

ВІДГУК

офіційного опонента

д.т.н. проф. Плюгіна Владислава Євгеновича

на дисертаційну роботу Зоріна Євгенія Юрійовича

«Удосконалення захисних характеристик та схемотехнічних рішень

однофазних реле контролю напруги побутових споживачів»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми.

Використання електропобутової техніки стало невід'ємною частиною сучасного життя і відіграє ключову роль у покращенні комфорту, ефективності та якості життя. Електричні мережі низьких напруг, від яких живляться однофазні електропобутові споживачі є трифазними мережами із глухоуземленою нейтраллю. На сьогодні в Україні значна частина електричних мереж низької напруги загального призначення є зношеною, особливо це проявляється в будинках старої забудови у вигляді аварій, що призводять в до появи недопустимих відхилень напруги. Окремо слід врахувати, що незадовільний стан електричних мереж в Україні також спричинений значними руйнуваннями електричного устаткування та інфраструктури внаслідок бойових дій. Відновлення такої критичної інфраструктури хоч і відбувається, але з невеликою швидкістю. При тому повторні руйнування не можна виключати.

Отже, питання захисту однофазних побутових споживачів від недопустимих відхилень напруги залишається актуальним і важливим для забезпечення стабільності та надійності електроживлення в сучасних умовах. Розробка та удосконалення систем контролю напруги є важливою науково-практичною задачею для забезпечення безперебійного та безпечного функціонування електропобутової техніки.

Однофазні реле контролю напруги є одним із найпоширеніших засобів для захисту електропобутової техніки від недопустимих відхилень напруги живлення порівняно зі стабілізаторами напруги або джерелами безперебійного живлення, в

першу чергу через свою вартість, розмаїття таких реле, а також наявність додаткових функцій.

В ході детального аналізу науково-технічної літератури та інших відкритих джерел інформації за темою дисертації виявлено, що існуючі однофазні реле контролю напруги побутових споживачів мають певні переваги та недоліки, пов'язані з великим розмаїттям захисних характеристик спрацьовування або відсутністю даних про такі характеристики. Це обумовлює важливість науково-прикладної задачі дисертаційного дослідження, що спрямовано на удосконалення захисних характеристик спрацьовування, а разом з тим і схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги однофазних побутових споживачів.

Актуальність теми і вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Електричні апарати» НТУ «ХП». Здобувач брав участь у науково-дослідній роботі К 3303 «Удосконалення апаратного захисту електричних приладів побутового і аналогічного призначення», ДР №0123U103223. Строки виконання НДР: 01.07.2023 – 31.12.2025. Науковий керівник НДР: к.т.н., доц. О. О. Чепелюк. Участь автора – відповідальний виконавець.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Електричні апарати НТУ «ХП» при викладанні дисципліни «Електричні апарати», курсовому і дипломному проєктуванні, та науково-дослідних роботах для студентів спеціальності «141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Електромеханіка» (спеціалізації 141.07 «Електричні апарати» та 141.08 «Електропобутова техніка»).

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

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Зоріна Євгенія Юрійовича в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих в науковій роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату фундаментальних положень теоретичної електротехніки, чисельних методів аналізу та сучасних інформаційних технологій з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень. Наукові результати застосовані під час створення мікроконтролерного експериментального стенду для визначення часу спрацьовування однофазних реле контролю напруги побутових споживачів при недопустимих відхиленнях напруги.

Результати здобувача успішно використані під час розробки імітаційних математичних моделей електричної мережі та однофазного реле контролю напруги, що використовуються в наукових дослідженнях підприємства ТОВ «АВМ АМПЕР» при розробці релейного захисту, алгоритми та схемотехнічні рішення використовуються при розробці нових конструкцій апаратів релейного захисту, про що свідчить акт впровадження, наведений в дисертації.

Основні наукові результати дисертаційної роботи.

Наукова новизна одержаних результатів не викликає сумнівів і полягає в тому, що здобувачем з найбільш суттєвих здобутків можна віднести наступне:

- вперше запропоновано концепцію однофазних реле контролю напруги побутових споживачів, які дозволяють встановлювати тип захисних характеристик спрацьовування (залежну або незалежну у часі при недопустимому відхиленні напруги за встановлені порогові значення в реле контролю напруги), що відповідають сучасному міжнародному стандарту IEC 60255-127:2010, при цьому дані характеристики приведено згідно стандартів якості електричної енергії ГОСТ 13109-97 і ДСТУ EN 50160:2014, які діють в Україні одночасно, згідно яких значення номінальних напруг є 220 або 230 В відповідно;

- удосконалено імітаційну Simulink-модель трифазної електричної мережі низької напруги з глухоуземленою нейтраллю для імітації аварійних режимів, пов'язаних із появою недопустимих відхилень напруги у однофазних споживачів, у частині врахування впливу параметрів кабельних ліній (активний опір та індуктивний опір), потужності сусідніх однофазних споживачів на значення напруги

споживача, у якого проводиться дослідження.

- вперше створено імітаційну Simulink-модель однофазного реле контролю напруги побутових споживачів із залежними та незалежними у часі захисними характеристиками спрацьовування згідно з ІЕС 60255-127:2010, що дозволяє встановлювати параметри спрацьовування реле, такі як порогові значення максимальної і мінімальної напруг, час автоматичного повторного включення, визначати час спрацьовування реле;

- удосконалено алгоритм вимірювання напруги для однофазного реле контролю напруги побутових споживачів, що дозволяє здійснювати обробку вхідного сигналу за допомогою синтезованого цифрового фільтру, таким чином виключати нелінійні спотворення на частотах вищих за основну (50 Гц) при цьому такий алгоритм дозволяє одразу визначити амплітуду вхідного сигналу, застосувавши коефіцієнти фільтру.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Реалізовано макетний зразок конструкції удосконаленого однофазного цифрового реле контролю напруги побутових споживачів із кольоровим IPS-дисплеєм, а також неполяризованим бістабільним силовим реле з двома обмотками, що дозволило реалізувати розгалужене й зручне для читання меню реле, на відміну від існуючих реле з семисегментним індикатором, а також шляхом застосування двообмоткового силового реле спростити схему його керування й виключити споживання електричної енергії котушкою.

Розроблений макет удосконаленого на основі результатів моделювання захисних характеристик спрацьовування, а також розрахунків параметрів елементів електричної схеми однофазного реле контролю напруги побутових споживачів, в якому реалізована можливість вибору номінальної напруги (220 або 230 В) згідно стандартів якості електричної енергії, що діють в Україні, вибору типу захисної характеристики спрацьовування (залежна або незалежна).

Розроблено схемотехніку удосконаленого реле контролю напруги зі зниженим споживанням електричної енергії за рахунок використання мікроконтролера з ядром Cortex M0+. Також реалізовані можливості управління IPS-дисплеєм зазначеного реле, такі як: автоматичне вмикання дисплею при налаштуванні і при спрацюванні

реле контролю напруги на деякий час, що задається в параметрах меню користувачем; є можливість плавного регулювання і встановлення яскравості дисплею для адаптації під освітлення навколишнього середовища.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень Зоріна Євгенія Юрійовича відображені у 10 наукових публікаціях, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України, а також 5 публікацій апробаційного характеру.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених», (м. Харків, 2021 р.), Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD, м. Харків, 2022-2023 р.р.), Міжнародних науково-практичних конференціях «IEEE KhPI Week on Advanced Technology» (м. Харків, 2022-2023 р.р.), проіндексованих у базі даних Scopus.

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

Дисертаційна робота Зоріна Євгенія Юрійовича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 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, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

У *першому розділі* проведено аналіз проблематики захисту однофазних побутових споживачів від недопустимих відхилень напруги живлення. Проаналізовані аварійні ситуації в трифазних електромережах із глухоуземленою нейтраллю, що призводять до недопустимих відхилень напруги в однофазних побутових споживачів. Проведено оцінку чутливості побутових електроприладів до

недопустимих відхилень напруги. Проаналізовані засоби захисту однофазних споживачів від недопустимих відхилень напруги, а також обґрунтована актуальність і доцільність застосування саме однофазних реле контролю напруги побутових споживачів на протиположність іншим пристроям. Наведена класифікація вищевказаних реле за низкою ознак на основі вивчення їх характеристик та конструктивних особливостей розглянутих реле. Проаналізовано вимоги стандартів якості електроенергії в частині недопустимих відхилень напруги для однофазних побутових споживачів.

Обрано напрям теоретичних і експериментальних досліджень, поставлені основні задачі дисертаційної роботи.

У *другому розділі* запропоновано концепцію та функціональну схему удосконаленого однофазного реле контролю напруги побутових споживачів, у якому можна обрати номінальну напругу (220 або 230 В згідно діючих в Україні стандартів якості електричної енергії), а також тип захисної характеристики спрацьовування (залежну або незалежну) згідно з IEC60255-127:2010.

Запропоновані алгоритми роботи вищезазначеного реле, а також алгоритм вимірювання напруги, що передбачає фільтрацію сигналу за допомогою фільтра, синтезованого із застосуванням перетворення Фур'є для усунення нелінійних компонентів сигналу, які можуть призвести до хибного спрацьовування реле.

У *третьому розділі* розроблено імітаційну Simulink-модель трифазної електричної мережі низької напруги з глухоуземленою нейтраллю та системою уземлення *TN-C* для симуляції аварійних режимів, що пов'язані з появою недопустимих відхилень напруги в електричній мережі живлення кінцевого однофазного споживача.

Розроблено імітаційну Simulink-модель реле контролю напруги із залежними та незалежними захисними характеристиками спрацьовування. Проаналізовані результати імітаційного моделювання.

Розроблено схемотехніку удосконаленого реле контролю напруги зі зниженим споживанням електричної енергії, розраховані параметри елементів електричної удосконаленої схеми та здійснено їх вибір.

У четвертому розділі зроблено опис розробленого макетного зразка реле контролю напруги, опис структури програмного забезпечення реле, структури меню налаштувань реле.

Розроблено стенд для дослідження часу спрацювання реле. Проведено аналіз результатів експериментальних досліджень часу спрацювання макетного зразка удосконаленого однофазного реле контролю напруги побутових споживачів.

Розроблені рекомендації щодо практичного впровадження, технічної реалізації та розширення функціоналу вищевказаного реле.

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

Список використаних джерел із 132 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

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

Усі результати, які винесено автором 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.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження.

1) Формули (1.1) – (1.10) та рисунки 1.3, 1.4, які стосуються несиметричних режимів роботи трифазної мережі є загальновідомими з теорії електричних кіл, тому достатньо було б надати посилання на джерело. Натомість, зосередити увагу на тому, як несиметрія вплине на роботу захисних приладів та приладів контролю напруги.

2) Стосовно аналізу несиметричних режимів, зазначених у зауваженні вище: для більш досконалого аналізу несиметричних режимів, а також врахування електромагнітних перехідних процесів, які їх супроводжують, було б доцільно розглянути пряму, зворотну та нульову послідовності струмів та напруг.

3) На рис. 1.5 – 1.9 побудовано модифіковані криві чутливості, проте у тесті

підрозділу (1.2) не зазначено, яким чином і для досягнення якої мети була виконана така модифікація. Рисунки 1.10 – 1.12 з фотографіями електронних пристроїв не несуть корисного навантаження. З їх зовнішнього вигляду неможна зробити будь якого висновку з приводу вирішення поставлених задач. Аналогічно попередньому зауваженню, у інших розділах та у додатках серія рисунків демонструють фото електричних пристроїв та їх електричні схеми, але це є зайвим у тексті роботи. Наявність подібних зображень має місце, коли пристрій виготовляється здобувачем самостійно, як наприклад, у розділі 4 (рис. 4.15, 4.16).

4) Для перетворень за (2.18) з метою отримання коефіцієнтів FIR фільтру, які наведено у табл. 2.2, варто було б показати саму модель Matlab. У такому вигляді як є, неможливо перевірити або оцінити достовірність результатів.

5) На рис. 3.15 та у подібних по тексту роботи вказується про створення/використання моделей Matlab. Насправді, у роботі присутні структурні схеми Simulink. Matlab – це мова програмування для числового аналізу та матричних розрахунків.

6) У розділі 4 проведено експериментальні випробування, зауваження до яких полягають головним чином у відсутності застосування теорії планування такого експерименту та належної оцінки якості отриманих результатів. У такому вигляді, як є, наведені таблиці є фіксацією вимірних даних з мінімальною валідацією. Незрозуміло, з чим порівнювались результати вимірювань, чи були прилади повіреними, які залежності було апроксимовано для подальшого використання та корегування теоретичних положень і т.ін.?

7) Багато рисунків по тексту роботи мають низьку розподільчу здатність і є нечіткими, що ускладнює сприйняття матеріалу.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Зоріна Євгенія Юрійовича «Удосконалення захисних характеристик та схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги побутових споживачів» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка

полягає в удосконаленні захисних характеристик спрацьовування та схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги побутових споживачів, які на відміну від існуючих матимуть можливість вибору стандарту якості електричної енергії і згідно з ними номінальної напруги, а також типу захисної характеристики спрацьовування.

Подана дисертаційна робота відповідає 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 *Зорін Євгеній Юрійович* заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

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

Владислав ПЛЮГІН

Вчений секретар

29.01.2024

Олег КАЛМИКОВ

