

УДК 621.317

О. О. Семенова, к. т. н.; А. О. Семенов, к. т. н.; В. К. Задорожний, к. т. н., доц.;
О. О. Войцеховська

ЕЛЕМЕНТИ ФАЗИ-ЛОГІКИ ТИПУ ”ДОБУТОК”

У статті розроблені рівняння роботи частотно-імпульсних, широтно-імпульсних і фазо-імпульсних елементів, що реалізують фазі-логічні операції типу “добуток” – “І”, “АБО”, “СУМА”, які є окремим випадком логічних операцій “мінімум”, “максимум” та “виключне АБО” відповідно. Описано функціонування елементів фазі-логіки типу “добуток”. Наведено часові діаграми роботи частотно-імпульсного елемента “І”, широтно-імпульсного елемента “АБО” і фазо-імпульсного елемента “СУМА”. Розроблено структурну схему частотно-імпульсного елемента “І”.

Ключові слова: імпульсний сигнал, логічний елемент, фазі-логіка.

Вступ

Пристрої автоматичного керування, які функціонують на основі фазі-логіки знаходять своє застосування у складних телекомунікаційних, радіотехнічних та мікроелектронних системах, вхідні дані яких зазнають постійних змін, а вихідні потребують регулювання у масштабі реального часу. Саме застосування спеціалізованих пристроїв автоматичного керування, що функціонують на основі фазі-логіки, замість традиційних пристроїв керування дозволяє підвищити точність та надійність керування. В окремих випадках у пристроях автоматичного керування, що функціонують на основі фазі-логіки, логічний висновок здійснюється за допомогою логічних операцій типу “добуток” – “І”, “АБО”, “СУМА”, які є окремим випадком логічних операцій “мінімум”, “максимум” та “виключне АБО” відповідно [1].

Для подальшого проектування пристроїв автоматичного керування потрібно синтезувати елементи, які здійснюють операції фазі-логіки типу “добуток”; а для синтезу вказаних елементів необхідно розробити їх математичні моделі. Математичні моделі елементів фазі-логіки розроблено у [2 – 4], але тут не враховується вид інформаційного сигналу. У літературі [3 – 5] наведені схеми фазі-логічних елементів, у яких вхідна та вихідна інформація представлені аналоговими сигналами змінної напруги або змінного струму, що зумовлює їх низьку точність. В той же час, використання цифрових сигналів призводить до зниження швидкодії пристроїв.

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

У зв'язку з цим метою даної роботи є підвищення ефективності проектування елементів фазі-логіки.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити методи кодування фазі-логічних величин параметрами імпульсів сигналу;
- визначити основні операції фазі-логіки типу «добуток»;
- розробити рівняння роботи елементів фазі-логіки типу «добуток».

Імпульсне кодування фазі-величин

На попередньому етапі розробки елементів, які функціонують за правилами фазі-логіки, необхідно спочатку визначити спосіб представлення фазі-величин за допомогою параметрів сигналів таких пристроїв. Оскільки надалі будуть розроблятися елементи, сигнали у яких є імпульсними, потрібно визначити спосіб кодування фазі-величин параметрами імпульсно-модульованих сигналів. У даному випадку імпульсними називаються частотно-, широтно- і фазо-імпульсні сигнали. Авторами розроблено методи імпульсного кодування фазі-величин μ . Їх наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Імпульсне кодування фазі-величин

Тип кодування	Фазі-логічний нуль	Фазі-логічна одиниця	Допоміжна величина	Додаткові умови	Кодування фазі-величини
Частотно-імпульсне	f_α	f_β	f_γ	$f_\beta > f_\alpha$, $f_\gamma = f_\beta - f_\alpha$	$f_\mu = f_\alpha + \mu \cdot f_\gamma$
Широтно-імпульсне	t_α	t_β	t_β^n , t_α^n	$t_\beta > t_\alpha$, $t_\beta^n < t_\alpha^n$	$t_\mu = \mu \cdot t_\beta + (1 - \mu) \cdot t_\alpha$
Фазо-імпульсне	φ_α	φ_β	f_1^x	$\varphi_\alpha = 0$, $\varphi_\beta = 2\pi$	$\varphi_\mu = \mu \cdot 2\pi$

При частотно-імпульсному кодуванні вхідні і вихідні сигнали пристроїв представляють собою імпульси, частота заповнення яких f_μ пропорційна значенню фазі-величини μ . У даному методі кодування нульовому значенню фазі-величини відповідає частота заповнення імпульсів f_α , а одиничному – f_β ; частотний діапазон, у якому знаходяться значення фазі-величини від 0 до 1, визначається за допомогою частоти заповнення імпульсів f_γ .

При широтно-імпульсному кодуванні значенню фазі-величини μ відповідає тривалість імпульсу t_μ . Тривалість імпульсу t_α відповідає нульовому значенню фазі-величини, а t_β – одиничному.

При фазо-імпульсному кодуванні значенню фазі-величини μ відповідає різниця фаз вхідного і опорного імпульсів φ_μ . Різниця фаз вхідного і опорного сигналів $\varphi_\alpha = 0$ відповідає нульовому значенню функції належності, а різниця фаз вхідного і опорного сигналів $\varphi_\beta = 2\pi$ – одиничному.

Операції фазі-логіки типу "добуток"

Математично операції фазі-логіки типу "добуток" можна представити таким чином [3]:

$$\mu_{AND}^y = \mu_1^x \cdot \mu_2^x, \quad (1)$$

$$\mu_{OR}^y = \mu_1^x + \mu_2^x - \mu_1^x \cdot \mu_2^x, \quad (2)$$

$$\mu_{SUM}^y = \mu_1^x + \mu_2^x - 2 \cdot \mu_1^x \cdot \mu_2^x. \quad (3)$$

Запропоновані рівняння роботи частотно-імпульсних, широтно-імпульсних і фазо-імпульсних елементів, які реалізують операції "І", "АБО", "СУМА", наведені у табл. 2.

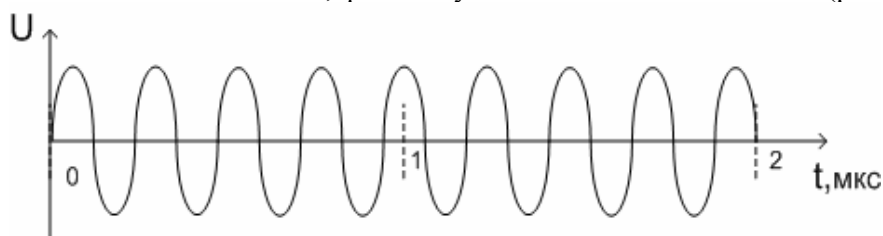
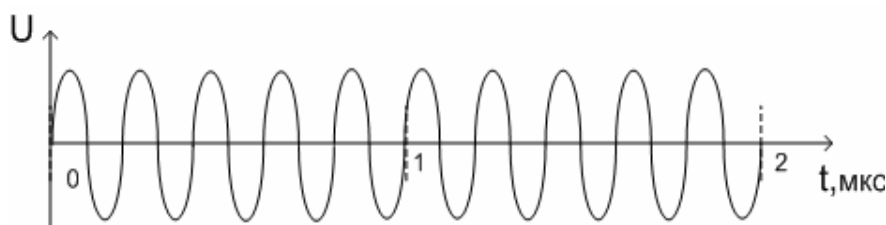
Рівняння роботи елементів фазі-логіки типу "добуток"

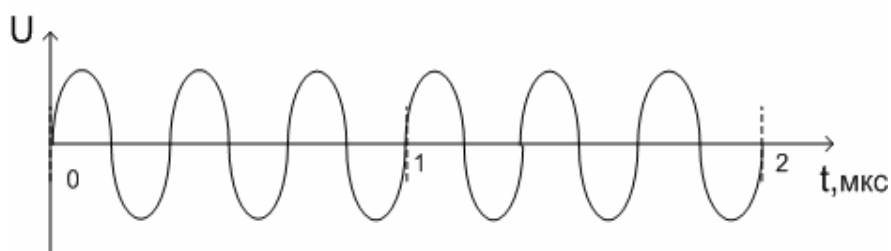
	Частотно-імпульсний елемент	Широтно-імпульсний елемент	Фазо-імпульсний елемент
Вхідні величини	$f_1^x = f_\alpha + \mu_1^x \cdot f_\gamma$ $f_2^x = f_\alpha + \mu_2^x \cdot f_\gamma$	$t_1^x = \mu_1^x \cdot t_\beta + (1 - \mu_1^x) \cdot t_\alpha$, f_2^x	$\varphi_1^x = \mu_1^x \cdot 2\pi$, $\varphi_2^x = \mu_2^x \cdot 2\pi$
Результат логічної операції І	$f_{AND}^y = f_\alpha + \mu_{AND}^y \cdot f_\gamma =$ $= f_\alpha + (\mu_1^x \cdot \mu_2^x) f_\gamma$	$t_{AND}^y = \mu_{AND}^y \cdot t_\beta +$ $+(1 - \mu_{AND}^y) \cdot t_\alpha =$ $= \mu_1^x \cdot \mu_2^x \cdot t_\beta +$ $+(1 - \mu_1^x \cdot \mu_2^x) \cdot t_\alpha$	$\varphi_{AND}^y = \mu_{AND}^y \cdot 2\pi =$ $= \mu_1^x \cdot \mu_2^x \cdot 2\pi$
Результат логічної операції АБО	$f_{OR}^y = f_\alpha + \mu_{OR}^y \cdot f_\gamma =$ $= f_\alpha +$ $+(\mu_1^x + \mu_2^x - \mu_1^x \cdot \mu_2^x) f_\gamma$	$t_{OR}^y = \mu_{OR}^y \cdot t_\beta + (1 - \mu_{OR}^y) \cdot t_\alpha =$ $= (\mu_1^x + \mu_2^x - \mu_1^x \mu_2^x) t_\beta +$ $+ [1 - (\mu_1^x + \mu_2^x - \mu_1^x \mu_2^x)] t_\alpha$	$\varphi_{OR}^y = \mu_{OR}^y \cdot 2\pi =$ $= (\mu_1^x + \mu_2^x - \mu_1^x \mu_2^x) \times$ $\times 2\pi$
Результат логічної операції СУМА	$f_{SUM}^y = f_\alpha + \mu_{SUM}^y \cdot f_\gamma =$ $= f_\alpha +$ $+(\mu_1^x + \mu_2^x - 2\mu_1^x \mu_2^x) f_\gamma$	$t_{SUM}^y = \mu_{SUM}^y \cdot t_\beta +$ $+(1 - \mu_{SUM}^y) \cdot t_\alpha =$ $= (\mu_1^x + \mu_2^x - 2\mu_1^x \mu_2^x) t_\beta +$ $+ [1 - (\mu_1^x + \mu_2^x - 2\mu_1^x \mu_2^x)] t_\alpha$	$\varphi_{SUM}^y = \mu_{SUM}^y \cdot 2\pi =$ $= (\mu_1^x + \mu_2^x - 2\mu_1^x \mu_2^x) \times$ $\times 2\pi$

Запропоновані рівняння роботи можна використати у процесі розробки елементів фазі-логіки типу "добуток" для побудови імпульсних елементів, які реалізують операції "І", "АБО", "СУМА".

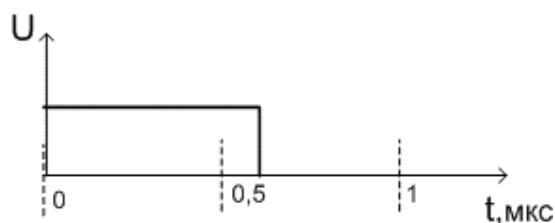
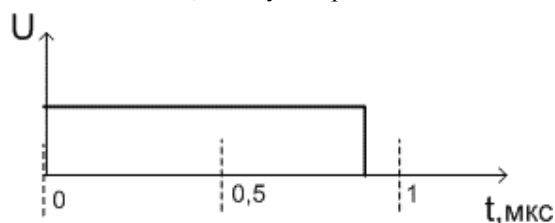
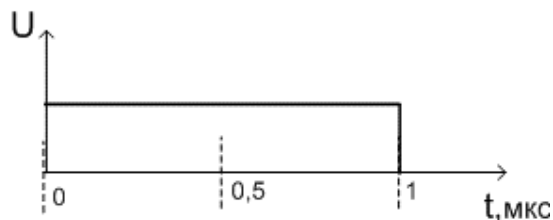
Часові діаграми роботи елементів

Для прикладу покажемо часові діаграми роботи частотно-імпульсного елемента "І", широтно-імпульсного елемента "АБО", фазо-імпульсного елемента "СУМА" (рис. 1 – 3).

Рис. 1, а. Імпульс з частотою f_1^x Рис. 1, б. Імпульс з частотою f_2^x

Рис. 1, в. Імпульс з частотою f_{AND}^y

При реалізації операції “І” (1) на вхід елемента надходять імпульсні сигнали x_1, x_2 , на виході з’являється імпульсний сигнал y_{AND} . У випадку частотно-імпульсного кодування сигнали x_1, x_2 , мають частоти заповнення імпульсів f_1^x, f_2^x , а сигнал $y_{AND} - f_{AND}^y$. Часові діаграми для фазі-логічного елемента “І” наведені на рис. 1. Вхідні величини μ_1^x і μ_2^x приймають значення 0,3 і 0,4 відповідно. Тоді за формулою (1) – $\mu_{AND}^y = 0,12$. Згідно з розробленим методом частотно-імпульсного кодування: $f_1^x = 2,2 \text{ МГц}$ (рис. 1, а.), $f_2^x = 2,6 \text{ МГц}$ (рис. 1, б.), а $f_{AND}^y = 1,48 \text{ МГц}$ (рис. 1, в.).

Рис. 2, а. Імпульс тривалістю t_1^x Рис. 2, б. Імпульс тривалістю t_2^x Рис. 2, в. Імпульс тривалістю t_{OR}^y

При реалізації операції “АБО” (2) на вхід елемента надходять імпульсні сигнали x_1, x_2 , на виході з’являється імпульсний сигнал y_{OR} . У випадку широтно-імпульсного кодування сигнали x_1, x_2 мають тривалості імпульсів t_1^x, t_2^x , а сигнал $y_{OR} - t_{OR}^y$. Часові діаграми для фазі-логічного елемента “АБО” наведені на рис. 2. Вхідні величини μ_1^x і μ_2^x приймають значення 0,5 і 0,8 відповідно. Тоді за формулою (2) – $\mu_{OR}^y = 0,9$. Згідно з розробленим методом широтно-імпульсного кодування $t_1^x = 0,6 \text{ мкс}$ (рис. 2, а.), $t_2^x = 0,9 \text{ мкс}$ (рис. 2, б.), а

$t_{OR}^y = 1 \text{ мкс}$ (рис. 2, в.).

При реалізації операції “СУМА” (3) на вхід елемента надходять імпульсні сигнали x_1, x_2 , на виході з’являється імпульсний сигнал y_{SUM} . У випадку фазо-імпульсного кодування сигнали x_1, x_2 мають різниці фаз опорного і інформаційних імпульсів φ_1^x, φ_2^x , а сигнал $y_{SUM} - \varphi_{SUM}^y$. Часові діаграми для фазі-логічного елемента “СУМА” наведені на рис. 3. Вхідні величини μ_1^x і μ_2^x приймають значення 0,7 і 0,1 відповідно. Тоді за формулою (3).

$\mu_{SUM}^y = 0,66$. Згідно з розробленим методом фазо-імпульсного кодування $\varphi_1^x = \frac{7}{5}\pi$ (рис. 3,

а.), $\varphi_2^x = \frac{\pi}{5}$ (рис. 3, б.), а $\varphi_{SUM}^y = 1,22\pi$ (рис. 3, в.).

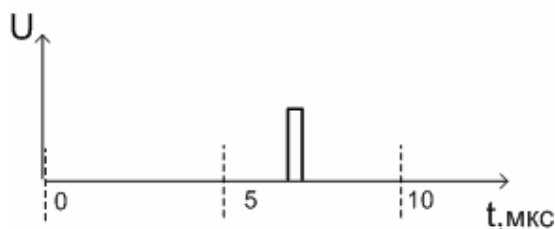


Рис. 3, а. Імпульс з фазою φ_1^x

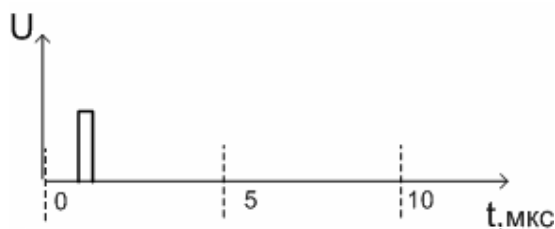


Рис. 3, б. Імпульс з фазою φ_2^x

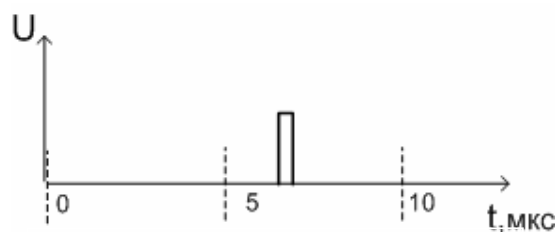


Рис. 3, в. Імпульс з фазою φ_{SUM}^y

Частотно-імпульсний елемент ”Г”

За наведеними вище рівняннями роботи було розроблено частотно-імпульсний елемент, який здійснює фазі-логічну операцію “Г” (рис. 4).

Елемент функціонує таким чином. Сигнал x_1 з частотою заповнення імпульсів $f_{x1} = f_\alpha + \mu_1^x \cdot f_\gamma$ надходить на входи смугових фільтрів СФ1 – СФ11. фільтри налаштовані таким чином:

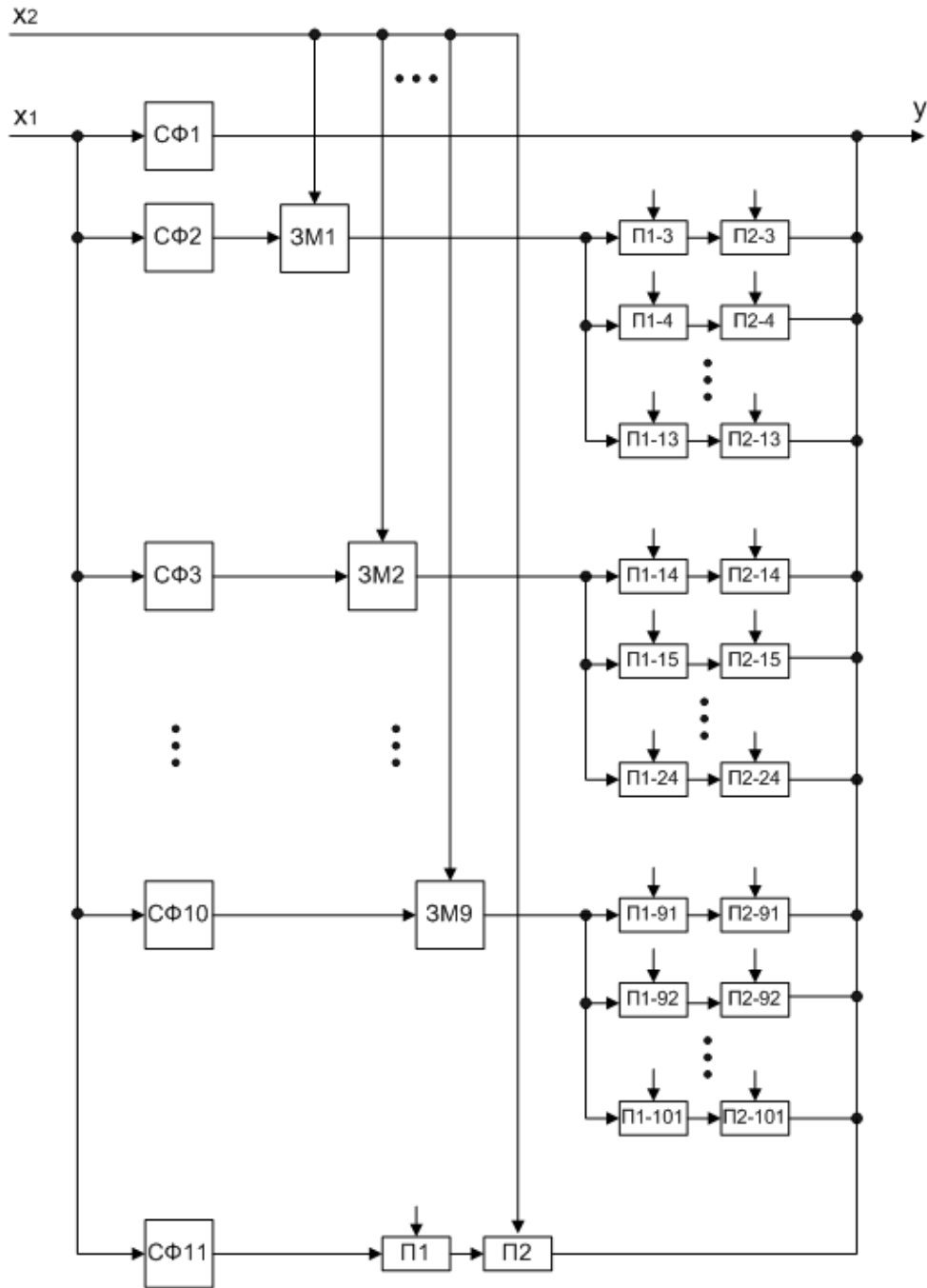


Рис. 4. Структурна схема пристрою "Г"

фільтр СФ1 пропускає лише сигнал з частотою заповнення імпульсів f_{α} ;

СФ2 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,1 \cdot f_{\gamma})$;

СФ3 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,2 \cdot f_{\gamma})$;

СФ4 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,3 \cdot f_{\gamma})$;

СФ5 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,4 \cdot f_{\gamma})$;

СФ6 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,5 \cdot f_{\gamma})$;

СФ7 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,6 \cdot f_{\gamma})$;

СФ8 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,7 \cdot f_{\gamma})$;

СФ9 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,8 \cdot f_{\gamma})$;

СФ10 – сигнал з частотою заповнення імпульсів $(f_{\alpha} + 0,9 \cdot f_{\gamma})$;

СФ11 – сигнал з частотою заповнення імпульсів f_{β} .

Якщо частота першого вхідного сигналу $f_{x1} = f_{\alpha}$, що відповідає фазі-логічному нулю, тоді з виходу фільтра СФ1 сигнал без будь-яких перетворень надходить на вихід пристрою $У$.

Якщо частота першого вхідного сигналу $f_{x1} = f_{\beta}$, що відповідає фазі-логічній одиниці, тоді сигнал проходить через фільтр СФ11 і поступає на керуючий вхід перемикача П1, на інформаційний вхід якого надходить сигнал з частотою f_c , яка є керуючою для перемикача П2, на інформаційний вхід якого надходить другий вхідний сигнал з частотою f_{x2} . Так як під дією частоти f_{β} перемикач П1 закривається, то на його виході частота f_c буде відсутня, тоді перемикач П2 залишається відкритим, і на його виході з'являється частота другого вхідного сигналу f_{x2} , яка надходить на вихід пристрою.

Якщо $f_{x1} \neq f_{\alpha}$ і $f_{x1} \neq f_{\beta}$, тоді сигнал з'являється на виході одного з фільтрів СФ2 – СФ10, в залежності від значення частоти f_{x1} .

Другий вхідний сигнал частотою f_{x2} поступає на перші входи змішувачів частот ЗМ1 – ЗМ9. На другий вхід одного зі змішувачів ЗМ1 – ЗМ9 надходить перший вхідний сигнал з виходу одного з фільтрів СФ2 – СФ10 відповідно.

З виходу змішувача отримуємо сигнал з проміжною частотою $f_{x1} + f_{x2}$. Сигнал з виходу змішувача надходить на входи відповідних перемикачів, керуючі сигнали яких наведені у табл. 3, а інформаційною частотою для перемикачів П1-3 – П1-101 є частота f_c , яка є керуючою для перемикачів П2-3 – П2-101, інформаційні частоти яких наведені у табл. 3. Входи перемикачів П2-3 – П2-101 з'єднані з відповідними виходами перемикачів П1-3 – П1-101. Таким чином, сигнал з'являється на виході одного зі змішувачів, надходить на виходи відповідних йому одинадцяти перемикачів, для одного з них він є керуючим і закриває його, тоді сигнали з'являються на виході інших десяти перемикачів і закривають наступні десять перемикачів, на виходах яких сигнал буде відсутній. Той перемикач, на вході якого керуючий сигнал був відсутній, залишиться відкритим, і його інформаційний сигнал надійде на вихід пристрою "Г".

Таблиця 3

Керуючі сигнали перемикачів П1-3 – П1-101 та інформаційні сигнали перемикачів П2-3 – П2-101

ЗМ1			
перемикач	$f_{кер}$	перемикач	$f_{інф}$
П1-3	$2f_{\alpha} + 0,1 \cdot f_{\gamma}$	П2-3	f_{α}
П1-4	$2f_{\alpha} + 0,2 \cdot f_{\gamma}$	П2-4	$f_{\alpha} + 0,01 \cdot f_{\gamma}$
П1-5	$2f_{\alpha} + 0,3 \cdot f_{\gamma}$	П2-5	$f_{\alpha} + 0,02 \cdot f_{\gamma}$
П1-6	$2f_{\alpha} + 0,4 \cdot f_{\gamma}$	П2-6	$f_{\alpha} + 0,03 \cdot f_{\gamma}$
П1-7	$2f_{\alpha} + 0,5 \cdot f_{\gamma}$	П2-7	$f_{\alpha} + 0,04 \cdot f_{\gamma}$
П1-8	$2f_{\alpha} + 0,6 \cdot f_{\gamma}$	П2-8	$f_{\alpha} + 0,05 \cdot f_{\gamma}$
П1-9	$2f_{\alpha} + 0,7 \cdot f_{\gamma}$	П2-9	$f_{\alpha} + 0,06 \cdot f_{\gamma}$
П1-10	$2f_{\alpha} + 0,8 \cdot f_{\gamma}$	П2-10	$f_{\alpha} + 0,07 \cdot f_{\gamma}$
П1-11	$2f_{\alpha} + 0,9 \cdot f_{\gamma}$	П2-11	$f_{\alpha} + 0,08 \cdot f_{\gamma}$

П1-12	$2f_{\alpha} + f_{\gamma}$	П2-12	$f_{\alpha} + 0,09 \cdot f_{\gamma}$
П1-13	$2f_{\alpha} + 1,1 \cdot f_{\gamma}$	П2-13	$f_{\alpha} + 0,1 \cdot f_{\gamma}$
ЗМ2			
перемикач	$f_{\text{кер}}$	перемикач	$f_{\text{інф}}$
П1-14	$2f_{\alpha} + 0,2 \cdot f_{\gamma}$	П2-14	f_{α}
П1-15	$2f_{\alpha} + 0,3 \cdot f_{\gamma}$	П2-15	$f_{\alpha} + 0,02 \cdot f_{\gamma}$
П1-16	$2f_{\alpha} + 0,4 \cdot f_{\gamma}$	П2-16	$f_{\alpha} + 0,04 \cdot f_{\gamma}$
П1-17	$2f_{\alpha} + 0,5 \cdot f_{\gamma}$	П2-17	$f_{\alpha} + 0,06 \cdot f_{\gamma}$
П1-18	$2f_{\alpha} + 0,6 \cdot f_{\gamma}$	П2-18	$f_{\alpha} + 0,08 \cdot f_{\gamma}$
П1-19	$2f_{\alpha} + 0,7 \cdot f_{\gamma}$	П2-19	$f_{\alpha} + 0,1 \cdot f_{\gamma}$
П1-20	$2f_{\alpha} + 0,8 \cdot f_{\gamma}$	П2-20	$f_{\alpha} + 0,12 \cdot f_{\gamma}$
П1-21	$2f_{\alpha} + 0,9 \cdot f_{\gamma}$	П2-21	$f_{\alpha} + 0,14 \cdot f_{\gamma}$
П1-22	$2f_{\alpha} + f_{\gamma}$	П2-22	$f_{\alpha} + 0,16 \cdot f_{\gamma}$
П1-23	$2f_{\alpha} + 1,1 \cdot f_{\gamma}$	П2-23	$f_{\alpha} + 0,18 \cdot f_{\gamma}$
П1-24	$2f_{\alpha} + 1,2 \cdot f_{\gamma}$	П2-24	$f_{\alpha} + 0,2 \cdot f_{\gamma}$

Висновки

Таким чином, до операцій фазі-логіки типу "добуток" належать такі операції: "І", "АБО", "СУМА". Для елементів, які реалізують вказані операції, наведено рівняння роботи. Роботу елементів показано за допомогою часових діаграм. Розроблено структурну схему частотно-імпульсного елемента "І". Представлені рівняння роботи пропонується використовувати у процесі розробки частотно-, широтно та фазо-імпульсних елементів фазі-логіки, які реалізують операції типу "добуток": "І", "АБО", "СУМА".

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Robert Fuller. Fuzzy logic and neural nets in intelligent systems // Information Systems Day. – Turku Centre for Computer Science, Abo, 1999. – Vol. 17. – P. 74 – 94.
2. Reyneri L. M. Unification of neural and wavelet networks and fuzzy systems // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1998.
3. Ota Y., Wilamowski B. M. CMOS Implementation of a Voltage-Mode Fuzzy Min-Max Controller // Journal of Circuits, Systems and Computers. – 1996. – Vol. 6, № 2. – P. 171 – 184.
4. Ota Y., Wilamowski B. M. Current-Mode CMOS Implementation of a Fuzzy Min-Max Network // World Congress of Neural Networks. – Washington DC (USA). – 1995. – Vol. 2. – P. 480 – 483.
5. Angel Rodriguez-Vazquez, Rafael Navas-Gonzalez, Manuel Delgado-Restituto M., Fernando Vidal-Verdu. A modular programmable CMOS analog fuzzy controller chip // IEEE Transactions on Circuits and Systems. – 1999. – Vol. 46, №3. – P. 251 – 265.

Семенова Олена Олександрівна – к. т. н., старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: Helene_S@ukr.net.

Семенов Андрій Олександрович – к. т. н., старший викладач кафедри радіотехніки, e-mail: Semenov79@ukr.net.

Задорожний Віталій Костянтинович – к. т. н., доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення.

Войцеховська Ольга Олександрівна – здобувач, інженер кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, тел. 598-064, e-mail: olga1085@rambler.ru.

Вінницький національний технічний університет.