

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

ПЕТРИШИН МИХАЙЛО ЛЮБОМИРОВИЧ

УДК 681.325; 681.335; 004.94

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

**Методи та засоби швидкого адитивного та субтрактивно-адитивного  
порозрядного аналого-цифрового перетворення**

05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти»

технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

..... М. Л. Петришин

Науковий керівник Ровінський Віктор Анатолійович, канд. техн. наук, доцент.

Вінниця – 2018

## ЗМІСТ

ВСТУП.....		6
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1	Класифікація та основні технічні характеристики АЦП ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1.1	Порівняння ефективності методів АЦ перетворення .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1.2	Аналіз галузей застосування АЦП порозрядного врівноваження	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2	Підходи щодо покращення параметрів АЦП	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.1	Технологічний підхід покращення параметрів АЦП.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.2	Вдосконалення структур АЦП шляхом введення надлишковості	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3	Методи моделювання процесів порозрядного аналого-цифрового перетворення .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4	Визначення напрямку і формулювання задачі дослідження	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	Висновки до розділу 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
РОЗДІЛ 2	МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1	Узагальнена модель аналого-цифрового перетворення.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2	Математичні моделі процесів АЦ перетворення .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3	Моделі адитивного перетворення .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

- 2.4 Моделі субтрактивно-адитивного перетворення ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.5 Класифікація методів АЦ перетворення..... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.6 Методи АЦ перетворення..... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.6.1 Метод адитивного перетворення MIFT(2, ABinSet, Ds, Dr)..... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.6.2 Метод адитивного перетворення MIFT(2, ABinSet, Is, Ir)..... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.6.3 Метод субтрактивно-адитивного перетворення MIFT (2, S-ABinSet, Ds, Dr) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.6.4 Метод субтрактивно-адитивного перетворення MIFT(3, S-ATernSet, Is, Ir) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Висновки до розділу 2 ..... **Error! Bookmark not defined.**
- РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ПОРОЗРЯДНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.1 Метод моделювання алгоритмів порозрядного АЦ перетворення ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.2 Аналіз алгоритмів АЦ перетворення з вихідним унітарним кодом..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.2.1 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення із інкрементуванням значень вихідного унітарного коду **Error! Bookmark not defined.**
- 3.2.2 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення із декрементуванням значень вихідного унітарного коду **Error! Bookmark not defined.**
- 3.3 Аналіз алгоритмів АЦ перетворення з вихідним розрядно-позиційним кодом..... **Error! Bookmark not defined.**

- 3.3.1 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення з вихідним розрядно-позиційним кодом в зростаючому порядку формування числових значень врівноваження **Error! Bookmark not defined.**
- 3.3.2 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення з вихідним розрядно-позиційним кодом в спадаючому порядку формування числових значень врівноваження ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4 Аналіз алгоритмів АЦ перетворення за двійковими адитивними методами врівноваження ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4.1 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення за методом MIFT(2, ABinSet, Ds, Dr) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4.2 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення за методом MIFT (2, ABinSet, Is, Ir) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.5 Аналіз алгоритмів АЦ перетворення із субтрактивно-адитивним врівноваженням ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.5.1 Векторно-розгалужена діаграма АЦ перетворення за методом MIFT (2, S-ABinSet, Ds, Dr) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.6 Аналіз алгоритмів АЦ перетворення з трійковим субтрактивно-адитивним врівноваження ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.6.1 Векторно-розгалужена діаграма процесу АЦ перетворення за методом MIFT (3, S-ATernSet, Is, Ir) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.6.2 Моделювання процесу АЦ перетворення за методом MIFT (fibonacci, ABinSet, Is, Ir) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Висновки до розділу 3 ..... **Error! Bookmark not defined.**
- РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ШВИДКОГО АЦ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ **Error! Bookmark not defined.**
- 4.1 Структури АЦП порозрядного наближення... **Error! Bookmark not defined.**

- 4.1.1 Структура порозрядного адитивного АЦП **Error! Bookmark not defined.**
- 4.1.2 Структура порозрядного субтрактивно-адитивного АЦП ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.2 Структура системи двонаправленого пришвидшеного АЦ перетворення технологічних параметрів.....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.3 Програмний засіб для моделювання процесів АЦ перетворення ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.4 Результати моделювання методів АЦ перетворення ...**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4.1 Результати моделювання методу АЦ перетворення з вихідним унітарним кодом.....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4.2 Результати моделювання АЦ перетворення з вихідним розрядно-позиційним кодом .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4.3 Результати моделювання процесів АЦ перетворення за адитивними методами врівноваження .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4.4 Результати моделювання процесів АЦ перетворення за субтрактивно-адитивним методом врівноваження MIFT (2, S-ABinSet, Ds, Dr) .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4.5 Результати моделювання процесів ПФІ за субтрактивно-адитивним методом врівноваження MIFT (3, S-ATernSet, Is, Ir)**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4.6 Результати моделювання процесу АЦ перетворення на основі “фібоначчівих” еталонів за методом MIFT (fibonacci, ABinSet, Is, Ir) ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.5 Порівняльні оцінки операційної складності методів АЦ перетворення **Error! Bookmark not defined.**
- Висновки до розділу 4 .....**Error! Bookmark not defined.**
- ВИСНОВКИ .....**Error! Bookmark not defined.**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	13
ДОДАТКИ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ДОДАТОК А Приклади перебігу процесів АЦ перетворення	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ДОДАТОК Б Код програми для моделювання процесів адитивного та субтрактивно-адитивного АЦ перетворення .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ДОДАТОК В Технічна реалізація АЦП.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ДОДАТОК Д Результати моделювання процесів АЦ перетворення .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ДОДАТОК Е Акти впровадження результатів дисертаційної роботи .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Впровадження інформаційно-вимірювальних комп'ютерних систем є ключовим чинником, що забезпечує перехід на новий якісний рівень техніко-економічної ефективності підприємств народного господарства [1-3].

Застосування комп'ютерних систем вимагає постійного вдосконалення та покращення параметрів існуючих і розробки нових типів АЦП та ЦАП з метою забезпечення якісного та швидкого обміну повідомленнями в комп'ютерних мережах [4, 5]. Основними критеріями, яким повинні відповідати сучасні компоненти ПФІ комп'ютерних систем, є швидкодія, точність, надійність та низьке енергоспоживання за умови забезпечення стабільності характеристик під впливом зовнішніх збурень протягом тривалого часу експлуатації. Іншою обов'язковою вимогою є можливість інтегрального виконання в серійному виробництві та застосування в комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах [6, 7].

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій важливим питанням є розробка ефективних методів перетворення інформації та кодування цифрових повідомлень, які забезпечують розширення функціональних можливостей, підвищення швидкодії та надійності, спрощення апаратури, зменшення енергоспоживання та вартості виробництва і експлуатації компонентів АЦ перетворення в складі комп'ютерних систем [8].

Одним із перспективних напрямків вирішення цього питання є застосування функціонально адаптованих методів і засобів АЦ перетворення, що базуються на адитивному та субтрактивно-адитивному цифровому поданні інформації.

Проблематикою вирішення задач моделювання процесів АЦ перетворення, а також покращення техніко-економічних характеристик і розробки конкуруючих компонентів АЦ перетворення займаються наукові школи О.П. Стахова [9-11], О.Д. Азарова [7, 12-14], А.И. Кондалєва [6, 15-20], В.А. Багацького [21-23], В.О. Романова [24-26], З.Р. Мичуди [27-31], Г.Є. Пухова [32-35], Б.Й.Швецького

[36, 37], П.П. Орнатського [38-41], Я.М. Николайчука [42, 43], Н.В. Аліпова [44-47], Є.Т. Володарського [48, 49], В.Б. Смолова [50, 51], Э.И. Гітіса [53, 54] В.М. Шляндина [55-56], Ю.М. Туза [57], Е.-А.К. Багданскіса, А.-Й.К. Марцинкявічуса [58, 59] та інших.

Також питанням покращення характеристик АЦП займаються науковці зарубіжжя, зокрема: В. Кестер [61-63] з корпорації Analog Devices, Р.Дж. ван де Плаше та інші з Philips, а також співробітники науково-дослідних підрозділів корпорацій Texas Instruments Inc, Burr-Brown, Linear Technology Corporation, Intel Corporation [64-71].

Таким чином, актуальними науково-технічним завданням дисертаційного дослідження визначено розвиток теорії та методів розробки і впровадження апаратно-програмних засобів швидкого АЦ перетворення інформації та кодування повідомлень, які характеризуються конкуруючими техніко-економічними показниками порівняно з типовими рішеннями реалізації компонентів АЦ перетворення в складі комп'ютерних систем.

### **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», а також постанови Президії НАН України від 20.12.2013 № 179 «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), а також кафедри комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій Одеської державної академії технічного регулювання та якості при виконанні науково-дослідних робіт 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 на основі позиційних систем числення.

**Методи дослідження.** Для розв'язання задач дисертаційного дослідження використано основні 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 з візуалізацією процесу та результатів АЦ перетворення, основи теорії складності, що використані для оцінки алгоритмічної складності методів 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 пришвидшення процесу 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 процесу перетворення для всіх значень діапазону перетворення, що забезпечує

можливість здійснення кількісної оцінки операційної складності та тривалості процесу перетворення.

4. Вдосконалено структурні моделі АЦП, які, на відміну від відомих, містять елементи 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 складності алгоритму перетворення з метою обґрунтування вибору позиційної системи числення та методу порозрядного врівноваження, а також ефективного застосування компонентів, розроблених на їх основі, в спеціалізованих комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах.

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 та кафедри комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій Одеської державної академії технічного регулювання та якості.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати, які складають основний зміст роботи, отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: [72, 74] – метод субтрактивно-адитивного представлення чисел в трійковій системі числення, [75, 80] – метод моделювання процесів ПФІ на основі трійкової системи числення, [76] – аналіз властивості

позиційних систем числення для задач ПФІ, [78] – метод графічного моделювання процесів АЦ перетворення в позиційних системах числення, [79] – метод представлення даних в адитивних системах числення, [85, 86] – порівняльні оцінки ефективності застосування Фібоначчі подібних систем числення в задачах ПФІ, [97, 100] – результати моделювання методів АЦ перетворення.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційного дослідження доповідались й обговорювались на: 49-53 sesji SKN pionu hutniczego, Conference of Student's Scientific Circles AGH, (Krakow), 2012-2016; XIV International Scientific Conference «Corporate Governance - Theory and practice», Krakow, 2012; IV та V Міжнародній НПК «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації», Вінниця, 2013 та 2016; 23th IEEE Int. Crimean Conf. «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2013); Всеукраїнській науковій конференції «Сучасні проблеми теорії ймовірностей та математичного аналізу», Верховина, 2015; 12 та 14 Всеукраїнській конференції молодих науковців «Інформатика, інформаційні системи та технології», Одеса, 2015, 2017; Всеукраїнській НПК молодих вчених «Молодіжна військова наука у Київському національному університеті ім. Т. Шевченка», Київ, 2015; VIII, IX Міжнародній НПК «Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії», Харків, 2016 та 2017; XXIV Міжнародній НПК «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2016), Харків, 2016; V Міжнародній НПК «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» (ІТКІ-2015), Івано-Франківськ; Міжнародній НПК «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» (ІТКМ-2016, 2017), Івано-Франківськ; 2-й Міжнародній конференції «Комп'ютерна алгебра та інформаційні технології» (КАІТ-2016), Одеса, 2016; 16-й Міжнародній конференції «Проблеми інформатики і моделювання» (ПІМ-2016), Одеса, 2016; IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (IEEE UKRCON-2017), Kyiv, 2017; Міжнародній НПК молодих вчених «Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління» (CSYSC-2017), Івано-Франківськ, 2017.

**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 і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів з висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 218 с. загального обсягу, з яких 150 с. основного змісту, 53 рисунки, 21 таблицю, список бібліографічних посилань з 134 джерел, та додатки на 34 с. Зміст дисертації відображає результати досягнення мети та вирішення основних завдань, результати теоретичних та експериментальних досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. И. Кондалев, *Системные преобразователи формы информации*. Київ, Україна: Наукова думка, 1974.
2. В. М. Глушков, *Енциклопедія кібернетики*. Харків, Україна: Харківська книжна фабрика, 1972.
3. В. А. Багацкий, Ю. М. Грешищев, И. В. Самус и В. А. Фабричев, *Преобразователи формы информации с обработкой данных*. Київ, Україна: Наукова думка, 1992.
4. Э. И. Гитис, *Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств*. Москва, Энергия, 1970.
5. Е. П. Орнатский, *Автоматические измерения и приборы*. Київ, Україна: Вища школа, 1973.
6. А. И. Кондалев, *Вопросы проектирования преобразователей формы информации*. Київ, Україна: Наукова думка, 1977.
7. О. Д. Азаров, *Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення*: Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2004.
8. И. П. Кондаков, *Современный научно-технический прогресс. История естествознания и техники*. Москва: Книга, 1970.
9. А. П. Стахов, *Введение в алгоритмическую теорию измерения*. Москва: Советское радио, 1977.
10. А. П. Стахов, *Алгоритмическая теория измерения*. – Москва: Знание, 1979.
11. А. П. Стахов, “Обобщенные золотые сечения и новый подход к геометрическому определению числа”, *Украинский математический журнал*, том. 56, No. 8, 2004.
12. О. Д. Азаров, С. М. Захарченко та О. А. Архипчук, *Високо лінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю для систем реєстрації і оброблення сигналів*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2005.
13. О. Д. Азаров, *Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2010.

14. О. Д. Азаров, *Методи та засоби високоточного слідкувального аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2014.
15. А. И. Кондалев, *Скоросние преобразователи формы информации*. Київ, Україна: Наукова думка, 1976.
16. А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов и В. А. Фабричев, *Преобразователи формы информации для малых ЭВМ*. Київ, Україна: Наукова думка, 1982.
17. А. И. Кондалев, В. А. Багацкий и В. А. Романов, *Высокопроизводительные преобразователи формы информации*. Київ, Україна: Наукова думка, 1987.
18. А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, А. А. Марчук и Н. Н. Краснорущкая, “Аналого-цифровой преобразователь Ф5286”, *Управляющие системы и машины*, №4, 1983.
19. А. И. Кондалев, А. Н. Никитин та П. М. Сиверский, *Классификация методов и алгоритмов АЦП электрических напряжений*. Київ, Україна: Институт кибернетики АН УССР, 1969.
20. А. И. Кондалев, М. Е. Овчарук и П. М. Сиверский, *Некоторые особенности построения структур быстродействующих АЦП на туннельных диодах*. Київ, Україна: Институт кибернетики АН УССР, 1969.
21. В. А. Багацкий, Ю. М. Грешищев, И. В. Самус и В. А. Фабричев, *Преобразователи формы информации с обработкой данных*. Київ, Україна: Наукова думка, 1992.
22. В. А. Багацкий, И. В. Самус и В. И. Коновальский, *Вопросы проектирования и практического использования ПФИ в управляющих и вычислительных комплексах*. Київ, Україна: Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 1990.
23. В. А. Багацкий, П. С. Клочан, В. А. Романов и Л. В. Тесленко “Преобразователи формы информации: современное состояние и перспективы развития”, *Комп’ютерні засоби, мережі та системи*, №2, 2003.

24. А. В. Палагин, В. А. Романов, Ю. А. Брайко, П. С. Клочан, В. Н. Лаврентьев и В. А. Фабричев, *Микропроцессорный комплект гибридных интегральных схем для построения надежных систем управления*. Харьков, Украина: Электронное моделирование, 1993.
25. П. С. Клочан, В. Б. Реутов и В. А. Романов, *ГИС повышенной надежности и их метрологическое обеспечение*. Київ, Украина: Знание, 1990.
26. В. А. Романов, *Аналого-цифровые микропроцессоры в информационно-вычислительных и управляющих системах*. Київ, Украина: Знание, 1984.
27. З. Р. Мичуда, *Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі*. Львів, Украина: Простір, 2002.
28. Л. А. Матецька та З. Р. Мичуда, “Логарифмічний аналого-цифровий перетворювач з накопиченням заряду”, *Автоматика вимірювання та керування*, Львів, Украина: Вип. 389, 2000.
29. У. С. Антонів та З. Р. Мичуда, “Логарифмічні АЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках”, Київ, Украина: Автоматика/Automatics, 2011.
30. Z.Myczuda, U.Antoniw, L.Myczuda and A.Szczesniak, *Logarytmiczne przetworniki analogowo-cyfrowe z nagromadzeniem ładunku i impulsowym sprzężeniem zwrotnym*. ISSN 0033-2097, NR 8, 2013.
31. Z. Myczuda and U. Szczesniak, *Analiza prądów upływu logarytmicznego przetwornika analogowo-cyfrowego z sukcesywną aproksymacją*, ISSN 0033-2097, NR 5a, 2012.
32. Г.Е.Пухов, В.Ф.Евдокимов и М.В.Синьков, *Разрядно-аналоговые вычислительные системы*. Москва, Россия: Сов. радио, 1978.
33. Г.Е.Пухов, В.Д.Самойлов и В.В.Аристов, *Автоматизированные аналого-цифровые устройства моделирования*. Киев: Техніка, 1974.
34. *Вопросы теории и применения математического моделирования* / Под ред. И.М. Витенберга; Г.М. Петрова; Г.Е. Пухова, Москва: Сов. радио, 1965.
35. G. E. Pukhov, V. F. Evdokimov and M.V.Sin'kov, *Digital-Analog Computing Systems*. Moscow: Sov. Radio, 1978.



36. Б. И. Швецкий, *Электронные цифровые приборы*. Київ: Техника, 1981.
37. Б. И. Швецкий, *Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом*. Київ: Техника, 1970.
38. Е. П. Орнатский, *Теоретические основы информационно-измерительной техники*. Київ, Україна: Вища школа, 1983.
39. Е. П. Орнатский, *Автоматические измерения и приборы*. Київ, Україна: Вища школа, 1973.
40. Е. П. Орнатский, *Теоретические основы информационно-измерительной техники*. Київ, Україна: Вища школа, 1976.
41. Е. П. Орнатский, *Автоматические измерения и приборы*, 4-е изд. Київ, Україна: Вища школа, 1980.
42. Я. М. Николайчук, І. Р. Пітух та Н. Я. Возна, *Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем*. Тернопіль, Україна: Терно-граф, 2004.
43. Я. М. Николайчук, *Теорія джерел інформації*. Тернопіль, Україна: Терно-Граф, 2010.
44. Н. В. Алипов и В. М. Гусятин, “Алгоритм АЦП повышенной точности”, *Материалы II Всесоюзного симпозиума по проблемам создания преобразователей формы информации*. Киев, 1973.
45. Н. В. Алипов и В. М. Гусятин, “Об одном классе помехоустойчивых алгоритмов аналого-цифрового преобразования”, *Сборник “Приборы и системы автоматики»*, вып.31, Харьков.
46. Н. В. Алипов и В. М. Гусятин. “Моделирование помехоустойчивых алгоритмов аналого-цифрового преобразования”, *Сборник “Вопросы теории и проектирования преобразователей информации”*, Киев, 1974.
47. Н. В. Алипов и В. М. Гусятин, “Об одном алгоритме функционирования параллельно-последовательных преобразователей напряжение-код в условиях действия периодических помех”. *Сборник “Теория и автоматизация проектирования электрических цепей”*, Киев, 1975.
48. Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук та В. О. Поджаренко, *Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю*. Вінниця: Велес, 2001.
49. Є. Т. Володарський, Б. Н. Малиновский и Ю. М. Туз, *Планирование, организация измерительного эксперимента*. – Київ: Вища школа, 1987.

50. Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев и В. Б. Смолов, *Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем*. Ленинград: Энергоатомиздат, 1989.
51. В. Б. Смолов, *Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации*. Ленинград: Энергия, 1976.
52. С. Д. Хачатуров и В. П. Стокай, “Многоканальный преобразователь сигналов от термопар и термометров сопротивлений”, *Приборы и системы управления*. №8, с.40–43, 1972.
53. Э. И. Гитис, *Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств*. Москва: Энергия, 1970.
54. Э. И. Гитис и Е. А. Пискулов, *Аналого-цифровые преобразователи*. Москва: Энергоиздат, 1981.
55. В. М. Шляндин, *Цифровые измерительные преобразователи и приборы*. Москва.: Высшая. Школа, 1973.
56. В. М. Шляндин, *Цифровые электронно-измерительные приборы / Москва: Энергия, 1972.*
57. Ю. М. Туз *Структурные методы повышения точности измерительных устройств*. Київ: Вища шк. Головное изд-во, 1976.
58. А.-Й. К. Марцинкявичюс, Э.-А. К. Багданскис и Р. Л. Пошюнас, *Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров*. Москва: Радио и связь, 1988.
59. О. Н. Лебедев, А.-Й. К. Марцинкявичюс и Э.-А. К. Багданскис, *Микросхемы памяти, ЦАП и АЦП*. Москва: КУБК-а, 1996.
60. У. Кестер, *Аналого-цифровое преобразование*. Москва: Техносфера, 2007.
61. У. Кестер, *Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов*. Москва: Техносфера, 2010.
62. У. Кестер, “Входной шум АЦП: всегда ли нужно с ним бороться?” *Электронные компоненты и системы*, № 5, 2006.
63. У. Кестер, “Как правильно выбрать АЦП?”, *Электронные компоненты и системы*, № 12, 2005.

64. Analog devices, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.analog.com/en/parametricsearch/10785>
65. Maxim, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/data-converters.html>
66. MicroChip, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.microchip.com/design-centers/analog/data-converter>
67. SCD, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.semicondutoronline.com/hub/bucket/products>
68. NXP, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.nxp.com/products/media-and-audio-processing>
69. TI, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.ti.com/data-converters/adc-circuit/overview.html>
70. Linear, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.linear.com/products/Analog-to-Digital Converters>
71. Motorola, Successive Approximation ADC [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.motorolasolutions.com/content/ad-converorts>
72. M. Petryshyn, T. Volchok and V. Goryelov, "Method of ternary subtractive-additive numbers presentation", *Zeszyty Studenckih Towarzystw Naukowych*. Krakow, Polska: Wydawnictwo STN AGH, Nr 25, 2012.
73. M. Petryshyn, "Cantor set as measurement base of ternary number system", *Materiały XLIX Konferencji Pionu Hutniczego*. Krakow, Polska: Wydawnictwo STN AGH, 2012.
74. M. Petryshyn and T. Volchok, "Method of ternary subtractive-additive numbers presentations", *Materiały XLIX Konferencji Pionu Hutniczego*. Krakow, Polska: Wydawnictwo STN AGH, 2012.
75. Л. Б. Петришин и 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, Україна: ЧНУ ім. Ю. Федьковича, 2012.

76. 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: Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego, 2013.
77. Л. Б. Петришин и М. Л. Петришин, “Синтез системы дискретных рекурсивных функций и свойства систем рекурсивного кодирования данных”, *Системи обробки інформації*. Харків, Україна, 2013.
78. М. Л. Петришин та В. М. Юрчишин, “Графічне моделювання позиційних систем числення”, *Еврика-2013*, Ів-Франківськ, Україна: ПНУ, 2013.
79. Л. Б. Петришин та М. Л. Петришин, “Основи позиційних адитивних систем числення”, *Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації*, Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2013.
80. Л. Б. Петришин и М. Л. Петришин, “Моделирование преобразования формы информации в симметричной троичной системе счисления”, *Матеріали 20-ї міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика / Automatics – 2013»*, Миколаїв, Україна: Видавництво Національного університету кораблебудування. 2013.
81. М. Л. Петришин, “Ефективність кодування даних в четвірковій системі числення”, *Всеукраїнська НПК аспірантів, молодих учених і студентів*. Івано-Франківськ, Україн : ІФНТУНГ, 2013.
82. T. Volchok, M. Petryshyn, A. Izmailov and A. Kostiuk, “Signal decomposition techniques on ternary symmetrical functions”, *Materiały 51 Konferencji Pionu Hutniczego*, Krakow, Polska. Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego, 2014.
83. М. Л. Петришин, “Негапозиційні системи числення”, *Еврика –2014*, Івано-Франківськ, Україна: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2014.
84. 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, Україна: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015.

85. М. Л. Петришин та Л. Б. Петришин, “Аналіз ефективності застосування Фібоначчі-подібних методів кодування повідомлень” *Системи обробки інформації*, Харків, Україна: Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Вип. 4(129), 2015.

86. М. Л. Петришин та Л. Б. Петришин, “Эффективность применения Фибоначчи-подобных систем счисления”, *Информационные технологии и защиты информации в информационно-коммуникационных системах*: Харків, Україна :ТОВ «Щедра сидиба плюс», 2015.

87. М. Л. Петришин, “Аналіз можливості застосування субтрактивно-адитивного методу ПФІ в двійковій та четвірковій системах числення”, *Інформатика, інформаційні системи та технології*, Одеса, Україна ПНПУ імені К.Д.Ушинського; ОНУ імені І.І.Мечникова, 2015.

88. М. Л. Петришин, “Первинне перетворення форми інформації в негапозиційних системах числення”, *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, Івано-Франківськ, 2015.

89. М. Л. Петришин та В. А. Ровінський, “Метод двовимірного кодування даних за допомогою рекурсивних кодових систем”, *Системи обробки інформації*. Вип. 4, 2016.

90. 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.

91. 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.

92. 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.

93. М. Л. Петришин, “Аналіз шкал вимірювання як основи первинного перетворення форми інформації” *“Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації”* Вінниця: ВНТУ, 2016.

94. М. Л. Петришин, “Застосування векторно-розгалужуючих схем в моделюванні процесів ПФІ” II *Міжнародна конференція “Комп'ютерна алгебра та інформаційні технології”*, Одеса, 2016.

95. М. 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)*, Kyiv, Ukraine, 2017.

96. М. Л. Петришин, “Моделювання процесів ПФІ в трійковій симетричній системі числення”, *Системи обробки інформації*. Харків, Україна: Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Вип. 2, 2017.

97. М. Л. Петришин та В. А. Ровінський, “Аналіз ефективності методів перетворення форми інформації в адитивних системах числення” *Інформаційні технології: проблеми та перспективи*: Харків :Рожко С. Г., 2017.

98. М. Л. Петришин, “Аналіз методів моделювання процесів ПФІ”, II *Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні» ІТМ-2017*, Миколаїв, Україна, 2017.

99. 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»*, Хмельницький, №1 (57), 2017.

100. М. Л. Петришин та В. А. Ровінський, “Моделювання процесів перетворення форми інформації із унітарним та розрядно-позиційним кодуванням” *Геометричне моделювання та інформаційні технології*: No 1 (3), Миколаїв, 2017.

101. М. Л. Петришин, “Моделювання процесів перетворення форми інформації на основі чисел фібоначчі”, *Методи та прилади контролю якості*, Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, № 1, 2017.
102. Відділ перетворювачів форми інформації [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.dasd.com.ua/depart.php>.
103. Г. Д. Бахтиаров, В. В. Малинин и В. П. Школин, *Аналого-цифровые преобразователи. Проектирование электронной аппаратуры на интегральных микросхемах*. Москва: РСА, 1980.
104. Н. И. Алишов и др., *Справочник по персональным ЭВМ*. Київ, Україна: Техника, 1990.
105. Б. Г. Федорков и В. А. Телец, *Микросхеми ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение*. Москва, Энергоатомиздат, 1990.
106. Maxim; Understanding Pipelined ADCs [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.maximintegrated.com/en/storefront/storefront.html>
107. Maxim; Understanding Flash ADCs [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/id/810>
108. Maxim; Understanding SAR ADCs: [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/id/1080>
109. Maxim; Demystifying Sigma-Delta ADCs, [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/id/1870>
110. Г. М. Петров, *Преобразование информации в аналого-цифровых вычислительных системах и устройствах*. Москва, Россия: Машиностроение, 1973.
111. М. П. Цапенко, *Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы системотехническое проектирование*. Москва: Энергоатомиздат 1985.
112. О. В. Шишов, *Аналого-цифровые каналы микропроцессорных систем управления : учебное пособие*. Берлин: Директ-Медиа, 2015
113. А. В. Андрусевич, *Многоканальные АЦП с одновременным сэмплингом*, Санкт Петербург: НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ №5, 2008, 8-12.

114. Microcontrollers and Microprocessors [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.renesas.com/en-us/products/microcontrollers-microprocessors/rx/rx200/rx21a.html>.
115. STM32 32-bit ARM Cortex MCUs [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f3-series.html>
116. PIC Microcontrollers [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F87J72>
117. Е. Вакс, М. Миленский и Л. Сапрыкин, *Практика прецизионной лазерной обработки*, Litres, 2017.
118. Д. А. Борейко и А. И. Тюменцев, *ЭЛЕКТРОНИКА И СВЧ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА*. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова Т.2 2015 С.
119. О. І. Білоус, С. А. Єфименко та А. С. Турцевич, *Напівпровідникова силова електроніка*, Москва: Техносфера, 2013.
120. N. Martin and S. O'Driscoll, "Match enhancement in SAR ADCs by algorithmic unit capacitor assignment", *Circuits and Systems (ISCAS) 2014 IEEE International Symposium*, 2014.
121. V. Giannini, P. Nuzzo, V. Chironi, A. Baschiroto, G. Van der Plas and J. Craninckx, "An 40MS/s Noise-Tolerant Dynamic-SAR ADC in 90nm Digital CMOS", *ISSCC Dig. Tech. Papers*, 2008.
122. C.-C. Liu, "A 10b 100MS/s 1.13mW SAR ADC with binary-scaled error compensation", *Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC)*, 2015.
123. А. П. Стахов и др., *Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления*: Київ, Україна: УМК ВО, 1988.
124. M. McLaughlin, M. McCullagh and C. McElroy, "Adaptive ternary A/D converter for use in an ultra-wideband communication system", *US 9325338 B2*, 26 Apr 2016
125. И. Я. Депман, *Возникновение системы мер и способов измерения величин*. Москва, Россия: Учпедгиз, 1956.



126. В. Л. Шило, *Популярные цифровые микросхемы*. Москва, Россия: Радио и связь, 1988.
127. П. А. Арутюнов, *Теория и применение алгоритмических измерений*. Москва: Энергоатомиздат, 1990.
128. Т. Х. Маргулова и др., *Атомная энергетика сегодня и завтра*. Москва: Высшая школа, 1989.
129. Г. П. Богданов и др., *Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники*. Москва: Радио и связь, 1990.
130. Д. А. Иванников и Е. Н. Фомичев, *Основы метрологии и организации метрологического контроля*. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет, 2001.
131. П. Г. Баннов, *Процессы переработки нефти*. Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 2000.
132. Технология получения кремния методом плавки [Электронный ресурс]. Доступно: <http://dssp.petrstu.ru/~ivash/ims/t18/tehno.HTM>
133. Л. Б. Петришин и А. А. Борисенко “К определению свойств унитарной системы счисления.”, *Электроника и системы управления*, Київ, Україна: Национальний Аэрокосмический Университет, № 3 (17), 2008.
134. Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев и Е. П. Угрюмов, *Проектирование систем на микросхемах программируемой логики*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2002.