

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, доктора технічних наук, доцента

СЕРЕДИ Олександра Григорійовича

на дисертаційну роботу **КУНДІУС Катерини Дмитрівни**

**«Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля
вбудованих трансформаторних підстанцій»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Детальний аналіз дисертаційної роботи КУНДІУС Катерини Дмитрівни на тему «Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій», що подана для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дозволяє зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності та надати дисертації загальну оцінку.

1. Актуальність теми

Робота присвячена вирішенню надзвичайно важливої задачі захисту людини від небезпечної дії техногенного магнітного поля, що створюється такими об'єктами електроенергетики, як вбудовані трансформаторні підстанції. На сьогодні в світі цій проблемі приділяється велика увага в зв'язку з канцерогенними властивостями магнітного поля промислової частоти при його довготривалому впливі на організм людини. У різних країнах світу, в тому числі і в Україні, існує велика кількість вбудованих трансформаторних підстанцій розміщених на незначній відстані (декілька метрів) від житлових приміщень. Відомими методами захисту людини від небезпечного впливу зовнішнього магнітного поля промислової частоти об'єктів електроенергетики є методи та засоби активного екранування, що характеризуються високою ефективністю й

низькою металоємністю. Переважно ці методи та засоби широко використовуються для ліній електропередачі й є недостатньо розвиненими та пристосованими для вбудованих трансформаторних підстанцій. Отже тема дисертаційної роботи КУНДІУС Катерини Дмитрівни, яка спрямована на розробку систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих у житлові будинки міських трансформаторних підстанцій з метою зменшення індукції їх зовнішнього магнітного поля до безпечного для організму людини рівня в прилеглих житлових приміщеннях, є актуальною.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі «Автоматизовані електромеханічні системи» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Здобувач безпосередньо брала участь у двох науково-дослідних роботах: «Розвиток наукових засад нормалізації геомагнітного поля в приміщеннях сучасних житлових будинків» (ДР 0116U005462) та «Розвиток методів та засобів нормалізації магнітного поля промислової частоти у приміщеннях житлових будинків, що створюється вбудованими трансформаторними підстанціями та побутовим електрообладнанням» (ДР 0122U001772).

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертація містить наукову новизну.

До найбільш суттєвих здобутків роботи слід віднести наступне:

- Запропонована й теоретично та експериментально обґрунтована удосконалена мультидипольна математична модель зовнішнього магнітного поля трифазного струмопроводу, яка ґрунтується на двофазній дипольній моделі трифазного електричного кола і у порівнянні із відомою трифазною мультидипольною моделлю дозволяє без втрати точності розрахунків вдвічі наблизити розрахункову область та забезпечити розрахунок магнітного поля вбудованої трансформаторної підстанції для всіх наближених до неї житлових приміщень будинку, які розташовані на відстані від одного метра.

- Вперше розроблена, теоретично та експериментально обґрунтована методика синтезу систем активного екранування магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій потужністю 100–1260 кВА, яка ґрунтується на удосконаленій двофазній мультидипольній математичній моделі магнітного поля струмопроводу, законі Біо-Савара для визначення магнітного поля системи екранування, а також методі оптимізації елементів системи мультироєм частинок з множини Парето-оптимальних рішень з урахуванням бінарних відносин переваги і дозволяє синтезувати системи із теоретичною ефективністю $6 \div 16$ одиниць, які зменшують магнітне поле в наближених житлових приміщеннях до рівня санітарних норм.
- Вперше запропоновано здійснювати синтез систем активного екранування потенційного магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій із визначенням магнітного поля не у всьому об'ємі житлового приміщення, а на контрольній площині D, яка максимально наближена до підстанції і розташовується у приміщенні паралельно підлоги або стіни, що дозволяє істотно зменшити обсяг розрахунків при гарантованому зменшенні потенційного магнітного поля у всьому об'ємі приміщення за площиною D.
- Набули подальшого розвитку методи розрахунку зовнішнього магнітного поля активних конструктивних елементів трансформаторної підстанції з урахуванням удосконаленої мультидипольної моделі магнітного поля струмопроводів, циліндричних просторових гармонік магнітного поля кабелів та ймовірно-статистичного методу прогнозування 10 магнітного поля трансформатора, що дозволило виявити та експериментально обґрунтувати основне джерело магнітного поля підстанції, а саме її низьковольтний струмопровід, вклад якого в загальний рівень магнітного поля на відстані 2 м складає понад 90%, що дозволяє в інженерних розрахунках не враховувати інші джерела магнітного поля.

Положення наукової новизни в дисертаційній роботі КУНДІУС Катерини Дмитрівни сформульовані належним чином, характеризуються високим рівнем обґрунтованості та свідчать про значний рівень наукового пізнання здобувача.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практичне значення одержаних результатів полягає в визначенні основних джерел та фактичних рівнів магнітного поля трансформаторних підстанцій в прилеглих житлових приміщеннях, створенні методики синтезу систем активного екранування зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій, розробці систем активного екранування та практичних рекомендацій щодо їх побудови. Використання нових систем активного екранування дозволяє зменшити рівень магнітного поля у житлових приміщеннях до безпечного рівня та більш ефективно вирішити задачу зміцнення здоров'я мешканців житлових будинків з вбудованими трансформаторними підстанціями внаслідок зниження негативного впливу магнітного поля промислової частоти на організм людини.

Пропозиції здобувача впроваджені в Державній установі «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України» (м. Харків) та передані на впровадження у ТОВ «КиївПромЕлектроПроект» (м. Київ) для розробки нормативних документів з проектування міських трансформаторних підстанцій із екологічно безпечним для населення рівнем електромагнітного поля промислової частоти.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані здобувачем

За результатами дослідження дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, а саме: у фахових наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України – 5, з них у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science – 4, з яких у наукометричній базі Scopus (Q3) – 1; у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України – 1; у тезах доповідей та матеріалах конференцій – 3.

У наведених публікаціях повною мірою викладені основні здобутки, наукові результати та висновки дисертаційної роботи КУНДІУС Катерини Дмитрівни на окремих етапах дослідження.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертаційна робота КУНДІУС Катерини Дмитрівни є завершеною науковою працею, містить анотацію українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список літератури та три додатки. Загальний обсяг дисертації становить 136 сторінок, обсяг основного тексту дисертації – 117 сторінок.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі пов'язаної з розробкою систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих у житлові будинки міських трансформаторних підстанцій для зменшення індукції їх магнітного поля до безпечного для населення рівня в прилеглих житлових приміщеннях.

У *вступі* доведена актуальність теми, обґрунтована мета і задачі дослідження, окреслені об'єкт, предмет, а також методи дослідження, сформульовані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, надані відомості щодо наукових публікацій та апробації результатів досліджень роботи.

У *першому розділі* викладено огляд літературних джерел, в яких проаналізовано рівні зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій на відповідність діючим у світі та в Україні санітарно-гігієнічним нормам для населення. Проведений аналіз конструктивних елементів трансформаторних підстанцій з метою визначення джерел їх зовнішнього магнітного поля. Розглянуті відомі методи моделювання та розрахунку, а також засоби зменшення зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій в цілому та окремих їх конструктивних елементів. Обґрунтована та доведена необхідність подальшого розвитку досліджених методів моделювання та розрахунку та засобів синтезу систем активного екранування магнітного поля з урахування конструктивних особливостей саме вбудованих трансформаторних підстанцій. Здійснена постановка задач дисертаційних досліджень.

У *другому розділі* викладено результати експериментальних та теоретичних досліджень зовнішнього магнітного поля трансформаторних

підстанцій. Приведені результати експериментальних досліджень розподілу зовнішнього магнітного поля частоти 50 Гц, для 110 діючих міських трансформаторних підстанцій м. Харкова та визначено, що рівень їх магнітного поля перевищує санітарно-гігієнічний норматив для населення у прилеглих житлових приміщеннях. Окрім того, досліджені окремі конструктивні елементи трансформаторних підстанцій як можливі джерела зовнішнього магнітного поля та з'ясовано, що основним джерелом, з вкладом понад 90 %, є низьковольтний струмопровід. Удосконалено та експериментально перевірено мультидипольну математичну модель зовнішнього магнітного поля трифазних струмопроводів, що базується на використанні двофазної моделі трифазного електричного кола, що дозволило, у порівнянні з відомою мультидипольною моделлю вдвічі наблизити розрахункову область.

У *третьому розділі* наведено обґрунтування виконання розімкненої структури систем активного екранування магнітного поля вбудованих підстанцій. Розроблено методику синтезу систем активного екранування магнітного поля в житлових приміщеннях будинків із вбудованими трансформаторними підстанціями. Запропоновано здійснювати синтез систем активного екранування вбудованих підстанцій шляхом визначення та зменшення їх магнітного поля не в усьому об'ємі житлового приміщення, а на контрольній площині, яка розташовується у приміщенні на межі зони нормування магнітного поля. Виконано синтез систем активного екранування магнітного поля для 6 типів вбудованих трансформаторних підстанцій потужністю від 100 кВА до 1260 кВА з однією, двома та чотирма компенсаційними обмотками. За результатами синтезу запропоновані структури та параметри систем екранування, які доступні для фізичної реалізації і мають ефективність $6 \div 16$ одиниць.

У *четвертому розділі* подані результати експериментальної перевірки удосконаленої математичної моделі трифазного струмопроводу та ефективності синтезованої системи активного екранування магнітного поля вбудованої трансформаторної підстанції на лабораторній установці із повномасштабним

фізичним макетом низьковольтного струмопроводу підстанції 100 кВА та повномасштабним фізичним макетом синтезованої для нього системи активного екранування. Результати експериментальних досліджень підтвердили з припустимою похибкою, що не перевищувала 7%, адекватність запропонованої математичної моделі трифазного струмопроводу та з також припустимою похибкою в 10 %, коректність розробленої методики синтезу.

У висновках подані основні результати та здобутки проведених досліджень спрямовані на вирішення поставленої мети. Висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Перелік використаних джерел повною мірою охоплює розглянуту у дисертаційній роботі тематику, має достатню кількість джерел, що висвітлюють стан світових досягнень щодо моделювання та розрахунку зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій, а також методів та засобів зниження його рівня, особливо шляхом синтезу систем активного екранування.

Додатки містять відомості щодо впровадження результатів дисертаційної роботи.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність наукових положень роботи підтверджується: коректним використанням відомих теоретичних та експериментальних методів обґрунтування отриманих результатів; узгодженістю даних експерименту та наукових висновків; експериментальними даними, поданими в роботах інших авторів; обґрунтованим вибором основних припущень та обмежень; використанням апробованого математичного апарату; поєднанням теоретичних досліджень з великим обсягом натурних експериментів; даними лабораторних експериментів; збіжністю аналітично отриманих результатів моделювання з експериментальними даними та результатами практичного впровадження; апробацією основних результатів роботи на наукових симпозіумах та конференціях; отриманими актами впровадження.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації сформульовані з результатів, які наведені в розділах роботи. Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності. Отримані результати підтверджують оригінальність дослідження. У тексті присутні авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи. Усі наукові положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані у необхідному обсязі у фахових виданнях, пройшли відповідну апробацію в українських та закордонних наукових конференціях.

9. Недоліки та зауваження щодо дисертаційної роботи

1. В роботі недостатньо повно розкрито фізична сутність дипольного моделювання магнітного поля трансформаторних підстанцій, що базується на запропонованій удосконаленій двофазній мультидипольній математичній моделі магнітного поля трифазного струмопроводу.
2. Не достатньо обґрунтоване прийняте припущення про відсутність електропровідних та феромагнітних мас в приміщенні трансформаторної підстанції, що не завжди відповідає дійсності, особливо при будівництві сучасних підстанцій.
3. Не розглянуті питання функціонування синтезованих систем активного екранування при зміні порядку чергування фаз мережі живлення трансформаторної підстанції.
4. Недостатньо обґрунтований вибір розімкненої структури регулювання системи активного екранування, яка за наявності одного датчика струму не дозволяє ефективно екранувати магнітне поле, що створюється вихідними фідерами підстанції при несиметричному навантаженні, а також за наявності нелінійних спотворень.

5. Не зовсім зрозуміло, чи результати лабораторного експерименту з дослідження ефективності синтезованих систем активного екранування будуть повною мірою адекватними умовам їх реальної експлуатації.
6. Дисертантом недостатньо повно розглянуте питання економічного обґрунтування переваг систем активного екранування над традиційними методами пасивного екранування зважаючи на додаткові втрати електричної енергії на живлення систем активного екранування.
7. При формулюванні математичної моделі електромагнітного поля на стор. 16 систему рівнянь Максвелла у диференційній формі (1.1) у загальному випадку бажано доповнити відомими, так званими, матеріальними співвідношеннями, які враховують магнітну μ та діелектричну ϵ проникності: $B = \mu H$; $D = \epsilon E$.
8. З практичної точки зору варто було б порівняти результати досліджень рівнів зовнішнього магнітного поля вітчизняних трансформаторних підстанцій проведених у розділі 2 і закордонних поданих на рис. 1.5, проаналізувати причини відмінностей у результатах і зробити висновки щодо можливості використання розробок здобувача наведених у розділі 3, а саме синтезовані системи активного екранування магнітного поля, для закордонних вбудованих підстанцій.
9. В анотації, на стор. 19, у підписі до рис. 1.5 йдеться про дослідження зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій "в країнах Європи", маючи на увазі Фінляндію, Сербію, Угорщину, Іспанію, Швецію та Швейцарію. Зважаючи на те, що Україна теж належить до європейських країн, бажано було б підібрати інше формулювання на кшталт «в таких країнах Європи, як ...».

Наведені недоліки жодним чином не впливають на позитивну оцінку виконаної роботи та цієї рецензії, переважно мають характер рекомендаційний для подальших досліджень здобувача за тематикою дисертації.

10. Висновки

Дисертаційна робота **КУНДІУС Катерини Дмитрівни «Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій»** є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, суть якої полягає в зменшенні негативного впливу зовнішнього магнітного поля промислової частоти на організм людини, містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну, практичну спрямованість та перспективи подальших досліджень. Тематика проведених досліджень за змістом повною мірою відповідає галузі знань 14 – Електрична інженерія та спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Враховуючи актуальність теми, отримані результати та практичну значущість роботи вважаю, що дисертаційна робота **КУНДІУС Катерини Дмитрівни «Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій»** відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам здобувач, **КУНДІУС Катерина Дмитрівна** заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

РЕЦЕНЗЕНТ:

доктор технічних наук, доцент
професор кафедри «Електричні апарати»
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

«24» листопада 2023 р.

Підпис *Олександр Середя*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

«24» 11 2023 р.



ЗАЙЦЕВ Ю. І.