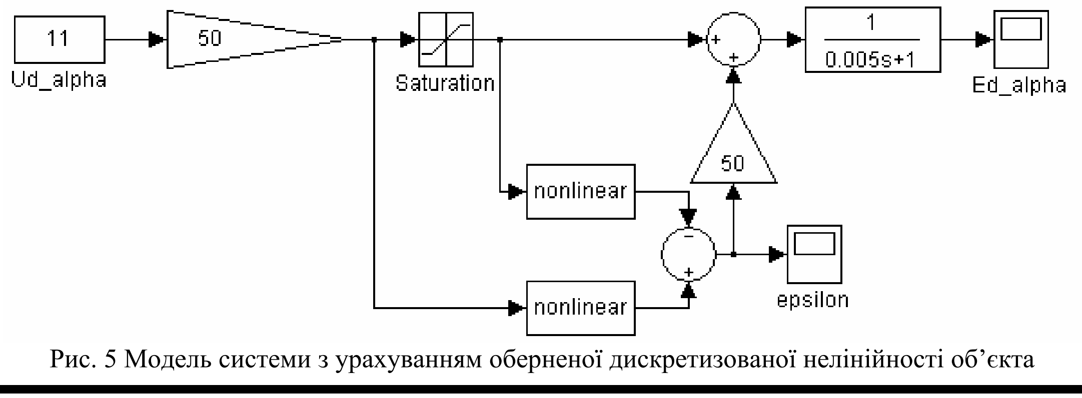

Рис. 5 Модель системи з урахуванням оберненої дискретизованої нелінійності об'єкта

Фрагмент програмного коду, який занесено до складу блока nonlinear, має наступний вигляд:

```
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
if (u >=-1) && (u <= 0)
  sys = u * 0.2;
end;
if (u >=-2) && (u <= -1)
  sys = u * 0.2;
end;
if (u >=-3) && (u <= -2)
  sys = u * 0.1;
end;
if (u >=-4) && (u <= -3)
  sys = u * 0.0667;
end;
if (u >=-5) && (u <= -4)
  sys = u * 0.05;
end …
```

Модель, показана на рис. 5, дозволяє компенсувати вплив нелінійної частини об’єкта у вигляді зони насичення. В якості прикладу на вхід подається завдання $U = 11$, при якому на виході системи з нелінійністю усталене значення E повинно дорівнювати 500. Проте, паралельні компенсуючі гілки дають на вхід лінійної частини додаткове завдання у вигляді розузгодження з виходів блоків nonlinear, $\varepsilon = 1$, що підсилюється у $k = 50$ разів. За рахунок цього на виході утворюється такий сигнал, яким би він був у системі за відсутності нелінійності (рис. 6), тобто усталене значення E складає 550.

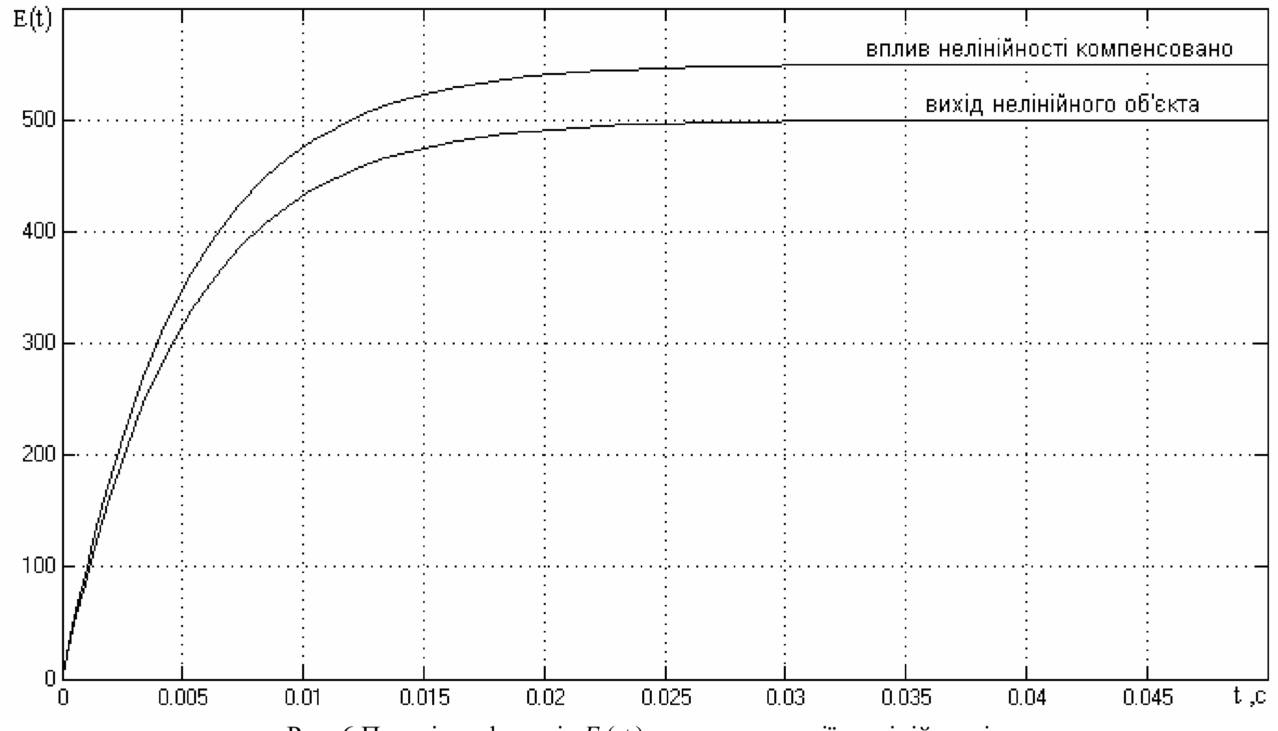

Рис. 6 Перехідна функція $E(t)$ при компенсації не лінійності

Висновок. Використовуючи розглянуту методику компенсації нелінійностей, можна ліквідувати вплив на систему нелінійності типу зони насичення, проте ця нелінійність повинна відділятись від лінійної частини об’єкта, тобто сигнал перед нею та після неї має бути доступним для вимірювання або обчислення.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
3. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций: Учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 2004 – 576 с.