УДК 621.325.5

О. О. Семенова, к. т. н., ст. викладач; О. О. Войцеховська

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ФАЗІ-ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНИМ ПРЕДСТАВЛЕННЯМ ІНФОРМАЦІЇ

У цій статті запропоновано метод структурного синтезу фазі-логічних елементів. Елементи складаються з базових схем, які виконують операції додавання, віднімання, розгалуження і ділення на два. Синтезовано структурні схеми елементів, які здійснюють операції: імплікація, протиріччя та еквівалентність. Інформація у розроблених елементах представляється частотно-імпульсними сигналами.

***Ключові слова**: фазі-логічний, синтез, елемент.*

Застосування в телекомунікаційних системах пристроїв, які функціонують на основі фазі-логіки, дозволяє за малих економічних витрат здійснювати точне керування у змінних умовах. Складовою частиною таких пристроїв є елементи, які реалізують функції фазі-логіки.

У випадку, коли інформаційними сигналами системи є частотно-імпульсні сигнали, використання спеціалізованих перетворювачів призводить до ускладнення схем, збільшення габаритів та зменшення точності. Тому у подібних випадках для реалізації операцій фазі-логіки необхідно застосовувати елементи з частотно-імпульсним представленням інформації.

Метою цієї роботи є покращення ефективності проектування елементів фазі-логіки.

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

Таким чином, для досягнення мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

– визначити узагальнену структурну схему фазі-логічних елементів;

– розробити алгоритм методу синтезу фазі-логічного елемента.

Обґрунтування виду базових фізичних схем. У праці [1] запропоновано метод синтезу частотно-імпульсних логічних елементів, відповідно до якого кожному елементу ставиться у відповідність сукупність базових фізичних схем і зв’язків між ними. На основі логічних функцій складається операторний опис, за яким будуються структурні схеми елементів.

У цьому випадку пропонується метод структурного синтезу елементів фазі-логіки, при якому у якості базових використовуються фізичні схеми, що здійснюють операції додавання (A-елемент), віднімання (S-елемент), розгалуження (P-елемент) та ділення частоти сигналів на два (D-елемент).

З’єднуючи послідовно та паралельно один з одним різні базові фізичні елементи, отримаємо схеми, які реалізують функції фазі-логіки. Такі функції описуватимемо послідовністю відповідних операторів. Для цього використаємо таку структуру опису:

$$\underbrace{z\overset{1}{\uparrow}x_1\overset{2}{\uparrow}x_2\overset{3}{\uparrow}\ldots x_m\overset{m+1}{\uparrow}}_{\text{поле вхідних сигналів}} : \underbrace{\qquad}_{\text{поле операторів}} : \underbrace{\overset{n}{\downarrow}y}_{\text{поле вихідного сигналу}}$$

Отже, оскільки в операторному описі зазначаються всі сигнали і базові фізичні елементи, а також послідовність з’єднання цих елементів, на основі такого опису будується структурна схема елемента.

Алгоритм методу структурного синтезу елементів фазі-логіки. На основі розроблених структурних схем елементів доповнення, мінімуму, максимуму складаємо узагальнену структурну схему елемента фазі-логіки (рис. 1). Ця схема містить дві операції доповнення, дві операції мінімуму і одну операцію максимуму.

Узагальнений операторний опис узагальненої структурної схеми елемента фазі-логіки має такий вигляд:

$$z\overset{1}{\uparrow}x_1\overset{2}{\uparrow}x_2\overset{3}{\uparrow}:\left(\overset{1}{\downarrow}P\overset{4}{\uparrow}\overset{5}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow}P\overset{6}{\uparrow}\overset{7}{\uparrow}\overset{8}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow}P\overset{9}{\uparrow}\overset{10}{\uparrow}\overset{11}{\uparrow}\right)\left(\overset{4}{\downarrow}\overset{6}{\downarrow}SP\overset{12}{\uparrow}\overset{13}{\uparrow}\overset{5}{\downarrow}\overset{9}{\downarrow}SP\overset{14}{\uparrow}\overset{15}{\uparrow}\right)$$
$$\left(\overset{10}{\downarrow}\overset{12}{\downarrow}A\overset{16}{\uparrow}\overset{11}{\downarrow}\overset{13}{\downarrow}S\overset{17}{\uparrow}\overset{7}{\downarrow}\overset{14}{\downarrow}A\overset{18}{\uparrow}\overset{8}{\downarrow}\overset{15}{\downarrow}S\overset{19}{\uparrow}\right)\left(\overset{16}{\downarrow}\overset{17}{\downarrow}SDP\overset{20}{\uparrow}\overset{21}{\uparrow}\overset{18}{\downarrow}\overset{19}{\downarrow}SDP\overset{22}{\uparrow}\overset{23}{\uparrow}\right)$$
$$\left(\overset{20}{\downarrow}\overset{21}{\downarrow}A\overset{24}{\uparrow}\overset{21}{\downarrow}\overset{23}{\downarrow}S\overset{25}{\uparrow}\right)\left(\overset{24}{\downarrow}\overset{25}{\downarrow}AD\overset{26}{\uparrow}\right):y\overset{26}{\downarrow}.$$

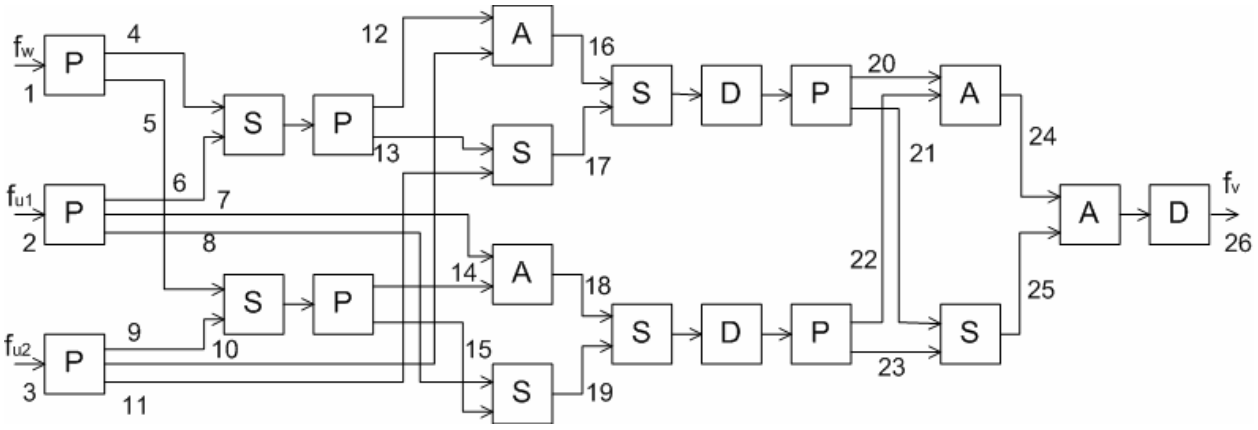

Рис. 1. Узагальнена структурна схема елемента фазі-логіки

Щоб перейти від формули конкретного елемента до його операторного опису необхідно заповнити операторну таблицю 1.

Таблиця 1

Операторна таблиця

	1. Немає	2. Перший	3. Другий
1. Вхідний сигнал			
2. Доповнення			
3. Мінімум			
4. Максимум			

Операторна таблиця аналізується за такими даними:

Якщо клітинка 1.3. (перший рядок, третій стовпчик) буде порожньою, то у перших дужках операторного опису елемента третій оператор P буде відсутній.

Якщо клітинка 2.2. буде порожньою, то у перших дужках перший оператор P буде відсутній, а у других дужках перші оператори S і P будуть відсутні.

Якщо клітинка 2.3. буде порожньою, то у перших дужках перший оператор P буде відсутній, а у других дужках другі оператори S і P будуть відсутні.

Якщо клітинка 3.1. або 4.1. буде заповнена, а клітинка 2.2. буде порожня, то у перших дужках після другого оператора P будуть дві стрілки.

Якщо клітинка 3.1. або 4.1. буде заповнена і клітинка 2.2. буде заповнена, то у перших дужках другий оператор P буде відсутній.

Якщо клітинка 3.1. або 4.1. буде заповнена, а клітинка 2.3. буде порожня, то у перших дужках після третього оператора P будуть дві стрілки.

Якщо клітинка 3.1. або 4.1. буде заповнена і клітинка 2.3. буде заповнена, то у перших дужках третій оператор P буде відсутній.

Якщо клітинки 3.2. і 4.1. будуть заповнені, то у третіх дужках другі оператори A і S будуть відсутні; у четвертих дужках другі оператори S, D, P будуть відсутні; також будуть

відсутні всі оператори з п'ятих і шостих дужок.

Якщо клітинки 4.2. і 3.1. будуть заповнені, то у третіх дужках другі оператори A і S будуть відсутні; у четвертих дужках перший оператор S замінюється на оператор A, другі оператори S, D, P будуть відсутні; також будуть відсутні всі оператори з п'ятих і шостих дужок.

Якщо клітинки 4.2., 4.3. і 2.2. будуть заповнені, то у четвертих дужках оператори S замінюються на оператори A; у шостих дужках оператор A замінюється на оператор S.

Якщо клітинки 3.2., 3.3. і 4.2. будуть заповнені, то операторний опис не змінюється.

Алгоритм методу структурного синтезу є таким:

1. Заповнюється операторна таблиця.

2. Аналізується операторна таблиця.

3. На основі узагальненого операторного опису і відповідно до проведеного аналізу операторної таблиці складається операторний опис.

4. На основі операторного опису будується структурна схема елемента.

Синтез структурної схеми елемента протиріччя. Фазі-логічна операція протиріччя здійснюється за формулою [2, 3]:

$$\min(x, 1-x).$$

1. Заповнюємо операторну таблицю:

	1. Немає	2. Перший	3. Другий
1. Вхідний сигнал		+	
2. Доповнення		+	
3. Мінімум		+	
4. Максимум	+		

2. Проводимо аналіз операторної таблиці:

Клітинка 1.3. порожня, значить, у перших дужках операторного опису елемента протиріччя третій оператор P відсутній.

Клітинка 2.3. порожня, значить, у перших дужках перший оператор P відсутній, а у других дужках другі оператори S і P відсутні.

Клітинки 3.2. і 4.1. заповнені, значить, у третіх дужках другі оператори A і S відсутні; у четвертих дужках другі оператори S, D, P відсутні; також відсутні всі оператори з п'ятих і шостих дужок.

3. На основі проведеного аналізу складаємо операторний опис елемента протиріччя:

$$z\overset{1}{\uparrow}x\overset{2}{\uparrow}\left(\overset{2}{\downarrow}P\overset{3}{\uparrow}\overset{4}{\uparrow}\overset{5}{\uparrow}\right)\overset{1}{\downarrow}\overset{3}{\downarrow}AP\overset{6}{\uparrow}\overset{7}{\uparrow}\left(\overset{4}{\downarrow}\overset{6}{\downarrow}A\overset{8}{\uparrow}\overset{5}{\downarrow}\overset{7}{\downarrow}S\overset{9}{\uparrow}\right)\overset{8}{\downarrow}\overset{9}{\downarrow}SD\overset{10}{\uparrow}:y\overset{10}{\downarrow}.$$

4. На основі операторного опису будуємо структурну схему елемента протиріччя, зображену на рис. 2.

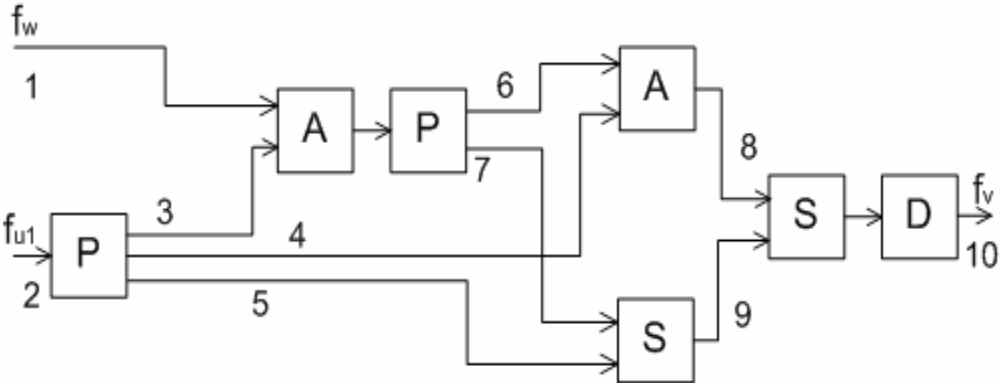

Рис. 2. Структурна схема елемента протиріччя

Синтез структурної схеми елемента імплікація. Фазі-логічна операція імплікація здійснюється за формулою [2, 3]:

$$\max(1-x_1, x_2)\,.$$

1. Заповнюємо операторну таблицю:

	1. Немає	2. Перший	3. Другий
1. Вхідний сигнал		+	
2. Доповнення		+	
3. Мінімум	+		
4. Максимум		+	

2. Проводимо аналіз операторної таблиці:

Клітинка 2.3. порожня, значить, у перших дужках перший оператор P відсутній, а у других дужках другі оператори S і P відсутні.

Клітинка 3.1. заповнена і клітинка 2.2. заповнена, значить, у перших дужках другий оператор P відсутній.

Клітинка 3.1. заповнена, а клітинка 2.3. порожня, значить, у перших дужках після третього оператора P дві стрілки.

Клітинки 4.2. і 3.1. заповнені, значить, у третіх дужках другі оператори A і S відсутні; у четвертих дужках перший оператор S замінюється на оператор A, другі оператори S, D, P відсутні; також відсутні всі оператори з п'ятих і шостих дужок.

3. На основі проведеного аналізу складаємо операторний опис елемента імплікація:

$$z\overset{1}{\uparrow}x_1\overset{2}{\uparrow}x_2\overset{3}{\uparrow}:\overset{3}{\downarrow}P\overset{4}{\uparrow}\overset{5}{\uparrow}\overset{1}{\downarrow}\overset{2}{\downarrow}SP\overset{6}{\uparrow}\overset{7}{\uparrow}\left(\overset{4}{\downarrow}\overset{6}{\downarrow}A\overset{8}{\uparrow}\overset{5}{\downarrow}\overset{7}{\downarrow}S\overset{9}{\uparrow}\right)\overset{8}{\downarrow}\overset{9}{\downarrow}AD\overset{10}{\uparrow}:y\overset{10}{\downarrow}\,.$$

4. На основі операторного опису будуємо структурну схему елемента імплікація, зображену на рис. 3.

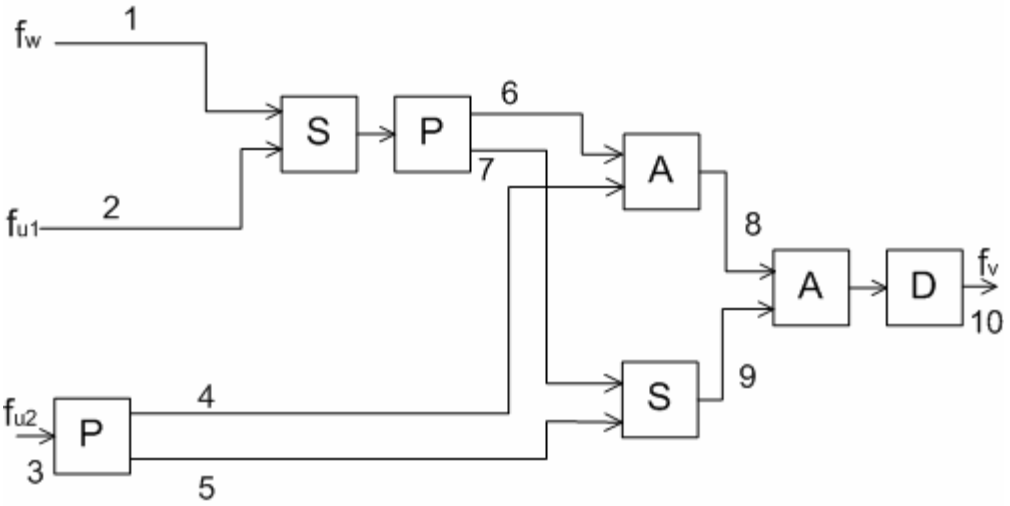

Рис. 3. Структурна схема елемента імплікація

Синтез структурної схеми елемента еквівалентність. Фазі-логічна операція еквівалентність здійснюється за формулою [2, 3]:

$$\min[\max(1-x_1, x_2), \max(x_1, 1-x_2)]\,.$$

1. Заповнюємо операторну таблицю:

	1. Немає	2. Перший	3. Другий
1. Вхідний сигнал		+	+
2. Доповнення		+	+
3. Мінімум		+	
4. Максимум		+	+

2. Проводимо аналіз операторної таблиці:

Клітинки 4.2., 4.3. і 2.2. заповнені, значить, у четвертих дужках оператори S замінюються на оператори A; у шостих дужках оператор A замінюється на оператор S.

3. На основі проведеного аналізу складаємо операторний опис елемента еквівалентність:

$$z^{\uparrow 1}\, x_1^{\uparrow 2}\, x_2^{\uparrow 3} : \left(\downarrow P^{\uparrow 1}\uparrow^{4}\downarrow^{5} P^{\uparrow 2}\uparrow^{6}\uparrow^{7}\uparrow^{8}\downarrow^{3} P^{\uparrow 9}\uparrow^{10}\uparrow^{11}\right)\left(\downarrow\downarrow^{4,6} SP^{\uparrow 12}\uparrow^{13}\downarrow^{5}\downarrow^{9} SP^{\uparrow 14,15}\right)$$
$$\left(\downarrow\downarrow^{10,12} A^{\uparrow 16}\downarrow^{11}\downarrow^{13} S^{\uparrow 17}\downarrow^{7}\downarrow^{14} A^{\uparrow 18}\downarrow^{8}\downarrow^{15} S^{\uparrow 19}\right)\left(\downarrow\downarrow^{16,17} ADP^{\uparrow 20,21}\uparrow^{18}\downarrow^{19} ADP^{\uparrow 22,23}\right)$$
$$\left(\downarrow\downarrow^{20,21} A^{\uparrow 24}\downarrow^{21}\downarrow^{23} S^{\uparrow 25}\right)\left(\downarrow\downarrow^{24,25} SD^{\uparrow 26}\right) : y^{\downarrow 26}.$$

4. На основі операторного опису будуємо структурну схему елемента еквівалентність, зображену на рис. 4.

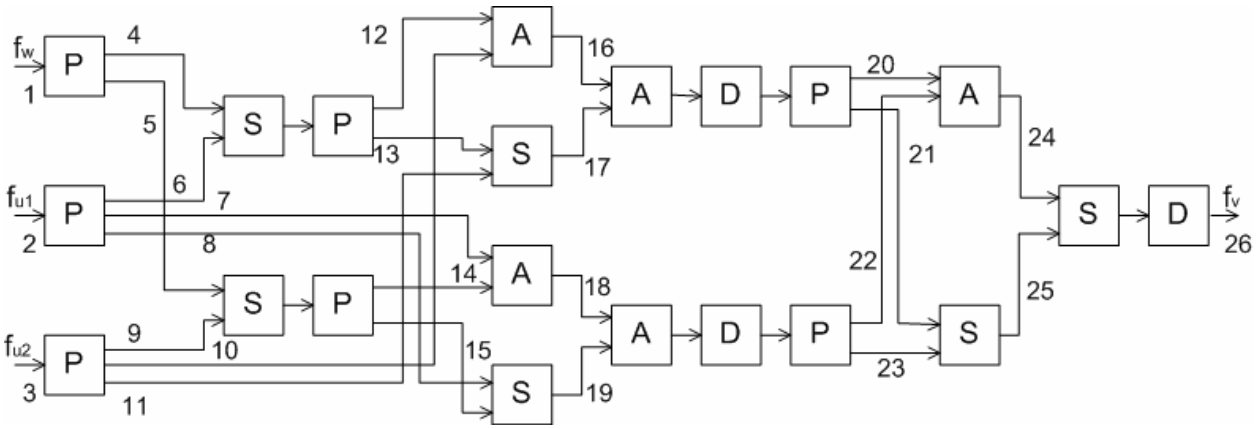

Рис. 4. Структурна схема елемента еквівалентність

Оцінка ефективності методу структурного синтезу. У табл. 2 перелічені всі операції фазі-логіки, частина з яких здійснюється у блоці інференції фазі-контролерів. Відзначимо ті операції, які реалізуються елементами з певним видом представлення інформації.

Таблиця 2

Операції фазі-логіки

Операція	Амплітудне представлення інформації	Частотно-імпульсне представлення інформації
Доповнення	+	+
Мінімум	+	+
Максимум	+	+
Протиріччя	+	+
Тавтологія	+	+
Заборона	+	+
Імплікація	+	+
Стрілка Пірса	+	+
Штрих Шеффера	+	+
Виключне АБО	+	+
Еквівалентність	+	+
І		+
АБО		+
СУМА		+
Загальна кількість операцій, які реалізують елементи	11	14

Як видно з табл. 2, фазі-логічні елементи з частотно-імпульсним представленням інформації можуть реалізувати 14 функцій з 14 можливих. Фазі-логічні елементи з амплітудним представленням інформації можуть реалізувати лише 11 функцій.

Таким чином, елементи та пристрої фазі-логіки з частотно-імпульсним представленням

інформації здатні реалізовувати більше функцій фазі-логіки, ніж елементи та пристрої фазі-логіки з амплітудним представленням інформації.

Запропонований метод структурного синтезу фазі-логічних елементів з частотно-імпульсним представленням інформації дозволяє синтезувати 11 елементів фазі-логіки з 14 можливих.

У табл. 3 перелічимо всі операції фазі-логіки і двійкової логіки, які можуть реалізувати елементи, розроблені за допомогою методу структурного синтезу.

Таблиця 3

Синтезовані елементи та операції, які вони реалізують

Логічний елемент	Фазі-логіка	Двійкова логіка
Доповнення (інверсія)	$1-\mu$	$\overline{x}$
Мінімум (кон'юнкція)	$\min[\mu_1, \mu_2]$	$x_1 \cdot x_2$
Максимум (диз'юнкція)	$\max[\mu_1, \mu_2]$	$x_1 + x_2$
Протиріччя	$\min(x, 1-x)$	$\overline{x}$
Тавтологія	$\max(x, 1-x)$	x
Заборона	$\min(x_1, 1-x_2)$	$x_1 \cdot \overline{x}_2$
Імплікація	$\max(1-x_1, x_2)$	$\overline{x}_1 + x_2$
Стрілка Пірса	$\min(1-x_1, 1-x_2)$	$\overline{x}_1 \cdot \overline{x}_2$
Штрих Шеффера	$\max(1-x_1, 1-x_2)$	$\overline{x}_1 + \overline{x}_2$
Виключне АБО	$\max[\min(1-x_1, x_2), \min(x_1, 1-x_2)]$	$\overline{x}_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x}_2$
Еквівалентність	$\min[\max(1-x_1, x_2), \max(x_1, 1-x_2)]$	$(\overline{x}_1 + x_2) \cdot (x_1 + \overline{x}_2)$

Отже, основною перевагою запропонованого методу структурного синтезу є те, що розроблені за його допомогою елементи можуть реалізовувати не лише функції фазі-логіки, але й відповідні функції двійкової логіки.

Висновки

1. Розроблено метод структурного синтезу елементів фазі-логіки. Його суть полягає у тому, що для кожної функції фазі-логіки заповнюється операторна таблиця, потім вона аналізується, і на основі цього аналізу і узагальненого операторного опису складається операторний опис для кожного елемента; за операторним описом синтезується структурна схема.

2. Синтезовані структурні схеми частотно-імпульсних елементів. Представлені елементи здійснюють операції протиріччя, імплікація та еквівалентність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кичак В.М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 266 с.

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

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

Семенова Олена Олександрівна – старший викладач кафедри телекомунікаційних систем і телебачення;

Войцеховська Ольга Олександрівна – інженер кафедри телекомунікаційних систем і телебачення.

Вінницький національний технічний університет.