

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, доктора технічних наук, доцента

СЕРЕДИ Олександра Григорійовича

на дисертаційну роботу **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича**

**«Удосконалення захисних характеристик та схемотехнічних рішень
однофазних реле контролю напруги побутових споживачів»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Детальний аналіз дисертаційної роботи **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича** на тему «Удосконалення захисних характеристик та схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги побутових споживачів», що подана для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дозволяє зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, а також надати загальну оцінку дисертації.

1. Актуальність теми

Робота присвячена вирішенню прикладної наукової задачі, що полягає в удосконаленні захисних характеристик спрацьовування однофазних реле контролю напруги через застосування прогресивних схемотехнічних рішень з метою підвищення ефективності захисту однофазних споживачів електроенергії, а саме побутових електроприладів від неприпустимих відхилень напруги в мережі живлення. Проблема недопустимих відхилень напруги живлення однофазних споживачів електроенергії є вкрай важливою практично в усіх сферах життєдіяльності людини. Такі відхилення можуть виникати з різних причин: аварійні режими електричних мереж, наприклад, виникнення перенапруг внаслідок порушення симетрії через обрив PEN-провідника в

трифазній електричній мережі з глухоуземленою нейтраллю при різних потужностях однофазних споживачів, стихійні лиха, перевантаження тощо.

На сьогодні світова наукова спільнота приділяє цій проблемі значну увагу у зв'язку з тим, що зростає залежність від споживання в домашнім господарстві різноманітних однофазних побутових електроприладів, а також електронної, комп'ютерної та офісної техніки, а неприпустимі відхилення напруги можуть призвести до виходу з ладу означених однофазних споживачів електроенергії.

Відомими засобами 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. З перелічених пристроїв найбільш прогресивним та перспективним є використання останніх, оскільки вони відключають побутового споживача від аварійної мережі, та на відміну від розчіплювачів мають функцію автоматичного повторного вмикання при нормалізації значення напруги. Крім того реле контролю напруги зазвичай мають різноманітні додаткові функції, наприклад, моніторинг значення струму.

Сучасний ринок однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів представлений як іноземними, так і вітчизняними виробниками. В поданій дисертаційній роботі було з'ясовано, що усі з досліджуваних зразків мають суттєві недоліки, що частково або повністю обмежують їх застосування у внутрішньобудинкових електромережах напругою 0,4 кВ з ізольованою нейтраллю. Сюди слід віднести невідповідність діючим міжнародним стандартам, наприклад ІЕС 60255-127:2010 та ДСТУ EN 50160:2014, неврахування збільшення й нерівномірності завантаження фаз підключенням потужних однофазних електроприймачів, що перешкоджає вирівнюванню напруги по фазах повною мірою, неврахування нелінійних спотворень синусоїдальної форми фазних струмів через наявність нелінійних навантажень, неможливість виконати необхідні налаштування захисних характеристик реле під конкретну електромережу тощо.

З огляду на викладене вище, можна зробити висновок, що удосконалення захисних характеристик пристроїв та апаратів релейного захисту та протиаварійної автоматики з метою підвищення їх технічного рівня в частині ефективної протидії аварійним режимам електромереж багатоповерхових будинків, а також створення математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення, що розширює їх функціональні можливості, є надзвичайно *актуальним завданням*, що і визначило напрямок дисертаційної роботи **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича**, спрямованої на удосконалення захисних характеристик однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів через застосування прогресивних схемотехнічних рішень, які на відміну від існуючих матимуть можливість вибору 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 IEC 60255-127:2010.

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

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі електричних апаратів Навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у повній відповідності з освітньо-науковою програмою підготовки здобувачів третього (доктора філософії) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Проведені дослідження тісно пов'язані з ініціативною науково-дослідною роботою «Удосконалення апаратного захисту електричних приладів побутового і аналогічного призначення» (ДР №0123U103223), де здобувач був відповідальним виконавцем.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Дисертація містить наукову новизну.

До найбільш суттєвих здобутків роботи слід віднести наступне:

– удосконалено концепцію (конструктивний принцип) побудови 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 та 230 В, відповідно;

– удосконалено алгоритм побудови імітаційної Simulink-модель трифазної електричної мережі низької напруги з глухоуземленою нейтраллю, що дозволило здійснити моделювання аварійних режимів, пов'язаних з появою неприпустимих відхилень напруги живлення однофазних споживачів електроенергії з урахуванням впливу активного та індуктивного опору кабельних ліній електропередачі, а також впливу потужності сусідніх споживачів на значення напруги в електромережі;

– визначені максимально можливі значення відхилення напруги при живленні розташованих на незначній відстані від трансформаторної підстанції однофазних споживачів електроенергії від трифазної електричної мережі, при типових мінімальній та максимальній потужностях приймачів електроенергії, що дозволило узгодити напругу спрацьовування однофазних реле контролю напруги з загальною потужністю увімкнених електроприладів;

– створено та досліджено імітаційну Simulink-модель однофазного реле контролю напруги живлення побутових споживачів із залежними та незалежними в часі захисними характеристиками спрацьовування, відповідно до стандарту IEC 60255-127:2010, що дозволило **визначити** такі параметри реле контролю напруги, як порогові значення максимальної й мінімальної напруг спрацьовування, час автоматичного повторного вмикання, час спрацьовування залежно від напруги електромережі, і **реалізувати** обрану концепцію побудови однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів електроенергії через застосування прогресивних схемотехнічних рішень.

– удосконалено метод вимірювання напруги електромережі на вході однофазного реле контролю напруги живлення побутових споживачів, в якому на відміну від традиційного метода визначення середньоквадратичного значення напруги здійснюється оцифровка вхідного сигналу з визначеним кроком дискретизації, його фільтрація за допомогою синтезованого фільтру та апроксимація отриманого масиву даних, що дозволило позбавитись з відносною похибкою, що не перевищує 1%, від впливу постійних і перехідних складових, які спотворюють корисний сигнал і можуть призвести до помилкового спрацьовування, або помилкового неспрацьовування реле;

Положення наукової новизни в дисертаційній роботі **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича** сформульовані належним чином, характеризуються високим рівнем обґрунтованості та свідчать про високий рівень наукового пізнання здобувача.

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

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

– розроблено нове схемотехнічне рішення для однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів електроенергії, особливістю якого є використання мікроконтролера з ядром Cortex M0+, який має декілька режимів енергозбереження і є одним з найменших за площею кристалу 32-розрядних мікроконтролерних ядер, що дозволило суттєво знизити споживання електроенергії в режимі очікування, налаштування, виміру тощо;

– реалізовані додаткові можливості керування IPS-дисплеєм реле контролю напруги, що дозволило обрати найбільш ефективну характеристику захисту та налаштувати під неї оптимальний режим енергозбереження з урахуванням особливостей конкретної електромережі;

– спроектований, побудований та досліджений макетний зразок нової конструкції однофазного цифрового реле контролю напруги побутових споживачів з кольоровим IPS-дисплеєм та неполяризованим бістабільним силовим реле з двома обмотками, що дозволило на відміну від існуючих реле з семисегментним індикатором зробити розгалужене й зручне меню для налаштування характеристик реле контролю напруги, а застосування

двообмоткового силового реле дозволило спростити схему його керування й виключити споживання електричної енергії котушкою в режимі утримання.

Результати дисертаційної роботи **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича** впроваджено на підприємстві ТОВ "АВМ АМПЕР", а саме розроблені імітаційні математичні моделі електричної мережі та однофазного реле контролю напруги використовуються в наукових дослідженнях підприємства при розробці релейного захисту, а розроблені алгоритми та схемотехнічні рішення використовуються при розробці нових конструкцій апаратів релейного захисту.

Пропозиції **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича** щодо удосконалення схемотехнічних рішень мікропроцесорних схем керування апаратами релейного захисту використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» по кафедрі електричних апаратів НТУ «ХП», а також в курсовому та дипломному проектуванні та науково-дослідних роботах.

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

За результатами досліджень викладених в дисертаційній роботі опубліковано 10 наукових праць, а саме: у наукових виданнях, включених до переліку фахових наукових видань України – 5, таких, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації – 5 (з них 2 внесено до реферативної бази Scopus).

У наведених публікаціях повною мірою викладені основні здобутки, наукові результати та висновки дисертаційної роботи **ЗОРІНА Євгенія Юрійовича** на окремих етапах дослідження.

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

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.

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* доведена актуальність теми, обґрунтована мета і задачі дослідження, окреслені об'єкт, предмет, а також методи дослідження, сформульовані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, надані відомості щодо наукових публікацій та апробації результатів досліджень.

У *першому розділі* проведений аналіз проблематики захисту однофазних споживачів електроенергії побутового призначення від недопустимих відхилень напруги в мережі живлення. Розглянуті та проаналізовані аварійні ситуації в трифазних електричних мережах з глухоуземленою нейтраллю, що призводять до появи недопустимих відхилень напруги живлення однофазних споживачів. Визначена чутливість побутових електроприладів до неприпустимих відхилень напруги живлення. Здійснений огляд та аналіз методів та засобів захисту від недопустимих відхилень напруги живлення однофазних приймачів електроенергії. Обґрунтована доцільність застосування саме однофазних реле контролю напруги побутових споживачів на противагу іншим електричним апаратам. Проведений огляд однофазних реле контролю напруги і, на основі вивчення особливостей розглянутих реле, зроблено класифікацію реле за рядом ознак. Проаналізовані конструктивні, схемотехнічні та функціональні особливості однофазних реле контролю напруги. Розглянуті вимоги стандартів якості електричної енергії в області неприпустимих відхилень напруг у однофазних побутових споживачів. Обрано напрями досліджень, поставлені основні задачі дисертаційної роботи.

У *другому розділі* в рамках обраної концепції (конструктивного принципу) запропонована функціональна схема удосконаленого однофазного реле контролю напруги, яка передбачає вибір номінального значення напруги 220 або 230 В згідно одночасно діючих в Україні стандартів: ГОСТ 13109-97 (щодо

норм якості електричної енергії) та ДСТУ EN 50160:2014 (щодо характеристик напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення), а також реалізована можливість вибору залежної або незалежної захисної характеристики спрацьовування згідно стандарту IEC 60255-127:2010.

З метою удосконалення традиційного методу вимірювання напруги електромережі на вході однофазного реле контролю напруги живлення побутових споживачів з подальшим обчисленням середньоквадратичного значення вимірної напруги розроблений новий алгоритм вимірювання, який полягає в оцифруванні (дискретизації) аналогового сигналу напруги, що надходить на вхід реле з датчика, і подальшій фільтрації отриманої дискретної залежності за допомогою синтезованого фільтра з кінцевою імпульсною характеристикою шляхом використання дискретного перетворення Фур'є, що дозволило позбутись постійних, перехідних та високочастотних складових, що спотворюють синусоїдальну форму напруги в мережі живлення й тим самим можуть призвести до помилкового спрацьовування, або помилкового неспрацьовування реле. Для цього визначені частота дискретизації вихідної аналогової залежності зміни напруги в часі та коефіцієнти цифрового фільтру.

У *третьому розділі* розроблено імітаційну Simulink-модель трифазної електричної мережі низької напруги з глухоуземленою нейтраллю за системою уземлення *TN-C* для симуляції аварійних режимів, що пов'язані з появою неприпустимих відхилень напруги в електричній мережі живлення кінцевого однофазного споживача. Додатково розроблено імітаційну Simulink-модель реле контролю напруги із залежними та незалежними захисними характеристиками спрацьовування. Проаналізовані результати імітаційного моделювання та надані рекомендації щодо налаштування реле під конкретну електромережу.

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. Проаналізовані результати експериментальних досліджень часу спрацювання макетного зразка та надані відповідні рекомендації щодо конструктивних змін спрямованих на покращення захисних властивостей реле.

Розроблені рекомендації щодо практичного впровадження, технічної реалізації та розширення функціоналу удосконаленого реле контролю напруги.

У висновках подані основні результати та здобутки проведених досліджень, спрямовані на вирішення поставленої мети. Висновки 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.

Додатки містять відомості щодо класифікації однофазних реле контролю напруги за рядом ознак, їх схемотехнічних рішень, електричну схему та захисні характеристики спрацювання удосконаленого реле контролю напруги, стенд для дослідження часу спрацювання реле, список публікацій здобувача за темою дисертації, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність наукових положень роботи підтверджується: коректним використанням відомих теоретичних та експериментальних методів обґрунтування отриманих результатів; узгодженістю даних експерименту та наукових висновків; експериментальними даними, поданими 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.

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

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації сформульовані з результатів, які наведені в розділах роботи. Дисертація виконана з дотримання вимог 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.

9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Формулювання використаних методів досліджень (стор. 11) здійснено таким чином, що більш схоже на перелік або практичного значення одержаних результатів, або підтвердження достовірності отриманих наукових положень, або інших здобутків дисертанта, тому не зрозуміло, які ж саме методи досліджень були використані, чи то існуючі, чи удосконалені, чи взагалі розроблені вперше.
2. На рис. 2.5 (стор. 59) подана функціональна схема цифрового реле контролю напруги для захисту побутових споживачів електроенергії від неприпустимих відхилень напруги мережі електроживлення. На стор. 58 до рис. 59 додається коментар: «На основі отриманих даних розроблена типова структурна схема енергоефективних цифрових реле контролю

напруги, що представлена на рис. 2.5.» З тексту, наведеному в цитаті, не зрозуміло, чи подана на рис. 2.5 схема є типовою, чи розробленою здобувачем, чи може взагалі удосконаленою. Якщо ця схема є розробкою дисертанта, то бажано було б надати коментар які блоки типової схеми потребували заміни і чому.

3. Одним з напрямів досліджень проведених в поданій дисертаційній роботі є удосконалення схемотехнічних рішень однофазних реле контролю напруги живлення побутових споживачів електроенергії. З тексту поданому у п. 2.2.1 (стор. 59) не зрозуміло, чи схема блоку живлення подана на рис. 2.6 є типовою, а здобувач лише визначався з елементною базою, чи вона є розробкою дисертанта, а тексту поданому у п. 2.2.3 (стор. 62) не зрозуміло, чи схема датчика напруги подана на рис. 2.7 є типовою, чи вона є розробкою дисертанта, який елемент схем є чутливим до зміни вхідної напруги, і чому у складі подільника напруги резистор $R14$ поданий постійним, хоча в тексті пропонується його замінити на потенціометр для більш точного налаштування.
4. У третьому розділі розроблено імітаційну Simulink-модель трифазної електричної мережі низької напруги з глухоуземленою нейтраллю за системою уземлення $TN-C$ для симуляції аварійних режимів, що пов'язані з появою неприпустимих відхилень напруги в електричній мережі живлення кінцевого однофазного споживача. Додатково розроблено імітаційну Simulink-модель реле контролю напруги із залежними та незалежними захисними характеристиками спрацьовування. Проаналізовані результати імітаційного моделювання та надані рекомендації щодо налаштування реле під конкретну електромережу. Бажано було б дослідити чи буде можливим використання розроблених імітаційних моделей в мережах з іншим режимом нейтралі.

Наведені недоліки несуттєво впливають на позитивну оцінку виконаної роботи та цієї рецензії, переважно мають характер рекомендаційний для подальших досліджень здобувача за тематикою дисертації.

10. 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 сам здобувач, **ЗОРІН Євгеній Юрійович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

РЕЦЕНЗЕНТ:

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри «Електричні апарати»
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

«29» січня 2024 р.

Олександр СЕРЕДА

Підпис *Олександр Середя*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
"29" 01 2024 р.

