

УДК 656.25:681.3.07

*Доктори техн. наук М.М. Чепцов (ДонІЗТ),
М.М. Бабасєв (УкрДАЗТ),
канд. техн. наук В.С. Блиндюк*

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО ЛОГІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ “НІ”

Вступ, аналіз публікацій, постановка задачі дослідження. В системах керування транспортними засобами виникають питання моделювання логічних елементів, які функціонують в режимі обробки безперервних сигналів. Приклади типових елементарних задач, які вирішуються подібним способом, наступні: застосування логічного елемента “НІ” у якості підсилювача-обмежувача, інвертування сигналів, перевірка логічних умов тощо [1]. З іншого боку, якщо

передбачається використання дискретних елементів, то збільшення вимог щодо функціональності сучасних систем керування призводить до суттєвого ускладнення їх конструкції. Одним із кроків, який на декілька порядків спростив і здешевив пристрої логічної обробки, є застосування технології ПЛІС (логічні інтегральні схеми, які програмуються). Але поряд з перевагами, ПЛІС мають ряд недоліків, які достатньо висвітлені в публікації [2], зокрема, слід відзначити їх недостатню гнучкість й універсальність у процесі експлуатації вже запрограмованого

пристрою. Альтернативою застосування ПЛІС є використання мікропроцесорів (МП), функціональність яких може бути змінена шляхом перепрограмування залежно від зміни умов застосування. Однак МП також мають недоліки та обмеження, до яких, серед інших, належить зменшення надійності при зростанні складності програмного забезпечення (ПЗ) [3]. Зокрема, якщо функціональність МП пристрою обмежена тільки обробкою логічних умов, то в ПЗ використовуються достатньо прості програмні конструкції. Але коли мікропроцесор призначений для обробки безперервних сигналів, які надходять з аналогово-дискретного перетворювача в реальному масштабі часу, то застосування логічних операторів досить обмежене. У цьому випадку використовуються методи цифрової обробки сигналів: дискретне перетворення Фур'є, цифрова фільтрація тощо. Але тоді МП пристрій приймає всі обмеження та складність, які властиві цим методам. Крім того, він значною мірою втрачає універсальність, завдяки якій апріорно встановлена перевага МП перед ПЛІС.

Постановка задачі дослідження.

Таким чином, постає задача синтезу моделі динамічного елемента, призначеного для обробки безперервних сигналів, який виконує функції логічного елемента.

Основний матеріал. На перший погляд наведена постановка задачі містить

протиріччя: “динаміка-логіка”, але аналіз сучасних публікацій з приводу тенденцій розвитку систем штучного інтелекту взагалі [4, 5], та імовірнісних методів моделювання типу мислення та передбачення зокрема [6], приводить до висновку про актуальність цього напрямку досліджень, в першу чергу прикладного характеру. З урахуванням цього розглянемо модель простішого елемента логіки “НІ”, побудованого на основі тришарової нейронної мережі (НМ) з логістичною функцією збудження [7]

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-v_j}}, \quad (1)$$

де y_j – вихід j -го нейрона (рис. 1); v_j – індуковане локальне поле нейрона:

$$v_j = s_j \left(w_{k0j} + \sum_{i=1}^{N_k} y_{kj} \cdot w_{kij} \right), \quad (2)$$

де w_{kij} – ваговий коефіцієнт; N_k – кількість нейронів у k -му шарі; s_j – значення нахилу логістичної функції j -го нейрону.

Для першого шару $y_{kj} = in(t)$ – вхід, $y_3 = out(t)$ – вихід нейронної мережі.

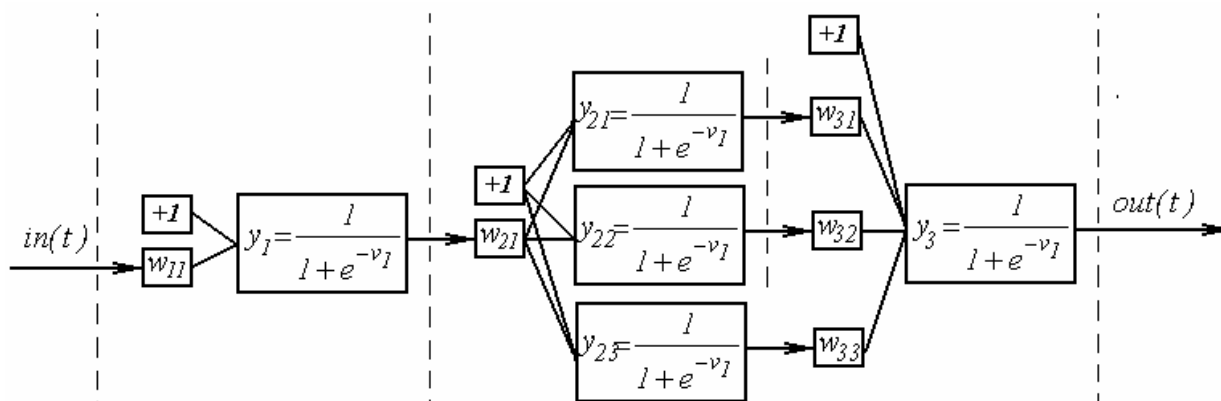


Рис. 1. Структура тришарової нейронної мережі

Виконаємо розрахунок вагових коефіцієнтів за модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки з наступними критеріями зупинки [8]: значення середньоквадратичної енергії помилки $E_{\text{ПП}} < 10^{-8}$; максимальна кількість ітерацій локального алгоритму, який виконує розрахунок градієнтів – $\max_{\text{ПП}}^{\text{iter}} < 1000$, тотального – $\max_{\text{total}}^{\text{iter}} < 100$.

В якості навчальної послідовності застосуємо таблицю відповідності логічного елементу “НІ” (табл. 1).

Таблиця 1

Навчальна послідовність нейронної мережі

<i>in</i>	<i>out</i>
1	0
0	1

Процес навчання НМ, виконаний програмним забезпеченням [8], склався з 16-и ітерацій глобального циклу. В результаті отримані значення нахилу функції збудження та вагових коефіцієнтів приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Розраховані значення чинників нейронної мережі

№ нейрону	1-й шар		2-й шар		3-й шар	
	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}
1	0,4016326	-80,51101	0,027337	-84,07764	-0,451175	97,72121 57,06149 -41,67696
2			0,250328	-107,3601		
3			0,378056	123,2122		

З урахуванням сформульованої мети дослідження розглянемо процес функціонування нейронної мережі у часі при вхідному гармонічному сигналі. Нехай $in(t) = \sin(\omega t)$, тоді часова діаграма функціонування нейромережевого елементу динамічної логіки “НІ” набуває вигляду, який наведено на рис. 2.

Як впливає з рис. 2, нейромережевий елемент виконує основні функції – інверсію вхідного сигналу, його підсилення та обмеження. З іншого боку, отримане для цієї реалізації значення порогу спрацювання випадкове, в наведеному прикладі його значення приблизно дорівнює 0,1 (рис. 3).

Таке явище обумовлено принципом дії процесу навчання, а саме – отримане значення вагового коефіцієнту встанов-

люється як перше з безкінечної множини, яке задовольняє поставленим умовам.

Слід відзначити, що особливістю нейромережевої реалізації елементів динамічної логіки є її значна гнучкість та універсальність. Покажемо це на прикладі. Так, якщо потрібно встановити поріг спрацювання, наприклад 0,5 (для отримання симетричної амплітудної характеристики), для цього треба лише уточнити навчальну послідовність. Враховуючи це, виконаємо процес градієнтного розрахунку коефіцієнтів (навчання) за послідовністю, наведеною в табл. 3.

Процес навчання НМ склався з 6-ти ітерацій глобального циклу. В результаті отримані значення нахилу функції збудження та вагових коефіцієнтів наведені в табл. 4.

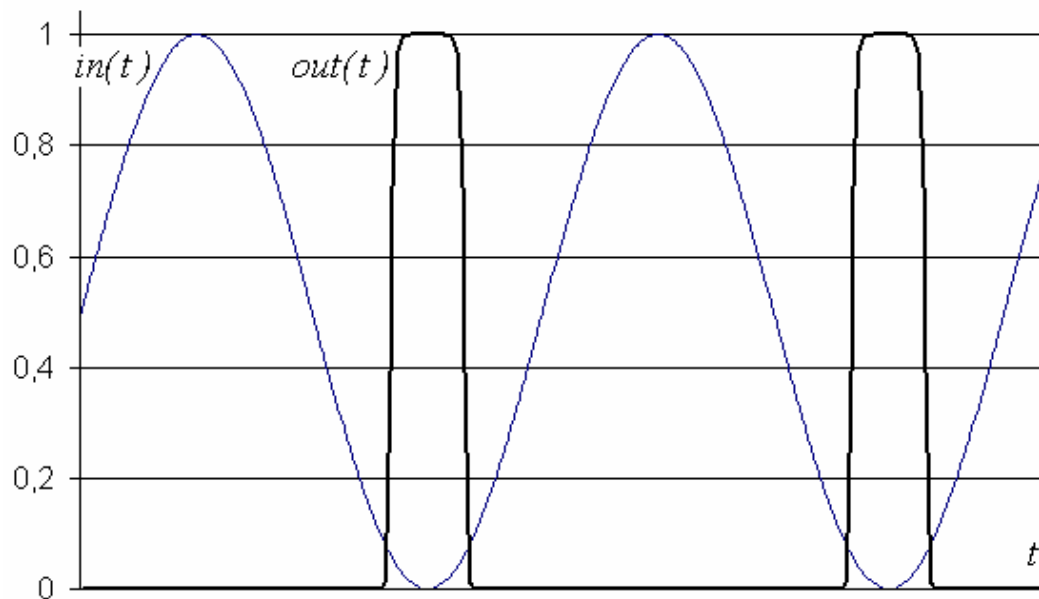


Рис. 2. Часова діаграма функціонування нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ”

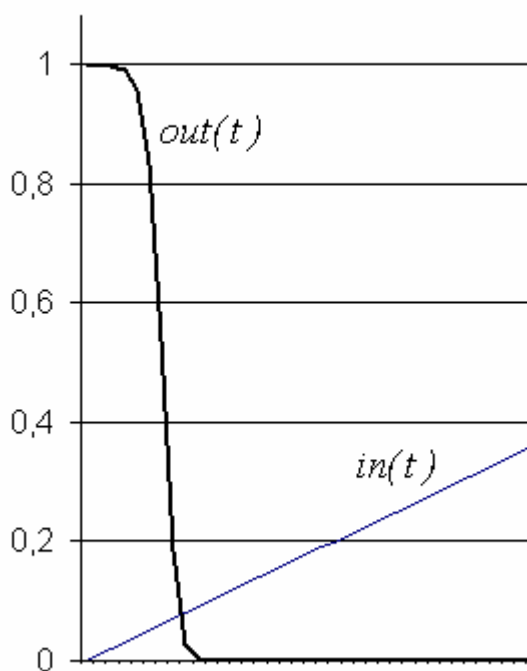


Рис. 3. Амплітудна характеристика нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ”

Таблиця 3

Уточнена навчальна послідовність нейронної мережі

<i>in</i>	<i>out</i>
1,0	0
0,9	0
0,8	0
0,7	0
0,6	0
0,5	0
0,4	1
0,3	1
0,2	1
0,1	1
0	1

Таблиця 4

Розраховані значення чинників нейронної мережі з уточненою навчальною послідовністю

№ нейрону	1-й шар		2-й шар		3-й шар	
	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}
1	0,1306767	-82,62920	0,442813	673,2584	0,049795	-8835,533 3951,912 6174,368
2			-0,25339	-1294,389		
3			0,146792	694,9878		

Часова та амплітудна характеристики при входному гармонічному сигналі для нейромережевого елемента динамічної

логіки “НІ” з уточненою навчальною послідовністю наведені на рис. 4.

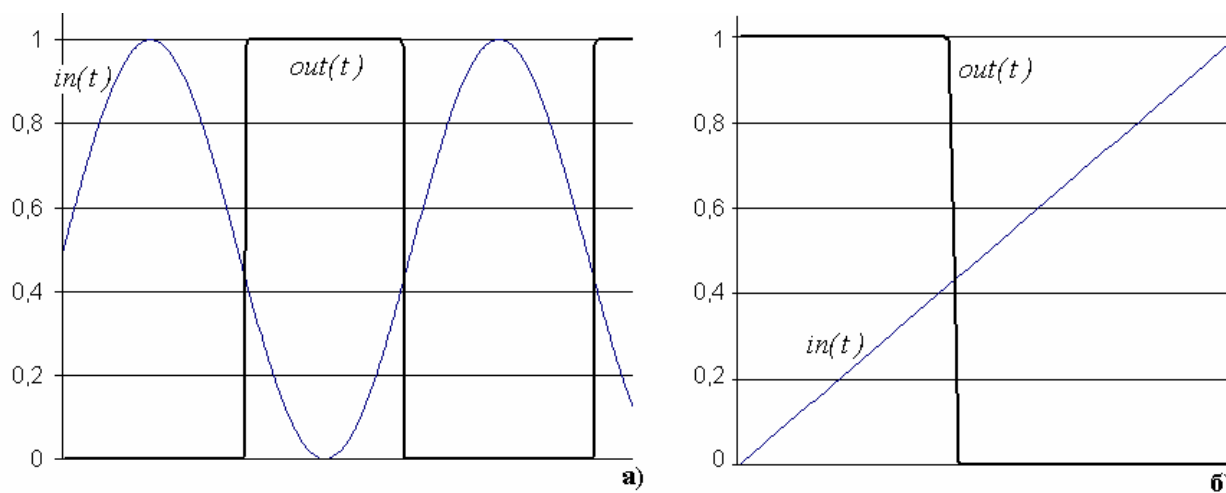


Рис. 4. Часова (а) та амплітудна (б) характеристики функціонування нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ” з уточненою навчальною послідовністю

Узагальнюючи наведене, відзначимо, що значення порогу спрацювання нейромережевого елемента динамічної логіки "НІ" може бути встановлено будь-яке з діапазону [0,1] шляхом збільшення прикладів навчальної послідовності. Обмеженням цього твердження є принципи функціонування НМ наведеної топології (один вхід та один вихід, і відсутність ліній

затримки) [7], наприклад, мережа не може сформувати різні значення виходу при однаковому вході. Таке обмеження унеможливорює отримання функціонального елемента, який спроможний формувати вихідну послідовність, яка здвигнута на деякий фазовий кут відносно вхідної. Але під це обмеження не підпадає випадок, коли

$$out(t) = in(t) + \pi, \text{ або } out(t) = \overline{in(t)}, \quad (3)$$

тобто реалізація інверсії фази вхідного сигналу.

Сформуємо навчальну послідовність (табл. 5).

Слід відзначити, що процес навчання мережі з топологією, яка розглядалася (1-3-1), завершувався за обмеженнями кількості ітерацій. При цьому значення середньоквадратичної помилки за виходом $E_{ЛП}$ набувало неприпустимо великих значень. Це, вочевидь, пов'язано з недостатньою обчислювальною спроможністю мережі з трьома шарами та

чотирма нейронами. Тому прийнято рішення про додавання ще одного схованого шару з трьома нейронами (топологія 1-3-3-1). З урахуванням такого ускладнення структури отримано значення $E_{ЛП} = 0,72038485$. Розраховані значення нахилу функції збудження та вагових коефіцієнтів наведені в табл. 6.

Часова діаграма функціонування елемента динамічної логіки "НІ" при $in(t) = \sin(\omega t)$ наведена на рис. 5.

Таблиця 5

Навчальна послідовність нейронної мережі для реалізації інверсії фази вхідного сигналу

<i>in</i>	<i>out</i>
1,0	0
0,9	0,1
0,8	0,2
0,7	0,3
0,6	0,4
0,5	0,5
0,4	0,6
0,3	0,7
0,2	0,8
0,1	0,9
0	1,0

Розраховані значення чинників нейронної мережі

№	1-й шар		2-й шар		3-й шар		4-й шар	
	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}	s_j	w_{kij}
1	-0,2799	7,6449	-0,0662	-13,687	-0,3668	-2.84 -2.809 -2.853	0,4863	228,27 -164,99 -16,146
2			-0,2355	-1.6884	-0,4056	-0,3484 -0,3426 -0,3432		
3			0,0681	30,16	-0,48997	-10,783 -10,573 -10,674		

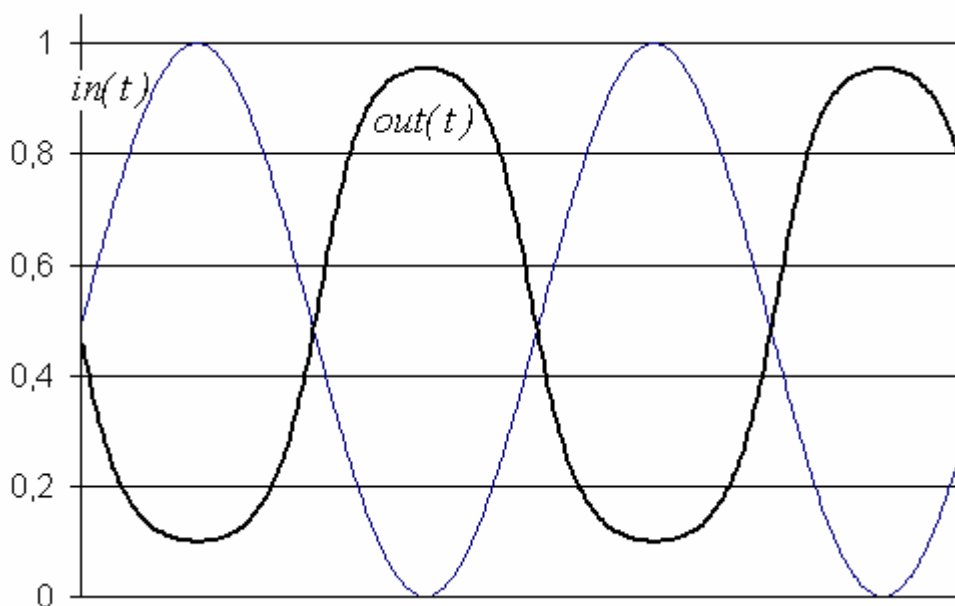


Рис. 5. Часова діаграма функціонування нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ” при реалізації інверсії вхідного сигналу

Таким чином, збільшення структури НМ та формування відповідної навчальної послідовності (див. табл. 5) дозволило виконати синтез нейромережевої моделі елемента, який з незначними перетвореннями реалізує безперервну

функцію $out(t) = \overline{in(t)}$ (див. рис. 5).

Розглянемо отримані похибки моделі в частотній та фазовій площині. З

урахуванням можливої її реалізації у пристроях мікропроцесорної техніки відповідно до структури, наведеної на рис. 6, введемо чинник f_D – частота дискретизації ЦАП та АЦП.

Тоді в діапазоні частот від 0 до $\frac{1}{2} f_D$ частотна $out(f)$ та відповідна їй фазова $out(\omega)$ характеристики мають вигляд, наведений на рис. 7.

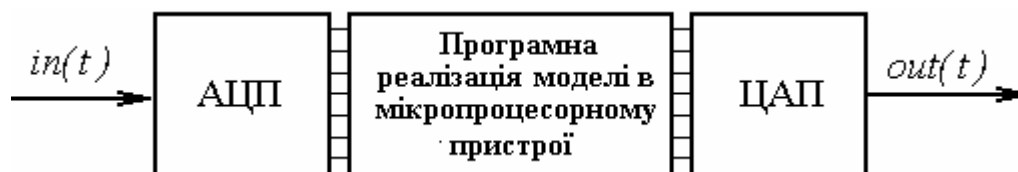


Рис. 6. Структура пристрою реалізації нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ”

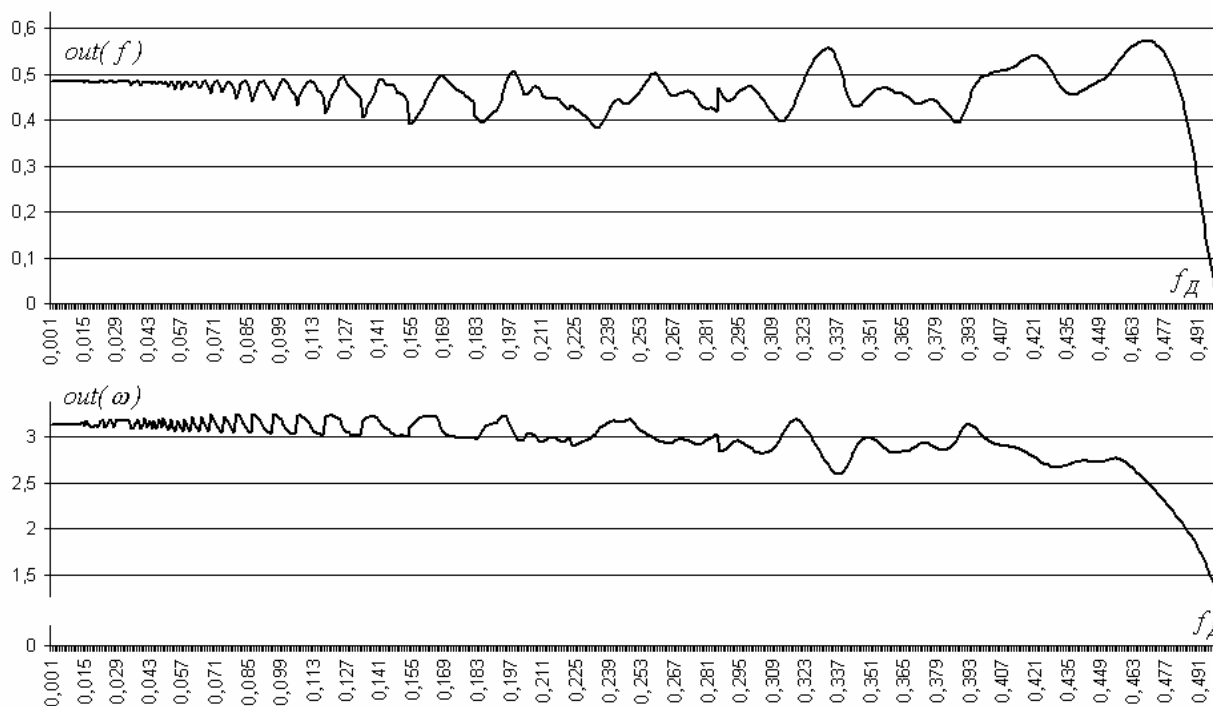


Рис. 7. Частотна та фазова характеристики реалізації нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ”

Аналіз характеристик (див. рис. 7) свідчить про те, що в розглянутій реалізації нейромережевого елемента динамічної логіки “НІ” лінійність у частотній та фазовій областях спостерігається тільки у відносно вузькому діапазоні – до 0,015 частоти дискретизації. В діапазоні від 0,1 до 0,45 f_D відхилення досягають значень до 20%, а від 0,45 до 0,5 f_D елемент практично втрачає свої функціональні властивості.

Існує два шляхи усунення наведених недоліків. По-перше, це більш ретельний

підхід до формування навчальної послідовності (збільшення кількості прикладів та часу навчання). По-друге – застосування швидкодіючих мікропроцесорних пристроїв, які дозволяють встановити високу частоту дискретизації, достатню для обробки потрібних вхідних сигналів.

Загальні висновки та практичні рекомендації. У статті вирішено науково-практичну задачу синтезу моделі динамічного елемента, призначеного для обробки безперервних сигналів, який виконує функції логічного елемента “НІ”

на основі застосування методів нейромережевого моделювання. При цьому сформульовані функціональні вимоги, сформовані принципи розробки навчальної послідовності для отримання запланованих результатів та виконано аналіз вихідних

сигналів в амплітудній, частотній та фазовій областях.

Найбільш доцільною є реалізація наведених моделей засобами обчислювальної техніки з використанням мікропроцесорних пристроїв цифрової обробки сигналів.

Список літератури

1. Сапожников, В.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. для вузов / В.В. Сапожников, Ю.А. Кравцов, Вл.В. Сапожников; под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.
2. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника [Текст]: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 357 с.
3. Чепцов, М.М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів [Текст]: монографія / М.М. Чепцов, А.Б. Бойнік, Д.М. Кузьменко. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – 181 с.
4. Анохин, П.К. Опережающее отражение действительности [Текст] / П.К. Анохин // Философские аспекты теории функциональных систем. – М.: Наука, 1978. – С. 7–27.
5. Перловский, Л.И. К физической теории мышления: теория нейронных моделирующих полей [Текст] / Л.И. Перловский // Нейроинформатика. – 2006. – Т. 1. – № 2. – С. 175-196.
6. Витяев, Е.Е. Вероятностная динамическая логика мышления [Текст] / Е.Е. Витяев, Л.И. Перловский, Б.Я. Ковалерчук, С.О. Сперанский // Нейроинформатика. – 2011. – Т. 5. – № 1. – С. 1-20.
7. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст]: пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд., испр. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
8. Кузьменко, Д.М. Нейромережеве моделювання функцій систем залізничної автоматики [Текст] / Д.М. Кузьменко, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. — С. 33-43.
9. Авт. свідоцтво № 39465, реєстр. 03.08.2011, МОН України, Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма “Модель динамічної нейронної мережі з модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки” (“Model of Dynamic Neural Network”) / М.М. Чепцов, В.С. Блиндюк, Д.М. Кузьменко, О.О. Германенко; заявка від 23.05.2011 № 39639.

Ключові слова: нейронна модель, логічний елемент, синтез, нейронна мережа, ваговий коефіцієнт, енергія помилки, алгоритм навчання.

Анотації

У роботі вирішено задачу синтезу моделі динамічного елемента, призначеного для обробки безперервних сигналів, який виконує функції логічного елемента “НІ” на основі застосування методів нейромережевого моделювання. При цьому сформульовані функціональні вимоги до запропонованого нейромережевого елемента “НІ”, сформовані принципи розробки навчальної послідовності для отримання запланованих результатів та виконано аналіз вихідних сигналів в амплітудній, частотній та фазовій областях.

В работе решена задача синтеза модели динамического элемента, предназначенного для обработки непрерывных сигналов, который выполняет функции логического элемента "НЕ" на основе применения методов нейросетевого моделирования. При этом сформулированы функциональные требования к предложенному нейросетевому элементу "НЕ", сформированы принципы разработки учебной последовательности для получения запланированных результатов и выполнен анализ исходных сигналов в амплитудной, частотной и фазовой областях.

In work is solved problem of the syntheses to models of the dynamic element, intended for processing continuous signal, which executes the functions of the logical element "NOT" on base of the using the methods networking protocol modeling. Herewith functional requirements are worded to offered networking protocol element "NOT", formed principles of the development to scholastic sequence for reception scheduled result and is executed analysis source signal in амплитудной, frequency and phase area.