

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**О. О. Семенова, В. М. Кичак**

**ІМПУЛЬСНІ ЛОГІЧНІ  
ТА НЕЙРОННІ ЕЛЕМЕНТИ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2015

УДК 621.39  
ББК 32.88  
С30

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 31.10.2013 р.)

Рецензенти:

**А. Г. Ложковський**, доктор технічних наук, професор

**О. Б. Шарпан**, доктор технічних наук, професор

**Семенова, О. О.**

С30 Імпульсні логічні та нейронні елементи телекомунікаційних мереж : монографія / О. О. Семенова, В. М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 132 с.

ISBN 978-966-641-602-8

У монографії розглянуто основи теорії фазі-логічних та нейронних елементів, призначених для використання у сучасних телекомунікаційних мережах, запропоновано методи їх структурного синтезу, розроблені їх структурні схеми. Проведено імітаційне моделювання розроблених елементів та пристроїв на їх основі.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються проектуванням елементів та пристроїв цифрової техніки.

УДК 621.39  
ББК 32.88

ISBN 978-966-641-602-8

© О. Семенова, В. Кичак, 2015

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ІМПУЛЬСНІ ФАЗІ-ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ.....	9
1.1 Представлення фазі-величин при частотно-імпульсному, широтно-імпульсному та фазово-імпульсному кодуванні.....	9
1.1.1 Частотно-імпульсне кодування фазі-величин.....	10
1.1.2 Широтно-імпульсне кодування фазі-величин.....	10
1.1.3 Фазово-імпульсне кодування фазі-величин.....	11
1.2 Розробка методу структурного синтезу елементів фазі-логіки.....	12
1.2.1 Обґрунтування виду базових фізичних схем.....	13
1.2.2 Метод синтезу елемента доповнення.....	15
1.2.3 Метод синтезу елемента максимуму.....	16
1.2.4 Метод синтезу елемента мінімуму.....	19
1.2.5 Алгоритм методу структурного синтезу елементів фазі-логіки.....	21
1.3 Синтез структурних схем додаткових елементів фазі-логіки.....	24
1.3.1 Синтез структурної схеми елемента протиріччя.....	24
1.3.2 Синтез структурної схеми елемента тавтологія.....	25
1.3.3 Синтез структурної схеми елемента заборона.....	26
1.3.4 Синтез структурної схеми елемента імплікація.....	27
1.3.5 Синтез структурної схеми елемента стрілка Пірса.....	28
1.3.6 Синтез структурної схеми елемента штрих Шеффера.....	30
1.3.7 Синтез структурної схеми елемента виключне АБО.....	30
1.3.8 Синтез структурної схеми елемента еквівалентність.....	31
1.4 Синтез структурних схем елементів фазі-логіки з використанням широтно-імпульсного кодування інформації.....	33
1.4.1 Елемент доповнення.....	34
1.4.2 Елемент мінімуму.....	35
1.4.3 Елемент максимуму.....	36
1.4.4 Елемент «виключне АБО».....	38
1.5 Висновки до розділу.....	41
2 СИНТЕЗ ЕЛЕМЕНТІВ БАГАТОЗНАЧНОЇ ЛОГІКИ.....	42
2.1 Співставлення операцій різних алгебр логік.....	42
2.2 Широтно-імпульсні елементи, які реалізують основні логічні операції.....	43
2.2.1 Способи представлення логічних значень.....	44
2.2.2 Функціонування елемента інверсії.....	44
2.2.3 Функціонування елемента кон'юнкції.....	45

2.2.4 Функціонування елемента диз'юнкції.....	47
2.3 Частотно-імпульсні елементи, які реалізують основні логічні операції.....	49
2.3.1 Логічний елемент тріскової інверсії.....	49
2.3.2 Трійковий елемент мінімуму.....	50
2.3.3 Трійковий елемент максимуму.....	52
2.3.4 Четвірковий циклічний інвертор.....	54
2.4 Фазово-імпульсні елементи, які реалізують основні логічні операції.....	57
2.4.1 Представлення трійкової інформації в параметронах.....	57
2.4.2 Фазово-імпульсний елемент.....	58
2.4.3 Математичні моделі функціонування фазово-імпульсного елемента.....	58
2.5 Висновки до розділу.....	61
3 НЕЙРОННІ ЕЛЕМЕНТИ.....	62
3.1 Реалізація операцій трійкової логіки за допомогою двопорогових нейронів.....	62
3.2 Реалізація операцій нечіткої логіки за допомогою нейронів...	67
3.2.1 Трійкове кодування нечітких значень.....	67
3.2.2 Нейронні мережі.....	68
3.2.3 Приклад роботи нейронних мереж.....	70
3.3 Імпульсне кодування інформації у фазі-нейронних мережах..	70
3.3.1 Частотно-імпульсне кодування інформації у фазі-нейронних мережах.....	71
3.3.2 Широтно-імпульсне кодування інформації у фазі-нейронних мережах.....	72
3.3.3 Фазово-імпульсне кодування інформації у фазі-нейронних мережах.....	72
3.4 Розробка нейронів з імпульсним представленням інформації..	73
3.4.1 Нейрон з частотно-імпульсним поданням інформації.....	74
3.4.2 Нейрон з широтно-імпульсним поданням інформації.....	75
3.4.3 Нейрон з фазово-імпульсним поданням інформації.....	76
3.5 Широтно-імпульсні фазі-нейрони.....	77
3.5.1 Фазі-нейрон «I».....	78
3.5.2 Фазі нейрон «АБО».....	80
3.6 Висновки до розділу.....	83
4 ФАЗІ-КОНТРОЛЕРИ ДОСТУПУ ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНАЦІЙНИХ МЕРЕЖ.....	84
4.1 Фазі-контролер доступу для мереж GSM.....	84
4.1.1 Розроблення фазі-контролера доступу.....	85
4.1.2 Визначення функцій належності.....	86

4.1.3	Моделювання фазі-контролера доступу.....	87
4.2	Фазі-логічний пристрій керування доступом до мережі CDMA.....	91
4.2.1	Розроблення фазі-контролера доступу.....	91
4.2.2	Визначення функцій належності.....	92
4.2.3	Моделювання фазі-контролера доступу.....	95
4.3	Керування доступом до UMTS мереж за допомогою фазі-нейронних технологій.....	100
4.3.1	Розроблення фазі-контролера доступу.....	101
4.3.2	Визначення функцій належності.....	101
4.3.3	Розроблення фазі-нейронної мережі.....	103
4.3.4	Моделювання фазі-контролера доступу.....	104
4.4	Керування в АТМ-мережах за допомогою інтелектуальних технологій.....	109
4.4.1	Застосування інтелектуальних технологій в АТМ-мережах...	109
4.4.2	Розроблення фазі-контролера доступу.....	111
4.5	Висновки до розділу.....	116
	ВИСНОВКИ.....	117
	ЛІТЕРАТУРА.....	119

## ВСТУП

Сучасні інтелектуальні технології – фазі-логіка, фазі-контролери, нейронні мережі, нейро-фазі-мережі, вейвлет-мережі, Баєсові класифікатори, генетичні та еволюційні алгоритми – використовуються для розв’язання технічних, наукових і прикладних задач, у випадку, коли традиційні методи не можуть дати задовільного результату.

Пристрої автоматичного керування, які функціонують на основі фазі-логіки – фазі-контролери знаходять своє застосування у складних телекомунікаційних, радіотехнічних та мікроелектронних системах, вхідні дані яких зазнають постійних змін, а вихідні потребують регулювання у масштабі реального часу.

Застосування у телекомунікаційних, радіотехнічних та мікроелектронних системах спеціалізованих пристроїв автоматичного керування, що функціонують на основі фазі-логіки, замість традиційних пристроїв керування, дозволяє підвищити точність та надійність керування.

Для створення подібних спеціалізованих пристроїв автоматичного керування важливим етапом проектування є синтез відповідних логічних елементів, які реалізують функції фазі-логіки і характеризуються високою точністю, завадостійкістю і швидкодією.

Теорія фазі-логіки та її застосування до розв’язання прикладних задач досліджується у працях А. П. Ротштейна, Б. І. Мокіна, Ю. І. Мітюшкіна [1–6]. У монографії В. І. Архангельського, І. Н. Богаєнко, Г. Г. Грабовського, М. А. Рюмшина [7] показані переваги фазі-технологій і фазі-контролерів. Також розглянуто інтеграцію фазі-систем з нейронними мережами. У роботі Лісового І. П. [8] розглянуто методику синтезу цифрового нечіткого регулятора на основі фазі-логіки. У працях В. І. Гостева [9–11] досліджується теорія фазі-логіки і нечітких регуляторів. Подальший розвиток фазі-логіки досліджується в працях Rudolf Kruse, Christian Borgelt [12–14]. В працях Robert Fullér [15–21], Márta Takács [22], Siegfried Gottwald [23, 24], Irina Perfilieva [25, 26] розглядаються математичні аспекти фазі-логіки і теорії нечітких множин.

У роботах авторів А. Rodriguez-Vázquez, R. Navas-González [27–36], В. Wilamowski [37–42], О. Landolt [43] представлені схеми

елементів систем керування на основі фазі-логіки. У таких елементах вхідна та вихідна інформація представлена аналоговими сигналами напруги або струму. Недоліком таких елементів є їх низькі точність та завадостійкість. У той же час цифрові пристрої, які реалізують функції фазі-логіки, характеризуються низькою швидкістю через великий час затримки [33].

Відомі праці, у яких розробляються та досліджуються імпульсні елементи двійкової [44–49] та багатозначної [50, 51] логіки. Проте такі елементи не застосовуються для нечітких логічних рівнів. У статтях L. M. Reyneri, M. Chiaberge [52–64] представлені структурні схеми систем нейро-фазі-керування та досліджується використання імпульсно-модульованих сигналів у фазі-системах і нейронних мережах.

В той же час, у вищенаведених працях не пропонується метод структурного синтезу елементів фазі-логіки з високою завадостійкістю для розв'язання різноманітних прикладних задач.

Підвищити завадостійкість радіотехнічних пристроїв автоматичного керування на основі фазі-логіки можна за рахунок використання при передаванні та обробленні сигналів з імпульсним представленням інформації. При цьому значенням вхідних та вихідних фазі-логічних величин відповідає один із параметрів імпульсної послідовності: амплітуда, частота, тривалість або фаза.

Область застосування фазі-нейронних технологій дуже широка. Так, наприклад, у сучасних телекомунікаційних мережах [65] широко застосовуються технології контролю доступу. Існуючі алгоритми контролю допуску викликів призначені забезпечити певну якість обслуговування згідно з деякою стратегією пропускання викликів до системи [66]. Схеми за пріоритетом та схеми попереднього блокування виклику, хоча і забезпечують необхідну якість обслуговування при відомих характеристиках трафіку, не можуть врахувати динамічну природу системи. В той же час, у праці [67] вказується, що контроль доступу, який базується на технологіях нечіткої логіки та генетичних алгоритмах, дозволяє працювати в умовах невизначеності трафіку.

У стільникових мережах контроль доступу застосовується тільки для голосових викликів. У випадку передачі даних інших типів контроль доступу значно ускладнюється через відмінні характеристики трафіку. Згідно з працею [68] класичні методи контролю доступу, розроблені для систем передачі мови, не можуть ефективно вирішувати

нові проблеми, пов'язані зі складним характером трафіку даних та з різноманітністю вимог до якості послуг для різних абонентів; тому пропонується використовувати гнучкість та потужність нечітких правил «якщо-то» для забезпечення ефективного вирішення проблеми контролю доступу до стільникових мереж.

Таким чином, покращити ефективність контролю доступу у стільникових системах стандарту GSM можна за рахунок використання принципів фазі-логіки і фазі-керування [67].

Розроблення фазі-контролерів для керування доступом до мереж стільникового зв'язку досліджується у працях [66–70]. Проаналізувавши вказані праці можна твердити, що, хоча розробленню фазі-контролерів для доступу викликів у стільникові мережі приділяється багато уваги, не всі розробки є функціонально завершеними, що ускладнює їх впровадження у промисловість. Тому задача покрокової та функціонально завершеної розробки структури фазі-контролера є актуальною.

Все вищенаведене обумовлює необхідність вирішення актуальної наукової проблеми – підвищення завадостійкості та розширення функціональних можливостей пристроїв автоматичного керування на основі фазі-логіки для телекомунікаційних систем, шляхом використання частотно-імпульсного, широтно-імпульсного і фазово-імпульсного представлення інформації

В монографії запропоновано методи структурного синтезу імпульсних фазі-логічних елементів. Отримали подальший розвиток методи імпульсного кодування фазі-логічних величин. Запропоновано для реалізації операції трійкової логіки застосовувати нейронні мережі з лінійними та двопороговими нейронами. Розроблено структурні схеми фазі-контролерів для стільникових мереж. Також проведено моделювання роботи фазі-контролерів у програмі Matlab.

Перший розділ цієї монографії написано доктором технічних наук Кичаком Василем Мартиновичем, третій і четвертий розділ написано кандидатом технічних наук Семеновою Оленою Олександрівною, другий розділ, вступ, висновки, перелік літератури є спільною працею авторів.



# 1 ІМПУЛЬСНІ ФАЗІ-ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ

## 1.1 Представлення фазі-величин при імпульсному кодуванні

У радіотехнічних, телекомунікаційних і мікроелектронних системах, які функціонують на основі фазі-логіки, сигнали, що обробляються, відповідають значенням функцій належності від фазі-логічного нуля до фазі-логічної одиниці, тобто представляють собою фазі-логічні величини.

Фазі-величиною  $\mu$  будемо називати фазі-логічну величину, яка приймає значення з інтервалу дійсних чисел від нуля до одиниці включно і відображає значення функції належності.

Підвищити точність систем, які функціонують на основі фазі логіки, можна за рахунок застосування не аналогових, а імпульсних сигналів, оскільки кодування значень фазі-величин параметрами імпульсів, враховуючи можливі похибки і завади, дозволить досягнути більшої точності, ніж формування аналогових сигналів, форма яких відповідає формі функцій належності, тому що сформувати сигнал, форма якого є математично ідеальною, майже неможливо.

Використання імпульсної модуляції сигналів у пристроях, які функціонують на основі фазі-логіки має низку переваг у порівнянні з неперервними, а саме: імпульсно модульовані сигнали характеризуються вищою завадостійкістю у порівнянні з амплітудно-модульованими; пристрої з імпульсними сигналами характеризуються нижчою потужністю споживання і можуть застосовуватися як у цифрових, так і в аналогових системах [57].

На попередньому етапі розробки пристроїв, які функціонують за правилами фазі-логіки, необхідно спочатку визначити спосіб представлення фазі-величин за допомогою параметрів сигналів таких пристроїв. Оскільки надалі будуть розроблятися пристрої, сигнали в яких є імпульсними, потрібно визначити спосіб кодування фазі-величин параметрами імпульсно модульованих сигналів. У нашому випадку будемо використовувати частотно- і широтно-імпульсні сигнали.

### 1.1.1 Частотно-імпульсне кодування фазі-величин

При кодуванні фазі-величин параметрами частотно-імпульсних сигналів певним значенням фазі-логічних величин відповідають частоти заповнення імпульсів. Частота заповнення імпульсів  $f_\alpha$  відповідає нульовому значенню фазі-величини, а частота заповнення імпульсів  $f_\beta$  – одиничному

$$\begin{aligned}f_\alpha &= "0", \\f_\beta &= "1",\end{aligned}$$

причому  $f_\beta > f_\alpha$ .

Частотний діапазон, у якому знаходяться значення фазі-величини від 0 до 1, визначається за допомогою частоти заповнення імпульсів

$$f_\gamma = f_\beta - f_\alpha.$$

Тоді, значення  $\mu(x)$  фазі-величини при радіочастотному кодуванні відповідає частоті заповнення імпульсів  $f_\mu$ ,

$$\mu(x) \rightarrow f_\mu. \quad (1.1)$$

Частота  $f_\mu$  визначається таким чином

$$f_\mu = f_\alpha + x \cdot f_\gamma. \quad (1.2)$$

Згідно з формулами (1.1), (1.2) отримуємо такі співвідношення для деяких значень фазі-величин при радіочастотному кодуванні:

$$\begin{aligned}"0" &\rightarrow f_\alpha; \\ "0,1" &\rightarrow f_\alpha + 0,1 \cdot f_\gamma; \\ "0,2" &\rightarrow f_\alpha + 0,2 \cdot f_\gamma; \\ "0,55" &\rightarrow f_\alpha + 0,55 \cdot f_\gamma; \\ "1" &\rightarrow f_\beta.\end{aligned}$$

### 1.1.2 Широтно-імпульсне кодування фазі-величин

При кодуванні фазі-величин параметрами широтно-імпульсних сигналів певним значенням фазі-логічних величин відповідають тривалості радіоімпульсів. Співвідношення тривалості імпульсу  $t_\alpha$  і три-

валості паузи  $t_\alpha^n$  відповідає нульовому значенню фазі-величини, а співвідношення тривалості імпульсу  $t_\beta$  і тривалості паузи  $t_\beta^n$  – одиничному

$$\begin{aligned} t_\alpha &= "0"; t_\alpha^n = "0"; \\ t_\beta &= "1"; t_\beta^n = "1", \end{aligned}$$

причому  $t_\beta > t_\alpha$ ,  $t_\beta^n < t_\alpha^n$ .

Тоді, значення  $\mu(x)$  фазі-величини при широтно-імпульсному кодуванні відповідає тривалості імпульсу  $t_\mu$ :

$$\mu(x) \rightarrow t_\mu. \quad (1.3)$$

Тривалість імпульсу  $t_\mu$  визначається таким чином:

$$t_\mu = x \cdot t_\alpha + (1 - x) \cdot t_\beta. \quad (1.4)$$

Згідно з формулами (1.3, 1.4) отримуємо такі співвідношення для деяких значень фазі-величин при широтно-імпульсному кодуванні:

$$\begin{aligned} "0" &\rightarrow t_\alpha; \\ "0,1" &\rightarrow 0,1 \cdot t_\beta + 0,9 \cdot t_\alpha; \\ "0,3" &\rightarrow 0,3 \cdot t_\beta + 0,7 \cdot t_\alpha; \\ "0,5" &\rightarrow 0,5 \cdot t_\beta + 0,5 \cdot t_\alpha; \\ "1" &\rightarrow t_\beta. \end{aligned}$$

### 1.1.3 Фазово-імпульсне кодування фазі-величин

При кодуванні фазі-величин параметрами фазово-імпульсних сигналів певним значенням фазі-логічних величин різниця фаз вхідного і опорного імпульсів.

Різниця фаз вхідного і опорного сигналів  $\varphi_\alpha$  відповідає нульовому значенню фазі-величини, а різниця фаз вхідного і опорного сигналів  $\varphi_\beta$  – одиничному.

$$\begin{aligned} \varphi_\alpha &= 0, \\ \varphi_\beta &= 2\pi. \end{aligned}$$

Тоді, значення  $\mu(x)$  фазі-величини при фазово-імпульсному кодуванні відповідає різниці фаз вхідного і опорного імпульсів  $\varphi_\mu$ :

$$\mu(x) \rightarrow \varphi_\mu. \quad (1.5)$$

Різниця фаз  $\varphi_\mu$  визначається таким чином:

$$\varphi_\mu = \mu \cdot 2\pi. \quad (1.6)$$

Згідно з формулами (1.5), (1.6) отримуємо такі співвідношення для деяких значень фазі-величин при фазово-імпульсному кодуванні:

$$"0" \rightarrow 0;$$

$$"0,1" \rightarrow 0,2\pi;$$

$$"0,25" \rightarrow 0,5\pi;$$

$$"0,7" \rightarrow 1,4\pi;$$

$$"1" \rightarrow 2\pi.$$

Таким чином, розроблені методи частотно-імпульсного, широтно-імпульсного та фазово-імпульсного кодування фазі-величин дозволяють досить точно представити значення функції належності у пристроях, які функціонують на основі фазі-логіки.

## 1.2 Розробка методу структурного синтезу елементів фазі-логіки

Для покращення ефективності проектування імпульсних елементів, які реалізують операції фазі-логіки, необхідно розробити метод структурного синтезу елементів фазі-логіки, який дозволить розробляти елементи, які виконують базові функції фазі-логіки: доповнення, максимум, мінімум та додаткові функції фазі-логіки: протиріччя, тавтологія, заборона, імплікація, стрілка Пірса, штрих Шефера, виключне АБО та еквівалентність.

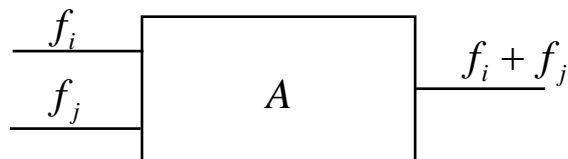
Пропонується спочатку розробити частинні методи структурного синтезу, які дозволять синтезувати структурні схеми елементів, які реалізують базові операції фазі-логіки. Від структурних схем можна перейти до структурних функціональних. Потім, на основі аналізу цих структурних схем, розробляється узагальнений метод структурного синтезу, який дозволить розробляти схеми елементів, які реалізують всі додаткові функції фазі-логіки.

### 1.2.1 Обґрунтування виду базових фізичних схем

У праці [44] запропоновано метод синтезу частотно-імпульсних логічних елементів, згідно з яким кожному елементу ставиться у відповідність сукупність базових фізичних схем та зв'язків між ними. На основі логічних функції складається операторний опис, за яким будуються структурні схеми елементів.

У даному випадку автор пропонує метод структурного синтезу елементів фази-логіки, при якому як базові використовуються фізичні схеми, що здійснюють операції додавання, віднімання, розгалуження та ділення частоти сигналів на два.

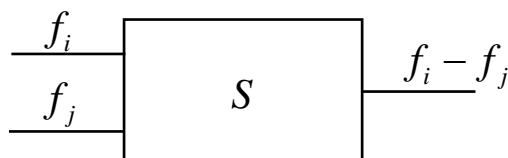
Операція додавання двох сигналів здійснюється за допомогою підсумовувального змішувача, тобто якщо на вході базового елемента маємо два сигнали з частотами  $f_i$  і  $f_j$ , вихідний сигнал буде мати частоту  $(f_i + f_j)$ . Фізичний елемент, що реалізує операцію додавання, будемо називати  $A$ -елементом. Він позначається так:



Операторний опис  $A$ -елемента має вигляд

$$A: \{f_i, f_j\} \rightarrow \{f_i + f_j\}.$$

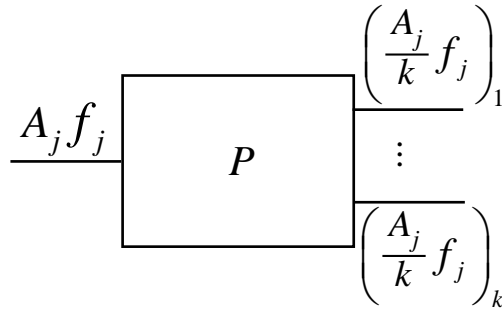
Операція віднімання двох сигналів здійснюється за допомогою віднімального змішувача, тобто якщо на вході базового елемента маємо два сигнали з частотами  $f_i$  і  $f_j$ , вихідний сигнал буде мати частоту  $|f_i - f_j|$ . Фізичний елемент, що реалізує операцію віднімання будемо називати  $S$ -елементом. Він позначається так:



Операторний опис  $S$ -елемента має вигляд

$$S : \{f_i, f_j\} \rightarrow \{f_i - f_j\}.$$

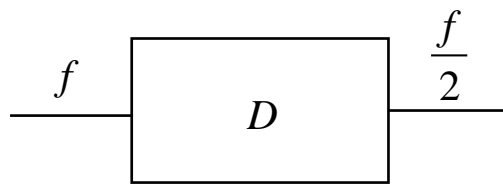
Ще однією з функцій перетворення сигналів є розгалуження, яке полягає у тому, що один із складних сигналів розділяється на декілька сигналів з тими ж частотами, але іншими амплітудами. Фізичний елемент, що реалізує операцію розгалуження називається  $P$ -елементом і позначається так:



Його операторний опис має вигляд

$$P : \{(A_j, f_j); j = \overline{0, n}\} \rightarrow \{(\frac{A_j}{k}, f_j)_i; j = \overline{0, n}; i = \overline{1, k}\}.$$

Операція ділення частоти сигналу на два здійснюється за допомогою подільника частоти, тобто якщо на вході базового елемента маємо сигнал з частотою  $f$ , вихідний сигнал буде мати частоту  $\frac{f}{2}$ . Фізичний елемент, що реалізує операцію ділення частоти на два будемо називати  $D$ -елементом. Він позначається так:



Операторний опис  $D$ -елемента має вигляд:

$$D : \{f\} \rightarrow \{\frac{f}{2}\}.$$

Таким чином, маємо набір фізичних елементів  $\{A, S, P, D\}$ , які будемо використовувати для побудови частотно-імпульсних елементів фазі-логіки.

У окремих випадках для реалізації функції також необхідно подавати на вхід допоміжні сигнали. Тобто, для того, щоб отримати вихідний сигнал, на вхід схеми необхідно подати вхідні та допоміжний сигнали.

З'єднуючи послідовно та паралельно один з другим різні базові фізичні елементи, будемо отримувати схеми, які реалізують функції фази-логіки. Такі функції будемо описувати послідовністю відповідних операторів. Для цього використаємо структуру опису, запропоновану в [44]:

$$\underbrace{x_1 \uparrow^1 x_2 \uparrow^2 \dots x_m \uparrow^m}_{\text{поле вхідних сигналів}} : \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{поле операторів}} : \underbrace{\downarrow^1 y_1 \downarrow^2 y_2 \dots \downarrow^n y_n}_{\text{поле вихідних сигналів}}$$

Цей опис складається з трьох полів. У полі вхідних сигналів вказуються  $m - 1$  інформаційні вхідні сигнали, що надходять до елемента і допоміжний сигнал, що забезпечують реалізацію вказаних функцій.

Поряд з кожним сигналом ставиться знак  $\uparrow^i$ . Кожному такому знаку  $\uparrow^i$  в полі операторів буде відповідати знак  $\downarrow^i$ . Це означає, що сигнал  $X_i$  є вхідним для оператора, перед яким розташований знак  $\downarrow^i$ .

Оператори можуть реалізовуватися як послідовно один з одним, так і паралельно. Набір операторів, що реалізується паралельно, будемо записувати у дужках.

У полі вихідних сигналів вказується вихідний сигнал, що формується елементом. Для відокремлення полів у операторному записі використовується символ «:».

Таким чином, оскільки у операторному описі зазначаються всі сигнали і базові фізичні елементи, а також послідовність з'єднання цих елементів, на основі такого опису будується структурна схема елемента.

### 1.2.2 Метод синтезу елемента доповнення

Оскільки у фази-логіці операція доповнення здійснюється за формулою

$$y = 1 - x,$$

то для її апаратної реалізації необхідно сформувати додатковий частотно-імпульсний сигнал  $w$ , частота якого  $f^w$  відповідає значенню фази-логічної одиниці. Оскільки  $1 = 1 + 0$ , маємо:

$$f^w = f_\beta + f_\alpha.$$

Щоб отримати на виході сигнал частотою  $f^v = f_\alpha + y \cdot f_\gamma$ , необхідно здійснити таку операцію:

$$\begin{aligned} f^v &= f^w - f^x = (f_\beta + f_\alpha) - (f_\alpha + x \cdot f_\gamma) = \\ &= f_\beta - x \cdot f_\gamma = f_\alpha + f_\gamma - x \cdot f_\gamma = f_\alpha + (1 - x) \cdot f_\gamma = f_\alpha + y \cdot f_\gamma. \end{aligned}$$

Таким чином, елемент, який здійснює операцію фази-логічного доповнення, будується на основі базового фізичного елемента  $S$  (рис.1.1).

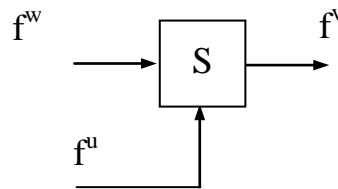


Рисунок 1.1 – Структурна схема елемента доповнення

Оскільки операцію віднімання виконує віднімальний змішувач частот, то структурна функціональна схема елемента доповнення будується на основі змішувача частот, вихідна частота якого є різницею вхідних частот (рис. 1.2).

Елемент працює таким чином. На перший вхід змішувача подаємо допоміжний сигнал з частотою  $f^w = f_\beta + f_\alpha$ , а на другий вхід змішувача надходить вхідний сигнал з частотою  $f^x = f_\alpha + x \cdot f_\gamma$ . На виході змішувача отримуємо сигнал з частотою  $f^v = f_\alpha + y \cdot f_\gamma$ .

### 1.2.3 Метод синтезу елемента максимуму

На вхід елемента максимуму надходять сигнали  $u_1, u_2$ . На виході елемента з'являється сигнал  $v$ , причому  $v = \max[u_1, u_2]$ .

Нехай  $u_1 > u_2$ . Приймаємо, що у елементі здійснюється така операція:



$$u_1 + u_2 + a - b = u_1 \cdot c.$$

Якщо  $a = u_1$ ,  $b = u_2$ ,  $c = 2$ , тоді рівняння набуває вигляду:

$$u_1 + u_2 + u_1 - u_2 = u_1 \cdot 2.$$

Нехай  $u_1 < u_2$ . Приймаємо, що у елементі здійснюється така операція:

$$u_1 + u_2 + a - b = u_2 \cdot c.$$

Якщо  $a = u_2$ ,  $b = u_1$ ,  $c = 2$ , тоді рівняння набуває вигляду:

$$u_1 + u_2 + u_2 - u_1 = u_2 \cdot 2.$$

Таким чином, пристрій, який виконує операцію максимуму, спочатку повинен здійснити операції додавання і віднімання сигналів  $u_1, u_2$ .

$$\begin{aligned} &u_1 + u_2; \\ &|u_1 - u_2|. \end{aligned}$$

Потім здійснюється операція додавання результатів перших двох операцій. Маємо

$$u_1 + u_2 + |u_1 - u_2| = \begin{cases} u_1 + u_2 + u_1 - u_2 = u_1 \cdot 2, & \text{якщо } u_1 > u_2; \\ u_1 + u_2 + u_2 - u_1 = u_2 \cdot 2, & \text{якщо } u_1 < u_2. \end{cases}$$

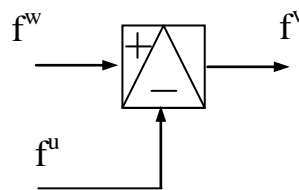


Рисунок 1.2 – Структурна функціональна схема елемента доповнення

Потім пристрій здійснює ділення отриманого сигналу ( $u_1 \cdot 2$ , при  $u_1 > u_2$ ; або  $u_2 \cdot 2$  при  $u_1 < u_2$ ) на два, і на виході з'являється сигнал

$$v = \begin{cases} u_1, & \text{при } u_1 > u_2; \\ u_2, & \text{при } u_1 < u_2. \end{cases}$$

Тобто

$$v = \max[u_1, u_2].$$

Таким чином, структурна схема елемента максимуму складається з двох  $A$ -елементів,  $S$ -елемента і  $D$ -елемента (рис. 1.3).

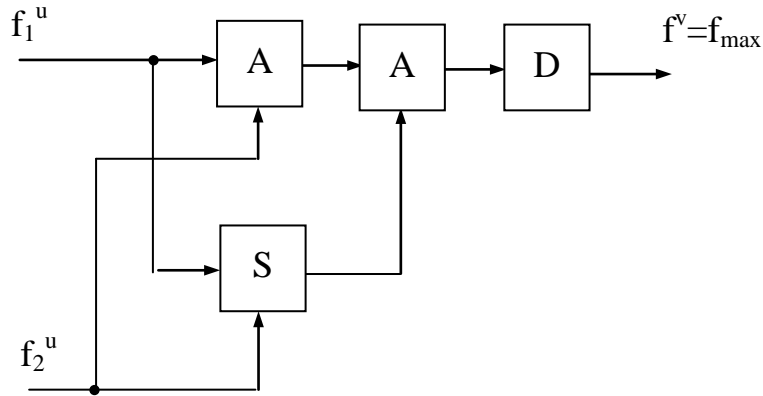


Рисунок 1.3 – Структурна схема елемента максимуму

У випадку частотно-імпульсного представлення інформації елемент максимуму пропонується виконувати на двох підсумовувальних змішувачах частоти (операції додавання сигналів), віднімальному змішувачі частоти (операція віднімання сигналів) і подільнику частоти (операція ділення на два).

На рис. 1.4 представлена структурна функціональна схема елемента максимуму.

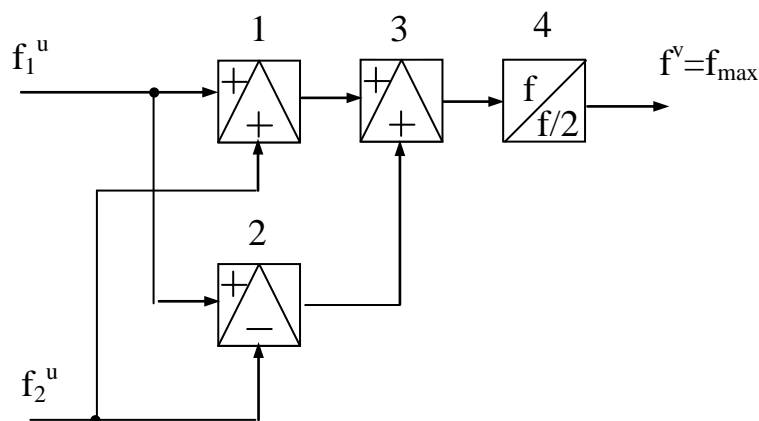


Рисунок 1.4 – Структурна функціональна схема елемента максимуму

Елемент працює таким чином. Перший вхідний сигнал з частотою  $f_1^u$  надходить на перший вхід змішувача 1 і на перший вхід змішувача 2. Другий вхідний сигнал з частотою  $f_2^u$  надходить на другий вхід змішувача 1 і на другий вхід змішувача 2. На виході змішувача частот

1 отримуємо сигнал з частотою  $(f_1^u + f_2^u)$ ; він надходить на перший вхід змішувача 3. На виході змішувача частот 2 отримуємо сигнал з частотою  $(f_1^u - f_2^u)$ , якщо  $f_1^u \geq f_2^u$ , або з частотою  $(f_2^u - f_1^u)$ , якщо  $f_1^u < f_2^u$ ; цей сигнал надходить на другий вхід змішувача 3. На виході змішувача 3 отримуємо сигнал з частотою  $2f_{\max} = (f_1^u + f_2^u) + (f_1^u - f_2^u) = 2f_1^u$ , якщо  $f_1^u \geq f_2^u$ , або з частотою  $2f_{\max} = (f_1^u + f_2^u) + (f_2^u - f_1^u) = 2f_2^u$ , якщо  $f_1^u < f_2^u$ . Сигнал з виходу змішувача 3 надходить на вхід подільника частоти 4, на виході якого отримуємо сигнал з частотою  $f^v = f_{\max}$ .

#### 1.2.4 Метод синтезу елемента мінімуму

На вхід елемента мінімуму надходять сигнали  $u_1, u_2$ . На виході елемента з'являється сигнал  $v$ , причому  $v = \min[u_1, u_2]$ .

Нехай  $u_1 > u_2$ . Приймаємо, що в елементі здійснюється така операція:

$$u_1 + u_2 - a + b = u_2 \cdot c.$$

Якщо  $a = u_1, b = u_2, c = 2$ , тоді рівняння набуває вигляду:

$$u_1 + u_2 - u_1 + u_2 = u_2 \cdot 2.$$

Нехай  $u_1 < u_2$ . Приймаємо, що в елементі здійснюється така операція:

$$u_1 + u_2 - a + b = u_1 \cdot c.$$

Якщо  $a = u_2, b = u_1, c = 2$ , тоді рівняння набуває вигляду:

$$u_1 + u_2 - u_2 + u_1 = u_1 \cdot 2.$$

Таким чином, пристрій, який виконує операцію мінімуму, спочатку повинен здійснити операції додавання і віднімання сигналів  $u_1, u_2$ :

$$u_1 + u_2;$$

$$|u_1 - u_2|.$$

Потім здійснюється операція віднімання результатів перших двох операцій. Маємо

$$u_1 + u_2 - |u_1 - u_2| = \begin{cases} u_1 + u_2 - u_1 + u_2 = u_2 \cdot 2, & \text{якщо } u_1 > u_2; \\ u_1 + u_2 - u_2 + u_1 = u_1 \cdot 2, & \text{якщо } u_1 < u_2. \end{cases}$$

Потім пристрій здійснює ділення отриманого сигналу ( $u_2 \cdot 2$ , при  $u_1 > u_2$ ; або  $u_1 \cdot 2$  при  $u_1 < u_2$ ) на два, і на виході з'являється сигнал

$$v = \begin{cases} u_2, & \text{при } u_1 > u_2; \\ u_1, & \text{при } u_1 < u_2. \end{cases}, \text{ тобто } v = \min[u_1, u_2].$$

Таким чином, структурна схема елемента максимуму складається з  $A$ -елемента, двох  $S$ -елементів і  $D$ -елемента (рис. 1.5)

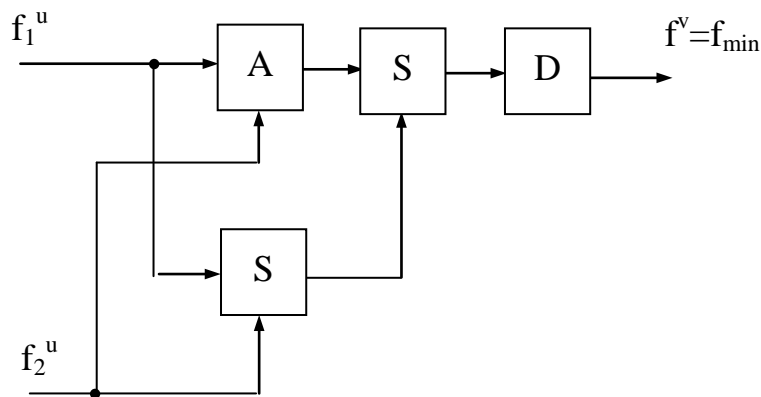


Рисунок 1.5 – Структурна схема елемента мінімуму

У випадку частотно-імпульсного представлення інформації елемент мінімуму пропонується виконувати на підсумовувальному змішувачі частоти (операція додавання сигналів), двох віднімальних змішувачах частоти (операції віднімання сигналів) і подільнику частоти (операція ділення на два).

На рис. 1.6 подано структурну функціональну схему елемента мінімуму.

Елемент працює таким чином. Перший вхідний сигнал з частотою  $f_1^u$  надходить на перший вхід змішувача 1 і на перший вхід змішувача 2. Другий вхідний сигнал з частотою  $f_2^u$  надходить на другий вхід змішувача 1 і на другий вхід змішувача 2. На виході змішувача частот 1 отримуємо сигнал з частотою  $(f_1^u + f_2^u)$ ; він надходить на перший вхід змішувача 3. На виході змішувача частот 2 отримуємо сигнал з частотою  $(f_1^u - f_2^u)$ , якщо  $f_1^u \geq f_2^u$ , або з частотою  $(f_2^u - f_1^u)$ , якщо

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации / А. П. Ротштейн. – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
2. Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний : монография / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн – Винница : Універсум–Вінниця, 2002. – 145 с.
3. Ротштейн А. П. Медицинская диагностика на нечёткой логике / А. П. Ротштейн. – Винница : Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.
4. Мокін Б. І. Нетрадиційні операції та принципи узагальнення в теорії нечітких множин (основні ідеї та перспективи застосування в прикладних задачах) / Б. І. Мокін, В. В. Камінський, С. Ш. Кацев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 5. – С. 83–88.
5. Мокін Б. І. Моделювання процесу прогнозування добових графіків споживання електричної потужності на основі баз нечітких знань / Б. І. Мокін, Ю. І. Митюшкін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 5. – С. 58–63.
6. Мокін Б. І. Властивості слабких операцій в теорії нечітких множин / Б. І. Мокін, В. В. Камінський, С. Ш. Кацев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 5. – С. 106–113.
7. Системы функции-управления / [В. И. Архангельский, И. Н. Богаенко, Г. Г. Грабовский, Н. А. Рюмшин]. – К. : Техніка, 1997. – 208 с.
8. Лісовий І. П. Методика параметричного синтезу цифрового регулятора на базисі нечіткої логіки / І. П. Лісовий // «Підготовка фахівців з телекомунікацій і Болонський процес» : тези доповідей Наукової конференції. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів. – 2004. – С. 10–12.
9. Гостев В. И. Модификации нечёткого вывода в нечёткой логике / В. И. Гостев, В. А. Данилов // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч. 1, Т. 1, № 2. – С. 10–13.
10. Гостев В. И. Неоднозначность настройки нечётких регуляторов в системах автоматического управления / В. И. Гостев, А. В. Ананин, Г. Я. Криховецкий // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч. 1, Т. 1, № 2. – С. 43–46.
11. Гостев В. И. Фаззи-система управления параметрами прямооточного котла дубль-блока 300 МВт / В. И. Гостев, В. В. Крайнев, Г. Я. Криховецкий // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч. 1, Т. 1, № 2. – С. 50–52.

12. Xiaomeng Wang. Information Measures in Fuzzy Decision Trees / Xiaomeng Wang, Christian Borgelt // Proc. 13th IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'04). – Budapest (Hungary). – 2004. – P. 134–137.
13. Christian Döring. Fuzzy Clustering of Quantitative and Qualitative Data / Christian Döring, Christian Borgelt, Rudolf Kruse // Proc. Conf. North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS 2004). – Banff (Canada). – 2004. – P. 84–89.
14. Christian Borgelt. Shape and Size Regularization in Expectation Maximization and Fuzzy Clusterin / Christian Borgelt and Rudolf Kruse // Proc. 8th European Conf. on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (PKDD 2004). – Pisa (Italy). – 2004. – P. 52–62.
15. Robert Fullér. On fuzzy reasoning schemes / Robert Fullér // The State of the Art of Information Systems Applications in 2007. – Turku Centre for Computer Science, Åbo, 1999. – V. 16. – P. 85–112.
16. Robert Fullér. Fuzzy logic and neural nets in intelligent systems / Robert Fullér // Information Systems Day. – Turku Centre for Computer Science, Åbo, 1999. – V. 17. – P. 74–94.
17. Christer Carlsson. Optimization under fuzzy rule constraints / Christer Carlsson, Robert Fullér, S.Giove // The Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science. – 1998. – № 38. – P. 17–24.
18. Christer Carlsson. Multiobjective optimization with linguistic variables / Christer Carlsson, Robert Fullér // Proceedings of the Sixth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'98). – Aachen. – 1998. – V. 2. – P. 1038–1042.
19. Christer Carlsson. Optimization under fuzzy linguistic rule constraints / Christer Carlsson, Robert Fullér, S.Giove // Proceedings of the Fourth Meeting of the Euro Working Group on Fuzzy Sets and Second International Conference on Soft and Intelligent Computing (Eurofuse-SIC'99). – Budapest (Hungary). – 1999. – P. 184–187.
20. Robert Fullér. A neuro-fuzzy approach to FMOLP problems / Robert Fullér, S.Giove // Proceedings of CIFT'94. – Trento (Italy). – 1994. – P. 97–101.
21. Christer Carlsson. A neuro-fuzzy system for portfolio evaluation / Christer Carlsson, Robert Fullér // Proceedings of the Twelfth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (Cybernetics and Systems'96). – Vienna. – 1996. – P. 296–299.
22. Márta Takács. Residuum-based approximate reasoning with distance-based uninorms / Márta Takács // Abstracts of the 25<sup>th</sup> Linz Seminar on Fuzzy set theory (Linz 2004). – Linz (Austria). – 2004. – P. 209–212.

23. Siegfried Gottwald. Fuzzy relation equations and fuzzy control — some old and some new ideas / Siegfried Gottwald // Abstracts of the 25<sup>th</sup> Linz Seminar on Fuzzy set theory (Linz 2004). – Linz (Austria). – 2004. – P. 55.
24. Siegfried Gottwald. An abstract approach toward evaluation of fuzzy rule systems / Siegfried Gottwald // Abstracts of the 26<sup>th</sup> Linz Seminar on Fuzzy set theory (Linz 2005). – Linz (Austria). – 2005. – P. 51–54.
25. Irina Perfilieva. Solvability and approximate solvability of a system of fuzzy relation equations from functional point of view / Irina Perfilieva // Abstracts of the 25<sup>th</sup> Linz Seminar on Fuzzy set theory (Linz 2004). – Linz (Austria). – 2004. – P. 164–180.
26. Irina Perfilieva. Semi-linear spaces and their bases / Irina Perfilieva // Abstracts of the 26<sup>th</sup> Linz Seminar on Fuzzy set theory (Linz 2005). – Linz (Austria). – 2005. – P. 85–88.
27. Angel Rodriguez-Vázquez. A modular programmable CMOS analog fuzzy controller chip / [Angel Rodriguez-Vázquez, Rafael Navas-González, Manuel Delgado-Restituto M., Fernando Vidal-Verdú] // IEEE Transactions on Circuits and Systems. – 1999. – Vol. 46, № 3. – P. 251–265.
28. R. Navas-González. A Mixed-Signal Architecture for High Complexity CMOS Neuro-Fuzzy Controllers / R. Navas-González, F. Vidal-Verdú, A. Rodríguez Vázquez // Mathware & Soft Computing. – 1999. – V. 6, № 2–3. – P. 331–343.
29. F. Vidal-Verdú. Multiplexing architecture for mixed-signal CMOS fuzzy controllers / F. Vidal-Verdú, R. Navas-González, A. Rodríguez-Vázquez // Electronics Letters. – 1998. – V. 34, № 14. – P. 1437–1438.
30. R. Navas González. Microcontroller-Based versus Mixed-Signal Fuzzy Programmable Chip Fuzzy Controller in A Soft-Start of DC Motor Application / R. Navas González, F. Vidal Verdú, A. Rodríguez Vázquez // Presentación Oral XI Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy (ESTYLF'2002). – León (España). – 2002. – P. 59–64.
31. R. Navas González. A Mixed-Signal Fuzzy Controller and its Application to Soft Start of DC Motors / R. Navas González, F. Vidal Verdú, A. Rodríguez Vázquez // IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'2000). – San Antonio (USA ). – 2000. – P. 128–133.
32. F. Vidal Verdú. Circuits for On-Chip Learning in Neuro-Fuzzy Controllers / F. Vidal Verdú, R. Navas and A. Rodríguez Vázquez // Presentación Oral International Conference on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems (MicroNeuro'99). – Granada (Spain). – 1999. – P. 140–146.

33. F.Vidal Verdú. A Multiplexed Mixed-Signal Fuzzy Controller Architecture / F.Vidal Verdú, R. Navas and A. Rodríguez Vázquez // IEEE Intern. Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'98). – Anchorage (USA.). – 1998. – P. 647–652.
34. F.Vidal Verdú. A Mixed-Signal Fuzzy Controller Architecture / F.Vidal Verdú, R Navas and A.Rodríguez Vázquez // Presentación Oral IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS'98). – Lisboa (Portugal). – 1998. – P. 423–426.
35. F. Vidal-Verdú. A Modular Analog Fuzzy Controller / F. Vidal-Verdú, R. Navas and A. Rodríguez Vázquez // Presentación Oral. Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'97). – Barcelona (Spain). – 1997. – P. 647–652.
36. F. Vidal-Verdú. CMOS Design of Adaptive Fuzzy ASICs Using Mixed-Signal Circuits / F. Vidal-Verdú, R. Navas and A. Rodríguez Vázquez // Presentación Oral. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'96). – Atlanta (USA). – 1996. – P. 430–433.
37. Wilamowski B. M. Neuro-Fuzzy Architecture for CMOS Implementation / B.M. Wilamowski, R.C. Jaeger, M.O. Kaynak // IEEE Transaction on Industrial Electronics. – 1999. – V. 46, № 6. – P. 1132–1136.
38. Ota Y. CMOS Implementation of a Voltage-Mode Fuzzy Min-Max Controller / Y. Ota, B. M. Wilamowski // Journal of Circuits, Systems and Computers. –1996. – V. 6, № 2. – P. 171–184.
39. Ota Y. Current-Mode CMOS Implementation of a Fuzzy Min-Max Network / Y. Ota, B. M. Wilamowski // World Congress of Neural Networks. – Washington DC (USA). – 1995. – V. 2. – P. 480–483.
40. Wilamowski B. M. Microprocessor Implementation of Fuzzy Systems and Neural Networks / B. M. Wilamowski, J. Binfet // International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'01). – Washington DC (USA). – 2001. – P. 234–239.
41. Wilamowski B. M. Neuro-fuzzy Systems and Their Applications / B. M. Wilamowski // 24th IEEE International Industrial Electronics Conference (IECON'98). – 1998. – V. 1. – P. 35–49.
42. Wilamowski B. M. Analog VLSI Hardware for Fuzzy Systems / B. M. Wilamowski // 24th IEEE International Industrial Electronics Conference (IECON'98). – Aachen (Germany). – 1998. – V. 1. – P. 52–55.
43. Landolt O. Place coding approach to analog fuzzy rule implementation / O. Landolt // Proc. Int. Symp. on Nonlinear theory and its applications (NOLTA'97). – Honolulu. – 1997.
44. Кичак В. М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки : монографія / В. М. Кичак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 266 с.



45. А. с. 1599986 СССР, МКИ Н03К19/20. Радиоимпульсный логический элемент И / В. М. Кичак. – № 4459429/24 ; заявл. 12. 01. 88 ; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38.
46. А. с. 1615878 СССР, МКИ Н03К19/20. Радиоимпульсный логический элемент ИЛИ / В. М. Кичак. – № 4488466/24 ; заявл. 12. 01. 88 ; опубл. 15.10.90, Бюл. № 47.
47. Кичак В. М. Метод синтезу частотних логічних елементів / В. М. Кичак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 2. – С. 187–192.
48. Кичак В. М. Дослідження частотного радіоімпульсного логічного елемента «НЕ» / В. М. Кичак, М. М. Болюх // «Наука и предпринимательство» : сборник трудов международного симпозиума . – Винница–Дрогобыч. – 2000. – С. 417–421.
49. Кичак В. М. Синтез частотно-імпульсних логічних та операційних елементів / В. М. Кичак, А. С. Белов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – № 2. – С. 31–35.
50. Иваськив Ю. Л. Цифровые устройства обработки сигналов на многозначных структурах / Ю. Л. Иваськив, В. М. Тузов. – К. : Наукова думка, 1975. – 235 с.
51. Кметь А. Б. Четырехзначная логика. Реализация операций / А. Б. Кметь. – М. : Радио и связь, 1991. – 96 с.
52. Reyneri L. M. A Performace Analysis of Pulse Stream Neural and Fuzzy Computing Systems / L. M. Reyneri // IEEE Trans. on Circuits and Systems. – 1995. – V.42, № 10. – P. 642–660.
53. Reyneri L. M. Unification of neural and wavelet networks and fuzzy systems / L. M. Reyneri // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1998.
54. Reyneri L. M. Neuro-Fuzzy Hardware: Design, Development and Performance / L. M. Reyneri // Proc. of FEPCONN III. –Skukuza (South Africa). – 1998.
55. Reyneri L. M. Unification of Neural and Fuzzy Computing Paradigms. Tutorial / L. M. Reyneri // Proc. of AT 96. – Lausanne, 1996. – Sect.2.
56. A Comparison between Analog and Pulse Stream VLSI Hardware for Neural Networks and Fuzzy Systems / [Reyneri L. M., Withagen H. C. A. M., Hegt J. A., Chiaberge M. A.] // Proc. of Int'l Conf. on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems (MICRONEURO 94). – Torino (Italy), 1994. – P. 77–86.
57. Reyneri L. M. CINTIA: A Neuro-Fuzzy Real Time Controller for Low Power Embedded Systems / L.M. Reyneri, M. Chiaberge, L. Zocca // IEEE MICRO, Special Issue on Hardware for Artificial Neural Networks. – 1995. – P. 40–47.

58. Mixing Fuzzy, Neural and Genetic Algorithms in an Integrated Design Environment for Intelligent Controllers / [M. Chiaberge, G. Di Bene, S. Di Pascoli et al.] // Proc. of IEEE Int'l Conf. on Systems, Man and Cybernetics. – Vancouver (Canada), 1995. – P. 2988–2993.

59. EL-SIM: a Development Environment for Neuro-Fuzzy Intelligent Controllers / [M. Chiaberge, G. Di Bene, S. Di Pascoli et al.] // Proc. of Int'l Workshop on Artificial Neural Networks (IWANN 95). – Torremolinos. – 1995. – P. 666–672.

60. An Integrated Hybrid Approach to the Design of High-Performance Intelligent Controllers / [M. Chiaberge, G. Di Bene, S. Di Pascoli, et al.] // Proc. of IEEE Int'l Conf. on Industry Automation and Control. – Taipei (Taiwan). – 1995. – P. 436–443.

61. A Neuro-Fuzzy Systems for Control Applications / [F. Berardi, M. Chiaberge, E. Miranda, L.M. Reyneri] // Proc. of AT 96. – Lausanne. – 1996. – Sect. 5.

62. Neuro-Fuzzy Hardware and DSPs: a Promising Marriage for Control of Complex Systems / [B. Bona, S. Carabelli, M. Chiaberge et al.] // Proc. of Int'l Conf. on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems (MICRONEURO 97). – Dresden (Germany). – 1997. – P. 113–120.

63. A Walking Hexapod Controlled by a Neuro-Fuzzy System / [F. Berardi, M. Chiaberge, E. Miranda, L.M. Reyneri] // Proc. of Int'l Workshop on Mechatronical Computer Systems for Perception and Action (MCPA 97). – Pisa (Italy). – 1997. – P. 95–104.

64. Hybrid Neuro-Fuzzy System for Control of Complex Plants / [B. Bona, S. Carabelli, M. Chiaberge et al.] // Proc. of ISIE 98. – Pretoria (South Africa). – 1998. – P. 87–92.

65. Системы мобильной связи : учебное пособие для вузов / [В. П. Ипатов, В. К. Орлов, И. М. Самойлов, В. Н. Смирнов ]; под ред. В. П. Ипатова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.

66. Call admission control in mobile cellular CDMA systems using fuzzy associative memory / Rupenaguntla Naga Satish Chandra, Dilip Sarkar // Proceedings of the International Conference on Computer Communications and Networks – ICCCN, 2004. – Режим доступа: <http://www.cs.miami.edu/~sarkar/publications/conference/00icc04.pdf>.

67. Fuzzy logic based call admission control in UMTS system / Petr Kejik, Stanislav Hanus // Proceedings of the 2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic System Technology. Aalborg (Denmark), 2009. – P. 375–378.

68. Fuzzy logic based admission control for GPRS/EGPRS Networks / Doru Todinca, Stefan Holban, Philip Perry, John Murphy // Trans. on

Automatic Control & Control Science. – 2004. – V. 4, P. 205–210. – Режим доступу: <http://www.csi.ucd.ie/staff/jmurphy/publications/741.pdf>.

69. Access network selection based on fuzzy logic and genetic algorithms / Mohammed Alkhwilani, Aladdin Ayyesh // Hindawi Publishing. Corporation Advances in Artificial Intelligence. – 2008. V.8, № 1. – P. 1–12, – Режим доступу: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1388009.1388010>.

70. Fuzzy/Neural congestion control for integrated voice and data DS-CDMA/FRMA cellular networks / Chung-Ju Chang, Bo-Wei Chen, Terng-Yuan Liu, Fang-Ching Ren // IEEE journal on selected areas in communications, Special Issue on Intelligent Techniques in High Speed Networks. – 2000. V. 18, № 2 – Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org>.

71. Бардаченко В. Ф. Основи теорії таймерних обчислювально-вимірювальних пристроїв / В. Ф. Бардаченко, В. М. Кичак. – Вінниця.: ВДТУ, 2003. – 106 с.

72. Бардаченко В. Ф. Таймерні нейронні елементи та структури : монографія / В. Ф. Бардаченко, О. К. Колесницький, С. А. Василецький. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 126 с.

73. Войцеховская Е. А. Синтез широтно-импульсных элементов фаззи-логики / Е. А. Войцеховская, В. М. Кичак // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. – Т. 4, № 2. – С. 229–232.

74. Кичак В. М. Оцінка завадостійкості частотно-імпульсних логічних елементів / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – № 1. – С. 89–91.

75. Кичак В. М. Математичні моделі частотно-імпульсних пристроїв автоматичного керування на основі фазі-логіки / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська // Вісті Академії інженерних наук України. – 2005. – № 4 – С. 44–46.

76. Пат. 10472 Україна, МПК H03K19/20. Частотно-імпульсний фазі-логічний елемент мінімуму / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська. – № 200504200 ; заявл. 4.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11. – 2 с.

77. Пат. 10473 Україна, МПК H03K19/20. Частотно-імпульсний фазі-логічний елемент максимуму / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська. – № 200504201 ; заявл. 4.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11. – 2 с.

78. Семенова О. О. Імпульсне кодування фазі-логічних величин / О. О. Семенова // Матеріали II-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» СПМРТП-2006. – Вінниця. – 2006. – С. 109.

79. Семенова О. О. Структурний синтез фазі-логічних елементів з частотно-імпульсним представленням інформації / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // «Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» : матеріали III-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2007. – С. 185.
80. Семенова О. О. Імпульсне кодування фазі-логічних величин / О. О. Семенова // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Режим доступу: [html://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07SOOflv.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07SOOflv.pdf).
81. Семенова О. О. Структурний синтез фазі-логічних елементів з частотно-імпульсним представленням інформації / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Режим доступу: [html://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-/uk.files/08soafle\\_uk.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-/uk.files/08soafle_uk.pdf).
82. Кичак В. М. Структурний синтез фазі-логічних елементів з широтно-імпульсним представленням інформації / В. М. Кичак, О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – № 1. – С. 117–123.
83. Кичак В. М. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки : монографія / В. М. Кичак, О. О. Семенова. – Вінниця УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163 с.
84. Семенова О. О. Математичні моделі фазі-логічних елементів / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 4. – С. 49–53.
85. Елементи фазі-логіки типу «добуток» / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська, В. К. Задорожний // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2010-2/2010-2\\_ua.files/ua/10easopt\\_ua.pdf](http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2010-2/2010-2_ua.files/ua/10easopt_ua.pdf).
86. Семенова О. О. Оптично керований елемент фазі-логіки / О. О. Семенова, А. О. Семенов // Оптикоелектронні інформаційні технології «Фотоніка-ОДС 2010» : збірник тез доповідей V міжнародної науково-технічної конференції: (28–30 вересня 2010 р.) – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 178.
87. Лысиков Б. Г. Арифметические и логические основы ЭЦВМ / Б. Г. Лысиков. – Минск : Вышэйшая школа, 1974. – 264 с.
88. Кнорре Г. К. Фазовые и частотные информационные СВЧ элементы / Г. К. Кнорре, В. М. Тузов, Г. И. Шур – М. : Сов. радио, 1975. – 352 с.
89. Кичак В. М. Синтез частотно-імпульсних елементів фазі-логіки / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 90–93.

90. Кичак В. М. Радіоімпульсні логічні НВЧ елементи : монографія / В. В. Кичак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 239 с.

91. Проектирование многофункциональных интегральных схем / [А. А. Молчанов, В. П. Волкогон, Ю. Х. Лоза, Г. И. Яловега]. – К. : Техніка, 1984. – 143 с.

92. Semenova O. The fuzzy approach to the ternary logic elements synthesis / O. Semenova, A. Semenov, O. Wojciechowska // Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2008 : materialy IV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. – Przemysl : Nauka i studia, 2008. – Т. 9. Techniczne nauki. – str. 47–49.

93. Semenova O. The quaternary logic elements synthesis using the fuzzy approach / O. Semenova, A. Semenov, O. Wojciechowska // Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2008 : materialy IV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. – Przemysl : Nauka i studia, 2008. – Т. 3. Ekonomiczni. – str. 75–78.

94. Використання принципів нечіткої логіки для синтезу елементів багатозначної логіки / В. М. Кичак, О. О. Семенова, О. О. Войцеховська, В. І. Макогон // «Контроль і управління в складних системах» : тези міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – С. 17.

95. Семенова О. О. Реалізація трійкових логічних операцій за допомогою параметронів / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 80–82.

96. Пат. 37829 Україна, МПК Н03К19/20. Четвірковий циклічний інвертор / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська. – № 200808816 ; заявл. 04.07.08 ; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23. – 5 с.

97. Кичак В. М. Використання принципів нечіткої логіки для синтезу елементів багатозначної логіки / В. М. Кичак, О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 2. – С. 114–118.

98. Використання принципів нечіткої логіки для синтезу елементів трійкової логіки // О. О. Семенова, А. О. Семенов, А. В. Рудик, В. В. Чухов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 1. – С. 79–83.

99. Кичак В. В. Синтез алгебраїчного суматора з частотно-імпульсним представленням інформації / В. В. Кичак, О. О. Семенова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 2. – С. 106–110.

100. Пат. 27020 Україна, МПК Н03К19/20. Логічний елемент «Об'єднання» / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська. – № 200706813 ; заявл. 18.06.07 ; опубл. 10.10.07, Бюл. № 16. – 3 с.

101. Пат. 26974 Україна, МПК H03K19/20. Логічний елемент «Перетин» / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська. – № 200706551 ; заявл. 11.06.07 ; опубл. 11.06.07, Бюл. № 16. – 3 с.
102. Пат. 33476 Україна, МПК H03K19/20. Трійковий елемент мінімуму / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська. – № 200801766 ; заявл. 11.02.08 ; опубл. 25.06.08, Бюл. № 12. – 4 с.
103. Пат. 34465 Україна, МПК H03K19/20. Трійковий елемент максимуму / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська. – № 200830612 ; заявл. 21.03.08 ; опубл. 11.08.08, Бюл. № 15. – 5 с.
104. Пат. 35963 Україна, МПК H03K19/20. Логічний елемент трійкової інверсії / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. М. Кичак, О. О. Войцеховська. – № 200805822 ; заявл. 05.05.08 ; опубл. 05.05.08, Бюл. № 19. – 4 с.
105. Пат. 12041 Україна, МПК H03K19/20. Логічний елемент «І» / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська. – № 200507378 ; заявл. 25.07.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1. – 2 с.
106. Пат. 12516 Україна, МПК H03K19/20. Логічний елемент «АБО» / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська. – № 200507355 ; заявл. 25.07.05 ; опубл. 15.02.06, Бюл. № 2. – 2 с.
107. Ярушкіна Н. Г. Нечёткие нейронные сети с генетической настройкой / Н. Г. Ярушина // Научная сессия МИФИ–2004. VI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2004» : лекции по нейроинформатике. – М. : МИФИ, 2004. – Часть 1. – 199 с.
108. Masahiro Sakamoto. A study of ternary fuzzy processor using neural networks / Masahiro Sakamoto, Mititada Morisue // Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. – Hong Kong, 1997. – P. 613–616.
109. Кичак В. М. Фазі-нейрони з частотно-імпульсним представлення інформації / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 2. – С. 98–102.
110. Войцеховська О. О. Застосування частотно-імпульсного кодування інформації у нейронних мережах / О. О. Войцеховська // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : матеріали І-ї міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2005. – С. 122.
111. Войцеховська О. О. Застосування частотно-імпульсного кодування інформації у нейронних мережах / О. О. Войцеховська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 5. – С. 120–123.
112. Кичак В. М. Широтно-імпульсне кодування інформації в нейронних мережах / В. М. Кичак, О. О. Войцеховська // Вісник Хмель-

ницького національного університету. – 2005. – Ч. 1, Т. 2, № 4. – С. 27–29.

113. Семенова О. О. Широтно-імпульсні фазі-нейрони / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 66–69.

114. Фазо-імпульсне кодування інформації у нейронних мережах / В. М. Кичак, О. О. Семенова, О. О. Войцеховська, В. І. Макогон // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Режим доступу [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3//2008-3.files/uk/08vmkinn\\_ua.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3//2008-3.files/uk/08vmkinn_ua.pdf).

115. Dong Pan. A VLSI Implementation of Mixed-Signal mode Bipolar Neuron Circuitry / Dong Pan, Wilamowski B. // Proc. of the IJCNN'03 International Joint Conference on Neural Networks. – Portland, Oregon, 2003. – P. 971–976.

116. Chiaberge M. A Neural Network Chip Using CPWM Modulation / Chiaberge M., Del Corso D., Gregoretti F., Reyneri L.M. // New Trends in Neural Computation (from Proc. of IWANN 93, Int'l Workshop on Artificial Neural Networks, Sitges (E)). – Springer-Verlag, 1993. – P. 420–425.

117. Semenova O. Implementation of ternary logic operations using two-threshold neurons / O. Semenova, A. Semenov, O. Wojciechowska // «Vedecky prumysl evropsheho kontinentu – 2008» : materily IV mezinarodni vedecko-prakticka konference. – Dil 14. Praha. Publishing House. – С. 59–61.

118. Реалізація операцій трійкової логіки за допомогою двопорогових нейронів / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. В. Осадчук, О. О. Войцеховська // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2009. – № 645. – С. 218–221.

119. Кичак В. М. Реалізація трійкових логічних операцій за допомогою двопорогових нейронів / В. М. Кичак, О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця, 2009. – С. 185.

120. Кичак В. М. Реалізація трійкових логічних операцій за допомогою дво-порогових нейронів / Кичак В. М., Семенова О. О., Войцеховська О. О. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2010-1\\_ru.files/ru/10vmktt\\_n\\_ru.pdf](http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2010-1_ru.files/ru/10vmktt_n_ru.pdf).

121. Semenova O. The ternary-encoded fuzzy-neural networks / Semenova O., Semenov A., Koval K., Galka A. // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science : proceedings

of the XI<sup>th</sup> Internathional conference TCSET-2012. Lviv–Slavske, Ukraine, 2012 – P. 305.

122. Штучні нейрони з імпульсним представленням інформації / О. О. Семенова, А. О. Семенов, А. А. Галка, Я. М. Хонькович // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 3. – С. 98–101.

123. Семенова О. О. Фазі-контролер трафіку для телекомунікаційних мереж / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 2. – С. 128–131.

124. Kejík P. Comparison of Fuzzy Logic and Genetic Algorithm Based Admission Control Strategies for UMTS System / Kejík P., Hanus S. // Radioengineering. – 2010. – № 1– P. 6–10.

125. Kejík P. Simulation of Radio Resources Management in UMTS System / Kejík P., Hanus S. // In Proceedings of the 15th Conference STUDENT EEICT 2009. – Brno : NOV PRESS s.r.o., 2009. – P. 254–258.

126. Телекоммуникационные системы и сети. Современные технологии / под ред. В. П. Шувалова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 648 с.

127. Войцеховська О. О. Проектування мікроелектронних фазі-контролерів / О. О. Войцеховська // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2. – С. 73–79.

128. Войцеховська О. О. Проектування мікроелектронних фазі-контролерів / О. О. Войцеховська // Контроль і управління в складних системах : тези доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2005. – С. 42.

129. Семенова О. О. Фазі-контролер трафіку для телекомунікаційних мереж / О. О. Семенова, О. О. Войцеховська // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : матеріали II-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2006. – С. 110–111.

130. Семенова О. О. Використання фазі-контролерів у АТМ-мережах / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 60–61.

131. Семенова О. О. Керування у АТМ-мережах за допомогою інтелектуальних технологій / О. О. Семенова, А. О. Семенов // Контроль і управління в складних системах : матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця, 2010. – С. 325.

132. Семенова О. О. Керування у АТМ-мережах за допомогою інтелектуальних технологій / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. В. Чухов



// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 2. – С. 260–264.

133. Семенова О. О. Керування доступом до UMTS мереж за допомогою фазі-нейронних технологій / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. М. Возняк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 3. – С. 249–254.

134. Семенова О. О. Фазі-логічний пристрій керування доступом до мережі CDMA / О. О. Семенова, А. О. Семенов, А. В. Рудик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 1. – С. 157–161.

135. Семенова О. О. Застосування генетичних алгоритмів для планування мереж АТМ / О. О. Семенова, А. О. Семенов, А. А. Галка // Новітні технології в телекомунікація : тези доповідей V Міжнародного науково-технічного симпозіуму; 17–21 січня 2012 р. Вишків,– К. : ДУІКТ, 2012. – С. 49–51.

136. Семенова О. О. Керування рухом об'єкта за допомогою фазі-нейронного контролера / О. О. Семенова, А. О. Семенов // Проблеми навігації і управління рухом : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів : (21–22 листопада 2011 рр) – К. : , Національний авіаційний університет, 2011 / – С. 17.

137. Семенова О. О. Фазі-контролер доступу для мереж GSM / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. В. Чухов // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – № 3. – С. 161–165.

138. Семенова О. О. Нечітке керування у GSM-мережах / О. О. Семенова, А. О. Семенов, А. А. Галка // Контроль і управління в складних системах : матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 107.

139. Семенова О. О. Використання фазі-контролера для маршрутизації пакетів у телекомунікаційних мережах / О. О. Семенова, А. О. Семенов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції (3 – 8 червня, м. Одеса). – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2013. – С. 212–213.

140. Семенова О. О. Використання фазі-контролера для маршрутизації пакетів у телекомунікаційних мережах / О. О. Семенова, А. О. Семенов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 2. – С. 206–211.

*Наукове видання*

**Семенова Олена Олександрівна  
Кичак Василь Мартинович**

**ІМПУЛЬСНІ ЛОГІЧНІ ТА НЕЙРОННІ ЕЛЕМЕНТИ  
ТЕЛЕКОМУНКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Редактор С. Малішевська  
Оригінал-макет підготовлено О. Семеновою

Підписано до друку 26.01.2015 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 7,62  
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-02

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.  
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.