

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ВАСИЛЕЦЬ Катерини Сергіївни

«Підвищення точності вимірювання електричної енергії в режимі зниженого навантаження», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

Актуальність теми дисертаційної роботи. Питання підвищення точності обліку електроенергії є надзвичайно важливим для розвитку вітчизняного енергетичного сектору. Покращення метрологічних характеристик засобів обліку, удосконалення алгоритмів цифрового оброблення результатів вимірювання дозволить суттєво знизити нетехнологічні втрати електроенергії. Це, в свою чергу, покращить фінансовий стан енергопостачальних організацій і дозволить вивільнити кошти для відновлення та модернізації електромереж. В дисертаційній роботі зроблено акцент на дослідженні точності обліку під час режиму зниженого навантаження, коли первинні струми вимірювальних трансформаторів струму є заниженими для гарантування нормованої похибки обліку. Аналіз такого режиму є виправданий з точки зору реальних умов експлуатації вузлів обліку електроенергії в розподільних електромережах напругою 0,38 кВ. Таким чином, робота присвячена розкриттю теми, що є актуальною для енергопостачальних організацій та споживачів електроенергії.

Дисертаційна робота Василець Катерини Сергіївни присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає у підвищенні точності вимірювання електроенергії вузлом обліку в режимі зниженого навантаження на основі математичного моделювання невизначеності вимірювання з урахуванням статичних характеристик вимірювальних трансформаторів струму в умовах несиметрії навантажень фаз.

Дисертація виконана в контексті наукових досліджень, що проводяться кафедрою комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету, відповідно до Закону України № 3715-VI «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема, за напрямом «Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії». Також Василець Катерина Сергіївна була виконавцем Науково-дослідної роботи «Вимірювання та облік електричної енергії із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму в умовах зниженого навантаження» (Національний університет водного господарства та природокористування на замовлення ПрАТ «Рівнеобленерго», UA20-2020-01328/000 від 03.09.2020 р., договір №4-778 від 28.08.2020 р.).

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні точності вимірювання електроенергії вузлом обліку в режимі зниженого навантаження на основі математичного моделювання невизначеності вимірювання з урахуванням статичних характеристик вимірювальних трансформаторів струму в умовах несиметрії навантажень фаз.

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертаційна робота Василець К.С. виконана на достатньо високому науковому рівні. Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням комплексних досліджень із застосуванням відомих теоретичних та експериментальних методів, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами експериментів. За основу дослідження авторкою обрано досягнення та здобутки вітчизняних і зарубіжних вчених в галузі невизначеності вимірювання, побудови вимірювальних інформаційних систем, нечітких множин, теорії ймовірностей та математичної статистики, дисперсійного та регресійного аналізу. Висновки і рекомендації є об'єктивними завдяки

коректному використанню математичного апарату та результатів експериментальних досліджень.

Достовірність результатів дослідження. Достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується проходженням апробації основних положень дисертаційного дослідження Василюк К.С. на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях.

Аналіз дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок, що її авторка провела ґрунтовне вивчення та узагальнення літературних джерел, дослідила особливості принципу, методів та засобів вимірювання електроенергії, здійснила математичне моделювання, порівняла одержані результати з результатами експериментів, що дозволило підтвердити адекватність теоретичної моделі для оцінювання невизначеності вимірювань експериментальним даним.

В роботі використано сучасні методи аналізу результатів вимірювання, зокрема: методи коваріаційного аналізу, що дозволили авторці встановити суттєвість впливу параметрів окремих вимірювальних трансформаторів струму на характер регресійної залежності та оцінити її параметри; аналіз регресійних залишків – для перевірки доцільності обраної регресійної моделі при описі статичної характеристики трансформаторів струму; статистичні критерії Ст'юдента, Фішера, Колмогорова-Смірнова, Дарбіна-Уотсона – для перевірки статистичних гіпотез. Оцінювання не випадкової невизначеності вимірювання електроенергії за одним вимірювальним каналом вузла обліку здійснювалося з використанням теорії нечітких множин. Поліноміальна апроксимація експериментальних значень функції приналежності вимірюваної величини здійснювалася за критерієм мінімуму чебишевської норми нев'язки. При апроксимації меж нечітких функцій використовувався метод найменших квадратів, для чисельної реалізації якого застосовано симплекс метод Нелдера-Міда мінімізації функції декількох змінних.

Дисертаційна робота є особистим здобутком Василиць К.С. й містить переконливі наукові положення та висновки.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримано наступні нові наукові результати, що мають достатній рівень новизни.

1. Вперше отримано математичну модель для оцінювання нечіткою функцією невизначеності вимірювання електроенергії вузлом обліку в режимі зниженого навантаження, яка враховує вплив величин несиметричних струмів фаз навантаження на межі нечіткого інтервалу, що характеризує результат вимірювання при граничному рівні довіри.

2. Удосконалено методика оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії за одним вимірювальним каналом вузла обліку, який, на відміну від відомих, дозволяє оцінювати значення параметрів множини L-R меж нечіткої функції для множини рівнів довіри, що характеризує точність обліку електроенергії.

3. Уточнено статичну характеристику вимірювального трансформатора струму електромагнітного типу при зниженому навантаженні вузла обліку електроенергії лінійною регресійною моделлю, яка відрізняється від відомих універсальністю, оскільки характеризує вимірювальний перетворювач з довільним коефіцієнтом трансформації в межах заданого класу точності.

Теоретична та практична значимість результатів дисертаційного дослідження. Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Запропонована математична модель для оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом обліку в режимі зниженого навантаження дозволяє покращити метрологічні характеристики засобів обліку та підвищити точність вимірювання електроенергії.

2. Розроблено метод оцінювання точності обліку електроенергії за одним вимірювальним каналом вузла обліку в режимі зниженого навантаження, який

дає змогу враховувати вплив на точність несиметричних струмів фаз навантаження.

3. Одержана універсальна статична характеристика вимірювального трансформатора струму електромагнітного типу забезпечує підвищення точності формування рахунків за електроенергію відповідно до показів лічильника трансформаторного підключення.

4. Розроблена прикладна комп'ютерна програма для оцінювання недообліку електроенергії через наявність режиму зниженого навантаження за значеннями робочих параметрів вузла обліку, використання якої дає змогу уточнити фінансові розрахунки між енергопостачальними компаніями та споживачами за спожиту електроенергію.

Теоретична значимість дослідження проявляється в тому, що отримані результати можна розглядати як внесок у розвиток сучасних методів оцінювання невизначеності вимірювання електричних величин.

Одержані наукові результати впроваджені на ТОВ «Сонячні стандартні рішення» та ПрАТ «Науково-виробниче об'єднання «Київський завод автоматики». Також результати роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності. Дисертаційна робота написана грамотно, державною мовою, на високому стилістичному рівні. Структура роботи є цілісною та взаємопов'язаною. Стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 206 сторінок. Робота містить список використаних джерел (140 найменувань) на 19 сторінках і 6 додатків на 58 сторінках.

У першому розділі «Сучасний стан методів та засобів вимірювання електричної енергії» критично проаналізовано, з використанням літературних джерел останніх років, останні тенденції розвитку вимірювальних інформаційних систем для електроенергетики. Встановлено можливість програмної корекції результатів вимірювання з урахуванням динамічного діапазону вимірювання. В результаті аналізу існуючих методик оцінювання невизначеності результатів вимірювання в умовах обмеженого обсягу вибірок авторка робить висновок про доцільність застосування теорії нечітких множин. Доводиться актуальність підвищення точності вимірювання електроенергії через суттєве поширення режиму зниженого навантаження вузлів обліку.

У другому розділі «Математичне моделювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом обліку при зниженому навантаженні» авторка, на основі обґрунтованого комплексу припущень, висуває гіпотезу про можливість подання статичної характеристики вимірювальних трансформаторів струму лінійною регресією. Крім того, пропонується метод, що базується на підході до оцінювання не випадкової невизначеності з використанням теорії нечітких множин, для оцінювання точності обліку при фіксованому струмі вимірювального каналу. На основі цього Василець К.С. характеризує кожен з вимірювальних каналів вузла обліку за допомогою нечіткої функції. Такий новаторський підхід дозволяє одержати універсальний інструмент для оцінювання невизначеності вимірювання за каналом при довільному струмі з характерного для режиму зниженого навантаження діапазону. Зваження таких нечітких функцій за струмами фаз дозволяє одержати шукану математичну модель, що оцінює невизначеність вимірювання електроенергії вузлом обліку.

У третьому розділі «Експериментальна ідентифікація значень параметрів математичної моделі для оцінювання невизначеності вимірювання електричної енергії» авторка характеризує засоби вимірювальної техніки, що використовувалися для проведення експериментів, та умови їх проведення.

Велика увага приділена обробленню результатів експериментальних досліджень. З використанням статистичних методів оцінено регресійну модель для статичної характеристики вимірювального трансформатору струму класу точності 0,5 S. Також оцінено значення параметрів метрологічних характеристик кожного з вимірювальних каналів, на основі чого досліджено невизначеність вимірювання електроенергії трифазним лабораторним вузлом обліку. Встановлено задовільну адекватність результатів математичного моделювання експериментальним даним.

У четвертому розділі «Підвищення точності вимірювання електричної енергії вузлом обліку» обґрунтовано шляхи практичної реалізації запропонованої математичної моделі. Для цього авторка розробила прикладну комп'ютерну програму, що дає змогу оцінити рівень недообліку електроенергії.

Повнота викладення основних наукових результатів дисертаційної роботи в наукових працях. Основні результати досліджень авторки за темою дисертації викладено у 17 друкованих працях, з них 3 – у фахових виданнях України (з яких 2 наукові праці – у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus), 14 – матеріали і тези доповідей на конференціях.

Публікації за тематикою дисертації підтверджують оприлюднення всіх отриманих результатів. В публікаціях у фахових виданнях зміст дисертаційної роботи розкрито повністю.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. Здійснений аналіз дисертаційної роботи та публікацій Василиць К.С., що розкривають основні наукові результати дослідження, не дає підстав припускати, що в них мають місце порушення академічної доброчесності (академічний плагіат, самоплагіат, фабрикація, фальсифікація). 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.

Зауваження до дисертаційної роботи. Відзначаючи актуальність обраної здобувачкою теми, наукову новизну результатів дисертаційного дослідження, їх достовірність та повноту викладення в опублікованих працях, слід вказати і на наявність наступних дискусійних положень та недоліків. Суть основних з них:

1. З тексту дисертації незрозуміло, чи можливо шляхом застосування запропонованих методик дистанційно виявити відмову вимірювального трансформатора струму або лічильника електроенергії в складі вузла обліку для його/їх найшвидшої заміни.

2. Під час аналізу недообліку енергоенергії для конкретних умов необхідно було вирахувати середнє значення недообліку в абсолютних одиницях з визначенням вартості, наприклад, за місяць. Це б підсилило практичну значущість роботи.

3. Незрозуміло, яким чином було взято до уваги несиметрію фазних напруг розподільної електромережі.

4. В розділі 2 (с. 64) сказано, що для вимірювання дійсного значення електроенергії був використаний лічильник прямого підключення, обмотки якого вмикаються послідовно до первинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму, які входять до складу вузла комерційного обліку. Лічильники електроенергії мають власні похибки і не вважаються приладами для еталонних вимірювань. Замість лічильника прямого включення для вимірювання дійсного значення електроенергії варто було б застосовувати еталонні лічильники електроенергії або аналізатори якості електроенергії, які мають відповідний для еталонних вимірювань клас точності.

5. В розділі 3 здобувачка зазначає, що використання регресійної залежності для оцінки невизначеності вимірювання струму вимірювальним трансформатором має перевагу: дає можливість аналітичного визначення діапазону зміни струмової похибки для заданої величини первинного струму. Оцінка невизначеності поточного вимірювання за допомогою регресійної залежності та довірчих інтервалів має потенційні недоліки, які не були

враховані в роботі. Зокрема, такий підхід ґрунтується на припущеннях про лінійність між поточною похибкою та первинним струмом. Якщо залежність не є строго лінійною або якщо в системі є нелінійності, оцінена невизначеність може неточно відображати справжню невизначеність у вимірюваннях. Окрім того, підхід регресійної залежності припускає, що співвідношення між поточною похибкою та первинним струмом є стабільним і застосовним у різних робочих умовах. Натомість, якщо параметри системи або умови роботи істотно змінюються, регресійна модель може неточно відобразити невизначеність, що призведе до неточних результатів. Нарешті, підхід регресійної залежності може бути специфічним для конкретного використовуваного вимірювального трансформатора струму. Застосування оціненої невизначеності до інших трансформаторів струму або інших установок вимірювання (узагальнення) без належної перевірки може призвести до неправильної оцінки невизначеності. Зважаючи на ці особливості, необхідна додаткова перевірка застосовності регресійної моделі залежності для оцінки невизначеності вимірювання струму вимірювальним трансформатором.

6. З тексту дисертації не зрозуміло, як можна ввести коригувальні коефіцієнти для результатів вимірювання електроенергії, використовуючи результати оцінювання адекватності математичної моделі невизначеності вимірювання електроенергії при зниженому навантаженні (таблиця 3.2), зокрема фактичний рівень довіри.

7. У висновках до розділу 3 стверджується, що підтверджено несуттєвість впливу коефіцієнта трансформації вимірювального трансформатора струму для конкретного класу точності на характер статичної характеристики у відносних одиницях. Доцільно було б проаналізувати, як впливає клас точності на характер такої залежності.

Вказані недоліки не відносяться до положень і результатів, які винесені на захист, та не знижують загального позитивного враження про роботу.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Василиць Катерини Сергіївни на тему «Підвищення точності вимірювання електричної енергії в режимі зниженого навантаження» є завершеною науковою працею. Вона вирішує важливу науково-технічну задачу підвищення точності вимірювання електроенергії вузлом обліку в режимі зниженого навантаження на основі математичного моделювання невизначеності вимірювання з урахуванням статичних характеристик вимірювальних трансформаторів струму в умовах несиметрії навантажень фаз. Основні положення роботи, що виносяться на захист, характеризуються науковою новизною.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року №261 (зі змінами), 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 року №44 (зі змінами), а її авторка – Василиць Катерина Сергіївна – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент: кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики Сумського державного університету



Дяговченко
І.М. Дяговченко
Підпис *Дяговченко І.М.*
засвідчую
проб. грех. в відділу кадрів
В.В. П. Красеня