

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, д.т.н., професора Шевченко Сергія Юрійовича
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 розгляд та аналіз дисертаційної роботи Кундіус Катерини Дмитрівни на тему «Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити загальний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

1. Актуальність теми

Проблема обмеження техногенного впливу електромагнітного поля енергетичних об'єктів на здоров'я населення є однією з найбільш значущих проблем людства. Основними джерелами небезпечного магнітного поля промислової частоти 50 (60) Гц, у електроенергетичних системах, є високовольтні повітряні та кабельні лінії електропередачі, що проходять на відстані 10-100 м від житлових будинків та мають значну протяжність. Однак останнім часом в світі все більше уваги приділяється захисту населення від магнітного поля міських трансформаторних підстанцій, що вбудовані у житлові будинки і широко розповсюджені в різних країнах світу, в тому числі в Україні. Вбудовані підстанції розташовані на малій відстані (1–2 метри) від житлових

приміщень і створюють в них магнітне поле, індукція якого може досягати 10 мкТл. Таке магнітне поле більш ніж на порядок перевищує гранично допустимий рівень індукції магнітного поля 0,5 мкТл, який прийнятий в енергетичній галузі України і тому потребує обмеження.

Як показують закордонні дослідження, вирішення проблеми обмеження до безпечного рівня магнітного поля у житлових будинках із вбудованими трансформаторними підстанціями традиційними методами – за допомогою пасивних електромагнітних (магнітостатичних) екранів, потребує спорудження мало технологічних та занадто металоємних конструкцій для досягнення необхідної ефективності екранування в 5–15. Що призводить до суттєвого збільшення ціни спорудження підстанції.

Методи та засоби активного екранування магнітного поля, які розроблені для лінії електропередавання можуть бути використані для вбудованих трансформаторних підстанцій. Однак в Україні ці методи є недостатньо розвиненими для вбудованих підстанцій, що в основному пов'язано з мало вивченими специфічними особливостями трансформаторних підстанцій як джерела магнітного поля та малою відстанню (1-2 м) від підстанцій до житлових приміщень.

Тому розробка ефективних та технологічних систем активного екранування для вбудованих трансформаторних підстанцій потребує більш детального вивчення їх особливостей як джерел зовнішнього магнітного поля для створення на цій основі ефективних методів синтезу таких систем активного екранування. Вказане обумовлює актуальність теми дисертаційної роботи, яка присвячена створенню систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих у житлові будинки міських трансформаторних підстанцій для обмеження індукції їх магнітного поля до безпечного рівня.

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

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі «Автоматизовані електромеханічні системи» НТУ «ХП» відповідно до наукової програми

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Проведені дослідження тісно пов'язані із наступними державними бюджетними темами планових фундаментальних досліджень Інституту технічних проблем магнетизму НАН України та ІІмаш НАН України: 1.«Розвиток наукових засад нормалізації геомагнітного поля в приміщеннях сучасних житлових будинків» (0116U005462); 2. «Розвиток методів та засобів нормалізації магнітного поля промислової частоти у приміщеннях житлових будинків, що створюється вбудованими трансформаторними підстанціями та побутовим електрообладнанням» (0122U001772).

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертація містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок роботи можна назвати наступне:

- удосконалено та експериментально обґрунтовано мультидипольну математичну модель зовнішнього магнітного поля для вбудованих трансформаторних підстанцій, яка забезпечує розрахунок магнітного поля у всіх наближених до трансформаторних підстанцій житлових приміщеннях;
- вперше запропоновано, реалізовано та експериментально обґрунтовано методику синтезу систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій 10(6)/0,4 кВ потужністю 100-1260 кВА;
- вперше використано контрольну площину для спрощення визначення максимальних значень магнітного поля у житловому приміщенні будинку із вбудованою трансформаторних підстанцій;
- вперше обґрунтована можливість заміщення вбудованої трансформаторної підстанції як джерела зовнішнього магнітного поля її низьковольтним струмопроводом.

Вважаю, що в дисертаційній роботі вперше в Україні вирішена актуальна науково-практична задача створення систем активного екранування

зовнішнього магнітного поля вбудованих у житлові будинки міських трансформаторних підстанцій потужністю 100–1260 кВА для зменшення індукції їх магнітного поля до безпечного для населення рівня у прилеглих житлових приміщеннях.

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

Результати досліджень використано при виконанні наукових досліджень за наступними плановими темами: 1. «Розвиток наукових засад нормалізації геомагнітного поля в приміщеннях сучасних житлових будинків» (шифр «БІОМАГ 2», № ДР 0116U005462, 2017 – 2021 рр.), де здобувач була відповідальним виконавцем; 2. «Розвиток методів та засобів нормалізації магнітного поля промислової частоти у приміщеннях житлових будинків, що створюється вбудованими трансформаторними підстанціями та побутовим електрообладнанням» (шифр «ЕКОМ», № ДР 0122U001772, 2022 – 2026 рр.), де здобувач є виконавцем окремих розділів.

В роботі розроблені рекомендації з практичної побудови систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій, виконання яких дозволить в реальних умовах експлуатації забезпечити фактичну ефективність екранування до 14 одиниць. Це дозволить при використанні систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих у житлові будинки міських трансформаторних підстанцій потужністю 100–1260 кВА та вирішення задачі обмеження індукції їх магнітного поля до безпечного для населення рівня.

Результати дисертаційних досліджень передані до впровадження ТОВ «КиївПромЕлектроПроект» 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 автором

За результатами дослідження дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, з них у фахових наукових виданнях, рекомендованих ДАК Міністерства освіти і науки України – 5, у реферативній базі Scopus – 1 (Q3), Web of Science – 4, наукових праць, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації – 3, з них одна в Європі. Зазначене вище дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають значення для вирішення соціально важливої задачі зменшення до безпечного для населення рівня індукції магнітного поля в приміщеннях житлових будинків із вбудованими трансформаторними підстанціями.

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

Дисертація Кундіус К.Д. є завершеною науковою роботою, містить дві анотації – українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список літератури і додатки.

Дослідження виконано на основі фундаментальних положень теоретичної електротехніки, методах математичного та фізичного моделювання джерел магнітного поля, аналітичних та чисельних методів аналізу та сучасних інформаційних технологіях.

Об'єктом дослідження є зовнішнє магнітне поле міських трансформаторних підстанцій. *Предметом досліджень* є системи активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій.

У першому розділі на основі аналізу закордонних та вітчизняних публікацій проаналізовано конструкцію типової міської трансформаторної підстанції та визначені її основні елементи, які створюють в оточуючому просторі магнітне поле промислової частоти. Проведено аналіз рівня індукції

зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій, його відповідність діючим у світі та в Україні санітарно-гігієнічним нормативам для населення і діючим у світі біологічним стандартам для житлових будинків, та виявлена необхідність його зменшення. Розглянуті відомі методи моделювання і розрахунку зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій та її конструктивних елементів, а також оприлюднені результати їх вимірювання. Проаналізовані відомі методи зменшення до безпечного рівня зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій, в тому числі найбільш технологічні методи активного екранування магнітного поля трансформаторних підстанцій. На основі проведеного аналізу обґрунтована необхідність подальшого розвитку методів моделювання та розрахунку магнітного поля трансформаторних підстанцій з їх експериментальною перевіркою на діючих в Україні підстанцій з урахуванням їх конструктивних особливостей, подальшого розвитку методів синтезу систем активного екранування магнітного поля з експериментальною перевіркою їх ефективності, а також розробки рекомендацій з практичного застосування синтезованих систем активного екранування. Виконана постановка задач дисертаційних досліджень.

У другому розділі викладено результати експериментальних досліджень розподілу індукції зовнішнього магнітного поля для 110 діючих міських трансформаторних підстанцій м. Харкові, в тому числі 6 вбудованих трансформаторних підстанцій, та проведено аналіз трансформаторних підстанцій як джерела магнітного поля; запропонована математична модель магнітного поля трифазних вхідних та вихідних кабелів трансформаторних підстанцій на основі просторових циліндричних гармонік магнітного поля та виконано розрахунок індукції магнітного поля від кабелів підстанцій; запропоновані розрахункові співвідношення та виконано розрахунок магнітного поля трансформаторів підстанції на основі ймовірнісно-статистичного методу визначення їх магнітного моменту, удосконалено мультидипольну математичну модель магнітного поля для струмопроводів підстанцій та здійснено розрахунок магнітного поля високовольтного та

низьковольтного струмопроводів на її основі; визначені основні джерела зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій; виконано розрахунок індукції магнітного поля в житлових приміщеннях будинків з вбудованими трансформаторними підстанціями та здійснено експериментальну перевірку результату; визначена необхідна ефективність екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій у прилеглих житлових приміщеннях.

У третьому розділі обґрунтовано та запропоновано структуру системи активного екранування магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій, розроблено методику синтезу систем активного екранування магнітного поля в житлових приміщеннях будинків із вбудованими трансформаторними підстанціями. Виконано синтез систем активного екранування магнітного поля для 6 типів вбудованих трансформаторних підстанцій, потужністю від 100 кВА до 1260 кВА із однією, двома та чотирма компенсаційними обмотками при різних (1–2 м) відстанях від підстанцій до житлових приміщень. На основі синтезу виявлені структури та параметри систем активного екранування, які доступні для фізичної реалізації і дозволяють зменшити рівень магнітного поля в прилеглих житлових приміщеннях до рівня санітарних норм для населення. Приведено опис лабораторної установки, створеної для фізичного моделювання зовнішнього магнітного поля трансформаторної підстанції 100 кВА та синтезованої для цієї підстанції системи активного екранування. Представлено програму та методику експериментальних досліджень. Приведені результати експериментальних досліджень та виконано їх аналіз, що підтверджує співпадіння результатів теоретичних досліджень та експерименту з розкидом менше 10% та коректність запропонованих теоретичних положень. Запропоновані практичні рекомендації із побудови систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій.

Висновки, сформульовані у роботі, висвітлюють результати дослідження як вирішення висунутих в дисертації завдань. В цілому висновки відповідають

вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури із 107 найменувань достатньо широко охоплює предметне поле дослідження, певною мірою відображає опрацювання автором значної кількості іноземних та вітчизняних джерел.

Додаток містить інформацію про практичне впровадження результатів дисертації.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність результатів, отриманих у дисертації, підтверджено експериментальною перевіркою удосконаленої математичної моделі магнітного поля підстанції ТП 100 кВА та синтезованої для неї системи активного екранування на лабораторній установці із повномасштабними фізичними макетами струмопроводу підстанції 100 кВА та синтезованої системи активного екранування, результати якого показали співпадіння отриманих в дисертації теоретичних положень та експерименту із похибкою менше 10%.

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

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у п'яти фахових статтях, трьох публікацій у інших наукових українських та закордонних виданнях. Дисертант активно приймав участь в українських та закордонних конференціях, де була проведена апробація ідей, що викладено у дисертаційному дослідженні.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Доцільно було б більш уваги приділити переходу від трифазної математичної моделі магнітного поля струмопроводу до удосконаленої двофазної математичної моделі магнітного поля трифазного струмопроводу.

2. В роботі не було розглянуто гібридні системи екранування магнітного поля, що включають як традиційне пасивне електромагнітне екранування, так і системи активного екранування.

3. Залишилися не проробленими питання екранування магнітного поля з допомогою синтезованих систем активного екранування при нерівномірному навантаженні вихідних фідерів трансформаторної підстанції.

4. В роботі не розглянутий вплив на ефективність екранування магнітного поля сталевих коробів, які в сучасних вбудованих трансформаторних підстанціях охоплюють їх низьковольтні струмопроводи, а також наявності інших електропровідних конструктивних елементів, що розташованих поблизу підстанцій.

5. Дисертантом недостатньо уваги приділено перспективам подальшого розвитку методів та засобів активного екранування магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій, в тому числі використанню комбінованих систем екранування в разі необхідності реалізації високої ефективності екранування магнітного поля (більш 10 одиниць).

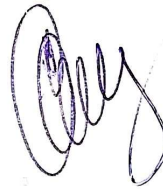
6. В роботі мають місце певні помилки, але вони в цілому не впливають на зміст дисертації.

10. Висновки

Дисертаційна робота Кундіус К.Д. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 14 – Електрична інженерія та спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та наявну практичну значущість 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, професор,
завідувач кафедри «Передача електричної енергії»
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»



Сергій ШЕВЧЕНКО

Підпис <i>проф. Сергія Шевченка</i> ЗАСВІДЧУЮ: ВЧЕННИЙ СЕКРЕТАР НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»	ЗАЙЦЕВ Ю. І.
"22" 11 <i>[Signature]</i>	

