

Голові спеціалізованої вченої ради ДФ 05.052.010
Вінницького національного технічного університету
доктору технічних наук, професору, професору
кафедри обчислювальної техніки Вінницького
Національного технічного університету
Тетяні МАРТИНЮК

ВІДГУК

Офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідуючого відділом перетворювачів форми інформації Інституту кібернетики імені В.М. Глущкова НАН України Володимира РОМАНОВА на дисертаційну роботу Максима ОБЕРТЮХА «Метод і апаратні засоби високолінійного надлишкового цифроаналогового перетворення на основі генераторів однакових струмів», подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – «Комп’ютерна інженерія», галузь знань 12 – «Інформаційні технології»

Актуальність дисертаційного дослідження. Сучасна мікроелектронна база є основою створення інноваційних технологій у різних галузях діяльності людини, до яких відносяться промисловість, сільське господарство, медичне приладобудування, авіоніка, космічні та наукові дослідження і багато інших. Основні досягнення у створенні сучасних інтегральних мікроелектронних схем (ІМС) на жаль належать західним країнам та країнам поденно-східної Азії. Слід відзначити, що підвищення точності, швидкодії, енергоефективності, надійності та інших параметрів сучасних ІМС, які виробляються країнами Заходу та Азії досягається на сьогодні, як правило, за рахунок нових технологічних рішень. В той же час структурні методи, які основані на використанні оригінальних алгоритмічних та математичних підходів і які давно розробляються в нашій країні у тому числі у Вінницькому національному технічному університеті у поєднанні з новими технологічними рішеннями дозволяють підвищити якість ІМС без переходу на нові більш коштовні та складні в промисловому освоєнні мікроелектронні технології. У представлений на відгук дисертації досліджується та вдосконалюється такий клас засобів мікроелектронних засобів, як цифроаналогові перетворювачі з такими компонентами в їх складі, як підсилювачі, буфери напруги, та джерела опорного струму та напруги. Цифроаналогові перетворювачі широко застосовуються в системах управління складними об’єктами, в синтезаторах та генераторах сигналів різної форми, в аудіосистемах та інш. Тому розробка методів та засобів підвищення лінійності ЦАП з використанням надлишковості є на сьогодні важливою задачею і це свідчить про актуальність вибраної теми.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення лінійності (основної складової точності) цифроаналогових перетворювачів на основі генераторів однакових струмів за рахунок дотримання принципу суперпозиції ваг розрядів, а також за рахунок використання компонентів ЦАП,

у яких забезпечується висока лінійність. Для досягнення цієї мети сформовано наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасні підходи щодо побудови аналогових вузлів багато-роздрядних струмових ЦАП.
2. Розробити математичну модель похибок суперпозиції ваг розрядів багаторозрядних ЦАП і запропонувати метод їх зменшення і, як результат, покращення лінійності ЦАП в цілому.
3. Удосконалити математичну модель для розрахунку параметрів секційних резистивних матриць різної конфігурації при заданому виду надлишковості.
4. Розвинути існуючи методи побудови двотактних підсилювачів та їх вузлів з метою покращення їх лінійності, швидкодії та навантажувальної здатності.
5. Проаналізувати сучасні методи побудови джерел опорного струму та опорної напруги та розвинути їх шляхом використання струмових дзеркал.
6. Розвинути існуючі методи побудови швидкодіючих буферів напруги з метою покращення вхідного та вихідного опору цих буферів.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами. Досліджувані засоби та пристрії використовувалися в рамках держбюджетної тематики, а саме:

1. Держбюджетна тема 58-Д-398 (2020-2022р.р.) № 00120U002205 «Високопродуктивні аналого-цифрові самокалібровані системи моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів».
2. Держбюджетна тема 58-Д-393 (2018-2019р.р.) № 0118U000205 «Спеціалізовані аналого-цифрові системи аудіо локації та ідентифікації об'єктів на місцевості».

Об'єкт дослідження. Процеси перетворення сигналів у струмових ЦАП, у яких застосовуються генератори однакових розрядних струмів, що комутуються у вузли розрядних матриць.

Предмет дослідження. Методи побудови багаторозрядних високолінійних струмових ЦАП із ваговою надлишковістю, а також їх функціональних вузлів, а саме резистивних матриць, генераторів розрядних струмів, двотактних підсилювачів постійного струму, двотактних буферів напруги та термостабільних джерел напруги та струму.

Методи дослідження. У роботі були використані наступні методи дослідження: теорія АЦП і ЦАП; теорія лінійних ІМС; теорія електричних кіл і сигналів; методи введення вагової надлишковості у перетворювачі форми інформації; методи побудови двотактних буферів напруги та двотактних підсилювачів постійного струму; методи побудови термостабільних джерел постійної напруги та струму.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано метод побудови багаторозрядних ЦАП із ваговою надлишковістю з комутацією однакових струмів у вузли розрядної матриці, в яких застосовуються генератори розрядних струмів з високими та надвисокими вихідними опорами, що дозволяє дотримуватися суперпозиції

ваг розрядів у діапазоні вихідного сигналу та істотно зменшити диференційну нелінійність характеристики перетворення.

2. Удосконалено математичну модель для розрахунку секційних розрядних матриць ЦАП залежно від типу конфігурації та характеристик надлишкової системи числення, що дозволяє проводити розрахунки секційних резистивних матриць для довільних надлишкових систем числення.

3. Отримали подальшого розвитку методи підвищення точності широкосмугових двотактних підсилювачів постійного струму за рахунок застосування складених транзисторів, принципів підсилення струмів та зворотних зв'язків по струму, що дозволяє збільшити їх лінійність та навантажувальну здатність, і двотактних буферів напруги за рахунок застосування складених транзисторів та внутрішніх балансних зворотних зв'язків, що дозволяє збільшити їх вхідний опір.

4. Отримали подальшого розвитку методи побудови термостабільних генераторів постійного струму та напруги за рахунок використання складених транзисторів, відбивачів струму та додаткових зворотних зв'язків, що дозволяє збільшити їх термостабільність на 2-3 порядки.

В цілому розроблені методи є новими і слугують науковою базою подальших досліджень в галузі побудови високолінійних перетворювачів даних.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено структурні та принципові схеми багаторозрядних струмових ЦАП із ваговою надлишковістю, що використовуються для генерування високо лінійних сигналів.

2. Розроблено структурні та принципові схеми високоомних генераторів розрядних струмів для ЦАП з надлишковістю, завдяки чому зберігається принцип суперпозиції ваг розрядів під час їх перемикання у діапазоні вихідного сигналу.

3. Розроблено структурні та принципові схеми широкосмугових двотактних підсилювачів, а також структурні та принципові схеми двотактних буферів напруги.

4. Розроблено структурні та принципові схеми термостабільних джерел постійного струму та напруги.

Слід відзначити, що за своїми параметрами перелічені засоби не поступаються кращим іноземним взірцям у своєму класі.

5. Отримані в роботі результати використовуються у навчальному процесі Вінницького національного технічного університету при викладанні дисциплін «Аналого-цифрові системи», «Лінійні інтегральні схеми», «Аналого-цифрові пристрой комп’ютерних систем».

6. Результати дисертаційної роботи впроваджено у ТОВ ТАЙТЕК ПЛЮС.

Повнота викладу результатів роботи в наукових працях.

Результати наукових досліджень, які отримані автором, опубліковано у 17-ми публікаціях, в тому числі в 9-х виданнях, що входять до переліку фахових видань України, одному періодичному іноземному виданні та в 7-х публікаціях за матеріалами міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Одна з статті опублікована у виданні, що входить у науково-метричну базу даних SCOPUS. Отримано 18 патентів України на корисну модель та 2 патенти України на винахід. Усі основні положення, що виносяться на захист, висвітлено в публікаціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота здобувача складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків, а також списку використаних джерел та додатків. Дисертація містить 206 сторінок з основним змістом на 153 сторінках, включає 67 рисунків, 4 таблиці та список з 151 використаного джерела.

Основний зміст роботи. У *вступі* обґрунтовується вибір напрямку дослідження та його актуальність, у загальному виді формулюється задача дослідження, а саме підвищення лінійності цифроаналогових перетворювачів на основі генераторів однакових струмів за рахунок дотримання принципу суперпозиції ваг розрядів, а також за рахунок використання компонентів ЦАП з високою лінійністю.

У *першому розділі* проаналізовано методи структурно-функціональної організації аналогових вузлів ЦАП, методи побудови перетворювачі струм-струм та напруга-струм на основі підсилювачів постійного струму, включаючи підсилювачі, які розроблялися у Вінницькому національному університеті, вказані недоліки розглянутих підсилювачів. Проаналізовані існуючі методи побудови термокомпенсованих джерел опорної напруги та струму. На основі огляду та аналізу класифікаційних ознак сформульовані напрямки удосконалення цих засобів.

Другий розділ присвячений методам побудови багаторозрядних високолінійних струмових ЦАП з ваговою надлишковістю і містить результати розробки математичних моделей багаторозрядних ЦАП з аналізом залежності похибок розрядних струмів від комбінації вхідних кодів ЦАП. Виконано аналіз підвищення лінійності багаторозрядних ЦАП, побудованих на основі генераторів однакових струмів, розраховані співвідношення опорів в резистивних матрицях із заданою ваговою надлишковістю, розроблено методику визначення значень номіналів резисторів для матриць секційного типу.

Методи побудови аналогових вузлів багаторозрядних струмових ЦАП розглянуто у *третьому розділі*, а саме підсилювачів постійного струму, буферів напруги та джерел опорної напруги та струму. Запропоновані оригінальні методи побудови цих вузлів, що дало змогу поліпшити їх точносні характеристики.

У *четвертому розділі* теоретичні дослідження дисертанта доведені до схемотехнічних рішень аналогових вузлів багаторозрядних струмових ЦАП. Адаптована методологія віртуального проектування технічних засобів до отримання схемотехнічних рішень для побудови багаторозрядних ЦАП з надлишковістю, що значно полегшує процес проектування цих засобів.

У *висновках* стисло сформульовані основні результати, отримані здобувачем у дисертаційній роботі.

У *додатках* наведено акти впровадження результатів досліджень, лістинг математичного моделювання елементів двотактних перетворювачів струм-струм та список публікацій здобувача.

Достовірність та обґрунтованість основних висновків та отриманих результатів підтверджується коректним використанням математичного апарату, теорії лінійних інтегральних схем, включно АЦП і ЦАП, перевіркою на моделях розроблених методів та методик побудови багаторозрядних струмових ЦАП з надлишковістю. Додатково достовірність та обґрунтованість результатів роботи підтверджується схвальною оцінкою на багатьох конференціях високого наукового рівня.

Оцінка мови, стилю та оформлення роботи. Дисертація написана на достатньому мовно-стилістичному рівні. За результатами аналізу дисертації та публікацій автора plagiatu та запозичень не виявлено.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. Не зважаючи на те, що в першому розділі дисертантом виконано докладний порівняльний структурно-функціональний аналіз цифроаналогових перетворювачів з точки зору їх можливостей забезпечувати високу лінійність, хотілося б відмітити наступне. Нелінійність ЦАП має дві основні ознаки: інтегральну нелінійність та диференціальну нелінійність. Методи боротьби з цими похибками не завжди співпадають. Обидві з характеристик нелінійності є нормативними параметрами і завжди окремо наводяться у технічній документації на мікросхеми ЦАП. Але у дисертації такий розподіл ознак нелінійності ЦАП чітко не виділено.

2. Важливою складовою нелінійності ЦАП є його немонотонність, тобто при наявності такої похибки зростом вхідного коду ЦАП, сигнал на виході навпаки зменшується. Цей параметр також є нормативним для багатьох типів ЦАП. Слід звернути увагу на те, що немонотонність ЦАП може привести до аварійних ситуацій, якщо перетворювач використовується на виході системи управління котлоагрегатом або іншим вибухонебезпечним об'єктом. Цей параметр у роботі розглянуто недостатньо.

3. На погляд опонента, назва першого розділу невдала і звужує результати дослідження. В цьому розділі разом з оглядом дисертантом виконаний докладний порівняльний аналіз ЦАП різних типів, розроблено декілька класифікацій для різних структур і т.і. Але до цього слід додати, що, не зважаючи на таке різноманіття типів ЦАП, практично всі вони випускаються промисловістю. Їх, як правило, оцінюють таким інтегральним параметром, як ціна/якість, і цей параметр являється одним з основних при використанні того чи іншого приладу. Така оцінка параметрів ЦАП у оглядовому розділі представлена недостатньо.

4. Дисерант, аналізуючи параметри матриці резисторів, підсилювачів, буферів напруги та опорних джерел, рекомендує методи щодо покращення їх параметрів відносно підвищення лінійності, які базуються на компенсації похибок, та калібрування окремих вузлів цих засобів. Але в роботі практично не враховуються шуми, які мають резистори, підсилювачі та опорні джерела. Для ослаблення шумів

роздянуті дисертантом засоби та методи не завжди придатні. Необхідно враховувати смугу пропускання цих засобів, спектральну щільність шуму кожного з аналогових вузлів та використовувати фільтрацію для їх ослаблення. Тоді виникають додаткові вимоги до фільтрів, які з них використовувати – пасивні чи активні, необхідно враховувати шуми резисторів фільтрів і т.і. Такий аналіз в роботі відсутній.

5. Дисертація досить добре оформлена, але дисертант досить часто пропускає кому у потрібних місцях. Наприклад, стор. 38, другий рядок, стор. 39, другий рядок, стор. 54, другий абзац, другий рядок, стор. 97, рядок 5, 6; зустрічаються описки: стор. 45, другий абзац: замість «підсилюються» треба «підсилення» на рис. 2.9. є помилка у написі під рисунком – двічі вказаний рис. в) замість рис. г) , і т.д. Нажаль, подібні помилки є і в інших розділах роботи.

Загальний висновок. У цілому дисертаційна робота Максима ОБЕРТЮХА на тему «Метод і апаратні засоби високолінійного надлишкового цифроаналогового перетворення на основі генераторів однакових струмів», яку подано на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – «Комп’ютерна інженерія», галузь знань 12 – «Інформаційні технології», є завершеним, цілісним, виконаним на високому науковому рівні самостійним дослідженням, містить наукову новизну та важливі для практики результати, які є суттєвими для розвитку комп’ютерної інженерії у галузі створення засобів збору та обробки даних. Дисертація у повній мірі відповідає Порядку, визначеному постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167 «Про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Максим ОБЕРТЮХ, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю «Комп’ютерна інженерія» – 123.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідуючий відділом перетворювачів
форми інформації Інституту кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН України

Підпись Романова
Засі. доктора
Інституту кібернетики
імені В.М.Глушкова
ім. В.М. Глушкова НАН



Володимир РОМАНОВ

B. Romanov

Палагін О.В.