

**ВІДГУК**  
офіційного опонента Мичуди Лесі Зиновіївні  
на дисертаційну роботу Гуменюка Романа Сергійовича  
«Методи та засоби оперативного оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП  
послідовного наближення з ваговою надлишковістю», що подана на здобуття  
ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – «Комп’ютерна інженерія»

**Актуальність обраної теми.** Світ, що нас оточує, є джерелом аналогових сигналів. Аналогові сигнали є безперервною функцією часу, однак сучасні процесори можуть обробляти здебільше цифрові сигнали, які є дискретними у часі. Електронні аналогові обчислювачі характеризуються значно меншою гнучкістю і функціональністю, саме тому більшість сучасних систем обробки інформації мають у своєму складі аналого-цифрові перетворювачі. АЦП послідовного наближення є найпоширенішими перетворювачами завдяки оптимальному співвідношенню структурної складності, роздільної здатності та швидкодії. Для забезпечення високої роздільної здатності в таких АЦП найчастіше застосовується процедура самокалібрування ваг старших розрядів, яка передбачає припинення процесу основного перетворення. Саме тому дослідження, спрямовані на мінімізацію технологічних витрат часу, пов’язаних з процедурою калібрування ваг розрядів АЦП є актуальними.

### **Структура та зміст дисертації**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний текст дисертації викладено на 117 сторінках, загальний обсяг дисертації становить 160 сторінок. Дисертаційна робота проілюстрована 54-ма рисунками, містить 9 таблиць, список використаних джерел складається зі 132 найменувань на 13-ти сторінках та включає 3 додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі дослідження, показано зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами, обґрунтовано вибір теми дослідження, відображені застосовані методи дослідження, висвітлено наукову новизну отриманих результатів та практичну цінність. Наведено інформацію про опублікування результатів роботи та особистий внесок здобувача в публікаціях зі співавторами.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд технологій аналого-цифрового перетворення послідовного наближення, проаналізовано характерні похибки цих пристрій та традиційні шляхи їх зменшення та усунення. Проаналізовано напрацювання в галузі застосування вагової надлишковості для покращення характеристик АЦП послідовного наближення.

**Другий розділ** присвячено розробці математичної моделі характеристики перетворення АЦП послідовного наближення. Показано, що за умови застосування вагової надлишковості у вигляді надлишкових

позиційних систем числення характеристика перетворення містить кодові комбінації, що будуть відсутні на виході перетворювача і які, відповідно, отримали назву «невикористаних». Доведено, що ці комбінації утворюють певні групи, які названо «зонами невикористаних комбінацій», причому в межах групи вони розташовані послідовно. Показано, що зони невикористаних комбінацій мають регулярну структуру і, починаючи з зони  $(n-2)$ -го рівня складаються з кількох підзон. Показано зв'язок між основою системи числення, роздільною здатністю АЦП та кількістю зон «невикористаних» комбінацій. Проведено аналіз впливу поодиноких відхилень ваг розрядів на кількість «невикористаних» комбінацій в окремих зонах. Показано, що відхилення ваги  $j$ -го розряду впливає на кількість невикористаних комбінацій в зоні  $j$ -го рівня та всіх зонах з номерами менше  $j$ , причому найбільший вплив спостерігається саме в зоні  $j$ -го рівня. Проведено аналіз комбінованого впливу відхилень кількох розрядів на кількість невикористаних комбінацій в окремих зонах.

В третьому розділі запропоновано метод оперативної фіксації відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, який дозволяє автоматично контролювати зміни кількості «невикористаних» комбінацій в окремих зонах та генерувати сигнали для ініціалізації процесу калібрування. Запропоновано метод оперативного оцінювання значень відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, який фактично дозволяє визначати відхилення окремих розрядів в фоновому режимі, тобто без переривання процедури основного перетворення. Розроблено та перевірено на контрольному прикладі методику визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю за аналізом зон «невикористаних» комбінацій.

В четвертому розділі наведено структурні реалізації методів фіксації та оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю. Запропоновано низку структурних рішень по реалізації розроблених методів, зокрема детально розглянуто рекомендації щодо побудови блоку контроля характеристики перетворення. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання характеристики перетворення АЦП послідовного наближення та моделювання методу оцінювання відхилень ваг розрядів.

У висновках сформульовано основні результати виконаних досліджень

У додатках наведено акти впровадження результатів досліджень, лістинг програмного забезпечення моделювання методу оцінювання відхилень ваг розрядів та список публікацій здобувача.

**Наукова новизна роботи** стосується вдосконалення методів підвищення точності АЦП послідовного наближення шляхом мінімізації технологічних витрат часу на процес самокалібрування. Найвагомішими науковими результатами є:

1. вперше запропоновано метод оперативного контролю відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю за аналізом вихідного коду, особливість якого полягає у використанні явних ознак для визначення необхідності проведення калібрування, що мінімізує технологічні витрати часу на процедуру калібрування АЦП;
2. вперше запропоновано метод оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення, який полягає у визначити відхилення окремих розрядів перетворювача без переривання процесу основного перетворення, що дозволило виключити режим додаткового калібрування;
3. подальшого розвитку отримала математична модель перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, яка відрізняється від відомих виділенням зон невикористаних комбінацій, що дозволило встановити залежність між відхиленнями ваг окремих розрядів та структурою характеристики перетворення.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

1. розробка методики визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю на основі аналізу характеристики перетворення;
2. розробка структурних схем та алгоритмів функціонування АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю з можливістю контролю відхилень ваг розрядів;
3. розробка структурних схем блоку контроля характеристики перетворення;
4. розробка спеціалізованого програмного забезпечення для дослідження характеристики перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю;
5. розробка спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання процесу визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю на основі аналізу характеристики перетворення.
6. отримані наукові та практичні результати було впроваджено в ТОВ МАЙТЕК ПЛЮС та у навчальний процес Вінницького національного технічного університету

#### **Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій та достовірність отриманих результатів.**

**Обґрунтованість** наукових положень дисертації забезпечується коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, чітким формулюванням мети і вибору методів дослідження, коректним використанням основних положень теорії аналого-цифрового перетворення, зокрема аналого-цифрового перетворення з послідовним наближенням, коректним застосуванням вагової надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення, коректним застосуванням теорії похибок для

оцінювання методичної похибки методу, застосуванням методів імітаційного моделювання характеристики перетворення АЦП послідовного наближення, застосуванням тестових прикладів для перевірки розробленої методики оцінювання відхилень ваг розрядів.

**Достовірність** отриманих в роботі положень та наукових результатів визначається їх теоретичним обґрунтуванням та експериментальним підтвердженням за допомогою програм імітаційного моделювання, збіжністю результатів математичного і імітаційного моделювання, а також впровадженням результатів досліджень в ТОВ МАЙТЕК ПЛЮС.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи.** Розроблені автором методи ідентифікації та оцінювання значень відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення можуть бути використані для вдосконалення існуючих АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, причому впровадження згаданих методів не потребує внесення суттєвих змін в структуру АЦП. Крім того загальний підхід оперативного оцінювання стану системи, що має надлишковість може бути поширений на інші технічні системи і прilади.

#### **Повнота викладення основних матеріалів в опублікованих працях.**

Результати наукових досліджень, які отримані автором, опубліковано у 7-ми публікаціях, в тому числі в 3-х виданнях, що входять до переліку фахових видань України, одному періодичному іноземному виданні та в 3-х публікаціях за матеріалами міжнародних та всеукраїнських конференцій. Всі основні положення, що виносяться на захист висвітлено в публікаціях.

#### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертацій.**

Дисертаційна робота написана загальноприйнятою науковою українською мовою з використанням сучасної правильної української наукової термінології. Роботу виконано на належному науковому рівні, вона є завершеною науковою працею, має практичне значення та відображає рішення актуальної науково-прикладної задачі мінімізації технологічних витрат часу при функціонуванні багаторозрядних АЦП послідовного наближення. Оформлення дисертації відповідає вимогам, висвітленим в наказі МОН № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В роботі запропоновано два методи – оперативного контролю відхилень та оцінювання відхилень, але не конкретизовано умови застосування кожного з них.
2. На стор. 105 є фраза «Якщо порогова комбінація з'являється протягом певного інтервалу  $T$ », але що це за інтервал  $T$  і які він може приймати значення далі не пояснюється.

3. На схемі 4.3 (стор.105) на вхід Рг1 подається фіксована кодова послідовність, з роботи незрозуміло яким чином вона буде оновлюватись після появи відхилення ваги розряду.
4. В формулах по різному позначається кількість використаних та невикористаних комбінацій, наприклад у виразах 2.14 та 2.15 використовуються позначення  $K_{us}$  та  $K_{un}$ , а у виразі 2.16 -  $K_e$  та  $K_h$ .
5. На стор. 83 зустрічається термін «порогова» комбінація зони, але не дається визначення, що це таке.
6. На різних рисунках характеристика перетворення зображується по різному, наприклад на рис. 2.1, рис. 2.2 і 2.4.
7. В розділі 4 запропоновано низку структурних схем АЦП послідовного наближення та його окремих блоків, але вони не захищені патентами.
8. Підрозділ 4.2 відповідно до змісту має починатись на 110-й стор., а реально починається на 111-й
9. В назві рис. 4.5 виходячи з її опису ймовірно пропущено слово «контролю», тобто має бути «Схема **контролю** проходження вхідним сигналом зон “невикористаних” комбінацій».

### **Висновки**

Дисертація Гуменюка Романа Сергійовича, що подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – «Комп’ютерна інженерія», виконана на достатньо високому науковому рівні, є завершеною науковою працею та має практичне значення. В дисертації міститься рішення важливої науково-прикладної задачі в галузі техніки аналого-цифрового перетворення.

За актуальністю теми, мірою обґрутованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів вважаю, що дисертаційна робота повністю відповідає «Тимчасовому порядку присудження ступеня доктора філософії», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р. (зі змінами № 608 від 09.06.2021 р.), а її автор – Гуменюк Роман Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – «Комп’ютерна інженерія».

Офіційний опонент,  
професор кафедри безпеки інформаційних  
технологій Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
доктор технічних наук, доцент

Л.З. Мичуда

Підпись д.т.н. Мичуди Л.З. завіряю:

Вчений секретар

Національного університету «Львівська політехніка»

Брилинський Р.Б.

