№ 1(2), 2020

УДК 681.335 (088.8)

З. Р. Мичуда[1], Л. З. Мичуда[2], Г. С. Єлісєєва[1]
Національний університет "Львівська політехніка",
[1] кафедра комп'ютеризованих систем автоматики,
[2] кафедра безпеки інформаційних технологій

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕКУРЕНТНИХ ЛОГАРИФМІЧНИХ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

https://doi.org/10.23939/amm2020.01.009

© Мичуда З. Р., Мичуда Л. З., Єлісєєва Г. С., 2020

Досліджено параметри рекурентних логарифмічних АЦП. Встановлено взаємну залежність між значенням основи логарифма, точністю та швидкодією.

Ключові слова: логарифмічні АЦП, параметри, вибір, основа, точність, швидкодія.

Dependence of recurrent logarithmic ADCs parameters. The interdependence between the value of the base of logarithm, accuracy and speed is established.

Key words: logarithmic ADCs, parameters, choice, basis, accuracy, speed.

Вступ

У сучасних комп'ютеризованих системах найрізноманітнішого призначення використовують величезну кількість сенсорів. Переважна більшість сенсорів має аналоговий вихідний сигнал, що змушує проводити їх аналого-цифрове перетворення для забезпечення подальшого оброблення в системах. Якість систем насамперед залежить від точності та швидкодії застосованих у них аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Загалом АЦП поділяють на лінійні та логарифмічні. Донедавна лінійні АЦП переважали логарифмічні за точністю та швидкодією, що зумовило їх переважне застосування. Проте останнім часом прогрес у техніці логарифмічного перетворення призвів до того, що основні метрологічні характеристики логарифмічних АЦП (ЛАЦП) зрівнялися з відповідними характеристиками лінійних АЦП. І тепер ЛАЦП викликають зацікавлення розробників, оскільки разом з аналого-цифровим перетворенням ЛАЦП забезпечують додаткові можливості, серед яких найвагоміші – широкий динамічний діапазон вхідних сигналів і можливість оброблення сигналів у логарифмічній арифметиці. Останнє дає змогу набагато прискорити швидкодію систем, оскільки довготривалі операції лінійної арифметики (множення, ділення) у логарифмічній зводяться до швидких операцій (додавання, віднімання), що особливо важливо для систем реального часу, в яких час оброблення інформації має бути якнайменшим.

Найвищі метрологічні характеристики забезпечують ЛАЦП на комутованих конденсаторах, які вперше створено на кафедрі комп'ютеризованих систем автоматики Національного університету "Львівська політехніка".

ЛАЦП на комутованих конденсаторах реалізовують як із сталою, так і зі змінною в процесі перетворення основою логарифма. За алгоритмом перетворення ці ЛАЦП є послідовними, порозрядними, паралельними, з імпульсним зворотним зв'язком і рекурентні. Серед цих ЛАЦП найменше вивчені рекурентні: недостатньо досліджено вплив основи логарифма на метрологічні параметри перетворювачів, що спричиняє значні труднощі під час проектування та практичної реалізації рекурентних ЛАЦП.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Аналіз літературних джерел

Використання рекурентних алгоритмів у багатьох технічних пристроях і системах дає змогу підвищити точність оброблення інформації та сприяє покращенню швидкодії. У цьому плані цікавими є відомі практичні реалізації різних перетворювачів аналогових сигналів.

Рекурентний метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення запропоновано в роботі [1].

У патенті [2] для підвищення швидкодії запропоновано метод аналого-цифрового перетворення з використанням нейронної мережі, що працює за рекурентним алгоритмом.

У [3] розглянуто побудову аналого-цифрових багатофункціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах, принцип дії яких базується на перерозподілі заряду, а рекурентні алгоритми використано для відтворення степеневих рядів.

Рекурентний алгоритм покладено в основу дії нейронного декодера зміщення нуля аналого-цифрового перетворювача [4].

У роботі [5] застосовано рекурентні алгоритми для спрощення обчислень параметрів перехідних процесів і розроблення методів визначення квазіусталеного режиму роботи перетворювачів.

У [6] розроблено модель первинного вимірювального перетворювача на основі нейронної мережі, в якій завдяки рекурентному алгоритму було підвищено точність.

У патенті [7] внаслідок використання рекурентного методу перетворення підвищено точність і швидкодію логарифмічного АЦП.

На основі рекурентних алгоритмів у роботі [8] виведено формули для розрахунку параметрів лінійних імпульсно-індукційних електромеханічних перетворювачів.

У патенті [9] запропоновано підвищення точності та спрощення реалізації логарифмічного АЦП завдяки використанню рекурентного алгоритму роботи.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження впливу основи логарифма на параметри рекурентних ЛАЦП для спрощення проектування та практичної реалізації ЛАЦП із заданими параметрами.

Виклад основного матеріалу

Реалізація рекурентних ЛАЦП суттєво залежить від способу відтворення багатоканальної міри, що забезпечує створення потрібної кількості еталонних (зразкових) величин, як правило, напруг, значення яких визначено як основу логарифма. Своєю чергою, основа логарифма в процесі перетворення може мати як постійне [10], так і змінне [11] значення.

Рекурентні ЛАЦП із сталою основою логарифму. У них сутність логарифмічного аналого-цифрового перетворення зводиться до такого. Багатоканальна міра напруги діленням опорної напруги (U_o) відтворює низку еталонних рівнів напруг U_1-U_n, з яких будь-які два сусідні відрізняються в ζ разів (тут ζ – основа логарифма):

$$U_1 = \zeta^n U_o;\ U_2 = \zeta^{n-1} U_o;\ U_3 = \zeta^{n-2} U_o;\ldots U_{n-1} = \zeta^2 U_o \quad \text{і} \quad U_n = \zeta U_o. \qquad (1)$$

Із вхідною напругою порівнюють почергово кожну з еталонних напруг, починаючи з першої. При цьому запам’ятовується рівень еталонної напруги, за якого відбувся перехід через рівень вхідної напруги і надалі він використовується як нова опорна напруга. Отже, напруга в останньому вузлі дільника U_k, тобто компенсаційний сигнал, дорівнюватиме добуткові опорної напруги U_o і вагових коефіцієнтів тих вузлів, при підключенні яких до компаратора було перевищено рівень вхідного сигналу:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$U_k = U_o \cdot \prod_{i=1}^{i=n} \zeta^{a_i \cdot (n-i+1)}, \quad (2)$$

де a_i – коефіцієнт, що набуває в кожному *i*-му такті перетворення значення 1 або 0 відповідно до стану компаратора 1 або 0.

На момент закінчення перетворення компенсаційний сигнал дорівнює вхідному ($U_k = U_{вх}$) із похибкою, що не перевищує значення

$$\delta = \frac{1-\zeta}{\zeta} \cdot 100\,\%. \quad (3)$$

Значення вихідного коду (N) визначається результатами порівняння вхідної напруги з відповідними еталонними напругами за формулою

$$N = \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot (n - i + 1) \quad (4)$$

і є пропорційним до логарифма відношення вхідного сигналу до опорного.

Час перетворення рекурентного ЛАЦП

$$t_п \le nT_т, \quad (5)$$

де t_p – час перетворення, $T_т$ – період повторення тактових імпульсів.

Визначимо кількість еталонних напруг (n), що необхідна для рекурентного аналого-цифрового перетворення зі сталою основою логарифма, розглядаючи закон зміни показників степеня еталонних напруг. Як видно із (1), ці показники змінюються від 1 до n з одиничним приростом , причому вихідний код N рекурентного ЛАЦП є сумою цих показників степеня. Отже, код N є сумою арифметичної прогресії і тому може бути поданий за загальновідомою формулою для цієї суми:

$$N = \frac{2a_1 + d(n-1)}{2} \cdot n, \quad (6)$$

де a_1 – перший член прогресії; d – різниця прогресії; n – кількість перших членів прогресії (вона ж бо є кількістю еталонних напруг згідно з (1)).

Враховуючи, що у нашому випадку a_1=1 і d=1, отримаємо

$$N = \frac{n+1}{2} \cdot n.$$

Практично у рекурентних ЛАЦП із сталою основою логарифма $n >> 1$. Тому останній вираз набуває вигляду

$$N \approx \frac{n^2}{2}. \quad (7)$$

Тобто кількість еталонних напруг визначаємо як

$$n = \sqrt{2N}. \quad (8)$$

Своєю чергою, вихідний код ЛАЦП визначають за відомою формулою

$$N = \frac{1}{\log \zeta} \cdot \log \frac{U_{вх}}{U_o}. \quad (9)$$

Задаючи потрібні параметри рекурентного ЛАЦП зі сталою основою логарифма, за вищенаведеними формулами можна обчислити необхідну кількість еталонних напруг, похибку та час перетворення. Наприклад, при опорній напрузі 10 В для забезпечення основної похибки перетворення $\delta = 0{,}1\,\%$ у діапазоні вхідних напруг 1 мВ – 10 В знаходимо:

1) за формулою (3) визначаємо основу логарифма $\zeta = 0{,}999$;

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

2) за виразом (9) обчислюємо номінальне (N_z) значення вихідного коду
$$N_z = 9206;$$
3) за (8) знаходимо кількість еталонних напруг $n = 136$;
4) час перетворення визначаємо за формулою (5): $t_п \le 136T_т$.

Рекурентні ЛАЦП із змінною основою логарифма. Особливістю цих ЛАЦП є виконання багатоканальної міри напруги, що діленням опорної напруги (U_o) відтворює низку еталонних рівнів напруг U_1–U_n, в яких основа логарифма змінюється за двійковим законом:

$$U_{k_1} = \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} U_o;\quad U_{k_2} = \zeta^{\frac{N_z}{2^2}} U_o;\quad U_{k_3} = \zeta^{\frac{N_z}{2^3}} U_o;\ \ldots U_{k_{n-1}} = \zeta^{\frac{N_z}{2^{n-1}}} U_o \quad i \quad U_{k_n} = \zeta^{\frac{N_z}{2^n}} U_o, \tag{10}$$

де N_z – номінальне значення вихідного коду логарифмічного перетворювача; $\zeta^{\frac{N_z}{2^i}}$ – змінна основа логарифма, причому i=1,2,3...n.

Процес перетворення у рекурентних ЛАЦП із змінною основою логарифма є циклічним: у кожному циклі із вхідною напругою порівнюється компенсаційна напруга, що є добутком відповідних еталонних напруг. На момент закінчення перетворення компенсаційний сигнал дорівнює вхідному ($U_k = U_{вх}$) і має значення

$$U_k = U_o \cdot \prod_{k=1}^{m}\prod_{i=1}^{n} \zeta^{a_i \cdot \frac{N_z}{2^{(k-1)n+i}}}. \tag{11}$$

Вихідний код матиме значення

$$N = \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot \frac{N_z}{2^{(k-1)n+i}}, \tag{12}$$

де $a_i = 1$, коли результат порівняння компаратора на *i*-му такті в *k*-му циклі дорівнює логічній “1”; $a_i = 0$, коли результат порівняння компаратора на *i*-му такті в *k*-му циклі дорівнює логічному “0”.

При цьому похибка перетворення не перевищує значення

$$\delta = \frac{1 - \zeta^{\frac{N_z}{2^n}}}{\zeta^{\frac{N_z}{2^n}}} \cdot 100\ \%. \tag{13}$$

Результат перетворення N записується у лічильник (старші розряди) і у регістр (молодші розряди). При цьому лічильник підраховує кількість повних циклів, а регістр фіксує результат перетворення в неповному останньому m-циклі.

Час перетворення рекурентних ЛАЦП із змінною основою логарифма

$$t_п = mT_ц, \tag{14}$$

де m – кількість циклів перетворення; $T_ц$ – час одного циклу перетворення:

$$T_ц = nT_т. \tag{15}$$

Кількість циклів перетворення “m” у запропонованому рекурентному ЛАЦП залежить від того, яку точність ним хочемо забезпечити, і може бути визначена за формулою

$$m = \frac{N}{N_z}, \tag{16}$$

де N – номінальне значення коду бажаної розрядності (r), $N = 2^r$; N_z – номінальне значення коду, що відповідає розрядності (n) багаторозрядної міри.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Під час перетворення зі змінною основою логарифма значно підвищується швидкодія рекурентного ЛАЦП. Так, при тих самих вихідних даних, як для ЛАЦП із сталою основою логарифма, задавши у циклі n=12 (при цьому номінальне значення N_z=4096), отримаємо для N=9206 перетворення за три цикли: два повні цикли ($2N_z$=8192) і один цикл неповний. Отже, час перетворення згідно з виразом (14) становитиме $t_П \le 36T_Т$, тобто не перевищуватиме 36 періодів повторення тактових імпульсів.

Реалізація рекурентного ЛАЦП із змінною основою логарифма. Узагальнену структурну схему такого перетворювача і епюри напруг, що ілюструють його роботу, наведено відповідно на рис. 1 і рис. 2. Узагальнена структурна схема (рис. 1) містить БК – блок керування; ГТІ – генератор тактових імпульсів; Км – компаратор; Л – лічильник результату; РР – регістр результату; БФПФ – блок формування показникової функції, що включає БМ – багатоканальна міра; Ком – комутатор, ЕП1 і ЕП2 – перший і другий елементи пам‘яті; П1 і П2 – перший і другий перемикачі; ЕЗ – елемент збігу; Т – тригер, К – аналоговий ключ. На рис. 1 позначено: U_0 – опорна напруга; $U_{ВХ}$ – вхідна напруга; $F_Т$ – тактова частота; N_1 і N_2 – відповідно старші та молодші розряди вихідного коду; U_{k1} – U_{kn} – компенсаційні напруги; $К_1$ – $К_n$ – коефіцієнти передавання багатоканальної міри по виходах 1 – n; $F_т$ – тактова частота; A, B, C і ПУСК – керуючі сигнали.

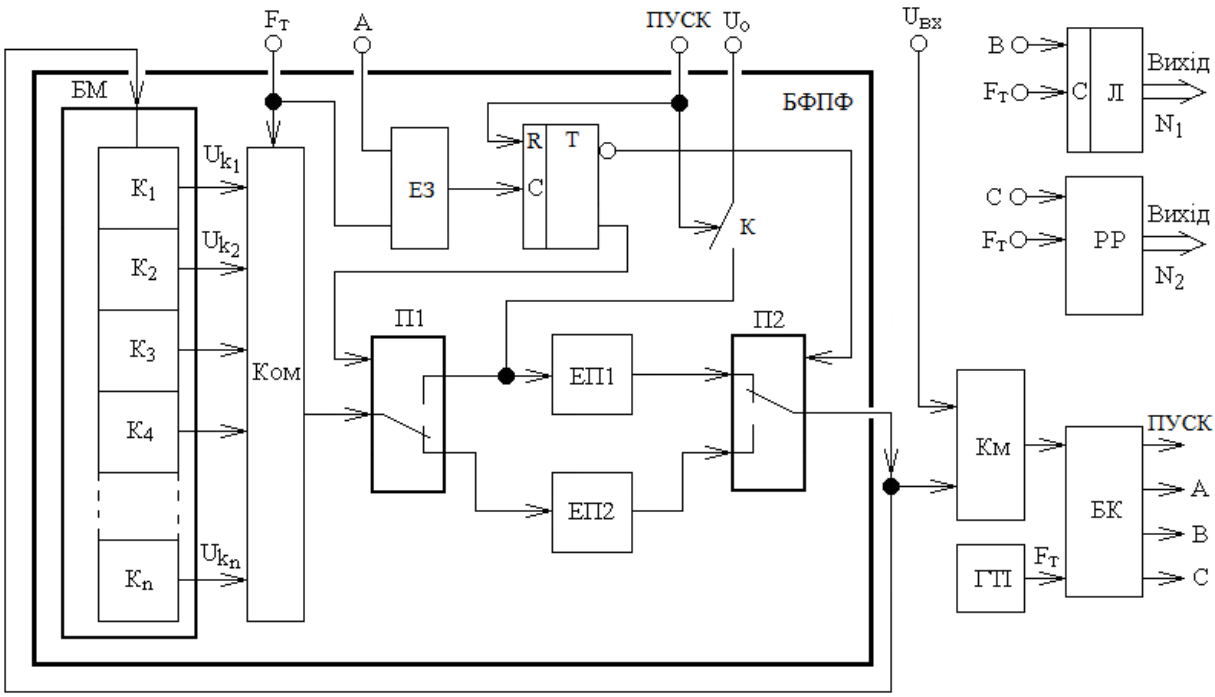

Рис. 1. Узагальнена структурна схема рекурентного ЛАЦП із змінною основою логарифма

Практично доцільно: 1) як регістр результату РР використати стандартний регістр послідовних наближень; 2) багатоканальну міру напруги виконати на основі регульованого масштабного перетворювача із цифровим перемиканням коефіцієнтів передавання напруги; 3) як елементи пам’яті ЕП1 і ЕП2 використати конденсатори.

Вихід БФПФ об’єднаний з виходом перемикача П2 і входом компаратора Км, а вихід комутатора Ком об’єднаний із входом перемикача П1. Інформаційні входи перемикачів П1 і П2 перемикаються протифазно, оскільки входи управління П1 і П2 підключені відповідно до прямого та інверсного виходів тригера Т, який перемикається тактовими імпульсами, що надходять через елемент збігу ЕЗ.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

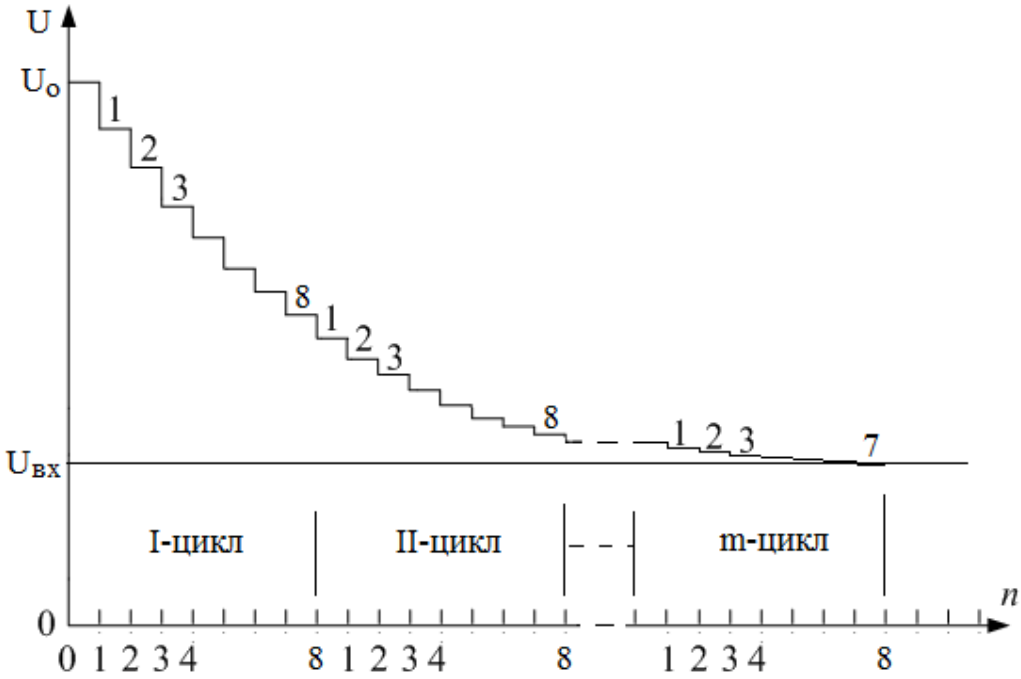

Рис. 2. Епюри напруг рекурентного ЛАЦП із змінною основою логарифма

Розглянемо роботу запропонованого рекурентного ЛАЦП із змінною основою логарифма.

Сигналом “Пуск” ЛАЦП установлюється у початковий стан: обнулюються лічильник Л, регістр РР і тригер Т1, а також – вмикається ключ К і на елемент пам’яті ЕП1 записується значення опорної напруги U_o.

Логічна “1” з інверсного виходу тригера Т вмикає П2 у верхнє положення, в результаті чого напруга з ЕП1 передається на вхід багатоканальної міри БМ, з першого виходу якої через аналоговий комутатор Ком і перший перемикач П1 записується у ЕП2. Напруга на виході ЕП2 дорівнюватиме

$$U_{k_1} = U_o \zeta^{\frac{N_н}{2^1}} .$$

У загальному випадку напруга на виході блоку формування показникової функції (U_k) порівнюється компаратором Км із вхідним сигналом $U_{вх}$; у тому випадку, коли $U_k \geq U_{вх}$ на виході компаратора Км є рівень логічної “1”, а коли $U_k < U_{вх}$ – на виході компаратора логічний “0”.

Після закінчення імпульса ПУСК починається перетворення за циклами, такт за тактом. Кожному k-циклу (k=1,2,3...m) відповідає n тактів. Кожному такту відповідає один імпульс генератора тактових імпульсів ГТІ.

Компаратор Км порівнює компенсаційну напругу з виходу БФПФ із вхідним сигналом. Якщо на виході компаратора Км була логічна “1”, то блок керування БК видає сигнал А, яким відкривається елемент збігу ЕЗ, і тактовий імпульс проходить через ЕЗ і перемикає тригер Т.

У випадку логічного “0” на виході компаратора Км блок керування БК забороняє сигнал А. Тому на виході елемента збігу ЕЗ також буде логічний “0”, у результаті чого тригер Т не перемикається, і перемикачі П1 і П2 залишаються в попередньому стані.

1. Перший цикл перетворення.

Після початкової установки напруга на виході БФПФ (вона ж бо вихідна напруга ЕП1) дорівнює опорній напрузі. Тому БК виробляє сигнал А, і перший імпульс генератора тактових імпульсів (після закінчення імпульса ПУСК) перемикає комутатор Ком на другий вихід багато-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

канальної міри БМ, проходить через елемент збігу ЕЗ, перекидає тригер Т, сигнали із виходів якого перемикають П1 і П2, в результаті чого вхід ЕП1 підключається до виходу Ком, а вихід ЕП2 підключається до виходу БФПФ.

Компаратор Км порівнює компенсаційну напругу з виходу БФПФ $U_{k_1} = U_o \zeta^{\frac{N_н}{2^1}}$ із вхідним сигналом $U_{вх}$. Цей результат порівняння записується у регістрі результату РР.

Отже, у першому такті перетворення напруга на елементі памяті ЕП2

$$U_{k_1} = U_o \zeta^{\frac{N_н}{2^1}},$$

а напруга на ЕП1 дорівнює

$$U_{k_2} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}}.$$

У другому такті перетворення (другий імпульс ГТІ) вищеописаний процес повторюється. Напруга $U_{к_2}$ порівнюється компаратором Км із вхідним сигналом $U_{вх}$. Якщо результат порівняння в другому такті – логічна “1”, то вона буде записана в наступний біт регістру РПН, а тригер Т перемикається. У результаті до входу БМ буде під’єднаний через П2 перший елемент памяті ЕП1, на якому напруга дорівнюватиме

$$U_{k_2} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}},$$

а напруга на другому елементі пам’яті ЕП2, підключеному через П1 до третього виходу БМ, дорівнюватиме

$$U_{k_3} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}} \zeta^{\frac{N_z}{2^3}}.$$

Потім настає третій такт і т.д.

В останньому n-такті першого циклу напруга на виході блоку формування показникової функції дорівнює

$$U_{k_n} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}} \zeta^{\frac{N_z}{2^3}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^n}}.$$

Після дії n-го імпульса ГТІ у першому циклі перетворення блок керування БК записує у лічильник результату Л одиницю та встановлює в початковий стан комутатор Ком і тригер Т.

2. Другий цикл перетворення.

Другий цикл перетворення починається n+1 імпульсом ГТІ і аналогічний першому циклу.

В останньому такті другого циклу напруга на виході блоку формування показникової функції дорівнює

$$U_{2n+1} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}} \zeta^{\frac{N_z}{2^3}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^n}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+1}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+2}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+3}}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{2n}}}.$$

Після закінчення останнього (2n) імпульса ГТІ на другому циклі спадним фронтом вихідного сигналу елемента збігу Е32 перемикається лічильник Л у нуль і вмикає перший вхід регульованого масштабного підсилювача РМП та імпульсом переповнення лічильника Л перемикається лічильник результату ЛР, реєструючи “2” цикли перетворення.

Робота на інших циклах перетворення відбувається аналогічно.

М. Останній m-цикл перетворення.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

В останньому такті m-циклу напруга на виході блоку формування показникової функції дорівнює

$$U_{mn+1} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}} \zeta^{\frac{N_z}{2^3}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^n}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+1}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+2}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+3}}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{2n}}} \cdot \ldots \cdot$$
$$\cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{(m-1)n+1}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{(m-1)n+2}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{(m-1)n+3}}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{mn}}}$$

або

$$U_k = U_o \cdot \prod_{k=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} \zeta^{a_i \cdot \frac{N_z}{2^{(k-1)n+i}}} . \qquad (17)$$

Якщо на останньому m-циклі перетворення в якомусь такті, наприклад, (m-1)n+2, результат порівняння компаратором Км дорівнював нулю, то у відповідному розряді вихідного коду регістра РПН буде записано нуль, а у вихідній напрузі блоку формування показникової функції буде відсутня складова напруги $\zeta^{\frac{N_z}{2^{(m-1)n+2}}}$, що відповідає тому розряду:

$$U_{mn+1} = U_o \zeta^{\frac{N_z}{2^1}} \zeta^{\frac{N_z}{2^2}} \zeta^{\frac{N_z}{2^3}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^n}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+1}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+2}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{n+3}}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{2n}}} \cdot \ldots \cdot$$
$$\cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{(m-1)n+1}}} \zeta^{\frac{N_z}{2^{(m-1)n+3}}} \cdot \ldots \cdot \zeta^{\frac{N_z}{2^{mn}}} .$$

Останнім $m \cdot n$ - імпульсом ГТІ результат порівняння з виходу компаратора Км записується у регістр результату РР. Отже, у лічильнику та регістрі результату буде записано відповідно старші ($N_{ст.р.}$) та молодші ($N_{м.р.}$) розряди вихідного коду. Вихідний код рекурентного ЛАЦП із змінною основою логарифма матиме значення

$$N = N_{ст.р.} + N_{м.р.} = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot \frac{N_z}{2^{(k-1)n+i}} , \qquad (18)$$

де $a_i = 1$, коли результат порівняння компаратора на і-му такті в k-му циклі дорівнює логічній “1”; $a_i = 0$, коли результат порівняння компаратора на і-му такті в k-му циклі дорівнює логічному “0”.

Перша поява першої логічної одиниці на виході компаратора записується у регістр результату РР і є свідченням того, що цей цикл є останнім.

Після закінчення останнього $m \cdot n$ - імпульса генератора тактових імпульсів на останньому m-циклі блок керування реєструє у лічильнику результату Л “m-1” циклів перетворення, а у регістрі результату РР значення коду на останньому m-циклі перетворення. І це є закінченням перетворення.

Перевагою запропонованого нами рекурентного логарифмічного аналого-цифрового перетворення із змінною основою логарифма є те, що бажана точність забезпечується меншою кількістю зразкових величин, що призводить до підвищення швидкодії, спрощення реалізації та зниження ціни перетворювача.

Так, при 8-розрядному рекурентному ЛАЦП (рис. 1) отримаємо результат перетворення для точності 8 дв.р. за 1 цикл при часі перетворення $8T_т$, а для точності 10 дв.р. за 4 цикли при часі перетворення $32T_т$.

Висновки

Проведені нами дослідження показують:

1. Рекурентні ЛАЦП із змінною основою логарифма порівняно з рекурентними ЛАЦП із сталою основою потребують значно менше еталонних величин і мають значно більшу швидкодію.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

2. Рекурентні ЛАЦП із змінною основою логарифма дають змогу отримати результат перетворення більшої від своєї розрядності точності на 2–4 двійкові розряди.

3. Із збільшенням точності рекурентних ЛАЦП із змінною основою логарифма (відносно їх розрядності) зростає час перетворення, тому підвищення точності більш ніж на 2 – 4 двійкові розряди недоцільне.

Список літератури

1. Мичуда З. Р., Ільканич К. І., Мичуда Л. З. Новий метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення// Збірник наукових праць "Комп'ютерні технології друкарства", 2004, № 12. С. 220–224.

2. Brian Watson. Analog to Digital Conversion Using Recurrent Neural Networks. [Text] Patent USA, no. US007345604B2, 2008.

3. Мичуда Л. З. Функціональні перетворювачі рекурентного типу на комутованих конденсаторах для систем енергообліку. [Текст] / Л. З. Мичуда, З. Р. Мичуда // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка»: "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація" [зб. наук. праць]. Львів: Вида-во Львівської політехніки, 2010. № 677. С. 98–104.

4. Aigerim Tankimanova, Akshay Kumar Maan, Alex Pappachen James. (2017) Level-shifted neural encoded analog-to-digital converter [conference-paper]. 24th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS): 5–8 December 2017, Batumi, Georgia. ***DOI:*** *10.1109/icecs.2017.8292026*

5. Ромашко В. Я. Аналіз режимів роботи перетворювачів елктронної енергії методом функцій вільного режиму: Дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук за спеціальністю 05.09.12 "Напівпровідникові перетворювачі електроенергії". — Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", К., 2010. Режим доступу: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/806

6. Полярус О. В. Динамічна нейромережева модель первинного перетворювача. [Текст] / О. В. Полярус, А. О Подорожняк, А. О. Коваль // ISSN 2079-0031 Вестник НТУ "ХПИ". 2014. № 35 (1078). С. 152–160.

7. Патент 113138 Україна. Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач / Мичуда Л. З., 2016, Бюл. № 23.

8. Болюх В. Ф. Исследование линейного импульсно-индукционного электромеханического преобразователя при различных схемах питания индуктора [Текст] / В. Ф. Болюх, А. И. Кочерга, И. С. Щукин // ISSN 2074-272X. Електротехніка і Електромеханіка. 2018. № 1. С. 21–28. ***DOI:*** *10.20998/2074-272X.2018.1.03*

9. Patent 232384 Polska. Logarytmiczny przetwornik analogowo-cyfrowy/ Myczuda Z., 2019, WUP 06/19.

10. Антонів У. С. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі з накопиченням заряду: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 "Комп'ютерні системи та компоненти" / Антонів Уляна Степанівна; МОН України, Національний ун-т "Львівська політехніка". Львів, 2013. 20 с.

11. Мичуда З. Р., Мичуда Л. З., Католик Б. О. Логарифмічне аналого-цифрове перетворення зі зміною основи логарифму // Сборник трудов международной научно-технической конференции "Приборостроение – 2004", Винница-Ялта, 2004. С. 63–67.

Reference

1. Mychuda Z. R., Ilkanycy K. I., Mychuda L. Z. Novyi metod loharyfmichnoho analoho-tsyfrovoho peretvorennia // Zbirnyk naukovykh prats "Komp'iuterni tekhnolohii drukarstva", 2004, No. 12, S. 220– 224.

2. Brian Watson. Analog to Digital Conversion Using Recurrent Neural Networks. [Text] Patent USA, no. US007345604B2, 2008.

3. Mychuda L. Z. Funktsionalni peretvoriuvachi rekurentnoho typu na komutovanykh kondensatorakh dlia system enerhoobliku. [Tekst] / L. Z. Mychuda, Z. R. Mychuda // Visnyk NU "Lvivska politekhnika": "Teploenerhetyka. Inzheneriia dovkillia. Avtomatyzatsiia" [zb. nauk. prats]. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". 2010 r. No. 677. S. 98–104.

4. Aigerim Tankimanova, Akshay Kumar Maan, Alex Pappachen James. (2017) Level-shifted neural encoded analog-to-digital converter [conference-paper]/ 24th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS): 5–8 December 2017, Batumi, Georgia. ***DOI:*** *10.1109/icecs.2017.8292026. https://doi.org/10.1109/ICECS.2017.8292026*

5. Romashko V. Ya. Analiz rezhymiv roboty peretvoriuvachiv elektrychnoi enerhii metodom funktsii vilnoho rezhymu: Dys. na zdobuttia nauk. stupenia doktora tekhn. nauk za spetsialnistiu 05.09.12 "Napivprovidnykovi

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

peretvoriuvachi elektroenerhii". Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy "Kyivskyi politekhnichnyi instytut", Kyiv, 2010. Rezhym dostupu: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/806

6. Poliarus O. V. Dynamichna neiromerezheva model pervynnoho peretvoriuvacha. [Tekst] / O. V. Poliarus, A. O. Podorozhniak, A. O. Koval // ISSN 2079-0031 Vestnik NTU "KhPI". 2014. No. 35 (1078). S. 152–160.

7. Patent 113138 Ukraina. Loharyfmichnyi analoho-tsyfrovyi peretvoriuvach / Myczuda L. Z., 2016, Biul. No. 23.

8. V. F. Bolyuh. Issledovanie lineynogo impulsno-induktsionnogo elektromehanicheskogo preobrazovatelya pri razlichnyih shemah pitaniya induktora [Tekst] / V. F. Bolyuh, A. I. Kocherga, I. S. Sczukin // ISSN 2074-272X. Elektrotekhnika i Elektromekhanika. 2018. No. 1. S. 21–28. DOI: 10.20998/2074-272X.2018.1.03. https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.1.03

9. Patent 232384 Polska. Logarytniczny przetwornik analogowo-cyfrowy / Myczuda Z., 2019, WUP 06/19.

10. Antoniv U. S. Loharyfmichni analoho-tsyfrovi peretvoriuvachi z nakopychenniam zariadu: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.05 "Kompiuterni systemy ta komponenty" / Antoniv Uliana Stepanivna; MON Ukrainy, Lviv Politekhnik Natsional University. Lviv, 2013. 20 s.

11. Mychuda Z. R., Mychuda L. Z., Katolyk B. O. Loharyfmichne analoho-tsyfrove peretvorennia zi zminoiu osnovy loharyfmu / Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Priborostroenie – 2004", Vinnitsa-Yalta, 2004. S. 63–67.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua