

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Мазуренка Леоніда Івановича  
на дисертаційну роботу Кундіус Катерини Дмитрівни  
«Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля  
вбудованих трансформаторних підстанцій»,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
з галузі знань 14 «Електрична інженерія»  
за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**Актуальність теми дослідження, її зв'язок з науковими програмами і темами.**

Одними із найбільш небезпечних для проживання населення є приміщення житлових будинків із вбудованими міськими трансформаторними підстанціями 10(6)/0,4 кВ. Такі підстанції забезпечують електроживлення цих будинків, мають потужність 100-1000 кВА. Вони створюють у наближених житлових приміщеннях сильне магнітне поле промислової частоти, що має канцерогенні властивості.

В Україні вбудовані трансформаторні підстанції є найбільш розповсюдженими у п'ятиповерхових житлових будинках побудови 1950-1970 рр. У великих містах України таких будинків налічуються сотні.

Характерною особливістю будинків із вбудованими трансформаторними підстанціями є мала (1-2 м) відстань між магнітоактивним електрообладнанням підстанцій та розташованими поблизу них житловими приміщеннями. Це, як показано в багаточисельних закордонних дослідженнях, призводить до створення в житлових приміщеннях сильного магнітного поля промислової частоти з індукцією біля 10 мкТл. Таке магнітне поле більш ніж на порядок перевищує гранично допустимий рівень довготривалого впливу магнітного поля, регламентованого ВООЗ (0.2-0,3 мкТл), а також прийнятого в енергетичній галузі України для житлових приміщень. Тому магнітне поле вбудованих трансформаторних підстанцій є небезпечним для населення і потребує зменшення.

Основним методом зменшення до безпечного рівня магнітного поля від вбудованих трансформаторних підстанцій, що розповсюджений в Європі, є

екранування. На низькій промисловій частоті більш технологічним у порівнянні із пасивним екрануванням електропровідними (ферромагнітними) матеріалами є екранування магнітного поля за допомогою систем активного екранування. Але технологія побудови таких систем, що створюються за кордоном, у публікаціях не розкривається.

В Україні до останнього часу дослідженню трансформаторних підстанцій, як джерел магнітного поля, та розробці методів та засобів його екранування до безпечного для населення рівня необхідної уваги не приділялось. Тому тема дисертаційних досліджень здобувача, що присвячена створенню методів синтезу 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 в прилеглих житлових приміщеннях, є безсумнівно актуальною.

Тема дисертаційних досліджень виконується в Україні вперше і пов'язана з виконанням наступних науково-дослідних робіт Інституту технічних проблем магнетизму НАН України та ІПмаш НАН України, в яких здобувач брав безпосередню участь:

1.«Розвиток наукових засад нормалізації геомагнітного поля в приміщеннях сучасних житлових будинків» (шифр «БІОМАГ 2», № ДР 0116U005462, 2017 – 2021 рр.), участь здобувача – відповідальний виконавець.

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.), участь здобувача – виконавець окремих розділів.

### **Структура дисертаційної роботи.**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і трьох додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно

вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами.

*У першому розділі* 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, та виявлена необхідність його зменшення із визначенням необхідної ефективності. Розглянуті відомі методи моделювання і розрахунку зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій та їх конструктивних елементів, а також оприлюднених результатів вимірювання магнітного поля трансформаторних підстанцій. Проаналізовані відомі методи зменшення до безпечного рівня зовнішнього магнітного поля трансформаторних підстанцій, в тому числі найбільш технологічні методи активного екранування. На основі проведеного аналізу обґрунтована необхідність подальшого розвитку методів моделювання та розрахунку магнітного поля трансформаторних підстанцій з їх експериментальною перевіркою на діючих в Україні трансформаторних підстанціях 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 підстанцій м. Харкова, в тому числі 6 вбудованих, та проведено їх аналіз як джерела магнітного поля. Запропонована математична модель магнітного поля трифазних вхідних та вихідних кабелів 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 підстанцій на основі ймовірно-статистичного методу визначення їх магнітного моменту. Розвинуто 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 підстанціями та здійснено експериментальну перевірку результатів. 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 підстанціями. Виконано синтез систем активного екранування магнітного поля для 6 типів вбудованих 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.

У *четвертому розділі* приведено опис лабораторної установки, створеної для фізичного моделювання зовнішнього магнітного поля трансформаторної підстанції 100 кВА та синтезованої для неї 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 відхиленням менше 10% та коректність запропонованих теоретичних положень. Запропоновані практичні рекомендації із побудови систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій.

*Висновки* до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

*Список використаних джерел* із 107 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

*Анотація* відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

- Запропонована та експериментально обґрунтована удосконалена мультидипольна математична модель зовнішнього магнітного поля трифазного струмопроводу, яка ґрунтується на двофазній дипольній моделі магнітного поля трифазного електричного кола. Вперше показано, що удосконалена двофазна мультидипольна математична модель в порівнянні із відомою трифазною мультидипольною моделлю дозволяє без збільшення похибки вдвічі наблизити розрахункову область, та забезпечує розрахунок магнітного поля від вбудованої трансформаторної підстанції для всіх наближених до неї житлових приміщень будинку, які розташовані на відстані від одного метра.

- Вперше розроблено та експериментально обґрунтовано науковий підхід до синтезу систем активного екранування магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій потужністю 100–1260 кВА, який 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 6–16 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 підлозі (стіни), і це дозволяє істотно зменшити обсяг обчислень при гарантованому зменшенні потенційного магнітного поля у всьому об'ємі приміщення за площиною  $D$ .

- Набули подальшого розвитку методи визначення характеру розподілу зовнішнього магнітного поля активних конструктивних елементів

трансформаторної підстанції. Методи реалізовані на основі удосконаленої мультидипольної моделі магнітного поля струмопроводів, циліндричних просторових гармонік магнітного поля кабелів та ймовірно-статистичного методу прогнозування магнітного поля трансформатора, що дозволило виявити та експериментально обґрунтувати основне джерело магнітного поля підстанції – її низьковольтний струмопровід, вклад якого в загальний рівень магнітного поля на відстані 2 м складає більше 90%, що дозволяє в інженерних розрахунках не враховувати інші джерела магнітного поля.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Визначені основні джерела та фактичні рівні зовнішнього магнітного поля міських трансформаторних підстанцій в прилеглих житлових приміщеннях, що необхідно для синтезу систем активного екранування магнітного поля трансформаторних підстанцій.

Розроблено системи активного екранування використання яких дозволяє зменшити рівень магнітного поля у житлових приміщеннях до безпечного рівня та ефективно вирішити задачу захисту здоров'я населення житлових будинків з вбудованими трансформаторними підстанціями від негативної дії магнітного поля промислової частоти.

Розроблено практичні рекомендації з побудови систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій.

Основні теоретичні положення та результати експериментальних досліджень дисертації використано в Державній установі «Інститут технічних проблем магнетизму Національної академії наук України» (м. Харків) при виконанні фундаментальних і прикладних досліджень в рамках тематичного плану за бюджетною тематикою, про що складено відповідний акт.

Результати дисертаційних досліджень передані до впровадження ТОВ «КиївПромЕлектроПроект» (м. Київ) для розробки нормативних документів з проектування міських трансформаторних підстанцій із екологічно безпечним для населення рівнем електромагнітного поля промислової частоти.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання** полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень вирішено актуальне наукове завдання удосконалення мультидипольної математичної моделі зовнішнього магнітного поля трифазного струмопроводу, розробки наукового підходу до синтезу систем екранування, розвитку методів визначення характеру розподілу зовнішнього магнітного поля активних конструктивних елементів для синтезу систем активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих у житлові будинки міських трансформаторних підстанцій.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі** Кундіус К. Д., забезпечується аргументованою постановкою мети і задач дослідження, коректним використанням основних положень теоретичної електротехніки, методів математичного моделювання і експериментального дослідження магнітного поля, чисельних методів аналізу та сучасних інформаційних технологій.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджено шляхом проведення практичних експериментів як в житлових приміщеннях реальних житлових будинків, так і лабораторних досліджень створених повномасштабних фізичних макетів трансформаторної підстанції та синтезованих систем активного екранування. Результати експерименту підтверджують обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, у тому числі: 1 стаття у науковому виданні, включеного до переліку наукових фахових видань України, 4 статті в наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science і Scopus (Q3), 3 тези доповідей та матеріали конференцій.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти,

наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на науково-практичних конференціях, які проходили у період 2020 – 2021 років.

**Рівень виконання поставленого наукового завдання та володіння здобувачем методологією наукової діяльності.**

Рівень виконання поставленого наукового завдання високий.

Ефективність виконання наукового завдання була досягнута завдяки вдало використаній методології як сокупності прийомів дослідження та вмілому її використанню.

**Академічна доброчесність.**

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено здобувачем на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків здобувача.

**Оформлення дисертації.**

Дисертація оформлена згідно з нормативними вимогами і стандартами з дотриманням системного викладення матеріалу. Робота написана державною мовою, стиль викладення матеріалу науковий, літературний. Текст дисертації переважно позбавлений граматичних і орфографічних помилок, а також технічних недоліків. Основні положення, висновки, пропозиції та рекомендації дисертації в цілому характеризуються послідовністю, аргументованістю і завершеністю.

**Зауваження по дисертаційній роботі.**

1. Дисертаційна робота має безумовно наукову новизну. Однак у п. 2

наукової новизни недоцільно акцентувати увагу на розробленні і обґрунтуванні методики синтезу, так як методики зазвичай не включають у пункти наукової новизни.

2. В анотації до дисертаційної роботи автор вказує на вирішення науково-практичної задачі, а у загальних висновках – на розв’язання наукового завдання. Що вирішує автор?

3. Не ясно, як виконана автором мінімізація негативного впливу на ефективність роботи синтезованих розімкнених систем активного екранування при наявності різноманітних металевих конструкцій, завжди присутніх в реальних будівлях і трансформаторних підстанціях (будівельна стальна арматура стін та перекрить, металеві шафи і коробка та ін.). Наявність таких металевих конструкцій не враховується автором при виконанні теоретичних досліджень (див. прийняті припущення на стор. 46), хоча такі конструкції, та особливості їх просторового розподілу у кожному будинку із вбудованою підстанцією, можуть по різному впливати на роботу систем активного екранування магнітного поля.

4. В роботі недостатньо аргументовані переваги виконання систем активного екранування зовнішнього магнітного поля підстанції в розімкненій структурі у порівнянні з їх реалізацією в замкненій структурі.

5. Результати дисертаційних досліджень були б більш корисними для практики, якби автор виконав аналіз ефективності запропонованих систем активного екранування магнітного поля не тільки у статичних, але й в динамічних режимах роботи підстанції.

6. У роботі не розкриті теоретичні основи побудови співвідношень, приведених у табл.1.4.

7. Не розглянута методика запропонованого автором настроювання системи активного екранування під контролем магнітного поля, похибка якої, напевно, і визначає кінцеву ефективність екранування зовнішнього магнітного поля в житловому приміщенні будинку із вбудованою трансформаторною підстанцією.

8. В дисертації недостатньо розкриті принципи побудови основних елементів системи активного екранування (рис 3.1) – пристрою управління (ПУ) та регулятора струму (РС).

9. Мають місце орфографічні помилки і неточності.

Зауваження не стосуються основних положень і результатів дисертаційної роботи, не знижують її наукової і практичної цінності і не впливають на загальний позитивний висновок по роботі.

### ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Кундіус Катерини Дмитрівни «Системи активного екранування зовнішнього магнітного поля вбудованих трансформаторних підстанцій» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка розв'язує важливе наукове завдання синтезу 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 в прилеглих житлових приміщеннях і яка за актуальністю, ступенем новизни представлених результатів, їх науковою обґрунтованістю, повнотою викладення в опублікованих наукових працях, рівнем виконання автором поставленого наукового завдання та володіння методологією наукової діяльності відповідає вимогам, які висувуються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація відповідає галузі знань 14 “Електрична інженерія” за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Кундіус Катерина Дмитрівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 14 “Електрична інженерія” за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент  
завідувач відділу електромеханічних систем  
Інституту електродинаміки НАН України,  
доктор технічних наук, професор



Леонід МАЗУРЕНКО

підпис *Л. Мазуренко* (до: *ЛМ*)  
Інституту електродинаміки  
Нац. Академії наук України

27.11.2023р

