

Література

1. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. М.: Транспорт, 2002 – 637 с.
2. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. М.: Транспорт, 1999 – 464 с.
2. Ковалев Ф.И., Мосткова Г.П. Полупроводниковые выпрямители. М.: Энергия, 1967 – 480 с.
4. Шалимов М.Г. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций.- М.: Транспорт, 1990 – 127 с.

Анотації:

Проаналізований вплив комутації на гармонічний склад вихідної напруги випрямляючої установки з вольтододавальною перетворювачем в симетричному та асиметричному режимах роботи.

Проанализировано влияние коммутации на гармонический состав выходного напряжения выпрямительной установки с вольтодобавочным преобразователем в симметричном и асимметричном режимах.

The authors analyze the influence of switching on the harmonic composition of output voltage of a rectifying installation with a buck converter in the symmetrical and asymmetrical modes.

УДК 656.25:681.3.07

КУЗЬМЕНКО Д.М., аспірант (УкрДАЗТ),

Метод аналізу стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі

Вступ, аналіз публікацій, постановка задачі дослідження

У колі сучасних задач, які потребують моделювання функцій систем і пристроїв залізничної автоматики, як правило, присутні елементи невизначеності. Це обумовлено різними факторами, насамперед, суттєвим розширенням можливостей теоретичного апарату, з одного боку, з іншого – якісною зміною елементної бази реалізації засобів автоматизації. Одним із проявів такого явища є використання обмеженого набору елементарних функцій, що застосовуються в процесі моделювання. Як правило – це тільки бінарні логічні, характерні для релейних систем. З іншого боку, наявні сучасні програмно-апаратні засоби реалізації дозволяють суттєво розширити коло математичних методів та моделей. Протиріччя виявляється в недостатньому теоретичному обґрунтуванні вибору саме такого вигляду елементарних математичних функцій та синтезованої структури системи керування пристроями автоматики [1].

У зв'язку з цим слід відзначити математичний апарат теорії нейронних мереж (НМ), який останнім часом динамічно розвивається й досить широко впроваджується в засобах автоматизації технологічних процесів [2]. Основна мотивація його застосування – усунення апріорної невизначеності вхідної або вихідної інформації, структурної організації тощо. З іншого боку, реалізація нечіткої системи керування, особливо на залізничному транспорті, потребує обґрунтованого доказу надійності та безпеки засобів, що використовуються при синтезі систем та пристроїв [3]. Але в контексті теорії нейронних мереж під характеристикою надійності здебільше розуміється оцінка стійкості процесу навчання, а не функціонування моделі в цілому з урахуванням її реалізації засобами обчислювальної техніки [2].

Задача дослідження

Розробка методу аналізу стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі, яка мо-

же стати основою при моделюванні функцій пристроїв системи залізничної автоматики.

Основний матеріал

Розглянемо динамічну нейронну мережу із зовнішніми зворотними зв'язками (NARX),

динаміка якої формалізується наступним чином [5]:

$$y(n+1) = F(y(n), \dots, y(n-q+1), u(n), \dots, u(n-q+1)), \quad (1)$$

де F - деяка нелінійна функція власних аргументів; q - розмірність лінії затримки; n - дискретний проміжок часу (рисунок 1).

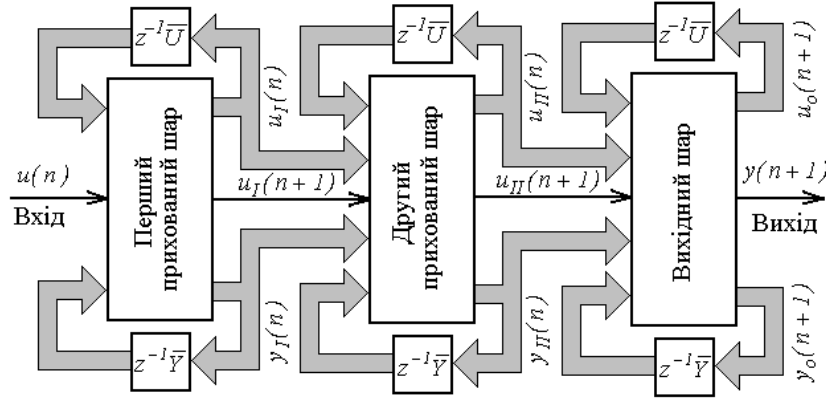


Рисунок 1. - Структура динамічної нейронної мережі NARX

Як відомо з роботи [6], у процесі навчання мережі NARX розраховуються значення вагових коефіцієнтів за методом зворотного розповсюдження помилки в часі. Для врахування дії ліній затримок за вхідними значеннями $z^{-1}\bar{U}$ та вихідними $z^{-1}\bar{Y}$ (рисунок 1) у алгоритмі передбачено розгортання мережі на $q + 1$ етапів навчання.

При навчанні нейронної мережі вагові коефіцієнти розраховуються методом градієнтного спуску за поверхнею помилки [7]. Як правило, зупинка алгоритму виконується за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки за всіма значеннями еталонного та отриманого вихідного вектору. При цьому кількість реалізацій нейронної мережі для вирішення однієї задачі не дорівнює одиниці, у загальному випадку вона може бути необмежена [2]. У зв'язку з цим розглянемо метод оцінки отриманої в результаті навчання мережі NARX за критерієм стійкості з позиції класичної теорії автоматичного керування.

Слід зазначити, що визначення аналітичного виразу передаточної функції як у загальному вигляді, так і для конкретної реалізації мережі NARX є досить нетривіальною задачею. У зв'язку з цим слід зупинитись на кри-

терії стійкості Найквіста, який дозволяє виконувати аналіз за виглядом амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) системи в цілому, як результат реакції на вхідні сигнали.

Для отримання АФЧХ розглянемо структуру моделі (рисунок 2), де на вхід нейронної мережі $u(n)$, яка досліджується, у кожний дискретний момент часу n з генератора (Γ) подається сигнал з нормованою амплітудою ($A = 1$) та частотою $\omega = 2\pi f$, де

$$f = 1, 2, \dots, \frac{1}{2} F_{max}, \text{ тобто}$$

$$u(n) = A \sin(\omega n). \quad (2)$$

Вихідний сигнал мережі перемножується з квадратурними сигналами цього ж генератора [8]:

$$g(n) = A \sin(\omega n), \quad \bar{g}(n) = A \cos(\omega n), \quad (3)$$

тоді миттєві значення амплітуди та фази вихідного сигналу наступні [8]:

$$s(n) = \sqrt{g_o^2(n) + \bar{g}_o^2(n)}, \quad (4)$$

$$\varphi(n) = \arctg \frac{\bar{g}_o(n)}{g_o(n)}, \quad (5) \quad \text{де } g_o(n) \text{ та } \bar{g}_o(n) \text{ відповідні виходи пристроїв множення.}$$

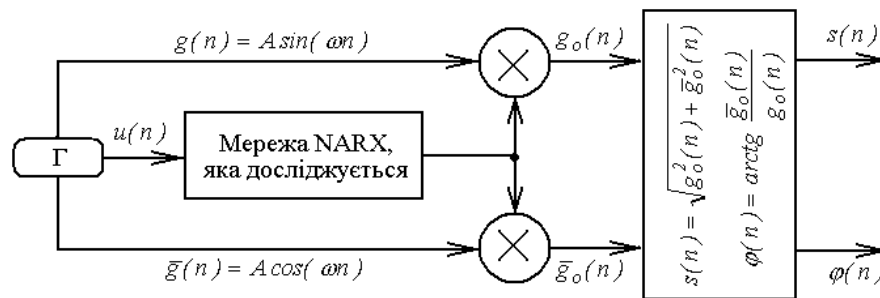


Рисунок 2. - Структура моделі аналізу стійкості нейронної мережі

Розглянемо декілька реалізацій динамічної нейронної мережі NARX, отриманих як результат моделювання функцій базового елемента (БЕ) системи залізничної автоматики. При цьому основним призначенням моделі БЕ є ступінчате реагування на поступове зростання амплітуди вхідного сигналу з захистом від впливу

завад, так, щоб поодинокі сплески не впливали на роботу мережі. Для реалізації такої функціональності розроблена навчальна послідовність – цільова функція, яка складається з множин дискретних значень входу (рисунок 3, а) та еталонних вихідних (рисунок 3, б).

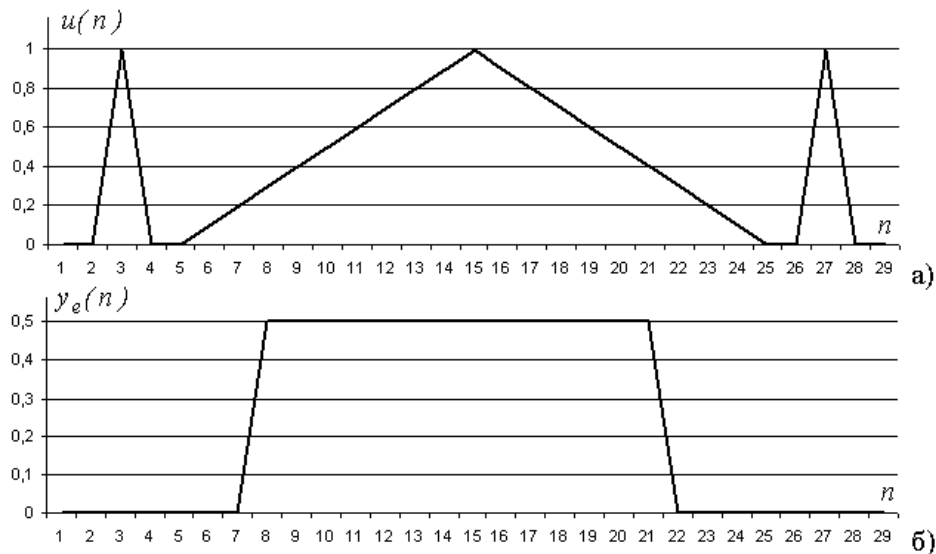


Рисунок 3. - Навчальна послідовність мережі NARX моделі базового елемента

При мінімальній конфігурації нейронної мережі, тобто один схований шар, один елемент затримки за входом та один за виходом (рисунок 1), процес навчання за модифікованим алгоритмом зворотного розповсюдження помилки склався зі 100 ітерацій. Отримано загальну енергію середньоквадратичної помилки за всіма навчальними прикладами –

1,93478401. Результат функціонування моделі БЕ після закінчення процесу навчання при вхідній послідовності (рисунок 3, а) зображений на рисунку 4.

Як видно з графіку залежності вихідного значення моделі БЕ $y(n)$, від вхідного $u(n)$, який послідовно подано на вхід у дис-

кретний момент часу $n = 1, 2, \dots, N_{max}$ - нейронна мережа досить адекватно відтворює висунуті вимоги.

Для аналізу стійкості отриманої реалізації БЕ встановимо інваріантні значення у моделі (2) – (5): $A = 1$, $F_{max} = 1000$ (Гц). З метою усунення впливу перехідних процесів об'єм вхідної послідовності при кожній частоті

ті f встановимо, виходячи з припущення, що за п'ять періодів коливань динаміка моделі стабілізується [8], тоді $n = 5 \cdot \frac{F_{max}}{f}$.

Амплитудно-фазову частотну характеристику БЕ, отриману як результат функціонування моделі (2) – (5), зображено на рисунку 5.

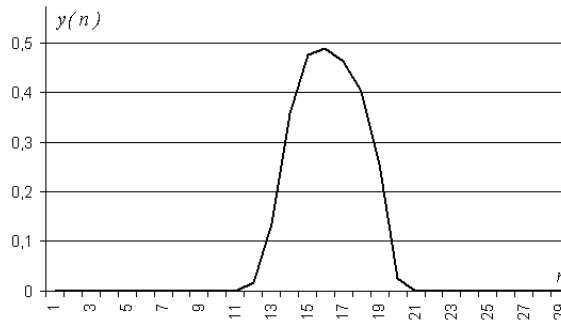


Рисунок 4. - Послідовність значень виходу моделі БЕ (реалізація №1)

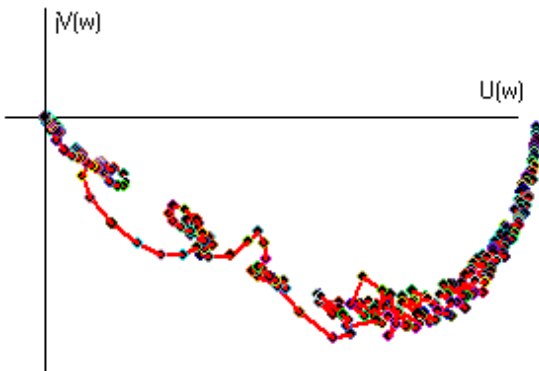


Рисунок 5. - АФЧХ моделі БЕ (реалізація №1)

Як видно з АФЧХ модель БЕ представляє собою фільтр нижніх частот і є стійкою тому, що при зміні f від 1 до $\frac{1}{2} F_{max}$ характеристика не охоплює точку з координатами $(-1, j0)$ - основна вимога критерію Найквіста виконується.

При наступній реалізації нейронної мережі з аналогічною топологією отримано дещо менше значення загальної енергії середньоквадратичної помилки – 1.49552191. При цьому вигляд АФЧХ моделі зазнав незначних змін, загалом система залишилась стійкою (рисунок 6).

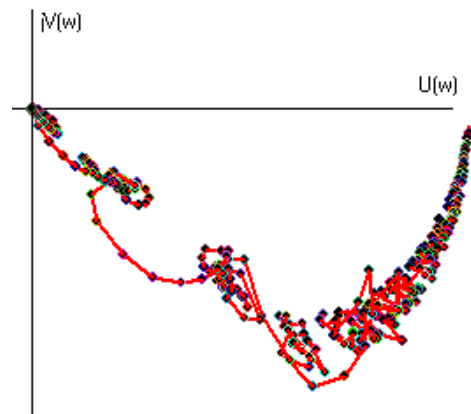


Рисунок 6. - АФЧХ моделі БЕ (реалізація №2)

Узагальнюючи аналіз стійкості реалізації моделі базового елемента мережею NARX з мінімальною топологією, слід відзначити, що вона завжди є стійкою за критерієм Найквіста. В залежності від реалізації змінюється вигляд АФЧХ на частотах вхідного сигналу

$$f > \frac{1}{4} F_{max} .$$

Додавання до структури нейронної мережі ще одного схованого шару приводить до вирівнювання частотної характеристики, при цьому аналіз АФЧХ дозволяє зробити висновок про стійкість моделі БЕ (рисунок 7).

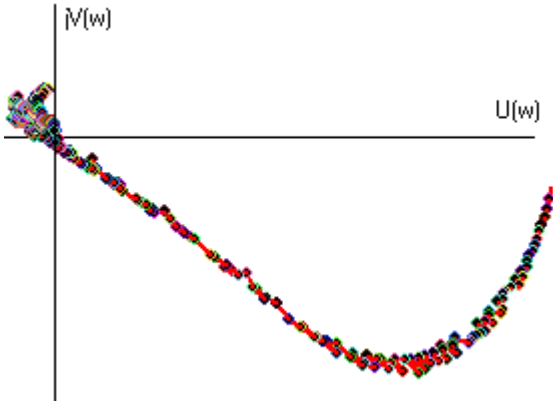


Рисунок 7. - АФЧХ моделі БЕ з двошаровою мережею NARX

Слід відзначити, що збільшення кількості ліній затримок за вхідними $z^{-1}\bar{U}$ та вихідними $z^{-1}\bar{Y}$ значеннями (рисунок 1) приво-

дить до більш точнішої апроксимації цільової функції, відповідно, зменшення загальної енергії середньоквадратичної помилки. З іншого боку, така модифікація структури мережі обумовлює підсилення зворотних зв'язків, і знаходження адекватного компромісу між їх позитивним і негативним впливом у широкому діапазоні частот вхідних сигналів є досить нетривіальною задачею.

Так, в результаті дослідження декількох реалізацій моделі БЕ, яка побудована на мережі NARX з одним прихованим шаром і двома лініями затримки за входами та виходами, зроблено висновок про відсутність стійкості, яка обумовлена значною нерівномірністю АФЧХ на частотах вхідного сигналу $f > 0,1F_{max}$ (рисунок 8).

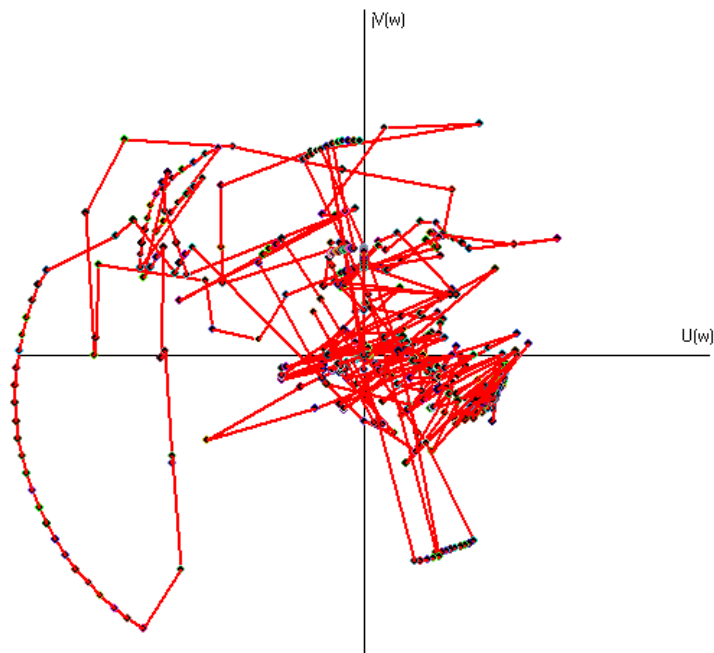


Рисунок 8. - Характерний приклад АФЧХ моделі БЕ з одношаровою мережею NARX і двома лініями затримки за входами та виходами

З цього випливає, що збільшення кількості ліній затримки повинне застосовуватись тільки у випадку нагальної необхідності, наприклад, при необхідності врахування не тільки попереднього стану системи, а ще за більший термін функціонування.

Загальні висновки

Таким чином у роботі розроблено метод аналізу стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі як основи моделювання функцій пристроїв системи залізничної автоматики.

Показано, що для доказу адекватності моделі базового елемента, побудованого на основі мережі NARX, недостатньо досягнення найбільшої точності апроксимації цільової функції, повинен виконуватися аналіз її стій-

Література

1. Чепцов М.М, Бойнік А.Б., Кузьменко Д.М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів: Монографія. – Донецьк: “ДонІЗТ”, – 2010. – 181 с.

2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.

3. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування. – Введ. 09.04.2003. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 31 с.

4. Сапожников В.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов / В.В.Сапожников, Ю.А. Кравцов, Вл.В. Сапожников; Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.

5. Leontaritis I. Input-output parametric models for nonlinear systems: Part I: Deterministic nonlinear systems. // I. Leontaritis, S. Billings / International Journal of Control, – 1985, – vol. 41, – p. 303-328

кості. При цьому доцільно об'єднати розрахунків загальної енергії середньоквадратичної помилки за аналізом стійкості, та сумісно їх застосувати в якості критерію зупинки процесу навчання нейронної мережі.

6. Werbos P.J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences, Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.

7. Kramer A.H. Efficient parallel learning algorithms for neural networks. // A.H. Kramer, A. Sangiovanni-Vincentelli / Advances in neural Information Processing Systems, San Mateo, CA: Morgan Kaufman, – 1989, – vol.1, – p. 40-48

8. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский [Учебник для вузов]. Изд. 2-е, пер. и доп. М.: «Советское радио», – 1971. – 672 с.

Анотації:

Розроблено метод аналізу стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі як основи моделювання функцій пристроїв системи залізничної автоматики.

Разработан метод анализа устойчивости динамической нейронной сети как основы моделирования функций устройств железнодорожной автоматики.

Designed analysis method of stability on dynamic neural network as bases of modeling functions of devices railway automation.