

ВІДГУК

опонента Плюгіна Владислава Євгеновича
на дисертаційну роботу Костюкова Івана Олександровича
**«Розвиток методів контролю технічного стану електричної ізоляції за
параметрами ємності та тангенса кута діелектричних втрат»,**
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу
речовин

Актуальність теми.

Необхідність надійної роботи електротехнічного обладнання а також електропостачання побутових споживачів та інфраструктурних об'єктів, визначає актуальність забезпечення контролю та діагностики технічного стану елементів систем передачі електричної енергії. Однією із найпоширеніших причин виходу з ладу електротехнічного обладнання є пошкодження електричної ізоляції внаслідок процесів її електричного та теплового старіння під дією експлуатаційних факторів. Зазначена обставина визначає необхідність розвитку методів контролю процесів старіння ізоляції електротехнічного обладнання, що засвідчує актуальність вибраної теми дисертаційного дослідження, яке спрямоване на розвиток методів контролю технічного стану електричної ізоляції за параметрами ємності та тангенса кута діелектричних втрат. Актуальність застосування саме цих параметрів електричної ізоляції при вирішенні проблеми визначення її технічного стану визначається суттєвим зв'язком між значеннями електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат та діагностичними критеріями, що використовуються при застосуванні інших методів контролю. Так, крім різних геометричних факторів, величина електричної ємності визначається поляризаційними процесами в діелектриках і тому значним чином впливає на діагностичні критерії, отримані із застосуванням абсорбційних методів контролю. В той же час, значення тангенса кута діелектричних втрат демонструють кореляцію із механічними властивостями ізоляції та рівнем часткових розрядів.

Здобувач приймав участь в роботі над науково-дослідними темами:
«Дослідження ефективності технологічного контролю кабельно-провідникової

продукції в умовах діючого виробництва з метою створення бази даних технологічного контролю і впровадження методів контролю для забезпечення гарантованого рівня бездефектності продукції», (ПАО «Завод «Південкабель», м. Харків), «Проведення аналітичних досліджень та розроблення науково-обґрунтованих пропозицій щодо визначення суттєвих експлуатаційних характеристик, порогових рівнів, класів та системи або систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції категорії «Силові, контрольні кабелі і кабелі зв'язку» на замовлення Міністерства розвитку громад та територій України відповідно до наказу Мінрегіону від 09.04.2021 № 89, а також при виконанні теми №: 0122U001297 «Застосування фізичного та математичного моделювання для підвищення стійкості авіаційно-космічної техніки та об'єктів критичної інфраструктури до дії потужних електромагнітних впливів».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі є достатньо високою та заснована на коректному застосуванні математичного апарату, статистичній обробці результатів вимірювань, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів наукових досліджень здобувача підтверджена їх успішним використанням на підприємствах промисловості України, застосуванням стандартних обчислювальних процедур при статистичній обробці результатів вимірювань, порівнянням отриманих в дисертаційній роботі результатів із результатами, отриманими на основі використання інших методів.

Зв'язок докторської дисертації з кандидатською.

Положення та висновки, захищеної здобувачем у 2015 році кандидатської дисертації: «Метод контролю ефективної магнітної проникності феромагнітного спірального дроту броні силових кабелів», не виносяться на захист його докторської дисертації.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– вперше обґрунтовано підвищення завадостійкості визначення фазового зсуву між гармонічними сигналами струму та напруги із компонентами сторонніх шумів шляхом визначення декількох скалярних добутків досліджуваних сигналів із допоміжними тригонометричними функціями, значення частот яких дозволяють відокремлювати внесок ортогональних тригонометричних складових в розраховані частотні залежності скалярного добутку, завдяки чому розроблена модифікація кореляційного методу визначення фазового зсуву, що дає можливість збільшити завадостійкість визначення тангенсу кута діелектричних втрат для ємнісних об'єктів контролю із зниженим рівнем добротності;

– вперше визначена умова відсутності фазового зсуву між кривими падіння напруги на резистивно заземленому досліджуваному шарі фазної ізоляції трьохжильного силового кабелю та заземлюючому резисторі, що дає можливість розробити метод визначення часткових ємностей та відповідних значень тангенса кута діелектричних втрат шарів фазної ізоляції;

– вперше визначена умова ортогональності напруги на ємності та паразитній індуктивності ємнісного об'єкта контролю для його аперіодичного режиму розряду, що дало можливість розробити метод вимірювання паразитної індуктивності ємнісних об'єктів контролю;

– дістали подальшого розвитку способи обстеження трьохжильних силових кабелів при визначенні індивідуальних параметрів їх ізоляції на основі застосування сукупних вимірювань. Розроблена схема обстеження передбачає резистивно-ємнісне заземлення досліджуваного шару ізоляції та дозволяє спростити процедуру контролю у порівнянні із традиційними для кабельної техніки схемами обстеження, що використовуються при визначенні параметрів ізоляції шляхом застосування сукупних вимірювань;

– дістали подальшого розвитку засновані на використанні сукупних вимірювань методи визначення $\text{tg}\delta$ ізоляції трьохжильних силових кабелів, завдяки аналітичному вирішенню сформованої на основі теорії неоднорідних діелектриків

системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих значень $\operatorname{tg}\delta$, що дало можливість спростити процедуру контролю параметрів ізоляції за рахунок відмови від застосування чисельних методів.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Проведені в дисертаційній роботі дослідження сфокусовані на розвитку методів контролю технічного стану електричної ізоляції за рахунок зменшення впливу паразитних індуктивних та ємнісних параметрів досліджуваних об'єктів контролю на точність визначення параметрів електричної ізоляції, вдосконаленні алгоритмів обробки кривих струму та напруги при розрахунку параметрів діелектриків та аналізу специфічних особливостей часових рядів результатів вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат. Отримані в дисертаційній роботі результати дозволяють підвищити завадостійкість розрахунку тангенса кута діелектричних втрат, уникнути вплив паразитних ємнісних зв'язків досліджуваних шарів ізоляції на результати вимірювання їх ємності та тангенса кута діелектричних втрат, проводити вимірювання паразитної індуктивності ємнісних об'єктів контролю в режимі їх аперіодичного розряду.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За результатами проведених в дисертаційній роботі досліджень опубліковано 34 роботи, з них 26 статей в періодичних виданнях, з яких 10 у виданнях, внесених до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, та 16 в наукових фахових виданнях. За матеріалами конференцій опубліковано 8 наукових праць, з яких 4 статті в матеріалах конференцій, внесених до наукометричної бази Scopus.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота містить анотації, вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел із 330 найменувань та 4 додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність вибраного напрямку дисертаційного дослідження, показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету дослідження та поставлено необхідні для її досягнення задачі. Сформульовано наукову новизну та практичне значення

отриманих результатів, наведено інформацію щодо публікацій та апробації роботи а також використані при вирішенні поставлених в дисертаційній роботі задач методи дослідження.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану розвитку методів та приладів контролю технічного стану електричної ізоляції. Особлива увага приділена аналізу методів, побудованих на реєстрації часткових розрядів, застосуванні високовольтних імпульсів напруги та абсорбційних явищ в електричній ізоляції а також на вимірюванні електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат. Також першому розділі проведено аналіз особливостей застосування методів теорії цифрової обробки сигналів при аналізі часових рядів результатів вимірювання параметрів діелектриків та обробці сигналів при побудові, призначених для визначення параметрів діелектриків, інформаційно-вимірювальних систем. За результатами проведеного аналізу зроблено висновки про актуальність методів контролю, заснованих на використанні параметрів електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат та визначено основні фактори, що перешкоджають вимірюванню цих параметрів для багатьох розповсюджених на практиці об'єктів контролю. Встановлено, що до таких факторів належать паразитні індуктивні та ємнісні параметри досліджуваних шарів ізоляції, а також недоліки існуючих алгоритмів обробки сигналів струму та напруги.

Другий розділ присвячено розробці шляхів зменшення впливу розтікання спектру на аналіз часових рядів результатів вимірювання параметрів діелектриків із використанням перетворення Фур'є. Крім того, в розділі сформульовано особливості часових рядів результатів одночасного вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат кабелів на основі витих пар. Встановлено, що до таких специфічних особливостей, що ускладнюють фізичну інтерпретацію отриманих експериментальних даних, відноситься можливість різного впливу флуктуацій результатів вимірювання електричної ємності на відповідні значення тангенса кута діелектричних втрат, що для одного часового ряду може одночасно визначатись функціональним зв'язком між цими параметрами для випадків послідовної та паралельної схеми заміщення ємнісного об'єкту контролю.

Також в розділі проаналізовані особливості спектрального аналізу часових рядів результатів вимірювання тангенса кута діелектричних втрат. За результатами проведеного аналізу встановлено, що до таких особливостей відноситься можливість втрати інформації щодо існування в часовому ряді періодичної складової, внаслідок необхідності застосування перетворення Фур'є до часового ряду, що містить винятково додатні дискретні значення.

В третьому розділі, з метою збільшення завадостійкості вимірювання тангенса кута діелектричних втрат для ємнісних об'єктів контролю із зниженим рівнем добротності, розроблено модифікацію кореляційного методу визначення фазового зсуву. На відміну від класичного кореляційного методу, застосування якого передбачає розрахунок одного скалярного добутку між досліджуваними сигналами з однаковими частотами, розроблена модифікація передбачає визначення фазового зсуву після попереднього розрахунку початкових фаз досліджуваних сигналів. При цьому початкові фази досліджуваних сигналів струму та напруги, в свою чергу, визначаються на основі розрахунку декількох скалярних добутків сигналів із допоміжними тригонометричними функціями з різними частотами, значення яких дозволяють відокремити вплив ортогональних тригонометричних складових в частотну залежність розрахованих скалярних добутків. Проаналізовано найбільш суттєві складові, що зумовлюють похибку розробленої модифікації кореляційного методу та розроблено шляхи їх усунення. Результати порівняльного аналізу класичного кореляційного методу визначення фазового зсуву та його розробленої модифікації показали вищий рівень завадостійкості кореляційного методу в діапазоні значень фазового зсуву від 45° до 90° , в той же час в діапазоні значень від 0° до 45° кращий рівень завадостійкості демонструє розроблена модифікація кореляційного методу.

В четвертому розділі проаналізовано основні схеми з'єднання електропровідних елементів при визначенні індивідуальних значень ємності та тангенса кута діелектричних втрат кожного з шарів ізоляції трьохжильних силових кабелів з паперовою імпрегнованою ізоляцією із застосуванням сукупних вимірювань. Проаналізовано складові дисперсії результатів визначення часткових

ємностей трьохжильних силових кабелів із застосуванням сукупних вимірювань, наведено аналітичне рішення для сформованої на основі теорії неоднорідних діелектриків системи рівнянь відносно індивідуальних значень тангенса кута діелектричних втрат кожного з шарів ізоляції в трьохжильних силових кабелях в спільній металевій оболонці.

В п'ятому розділі розроблено метод вимірювання часткових ємностей та відповідних значень тангенса кута діелектричних втрат шарів ізоляції між жилами трьохжильних силових кабелів. Розроблений метод було адаптовано для вимірювання часткових ємностей об'єктів контролю із 3 електродами.

В шостому розділі розроблено метод вимірювання паразитної індуктивності ємнісних об'єктів контролю, наведено, засновані на застосуванні аналогових помножувачів сигналів AD633, схеми фазових фільтрів для застосування у вимірювачах електричної ємності, заснованих на застосуванні перетворювачів напруги в струм та струму в напругу, проведено аналіз впливу паразитної індуктивності ємнісних об'єктів контролю на результати вимірювання їх тангенса кута діелектричних втрат та ємності.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичне значення роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В дисертації необхідно було приділити більше уваги вдосконаленню автоматизації вимірювань. Так, наприклад, одним із результатів проведених в Розділі 5 досліджень є розробка послідовності процедур (резистивно-ємнісне заземлення досліджуваного шару ізоляції, регулювання величини заземлюючого опору, вимірювання напруг...), що дає можливість визначення індивідуальних значень ємності та тангенса кута діелектричних втрат шарів ізоляції між жилами силових кабелів з трьома струмопровідними жилами в спільній металевій оболонці. В той же час, зазначені результати не реалізовані в конкретному приладі для контролю ізоляції силових кабелів такого типу. Також в конкретному приладі не реалізовано розроблений в Розділі 3 метод визначення фазового зсуву, на основі якого пропонується визначати тангенс кута діелектричних втрат ємнісних об'єктів

контролю.

2. За результатами проведених в Розділі 6 досліджень було варто навести рекомендації, що дають можливість усунути вплив паразитної індуктивності на результати вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат для розглянутої схеми вимірювання на основі перетворювача напруги в струм.

3. В додатках не наведено програми, за якими із використанням методу найменших квадратів були визначені коефіцієнти рівняння (3.19).

4. В роботі не наведено аргументації щодо вибору частоти тестової напруги, за якої необхідно проводити вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат.

5. Необхідно відзначити наявність в тексті дисертації деяких неточностей, що ускладнюють сприйняття наведеної в роботі інформації. Так наприклад, в Розділі 2 починаючи із с. 83 порушена нумерація рисунків. Крім того, згідно із наведеною в Розділі 5 інформацією, для наведеної на Рис. 5.5 схеми передбачається застосування змінного резистору R_s , проте використано позначення резистору із постійним опором.

6. Не наведено рекомендацій щодо практичного застосування встановленого в Розділі 4 на с. 176 кореляційного зв'язку між результатами вимірювання сукупних значень електричної ємності трьохжильних силових кабелів при застосуванні різних схем з'єднання електропровідних елементів конструкції.

7. У загальних висновках дисертаційної роботи не наведено критерій, за яким можна робити висновки про те, наскільки розроблений в Розділі 3 алгоритм визначення фазового зсуву дозволяє підвищити завадостійкість у порівнянні із кореляційним методом. Розраховані середньоквадратичні похибки наведені лише у висновках до Розділу 3.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Костюкова Івана Олександровича «Розвиток методів контролю технічного стану електричної ізоляції за параметрами ємності та тангенса кута діелектричних втрат» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв’язує важливу наукову проблему, суть якої полягає в розвитку методів контролю технічного стану електричної ізоляції за параметрами ємності та тангенса кута діелектричних втрат за рахунок зменшення впливу паразитних параметрів досліджуваних шарів ізоляції на результати вимірювань.

Дисертація «Розвиток методів контролю технічного стану електричної ізоляції за параметрами ємності та тангенса кута діелектричних втрат» Костюкова І.О. виконана із дотриманням принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а здобувач Костюков Іван Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Опонент

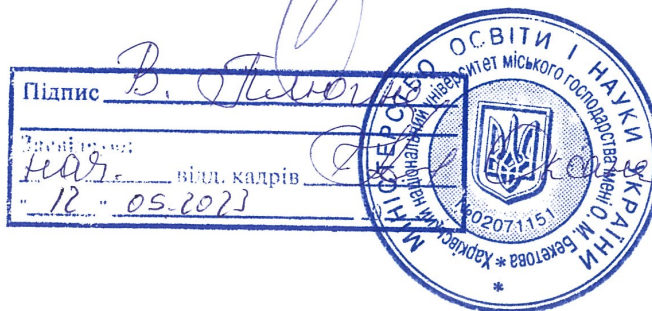
завідувач кафедри систем
електропостачання та електроспоживання
міст Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова
доктор технічних наук, професор

12.09.2023

Відзнак надійшов «12» 09 2023 р.
Вчений секретар спец. ради ДВУ.050.09
Сергій ЛЬВОВ

Владислав ПЛЮГІН

Підпис *В. Шевченко*
Дата: *12.09.2023*
Відл. кадрів



В. Шевченко