

**О.О. Войцеховська, аспір.**

Вінницький національний технічний університет

**В.М. Кичак, д.т.н., проф.**

Інститут радіотехніки, зв'язку і приладобудування ВНТУ

### ФАЗИ-НЕЙРОНИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ ПРЕДСТАВЛЕННЯМ ІНФОРМАЦІЇ

*Запропоновані структурні схеми фазі-нейронів "І", "АБО" з широтно-імпульсним представленням інформації для штучних нейронних мереж. Складовими частинами схем є елементи, які здійснюють операції розподілення, додавання, віднімання і ділення. У фазі-нейроні "І" функція активації відповідає операції MIN, а сигнали об'єднуються з вагами за допомогою оператора OR. У фазі-нейроні "АБО" функція активації відповідає операції MAX, а сигнали об'єднуються з вагами за допомогою оператора AND.*

**Вступ.** Штучні нейронні мережі імітують роботу біологічних нейронних мереж. Вони не потребують попереднього програмування, але їх потрібно навчати або налаштовувати. Такі мережі здатні вивчати нові асоціації, функціональні залежності та зображення. Одним із способів об'єднання двох цілком різних апаратів штучного інтелекту – фазі-логіки і нейронних мереж – є розробка фазі-нейронів – нейронів, які функціонують за принципами фазі-логіки.

**Постановка задачі.** Хоча більшість існуючих нейронних мереж реалізується у вигляді комп'ютерних програм, мережі у мікроелектронному виконанні характеризуються значно вищою швидкістю і споживають менше потужності. Основний складовий елемент мережі – нейрон – може бути виконаний у вигляді аналогового або цифрового пристрою; але цифрові нейрони є більш завадостійкими [1]. В обох типах нейронів вхідні та вихідні сигнали можуть бути послідовностями імпульсів [2], [3]; при цьому значенням вхідної та вихідної дій відповідає один із параметрів імпульсної послідовності: амплітуда імпульсу, його тривалість, інтервал часу між імпульсами і положення у часі – фаза імпульсів. Відповідно до використання одного з цих параметрів існують нейрони з різними модуляціями: АІМ, ШІМ, ЧІМ, ФІМ. Оскільки для перетворення й обробки інформації найбільш придатними в сучасних системах є обчислювальні засоби і перетворювачі широтно-імпульсного типу, тому що вони мають широкі обчислювальні можливості і характеризуються простотою перетворення часового інтервалу в цифрову форму [4], у запропонованих схемах фазі-нейронів всі вхідні, проміжні та вихідні сигнали представляються у широтно-імпульсній формі. Саме тому мета даної статті полягає у побудові структурних схем фазі-нейронів з широтно-імпульсним представленням інформації для підвищення ефективності їх проектування.

Для цього поставлені наступні завдання:

- визначення принципів обробки інформації у фазі-нейронах;
- вибір ефективного шляху проектування структурних схем фазі-нейронів;
- опис роботи запропонованих схем фазі-нейронів "І", "АБО".

**Основні принципи побудови та функціонування нейронів.** У працях [5–7] представлені основні принципи побудови і функціонування нейронів та нейронних мереж.

У нейронній мережі (рис. 1) є наступні складові частини і величини:

- $x$  – вхідні сигнали;
- $y$  – ваги синапсів;
- $q$  – значення активації;
- $f(q)$  – функція активації;
- $\theta$  – поріг;
- $a$  – нейрони вхідного шару;
- $b$  – нейрони внутрішнього шару;
- $c$  – нейрони вихідного шару;
- $z$  – вихідний сигнал.

Сигнали можна об'єднувати за допомогою операцій арифметичного додавання, логічного додавання, логічного множення, визначення мінімального значення, визначення максимального значення, усереднення та ін. Функція активації може бути пороговою, лінійною, сигмоподібною, функцією синуса, функцією гіперболічного тангенса та ін.

У найпростішому випадку значення активації визначається як добуток вхідного сигналу на вагу, а функція активації є пороговою.

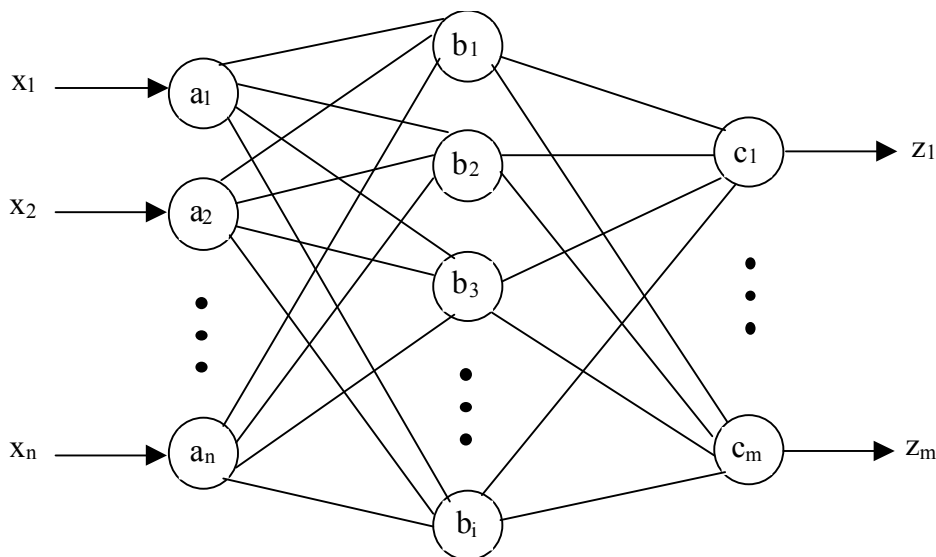


Рис. 1. Штучна нейронна мережа

У фазі-нейронах сигнали об'єднуються операторами OR і AND, а функції активації відповідають операціям MIN або MAX фазі-логіки; такі нейрони здійснюють операції “Г” та “АБО” відповідно.

У фазі-нейроні “Г” функція активації визначається наступним чином:

$$z = \min(x_1 \vee y_1, x_2 \vee y_2). \tag{1}$$

У фазі-нейроні “АБО” функція активації визначається таким чином:

$$z = \max(x_1 \wedge y_1, x_2 \wedge y_2). \tag{2}$$

**Структурна схема фазі-нейрона “Г”.** Для проектування схем широтно-імпульсних пристроїв можна використати теорію, згідно з якою кожному пристрою відповідає сукупність базових фізичних елементів та зв'язків між ними [4], [8]. У даному випадку використовуються фізичні елементи, що здійснюють операції розподілення, додавання, віднімання і ділення широтно-імпульсних сигналів.

Фазі-нейрон “Г” (рис. 2) працює наступним чином: вхідний імпульс  $x_1$  тривалістю  $\tau_{x1}$  подається на розподільник  $P1$ . Сигнал ваги  $y_1$  тривалістю  $\tau_{y1}$  подається на розподільник  $P2$ . Сигнали з перших виходів розподільників  $P1$  і  $P2$  подаються на елемент додавання  $D1$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $\tau_{x1} + \tau_{y1}$ . Сигнали з других виходів розподільників  $P1$  і  $P2$  подаються на елемент віднімання  $B1$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $|\tau_{x1} - \tau_{y1}|$ . Сигнали з виходів елементів  $D1$  і  $B1$  подаються на елемент додавання  $D2$ , на виході якого отримуємо імпульс тривалістю  $2\tau_{\max 1} = \tau_{x1} + \tau_{y1} + \tau_{x1} - \tau_{y1} = 2\tau_{x1}$ , якщо  $\tau_{x1} \geq \tau_{y1}$  або  $2\tau_{\max 1} = \tau_{x1} + \tau_{y1} - \tau_{x1} + \tau_{y1} = 2\tau_{y1}$ , якщо  $\tau_{x1} < \tau_{y1}$ . Сигнал подається на вхід елемента ділення  $П1$ , на виході якого отримуємо сигнал тривалістю  $\tau_{\max 1}$ .

Вхідний імпульс  $x_2$  тривалістю  $\tau_{x2}$  подається на розподільник  $P3$ . Сигнал ваги  $y_2$  тривалістю  $\tau_{y2}$  подається на розподільник  $P4$ . Сигнали з перших виходів розподільників  $P3$  і  $P4$  подаються на елемент додавання  $D3$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $\tau_{x2} + \tau_{y2}$ . Сигнали з других виходів розподільників  $P3$  і  $P4$  подаються на елемент віднімання  $B2$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $|\tau_{x2} - \tau_{y2}|$ . Сигнали з виходів елементів  $D3$  і  $B2$  подаються на елемент додавання  $D4$ , на виході якого отримуємо імпульс тривалістю  $2\tau_{\max 2} = \tau_{x2} + \tau_{y2} + \tau_{x2} - \tau_{y2} = 2\tau_{x2}$ , якщо  $\tau_{x2} \geq \tau_{y2}$  або  $2\tau_{\max 2} = \tau_{x2} + \tau_{y2} - \tau_{x2} + \tau_{y2} = 2\tau_{y2}$ , якщо  $\tau_{x2} < \tau_{y2}$ . Сигнал подається на вхід елемента ділення  $П2$ , на виході якого отримуємо сигнал тривалістю  $\tau_{\max 2}$ .

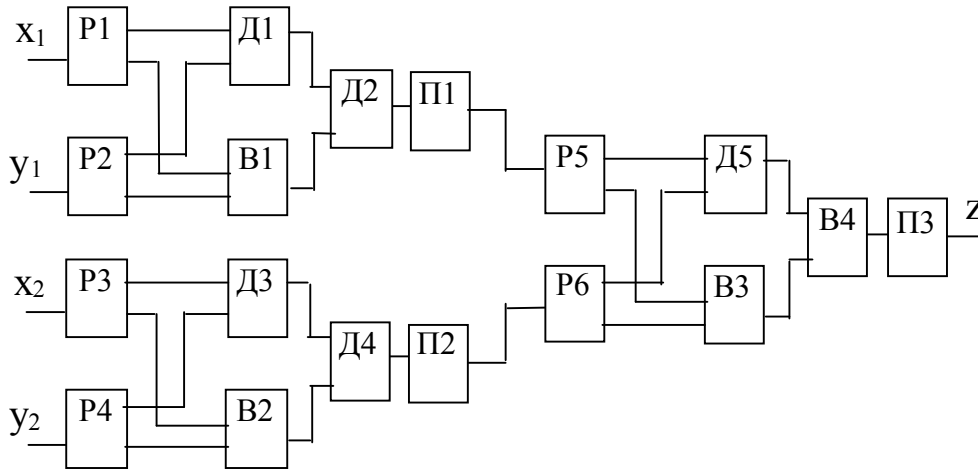


Рис. 2. Структурна схема фазі-нейрона “I”

Імпульс  $\tau_{\max 1}$  подається на розподільник  $P5$ . Імпульс  $\tau_{\max 2}$  подається на розподільник  $P6$ . Сигнали з перших виходів розподільників  $P5$  і  $P6$  подаються на елемент додавання  $D5$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $\tau_{\max 1} + \tau_{\max 2}$ . Сигнали з других виходів розподільників  $P5$  і  $P6$  подаються на елемент віднімання  $B3$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $|\tau_{\max 1} - \tau_{\max 2}|$ . Сигнали з виходів елементів  $D5$  і  $B3$  подаються на елемент віднімання  $B4$ , на виході якого отримуємо імпульс тривалістю  $2\tau_{\min} = \tau_{\max 1} + \tau_{\max 2} - \tau_{\max 1} + \tau_{\max 2} = 2\tau_{\max 2}$ , якщо  $\tau_{\max 1} \geq \tau_{\max 2}$  або  $2\tau_{\min} = \tau_{\max 1} + \tau_{\max 2} + \tau_{\max 1} - \tau_{\max 2} = 2\tau_{\max 1}$ , якщо  $\tau_{\max 1} < \tau_{\max 2}$ . Сигнал подається на вхід елемента ділення  $PI3$ , на виході якого отримуємо сигнал тривалістю  $\tau_{\min}$ .

**Структурна схема фазі-нейрона “АБО”.** Фазі-нейрон “АБО” (рис. 3) працює наступним чином: вхідний імпульс  $x_1$  тривалістю  $\tau_{x1}$  подається на розподільник  $P1$ . Сигнал ваги  $y_1$  тривалістю  $\tau_{y1}$  подається на розподільник  $P2$ . Сигнали з перших виходів розподільників  $P1$  і  $P2$  подаються на елемент додавання  $D1$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $\tau_{x1} + \tau_{y1}$ . Сигнали з других виходів розподільників  $P1$  і  $P2$  подаються на елемент віднімання  $B1$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $|\tau_{x1} - \tau_{y1}|$ . Сигнали з виходів елементів  $D1$  і  $B1$  подаються на елемент віднімання  $B2$ , на виході якого отримуємо імпульс тривалістю  $2\tau_{\min 1} = \tau_{x1} + \tau_{y1} - \tau_{x1} + \tau_{y1} = 2\tau_{y1}$ , якщо  $\tau_{x1} \geq \tau_{y1}$  або  $2\tau_{\min 1} = \tau_{x1} + \tau_{y1} + \tau_{x1} - \tau_{y1} = 2\tau_{x1}$ , якщо  $\tau_{x1} < \tau_{y1}$ . Сигнал подається на вхід елемента ділення  $PI1$ , на виході якого отримуємо сигнал тривалістю  $\tau_{\min 1}$ .

Вхідний імпульс  $x_2$  тривалістю  $\tau_{x2}$  подається на розподільник  $P3$ . Сигнал ваги  $y_2$  тривалістю  $\tau_{y2}$  подається на розподільник  $P4$ . Сигнали з перших виходів розподільників  $P3$  і  $P4$  подаються на елемент додавання  $D3$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $\tau_{x2} + \tau_{y2}$ . Сигнали з других виходів розподільників  $P3$  і  $P4$  подаються на елемент віднімання  $B3$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $|\tau_{x2} - \tau_{y2}|$ . Сигнали з виходів елементів  $D3$  і  $B3$  подаються на елемент віднімання  $B4$ , на виході якого отримуємо імпульс тривалістю  $2\tau_{\min 2} = \tau_{x2} + \tau_{y2} - \tau_{x2} + \tau_{y2} = 2\tau_{y2}$ , якщо  $\tau_{x2} \geq \tau_{y2}$  або  $2\tau_{\min 2} = \tau_{x2} + \tau_{y2} + \tau_{x2} - \tau_{y2} = 2\tau_{x2}$ , якщо  $\tau_{x2} < \tau_{y2}$ . Сигнал подається на вхід елемента ділення  $PI2$ , на виході якого отримуємо сигнал тривалістю  $\tau_{\min 2}$ .

Імпульс  $\tau_{\min 1}$  подається на розподільник  $P5$ . Імпульс  $\tau_{\min 2}$  подається на розподільник  $P6$ . Сигнали з перших виходів розподільників  $P5$  і  $P6$  подаються на елемент додавання  $D3$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $\tau_{\min 1} + \tau_{\min 2}$ . Сигнали з других виходів розподільників  $P5$  і  $P6$  подаються на елемент віднімання  $B5$ , на виході якого маємо імпульс тривалістю  $|\tau_{\min 1} - \tau_{\min 2}|$ . Сигнали з виходів елементів  $D3$  і  $B5$  подаються на елемент додавання  $D4$ , на виході якого отримуємо імпульс тривалістю  $2\tau_{\max} = \tau_{\min 1} + \tau_{\min 2} + \tau_{\min 1} - \tau_{\min 2} = 2\tau_{\min 1}$ , якщо  $\tau_{\min 1} \geq \tau_{\min 2}$  або  $2\tau_{\max} = \tau_{\min 1} + \tau_{\min 2} - \tau_{\min 1} + \tau_{\min 2} = 2\tau_{\min 2}$ ,

якщо  $\tau_{\min 1} < \tau_{\min 2}$ . Сигнал подається на вхід елемента ділення ПЗ, на виході якого отримуємо сигнал тривалістю  $\tau_{\max}$ .

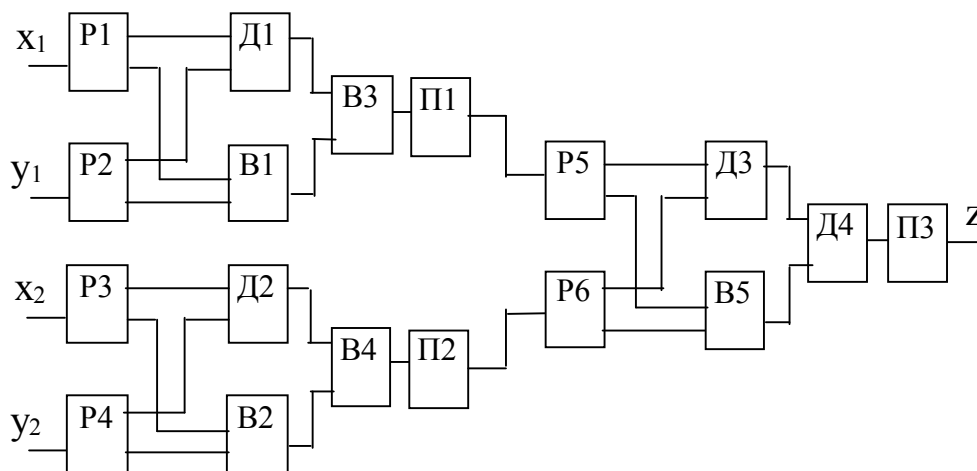


Рис. 3. Структурна схема фазі-нейрона “АБО”

**Висновки та основні результати.** Фазі-нейрони – складові елементи нейронної мережі, які функціонують за принципами фазі-логіки, поєднують у собі два цілком різні апарати штучного інтелекту – фазі-логіку і нейронні мережі. У фазі-нейронах для об’єднання вхідних сигналів та ваг синапсів застосовуються оператори OR (нейрон “Г”) та AND (нейрон “АБО”). Функції активації відповідають операціям визначення мінімального (нейрон “Г”) та максимального (нейрон “АБО”) значень. Використання при передачі та обробці сигналів у фазі-нейронах широтно-імпульсної модуляції дозволяє підвищити завадостійкість і швидкодію мережі. Запропоновані структурні схеми фазі-нейронів “Г”, “АБО”, складовими частинами яких є елементи, які здійснюють операції розподілення, додавання, віднімання і ділення, можуть знайти своє застосування у нейронних мережах.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Dong Pan, Wilamowski B. A VLSI Implementation of Mixed-Signal mode Bipolar Neuron Circuitry // Proc. of the IJCNN'03 International Joint Conference on Neural Networks. – Pp. 971–976, Portland, Oregon, July 20–23, 2003.
2. Reyneri L.M. A Performace Analysis of Pulse Stream Neural and Fuzzy Computing Systems. IEEE Trans. on Circuits and Systems - II, Vol. 42, no. 10, October 1995, pp. 642–660.
3. Chiaberge M., Del Corso D., Gregoretti F., Reyneri L.M. A Neural Network Chip Using CPWM Modulation. New Trends in Neural Computation (from Proc. of IWANN 93, Int'l Workshop on Artificial Neural Networks, Sitges (E)), Springer-Verlag, June 1993, pp. 420–425.
4. Бардаченко В.Ф., Кичак В.М. Основи теорії таймерних обчислювально-вимірювальних пристроїв. – Вінниця; ВДТУ. – 2003. – 106 с.
5. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмишин Н.А. Системы фуцци-управления. – К.: Техніка, 1997. – 208 с.
6. Митюшкин Ю.И., Мокін Б.И., Ротштейн А.П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний: Монография. – Вінниця: Універсум–Вінниця, 2002. – 145 с.
7. Wilamowski B. M. Neuro-fuzzy Systems and Their Applications // 24th IEEE International Industrial Electronics Conference (IECON'98), vol. 1, pp. t35–t49, 1998.
8. Кичак В.М. Метод синтезу частотних логічних елементів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 2. – С. 187–192.

ВОЙЦЕХОВСЬКА Олена Олександрівна – аспірант кафедри телекомунікаційних систем і телебачення Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– розробка елементів фазі-логіки з частотно-часовим представленням інформації.

Тел.: (0432) 46-82-44 – дом.;

(0432) 44-07-42 – роб.

E-mail: [RIGEL@svitonline.com](mailto:RIGEL@svitonline.com).

КИЧАК Василь Мартинович – доктор технічних наук, професор, директор Інституту радіотехніки, зв'язку і приладобудування Вінницького національного технічного університету, завідувач кафедри телекомунікаційних систем і телебачення.

Наукові інтереси:

– обробка радіосигналів з використанням частотно-часових методів представлення інформації.

Тел.: (0432) 46-96-08 – дом.;

(0432) 44-02-19 – роб.

Подано 14.06.2005

**Войцеховська О.О., Кичак В.М.** Фазі-нейрони з широтно-імпульсним представленням інформації  
**Войцеховская Е.А., Кичак В.М.** Фаззи-нейроны с широтно-импульсным представлением информации

**Wojciechowska O.O., Kichak V.M.** Pulse-Width Fuzzy Neurons

УДК 681.32

**Фазі-нейрони з широтно-імпульсним представленням інформації / О.О. Войцеховська, В.М. Кичак**

Запропоновані структурні схеми фазі-нейронів “Г”, “АБО” з широтно-імпульсним представленням інформації для штучних нейронних мереж. Складовими частинами схем є елементи, які здійснюють операції розподілення, додавання, віднімання і ділення. У фазі-нейроні “Г” функція активації відповідає операції MIN, а сигнали об’єднуються з вагами за допомогою оператора OR. У фазі-нейроні “АБО” функція активації відповідає операції MAX, а сигнали об’єднуються з вагами за допомогою оператора AND.

УДК 681.32

**Фаззи-нейроны с широтно-импульсным представлением информации / Е.А. Войцеховская, В.М. Кичак.**

Предложены структурные схемы фаззи-нейронов «И», «ИЛИ» с широтно-импульсным представлением информации для искусственных нейронных сетей. Составными частями схем являются элементы, которые выполняют операции распределения, сложения, отнимания и деления. В фаззи-нейроне “И” функция активации соответствует операции min, а сигналы объединяются с весами с помощью оператора OR. В фаззи-нейроне “ИЛИ” функция активации соответствует операции max, а сигналы объединяются с весами с помощью оператора AND.

УДК 681.32

**Pulse-Width Fuzzy Neurons / O.O. Wojciechowska, V.M. Kichak**

The block diagrams of “AND”, “OR” pulse-width fuzzy neurons for artificial neural networks are proposed. Basic components of the diagrams are elements to perform “separating” “adding”, “subtracting”, “dividing” operations. In the “AND” fuzzy neuron an activation function corresponds to MIN-operation; signals combine with weights using OR-operator. In the “OR” fuzzy neuron an activation function corresponds to MAX-operation; signals combine with weights using AND-operator.