

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Шевченка Сергія Юрійовича "Вплив вищих гармонік напруги на вибір та експлуатацію обмежувачів перенапруг для захисту систем електропостачання ", представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

### **Актуальність теми.**

Останнім часом в Україні та світі динамічно розвиваються потужні системи напівпровідникової техніки. Сьогодні, широке використання отримали UPS напівпровідники, статичні перетворювачі змінної напруги в постійну, пристрої плавного пуску. Хоча елементи електроніки, такі як тиристори, привнесли суттєві зміни в схемотехніку та суттєво підвищили можливості регулювання в системах електропостачання, вони, також, створили проблему генерації вищих гармонік.

Аналізу режимів роботи елементів систем електропостачання з підвищеним вмістом гармонійних коливань на сьогодні приділяють підвищену увагу. Це пов'язано з тим, що при експлуатації об'єктів енергетики з'являються пристрої, які є джерелами виникнення гармонійних коливань. Як приклад, можна навести сонячні електричні станції до складу, яких включені пристрої перетворення постійного струму в змінний на базі сучасної напівпровідникової техніки.

У дисертації пропонується методи та методики врахування впливу вищих гармонійних складових напруги на вибір та експлуатацію обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН). Це є безумовно актуальним напрямком досліджень, тому, що дозволяє вже при проектуванні засобів захисту систем електропостачання обирати ОПН з урахуванням складу та величин гармонійних коливань за рахунок визначення спроможності ОПН підтримувати тепловий баланс на протязі всього строку експлуатації без порушень працездатності.

Тому тема дисертаційної роботи Шевченка С.Ю., яка присвячена вивченню впливу гармонійних коливань на працездатність ОПН є актуальною.

Основний напрямок досліджень органічно доповнюють та вписуються в контекст дисертаційної роботи такі напрямки, як удосконалення методів розрахунків теплових режимів апаратів та визначення вимог до технічних характеристик ОПН необхідних для його коректного вибору. Вони також представляють практичний інтерес та є актуальними задачами, тому, що спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності систем

електропостачання.

Пропоновані автором методи та засоби їх реалізації орієнтовані на застосування сучасної обчислюваної техніки, сучасних інформаційних технологій та програмних засобів.

Відповідно до поданих матеріалів результати дисертаційної роботи є складовою частиною завдань держбюджетних та госпдоговірних НДР Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в яких здобувач був науковим керівником та відповідальним виконавцем етапів.

### **Зміст і коротка характеристика результатів досліджень**

У *першому розділі* виконано огляд та проведено порівняльний аналіз існуючих, на цей час, методів та методик вибору ОПН. На основі виконаного аналізу нормативно-технічних документів, регламентуючих методи вибору ОПН, було визначено напрямки подальших досліджень в напрямку урахування впливу вищих гармонік напруги на працездатність апаратів для захисту систем електропостачання. Визначено, що основним захисним апаратом є ОПН. Доведено, що основною характеристикою для забезпечення нормальної експлуатації ОПН є теплова стабільність його параметрів.

У *другому розділі* проведено аналіз енергетичних параметрів ОПН в системах електропостачання з наявністю вищих гармонійних коливань в складі діючої напруги. З використанням схем заміщення ОПН, отримані аналітичні вирази для розрахунку енергії при дії найбільшої робочої напруги системи електропостачання. Обгрунтована необхідність експериментальних досліджень вольт-амперних характеристик ОПН в області струмів витоку. Для визначення теплових режимів роботи ОПН отримана математична модель у вигляді двох звичайних диференціальних рівнянь у формі Коші. Подібна модель дозволяє проводити розрахунки теплових режимів ОПН при дії напруги з вмістом вищих гармонік та визначати спроможність апарату підтримувати тепловий баланс на протязі всього строку експлуатації.

У *третьому розділі* виконані експериментальні дослідження електрофізичних характеристик ОПН, які необхідні для визначення параметрів схеми заміщення та розрахунків потужності теплових втрат. Визначено, що для оцінки потужності втрат необхідно отримати вольт-амперну характеристику ОПН. Проведено експериментальні дослідження вольт-амперних характеристик та обгрунтовано метод їх представлення у вигляді двох прямих ліній, що дає можливість визначити залежність струму від напруги для будь яких груп ОПН. Доведено, що ОПН в області струмів витоку змінює свої властивості з діелектричних на провідникові та визначено напругу переходу з одного стану до іншого. Удосконалено модель теплових процесів у ОПН, яка дозволяє враховувати електрофізичні властивості

варисторної кераміки та відповідає, як діелектричному стану апарата так і провідниковому. Виконано дослідження впливу теплових властивостей матеріалів з яких виготовлено ОПН на його спроможність підтримувати тепловий баланс в процесі довгострокової експлуатації.

*Четвертий розділ* присвячено експериментальним дослідженням якості електричної енергії в системах електропостачання, а саме виникненню вищих гармонік в мережах підприємств різних галузей промисловості. Проведені вимірювання підтверджують наявність в мережах систем електропостачання гармонійних коливань різних порядків, що дозволяє зробити висновок про необхідність їх врахування при виборі ОПН для захисту таких систем. Доведено, що джерелом високочастотних коливань на лініях електропередавання можуть бути ізолятори, які знаходяться в експлуатації на протязі тривалого часу. Проведено розрахунки електричних полів у тілі підвісного ізолятора, які дозволили визначити, що існують послаблені з точки зору електричної міцності місця, в котрих виникають умови для виникнення високочастотних коливань.

*П'ятий розділ* присвячений розвитку методів та методик вибору ОПН з урахуванням наявності в діючій напрузі вищих гармонійних коливань. Запропоновано метод визначення найбільшої робочої напруги ОПН, який відрізняється від існуючих урахуванням наявності вищих гармонійних складових напруги у місці приєднання ОПН до мережі системи електропостачання. Розроблено перелік технічних характеристик ОПН, який має надати виробник для правильного вибору ОПН. Обґрунтовано відмову від струму витоку через конструкцію ОПН, як діагностичного параметру його працездатності та розроблено основні засади використання інфрачервоних засобів контролю. Визначено основні вимоги до монтажу ОПН різного конструктивного виконання.

Таким чином, Шевченко С.Ю., провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень та технічні засоби, досяг поставленої мети - розробив основні засади вибору та експлуатації обмежувачів перенапруг нелінійних в умовах впливу вищих гармонік напруги в місці їх встановлення, як основного способу захисту систем електропостачання.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність та новизна.**

**Наукову новизну** роботи відображають наступні, найбільш значимі наукові результати, які автор виносить на захист:

- вперше запропоновано метод вибору найбільшої робочої напруги ОПН, який відрізняється тим, що враховує наявність та склад гармонійних коливань напруги в системі електропостачання, що дозволить

підвищити надійність роботи ОПН.

- вперше запропоновано метод розрахунку потужності, яка виділяється в ОПН в нормальному режимі роботи системи електропостачання, який враховує електрофізичні властивості варисторної кераміки, що дає можливість обирати тип ОПН з урахуванням впливу вищих гармонік напруги в системі електропостачання;
- вперше запропоновано метод вибору енергетичних характеристик ОПН, який відрізняється тим, що критерієм вибору є активна енергія виділена в ОПН за одну секунду. Порівняння її з активною потужністю що можуть витримати варистори ОПН, дає можливість обрати апарат з урахуванням впливу вищих гармонік напруги у місці приєднання ОПН до системи електропостачання;
- удосконалено модель теплових процесів в ОПН, яка відрізняється від існуючих урахуванням при розрахунку теплового потоку електрофізичних властивостей варисторної кераміки, що дозволить підвищити точність розрахунків теплових режимів ОПН.

Положення та висновки відносно суті проблеми базуються на експериментальних і теоретичних дослідженнях, які проведені з використанням фундаментальних положень теорії електричних кіл, теорії загальної теплотехніки, техніки високих напруг, теорії ймовірності та математичної статистики. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення (пакета MathCAD та середовища ANSIS). Висновки по розділах та по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Можна стверджувати, що наведені в дисертаційній роботі Шевченка С.Ю. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень **достатньо обґрунтовані** і відповідають дійсності. Їх **достовірність** забезпечена коректністю використання математичного апарату та наукових положень. Вона підтверджена досвідом експлуатації ОПН, даними експериментальних досліджень, спостереженням та фіксацією наявності вищих гармонік напруги.

Основні результати дослідження **достатньо обґрунтовані**. Вони доповідалися на багатьох конференціях та опубліковані в 4-х монографіях і 27 наукових статтях у фахових журналах, 6 з них без співавторів.

Аналіз публікацій дозволяє стверджувати, що в них в повному обсязі представлені матеріали дисертації. Автореферат дисертації відображає її зміст, ідеї та висновки. У авторефераті розкритий внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкриті новизна розробок, теоретичні та практичні значення результатів проведених досліджень.

## **Значення отриманих результатів для теорії і практики.**

Розроблено методи визначення теплових режимів ОПН, які базуються на врахуванні електрофізичних характеристик оксидноцинкової кераміки та дозволяють враховувати будь-які форми впливаючої напруги, що дозволяє відстежувати теплові процеси в апараті на протязі всього строку експлуатації.

Розроблено методи врахування впливу вищих гармонік напруги на вибір ОПН, що дозволяє суттєво підвищити надійність електропостачання споживачів.

Запропоновано спосіб визначення ВАХ ОПН в зоні струмів витоку, який дозволяє, в умовах недостатньої інформації, визначити значення струмів витоку та енергії, що розсіює ОПН.

Доведено можливість використання інфрачервоних засобів, як основних для діагностики ОПН під час експлуатації.

Результати дисертаційної роботи використані при розробці наступних нормативних документів для Мінпаливенерго України: Правила Улаштування електроустановок; Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 6-35 кВ. Настанова щодо вибору та застосування у розподільчих установках СОУ-Н МЕВ 40.1-00100227-67:2012; Засоби захисту від перенапруг. Інструкція. Нормативний документ затверджений Мінюстом України.

Практична цінність отриманих результатів підтверджується позитивним впровадженням в практику, про що складено відповідні акти. Результати дисертаційної роботи використані у: НЕК «Укренерго» (м. Київ), при розробці методики вибору ОПН, АК «Харківобленерго» (м.Харків), при виборі типу ОПН. Теоретичні положення та практичні висновки втілені у навчальний процес НТУ «ХП» при підготовці студентів електротехнічних спеціальностей.

## **Заваження.**

1. На мою думку третій пункт наукової новизни слід віднести до практичної новизни.

2. У третьому розділі роботи при аналізі енергетичних характеристик ОПН розглядається вплив на них вищих гармонік напруги у випадку співпадіння фаз гармонійних складових. Однак на практиці такий випадок має дуже малу імовірність. При виборі енергетичних параметрів ОПН потрібно виконувати спектральний аналіз впливаючих гармонік напруги, що може суттєво змінити отримані автором результати.

3. В розділі три розглянуто вплив гармонійного складу напруги на теплові режими ОПН та показано, що температура варисторів підвищується. На наш погляд слід було виконати аналіз впливу такого підвищення температури на спроможність апарату поглинати енергію перенапруги без

втрати працездатності.

4. В розділі три отримана апроксимуюча функція воль-амперної характеристики варисторів двох провідних виробників, однак слід зазначити, що у світі існують інші виробники, варистори яких мають характеристики, які відрізняються від досліджених тому отримані вирази апроксимуючої функції не можуть вважатися універсальними.

5. Результати моніторингу якості електричної енергії в системах електропостачання залежать від місця встановлення пристроїв контролю параметрів режиму. Яким чином ця обставина буде впливати на коректність вибору апаратів для захисту систем електропостачання.

6. У третьому розділі при аналізі впливу вищих гармонійних коливань напруги на параметри ОПН не враховано явище резонансу. На частоті резонансу енергія виділена в ОПН може суттєво підвищитися, що призведе до необхідності введення додаткових вимог до параметрів мережі в якій підключено ОПН. Такі умови потрібно було сформулювати у роботі.

7. В четвертому розділі роботи виконані інструментальні вимірювання складу гармонійних складових напруги для підприємств різних галузей промисловості, однак не зазначені прилади за допомогою яких виконані дослідження.

8. В розділі п'ять наведені умови вибору залишкової напруги в залежності від рівня дугових перенапруг (5.10) та (5.11). Відомо, що ОПН не призначений для захисту систем електропостачання від квазістаціонарних перенапруг тому подібні умови потребують пояснення.

9. На наш погляд графіки та протоколи вимірювання коефіцієнтів  $n$ -ї гармонійної складової напруги треба було б винести в додаток

10. В тексті дисертації та автореферату зустрічаються російські слова, найчастіше *ток* замість *струм*; трапляються описки і технічні помилки, наприклад:

- С.12 слід писати дослідженнями замість дослідженнями;
- С.14 відсутній відступ слід писати м. Харків.
- С.305 немає відступу від підпису рис. (5.13)
- Таблиці 2.1-2.5 мають бути виконані у відповідності до вимог
- Для рівняння (2.77) не визначені початкові умови.

Проте зазначені зауваження не є принциповими та такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Шевченка С.Ю.

**Висновок.**

Дисертаційна робота Шевченка Сергія Юрійовича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати, що присвячені вирішенню актуальної проблеми вибору та експлуатації ОПН при впливі вищих гармонік напруги. Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною досліджень та практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам п.п. 9,10,12 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 р.. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи, а її автор, Шевченко Сергій Юрійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

**Офіційний опонент**

завідувач відділу  
транзисторних перетворювачів  
Інституту електродинаміки НАН України  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



О.М. Юрченко

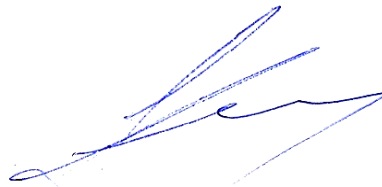
Підпис О. М. Юрченка засвідчую.

Вчений секретар ПД НАН України, к.т.н.



І. В. Хімюк

14.12.2015  
264.050.04



Осмеров О.В.