

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

кандидата технічних наук, доцента, заступника директора навчально-наукового інституту автоматики та електромеханіки

Національного університету «Одеська морська академія»

Глазєвої Оксана Володимирівни

на дисертаційну роботу Пліса Валерія Павловича

на тему:

**«УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ»,**

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

### **Актуальність обраної теми.**

Сучасна енергосистема повинна характеризуватись високим рівнем енергоефективності, бути стійкою до виникнення різноманітних аварійних ситуацій, забезпечувати безперебійне постачання споживачам електроенергії відповідної якості тощо. Забезпечення виконання цих вимог в значній мірі покладено на системи релейного захисту та автоматики.

Процес впровадження мікропроцесорних терміналів релейного захисту стає одним з найбільш пріоритетних, оскільки дозволяє забезпечити безперервну роботу електроенергетичних систем, що в свою чергу сприяє підвищенню її ефективності та стійкості функціонування.

Але, для налаштування цих терміналів, яке забезпечує з одного боку відповідність параметрам об'єкту захисту, а з іншого – не перериває роботу об'єкту, необхідно впровадження цифрових симуляторів – моделей енергосистем в реальному часі з фізичним підключенням пристроїв релейного захисту спочатку до моделей, а потім – до електроенергетичної системи. Але використання існуючих симуляторів зараз ускладнене їх високою вартістю.

Тому створення більш доступних методів проведення випробувань цифрових терміналів релейного захисту, вдосконалення методів верифікації їх коректного функціонування за рахунок розробки методів їх тестування та

налаштування має наукове та практичне значення для енергетичної галузі економіки України, актуальність роботи не викликає сумніву.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами**

Дисертаційна робота Пліса В.П. виконана на кафедрі електропостачання та енергетичного менеджменту Національного університету «Одеська політехніка». Тема дисертації відповідає пріоритетним напрямкам науково-дослідних робіт відповідно до координаційних планів Міністерства освіти і науки України. Зокрема, робота виконувалася в рамках держбюджетної науково-дослідницької роботи «Розрахунки перспективних електричних навантажень і робочих режимів розподільних мереж з метою обґрунтування доцільності спорудження ПС «Чубаївська» 110/20 кВ». (№ держ. реєстрації 1809-55).

### **Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач, створенні наукових положень, висновків та рекомендацій здобувачем застосовані дані, які одержані з літературних джерел, з результатів аналізу сучасних енергосистем, в тому числі таких, де починається використання мікропроцесорних терміналів захисту.

Ступінь обґрунтованості наукових положень доведено сформульованими завданнями дисертаційного дослідження:

- провести аналіз публікацій, пов'язаних із існуючими випробувальними системами та комплексами з тестування та перевірки правильності налаштування цифрових терміналів релейного захисту;
- розробити комплексну математичну модель об'єкту захисту, на прикладі системи «асинхронний двигун - вимірювальні перетворювачі»;
- розробити метод тестування мікропроцесорних терміналів релейного захисту в розрахункових режимах;
- виконати експериментальні дослідження для підтвердження правильності запропонованих рішень.

Сучасні методи досліджень, які були застосовані у роботі, також доводять ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій:

математичне моделювання для побудови комплексної моделі «асинхронний двигун - вимірювальні перетворювачі»; методи чисельного інтегрування для розв'язування системи диференціальних рівнянь, що описують динаміку асинхронного двигуна; методи лінійної алгебри, для розв'язання лінеаризованих систем рівнянь, пов'язаних із асинхронним двигуном; метод розрахунку параметрів заступної схеми двигуна на основі його каталожних даних; методи об'єктно-орієнтованого проектування при розробці програмного забезпечення стенду.

Тому розроблені наукові положення, висновки та рекомендації можна вважати достатньо обґрунтованими.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується результатами моделювань, даними експериментальних досліджень та практичними результатами, про що свідчать наведені у ДОДАТКУ Б (стор.167-170) дисертації акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

#### **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень, коректним застосуванням математичного апарату а також впровадженням запропонованих рішень у розроблений експериментальний апаратно-програмний стенд, який дозволяє перевіряти мікропроцесорні термінали релейного захисту в лабораторних умовах, з урахуванням специфіки об'єктів захисту. Результати дисертаційної роботи дозволяють максимально розкрити потенціал мікропроцесорних терміналів релейного захисту і можливість їх ефективного використання для захисту елементів системи електропостачання та двигунів.

#### **Наукова новизна наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації**

Дисертаційна робота вирішує актуальну науково-практичну задачу – удосконалення методів випробування та налаштування цифрових терміналів

релейного захисту асинхронних високовольтних електродвигунів для підтвердження їх коректного функціонування за рахунок розробки методів їх тестування та налаштування.

Робота містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме:

1) *вдосконалено* комплексну математичну модель для аналізу перехідних процесів об'єкту захисту, яка відрізняється поєднанням моделей асинхронного двигуна і нелінійних вимірювальних перетворювачів на базі повних диференційних рівнянь, що дозволило врахувати спотворення сигналів, які надходять до цифрового терміналу захисту.

2) *вперше* розроблено двоетапний метод перевірки коректності функціонування мікропроцесорного терміналу релейного захисту: на першому етапі тестування здійснюється в режимі «віртуального терміналу» об'єкту захисту в середовищі імітаційного моделювання; другий етап виконується на апаратно-програмному стенді, який дозволяє отримати розрахункові умови, максимально наближені до реальних.

3) *отримав подальший розвиток* метод визначення параметрів заступної схеми асинхронного двигуна для розрахунку електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів, який відрізняється тим, що в якості вихідних використовується сукупність даних з технічного паспорту виробника та результати обробки осцилограм режимів пуску та вибігу.

**Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності**

Основні положення і практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали схвалення на таких конференціях: III Міжнародній науково-практичній конференції «Science and innovation of modern world» (Великобританія, м. Лондон, 2022 р.); Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку» (Україна, м. Переяслав, 2023 р.); Міжнародній науковій конференції студентських робіт, 17th Edition, «ELSTUD 2023» (Румунія, м. Сучава, 2023 р.).

Основні результати дисертаційної роботи представлено у 8 друкованих працях, з яких 5 – у фахових виданнях та виданнях інших держав (1 публікація – у міжнародній науково-метричній базі даних SCOPUS, 4 – у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України), а також 3 – у тезах на міжнародних та національних конференціях.

У наведених роботах достатньо повно відображені основні наукові положення дисертації. При оприлюдненні наукових результатів було дотримано вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно з Постановою КМ України №44 від 12.01.2022 (зі змінами). Вимоги до кількості публікацій виконано.

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності є публікації Пліса В.П. в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того, підтвердженням дотримання автором вимог академічної доброчесності є протокол програми StrikePlagiarism від 10.06.2024 року та Протокол аналізу звіту подібності членів комісії з питань дотримання академічної доброчесності. Представлений протокол опрацьовано фахівцями кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, членами групи забезпечення підготовки докторів філософії по ОНП за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», які зробили висновок, що дисертаційна робота відповідає нормам академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

### **Аналіз змісту та форма дисертаційної роботи**

Дисертація складається зі вступу, основного змісту, що включає в себе 5 розділів, висновки, списку використаних джерел зі 130 найменувань та 13 додатків. Загальний обсяг роботи становить 196 сторінок.

Робота написана на достатньому мовно-стилістичному рівні. Поданий в дисертаційному дослідженні матеріал викладений технічно грамотно.

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність роботи, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення та перелік впровадження результатів дисертації, приведено відомості про апробацію та публікації.

У першому розділі проведено аналіз публікацій, пов'язаних із існуючими випробувальними системами та комплексами з тестування та перевірки правильності налаштування мікропроцесорних терміналів релейного захисту. Визначені недоліки та проблеми. Розглянуто етапи розвитку систем релейного захисту; сучасні напрямки керування режимами електроенергетичних систем; проблеми використання релейного захисту на мікропроцесорній основі та шляхи їх розв'язання.

У другому розділі проведено аналіз математичних моделей та програмних комплексів для розрахунку електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів у системі електропостачання. Вдосконалено математичну модель асинхронного двигуна, у якій додано урахування нелінійностей двигуна (насичення магнітного кола по основному шляху та шляхах розсіювання), що дає можливість отримувати результати, які точно відображають електромагнітні процеси реального двигуна і дозволяє проводити дослідження щодо статичних та динамічних режимів роботи електромеханічних систем. Розроблено комплексну математичну модель електричної системи для аналізу перехідних процесів об'єкту захисту. Виконано програмну реалізацію моделі для аналізу електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів.

Запропоновано удосконалення інженерного методу оцінки параметрів моделі заступної схеми трифазних асинхронних двигунів.

У третьому розділі наведено опис використаного експериментального апаратно-програмного стенду, який дозволяє перевіряти реальні мікропроцесорні термінали релейного захисту, враховуючи специфіку елемента, що захищається. За рахунок подачі на об'єкт, що досліджується, аналогових і дискретних сигналів, відповідних характерним нормальним та аварійним режимам роботи, а також завдяки наявності зворотного зв'язку стенд дозволяє

реалізувати автоматизацію процесу перевірки захисту в характерних режимах роботи об'єкта.

*У четвертому розділі* зроблено аналіз функціональних можливостей пристроїв релейного захисту, заснованих на електромеханічних реле та мікропроцесорних пристроях; розглянуті вимоги до релейного захисту електродвигунів та можливості їх виконання за допомогою мікропроцесорних терміналів релейного захисту.

*У п'ятому розділі* розроблено метод перевірки коректності функціонування терміналів релейного захисту та складено алгоритм їх випробування. Виконано перевірку адекватності розроблених математичних моделей та програм порівнянням отриманих результатів моделювання та параметрів реального об'єкту.

*У висновках* сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

*У додатках* представлено акти впровадження та додаткові матеріали.

Анотація дисертації коректно відображає її основні положення.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

В цілому дисертація і анотація до неї оформлені з дотриманням нормативних документів на оформлення результатів науково - дослідних робіт.

До зауважень необхідно віднести наступне:

1. Налаштування пристроїв захисту асинхронного двигуна залежать від технологічного процесу та механізму, у складі яких працює цей двигун. Але в дисертаційній роботі не вказано, які саме параметри розглянутих пристроїв захисту необхідно змінювати або враховувати залежно від режиму роботи (S0...S6) та характеру навантаження механізмів.

2. На стор.28 присутня фраза «оптимальне налаштування захисту», але не пояснюється в чому воно полягає.

3. Підсистема теплового захисту двигуна будується на підставі одномасової моделі, що на мій погляд є не зовсім коректним, тим більше, що сам автор наголошує на тому, що умови нагрівання електродвигунів відрізняються під час експлуатації. Найбільше раціональним бажано було б вжити двомасову

модель з виділенням двох постійних часу, які застосовуються для визначення швидкості зростання температури в початковий та кінцевий періоди циклу, що є дуже важливим для налаштування часу спрацювання.

4. Асинхронний двигун високовольтний, тому тут необхідно застосовувати ще один специфічний захист від «коронного розряду», який може викликати розтріскування ізоляції обмотки, а з годом і вихід з ладу. Про нього в дисертації не йдеться.

5. Для асинхронного двигуна дуже відповідальних механізмів доцільним вважається запровадження систем з прогнозуванням залишкового терміну служби ізоляції, що не дуже складно реалізувати за допомогою цифрових систем опрацювання інформації.

6. В роботі розглянуто багато різних моделей асинхронного двигуна, але не має чітких висновків про недоліки і переваги окремих моделей та не зрозуміло, яку з моделей остаточно обрано для використання.

7. Всі дослідження виконано на моделях у загальновизнаному програмному середовищі Matlab, що дозволяє отримати будь-які режими, але немає порівняння з експериментальними дослідженнями. Не подано результати розрахунку похибок.

8. Потребує додаткового пояснення призначення блоку LTR-EU-2 на рис. 3.3 стор. 85 (принципова схема стенду).

9. У роботі розглядаються цифрові термінали релейного захисту, які захищають асинхронні двигуни. Вказується, що стенд може бути легко модернізовано за рахунок модульності системи та додавання нових моделей об'єктів, що досліджуються. Не вказано які саме об'єкти мають на увазі.

Але вказані зауваження не піддають сумніву результати досліджень та не зменшують наукову і практичну цінність роботи.

### **Загальні висновки та оцінка дисертації.**

Дисертація Пліс В.П. «Удосконалення методів випробування пристроїв захисту асинхронних електродвигунів», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка, є завершеним дослідженням, яке містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що спрямовані на вирішення актуального наукового завдання - удосконалення методів верифікації коректного функціонування цифрових терміналів релейного захисту за рахунок розробки методів їх тестування та налаштування.

Дисертаційна робота Пліса Валерія Павловича за актуальністю проблеми, обсягом, ґрунтовністю аналізу та інтерпретацією отриманих даних, повнотою викладу принципів наукових положень, науково-теоретичним та практичним значенням повністю відповідає вимогам п.5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), а дисертант Пліс Валерій Павлович на підставі прилюдного захисту заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент, к.т.н.,  
доцент, заступник директора  
навчально – наукового інституту  
автоматики та електромеханіки  
Національного університету  
«Одеська морська академія»

\_\_\_\_\_ Оксана ГЛАЗЄВА