

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Повшенка Олександра Анатолійовича

на тему «Вдосконалення ротаційного методу вимірювання напруженості
електростатичного поля»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Актуальність теми дисертації.

Статична електрика знайшла своє застосування в багатьох областях людського життя. Розв'язання ряду важливих прикладних задач на тему вимірювання електростатичного поля тісно пов'язане із розробкою методів та засобів з підвищеною точністю та чутливістю.

Вимірювання напруженості електростатичного поля атмосфери застосовується як інформативний параметр при дослідженні глобальних змін клімату, визначення підвищеної радіоактивності та забруднення навколишнього середовища, для виявлення покладів корисних копалин та як передвісник землетрусу.

Вимірювання напруженості електростатичного поля у низькому вимірювальному діапазоні до 1 кВ/м може бути використано для моніторингу електростатики на виробництві. Для цього важливим є створення завадостійких інформаційно-вимірювальних систем з підвищеною точністю. Це пов'язано із значним зниженням цільових рівнів гранично допустимих значень напруги електростатичного розряду, які може витримати електронний компонент. Серед існуючих методів вимірювання напруженості електростатичного поля виділяють ротаційний метод, оскільки він має кращу чутливість та швидкодію. Тому, для задач вимірювання електростатичного поля при добовій зміні параметрів навколишнього середовища, найбільш розповсюдженим приладом є електростатичний флюксиметр, будова якого ґрунтується на використанні ротаційного методу.

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводились на кафедрі автоматизації та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року».

Метою дисертаційної роботи є удосконалення ротаційного методу вимірювання напруженості електростатичного поля у вимірювальному діапазоні до 1 кВ/м за рахунок підвищення його точності та чутливості.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Дисертаційна робота Повшенка О.А. виконана на достатньо високому науковому рівні. Вона характеризується глибиною та комплексністю, охоплює широкий спектр науково-технічних завдань. Наукові результати дисертації є обґрунтованими коректністю методів, які використані в процесі вирішення поставленої задачі.

Пропозиції, що викладені у дисертаційному дослідженні, змістовно та послідовно обґрунтовані. Робота є логічною, матеріал структурованим, а поставлені завдання є чіткими. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій доведена обґрунтованістю прийнятих припущень, використанням апробованих методів теоретичних досліджень, встановленням адекватності результатів теоретичних досліджень експериментальним даним. Це підтверджує високий рівень наукової обґрунтованості положень дисертації.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Набув подальшого розвитку ротаційний метод вимірювання напруженості електростатичного поля за рахунок вдосконалення рівняння перетворення напруженості електростатичного поля в струм, що дало можливість зменшити методичну похибку вимірювання.
2. Вдосконалено математичну модель сенсору напруженості електростатичного поля за рахунок врахування залежності чутливості сенсору від його конфігурації та будови, що дало змогу зменшити інструментальну похибку вимірювання.
3. Запропоновано та обґрунтовано новий підхід до визначення оптимальних параметрів конфігурації та будови сенсору напруженості електростатичного поля, що дало змогу збільшити його чутливість.
4. Набула подальшого розвитку інформаційно-вимірювальна система з поліпшеними метрологічними характеристиками, що дозволило збільшити динамічний діапазон вхідних сигналів та зменшити похибки результатів вимірювання.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання удосконалення ротаційного методу вимірювання напруженості електростатичного поля за рахунок зменшення його похибок вимірювання, а також наукового обґрунтування та розробки сучасної заводостійкої інформаційно-вимірювальної системи напруженості електростатичного поля з підвищеною точністю у

низькому вимірювальному діапазоні до 1 кВ/м виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Структура дисертації є обґрунтованою та логічною. Застосована у роботі наукова термінологія є загальноприйнятою, стиль викладення результатів дослідження забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Повшенка О.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої наукової програми «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 199 сторінок.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, мету, завдання, сформульовану наукову новизну, практичне значення отриманих результатів. Показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів досліджень.

У першому розділі автор провів аналіз існуючого стану вимірювання напруженості електростатичного поля (ЕП) та обґрунтував напрямки досліджень дисертаційної роботи. Сформулював загальну задачу вимірювання напруженості електростатичного поля для різних задач, включаючи вимірювання атмосферного електростатичного поля, моніторингу електростатики на виробництві та для задач геофізики та геології. Сформульовані вимоги до апаратного забезпечення для вимірювання напруженості електростатичного поля у низькому вимірювальному діапазоні до 1 кВ/м. Показано, що ротаційний метод вимірювання напруженості електростатичного поля має кращу чутливість. Відзначено, що серед основних сучасних засобів вимірювання напруженості електростатичного поля перспективними вимірювачами, які реалізовані за допомогою динамічного методу вимірювання, є електростатичні флюксиметри (ЕФ) з підвищеною точністю у низькому вимірювальному діапазоні до 1 кВ/м.

У другому розділі дисертаційної роботи обґрунтовані вимоги до математичної моделі електростатичного флюксиметру та розглянуто принцип роботи сенсора. Проведено аналіз рівняння перетворення напруженості електростатичного поля в струм, яким описується робота сенсора ЕФ та

показано його недоліки. Автором отримана форма сигналу з використанням вдосконаленого рівняння перетворення та встановлені шляхи підвищення чутливості сенсора ЕФ. Проведено комп'ютерне моделювання розподілу ЕП між чутливими та екрануючими пластинами сенсора ЕФ для порівняння вдосконаленої математичної моделі сенсора ЕФ з типовою для встановлення його раціональних параметрів. В якості імітаційної моделі використано сенсор ЕФ з двома групами чутливих пластин. Показано отримані форми сигналу індукованого заряду та розрахованих значень індукованого струму на чутливій пластині в залежності від кута повороту екрануючого ротора. Проведено розрахунок невизначеності рівняння перетворення первинного вимірювального перетворювача та проведено аналіз чутливості рівнянь перетворення напруженості електростатичного поля в струм.

У третьому розділі дисертації автор вдосконалив інформаційно-вимірювальну систему напруженості електростатичного поля з використанням блоку амплітудного детектування цифровим алгоритмом амплітудного аналізатора розмаху сигналу; додавання схеми самокалібрування аналогового контуру ІВС; включення блоку підсилення з керованим коефіцієнтом підсилення.

Дисертантом проведена оптимальна конфігурація та розроблена конструкція сенсора ЕФ: визначення значення оптимальної відстані між чутливими пластинами та екрануючою пластинною; визначення значення раціональної кількості секторів. Представлено методики, хід та результати комп'ютерного моделювання сенсора ЕФ. Встановлено відношення чутливості сенсора ЕФ з різною кількістю лопаток до конфігурації з двома лопатками. Автор запропонував та обґрунтував новий підхід до розрахунку коефіцієнтів пропорційності чутливості сенсора ЕФ від його конфігурації та конструкції. Розроблена методика розрахунку невизначеності рівняння вимірювання. Проведено аналіз чутливості рівнянь перетворення напруженості електростатичного поля в струм. Для порівняння типового та вдосконаленого рівнянь перетворення розраховано їх коефіцієнти чутливості та бюджет невизначеностей. Проведено розрахунок невизначеності вимірювання вдосконаленої математичної моделі сенсора ЕФ.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню вдосконаленої інформаційно-вимірювальної системи напруженості електростатичного поля. Запропоновано та обґрунтовано узагальнену структурну схему ІВС напруженості ЕП. Для вдосконалення схеми перетворення струму в напругу запропоновано та обґрунтовано схему незаземленого диференціального трансїмпедансного підсилювача з нульовим падінням напруги. Встановлено критерії вибору оптимальних операційних підсилювачів для побудови схем трансїмпедансних підсилювачів та проведено

їх аналіз. Проведено комп'ютерні моделювання параметрів шумів схем в частотному діапазоні та фактичного коефіцієнта підсилення для типової та запропонованої схем диференціальних трансїмпедансних підсилювачів. Обґрунтовано методику розрахунку інструментальної похибки вимірювання аналогового каскаду ЕФ та проаналізовано вплив похибки квантування на загальний результат вимірювання напруженості ЕП.

У четвертому розділі дисертаційної роботи присвячено експериментальному дослідженню вдосконаленого електростатичного флюксиметру. Запропоновано алгоритм цифрової обробки вимірювальної інформації отриманих з сенсору вдосконаленого ЕФ. Автор розробив методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для проведення калібрування вдосконаленого ЕФ та алгоритм калібрування аналогового контуру електростатичного флюксиметру та сенсору електростатичного флюксиметру. Дисертант розробив еталонний стенд для проведення калібрування сенсору та представив методику проведення експериментального дослідження похибок вимірювання вдосконаленого електростатичного флюксиметру.

Підсумки дисертації відображено у загальних висновках, які корелюють з висновками за кожним з розділів, розкривають досягнення мети і завдань досліджень та є достовірними.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Повшенка Олександра Анатолійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. У разі використання ідей, тверджень, відомостей із зовнішніх джерел інформації, у роботі є на них посилання, що відповідає нормам законодавства про авторське право та суміжні права.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана у загальноприйнятому для наукових видань стилі державною мовою, на достатньо науково-професійному рівні. Виклад результатів досліджень, висновків та рекомендацій є чітким і доступним для сприйняття та послідовним.

Слід відзначити, що здобувач сформулював цілісний науковий апарат дослідження, з належним визначенням його елементів: об'єкта, предмета, мети, завдань дослідження, які у процесі послідовного рішення одержали вичерпні формулювання. Кожен розділ дисертації має власну наукову значущість, слугує науковим підґрунтям для наступного розділу та в результаті об'єднання усіх розділів формулюється цілісне наукове дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні наукові положення та результати, що викладені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто.

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 1 публікація, що додатково відображає результати дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Автором самостійно отримано основні положення, які винесені на захист (вдосконалено рівняння перетворення напруженості електростатичного поля в струм та вдосконалено математичну модель сенсору напруженості електростатичного поля за рахунок врахування залежності чутливості сенсору від його конфігурації та будови; розроблено методологію визначення оптимальних параметрів конфігурації та будови сенсору напруженості електростатичного поля; розроблено вдосконалену інформаційно-вимірювальну систему напруженості електростатичного поля у вимірювальному діапазоні до 1кВ/м з поліпшеними метрологічними характеристиками). Самостійно розраховано числові значення коефіцієнтів пропорційності чутливості сенсора від його конфігурації та будови для розрахунку оптимальної конструкції сенсора електростатичного флюксиметру; розроблено раціональну конструкцію сенсору напруженості електростатичного поля для вимірювання у діапазоні до 1кВ/м; розроблено алгоритм обробки вхідного сигналу для вдосконаленої інформаційно-вимірювальної системи та прототип вдосконаленого електростатичного флюксиметру.

У друкованих працях, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: В роботі [1] – дослідження аспектів використання трансїмпедансних підсилювачів для задач перетворення отриманого з сенсору електростатичного флюксиметру струму в напругу та запропоновано схему незаземленого диференціального трансїмпедансного підсилювача з нульовим падінням напруги, що дозволить зменшити інструментальну похибку та забезпечити лінійність вимірювання напруженості електростатичного поля; в роботі [2] – проведено комп'ютерне моделювання сенсору електростатичного флюксиметру встановив оптимальні параметри його геометричної конфігурації, що дозволять

сформувані необхідні вимоги до побудови вдосконалених вимірювачів напруженості електростатичного поля у низькому динамічному діапазоні до 1 кВ/м; в роботі [3] – провів порівняльний аналіз сучасних методів та засобів вимірювання напруженості електростатичних полів атмосфери, сформував загальні функціональні вимоги до апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальних систем напруженості електростатичного поля атмосфери; в роботах [4,6,7] – запропонував універсальну математичну модель сенсору електростатичного флюксиметру, а також вдосконалену функціональну схему електростатичного флюксиметру та розробив метод розрахунку її інструментальної похибки приладу; в роботах [5,8] – провів аналіз основних методів вимірювання напруженості електричних та електростатичних полів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Перший розділ має великий об'єм, проте не приведено відомих схем, структур, рисунків приладів, тільки приведена одна таблиця;
2. Структуру запропонованого пристрою можна віднести до приладів (рис.3.1), а не до інформаційно-вимірювальних систем ІВС, тому що візуалізацію вимірювального параметру, а також отриманих даних не передбачено. Не розкрито яку функцію виконують блоки ААРС, ВПС. Не наведено їх розшифрування;
3. Автор окремо виділяє блок цифрової обробки. Відомо, що сучасні мікропроцесори програмно можуть виконувати функції всіх структурних ланцюгів цього блоку, з якою ціллю вони природно і вироблені: функції цифрової фільтрації, калібрування даних, обробку результатів вимірювання;
4. Автор не вказав, які структурні ланцюги входять до вимірювального контуру (стор. 101, третій абзац). Аналоговий контур описано по структурній схемі, а вимірювального контуру не вказано.
5. Мають місце окремі неточності та незначні помилки, а саме: індекс s формулі 1.6 (стор.62) не розшифровано, у формулі 1.7 (стор.63) необхідно уточнити правильність запису, на рис.2.10 представлено розподіл електростатичного поля від відстані, що потребує додаткового пояснення, а саме: візуально наведені (рис. 2.10 *а,б,в*) нічим не відрізняється одне від одного, розшифрування складових формули 1.25 (стор. 92) не відповідає складовим цього виразу.

Вважаю, що вказані зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Повшенко Олександра Анатолійовича на тему «Вдосконалення ротаційного методу вимірювання напруженості електростатичного поля» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Повшенко Олександр Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 15« Автоматизація та приладобудування » за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент:

Заслужений метролог України,
завідувач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій
Національного авіаційного університету,
доктор технічних наук, професор



Володимир КВАСНІКОВ

«15» травня 2024 року



Кваснікова В.П.

засвідчую

Вислий секретар

Національного авіаційного університету

М. Велицький