

ВІДГУК

офіційного опонента

д.т.н. професора Плюгіна Владислава Євгеновича

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

Актуальність теми.

Автоматичні та цифрові електричні підстанції відіграють все більш помітну роль в електричних мережах по всьому світу, у тому числі і в Україні. Кожен із інтелектуальних електричних пристроїв підстанції підключено до комутатора Ethernet завдяки розгалуженій промислової мережі. Внутрішні системи підстанції передають дані у цифровому вигляді один одному і зв'язуються із зовнішніми органами, такими, як центр управління або диспетчерський центр, тобто інтегровані у комунікаційне середовище SCADA. Оскільки підстанції можна вважати критично важливою електроенергетичною інфраструктурою, промислова мережа повинна забезпечувати передачу цифрових даних з високою швидкістю на значну відстань та має бути досить завадостійкою з функціями резервування та високим рівнем надійності. Промислова мережа передачі даних повинна працювати безвідмовно в важких та нестандартних умовах експлуатації, при високому рівні електромагнітного випромінювання, низьких та високих температурах, при високій вологості та навіть зануренні у воду.

Одним із складних завдань, на дослідження якого спрямована представлена дисертаційна робота, є забезпечення завадостійкості кабелів для промислових мереж на технологічній стадії виготовлення витих пар.

Водночас вирішення такого завдання полягає у одночасному забезпеченні комплексу нормованих електричних параметрів у широкому діапазоні частоти для можливості передавання цифрових даних на значну відстань.

Наукові задачі, розв'язання яких проведено у дисертаційній роботі, присвячені визначенню ефективних шляхів забезпечення завадостійкості кабелів на основі неекраниваних та екраниваних витих пар та обґрунтуванню діапазону налаштувань технологічного обладнання для досягнення нормованих електричних параметрів кабелів на основі витих пар в границях полів допуску, є актуальними та важливими в практичній діяльності при створенні спеціальних кабелів для промислових мереж, у тому числі і для електроенергетичної галузі.

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

Дисертація виконана у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» та Науково-виробничому підприємстві «Алай» відповідно до Плану пріоритетних дій Уряду України на 2021 рік (розпорядження Кабінету Міністрів України № 276 від 24.03.2021 р.) та спрямована на реалізацію державної політики імпортозаміщення в стратегічних галузях промисловості України.

Дисертація відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2030 р. відповідно до національної економічної стратегії, затвердженої постановою № 179 Кабінету Міністрів України від 3 березня 2021.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірності.

Наукові положення, висновки і рекомендації, що висвітлені в роботі, є достатніми, повними та повністю обґрунтованими. При виконанні досліджень використано комплекс сучасних та взаємодоповнюючих методів теорії електричного поля та електромагнітних впливів для аналізу та обґрунтування шляхів підвищення завадостійкості витих пар; теорії електромагнітного поля для аналізу у широкому діапазоні частоти коефіцієнту згасання та хвильового імпедансу неекранованих та екранованих кабелів; електричних випробувань з хорошою кореляцією даних, що забезпечує високу достовірність отриманих результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, розвинуті у дисертації, обґрунтовані, базуються на аналізі явищ та електромагнітних процесів, що досліджуються, проведеному на сучасному рівні комплексі досліджень та розробкою рекомендацій щодо забезпечення завадостійкості кабелів для промислових мереж з відповідним комплексом електричних параметрів передачі на технологічній стадії виготовлення витих пар. Достовірність отриманих результатів підтверджується взаємоузгодженістю між теоретичними дослідженнями щодо спотворення структури електричного поля та зростанням робочої ємності за наявності еліптичності конструктивних елементів експериментальними дослідженнями коефіцієнта згасання та параметрами, що характеризують додаткові втрати електромагнітної енергії на структурних неоднорідностях 'витих пар. В результаті проведеного дослідження здобувачеві вдалось у повному обсязі розкрити мету та вирішити поставлені завдання. Висновки, що сформульовані в роботі, в повній мірі відображають та логічно поєднують отримані результати з можливістю використання їх на практиці.

Наукова новизна положень, висновків, рекомендацій одержаних результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень **вперше** і, безумовно, мають наукову новизну, слід зазначити наступне:

Доведено вплив конструктивних та діелектричних параметрів полімерної плівки двошарового екрану на електричну ємність витої пари, що забезпечує підвищений рівень завадостійкості та зменшує втрати

електромагнітної енергії у робочому діапазоні частоти екранованої виті пари порівняно з неекранованою;

Визначено вплив еліптичності конструктивних елементів на структуру електричного поля та робочу ефективну ємність виті пари в залежності від конструктивного виконання кабелю та електричної ізоляції, що дало можливість обґрунтувати доцільність застосування спіненої полімерної ізоляції для регулювання ємності та зменшенню її впливу на втрати електромагнітної енергії у екранованому кабелі;

Експериментально встановлено кореляційний зв'язок між параметрами електромагнітних впливів та асиметрією електричного опору витих пар кабелів. Коефіцієнти парної кореляції становлять 0,90 та 0,93 для неекранованих та екранованих кабелів, що обумовлює більш жорсткі вимоги до технологічного процесу виготовлення екранованих витих пар;

Визначено діапазони налаштувань технологічного процесу виготовлення витих пар з нормованими електричними параметрами передачі, що забезпечує позитивні допуски діаметрів провідників пар з різними кроками скручування при значеннях відносних опорів провідників на постійному струмі у границях $\pm 3\sigma$ та коефіцієнт варіації ємності ізолюваного провідника на рівні 0,3%;

Обґрунтовано методологію синтезу конструкторсько-технологічних рішень спінення полімерної ізоляції та отримано номограми ефективних діелектричних параметрів в залежності від ступеню спінення та товщини захисної полімерної плівки, що дозволяє ефективно регулювати електричну ємність двошарової ізоляції ізолюваного провідника на технологічній стадії виготовлення виті пари. При ступені спінення 40% діелектрична проникність зменшується на 25%, тангенс кута діелектричних втрат – на 33%, електрична ємність ізолюваного провідника – на 20%.

Робота має чітку послідовність постановки задач з отриманими рішеннями. Теоретичні та експериментальні дослідження є достатньо науково аргументованими. Достовірність теоретичних дисертаційних досліджень підтверджено експериментальними дослідженнями у широкому діапазоні частоти параметрів електромагнітних впливів та втрат електромагнітної енергії витих пар неекранованих та екранованих кабелів.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Результати теоретичних досліджень у вигляді програмних реалізацій чисельного моделювання виті пари різного конструктивного виконання у безкоштовному програмному середовищі Octave застосовуються при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю “141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. Практичне значення та подальша реалізація результатів дисертаційних досліджень пов'язано з випуском інноваційної для кабельної промисловості України кабелів на основі витих пар для промислових мереж та їх застосуванням у сучасній заводостійкій кабельній інфраструктурі промислового Ethernet. Практична значущість отриманих результатів підтверджується актами впровадження у навчальний

процес кафедри “Електроізоляційна та кабельна техніка” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (м. Харків), науково-виробниче підприємство “Алай” (м. Київ), у АТ “НАЕК “Енергоатом” (м. Київ).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 12 наукових праць, з яких 4 статті у періодичних фахових виданнях ВАК України категорії А, 1 стаття у періодичних фахових виданнях ВАК України категорії Б, 7 наукових публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи у цих публікаціях відображено достатньо повно.

У наведених публікаціях повною мірою викладені основні здобутки, наукові результати та висновки дисертаційної роботи Пушкаря Олега Анатолійовича на окремих етапах дослідження.

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.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Зміст дисертації відповідає її назві.

Дисертація має обсяг основної частини 132 сторінки, складається з анотацій, вступу, 4 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел з 133 найменувань. Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій досліджується забезпечення завадостійкості кабелів для промислових мереж з відповідним комплексом електричних параметрів передачі на технологічній стадії виготовлення витих пар.

У вступі відображено актуальність проблеми, визначено мету та задачі дослідження, наукову новизну і практичну цінність роботи, наведено відомості щодо апробації роботи та публікації за темою дисертації.

У першому розділі виконано кваліфікований аналіз сучасного стану досліджень шляхів забезпечення завадостійкості витих пар на технологічній стадії виготовлення кабелів. Критично проаналізовано вплив скручуванню провідників пар та екранування на підвищення завадостійкості кабелів з витими парами. В результаті визначено не тільки досягнуті успіхи, але і існуючі протиріччя даних різних дослідників, обґрунтовано задачі і напрямки даного дисертаційного дослідження.

На підставі висновків першого розділу роботи у другому розділі здійснено математичне моделювання витих пар для визначення ефективної ємності методом інтегральних рівнянь Фредгольма першого та другого роду.

Обґрунтовано вплив структурно-технологічних неоднорідностей елементів кабелю на робочу ємність витої пари. Наголошено на появі

додаткових втрат електричної енергії в кабелі за наявності структурно-технологічних неоднорідностей в кабелі, що потребує більш точного налаштування технологічного процесу виготовлення екранованих витих пари.

У третьому розділі представлено експериментальні дослідження щодо впливу конструктивно-технологічних особливостей витих пар на параметри електромагнітних завад у неекранованих та екранованих кабелях. Зокрема, встановлено більші значення коефіцієнту парної кореляції між омічною асиметрією та параметрами електромагнітних впливів для екранованих конструкцій, що опосередковано свідчить про необхідність більш жорстких налаштувань технологічного процесу при виготовленні кабелів з екранами.

У четвертому розділі дисертації представлені цікаві результати експериментальних досліджень відносних електричних опорів провідників на постійному струмі. Показано, що провідники повинні мати позитивні допуски геометричних розмірів діаметру: від 10 мкм до 7 мкм у разі найменшого та найбільшого кроків скручування витих пар відповідно. Здобувачем рекомендовано виготовлення провідників витих пар з позитивними допусками для забезпечення нормованих значень коефіцієнта згасання завадостійких кабелів.

У висновках розкрито основні наукові досягнення автора, чіткі та якісні характеристики отриманих результатів, що свідчить про досягнення поставленої мети.

Список використаних джерел із 133 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

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

Академічна доброчесність.

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи та наукових публікацій випадків порушень академічної доброчесності не виявлено.

Дисертація написана автором самостійно, має внутрішню єдність та оптимальну структуру дослідження.

У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження до дисертаційної роботи.

В процесі ознайомлення роботи позитивне враження справила практична спрямованість дисертаційних досліджень з ґрунтовним аналізом отриманих результатів.

Оцінюючи дисертаційну роботу О.А. Пушкаря, в цілому, позитивно, доцільно висловити деякі зауваження та побажання:

1. У першому розділі доцільно було б навести нормовані електричні характеристики кабелів різної категорії на основі витих пар. Це підвищило б ступінь обґрунтованості щодо необхідності розроблення кабелів на основі витих пар для промислових мереж.

2. У промислових умовах, важких в плані зовнішніх електромагнітних завад, рекомендується застосовувати екрановані кабелі з витою парою. Екран

захищає вити пару від паразитних ємнісних зв'язків і зовнішніх магнітних полів та потребує обов'язкового заземлення лише в одній з крайніх точок лінії. Заземлення в декількох точках неприпустиме: через різницю потенціалів місцевих "земель" по екрану можуть протікати істотні струми, які створюватимуть наведення завад на провідники. Виникає питання: чи застосовується у розглянутих конструкціях екранованих кабелів, наведених у розділі 1 на рисунку 1.7, додатковий конструктивний елемент екрану - "дренажний" провідник для створення безперервного шляху для відведення струмів завади у разі механічного обриву, наприклад, двошарового алюмополімерного екрану?

3. Незрозуміло, чим обумовлено ефект зростання електричного поля на поверхні провідника (розділ 2, рис. 2.10, в, крива 1') у конструкції кабелю з металевим екраном при одночасному у більшій мірі спотворенні електричного поля на поверхні ізоляції (розділ 2, рис. 2.10, в, крива 2') в порівнянні з неекранованою та екранованою двошаровим алюмополімерним екраном витими парами?

4. За якої температури наведені значення електричних параметрів провідників та витих пар у розділі 3: електричних опорів, ємності, омичної асиметрії, ємнісної асиметрії, електромагнітних впливів (Розділ 3, рис. 3.10, рис. 3.12, рис. 3.15)?

5. Експериментальна частина дисертаційних досліджень містить значну кількість вимірних електричних параметрів витих пар. Питання стосується приладів, які було застосовано: це один прилад чи декілька?

6. Параметри електромагнітних впливів наведено для довжини 100 метрів кабелю. Але в експлуатації довжина кабельної лінії промислової мережі може сягати і більших значень, до 1000 метрів. Виникає питання: як у такому разі зміниться завадостійкість?

Зазначені зауваження не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи.

Висновки.

Представлена дисертаційна робота являє собою завершене дослідження, в ній отримані нові і достовірні результати, які ефективно вирішують наукову і прикладну задачу забезпечення завадостійкості кабелів на основі витих пар для промислових мереж з відповідним комплексом електричних параметрів передачі на технологічній стадії виготовлення витих пар.

За змістом, актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота «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 її автор, Пушкар Олег Анатолійович,

заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова доктор технічних наук, професор

Вчений секретар

30.05.2024



Владислав ПЛЮГІН

Олег КАЛМИКОВ