

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ АПРОКСИМАЦІЇ ТИПОВИХ ГІСТЕРЕЗИСНИХ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ

Бугровий А.А., Демченко М.С., студенти, Приймак Б.І., к.т.н., доц.  
НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Штучні нейронні мережі (НМ) належать до перспективних засобів моделювання складних динамічних систем. Вони обробляють інформацію в паралельній формі і дозволяють різко збільшити швидкість обчислень. Тому є актуальною тема застосування НМ для апроксимації типових нелінійних характеристик, що властиві нелінійним автоматичним системам.

**Метою роботи** є дослідження питань апроксимації типових гістерезисних нелінійностей за допомогою нейронної мережі прямого передавання сигналу.

**Матеріал досліджень.** Статичні нелінійності в теорії нелінійних систем автоматичного керування поділяються на однозначні та неоднозначні (гістерезисні) [1]. На рис.1 зображено характеристики двох типових неоднозначних нелінійностей, які будуть використовуватися в даній статті.

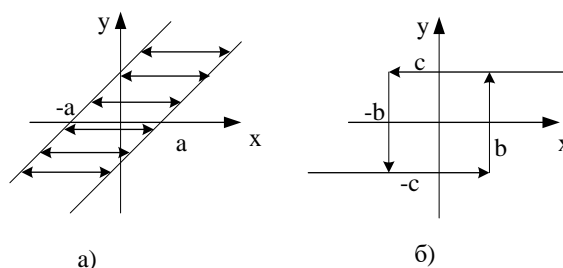


Рисунок 1 – Типові нелінійні неоднозначні характеристики : а) люфт; б) двопозиційне реле з гістерезисом

Для досліджень використовувалось програмне середовище MatLab/Simulink [2]. За основу було взято НМ прямого передавання сигналу з трьома входами, одним прихованим шаром нейронів та з одним вихідним нейроном. Для надання мережі динамічних властивостей вона була доповнена двома елементами затримки на період дискретності. При цьому на входи НМ подавалися вхідний сигнал, на період затриманий вхідний сигнал та затриманий на період вихідний сигнал мережі. Кількість нейронів у прихованому шарі  $S_1$  була варійованим параметром.

Для формування навчальних множин даних елементи вектора входу  $X$  подавалися на вхід кожної із зображених на рис. 1 нелінійних характеристик, а вихід нелінійної характеристики являв собою елементи вектора виходу  $Y$ . Вектор  $X$  формувався як гармонічний сигнал змінної частоти. На основі сформованих таким чином навчальних множин здійснювалося навчання 2-х НМ при різних значеннях  $S_1$ . У процесі навчання мінімізувалася середня квадратична помилка мережі  $E_{net}$  і, як наслідок, різниця між сигналом на виході мережі  $y_{net}$  та сигналом на виході нелінійності у зменшувалася.

Результати навчання нейронних мереж наведено в табл.

Кількість нейронів S1	Двопозиційне реле з гістерезисом		Люфт	
	Похибка мережі $E_{net}$	Коефіцієнт регресії R	Похибка мережі $E_{net}$	Коефіцієнт регресії R
2	4.59e-09	1	3.94e-4	0.99994
4	3.99e-09	1	2.73e-5	1
6	6.49e-09	1	2.42e-6	1

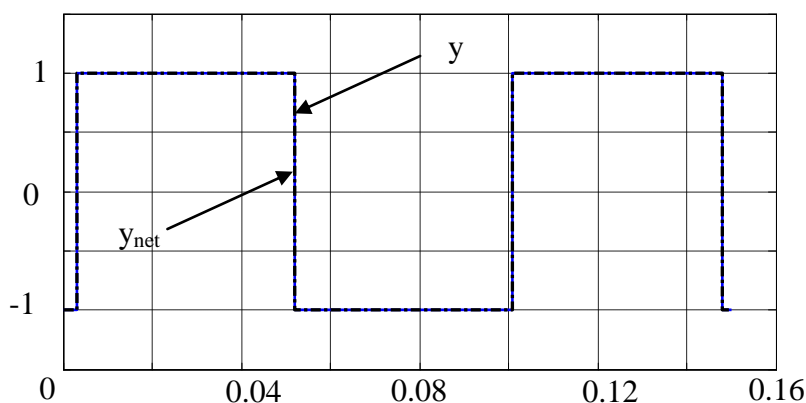


Рисунок 2 – Реакції реле з гістерезисом та нейронної мережі (S1=4) на вхідний гармонічний сигнал

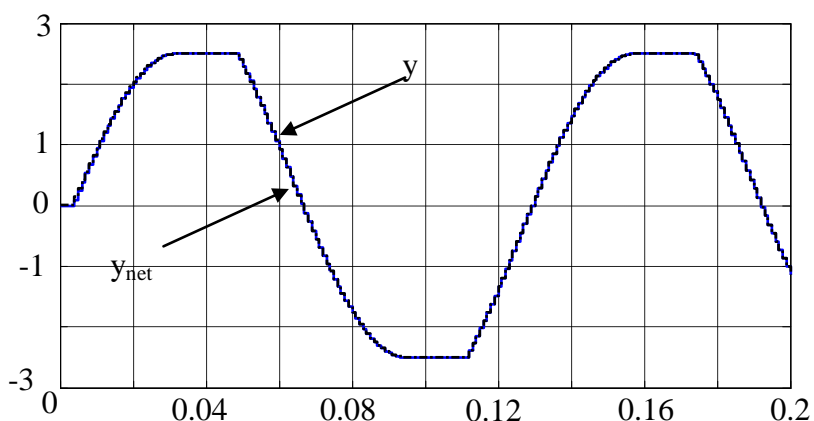


Рисунок 3 – Реакції нелінійності з люфтом та нейронної мережі (S1=6) на вхідний гармонічний сигнал

Як можна побачити з табличних даних, при апроксимації двопозиційного реле найкраще навчалася мережа з S1=4.

Для перевірки якості апроксимування нелінійностей порівнювалися виходи навчених нейронних мереж  $y_{net}(t)$  з виходами відповідних нелінійних елементів  $y(t)$  при вхідному гармонічному сигналі  $x(t)$ . Отримані результати представлені на рис. 2, 3. Аналіз цих результатів показує, що досягається висока точність апроксимації. При цьому кількість нейронів захovanого шару НМ, що відтворювала характеристику двопозиційного реле з гістерезисом була S1=4, а люфта – S1=6.

**Висновки.** Для апроксимації характеристик реле з гістерезисом та люфта при навчанні мережі рекомендується застосовувати вхідний сигнал у вигляді гармоніки змінної частоти. Досить висока точність апроксимації може бути досягнута для релейної характеристики при S1=4, а для люфта – при S1=6.

#### Перелік посилань

1. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування : підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. / М.Г.Попович, О.В. Ковальчук.– К. : Либідь, 2007.– 656 с.
2. Neural Networks Toolbox User's Guide: MathWorks. – 2004.