

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**ПЕТРИШИН МИХАЙЛО ЛЮБОМИРОВИЧ**

УДК 681.325; 681.335; 004.94

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ШВИДКОГО АДИТИВНОГО  
ТА СУБТРАКТИВНО-АДИТИВНОГО ПОРОЗРЯДНОГО  
АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп’ютерні системи та компоненти

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент  
**Ровінський Віктор Анатолійович**,  
Прикарпатський національний університет  
імені Василя Стефаника,  
доцент кафедри інформатики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
Заслужений працівник освіти України  
**Азаров Олексій Дмитрович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
декан факультету інформаційних технологій  
і комп'ютерної інженерії.

доктор технічних наук, професор  
**Мичуда Зиновій Романович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри комп'ютеризованих систем автоматичної

Захист відбудеться «29» березня 2018 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

Із дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «28» лютого 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Впровадження інформаційно-вимірjuвальних комп'ютерних систем є ключовим чинником, що забезпечує перехід на новий якісний рівень техніко-економічної ефективності підприємств народного господарства.

Застосування інформаційних систем вимагає вдосконалення існуючих методів, покращення параметрів та розробки засобів ефективного аналого-цифрового (АЦ) перетворення з метою забезпечення якісного і швидкого перетворення форми інформації (ПФІ) із заданими швидкодією, точністю, надійністю і низьким енергоспоживанням за умови стабільності параметрів, а також можливості інтегрального виконання при серійному виробництві та застосуванні в комп'ютерних інформаційно-вимірjuвальних системах. Це зумовлює актуальність аналізу і розробки методів АЦ перетворення повідомлень, реалізація яких дозволяє забезпечити визначені техніко-економічні та функціональні вимоги щодо засобів ПФІ, один із напрямків вирішення якого полягає у впровадженні функціонально адаптованих методів та побудові компонентів швидкого порозрядного АЦ перетворення на базі адитивного та субтрактивно-адитивного врівноваження, конкурентоздатних в порівнянні з типовими засобами АЦ перетворення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертацію виконано відповідно до законів України «Про інформацію», «Про Концепцію Національної програми інформатизації», «Про Національну програму інформатизації», Постанови Верховної Ради України «Реформи галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвиток інформаційного простору України» та постанови Президії НАН «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2014-2018 роки», підпункти: 1.2.1.1. Розробка математичних методів та систем моделювання об'єктів та процесів; 1.2.4.4. Розробка перспективних засобів переробки інформації та кібернетичних систем для вирішення складних задач, що використовують поряд з обчислювальними технології моделювання образного сприйняття світу, логічного та образного мислення; 1.2.9.7. Розробка перспективних засобів обчислювальної техніки.

Дисертаційне дослідження здійснювалось здобувачем протягом 2014-2017 років відповідно до наукового напрямку кафедри інформатики Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника при виконанні науково-дослідних робіт за темою «Теоретичні та методичні основи побудови комп'ютерних компонентів та систем на базі біторієнтованої вертикальної інфотехнології» (ДР № 0111U004751) та Одеської державної академії технічного регулювання та якості за темою «Синтез інтелектуальних експертних структур ентропійної оцінки якості автоматизованих систем вимірювання, управління та контролю» (ДР № 0115U002189). Автор брав участь у виконанні науково-дослідних робіт як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення швидкодії АЦП порозрядного врівноваження шляхом розробки методів та моделей адитивного та субтрактивно-адитивного перетворення на основі позиційних систем числення.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та розв'язано такі задачі:

1. проаналізувати підходи щодо покращення параметрів АЦП порозрядного врівноваження та методів моделювання процесів АЦ перетворення;
2. розробити методи адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення на основі позиційних систем числення;
3. розробити моделі адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення на основі позиційних систем числення;
4. розробити програмний засіб для моделювання процесів адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення на основі позиційних систем числення;
5. розробити структури АЦП порозрядного врівноваження, що реалізують методи адитивного та субтрактивно-адитивного перетворення технологічних параметрів.

**Об'єкт дослідження** – процес пришвидшеного порозрядного АЦ перетворення в комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах

**Предмет дослідження** – методи, моделі та засоби адитивного та субтрактивно-адитивного порозрядного АЦ перетворення.

**Методи дослідження.** Для розв'язання задач дисертаційного дослідження застосовано положення теорії інформації та кодування, алгоритмічної теорії вимірювань та ПФІ при розробці методів та побудові моделей адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення, методологію алгоритмізації та моделювання, на основі якої розроблено методи, алгоритми та засоби моделювання, які дозволяють здійснити візуалізацію процесу та результатів АЦ перетворення, а також основи теорії складності, що використані для оцінки алгоритмічної складності методів АЦ перетворення.

**Наукова новизна** одержаних результатів дисертаційного дослідження:

1. Уперше запропоновано методи адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення, які, на відміну від відомих, передбачають здійснення процесу порозрядного врівноваження в порядку, починаючи зі значень ваг молодших розрядів до старших та формування ознаки завершення процесу, що забезпечує збільшення швидкості перетворення за рахунок зменшення кількості тактів АЦ перетворення.
2. Удосконалено метод адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення, що здійснює процес порозрядного врівноваження в порядку, починаючи зі значень ваг старших розрядів до молодших, який, на відміну від відомих методів, передбачає формування ознаки завершення процесу порозрядного врівноваження, що забезпечує пришвидшення процесу АЦ перетворення.

3. Вперше запропоновано модель візуалізації перебігу процесу порозрядного врівноваження, яка, на відміну від відомих, дозволяє відобразити процес перетворення всіх значень визначеного діапазону і дозволяє здійснити кількісну оцінку операційної складності та тривалості процесу перетворення.

4. Вдосконалено структурні моделі АЦП, які, на відміну від відомих, здійснюють формування ознак завершення процесу перетворення, що забезпечує підвищення швидкодії АЦП.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що:

1. Розроблено програмний засіб моделювання процесів адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення, який дозволяє здійснити кількісну оцінку операційної складності алгоритму перетворення з метою обґрунтування вибору позиційної системи числення та методу порозрядного врівноваження, а також ефективного застосування компонентів в спеціалізованих комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах, розроблених на їх основі.

2. Розроблено АЦП порозрядного врівноваження на основі методу адитивного перетворення, обґрунтовано ефективність його застосування в комп'ютерних системах контролю технологічних процесів.

Впровадження результатів роботи здійснено в:

- державному підприємстві «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації»;
- товаристві з обмеженою відповідальністю «СЛОТ»;
- Івано-Франківському спеціальному конструкторському бюро засобів автоматизації.
- навчальному процесі кафедри інформатики Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника і кафедри комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій Одеської державної академії технічного регулювання та якості.

Впровадження результатів дисертаційних досліджень підтверджені відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати, які складають основний зміст роботи, отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: 1, 14 – метод субтрактивно-адитивного представлення чисел в трійковій системі числення, 2 – результати аналізу застосування методів кодування, 5 – аналіз властивостей методів ПФІ, 7 – метод моделювання процесів ПФІ із унітарним та розрядно-позиційним кодуванням, 9 – структури АЦП для пришвидшеного перетворення, 10 – метод перетворення на основі трійкової системи числення, 11 – аналіз властивостей позиційних систем числення для задач ПФІ, 12 – метод графічного моделювання процесів АЦ перетворення в позиційних системах числення, 13 – метод представлення даних в адитивних системах числення.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційного дослідження було апробовано в доповідях на наступних конференціях: Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (Харків, 2012р.); Conference of Student's Scientific Circles

AGH (Krakow, 2013-2016r.); Міжнародна науково-практична конференція «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації» (Вінниця, 2013р., 2016р.); 20-та міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика/Automatics – 2013» (Миколаїв, 2013р.); Всеукраїнська науково-практична конференція аспірантів, молодих учених і студентів ІФНТУНГ (Івано-Франківськ, 2013р.); VII та IX міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку IT-індустрії» (Харків, 2015р., 2016р.); XXIV міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2016р.); Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання ІТКМ-2016» (Івано-Франківськ, 2016р. 2017р.); II Міжнародна конференція «Комп'ютерна алгебра та інформаційні технології» (Одеса, 2016р.); II Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні» ІТМ-2017 (Миколаїв, 2017р.); «Перша IEEE конференція з електротехніки та обчислювальної техніки» IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (Київ, 2017р.).

**Публікації.** За темою дисертаційного дослідження опубліковано 26 наукових праць, включаючи 5 статей, що входять до переліку наукових фахових видань, з яких 1 публікація у зарубіжних виданнях, 20 – у матеріалах наукових конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів з висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 225 с. загального обсягу, з яких 141 с. основного змісту, 53 рисунки, 21 таблиця, список бібліографічних посилань з 160 джерел, та додатки на 41 с. Зміст дисертації відображає результати досягнення мети та вирішення основних завдань, результати теоретичних та експериментальних досліджень.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, зазначено її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та напрямок досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано інформацію про їх впровадження, апробацію та публікації.

**У першому розділі** проаналізовано методи перетворення і параметри сучасних АЦП та сегменти ринку їх ефективного застосування. Здійснено порівняльний аналіз типових архітектур АЦП. Визначено класичні структури АЦП порозрядного врівноваження, їх переваги та недоліки. Обґрунтовано ефективність застосування моделювання перебігу процесів АЦ перетворення. Сформульовано задачі досліджень.

АЦП порозрядного врівноваження забезпечують високу швидкодію та роздільну здатність (частота дискретизації 10 МГц при розрядності 8÷18 біт) і використовуються в багатоканальних інформаційно-вимірювальних системах з кількома пристроями вибірки-збереження та мультиплексуванням каналів на

єдиний АЦП або з одночасною вибіркою і кількома АЦП. На рис. 1 наведено залежності параметрів різних типів АЦП за точністю та частотою дискретизації. Продуктивність АЦП визначена вимогами системи, у якій він використовується. Для АЦП порозрядного врівноваження загального призначення основними параметрами, що впливають на продуктивність, є розрядність, частота дискретизації та час перетворення.

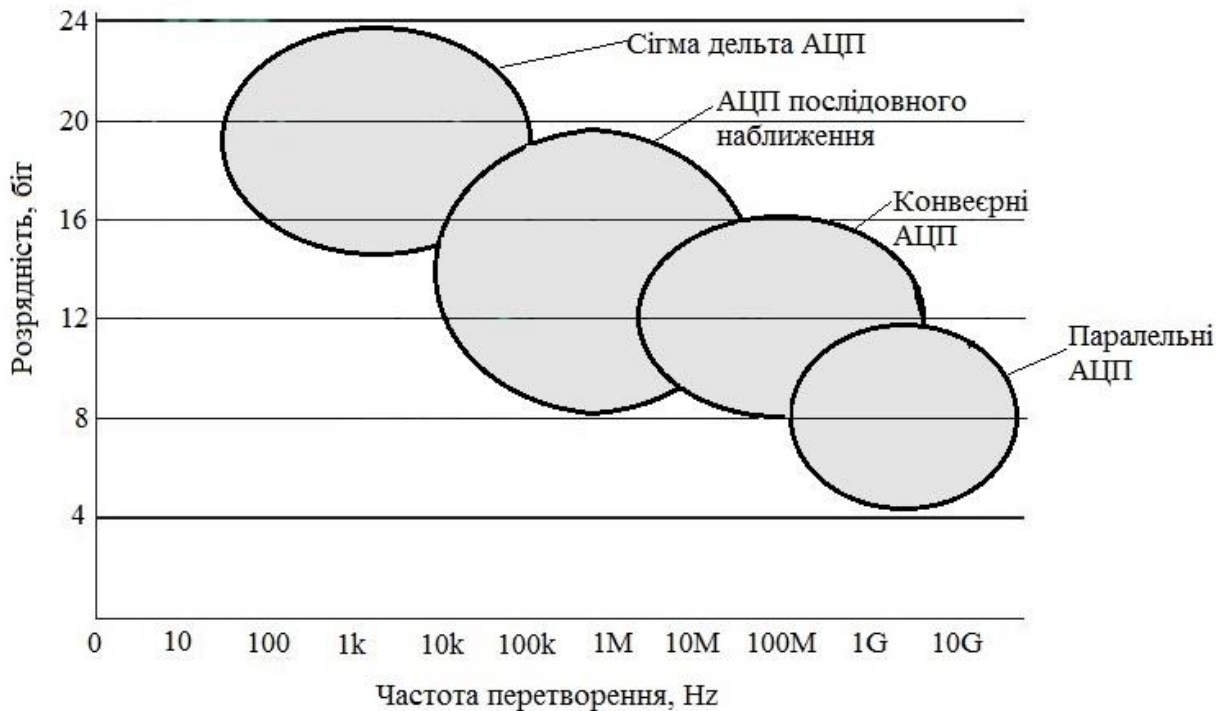


Рисунок 1 – Залежності розрядності в функції частоти перетворення для типових архітектур АЦП

Покращення параметрів АЦП порозрядного врівноваження можливе внаслідок:

1) удосконалення елементної бази, зокрема, за рахунок використання нових технологій, фізичних та хімічних процесів, допасування параметрів елементів та використання нових матеріалів при виготовленні інтегральних схем, проте недоліком є значна вартість та здатність матеріалів до деструкції;

2) введення структурної та інформаційної надлишковості в АЦП. Структурно-схемотехнічна надлишковість полягає в збільшенні кількості елементів АЦП для покращення заданих параметрів. Інформаційна надлишковість полягає в використанні систем числення з ваговою надлишковістю, особливістю яких є зони перекриття у шкалі систем числення, що призводять до нерозривності передатної характеристики перетворювачів на їх основі.

Проаналізовано відомі методи моделювання процесів АЦ перетворення, серед яких обґрунтовано застосування базового методу моделювання в алгоритмічній теорії вимірювання на основі індикаторних елементів, визначено його функціональні властивості та обмеження.

У другому розділі запропоновано метод порозрядного АЦ перетворення для застосування в системах управління технологічними процесами, в яких значення переметрів змінюються в заданому діапазоні  $(N_1, N_2)$ , визначеному специфікою технологічного процесу із статистично центрованим значенням

$$N_{12} = \frac{N_2 - N_1}{2}.$$

Повний діапазон перетворення значень даних  $[0, N_{max})$  поділяється на піддіапазони  $[0, N_{12})$  та  $[N_{12}, N_{max})$ . Замість АЦ перетворення значення  $N_x$ , що належить піддіапазону  $[0, N_{12})$ , здійснюється перетворення значення  $N_{trans} = N_{12} - N_x$ , одержаного внаслідок операції аналогового віднімання значення вхідного сигналу та визначеного значення середини діапазону, яке належить піддіапазону  $[N_1, N_{12})$ , тобто  $N_{trans} < N_x$ . Після перетворення  $N_{trans}$  значення  $N_x$  визначається за формулою:

$$N_x = N_{12} - N_{trans}.$$

У разі приналежності значення  $N_x$  піддіапазону  $[N_{12}, N_{max})$  здійснюється перетворення значення  $N_{trans} = N_x - N_{12}$ , яке належить піддіапазону  $[N_{12}, N_2)$ , тобто  $N_{trans} < N_x$ . Після перетворення  $N_{trans}$  перетворене значення  $N_x$  визначається за формулою:

$$N_x = N_{12} + N_{trans}.$$

Таким чином, основна ідея запропонованого методу полягає у здійсненні АЦ перетворення менших значень  $N_{trans}$  порівняно зі значеннями  $N_x$ , оскільки це дозволяє зменшити загальний час АЦ перетворення. Основою такого АЦ перетворення є відображення множини значень неперервної величини  $\tilde{A}$  у множину числових еквівалентів  $\mathbf{Z}$ . Множину  $\tilde{A}$  складають елементи  $U_h$ , значення яких отримано шляхом дискретизації в часі неперервної форми інформаційного процесу. Кожному з цих елементів ставиться у відповідність ціле число  $z$  діапазону  $[0, N_{max})$ .

$$z = \sum_{i=0}^{n-1} a_i w_i, \quad (1)$$

де  $a_i$  - елементи алфавіту  $\mathbf{A}$ ,  $w_i$  - еталонні міри.

Означення 1. Перетворення вигляду (1) при використанні алфавіту  $\{0; 1\}$  визначено *адитивним*.

Означення 2. Перетворення вигляду (1) при використанні алфавіту  $\{-1; 0; 1\}$  визначено *субтрактивно-адитивним*.

Здійснено класифікацію проаналізованих методів за такими ознаками:

- базис представлення числового еквіваленту (В);
- алфавіт коду перетворення (А);
- прямий напрям наближення до значення величини перетворення (Ts);
- зворотний напрям наближення до значення величини перетворення (Tr),

та запропоновано використовувати таке позначення методів АЦ перетворення:

$$\text{MIFT}(\mathbf{B}, \mathbf{A}, T_s, T_r).$$



Розроблено наступні методи адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення та побудовано алгоритмічні блок-схеми процесів врівноваження.

### 1. Метод адитивного перетворення MIFT(2, ABinSet, Ds, Dr).

Початковим є визначення різниці  $\Delta U = U_{trans} - (\sum U_{et})_y$ , яка порівнюється зі значенням напруги одиничного кванту  $(U_{et})_0$ , тим самим здійснюється контроль попадання значення перетворення в межі одиничного кванту  $0 \leq \Delta U < 1$  та завершується процес перетворення. В іншому випадку здійснюється формування суми

$$(\sum U_{et})_{y+1} = \begin{cases} (\sum U_{et})_y + (U_{et})_{n-y}, & \text{якщо } \Delta U \geq 1 \\ (\sum U_{et})_y - (U_{et})_{n-y+1} + (U_{et})_{n-y}, & \text{якщо } \Delta U < 0 \end{cases}$$

та визначаються коефіцієнти  $a_{n-y}$  коду перетворення

$$a_{n-y} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \Delta U \geq 0 \\ 0, & \text{якщо } \Delta U < 0 \end{cases}.$$

### 2. Метод адитивного перетворення MIFT(2, ABinSet, Is, Ir).

Процес порозрядного врівноваження здійснюється ітераційно, на кожному з кроків перетворення якого визначається різниця  $\Delta U = U_{trans} - (\sum U_{et})_y$ , значення якої одночасно порівнюється із значеннями  $U = 0$  та  $(U_{et})_0$ . Якщо  $0 < \Delta U < 1$ , то процес перетворення завершується. Інакше формується значення суми

$$(\sum U_{et})_{y+1} = \begin{cases} (\sum U_{et})_y + (U_{et})_r, & \text{якщо } \Delta U > 0 \\ (\sum U_{et})_y - (U_{et})_p, & \text{якщо } \Delta U < 0 \end{cases}$$

та визначаються значення розрядних коефіцієнтів коду перетворення

$$a_r = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \Delta U \geq 0 \\ 1, & \text{якщо } \Delta U < 0 \end{cases}, \quad a_p = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \Delta U < 1 \\ 1, & \text{якщо } \Delta U \geq 1 \end{cases}.$$

### 3. Метод субтрактивно-адитивного перетворення MIFT(2, S-ABinSet, Ds, Dr).

Процес врівноваження здійснюється ітераційно, на кожному з кроків якого визначається різниця  $\Delta U = U_{trans} - (\sum U_{et})_y$ , значення якої одночасно порівнюється з  $U=0$  та з  $(U_{et})_0$ . Якщо  $\Delta U > 0$ , то  $a_{n-y-1}=1$ , а також, якщо  $\Delta U < 1$ , то  $a_{n-y-2}=1$  і процес перетворення завершується. Інакше формується значення суми опорної напруги:

$$(\sum U_{et})_{y+1} = \begin{cases} (\sum U_{et})_y + (U_{et})_{n-y-1}^+, & \text{якщо } \Delta U \geq 1 \\ (\sum U_{et})_y + (U_{et})_{n-y-1}^-, & \text{якщо } \Delta U < 0 \end{cases}$$

#### 4. Метод субтрактивно-адитивного перетворення MIFT(3, S–ATernSet, Is, Ir).

Процес врівноваження складається з визначеної кількості кроків, на кожному з яких формується

$$(\sum U_{et})_{y+1} = \begin{cases} (\sum U_{et})_y + (U_{et})_{y+1}^+, & \text{якщо } \Delta U > 0 \text{ та } a_{y+1} = 0 \\ (\sum U_{et})_y - (U_{et})_{y+1}^-, & \text{якщо } \Delta U > 0 \text{ та } a_{y+1} = -1 \\ (\sum U_{et})_y - (U_{et})_{y+1}^+, & \text{якщо } \Delta U < 0 \text{ та } (a_{y+1} = 1 \text{ або } a_{y+1} = 0) \\ (\sum U_{et})_y + (U_{et})_{y+1}^-, & \text{якщо } \Delta U < 0 \text{ та } a_{y+1} = 0 \end{cases}$$

та визначається різниця  $\Delta U = U_{trans} - (\sum U_{et})_y$ , яка одночасно порівнюється з  $U=0$  та з  $(U_{et})_0$ . Якщо  $\Delta U > 0$ , то  $a_{y+1}=1$ , інакше, якщо  $\Delta U < 0$ , то  $a_{y+1}=0$ . Процес перетворення завершується, якщо  $0 < \Delta U < 1$  та  $a_{n-y-2} = 1$ .

**У третьому розділі** запропоновано метод моделювання процесів АЦ перетворення на основі ВРД як один із засобів моделювання, застосування якого дозволяє здійснити візуалізацію процесу АЦ перетворення та надати цілісну інформацію про перебіг процесу, а також здійснити кількісну оцінку параметрів швидкості перетворення досліджуваного методу. Розроблений метод є повною інтегрованою моделлю, яка відображає процес перетворення числових значень для всіх та кожного із квантів діапазону перетворення (рис. 2). Побудова ВРД здійснюється із застосуванням шкал порядку, тому

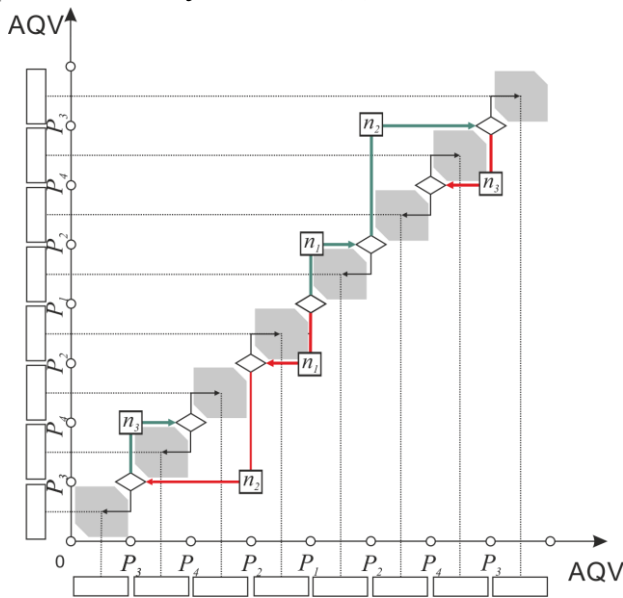


Рисунок 2 – Узагальнений приклад ВРД

умовою завершення процесу перетворення є визначення невідомого значення вхідного параметру перетворення, що знаходиться у відповідному проміжку одиничного кванту. Індикаторний елемент (ІЕ) як компонент порівняння, що формує по виходу два альтернативні результати згідно заданої умови на ВРД позначено як  $\diamond$ . Прийнято, що за умови стану  $0 (<)$  виходу ІЕ, вектор галуження керується вниз та ліворуч, якщо ж стан виходу ІЕ  $1 (\geq)$ , то скеровується вгору та праворуч до наступної точки прикладання ІЕ.

На векторах переходів в прямокутних полях визначено кількість квантів переходів та значення їх зміни в напрямках збільшення чи зменшення значень наступних точок прикладання ІЕ. Напівзатемненими областями визначено межі квантів діапазону перетворення як одиничні проміжки абсолютних значень. На рис. 2 зображено приклад узагальненої ВРД, на якій AQV - абсолютні значення квантів,  $P_n$  - точки прикладання індикаторних елементів,  $n_i$  - значення позиційних мір, що додаються/віднімаються.  $P_1$  є першою точкою прикладання ІЕ, в залежності від стану виходу якого здійснюється перехід на  $n_1$  одиниць до

точки  $P_2$  (в сторону збільшення або зменшення), з точки  $P_2$  до  $P_3$  на  $n_2$  одиниць, та з  $P_3$  до  $P_4$  на  $n_3$  одиниць.

Побудовано ВРД процесів порозрядного врівноваження для:

1. методу MIFT(2, ABinSet, Ds, Dr), зображеного на рис. 3а, згідно якого додавання позиційних мір здійснено в порядку від старших значень мір  $2^{n-1}$  до молодших  $2^{n-y}$  ( $2^{n-1}, 2^{n-2}, \dots, 2^{n-y}$ ) до  $y$ -го моменту врівноваження, на якому отримане значення суми мір  $\sum 2^i$  перевищує невідоме вхідне значенням  $z$ , внаслідок чого ІЕ по своєму виходу формує результат 0 (<). Зворотне перетворення здійснено шляхом віднімання останньої встановленої міри  $2^{n-y}$  із наступним встановленням міри  $2^{n-y-1}$  та порівнянням отриманого значення суми мір  $\sum 2^i$  з невідомим вхідним значенням  $z$ .

2. методу MIFT(2, ABinSet, Is, Ir), зображеного на рис. 3б, згідно якого додавання позиційних мір здійснюється в порядку від молодших значень мір  $2^0$  до старших  $2^y$  ( $2^0, 2^1, \dots, 2^{y-1}$ ) до  $y$ -го моменту порівняння, на якому отримане значення суми мір  $\sum 2^i$  перевищує невідоме вхідне значення  $z$ , внаслідок чого ІЕ по своєму виходу формує результат 0 (<). Зворотне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 2^i$  виконується шляхом віднімання попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від молодших значень  $2^0$  до старших  $2^{y-1}$  ( $2^0, 2^1, \dots, 2^{y-1}$ ) до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 2^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням  $z$  в точці прикладання ІЕ по своєму виходу формує результат 1 ( $\geq$ ).

3. методу MIFT(2, S-ABinSet, Ds, Dr), зображеного на рис. 3в, згідно якого адитивне додавання (або віднімання від'ємних) позиційних мір здійснюється в порядку від старших значень мір  $2^{n-1}$  до молодших  $2^y$ , ( $2^{n-1}, 2^{n-2}, \dots, 2^y$ ) до  $y$ -го моменту врівноваження, на якому отримане значення суми мір  $\sum 2^i$  перевищує невідоме вхідне значенням  $z$ , внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<). Субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 2^i$  виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від старших значень мір  $2^{n-1}$  до молодших значень  $2^0$ , ( $+(-2^{n-1}), +(-2^{n-2}), \dots, +(-2^0)$ ) до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 2^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням  $z$  в точці порівняння ІЕ по своєму виходу формує результат 1 ( $\geq$ ).

4. методу MIFT(3, S-ATernSet, Is, Ir), зображеного на рис. 3г, згідно якого додавання (або віднімання від'ємних) позиційних значень мір здійснюється в порядку від молодших значень мір  $3^0$  до старших значень  $3^{y-1}$  до  $y$ -го моменту порівняння, на якому отримане значення суми мір  $\sum 3^i$  перевищує невідоме вхідне значенням  $z$ , внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<). Зворотне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 3^i$  виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від молодших значень мір  $3^0$  до старших  $3^{y-1}$  ( $+(-3^0), +(-3^1), \dots, +(-3^{y-1})$ ) до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 3^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням  $z$  в точці врівноваження ІЕ по своєму виходу формує результат 1 ( $\geq$ ).



У четвертому розділі розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє здійснити моделювання процесів врівноваження на основі ВРД, визначити операційну складність та такі параметри методів АЦ перетворення:

- відображення ВРД, яка візуалізує перебіг процесу заданого методу АЦ перетворення;
- оцінку сумарної кількості кроків, що необхідна для знаходження всіх невідомих значень діапазону для  $n$ -розрядів вихідного коду перетворення;
- відображення перебігу процесу перетворення, що виконується для визначення кожного із значень діапазону перетворення (значення мір, що додаються/віднімаються);
- побудову діаграм залежності зміни кількості кроків від значення кванту перетворення для заданої розрядності  $n$ ;
- обчислення кількості кроків перетворення, необхідних для знаходження кожного із невідомих значень  $x$ .

Розроблено АЦП, що реалізує адитивний метод врівноваження MIFT(2, ABinSet, Is, Ir) в порядку від значень молодших розрядів  $a_0$  до старших  $a_{n-1}$  та зворотним перетворенням від значень молодших розрядів  $a_0$  до старших  $a_{n-1}$  (рис. 4). АЦП складається із диференціального підсилювача (ДП), трьох компараторів (комп.1-3), блоку керування (БК), модифікованого регістра послідовного наближення (МРПН), блоку формування вихідного коду (БФВК), субтрактора та цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). АЦП відрізняється від відомих схем наявністю трьох компараторів, які здійснюють порівняння величини перетворення зі значеннями 1, 0 та  $-1$  молодшого кванту перетворення.

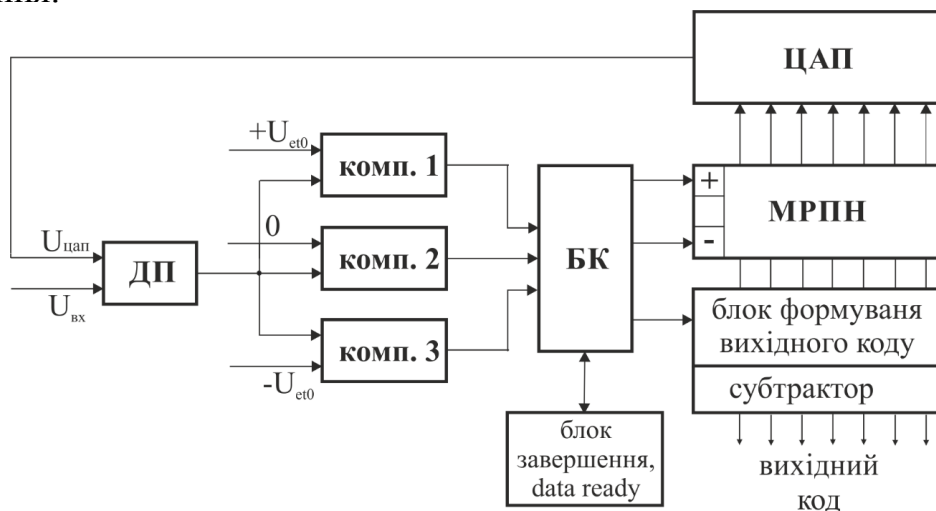


Рисунок 4 – Структура АЦП, що реалізує адитивний метод перетворення

Структура АЦП, який реалізує субтрактивно-адитивний трійковий метод MIFT(3, S-ATernSet, Is, Ir), наведена на рис. 5, складається із аналогового суматора ( $\Sigma$ ), диференціального підсилювача (ДП), трьох компараторів (комп.1-3), блоку керування (БК), модифікованих регістрів послідовного наближення (МРПН<sup>++</sup>) та (МРПН<sup>--</sup>), ЦАП<sup>++</sup> та ЦАП<sup>--</sup>. Особливістю АЦП є наявність двох спарених регістрів та ЦАП, одна пара «регістр-ЦАП<sup>++</sup>» з яких формує значення суми врівноваження зі знаком (+), а інша пара «регістр-ЦАП<sup>--</sup>» - зі знаком (-). Результуючі коди з виходів кожного з регістрів

поступають на блок формування вихідного коду і субтрактор, які формують результат перетворення.

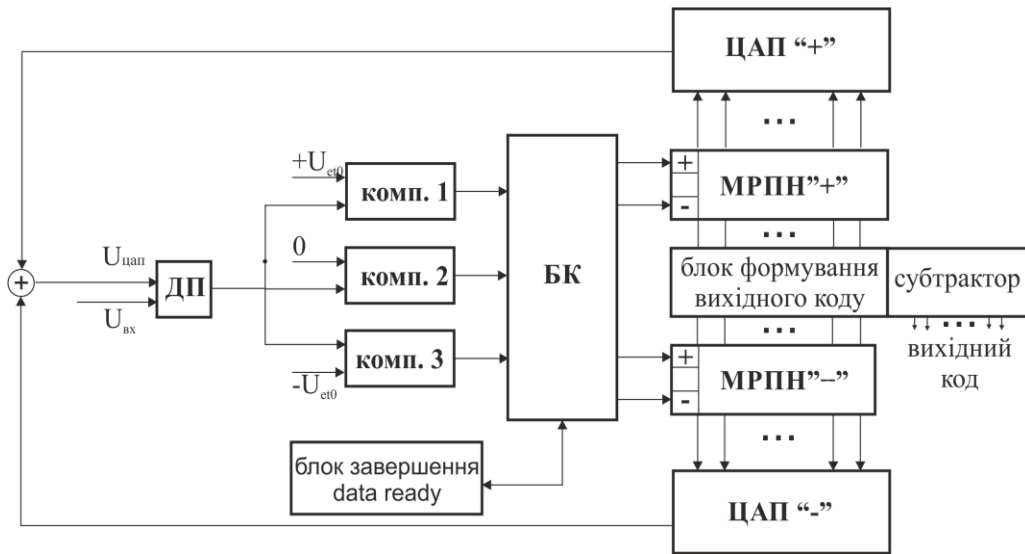


Рисунок 5 – Структура АЦП, що реалізує субтрактивно-адитивний метод перетворення

Розроблено пристрій для порозрядного АЦ перетворення за адитивним методом MIFT(2, ABinSet, Is, Ir), стек якого зображено на рис. 6.



Рисунок 6 – Стек АЦП

Здійснено декомпозицію схеми на два модулі: аналоговий та цифровий. Аналоговий модуль складають: диференційний підсилювач, компаратори 1÷3 та ЦАП. Цифровий модуль включає блок керування, модифікований регістр послідовного наближення, блок формування вихідного коду та субтрактор.

За результатами моделювання методів перетворення та отриманих значень коефіцієнтів збільшення швидкості порозрядного АЦ перетворення в

порівнянні з відомим методом врівноваження можна підсумувати, що адитивний метод врівноваження в порядку від молодших двійкових значень мір до старших забезпечує пришвидшення перетворення від 1,18 до 2,78 разів, адитивний метод врівноваження в порядку від старших значень двійкових мір до молодших - від 1,12 до 1,21 разів, субтрактивно-адитивний метод врівноваження в порядку від старших значень двійкових мір до молодших - від 1,12 до 1,21 разів, субтрактивно-адитивний метод врівноваження в порядку від старших значень двійкових мір до молодших - від 1,2 до 4,16 разів, адитивний метод врівноваження в порядку від молодших значень “фібоначівих” мір до старших - від 1,02 до 2,63 разів.

Для реалізації методу пришвидшеного порозрядного АЦ перетворення технологічних параметрів, що змінюються у межах визначеного діапазону, розроблено систему (рис. 7) з використанням запропонованого модифікованого АЦ порозрядного врівноваження.

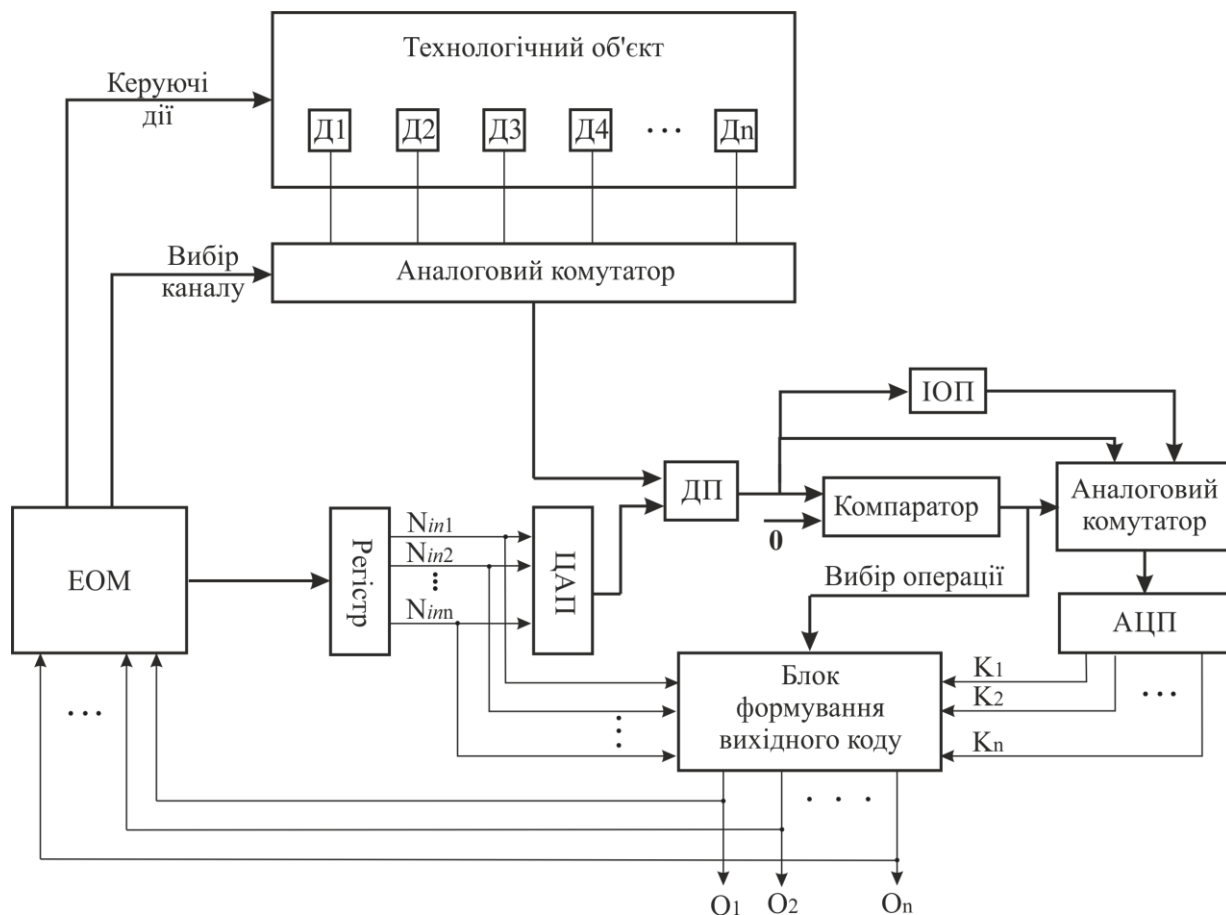


Рисунок 7 – Система двонаправленого пришвидшеного АЦ перетворення

Перевагою використання розробленого методу АЦ перетворення в багатоканальних інформаційно-вимірювальних системах є застосування пари регістр-ЦАП, яка формує код центрованого значення діапазону перетворення, що задається в системі та визначається окремо для кожного каналу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Запропоновано узагальнену модель ПФІ, яка враховує специфіку джерел інформації в системах управління технологічними процесами, згідно чого перетворенню підлягають приведені до визначеного піддіапазону значення  $N_{trans}$ , які є меншими порівняно зі значеннями  $N_x$ , що дозволяє зменшити час врівноваження та збільшити швидкодію АЦ перетворення.

2. Запропоновано та застосовано методи і математичні моделі процесів АЦ перетворення із врівноваженням в порядку як від старших до молодших, так і від молодших до старших ваг розрядів кодового представлення невідомого значення величини перетворення.

3. З метою візуалізації перебігу процесів АЦ перетворення розроблено метод моделювання на основі ВРД, що відображає інформацію про процес перетворення кожного із значень діапазону перетворення та дозволяє здійснити кількісну оцінку швидкодії аналізованого методу АЦ перетворення.

4. Запропоновано класифікацію методів АЦ перетворення за базисом представлення числового еквіваленту, алфавітом коду перетворення та напрямом наближення до значення, яке підлягає перетворенню, що дозволило визначити властивості і систематизувати відомі та розробити запропоновані методи АЦ-перетворення.

5. Запропоновано методи адитивного та субтрактивно-адитивного порозрядного АЦ-перетворення, які, на відміну від відомих методів порозрядного врівноваження, додатково здійснюють порівняння різниці значення величини перетворення та сформованої суми еталонних значень врівноваження зі значенням молодшої міри перетворення, що дозволило збільшити швидкодію процесу АЦ-перетворення.

6. Розроблено метод моделювання процесів АЦ перетворення на базі ВРД, за допомогою яких здійснено верифікацію запропонованих моделей, обґрунтовано їхню адекватність та проведено порівняльний аналіз ефективності розроблених методів порозрядного АЦ перетворення.

7. Розроблено програмний засіб «MIFT analyzer», який дозволяє здійснити моделювання процесів врівноваження відомих та запропонованих методів АЦ перетворення, а також кількісно оцінити операційну складність алгоритмів перетворення для різних розрядностей вихідних кодів перетворення.

8. Результати моделювання та визначення ефективності запропонованих і відомих методів порозрядного АЦ перетворення дозволили визначити, що адитивний метод врівноваження в порядку від молодших значень двійкових мір до старших забезпечує підвищення швидкодії від 1,18 до 2,78 разів, адитивний метод врівноваження в порядку від старших двійкових мір до молодших - від 1,12 до 1,21 разів, субтрактивно-адитивний метод врівноваження в порядку від старших двійкових мір до молодших - від 1,12 до 1,21 разів, субтрактивно-адитивний метод врівноваження зі старших двійкових мір до молодших - від 1,2 до 4,16, адитивний метод врівноваження в порядку від молодших "фібонначівих" мір до старших - від 1,02 до 2,63 разів.



**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. M. Petryshyn, T. Volchok and V. Goryelov, "Method of ternary subtractive-additive numbers presentation", *Zeszyty Towarzystw Naukowych AGH*, Nr 25, p. 197-202, 2012.
2. М.Л. Петришин та Л.Б. Петришин, "Аналіз ефективності застосування Фібоначчі-подібних методів кодування повідомлень", *Системи обробки інформації*, Вип. 4, №129, с. 49-58, 2015.
3. M. Petryshyn, "Modeling of the IFT processes in binary numeral systems based on the vector-branching diagrams", *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2017, p. 1077-1083. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100416.
4. М.Л. Петришин, "Моделювання процесів ПФІ в трійковій симетричній системі числення", *Системи обробки інформації*. Вип. 2, с. 60-65, 2017.
5. М.Л. Петришин та В.А. Ровінський, "Аналіз ефективності методів перетворення форми інформації в адитивних системах числення", Монографія: "Інформаційні технології: проблеми та перспективи", Розділ 18, с. 281-297, 2017.
6. М.Л. Петришин, "Порівняння методів перетворення форми інформації з нелінійним заповненням в двійковій системі числення", *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*, № 1 (57), с. 233-243, 2017.
7. М.Л. Петришин та В.А. Ровінський, "Моделювання процесів перетворення форми інформації із унітарним та розрядно-позиційним кодуванням", *Геометричне моделювання та інформаційні технології*: № 1 (3), с. 107-114, 2017.
8. М.Л. Петришин "Моделювання процесів перетворення форми інформації на основі чисел Фібоначчі", *Методи та прилади контролю якості*, № 1, с.127-133, 2017.
9. М.Л. Петришин та В.А. Ровінський, "АЦП порозрядного врівноваження для пришвидшеного перетворення технологічних параметрів.", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, Т.І., № 2 (39), с. 42-52, 2017.
10. Л.Б. Петришин та М.Л. Петришин, "Моделирование оптимального преобразования формы информации в троичном исчислении на примере взвешивания", *Всеукраїнська науково-практична конференція "Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки"*, Чернівці, 2012, с. 32-34.

11. M. Petryshyn, A. Izmailov, A. Kostiuk and T. Volchok, "Conditions of existence and properties of positional number systems", *Materiały 50 Konferencji Pionu Hutniczego*, Krakow, Polska, 2013, с. 72.

12. М.Л. Петришин та В.М. Юрчишин, "Графічне моделювання позиційних систем числення", *Еврика-2013*, Ів-Франківськ, 2013, с. 281-283.

13. Л.Б. Петришин та М.Л. Петришин, "Основи позиційних адитивних систем числення", *Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації*, Вінниця, 2013, с. 28-31.

14. Л.Б. Петришин та М.Л. Петришин, "Моделирование преобразования формы информации в симметричной троичной системе счисления", *Матеріали 20-ї міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика / Automatics – 2013»*, Миколаїв, 2013, с. 334-335.

15. М.Л. Петришин, "Ефективність кодування даних в четвірковій системі числення", *Всеукраїнська НПК аспірантів, молодих учених і студентів*. Івано-Франківськ, 2013, с. 77-79.

16. М.Л. Петришин, "Негапозиційні системи числення", *Еврика –2014*, Івано-Франківськ, 2014, с. 254-256.

17. М.Л. Петришин, "Аналіз ефективності методів та засобів ПФІ з використанням недвійкових кодових шкал", *Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії"*, Харків, 2015, с. 39.

18. М.Л. Петришин, "Аналіз можливості застосування субтрактивно-адитивного методу ПФІ в двійковій та четвірковій системах числення", *Інформатика, інформаційні системи та технології*, Одеса, 2015, с. 93-94.

19. М.Л. Петришин, "Первинне перетворення форми інформації в негапозиційних системах числення", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, Івано-Франківськ, 2015, с. 110-111.

20. М.Л. Петришин, "Застосування  $n$ -вимірних систем з відношеннями в моделюванні шкал ПФІ", *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції*, Харків, 2016, с. 170.

21. М.Л. Петришин, "Моделювання процесів ПФІ в позиційних адитивних системах числення на основі методу індикаторних моделей", *Науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання ІТКМ-2016»*, Івано-Франківськ, 2016, с. 82-84.

22. М.Л. Петришин, "Аналіз шкал вимірювання як основи первинного перетворення форми інформації", *"Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації"*, Вінниця, 2016, с. 137-139.

23. М.Л. Петришин, “Застосування векторно-розгалужуючих схем в моделюванні процесів ПФГ”, II Міжнародна конференція “Комп’ютерна алгебра та інформаційні технології”, Одеса, 2016, с. 56.

24. М.Л. Петришин, “Аналіз методів моделювання процесів ПФГ”, II Всеукраїнській НПК аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні» ІТМ-2017, Миколаїв, 2017, с. 74-75.

25. М.Л. Петришин та В.А. Ровінський, “Основи алгоритмічної теорії первинного перетворення форми інформації”, IX міжнар. науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії», Харків, 2017, с. 60.

26. М.Л. Петришин та В.А. Ровінський, “Метод двовимірного кодування даних за допомогою рекурсивних кодових систем”, Системи обробки інформації. Вип. 4, с. 56-58, 2016

## АНОТАЦІЯ

*Петришин М.Л.* Методи та засоби швидкого адитивного та субтрактивно-адитивного порозрядного аналого-цифрового перетворення. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – «Комп’ютерні системи та компоненти». - Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2018.

У дисертаційній роботі поставлена та вирішена актуальна задача підвищення швидкодії перетворення технологічних параметрів шляхом розробки методів та засобів адитивного та субтрактивно-адитивного порозрядного АЦ перетворення.

Запропоновано модель, яка враховує специфіку статистичного розподілу даних. Вперше запропоновано математичні методи та моделі процесів адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення, особливість яких полягає в тому, що вони дозволяють здійснити процес врівноваження в порядку із молодших значень ваг розрядів до старших та формування ознаки завершення процесу перетворення.

Запропоновано графічний метод аналізу алгоритмів на базі ВРД та побудовано ВРД для запропонованих методів порозрядного АЦ перетворення. Запропоновано здійснювати контроль попадання значення АЦ перетворення в суміжні межі кожного із  $\pm 1$  суміжних квантів перетворення та наведено ВРД для запропонованих методів АЦ перетворення

Розроблено програмний засіб, який дозволяє здійснити кількісну оцінку операційної складності методів АЦ перетворення. Проаналізовано результати моделювання процесів АЦ перетворення відомих і запропонованих методів та здійснено порівняння їх ефективності.

Розроблено структурні схеми АЦП порозрядного врівноваження на основі запропонованих методів адитивного та субтрактивно-адитивного

перетворення. Апаратно реалізовано адитивний АЦП. Розроблено систему двонаправленого пришвидшеного АЦ перетворення, метою якого є вимірювання технологічних параметрів, які змінюються в визначених діапазонах.

*Ключові слова:* аналого-цифровий перетворювач, порозрядне врівноваження, адитивний, субтрактивно-адитивний метод перетворення, векторно-розгалужена діаграма.

## ABSTRACT

*Petryshyn M.L.* Methods and devices of rapid additive and subtractively-additive bitwise analog-digital conversion. - Qualification scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation for the inception of Ph.D. degree in specialty 05.13.05 - «Computer systems and components». - Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2018.

In the dissertation work solved the urgent task of increasing the transformation speed of technological parameters through the development the methods and devices of the additive and subtractive-additive bitwise analog-digital conversion.

Proposed a model that takes into account the specificity of statistical data distribution. For the first time mathematical methods and models of additive and subtractive-additive analog- digital conversion processes are proposed, the peculiarity of these models is that they represent the balancing process, which starts in the order of the lower grades of digits and the formation of the sign of the completion of the conversion process.

The graphical method for analysis the algorithms complexity in the form of vector-branched diagrams (VBD) is proposed, VBD for the given methods is constructed. It is proposed to use the method of controlling the occurrence of adjacent boundaries of each of  $\pm 1$  quanta of conversion. The VBD, which implements this principle for the proposed methods of analog- digital conversion, is presented.

A software tool was developed that allows to obtains the quantitative parameters of conversion methods. The simulation results of the analog- digital processes of the proposed methods are analyzed and comparison of their effectiveness are made.

Structural schemes of successive approximation ADCs have been developed on the basis of the proposed additive and subtractive-additive conversion methods. The hardware implementation of the additive ADC is realized. A system of bidirectional accelerated analog- digital conversion is developed, the purpose of which is to measure technological parameters that change in the specified ranges.

*Keywords:* analog-to-digital converter, successive balancing, additive, subtractive-additive conversion, modelling, vector-branching diagram.

## АННОТАЦИЯ

*Петришин М.Л.* Методы и средства быстрого аддитивного и субтрактивно-аддитивного поразрядного аналого-цифрового преобразования. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - «Компьютерные системы и компоненты». - Винницкий национальный технический университет, Винница, 2018.

В диссертационной работе поставлена и решена актуальная задача повышения быстродействия преобразования технологических параметров путем разработки методов и средств аддитивного и субтрактивно-аддитивного поразрядного аналого-цифрового (АЦ) преобразования.

Проанализированы методы и средства АЦ преобразования, проведено сравнение их эффективности исходя из основных параметров, характеризующих процесс преобразования, а именно, время преобразования, разрядность, точность, габариты, стоимость преобразователя. Определено, что современные АЦП являются универсальными устройствами, которые нецелесообразно использовать для преобразования технологических параметров, изменяющихся в узких диапазонах.

Предложена модель преобразования, которая учитывает специфику статистического распределения данных, полученных от источников информации в системах управления технологическими процессами. Дано определение аддитивным и субтрактивно-аддитивным методам преобразования. Впервые предложены математические модели процессов аддитивного и субтрактивно-аддитивного АЦ преобразования, особенность которых заключается в том, что они представляют процесс уравнивания в порядке от младших до старших весов разрядов кодового представления числа и формированием признака завершения процесса преобразования. Усовершенствованы известные методы поразрядного аддитивного и субтрактивно-аддитивного АЦ преобразования.

Предложена классификация методов преобразования, которая охватывает известные, предложенные и перспективные методы преобразования, а также содержит формализованное описание новых методов. Классифицированы методы поразрядного АЦ преобразования по признакам: базис представления числового эквивалента; алфавит кода преобразования; направление хода уравнивания.

Разработаны методы аддитивного и субтрактивно-аддитивного преобразования, которые, в отличие от известных методов поразрядного уравнивания, предусматривают дополнительное сравнение разницы значения преобразования и суммы эталонных мер уравнивания со значением меры младшего разряда. Это обеспечивает формирование сигнала завершения процесса уравнивания и, как следствие, ускорение процесса АЦ преобразования.

Для анализа алгоритмов поразрядного АЦ преобразования предложен метод графического представления в виде векторно-разветвленных диаграмм (ВРД), который в своей основе использует индикаторное моделирование с возможностью приложения индикаторного элемента не только по стороне, противоположной расположению объекта исследования (аддитивный метод), но и по стороне расположения объекта исследования (субтрактивно-аддитивный), что интерпретируется в таком случае как изменение знака значения эталонной меры на противоположный с соответственно добавлением или вычитанием значения меры к или от значения позиции точки приложения индикаторного элемента. Построены ВРД как для известных классических, так и для разработанных методов поразрядного уравнивания. Предложено использовать метод контроля попадания в смежные границы каждого из  $\pm 1$  квантов преобразования. Приведены ВРД для предложенных методов АЦ преобразования.

Для осуществления расчета параметров методов поразрядного АЦ преобразования разработано программное обеспечение «MIFTAnalyzer», которое позволяет осуществить: визуализацию процесса преобразования выбранного метода, оценку суммарного количества шагов, необходимых для нахождения неизвестных значений диапазона, отображение хода процесса преобразования для определения каждого из значений диапазона преобразования, определение значений мер, которые суммируются/вычитаются, построение диаграмм зависимости изменения количества шагов от значения кванта преобразования для заданной разрядности  $n$ , а также вычисление количества шагов преобразования, необходимых для нахождения каждого из неизвестных значений  $x$ .

Выполнен расчет и получено количественную оценку операционной сложности алгоритмов преобразования. Проанализированы результаты моделирования процессов АЦ преобразования предложенных методов и проведено сравнение их эффективности.

*Ключевые слова:* аналого-цифровой преобразователь, поразрядное уравнивание, аддитивный, субтрактивно-аддитивный метод преобразования, векторно-разветвленная диаграмма.

Підписано до друку 17.02.2018. Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Друк різнографічний. Гарнітура Times New Roman. Авт. арк. 0,9.

Наклад 100. Видавець та виготівник «Симфонія форте» 76019,

м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2, тел. (0342) 77-98-92

---

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11.2008.