

ВІДГУК

офіційного опонента Шведчикової Ірини Олексіївни
на дисертаційну роботу Безверхньої Юлії Сергіївни

**«Вдосконалення підходів визначення параметрів тролейних шинопроводів
систем цехового електропостачання з нелінійними навантаженнями»,**

що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
галузь знань 14 – Електрична інженерія

1. Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота спрямована на зменшення втрат напруги та активних втрат в тролєях шинопроводів від дії вищих гармонік струму внаслідок роботи напівпровідникових перетворювачів в цеховій мережі електропостачання для уникнення аварійних режимів роботи кранового електроприводу. Існуючі інженерні методики розрахунку активного та індуктивного опорів й електромагнітних параметрів тролейних шинопроводів не дозволяють забезпечити достовірність і точність розрахунку зазначених параметрів. Тому вдосконалення підходів, що забезпечать підвищення точності визначення активного та реактивного опорів і електромагнітних параметрів тролейного шинопровода з врахуванням гармонійних складових струму навантаження, електрофізичних та нелінійних властивостей матеріалів, поверхневого ефекту, ефекту близькості та інших крайових ефектів дозволить ефективно підібрати конфігурацію мережі цехового електропостачання, визначити місця установки тролейних компенсаторів для підживлення секцій тролєїв, що надасть можливість підвищити якість та надійність роботи струмоприймачів згідно до заявлених паспортних даних. Саме тому вирішення поставленого у дисертаційній роботі науково-прикладного завдання є, безумовно, актуальним.

2. Зв'язок роботи з науковими проблемами, планами і темами.

Тема та результати дисертації пов'язані з науково-дослідними роботами, що виконувались в Національному університеті "Запорізька політехніка" за

бюджетним фінансуванням:

- НДР ДБ 03415 «Розробка та дослідження напівпровідникових перетворювачів для електроприводу за схемою струмопараметричного асинхронно-вентильного каскаду» (номер держреєстрації 0115U002566). Строки виконання НДР: 01.01.2015 – 31.12.2016. Науковий керівник НДР: д-р техн. наук, проф. П.Д. Андрієнко. Участь автора – виконавець.

- НДР ДБ 03517 «Підвищення ефективності та надійності електротехнічних систем трансформування змінного струму» (номер держреєстрації 0117U003921). Строки виконання НДР: 01.10.2017 – 30.09.2020. Науковий керівник НДР: д-р техн. наук, проф. Д. С. Яримбаш. Участь автора – виконавець.

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

Основні положення та висновки, які наведені в дисертаційній роботі Безверхньої Ю. С., в достатній мірі обґрунтовані. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату теорії електромагнітного поля, методів розв'язання систем нелінійних диференційних рівнянь першого порядку у часткових похідних, гармонійного та регресійного аналізу, апроксимації та інтерполяції, спектрального аналізу, методів математичного та імітаційного моделювання. Для чисельної реалізації математичних моделей використовувались програмні засоби, зокрема COMSOL Multiphysics. Точність розрахунків підтверджуються даними верифікації та валідації розрахункових та експериментальних даних.

4. Основні наукові результати дисертації.

Наукова новизна результатів, що визначає рівень наукових досліджень, полягає у наступному:

- отримали подальший розвиток методи польових розрахунків, які відрізняються від існуючих виконанням декомпозиції електромагнітних

процесів в активних елементах шинопровода, що дозволило підвищити ефективність чисельної реалізації та вдосконалити підходи визначення параметрів тролейного шинопровода з врахуванням впливу гармонійних складових струму навантаження;

- запропоновано математичну двовимірну польову модель у частотній постановці задачі, яка відрізняється від існуючих тим, що дозволяє для кожної відповідної амплітуди і частоти k -ї гармоніки струму визначити електромагнітні параметри тролей шинопровода з врахуванням нелінійності магнітних та електрофізичних властивостей матеріалів, скін-ефекту, ефекту близькості, поверхневих та інших крайових ефектів;

- вдосконалено математичну модель щодо визначення втрат напруги в тролєях шинопровода в залежності від коефіцієнту потужності мережі, яка відрізняється від відомої тим, що дозволяє для кожного спектру частоти вищих гармонік струму врахувати кут зсуву за фазою падіння напруги, викликаного дією зовнішнього магнітного поля від струмів в сусідніх тролєях шинопровода, який дорівнює $\arctg(X_k/R_k)$;

- запропоновано імітаційну модель взаємопов'язаних електромагнітних процесів між електроприводом механізму переміщення та струмопровідними елементами мостового крана, яка відрізняється від існуючих тим, що дозволяє за даними розрахунку польової моделі використовувати інтегровані значення активного та реактивного опорів тролей шинопровода та визначити їх електромагнітні параметри в залежності від відстані розташування мостового крана до точки живлення тролей шинопровода.

5. Практичне значення дисертаційної роботи.

Практичне значення роботи полягає в розробці алгоритму, який на основі даних польового моделювання з врахуванням особливості конструкції та конфігурації тролейного шинопровода дозволяє встановити функціональну залежність падіння напруги від частоти та амплітуди вищих гармонік струму, яка представлена у вигляді бікубічного полінома, та дозволяє для діючих

спектрів і амплітуд вищих гармонік струму підібрати необхідні значення коефіцієнтів полінома без витрат часу на польове моделювання. Запропонована методика, яка з високою точністю (3,03%...8,57% в залежності від $\cos\varphi$) без витрат часу на польове моделювання для кожної k -ої гармоніки струму дозволяє визначити значення активного та реактивного опорів і падіння напруги з врахуванням і без врахування дії зовнішнього магнітного поля незалежно від форми і розташування тролей, відстані між ними і кількості фаз шинопровода. Надані практичні рекомендації щодо зменшення втрат напруги та активних втрат в тролєях шинопровода від дії вищих гармонік струму навантаження до рівня втрат напруги та активних втрат при основній гармоніці струму.

Результати дисертаційної роботи впроваджені:

- на ТОВ "Запорізький ливарно-механічний завод" м. Запоріжжя (гірничо-металургійної групи ТОВ «Метінвест Холдинг»), що забезпечило збереження проектних показників втрат напруги та активних втрат в тролєях шинопровода живлення мостового крану після модернізації на частотно-регульований електропривод;

- у навчальний процес кафедри електричних машин Національного університету "Запорізька політехніка" для розроблення нових дисциплін та лабораторних робіт для студентів першого та другого рівнів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», що навчаються за освітньою програмою «Електричні машини та апарати».

6. Аналіз наукових праць, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації.

Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 12 наукових працях, з яких 2 статті у закордонному виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 1 стаття у виданні, що входить до категорії А переліку фахових видань України та до міжнародної

наукометричної бази даних Scopus; 3 статті у виданні, що входить до категорії Б переліку фахових видань України; 4 статті у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science; 2 тези доповідей в збірниках конференцій.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами (постанова КМУ №979 від 21.10.2020р. та №608 від 09.06.2021р.).

7. Апробація основних положень та результатів дисертаційної роботи.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на Міжнародних науково-технічних конференціях та симпозіумах Запорізького національного технічного університету (2017-2019рр., м. Запоріжжя), IEEE International Conference on Modern electrical and energy systems, MEES 2017, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, November 15-17, Ukraine, 2017; IEEE 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET2018, February 20-24, Lviv-Slavske, Ukraine, 2018; IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), September 10-14, Kharkiv, Ukraine, 2018; IEEE International Conference on Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, Ukraine, September 21-25, 2020.

Матеріали дисертації були надані для широкого ознайомлення фахівцям і спеціалістам, а її результати та основні положення повністю висвітлені у друкованих виданнях.

8. Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Безверхньої Ю.С. складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел посилання з 195 найменувань,

чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 224 сторінки друкованого тексту, в тому числі 165 сторінок основного тексту, включаючи 38 рисунків і 15 таблиць. Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У **вступі** обґрунтовано актуальність, розглянуто зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

В **першому розділі** дисертаційної роботи виконаний аналіз особливостей вибору тролейних шинопроводів у системах цехового електропостачання та методів розрахунку їх активного та реактивного опорів і електромагнітних параметрів; розглянуто можливості застосування фільтро-компенсуючих пристроїв та пристроїв компенсації реактивної потужності для зменшення впливу вищих гармонік струму, які спричиняють збільшення втрат напруги та активних втрат в тролейному шинопроводі.

У **другому розділі** проведені дослідження електромагнітних процесів в активних елементах тролейного шинопровода засобами польового моделювання. Запропоновані 3D та 2D математичні польові моделі електромагнітних процесів в активних елементах тролейного шинопровода. Встановлені співвідношення параметрів, падіння напруги та активних втрат для різних форм тролей шинопровода від спектрів частот і амплітуд k -х гармонік струму і коефіцієнту гармонійних спотворень.

В **третьому розділі** запропоновані алгоритми і методики для визначення параметрів, втрат напруги та активних втрат без застосування польового моделювання.

В **четвертому розділі** на основі теоретичного дослідження були розроблені рекомендації щодо зниження втрат напруги та активних втрат в тролєях шинопровода при роботі частотно-регульованого електроприводу механізмів мостового крану.

Висновки за результатами роботи відповідають змісту дисертаційної

роботи. Оформлення дисертаційної праці, в цілому, відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017, № 40.

9. Оцінка академічної доброчесності.

Дисертаційна робота написана автором самостійно. На всі літературні джерела є відповідні посилання у дисертації. Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

10. Загальні зауваження по дисертаційній роботі:

1. У назві дисертаційної роботи бажано було б конкретизувати параметри, підходи до визначення яких вдосконалені в роботі.

2. В аналітичному розділі приділено увагу конструктивним особливостям шинопроводів тролей, виготовлених з коробчастого профілю куткової та прямокутної форми. У той самий час не наведені особливості застосування тролей круглого профілю.

3. У підрозділі 2.2 (табл. 2.3, 2.6) наведені розрахункові дані параметрів тролей шинопровода для 1-ої, 5-ої, 7-ої, 11-ої та 13-ої гармонік струму. В роботі відсутнє обґрунтування, чому саме такі гармоніки струму обрані для дослідження, адже на практиці у спектрі гармонік присутні й інші вищі гармоніки.

4. На рис. 2.10, 2.11 (стор. 81, 82 та 88) наведені поверхневі графіки падіння напруги, енергії магнітного поля та активних втрат в троліях шинопровода від коефіцієнту (відношення) короткого замикання R_{sce} , які є малоінформативними. Величина коефіцієнту короткого замикання є сталою, тому доцільно було б привести залежності вказаних величин від коефіцієнту гармонійного спотворення струму.

5. В підрозділі 3.3 дисертації при описі експериментального стенду зазначено, що в якості навантаження макетного зразку тролей шинопровода

застосовувався асинхронний двигун з двигуном постійного струму типу ПЗ2 потужністю 3,2 кВт, що потребує пояснень. Зазвичай для асинхронного двигуна навантаженням є генератор постійного струму.

6. В підрозділі 4.1 дисертації при описі та побудові імітаційної моделі електроприводу краново-металургійної серії не вказано, яким чином були визначені параметри схеми заміщення кранового асинхронного двигуна типу МТН-312-6.

7. У розділі 4 дисертації при дослідженні втрат напруги в троліях шинопровода при роботі мостового крану з релейно-контакторною системою керування частоти обертання ротора та з частотним перетворювачем для механізму переміщення застосовувався двигун з фазним ротором МТН-312-6. Не зрозуміло, яким чином виконувалось моделювання частотного електроприводу з двигуном з фазним ротором.

8. Присутні розбіжності в тексті роботи. Так, на стор. 62 згадуються 7, 9, 11 та 13 гармоніки струму, а в табл. 2.3 на стор. 63 показані значення активного опору вже для 5, 7, 11 та 13 гармонік.

9. Існують недоліки оформлення матеріалу дисертаційної роботи, за текстом іноді зустрічаються друкарські, пунктуаційні та стилістичні помилки.

Вважаю, що зазначені зауваження не стосуються основних положень та результатів дисертаційної роботи, не знижують її наукової, практичної цінності і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Безверхньої Юлії Сергіївни «Вдосконалення підходів визначення параметрів тролейних шинопроводів систем цехового електропостачання з нелінійними навантаженнями» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв’язує важливе науково-прокладне завдання, спрямоване на подальший розвиток методів польового розрахунку електромагнітних процесів в елементах конструкції тролейного шинопровода та удосконалення підходів визначення їх активного

та реактивного опорів й електромагнітних параметрів з врахуванням впливу гармонійних складових струму навантаження. Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 10, 11, 12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами (постанова КМУ №979 від 21.10.2020р. та №608 від 09.06.2021р.), а здобувачка Безверхня Юлія Сергіївна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютерної інженерії

та електромеханіки

Київського національного університету

технологій та дизайну,

доктор технічних наук, професор

04.01.2022



Ірина ШВЕДЧИКОВА

Підпис *Ірина Шведчикова*
засвідчую
Дов. КАНЦ