

РЕЦЕНЗІЯ

д.т.н., професора Болюха Володимира Федоровича
на дисертаційну роботу Пушкаря Олега Анатолійовича

«Забезпечення завадостійкості кабелів на основі витих пар для промислових
мереж»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Детальний аналіз дисертаційної роботи Пушкаря Олега Анатолійовича на тему «Забезпечення завадостійкості кабелів на основі витих пар для промислових мереж», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний 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

У сучасних умовах промисловий Ethernet став основною мережевою технологією для різноманітних промислових застосувань. Так у 2023 році Industrial Ethernet становить 68% світового ринку нових встановлених вузлів автоматизації виробництва. Промислові мережі Ethernet відстають за цілим рядом показників від комерційних офісних кабельних систем, що обумовлює необхідність застосування спеціальних кабелів на основі витих пар. Офісна кабельна інфраструктура Ethernet на основі витих пар має відносно невелику довжину (до 100 метрів) і встановлюється у середовищі з незначними електромагнітними впливами, які виникають при роботі малопотужного мережевого обладнання.

Промислові об'єкти характеризуються потужними джерелами електромагнітних завад через наявність інверторів, електромагнітів, дроселів,

високовольтних трансформаторів, електричних машин, тощо. При цьому кабелі промислового Ethernet на основі витої пари повинні у режимі реального часу забезпечити передачу даних від 10 Мбіт/с до 1 Гбіт/с на значну відстань (до 1000 метрів). Але сучасні кабельні системи Ethernet на основі витих пар не здатні передавати дані на відстань до 1000 метрів з високим рівнем електромагнітної завадостійкості. Це потребує створення спеціальних кабелів для промислових мереж, що є актуальним завданням для кабельної галузі України.

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

Дисертація виконана на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) та Науково-виробничому підприємстві «Алай» (м. Київ) згідно договору про творчу співпрацю №126 від 21 вересня 2021 за програмами наукових досліджень щодо імпортозаміщення та випуску інноваційної кабельно-провідникової продукції відповідно до «Стратегії імпортозаміщення в стратегічних галузях промисловості» та Плану пріоритетних дій Уряду України на 2021 рік, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.03.2021 № 276, постанови Кабінету Міністрів України «Національна економічна стратегія на період до 2030 року» від 3 березня 2021 р. № 179.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів дає змогу вирішити теоретичні та практичні завдання щодо забезпечення електромагнітної завадостійкості кабелів для промислових мереж на технологічній стадії виготовлення витих пар.

Наукову новизну одержаних результатів засвідчують такі найбільш значущі наукові положення:

- вперше встановлено вплив товщини та діелектричної проникності полімерної плівки двошарового алюмополімерного екрану на ефективну електричну ємність виті пари, що забезпечує зменшення її впливу на втрати електромагнітної енергії виті екранованої пари у робочому діапазоні частоти;
- вперше визначено вплив еліптичності конструктивних елементів на робочу ефективну ємність і її складові в залежності від конструктивного виконання кабелю та матеріалів електричної ізоляції виті пари, що дало можливість обґрунтувати доцільність застосування спіненої полімерної ізоляції для регулювання ємності та зменшенню її впливу на втрати електромагнітної енергії у екранованому кабелі;
- вперше експериментально встановлено кореляційний зв'язок між параметрами електромагнітних впливів та асиметрією електричного опору витих пар кабелів. На базі цього обґрунтовано більш жорсткі вимоги до технологічного процесу виготовлення екранованих витих пар у порівнянні з неекранованими;
- вперше визначено діапазони налаштувань технологічного процесу виготовлення витих пар з нормованими електричними параметрами передачі, що забезпечує позитивні допуски діаметрів провідників пар з різними кроками скручування;
- вперше встановлено вихід за верхні границі нормованих значень робочої ємності і втрат електромагнітної енергії витих пар з меншими кроками скручування, що потребує застосування повної відкрутки на технологічній стадії виготовлення для забезпечення нормованих електричних параметрів передачі витих пар з підвищеним рівнем завадостійкості.

Наукова новизна в дисертаційній роботі Пушкаря Олега Анатолійовича узгоджується із завданнями дослідження, що є складовими поставленої в дисертації мети, не виходить за її межі та характеризується високим рівнем теоретичної та експериментальної обґрунтованості.

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

Практична цінність отриманих результатів полягає в застосовуванні результатів дисертаційної роботи при створенні інноваційних технічних рішень для кабельної промисловості України кабелів на основі витих пар для промислових мереж у науково-виробничому підприємстві “Алай” та при модернізації кабельної інфраструктури промислових мереж АТ “НАЕК “Енергоатом”. Впровадження у технологічний процес обґрунтованих рекомендацій дозволило зменшити розкид параметрів електромагнітних впливів між витими парами та підвищити завадостійкість при передачі цифрових сигналів зі швидкістю 10 Мбіт/с на відстань до 1 км при заміні зістареної кабельної інфраструктури на сучасну з розробленими кабелями промислових мереж.

Методологія чисельного розрахунку робочої ємності витої пари різного конструктивного виконання з врахуванням наявності структурно-технологічних неоднорідностей конструктивних елементів кабелів застосовується у навчальному процесі на кафедрі “Електроізоляційна та кабельна техніка” при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю “141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”.

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

За результатами виконаного в дисертаційній роботі дослідження опубліковано 12 наукових праць, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 4 з котрих індексуються у міжнародних наукометричних базах даних SCOPUS; 7 наукових публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Зазначене вище дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають практичне значення для кабельної галузі.

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

Дисертаційна робота Пушкаря Олега Анатолійовича є завершеною науковою роботою, містить дві анотації – українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список літератури і додатки.

Об'єкт дослідження є забезпечення завадостійкості неекранованих та екранованих витих пар на технологічній стадії виготовлення.

Предмет дослідження є виті пари промислових мереж з електричними параметрами передачі у границях нормованих значень.

У *вступі* обґрунтована актуальність теми дисертації, визначені задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, наведено дані про наукову новизну, практичне значення, публікації та апробацію результатів.

У *першому розділі* проведено аналіз шляхів забезпечення завадостійкості витих пар на технологічній стадії виготовлення кабелів. Показано, що промислові кабелі Ethernet на основі витих пар вимагають міцної конструкції для важких умов експлуатації в умовах дії потужних електромагнітних завад. Вони повинні забезпечувати передачу цифрових даних у широкому діапазоні частоти на відстань більше 1000 метрів. Обґрунтовано необхідність пошуку конструктивно-технологічних рішень щодо зменшення ємності витих пар для досягнення компромісу між екрануванням та забезпеченням електричних параметрів передачі у широкій смузі частоти екранованими кабелями.

У *другому розділі* обґрунтовано та запропоновано математичну модель впливу конструктивного виконання кабелю на ефективну робочу витої пари, у тому числі за умови наявності структурно-технологічних неоднорідностей у вигляді еліптичності конструктивних елементів. Чисельними розрахунками показано суттєвий вплив екрану на робочу ємність екранованої суцільним екраном пари. Доведено, що при розташуванні двошарового екрану полімерною плівкою ззовні робоча ємність не відрізняється від ємності екранованої суцільним металевим екраном витої пари. Показано вплив

еліптичності конструктивних елементів на робочу ефективну ємність витой пари в залежності від конструктивного виконання кабелю та матеріалів електричної ізоляції. Представлені експериментальні дослідження впливу структурно-технологічних неоднорідностей на додаткові втрати електромагнітної енергії у широкому діапазоні частоти неекраниваних пар на завершальній технологічній стадії виготовлення кабелів.

У третьому розділі на підставі результатів експериментальних досліджень визначено вплив конструктивно-технологічних особливостей витих пар на параметри внутрішніх електромагнітних завод у чотирьох-парних неекраниваних та екраниваних кабелях. Підтверджено більш високий рівень заводостійкості екраниваних кабелів порівняно з неекраниваними. Доведено більш високий рівень заводостійкості 4-х парних неекраниваних кабелів в порівнянні з екраниваним багатопарним кабелем. Визначено вплив екрану на втрати електромагнітної енергії у екраниваних кабелях у широкому діапазоні частоти.

У четвертому розділі обґрунтовано стратегію налаштувань технологічного процесу виготовлення витих пар для забезпечення електромагнітної заводостійкості кабелів для промислових мереж. На підставі експериментально визначеної автокореляційної функції відносних опорів на постійному струмі провідників витих пар показано високий рівень однорідності провідників з позитивними допусками діаметрів на технологічній стадії волочіння. Виявлено суттєвий вплив мультиплікативної завади, обумовленої випадковими зміненням у технологічному процесі, на відхилення діаметру провідника від номінального значення. Адитивний характер електромагнітної завади обумовлює жорсткі вимоги до стабільності напруги у мережі живлення технологічного обладнання.

Висновки, сформульовані у роботі, висвітлюють основні наукові та практичні результати, отримані здобувачем при вирішенні поставлених задач дослідження. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до

результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Перелік використаних джерел із 133 найменувань, які досить широко охоплюють предметне поле дослідження, достатньою мірою відображає опрацювання здобувачем значної кількості вітчизняних та іноземних літературних джерел за темою виконаного наукового дослідження.

Додатки містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність результатів, отриманих у дисертації, підтверджено поєднанням теоретичних досліджень зі значним обсягом експериментальних результатів, а саме, статистично усереднених електричних параметрів витих пар неекранованих та екранованих кабелів; збіжністю чисельно отриманих значень робочої ємності неекранованих та екранованих витих пар з експериментальними даними.

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

Дисертаційна робота виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності. Отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у необхідному обсязі у наукових фахових виданнях України, пройшли ґрунтовну апробацію на українських та міжнародних наукових конференціях.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Недостатньо визначено критерії відмінностей за конструктивним виконанням, умовами експлуатації та технічними характеристиками кабелів

на основі витих пар для промислових мереж і структурованих офісних кабельних мереж.

2. В другому розділі досліджується еліптичність конструктивних елементів кабелю, а в четвертому розділі мова йде про овальність жили. Але ж еліпс і овал геометрично подібні, але різні форми.

3. В розділі 2 досліджується неоднорідність конструкції у вигляді еліптичної захисної оболонки або екрану кабелю. Але неоднорідність може виникати при незмінній формі та при зменшеному їх діаметру.

4. У розділі 2 при чисельному розрахунку електричного поля виті пари методом інтегральних рівнянь Фредгольма першого та другого роду представлено розгортки напруженості поля по довжині твірних ліній (рис. 2.3). Більш інформативним є представлення розгортки напруженості електричного поля в залежності від номеру вузлів, розміщених на межах розподілу середовищ. Саме загальна кількість вузлів визначає порядок системи лінійних алгебраїчних рівнянь: формули (2.5-2.7).

5. Не зовсім зрозуміло, чи були проведені чисельні експерименти щодо впливу кількості вузлів на точність розрахунку електричного поля, представлених на рис. 2.10 -2.11?

6. Не пояснено, яким саме чином проведено вимірювання кроків скручування витих пар неекранованого кабелю, представлених у таблиці 4.3.

7. У розділі 4 недостатньо обгрунтовано чинники, які впливають на налаштування технологічного процесу при виготовленні витих пар, для забезпечення завадостійкості.

8. Зауваження редакторського характеру. Другий розділ названо «Математична модель впливу конструктивного виконання кабелю...». Але математична модель притаманна або об'єкту, або процесу, а не «впливу». Більш доцільно було б писати «Математична модель кабелю...», а вплив конструктивного виконання встановлюється при використанні цієї математичної моделі. На с. 61 незрозуміла фраза «...модель із круговими ми поділу середовища...». На с. 82 написано «у режимі холостого ходу», але

холостий українською мовою це неодружений; потрібно «у режимі неробочого ходу». На с.120 написано «сердечник», потрібно «осердя».

Зазначені недоліки не є принциповими і не зменшують наукової цінності та практичної значущості одержаних в дисертації результатів. Вважаю, що у цілому дисертаційна робота здобувача заслуговує на позитивну оцінку.

10. Висновки

Дисертаційна робота Пушкаря Олега Анатолійовича «Забезпечення завадостійкості кабелів на основі витих пар для промислових мереж», є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу забезпечення завадостійкості витих пар кабелів промислових мереж з відповідним комплексом електричних параметрів передачі у широкому діапазоні частоти, 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 Пушкаря Олега Анатолійовича «Забезпечення завадостійкості кабелів на основі витих пар для промислових мереж» 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 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Пушкарь Олег Анатолійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня

доктора філософії зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри “Загальна

електротехніка” Національного

технічного університету

«Харківський політехнічний

інститут»



 Володимир БОЛЮХ

Підпис <i>проф. Володимир Болуха</i>
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
<i>16</i> <i>05</i> <i>2024</i> р.

ЗАЯЦЕВ Ю. І.