

**Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя**

**Нелюбін Володимир Анатолійович**

*УДК 616.073.759*

**МЕТОДИ І АЛГОРИТМИ САМОПОВІРКИ АНАЛОГО-  
ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА В СКЛАДІ  
МІКРОКОНВЕРТОРА**

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Автореферат дипломної роботи магістра

Тернопіль – 2019

Роботу виконано на кафедрі приладів і контрольно-вимірювальних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри приладів і контрольно-вимірювальних систем  
**Стрембіцький Михайло Олексійович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

**Рецензент:** кандидат технічних наук,  
доцент кафедри біотехнічних систем  
\_\_\_\_\_,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 26 грудня 2019 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії № \_\_ у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-507.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидкий розвиток пристроїв обчислювальної техніки, постійне їх здешевлення, привело до широкого застосування засобів обчислювальної техніки та програмних методів обробки даних в найрізноманітніших галузях. Особливо це стосується зв'язку, телекомунікації, інформаційних технологій.

Одним з найважливіших джерел об'єктивної інформації для обчислювальних систем є дані, що поступають з інформаційно-вимірювальних систем та вимірювальних каналів систем керування. Завдяки досягненням мікроелектроніки точність, чутливість, габарити, вартість, споживана енергія та інші технічні характеристики таких систем суттєво покращилися. Це привело в свою чергу до різкого зростання кількості вимірювальних каналів. Одним з основних вузлів таких вимірювальних каналів є аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Розвиток технологій мікроелектроніки привів до того, що на сьогодні переважна більшість мікроконтролерів, що тиражуються мільйонними партіями, мають вбудовані АЦП.

Слід відзначити, що АЦП є метрологічно значимим вузлом, тобто його показник якості (точність) повинна нормуватися. Тому тиражування вбудованих АЦП, їх використання у вбудованих системах, ставить питання забезпечення точності та єдності вимірювань. Тим більше, що при випуску трудомісткість тестування та підгонки мікроелектронних АЦП, за даними, складає до 60% всієї трудомісткості випуску.

Звичайно, не всі АЦП, що входять у склад мікроконтролерів, в дійсності використовуються, а серед тих, що використовуються – не всі вимагають метрологічного обслуговування. Однак часто, через складність доступу, масовість і трудомісткість проведення, наприклад, періодичної повірки, а також інших видів метрологічного обслуговування, цілі групи АЦП (наприклад, АЦП, що входять у вбудовані вимірювально-керуючі системи автомобілів) випадають з поля зору метрологічного нагляду. Така ситуація веде до ймовірного порушення єдності вимірювань. Тому забезпечення метрологічного обслуговування АЦП, зокрема, вбудованих в різні системи, є актуальною задачею.

Ідеальним виходом із ситуації, що на сьогодні склалася, було би оснащення кожного АЦП простою, надійною та дешевою вбудованою підсистемою самоперевірки, що забезпечила би його автоматичне метрологічне обслуговування на протязі всього життєвого циклу, тобто періодичну повірку в процесі експлуатації без необхідності зупинки системи, вилучення АЦП, його доставки до повірної лабораторії, самої повірки, зворотної доставки до системи, встановлення у систему та запуску системи. Однак на сьогодні такі підсистеми самоперевірки не існують. Існуючі методи і засоби самотестування, самодіагностики та самоперевірки АЦП мають різні недоліки. Тому питання створення підсистеми самоперевірки АЦП для найчастіше вживаних вимірювальних каналів напруги постійного струму є достатньо актуальним.

Така задача може мати різні рішення в залежності від метрологічних характеристик АЦП, який проходить метрологічне обслуговування. В даній дипломній роботі основна увага приділена АЦП, які входять в склад

мікроконверторів серії ADuC, зокрема, тих, що мають вбудовані 24-х розрядні сигма-дельта АЦП. Мікроконвертори серії ADuC зокрема містять як АЦП, так і мікроконтролер популярної серії i51. Невисока ціна та значні функціональні можливості зумовили їх широке розповсюдження в складі дистрибутивних та вбудованих вимірювальних і керуючих систем.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка концепції бездемонтажної самоперевірки аналого-цифрових перетворювачів, дослідження її можливостей щодо точності самоперевірки та адаптація до самоперевірки прецизійних аналого-цифрових перетворювачів, які входять в склад мікроконверторів серії ADuC.

Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести аналіз існуючих методів метрологічного обслуговування АЦП на всіх етапах життєвого циклу.
2. Розробити концепцію бездемонтажної самоперевірки АЦП.
3. Провести дослідження методу оцінки похибки АЦП, що лежить в основі запропонованої концепції бездемонтажної самоперевірки АЦП.
4. Адаптувати розроблену концепцію бездемонтажної самоперевірки до АЦП, що входять в склад мікроконверторів серії ADuC.

*Об'єкт дослідження:* Методи бездемонтажної самоперевірки аналого-цифрових перетворювачів в складі мікроконверторів.

*Предмет дослідження:* Метрологічне обслуговування аналого-цифрових перетворювачів, що входять в склад вбудованих систем, під час експлуатації.

*Методи дослідження:* Імітаційне моделювання, теорія алгоритмів, теорія електричних кіл, теорія похибок, лінійна алгебра.

Наукова новизна отриманих результатів. Запропонована концепція бездемонтажної самоперевірки аналого-цифрових перетворювачів, яка поєднує встановлення нуля, калібрування і визначення похибки інтегральної нелінійності в п'яти точках, рівномірно розміщених по діапазону перетворення і базується на стандартизованих методах лабораторної перевірки аналого-цифрових перетворювачів. На базі методу імітаційного моделювання запропонована методика і проведена оцінка похибок методу визначення похибки інтегральної нелінійності аналого-цифрових перетворювачів від розкиду опору резисторів подільника напруги та шуму аналого-цифрових перетворювачів. Запропоновано спрощений метод бездемонтажної самоперевірки аналого-цифрових перетворювачів в складі мікроконверторів серії ADuC, що забезпечує самоперевірку всіх семи діапазонів перетворення та має суттєво менші апаратні затрати від стандартизованих методів (12 резисторів та 27 каналів комутатора).

Апробація результатів дослідження. Викладені в дипломній роботі результати доповідалися і обговорювалися на VII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 11–12 грудня 2019 р.).

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, семи розділів, висновку, викладених на 91 сторінці, списку використаних джерел з 53 назв на 6 сторінках, додатків на 15 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 112 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показано актуальність роботи, а саме необхідність оснащення кожного АЦП простою, надійною та дешевою вбудованою підсистемою самопівірки, що забезпечила би його автоматичне метрологічне обслуговування на протязі всього життєвого циклу, тобто періодичну повірку в процесі експлуатації без необхідності зупинки системи, вилучення АЦП, його доставки до повірної лабораторії, самої повірки, зворотної доставки до системи, встановлення у систему та запуску системи, обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів роботи на конференціях і семінарах.

У першому розділі «Аналіз існуючих методів забезпечення метрологічної надійності аналого-цифрового перетворення» проаналізовано існуючі методи метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки, проведено аналіз існуючих методів метрологічного обслуговування аналого-цифрових перетворювачів, а також визначено шляхи забезпечення єдності та високої метрологічної надійності аналого-цифрового перетворення.

У другому розділі «Метод бездемонтажної самопівірки аналого-цифрових перетворювачів» описано концепцію самопівірки аналого-цифрових перетворювачів, на базі якої створено метод визначення нелінійності аналого-цифрових перетворювачів та досліджено інструментальні похибки пропонованого методу.

У третьому розділі «Оцінка методичних похибок пропонованого методу» проведено оцінювання похибок пропонованого методу, а саме наведено методику та алгоритм оцінки методичних похибок, а також наведено результати оцінки методичної похибки від розкиду опору резисторів подільника та від шуму аналого-цифрових перетворювачів.

У четвертому розділі «Реалізація самопівірки аналого-цифрових перетворювачів в складі мікроконверторів» показано реалізацію мікроконвертора серії ADuC, виконано самопівірку аналого-цифрових перетворювачів в складі мікроконверторів згідно стандартів та запропоновано метод самопівірки аналого-цифрових перетворювачів у складі мікроконверторів.

Створено програмне забезпечення із графічним інтерфейсом, яке реалізує самопівірку аналого-цифрових перетворювачів в складі мікроконверторів, і є придатним для використання як складової частини спеціалізованого програмного забезпечення автоматизованих систем.

У п'ятому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, вартість виконання робіт по розробці програмно-апаратного комплексу для самопівірки аналого-цифрових перетворювачів в складі мікроконверторів.

У шостому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання організації наукових досліджень та ергономічних вимог інженера дослідника.

**У сьомому розділі «Екологія»** проаналізовано питання зниження енергоємності та енергозбереження в процесі виробництва та експлуатації різноманітних приладів та контрольно-вимірювальних систем.

У **додатках** наведено тексти програм, розроблені для ПК

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі магістра узагальнено і вирішено наукову задачу, яка полягає в розробленні концепції бездемонтажної самопівірки АЦП.

При цьому отримані такі наукові та практичні результати:

1. Аналіз існуючих вбудованих інформаційно-вимірювальних і керуючих систем показав, що виникають великі проблеми з метрологічним обслуговуванням АЦП, що входять в їх склад, зокрема, з їх періодичною повіркою. Традиційна періодична повірка в лабораторних умовах має ряд недоліків:

велику трудомісткість, викликану необхідністю зупинки-запуску системи, що містить АЦП, необхідністю його демонтажу-монтажу та доставки до-із повірної лабораторії;

невисоку метрологічну надійність, пов'язану з великим міжпівірним інтервалом.

2. Аналіз відомих методів самопівірки, самодіагностування та самотестування показав, що перспективним може бути метод самопівірки АЦП, який ґрунтується на поєднанні відомих операцій встановлення нуля та калібрування з новим методом визначення похибки нелінійності АЦП в п'яти точках діапазону перетворення, висока точність якого забезпечується за рахунок використання методу відношення опору резисторів та другого закону Кірхгофа.

3. Запропонована на базі згаданого перспективного методу самопівірки АЦП концепція самопівірки АЦП, що мають гладку функцію перетворення без розривів та стрибків, базується на вимогах до процесу періодичної повірки АЦП стандартизованих методик, що підтверджує її відповідність до вимог єдності вимірювань та метрологічної надійності.

4. Проведені відповідно до вимог запропонованої концепції самопівірки АЦП дослідження похибок методу визначення похибки нелінійності АЦП в п'яти точках діапазону перетворення показали, що:

максимальне значення методичної похибки від розкиду опору резисторів подільника на 1% не перевищує 0,00007%, а її середнє значення не перевищує 0,000013%;

максимальне значення інструментальної похибки від шуму АЦП на рівні 22-го розряду не перевищує 0,0000007%, а її середнє значення не перевищує 0,00000017%.

5. Проведений аналіз властивостей 24-х розрядних сіґма-дельта АЦП, які входять в мікроконвертори серії ADuC, показав, що вони придатні для використання запропонованого методу самопівірки, однак строге виконання всіх вимог стандартів на лабораторну повірку АЦП вимагає значних апаратних затрат для побудови вбудованої системи самопівірки.

6. Запропонований спрощений метод бездемонтажної самопівірки АЦП в складі мікроконверторів дає можливість побудови вбудованої системи самопівірки АЦП, які входять в мікроконвертори серії ADuC, на всіх восьми діапазонах перетворення при використанні подільника з 12 резисторів і комутатора на 27 КМОН ключах.

## ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ

1. Нелюбін В.О. Спосіб збільшення точності визначення кутової орієнтації рефлектора супутникової антенної станції за допомогою MEMS акселерометра / М. Паламар, Т.Горин, М.Труханський, П.Гірняк, В.Нелюбін // Матеріали VII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 11–12 грудня 2019 р.). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – С.79 с.



## АНОТАЦІЯ

Нелюбін Володимир Анатолійович.. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка», Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Дипломну роботу магістра присвячено розробленню концепції самопівірки аналогово-цифрового перетворювача для забезпечення його автоматичного метрологічного обслуговування на протязі всього життєвого циклу, тобто періодичну повірку в процесі експлуатації без необхідності зупинки системи. Розроблено на основі запропонованої концепції метод бездемонтажної самопівірки аналого-цифрових перетворювачів.

Ключові слова: Мікроконвертор, самопівірка, аналого-цифровий перетворювач, похибка.

## ANNOTATION

Nelyubin V. Methods and algorithms for self-test analog - digital converter in microconverter. – Manuscript.

Master's thesis work on specialty 152 – Metrology and information-measuring devices, Ternopil National Technical University named after Ivan Pul'uj, Тернопіль, 2019.

The master's thesis is devoted to the development of the concept of self-test of the analogue-to-digital converter to ensure its automatic metrological maintenance throughout the life cycle, that is, periodic verification during operation without the need to stop the system. The method of unmanaged self-test of analog-to-digital converters is developed on the basis of the proposed concept.

Keywords: Microconverter, self-tester, analog-to-digital converter, error.