

67-72-39/1
09.04.19

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Саченка А.О.

на дисертацію Мичуди Лесі Зиновіївни

**„ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
НА КОМУТОВАНИХ КОНДЕНСАТОРАХ”,**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації

В умовах тотальної автоматизації та роботизації технологічних процесів на базі комп’ютерно-інтегрованих технологій проблема контролю за технологічними параметрами є надзвичайно важливою.

Вирішення цієї проблеми можливе на загал за умови розвитку та осучасненню технічної бази як первинних сприймаючих чутливих елементів давачів тих технологічних параметрів, так і вторинних перетворювачів, до яких відносяться аналого-цифрові перетворювачі. Очевидно, такі перетворювачі повинні забезпечувати високу точність і швидкодію перетворення. Тут вельми перспективним є побудова таких перетворювачів з застосуванням схем на комутованих конденсаторах, що потребує додаткових досліджень. Окремо в цій проблемі стоїть задача розширення функціональних можливостей аналого-цифрових перетворювачів, зокрема розширення: кількості вхідних сигналів, виконання певних функцій над вхідними сигналами: множення, ділення, чи степеневі перетворення. А це вже новий клас перетворювачів – аналого-цифрові функціональні перетворювачі. Отже тут слід розробити методологію побудови аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах під їх задані характеристики, розкрити та дослідити можливості таких перетворювачів, показати та реалізувати їх переваги.

Дисертаційна робота Мичуди Л. З. якраз і присвячена розв’язанню цієї важливої науково-технічної проблеми, вирішення якої сприятиме підвищенню точності вимірювання технологічних параметрів, зокрема при автоматизації та роботизації технологічних процесів. Таким чином, дисертаційна робота Мичуди Л. З. є актуальною.

Зв’язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Дисертаційна робота виконувалася згідно з тематичними планами проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Національного університету „Львівська політехніка” при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт.

Як видно з поданих в дисертації даних Мичуда Л. З. була безпосереднім виконавцем трьох таких робіт.

Структура та зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Основний зміст викладено на 295 сторінках. 53 сторінки займають 14 таблиць і 132 рисунки. Список використаних джерел із 302 найменуваннями наведений на 36 сторінках. 4 додатки наведено на 108 сторінках.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, окреслено проблему та обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, висвітлено наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок здобувача в отриманні результати, подано відомості про їх апробацію, публікацію та впровадження.

Перший розділ присвячено аналізу існуючого стану наукового та технічного забезпечення аналого-цифрового перетворення, проведено огляд методів і засобів аналого-цифрового та функціонального перетворення, характеристик аналого-цифрових функціональних перетворювачів і запропоновано їх класифікацію.

Сформульовані основні напрямки дослідження.

Другий розділ присвячено методологічним засадам створення нових методів і принципів побудови аналого-цифрових функціональних перетворювачів, що базуються на поєднанні структурних та алгоритмічних принципів підвищення точності та швидкодії аналого-цифрового перетворення на основі властивостей конденсаторних комірок.

Запропоновані методологічні засади побудови аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах поєднують структурні методи щодо реалізації перетворювача, зокрема шляхом зміни основи логарифмування і співвідношення ємностей, та алгоритмічні методи, зокрема шляхом вибору числа піддіапазонів перетворення, кількості та величини кроків на кожному з них.

При цьому співвідношення ємностей конденсаторів комірок в схемі перетворювача визначатиме основу логарифмування, що безпосередньо впливає на похибку перетворення, а вибір числа кроків перетворення, величини кроку, а також поділ усього діапазону перетворення на відповідні піддіапазони, впливають і на точність і на швидкодію перетворення.

В роботі наведено різні варіанти реалізації запропонованого підходу щодо побудови аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах. Оригінальним, зокрема, є варіант такого перетворювача, в якому весь діапазон перетворення ділиться на декілька піддіапазонів і на кожному з них встановлюються інша основа логарифму та величину кроку, що дозволяє оптимізувати характеристики перетворювача.

Окремо слід відзначити, що в цьому розділі запропоновано нові методи аналого-цифрового функціонального перетворення: метод аналого-цифрового багатофункціонального та багатовходового перетворення; метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення різниці двох вхідних напруг; рекурентний метод аналого-цифрового функціонального перетворення; метод аналого-цифрового функціонального перетворення із змінною основою

логарифма; метод логарифмічного аналого-цифрового функціонального перетворення із змінною основою логарифма та особливою реалізацією процесу зрівноваження. Запропоновано також новий принцип побудови інтерполюючих логарифмічних аналого-цифрових перетворювачів.

Третій розділ присвячений розробці алгоритмів функціонування запропонованих методів аналого-цифрового функціонального перетворення та комп'ютерному моделюванню роботи перетворювачів, побудованих за цими методами.

В результаті комп'ютерного моделювання роботи аналого-цифрових функціональних перетворювачів по кожному з запропонованих методів встановлені показники точності та часу перетворення, які теоретично можуть бути досягнуті за умови незмінності технічних характеристик елементів, задіяних в схемах перетворювачів, та за умови відсутності впливових шумів, завад тощо. Встановлена також залежність показників точності та часу перетворення від розрядності основних елементів перетворювачів.

Встановлені в результаті комп'ютерного моделювання роботи аналого-цифрових функціональних перетворювачів показники їх точності та часу перетворення є вкрай потрібними для конструювання таких перетворювачів.

Четвертий розділ присвячений важливому питанню, а саме – дослідженню впливу шумів і завад на аналого-цифрові функціональні перетворювачі на комутованих конденсаторах. Це дослідження виконано шляхом моделювання впливу шумів і завад на аналого-цифрові функціональні перетворювачі.

Проведене дослідження впливу різних шумів на аналого-цифрові функціональні перетворювачі на комутованих конденсаторах дало змогу встановити:, що домінуючий вплив тут мають такі шуми як тепловий і дробовий. Флікер-шумом в більшості практичних застосувань можна знехтувати, оскільки такі перетворювачі зазвичай працюють на частотах понад 10 кГц. Для зручності дослідження та оцінки рівня шумів використано такий відомий спеціальний параметр як ефективна шумова температура.

Вищевказані дослідження виконано для кожного із запропонованих нових методів аналого-цифрового функціонального перетворення. При цьому в кожному такті перетворення конкретного аналого-цифрового перетворювача виділяються окремі фази його роботи і для кожної з них створюється відповідна шумова модель. Шумова модель вже враховує шуми кожного з функціональних вузлів чи елементів аналого-цифрового перетворювача, наприклад конденсаторної комірки, буферного каскаду та компаратора тощо. А далі згідно з правилом середньгеометричного сумування знаходиться значення шуму (можливої невизначеності заряду) в кожній фазі роботи перетворювача. За значеннями ж шуму (можливої невизначеності заряду) в кожній фазі роботи перетворювача відтак знаходять значення шуму (можливої невизначеності заряду) аналого-цифрового функціонального перетворювача.

Виконані дослідження вважаю досить оригінальними і такими, що підтверджують технічні переваги запропонованих аналого-цифрових функціональних перетворювачів.

Слід окремо відзначити, що запропонована методика визначення впливу шумів і завад на аналого-цифрові функціональні перетворювачі на комутованих конденсаторах є універсальною і може бути застосована при побудові таких перетворювачів на інших функціональних вузлах чи елементах аналого-цифрового перетворювача.

Результати дослідження можуть бути застосовані при проектуванні аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах..

П'ятий розділ присвячено реалізації нових структурних і функціональних схем аналого-цифрових функціональних перетворювачів на базі запропонованих методів перетворення. Зокрема розроблені та досліджені багатофункціональні перетворювачі для визначення різниці, перетворювачі із змінною основою логарифму, перетворювачі рекурентні, інтерполюючі та з накопиченням заряду та імпульсним від'ємним зворотним зв'язком.

Наведено результати фізичного моделювання, які підтверджують задекларовані показники точності та швидкодії.

Експериментальні дослідження підтвердили основні теоретичні положення, покладені в основу дисертаційної роботи.

Завершують роботу **висновки, список першоджерел**, на які є посилання в роботі, та **додатки**.

До речі, в додатках автор, поряд з представленням відповідних актів, розрахунків тощо, подає багато цікавої інформації, зокрема, прикладної – це, по суті, продовження дисертаційної роботи.

Наукова новизна.

До найбільш суттєвих наукових результатів дисертаційної роботи, на наш погляд, відносяться:

1. Вперше розроблено методологічні засади побудови аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах, які поєднують структурні методи щодо реалізації перетворювача шляхом зміни основи логарифмування та співвідношення ємностей і алгоритмічні методи шляхом вибору числа піддіапазонів перетворення, кількості та величини кроків на кожному з них, що відкриває нові можливості підвищення точності та швидкодії перетворювачів.
2. Вперше розроблено метод багатофункціонального аналого-цифрового перетворення, який відрізняється паралельним в часі опитуванням усіх логарифматорів, що дало змогу звести час перетворення до часу перетворення одного з логарифматорів, а також в часі перетворення реалізувати: операції множення та ділення, степеневі функції або корені з високими показниками порядку одиниць – десятків.
3. Вперше запропоновано метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення різниці двох вхідних напруг, який відрізняється паралельним в часі перетворенням напруги – зменшуваного шляхом перерозподілу заряду та напруги – від'ємника шляхом накопичення заряду у пасивній конденсаторній комірці, що дало змогу підвищити точність порівняно з

традиційним підходом, коли спершу визначають різницю цих напруг, а потім її логарифмують.

4. Вперше запропоновано метод логарифмічного аналого-цифрового функціонального перетворення, який відрізняється тим, що на першому піддіапазоні значення компенсуючої напруги порівнюється зі значенням вхідної напруги, а на наступних – з мінімальним значенням компенсуючої напруги на попередньому піддіапазоні, що дало змогу спростити схемне рішення, зменшивши число запам'ятовуваних величин, та підвищити точність перетворення.
5. Вперше розроблено математичні моделі та алгоритми функціонування аналого-цифрових функціональних перетворювачів, які засновані на запропонованих методах перетворення.
6. Отримав подальший розвиток метод рекурентного функціонального аналого-цифрового перетворення, який відрізняється багатократним звертанням до еталону старшого розряду, що дало змогу суттєво зменшити кількість зразкових величин і підвищити швидкодію перетворення.
7. Отримав подальший розвиток принцип дії інтерполюючих логарифмічних аналого-цифрових перетворювачів, який відрізняється застосуванням явища перозподілу заряду на етапі грубого перетворення і явища накопичення заряду на етапі точного перетворення, що дало змогу спростити алгоритм і підвищити швидкодію перетворення внаслідок виключення необхідності відтворення на етапі грубого перетворення попереднього рівня компенсаційної напруги.
8. Отримав подальший розвиток метод оцінки значення шуму (можливої невизначеності заряду) аналого-цифрового функціонального перетворювача, яка відрізняється універсальністю і може бути застосована при побудові таких перетворювачів на інших функціональних вузлах чи елементах аналого-цифрового перетворювача.

Практичне значення отриманих в дисертації результатів

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані нові наукові результати і теоретичні положення дали змогу:

1. Розробити, дослідити та впровадити ряд нових аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах, які захищені патентами України і Польщі на винаходи (акти впровадження наведені в Додатку 1).
2. Розробити та застосувати програми комп'ютерного моделювання для оцінки похибок і часу перетворення аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах.
3. Розробити та застосувати методику оцінки значення шуму (можливої невизначеності заряду) аналого-цифрового функціонального перетворювача, яка сумісно з програмами комп'ютерного моделювання для оцінки похибок і часу перетворення дозволяє оцінити остаточні характеристики точності таких перетворювачів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації та достовірність отриманих результатів

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, достатньо чітким формулюванням мети і вибором методів досліджень, використанням широко апробованих методів математичної статистики, фундаментальних положень математичного аналізу та фізики, теорії похибок вимірювання, а також результатами теоретичних і експериментальних досліджень та випробуванням аналого-цифрових функціональних перетворювачів і оцінкою їх характеристик.

Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях. Впровадження результатів дослідження

Основні положення та результати дисертаційної роботи викладені у 57 наукових працях, а саме – 4 статті, що входять до міжнародних наукометричних баз (1 стаття у закордонному виданні), 24 наукових статтях у фахових виданнях, 16 публікаціях матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, 6 патентах та 2 заявках України на винаходи та 1 патенті Польщі на винахід.

Результати дисертації були використані та впроваджені при виконанні низки держбюджетних тем, а також в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка».

Все це додатково підтверджує практичну цінність роботи.

Доцільно рекомендувати більш широке використання результатів виконаних досліджень в практиці проектування та експлуатації аналого-цифрових функціональних перетворювачів,

Дисертація Мичуди Л. З. „Теорія та практика аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах” є завершеною науковою працею.

Слід окремо відзначити, що дисертація написана доброю технічною українською мовою та оформлена відповідно до діючих вимог. Робота добре ілюстрована, хоча трохи перевантажена зайвим матеріалом. Місцями автор міг би бути більш лаконічним (відчувається викладацький досвід та звичка все докладно пояснювати).

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, які встановлені відповідними нормативними документами до авторефератів.

По змісту дисертації є наступні зауваження:

1. В розділі 2 запропоновано ряд нових аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах, результати дослідження яких

наведені в наступних розділах. Слід було би доповнити роботу порівняльним аналізом цих аналого-цифрових функціональних перетворювачів та визначити пріоритетні сфери їх застосування.

2. Одним з основних недоліків дисертації є те, що не пояснено методику оцінки похибок пропонованих функціональних АЦП. Зокрема, відомо, що 10-ти розрядний АЦП має одиницю молодшого розряду, рівну 0,1%, тому похибка квантування рівна 0,1%. А у дисертації стверджується, що «зведена похибка вихідного коду для 10-ти розрядного перетворювача знаходиться в межах 0,02% - 0,03%», тобто у 3 – 5 разів менша за похибку квантування. Далі сказано «а для 12-ти розрядного – 0,004% - 0,007%», тобто також у 3 – 5 разів менша за похибку квантування. У іншому місці сказано «з 14ма двійковими розрядами ... похибка знаходиться у межах 0,001% - 0,007%», тобто також може бути у 6 разів менша похибки квантування. На стор. 178 вказано, що «для 10ти розрядного вдосконаленого рекурентного АЦФП ..., а заданій похибці 0,00625% ...», тобто вказана похибка майже у 20 разів менша за похибку квантування. У той же час у ряді випадків, наприклад, на стор. 180, 319, похибки трактуються традиційно. Тому без окремо висвітленої методики оцінки похибки пропонованих АЦП вирішити питання коректності оцінки похибки неможливо. Тим більше, що такі незрозумілі оцінки похибки характерні практично для всіх розроблених АЦФП.

3. Запропонований метод мінімізації впливу періодичних завад частотою 50 Гц, викликаних дією мережі живлення, має суттєво завищений коефіцієнт придушення завади – 114 дБ. Справа у тому, що пристрій, який реалізує цей метод по суті є схемою вибірки/запам'ятовування, яка спрацьовує у момент переходу завади через нуль. Тому, як правильно вказано у дисертації, ефективність методу визначається похибкою визначення цього переходу. Але при аналізі завадостійкості враховано лише часову затримку схеми визначення переходу завади через нуль. Однак основними джерелами похибки переходу завади через нуль є випадкові похибки, накладені на заваду, та зсув фази завади ланкою R1C2. Суттєве зменшення рівня імпульсних завад можливе лише при збільшенні ефективності фільтра нижніх частот, створеного вихідним опором повторювача ПІ та конденсатора С1, але таке рішення зменшує відповідно швидкодію пропонованих АЦФП. Крім того, ланка R1C2 повинна пропускати заваду частотою 50 Гц без істотних втрат. Тому, з точки зору імпульсних завад, вона добре передає їх на вхід компаратора. А з точки зору завади частотою 50 Гц, для її передачі ланка R1C2 повинна мати відносно велику постійну часу, щоби не треба було збільшувати чутливість компаратора (тоді зросте вплив імпульсних завад). Тому зсув фази завади ланкою R1C2 буде мати суттєвий вплив на коефіцієнт придушення завади.

4. Робота не вільна також від дрібних недоліків, які часом створюють труднощі у її розумінні. Зокрема, у частині схем лінії керування ключами мають стрілки, а у інших таких стрілок немає. Тому, при відсутності стрілки, створюється враження, що це перемикачі а не вимикачі. Описи роботи структурних схем доволі побіжні. Наприклад, реверсивні лічильники на різних схемах зображені по різному. А чим це викликано та як працюють реверсивні

лічильники у різних схемах, не описано. У авторефераті вказано, що «багатофункціональні АЦП вперше дали змогу реалізувати в них десять входів на відміну від відомих аналогів ...». Однак неясно, чому саме 10 входів, які труднощі виникають при нарощуванні кількості входів.

5. Більш ґрунтовно слід було провести огляд іноземної літератури, особливо статей в англomовних журналах, індексованих науко метричними базами Scopus та Web of Science. Із 302-ох використаних літературних джерел, тільки 82 джерела іноземною мовою.

6. В цілому, дисертація, як і автореферат, написані доброю технічною мовою. Однак є застереження щодо застосування низки термінів чи виразів: «авторка»; «обробляння»; «відомі аналоги» тощо.

Слід відзначити, що перелічені зауваження принципово не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота **Мичуди Л. З.** „Теорія та практика аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах”, є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в галузі аналого-цифрових перетворень вимірюваних параметрів, що в сукупності вирішують важливу наукову проблему забезпечення підвищеної точності вимірювання технологічних параметрів.

Дисертаційна робота **Мичуди Л. З.** відповідає науковому рівню робіт, що подаються до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота „Теорія та практика аналого-цифрових функціональних перетворювачів на комутованих конденсаторах”, відповідає вимогам пунктів 9, 10 та 12 Постанови Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. “Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника” щодо докторських дисертацій, а її автор **Мичуда Л. З.** заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент, завідувач кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільського національного економічного університету, заслужений винахідник України, доктор технічних наук, професор



Саченко А.О.



Підпис: *Саченко А.О.*
Зав. загальним відділом: *Тарасюк Г.О.*