

ВІДГУК

офіційного опонента

доцента кафедри електричних та електронних апаратів
Національного університету «Запорізька політехніка»,
кандидата технічних наук, доцента **ЖОРНЯК Людмили Борисівни**
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

1. Актуальність теми.

Аналіз сучасного ринку України відомих засобів захисту однофазних приймачів електроенергії побутового призначення від недопустимих відхилень напруги в електромережі є використання джерел безперебійного живлення, стабілізаторів напруги, розчіплювачів максимальної та мінімальної напруги в автоматичних вимикачах, однофазних реле контролю напруги. Однофазні реле контролю напруги живлення побутових споживачів, сучасний ринок яких представлений як іноземними, так і вітчизняними виробниками, вважаються найбільш прогресивними та перспективними в порівнянні з переліченими пристроями, а отже дослідження можливостей вирішення проблеми недопустимих відхилень напруги живлення однофазних споживачів електроенергії за рахунок таких реле є актуальною темою.

З огляду на це дисертаційна робота ЗОРІНА Євгенія Юрійовича, яка присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі з розробки та впровадження у виробництво однофазних реле контролю напруги з метою підвищення ефективності захисту електричних приладів побутового призначення від неприпустимих відхилень напруги в мережі живлення, представляється актуальною. В рамках цієї задачі в дисертаційній роботі було розглянуто і запропоновано нові схемотехнічні рішення, які дозволяють отримати удосконалені

захисні характеристики пристроїв та апаратів релейного захисту, а також противарійної автоматики з метою підвищення їх технічного рівня в частині ефективної протидії аварійним режимам електромереж багатоповерхових будинків.

Разом з цим автор детально проаналізував сучасні стандарти України стосовно норм якості напруги електропостачання, і передбачив можливість вибору споживачами стандарту якості електричної енергії і, згідно з ним, номінальної контрольованої напруги, а відтак можливість вибору типу захисних характеристик спрацьовування і розширення функціональних можливостей згідно стандарту ІЕС 60255-127:2010 за рахунок застосування удосконаленого енергоефективного реле контролю напруги з часозалежними та часонезалежними захисними характеристиками спрацьовування.

Актуальність теми і вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, виконані відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри електричних апаратів НТУ «ХП» в рамках ініціативної науково-дослідної роботи на тему: "Удосконалення апаратного захисту електричних приладів побутового і аналогічного призначення" (ДР №0123U103223), де здобувач був відповідальним виконавцем.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих та сформульованих в дисертаційній роботі ЗОРІНА Євгенія Юрійовича є достатньою завдяки детальному вивченню та критичному аналізу науково-технічних джерел за даною проблемою, коректній постановці мети і задач дослідження, застосуванню відомих методів досліджень, таких як методи комп'ютерного моделювання, випробувань та експериментальних досліджень на фізичних моделях із застосуванням сучасних програмних пакетів комп'ютерного моделювання, а саме Matlab.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність наукових положень висновків і рекомендацій роботи підтверджується: коректним використанням відомих теоретичних та експериментальних методів обґрунтування отриманих результатів; узгодженістю даних експерименту та наукових висновків; експериментальними даними, наведеними в роботах інших авторів; обґрунтованим вибором основних припущень та обмежень; збіжністю аналітично отриманих результатів моделювання з експериментальними даними та результатами практичного впровадження; апробацією основних результатів роботи на наукових конференціях; отриманими актами впровадження.

Наукові результати здобувача успішно використовуються при розробці імітаційних математичних моделей електричної мережі та однофазного реле контролю напруги, які використовуються в наукових дослідженнях підприємства ТОВ «АВМ АМПЕР», 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:

1. Удосконалено концепцію конструктивної особливості однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів електроенергії, в яких реалізована можливість вибору типу захисної характеристики спрацьовування, залежної або незалежної в часі, при недопустимому відхиленні контрольованої напруги за встановлені порогові значення, що відповідає діючому міжнародному стандарту IEC 60255-127:2010, а також стандартам щодо норм якості електричної енергії ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014, що діють в Україні одночасно і відрізняються значеннями номінальних напруг, а саме 220 В та 230 В, відповідно.

2. 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 активного та індуктивного опорів кабельних ліній, а

також потужності сусідніх однофазних споживачів на значення напруги в електромережі.

3. Вперше розроблено та досліджено 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 визначати параметри спрацьовування реле, а саме: порогові значення максимальної і мінімальної напруг, час автоматичного повторного включення, а також час спрацьовування реле.

4. Удосконалено метод вимірювання напруги електромережі на вході однофазного реле контролю напруги побутових споживачів, який дозволяє здійснювати обробку вхідного сигналу з визначеним кроком дискретизації за допомогою синтезованого цифрового фільтру, таким чином виключати нелінійні спотворення на частотах вищих за 50 Гц, при цьому такий алгоритм дозволяє одразу визначити амплітуду вхідного сигналу, застосувавши коефіцієнти фільтру.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Розроблено та досліджено 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 на відміну від існуючих реле з семисегментним індикатором розгалужене і зручне для читання меню реле, а також завдяки застосуванню двообмоткового силового реле спростити схему його керування і виключити споживання електричної енергії котушкою.

Розроблено схемотехнічне рішення удосконаленого реле контролю напруги зі зниженим споживанням електричної енергії за рахунок використання мікроконтролера з ядром Cortex M0+. Також реалізовано можливості керування IPS-дисплеєм зазначеного реле, а саме: автоматичним вмиканням дисплею при налаштуванні і при спрацюванні реле контролю напруги на визначений час, який можливо задавати користувачем у вікнах параметрів меню; надана додаткова

можливість плавного регулювання і встановлення яскравості дисплею для адаптації під освітлення навколишнього середовища.

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 В або 230 В) та захисної характеристики спрацьовування (залежної або незалежної) згідно зі стандартами якості електричної енергії, що діють в Україні.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень відображені у 10 наукових публікаціях, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України та 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.

Анотація ідентична за змістом з основними положеннями дисертаційної роботи і в повній мірі відображає основні наукові результати, що були отримані здобувачем.

В цілому рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертаційної роботи на конференціях повністю 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.

3. Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича** є завершеною науковою працею, містить анотацію українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список літератури та вісім додатків. Загальний обсяг дисертації становить 228 сторінок, обсяг основного тексту дисертації – 150 сторінок, з них 88 рисунків по тексту, 19 рисунків на окремих листах; 17 таблиць по тексту, 7 таблиць на окремих листах; список використаних джерел інформації з 132 найменувань на 14 сторінках; 8 додатків на 50 сторінках.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі пов'язаної з удосконаленням захисних характеристик та схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги, призначених для захисту побутових споживачів електроенергії від неприпустимих відхилень напруги в мережі електроживлення.

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 противагу 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, здійснено постановку задач дисертаційної роботи.

У *другому розділі* запропоновано концепцію та функціональну схему удосконаленого однофазного реле контролю напруги побутових споживачів, у якому можна обрати номінальну напругу (220 В або 230 В згідно з діючими в Україні стандартами якості електричної енергії), а також тип захисної характеристики спрацьовування (залежну або незалежну) згідно з ІЕС60255-127:2010.

Запропоновані алгоритми роботи вищезазначеного реле, а також алгоритм вимірювання напруги, що передбачає фільтрацію сигналу завдяки фільтру, 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.

За результатами імітаційного моделювання виконані схемотехнічні удосконалення реле контролю напруги живлення однофазних приймачів електроенергії спрямовані на зниження споживанням електричної енергії в режимі очікування, налаштування, вимірювання тощо. Для цього розраховані параметри елементів удосконаленої електричної схеми та здійснено їх вибір.

У *четвертому розділі* наведений детальний опис етапів дослідження розробленого макетного зразка реле контролю напруги, а також детальний опис розробленої програми функціонування реле при різних налаштуваннях в меню.

Додатково наведений детальний опис розробленого стенду для дослідження часу спрацювання як удосконаленого реле контролю напруги, так і його прототипів. 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 удосконаленого реле контролю напруги.

У *висновках* узагальнено основні отримані у роботі наукові та практичні результати. Висновки пов'язані з матеріалом дисертаційної роботи та її розділами і відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Перелік використаних джерел повною мірою охоплює розглянуту у дисертаційній роботі тематику, має достатню кількість джерел, що висвітлюють сучасний стан розвитку однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів електроенергії за реалізацією схемотехніки, можливості додаткових налаштувань алгоритмами роботи та захисними характеристиками.

У *додатках* наведено відомості щодо класифікації однофазних реле контролю напруги, їх схемотехнічних рішень, принципову електричну схему, захисні характеристики спрацювання удосконаленого реле контролю напруги побутових споживачів у табличному вигляді, опис лабораторного стенду для дослідження часу спрацювання однофазних реле контролю напруги, лістинг програми задання параметрів Simulink-моделі трифазної електричної мережі низької напруги з глухоуземленою нейтраллю, список публікацій здобувача за темою дисертації, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота оформлена належним чином, викладена логічно і послідовно. Висновки в дисертаційній роботі в повній мірі відображають отримані наукові результати.

4. Дотримання вимог академічної доброчесності

Дисертація виконана з дотриманням вимог щодо академічної доброчесності. Отримані результати підтверджують оригінальність дослідження. У тексті присутні авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи. Усі наукові положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані у необхідному обсязі у фахових виданнях, пройшли відповідну апробацію в українських та міжнародних наукових конференціях. Отже порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

5. По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження.

В процесі ознайомлення з роботою позитивне враження справила практична спрямованість досліджень. Але при цьому було виявлено деякі недоліки, тому можна зробити наступні зауваження.

1. У «Вступі» і далі по тексту дисертації у назві стандарту «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення» застосовується абревіатура «ГОСТ», яку доцільніше було б замінити на «ДСТУ».

2. В дисертаційній роботі на мою думку в першому розділі варто було додати більш детальний огляд літератури, додаткові публікації та наукові роботи, що стосуються саме схемотехнічних рішень та захисних характеристик реле.

3. У підрозділі 1.2 автором проводиться аналіз чутливості електропобутової техніки до недопустимих відхилень напруги живлення, а також приводяться залежності (ламані криві) чутливості електропобутової техніки від зниження напруги (рисунок 1.5...1.9 на сторінках 25, 29...32). На мій думку невдало вказано поняття «криві», бажано було б використовувати термін «залежності».

4. У підрозділі 1.2 аналізується чутливість різних видів електропобутової техніки до недопустимого зниження напруги. На мій погляд варто було б додати аналіз чутливості зазначеної техніки до перенапруги.

5. Варто зазначити, що деякі аспекти дисертації можуть бути більш деталізовані або уточнені, зокрема, щодо запропонованої у підрозділі 2.2 функціональної схеми удосконаленого реле контролю напруги (рисунок 2.5), варто було б вказати детальніше чим саме дана функціональна схема відрізняється від існуючих.

6. До результатів наведених на графіках рисунку 2.14 доцільно було б додати більш розширені коментарі, оскільки ці результати в багатьох випадках допускають узагальнення.

7. У підрозділі 3.1 в формулі 3.2 не обґрунтовано чому саме було вибрано значення температури в 20 градусів Цельсія при розрахунку опору провідника кабельної лінії. Також через те, що по всьому тексту (розділи 1, 2 та 3) дисертації використовується літера t , що означає часову змінну (навіть в межах цього ж розділу на рисунках 3.6...3.8 та 3.10...3.14), то варто б було застосувати іншу літеру, що означає температуру саме в цій формулі.

8. На сторінці 90 у підрозділі 3.1 використовуються відомі формули (3.11...3.14) без посилання на літературні джерела.

9. При огляді наукових досліджень, розробок технічних рішень за темою дисертації та досягнень різних вчених не в повній мірі було проаналізовано внесок вчених розвинутих країн світу (США, Європи, Японії тощо).

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

Наведені недоліки несуттєво впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи та не знижують цінність одержаних автором наукових та практичних результатів.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота ЗОРІНА Євгенія Юрійовича «Удосконалення захисних характеристик та схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги побутових споживачів» є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу захисту однофазних споживачів електроенергії, а саме побутових електроприладів від неприпустимих відхилень напруги мережі електроживлення, 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 ЗОРІНА Євгенія Юрійовича «Удосконалення захисних характеристик та схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги побутових споживачів» 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 12.01.2017 № 40, а здобувач, ЗОРІН Євгеній Юрійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

доцент кафедри електричних та електронних
апаратів Національного університету

«Запорізька політехніка»,

кандидат технічних наук, доцент

«26» січня 2024 р.

