

Н.М. Лужецька, В.Б. Дудикевич, А.Я. Горпенюк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра захисту інформації, безпеки інформаційних технологій

СТЕПЕНЕВИЙ КОНВЕЄРНИЙ ЧИСЛО-ІМПУЛЬСНИЙ ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

© Лужецька Н.М., Дудикевич В.Б., Горпенюк А.Я., 2011

Подано результати синтезу та дослідження конвеєрної структури степеневого число-імпульсного функціонального перетворювача. Показано, що максимальна частота роботи такої структури є значно вищою за максимальну частоту роботи класичної структури. Запропоновано способи покращення точності конвеєрної структури степеневого перетворювача.

Ключові слова: степеневий конвеєрний число-імпульсний функціональний перетворювач.

The results of conveyor structure of power pulse-number functional transformer synthesis and research are given. Maximal work frequency such structure is considerably higher than maximal work frequency of classic structure. Also are offered the methods of power structure of exponential transformer exactness improvement.

Key words: degree conveyor chislo-impul'sniy functional transformer.

Постановка проблеми. Степеневі число-імпульсні функціональні перетворювачі (ЧІФП) поряд з іншими ЧІФП широко використовуються у вимірювальній та обчислювальній техніці там, де має місце розгортання аргументу функції у послідовність пристовів, повне або часткове табулювання функції у заданому діапазоні. Класичні ЧІФП як правило реалізують на нагромаджуючих суматорах, які застосовують як цифрові інтегратори і будують на комбінаційних суматорах з послідовним, паралельним або комбінованим перенесенням. Такі ЧІФП характеризуються високою точністю перетворення – абсолютна похибка перетворення, як правило, складає одиниці молодшого розряду результату перетворення. Разом з тим максимальна частота роботи класичних ЧІФП обмежується затримкою спрацювання суматорів, включених послідовно в структурі ЧІФП. Низька частота роботи обмежує можливості збільшення частоти квантування аргументу відтвореної функції і так впливає не тільки на швидкодію перетворювача, але й на його точність. Отже, сьогодні актуальним залишається завдання підвищення максимальної частоти роботи ЧІФП. Розв'язання цієї задачі дасть змогу застосовувати вищу частоту квантування і збільшувати таким чином точність вимірювання. Підвищення максимальної частоти роботи класичних ЧІФП можливе за рахунок зменшення їх розрядності, що збільшує похибку перетворення ЧІФП. Це протиріччя обмежує можливості подальшого підвищення точності вимірювальних перетворювачів, побудованих із застосуванням класичних структур ЧІФП [1,4]. Для вирішення проблеми залежності максимальної частоти роботи ЧІФП та його розрядності було розроблено конвеєрні структурні елементи ЧІФП [2]. Їх максимальна частота роботи не залежить від розрядності і є значно вищою за максимальну частоту роботи класичних структурних елементів. Однак у випадку, якщо конвеєрний ЧІФП має замкнуту структуру, тобто має зворотні зв'язки, його похибка перетворення зростає через затримку сигналу зворотного зв'язку [2]. У таких випадках виникає необхідність дослідження точності конвеєрних ЧІФП, зокрема степеневих конвеєрних ЧІФП, і задача пошуку шляхів покращення його точності.



(5). Другий помножувач (лічильник ЛЧ2, СМ2, РГ2) відтворює друге рівняння системи (5). Число-імпульсний дільник, побудований на лічильнику ЛЧ3, суматорі СМ3, регістрі РГ3 та схемі віднімання СВ, відтворює третє рівняння (5).

Визначимо функцію, яку відтворює схема на рис. 1. З врахуванням принципів роботи число-імпульсних помножувачів та дільника [1], робота структури описується системою (6):

$$\begin{cases} \Delta\alpha = \frac{k}{2^n} \Delta x \\ \Delta\beta = \frac{y}{2^n} \Delta\alpha \\ \Delta y = \frac{2^n}{x} \Delta\beta \end{cases} \quad (6)$$

Підставляючи в третє рівняння системи (6) перші два рівняння, отримаємо:

$$\Delta y = \frac{2^n}{x} \Delta\beta = \frac{2^n}{x} \cdot \frac{y}{2^n} \cdot \Delta\alpha = \frac{2^n}{x} \cdot \frac{y}{2^n} \cdot \frac{k}{2^n} \cdot \Delta x = \frac{k \cdot y}{2^n \cdot x} \Delta x. \quad (7)$$

Рівняння (7), яке описує роботу структури, можна наблизити таким диференціальним рівнянням:

$$dy = \frac{k \cdot y}{2^n \cdot x} dx. \quad (8)$$

Розв'язавши рівняння (8), отримаємо:

$$y = \frac{y_0}{x_0^{k/2^n}} \cdot x^{k/2^n}. \quad (9)$$

Враховуючи принцип роботи число-імпульсного дільника з від'ємним зворотним зв'язком [1], маємо:

$$x_0 = 2^n \quad (10)$$

Якщо забезпечити:

$$y_0 = (2^n)^{k/2^n}, \quad (11)$$

отримаємо:

$$y = x^{k/2^n}. \quad (12)$$

Аналізуючи (12), доходимо висновку, що такий степеневий ЧІФП можна вибрати як базову структуру обчислювача степеневі функції для подальшого розв'язання задачі підвищення швидкодії степеневих обчислювачів.

З метою дослідження базової структури число-імпульсного обчислювача степеневі функції було розроблено імітаційну модель такої структури. Для розроблення імітаційної моделі застосовували алгоритми, запропоновані в роботі [5].

Проаналізуємо діапазон перетворення базової структури (рис. 1). Оскільки структура на Рис.1 містить лічильник для підрахунку одиничних приростів аргументу Δx і не містить відомих засобів для розширення діапазону перетворення [1], права межа діапазону перетворення структури визначається максимальною місткістю цього лічильника. Ліва межа діапазону зміни аргументу, що впливає з принципу роботи число-імпульсного дільника з від'ємним зворотним зв'язком, обмежена числом 2^n (що відповідає одному переповненню лічильника ЛЧ3). З цього робимо висновок, що права межа діапазону перетворення $2^{(n+1)}$ (що відповідає другому переповненню ЛЧ3). Отже:

$$2^n < X < 2^{(n+1)}. \quad (13)$$

Перейдемо тепер до аналізу швидкодії базової структури, причому аналізуватимемо максимальну частоту її роботи. Другий критерій швидкодії – час перетворення – аналізувати не будемо, оскільки число-імпульсні структури [1] працюють у реальному масштабі часу і тому їх час перетворення визначає тільки фіксовану затримку формування результату перетворення для

кожного з аргументів заданої функції (у нашому випадку степеневій). Щодо максимальної частоти роботи, то цей показник набагато важливіший. Це пояснюється тим, що ЧІФП часто застосовують в інтелектуальних засобах вимірювання для первинної функціональної обробки вимірювальної інформації. У таких засобах часто прирости аргументу – це прирости величини, якою кантується вимірювана величина. Тому, підвищуючи частоту надходження цих приростів, ми тим самим покращуємо точність перетворювача, оскільки зменшуємо похибку квантування.

Відомо [1], що максимальна частота спрацювання класичної число-імпульсної структури (побудованої на не конвеєрних структурних елементах) обернено пропорційна до часу послідовного спрацювання всіх n -розрядних нагромаджуючих суматорів структури, включених послідовно. В базовій число-імпульсній структурі обчислювача степеневій функції таких послідовно включених нагромаджуючих суматорів три (рис. 1). Тому максимальна частота роботи такої структури обернено пропорційна часу спрацювання трьох n -розрядних нагромаджуючих суматорів:

$$f_m = \frac{1}{3t_{sm(n)}}, \quad (14)$$

де $t_{sm(n)}$ – час спрацювання n -розрядного суматора.

Перейдемо тепер до оцінювання точності базової структури число-імпульсного обчислювача степеневій функції.

Як відомо [1, 5], для оцінювання точності таких структур застосовують імітаційне моделювання. Саме тому для дослідження точності роботи базової структури число-імпульсного

обчислювача степеневій функції було розроблено її імітаційну модель. Похибка перетворення базової структури визначалася за допомогою імітаційного моделювання. Принципи і алгоритми моделювання детально розглянуто в роботі [5].

На рис. 2 подано графік залежності абсолютної похибки перетворення базової структури, вираженої в одиницях молодшого розряду, від величини аргументу X . Цей графік відповідає результатам дослідження 12-розрядного варіанта класичної структури перетворювача (рис. 1). З графіка похибки (рис. 2) видно, що абсолютна похибка перетворення базової структури число-імпульсного обчислювача степеневій функції не перевищує одиниці молодшого розряду, тобто точність такої структури є достатньо високою і відповідає критерію метрологічної доцільності число-імпульсних структур.

Отже, результати дослідження структури ЧІФП степеневій функції (рис. 1) доводять, що таку структуру насправді можна обрати як базову для подальшого покращання швидкодії.

Розроблення та дослідження конвеєрної структури степеневого ЧІФП. З метою покращання швидкодії базову число-імпульсну структуру обчислювача степеневій функції (рис. 1) було побудовано на конвеєрних структурних елементах [2].

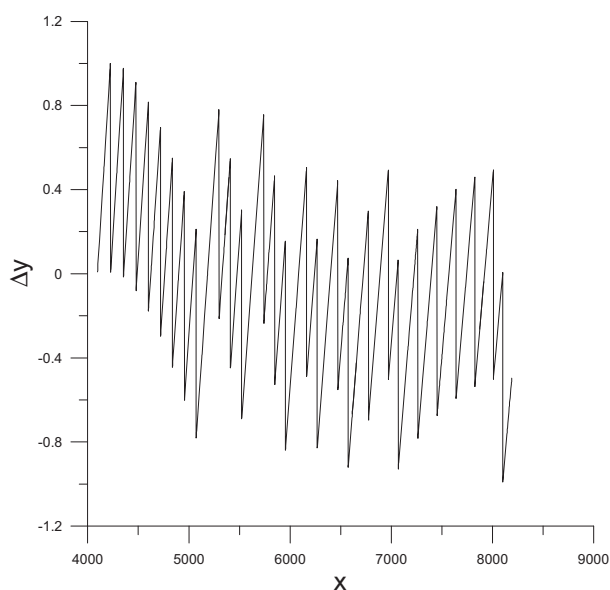


Рис. 2. Результати імітаційного моделювання базової структури ЧІФП степеневій функції

Розроблену структурну схему подано на рис. 3.

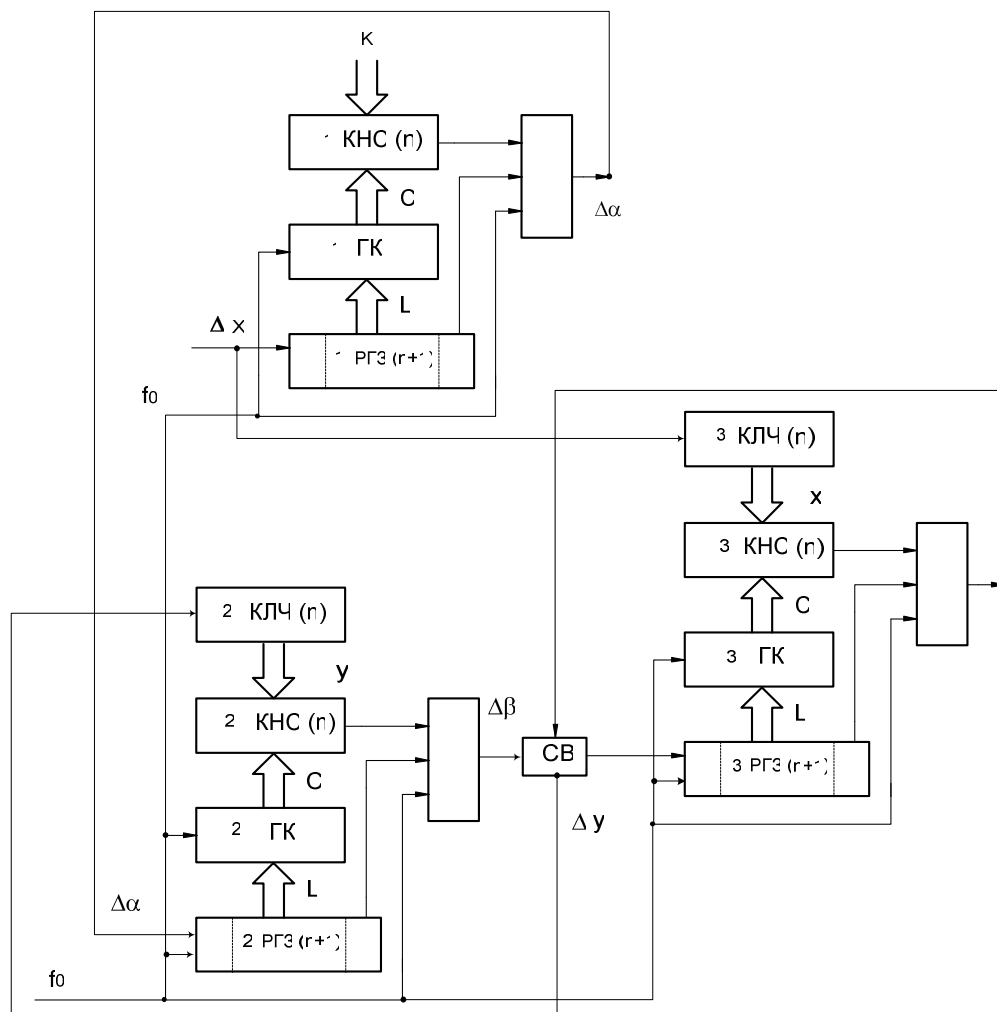


Рис. 3. Структурна схема конверсного обчислювача степеневі функції

У розробленій структурі n -розрядний конверсний лічильник 3КЛЧ інтегрує прирости ΔX аргументу степеневі функції, а регістр зсуву 3РГЗ, група ключів 3ГК, конверсний нагромаджуючий суматор 3КНС і схема віднімання СВ складають конверсний число-імпульсний дільник, який формує послідовність одиничних приростів результату обчислення степеневі функції y . Конверсний лічильник результату 2КЛЧ інтегрує прирости результату обчислення степеневі функції, а регістр зсуву 2РГЗ, група ключів 2ГК і конверсний нагромаджуючий суматор 2КНС складають конверсний число-імпульсний помножувач, який формує імпульсну послідовність зворотного зв'язку $\Delta\beta$ відповідно до (6). Регістр зсуву 1РГЗ, група ключів 1ГК і конверсний нагромаджуючий суматор 1КНС складають конверсний число-імпульсний помножувач, який формує імпульсну послідовність зворотного зв'язку $\Delta\alpha$ відповідно до (6).

Проаналізуємо діапазон перетворення розробленої конверсної структури (рис. 3). Оскільки структура на рис. 3 містить лічильник для підрахунку одиничних приростів аргументу Δx і не містить відомих засобів для розширення діапазону перетворення [1], права межа діапазону перетворення розробленої структури визначається максимальною місткістю цього лічильника. Ліва межа діапазону зміни аргументу, що впливає з принципу роботи число-імпульсного дільника з від'ємним зворотним зв'язком, обмежена числом 2^n (що відповідає одному переповненню лічильника 3КЛЧ (рис. 3)). Робимо висновок, що права межа діапазону перетворення $2^{(n+1)}$ (що відповідає другому переповненню 3КЛЧ).

Отже:

$$2^n < X < 2^{(n+1)}. \quad (15)$$

Перейдемо тепер до аналізу швидкодії розробленої структури. Причому, як і при дослідженні класичної структури, аналізуватимемо максимальну частоту її роботи. Ми в розробленій структурі застосували конвеєрні структурні елементи. Як відомо [2], їх максимальна частота роботи не залежить від розрядності і дорівнює:

$$f_m = f_{0\max} = \frac{1}{t_T + t_{1CM}}, \quad (16)$$

де t_T – час спрацювання тригера регістра, t_{1CM} – час спрацювання однорозрядного суматора. Очевидно, що:

$$t_T > t_{1CM}. \quad (17)$$

Тому

$$f_m > \frac{1}{2t_T}. \quad (18)$$

Приймемо:

$$f_0 > \frac{1}{t_T} \quad (19)$$

максимальна частота роботи вибраної елементної бази. Тоді максимальна частота роботи конвеєрного число-імпульсного обчислювача степеневі функції відповідно до (18) і враховуючи (19), не залежить від розрядності і дорівнює:

$$f_m \approx \frac{f_0}{2}. \quad (20)$$

Очевидно, що максимальна частота роботи розробленої конвеєрної структури, яка визначається виразом (20), є значно вищою за максимальну частоту роботи класичних неконвеєрних структур аналогічного призначення. Із співвідношень (14), (20) випливає, що максимальна частота роботи розробленої конвеєрної структури приблизно у 18 разів більша за максимальну частоту роботи класичної структури степеневих ЧФП (якщо вважати, що час спрацювання однорозрядної секції суматора приблизно дорівнює часу спрацювання тригера).

Перейдемо тепер до оцінювання точності розробленої конвеєрної структури обчислювача степеневі функції. Точність конвеєрної структури, як і класичної, досліджувалася шляхом її імітаційного моделювання. Було розроблено імітаційну модель конвеєрного степеневих ЧФП відповідно до принципів, викладених в [5].

Результати моделювання розробленої конвеєрної структури обчислювача степеневі функції, які отримані за допомогою програми імітаційного моделювання, подано на рис. 4 у вигляді графіка залежності похибки перетворення 12-розрядного варіанта конвеєрної структури обчислювача степеневі функції від значення аргументу функції. Ці результати показують, що розроблена структура характеризується більшою абсолютною похибкою перетворення (у результатах похибку пере-

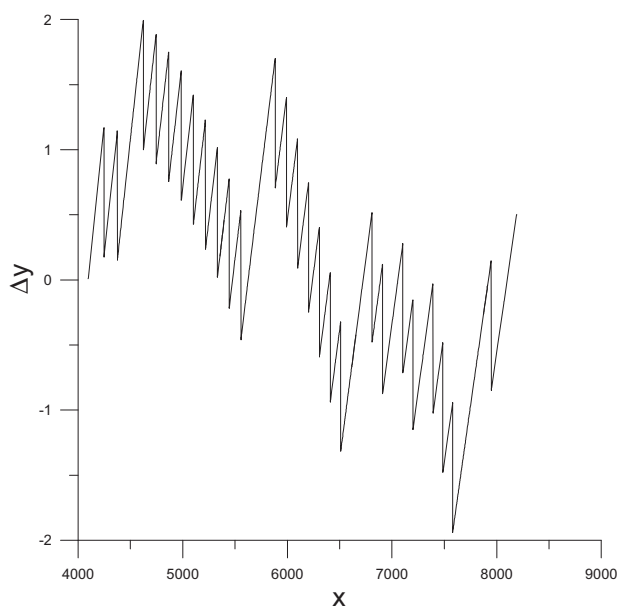


Рис. 4. Результати імітаційного моделювання конвеєрної структури обчислювача степеневі функції

творення дано в одиницях молодшого цілого розряду результату перетворення), ніж базова класична структура (результати моделювання класичної структури – на рис. 2). Це пояснюється тим, що імпульси зворотного зв'язку затримуються розробленою конвеєрною структурою на час, значно більший (в n разів, де n – розрядність структури) за період вхідної імпульсної послідовності. Разом з тим відносна похибка конвеєрної структури залишається незначною. Крім того, і абсолютна похибка перетворення конвеєрної структури степеневого ЧІФП, на відміну від відомої конвеєрної структури показникового ЧІФП [6], збільшилась дуже незначно – вона не виходить за межі 2-х одиниць молодшого розряду перетворення, хоча затримка сигналу зворотного зв'язку становить 12 тактів. Це пояснюється глибоким від'ємним зворотним зв'язком, яким охоплено структуру на рис. 3.

Отже, якщо не враховувати співвідношення частот роботи класичного та конвеєрного число-імпульсного обчислювачів степеневі функції, або що те саме – співвідношення ваг одиниці число-імпульсного коду, яким подається аргумент обох структур, доводиться визнати, що точність конвеєрної структури число-імпульсного обчислювача степеневі функції є гіршою за точність класичної структури.

Разом з тим з погляду практичного застосування необхідним є аналіз і порівняння класичної та розробленої конвеєрної структур з врахуванням максимальної частоти їх роботи. Адже вища частота роботи конвеєрної структури дає змогу ділити аргумент на менші прирости, що, своєю чергою, визначає меншу вагу одиниці молодшого розряду конвеєрної структури. Тобто отриману значну перевагу у швидкодії можна з надлишком розміняти на точність перетворювача.

Висновки. Дослідження класичної структури степеневого ЧІФП за допомогою розробленої імітаційної моделі підтвердило високу точність такого ЧІФП, а також відносно невелику частоту його роботи за рахунок наявності в структурі трьох послідовно включених нагромаджуючих суматорів. Для підвищення максимальної частоти роботи степеневого ЧІФП запропоновано застосувати в його структурі конвеєрні структурні елементи. Дослідження розробленої конвеєрної структури степеневого ЧІФП за допомогою його імітаційної моделі показало незначне погіршення точності за абсолютними показниками. Разом з тим максимальна частота роботи розробленої конвеєрної структури є значно вищою за частоту роботи класичної структури – приблизно в 18 разів для 12-розрядного варіанта досліджених структур. Це дає змогу прогнозувати як вищу швидкість конвеєрного степеневого ЧІФП, так і кращу точність за рахунок можливості застосування вищої частоти квантування аргумента степеневі функції.

1. Дудикевич, В. Б. Число-імпульсні функціональні перетворювачі [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. / Дудикевич Валерій Богданович. – Львів, 1991. 2. Горпенюк, А. Я. Принципи побудови конвеєрних базових вузлів число-імпульсних вимірювальних перетворювачів [Текст, рисунки] / А.Я. Горпенюк // Контроль і управління в технічних системах (КУТС-97). Книга за матеріалами конференції: Т. 2: Універсум-Вінниця. – 1997. – С. 137–140. 3. Горпенюк А.Я. Конвеєрний синусно-косинусний число-імпульсний функціональний перетворювач [Текст, рисунки] / Горпенюк А.Я., Дудикевич В.Б., Лужецька Н.М. // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2009. – № 639: Автоматика, вимірювання та керування. – С. 94–101. 4. Дудикевич, В. Б. Оцінка сумісності число-імпульсних функціональних перетворювачів з пристроєм для квантування [Текст] / В.Б. Дудикевич, В.М. Максимович // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 1994. – № 283: Автоматика, вимірювання та керування. – С. 30–34. 5. Горпенюк, А.Я. Імітаційне моделювання конвеєрних число-імпульсних функціональних перетворювачів [Текст] / А.Я. Горпенюк, В.Б. Дудикевич, Н.М. Лужецька // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2005. – № 530: Автоматика, вимірювання та керування. – С. 66–75. 6. Горпенюк А.Я. Дослідження показникового конвеєрного число-імпульсного функціонального перетворювача [Текст, рисунки] / А.Я. Горпенюк, В.Б. Дудикевич, Н.М. Лужецька // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2010. – № 665: Автоматика, вимірювання та керування. – С. 45–52.