

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.187.03
Інституту електродинаміки
НАН України
академіку НАН України,
доктору технічних наук,
професору
Андрію ЖАРКІНУ

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук,
професора Гребченко Миколи Васильовича
на дисертаційну роботу **Кучанського Владислава Володимировича**
«Аналіз та управління режимами роботи магістральних електричних
мереж за умов структурної несиметрії», яку подано до захисту на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Останніми роками проблема підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних систем України та їх магістральних електричних мереж (МЕМ) набула особливої актуальності. Пошкодження електроустаткування окремих фаз електричних мереж, насамперед однофазних шунтувальних реакторів (ШР) та автотрансформаторів (АТ), під час експлуатації та внаслідок несанкціонованих впливів зумовлює зміну структури МЕМ і перехід до неповнофазних режимів, що разом з природними причинами призводить до порушення структури електричних мереж.

До природних причин значної несиметрії в МЕМ відноситься пофазна відмінність параметрів ліній електропередачі (ЛЕП), котра може призводити до переобтяження АТ та збільшення витрат електроенергії. За неповнофазних режимів МЕМ зростають сумарні втрати активної потужності (до 15-20% у порівнянні з повнофазними режимами), можуть виникати резонансні перенапруги, зростати аперіодична складова струму, що призводить до пошкодження основного обладнання МЕМ та розвитку системних аварій.

Робота присвячена розв'язанню проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування МЕМ, розробленню нових моделей та методів аналізу і управління режимами роботи за умов несиметрії.

Проблемі підвищення надійності та ефективності функціонування МЕМ присвятили значну кількість праць такі вчені, як Берман А.П., Веприк Ю.М., Кузнецов В.Г., Кулик В.В., Лежнюк П.Д., Постолатій В.М., Солдатов В.А., Тугай Ю.І., Фраткин О.І. Maria Cristina Tavares, Božidar Filipović-Grčić, Igor Ivankovic, Tahir Midhat Lazimov, Sergio Kurokava та інші. Розроблені до цього часу моделі та методи аналізу режимів МЕМ стосуються, переважно, симетричних нормальних режимів. Тому вдосконалення існуючих та розроблення нових моделей і методів аналізу та керування режимами МЕМ за

умов структурної несиметрії є актуальними для об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в Інституті електродинаміки НАН України відповідно до планів науково-дослідних робіт (НДР) НАН України.

В дисертації наведено результати досліджень, які проводилися під час виконання таких НДР: «Розробка методів і моделей аналізу резонансних процесів та мінімізації втрат електроенергії в несиметричних режимах роботи електричних мереж» («Безпека-3», 2014-2018рр., № ДР 0114U001465); «Розробка методів і моделей для аналізу електромагнітних перехідних процесів в електричних мережах з метою запобігання появі небезпечних перенапруг» («Безпека-4», 2019-2023рр., № ДР 0119U001280); «Розроблення моделей та методів аналізу аномальних режимів електричних мереж в умовах часткового пошкодження електрообладнання для відновлення їх безпечного функціонування і модернізації» («Безпека-5», 2024 р., № ДР 0124U000394); «Методи та засоби моделювання й обробки інформації при моніторингу електроенергетичних систем» («Інтелмер-2», 2017-2021 рр. № ДР 0117U002583); «Дослідити режими та створити засоби протиаварійного керування завантаженням перетинів енергосистем зі значною часткою відновлювальних джерел енергії» («Монітор-ПК» 2016-2018 рр., № ДР 0115U004417); «Розроблення моделей об'єднаної енергосистеми України та визначення заходів з її інтеграції до континентальної енергосистеми європейських країн – ENTSO-E» («Монітор-3», 2019-2021рр., № ДР 0119U001211); «Моделі та засоби запобігання погіршення якості електропостачання промислових споживачів» («Монітор-4», 2022-2024рр., № ДР 0122U001266); «Розвиток теорії, розроблення методів інтелектуалізації технологічних процесів та засобів керування, моніторингу, діагностування і вимірювання в електроенергетичних та електротехнічних системах» («Інтехен-2», 2020-2021рр., № ДР 0120U002125); «Підвищення надійності виконання комутацій в компенсованих магістральних лініях електропередачі надвисокої напруги» («Об'єднання-3», 2016-2018 рр. № ДР 0116U006587); «Підвищення надійності та ефективності роботи магістральних електричних мереж ОЕС України в умовах наявності джерел несинусоїдальних спотворень» («Нова енергетика», 2019-2021рр. № ДР 0119U001630); «Розвиток елементів теорії, розроблення нових методів розрахунку та створення засобів для підвищення надійності та енергоефективності режимів і технологічних процесів в електроенергетичних та електротехнічних системах» («Режим-1», 2022р., № ДР 0122U001494); «Забезпечення стійкості та надійності національної електроенергетики в умовах синхронної роботи ОЕС України з континентальною європейською енергетичною системою ENTSO-E» («Режим-2», 2023-2024рр. № ДР 0123U1001769). Під час виконання зазначених НДР здобувач був відповідальним виконавцем основних розділів, присвячених дослідженню аномальних режимів, викликаних як джерелами спотворень, так і зміною структури електричної мережі. Під час виконання зазначених НДР здобувач був відповідальним

виконавцем основних розділів, присвячених дослідженню аномальних режимів, викликаних як джерелами спотворень, так і зміною структури електричної мережі, а під час виконання НДР «Розробка заходів та технічних засобів компенсації неповнофазних режимів магістральних електричних мереж ОЕС України (шифр: 16/01-2020/1404-20)» 2020-2021, № ДР 0120U000148 був її науковим керівником.

Мета роботи і завдання дослідження. Мета роботи полягає у подальшому розвитку теорії в напрямку розроблення нових моделей та методів аналізу і управління режимами роботи магістральних електричних мереж за умов структурної несиметрії для підвищення надійності та ефективності їхнього функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі **основні завдання**:

- урахувати в математичній моделі МЕМ коронування проводів повітряних ліній електропередавання та залежність їхніх опорів від температури;
- визначити можливість активного використання керованих шунтувальних реакторів (КШР) як засобів впливу на режими роботи електричних мереж під час їх оптимізації;
- розробити математичні моделі однофазних ШР, АТ та КШР для аналізу режимів роботи МЕМ за умов структурної несиметрії;
- розробити метод визначення індуктивності статичного синхронного компенсатора в онлайн режимі для компенсації міжфазної ємності за критерієм мінімуму тривалості циклу однофазного автоматичного повторного вмикання (ОАПВ);
- розробити метод визначення часу вимкнення елегазового вимикача (ЕВ) для налаштувань пристроїв керованої комутації ЕВ для комутацій ШР та АТ, що мають різні схеми з'єднання обмоток та конструкції магнітопроводу;
- дослідити вплив керованої поперечної компенсації зарядної потужності на умови існування та значення параметрів аперіодичної складової струму, резонансних перенапруг та повторної дуги підживлення в циклі спрацьовування ОАПВ;
- розробити математичну модель 3-фазної електропередачі з КШР для аналізу аварійних режимів у фазних координатах у разі складних випадків несиметрії;
- розробити математичні моделі груп однофазних АТ та КШР для аналізу можливості функціонування їх в неповнофазних режимах роботи;
- дослідити та проаналізувати умови виникнення резонансних перенапруг в несиметричних режимах роботи магістральних електричних мереж;
- дослідити та проаналізувати залежність струму дуги підживлення від значень напруги в кінцевих вузлах лінії.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є режими роботи МЕМ.

Предметом досліджень є сукупність моделей, методів аналізу та засобів управління режимами функціонування МЕМ.

Методи дослідження. Теоретичну основу досліджень становлять теорія електромагнітних перехідних процесів в електричних колах, принципи та методи еквівалентування моделей МЕМ. Для математичної формалізації

режимів роботи МЕМ, за умов структурної несиметрії, використано методи аналізу багатофазних електричних кіл; для формування математичних моделей використано аналітичні методи аналізу несиметричних режимів МЕМ. Для перевірки достовірності результатів досліджень використано результати натурних експериментів в МЕМ.

Наукова новизна отриманих результатів. Наступні положення складають наукову новизну.

1. Вперше розроблено математичну модель трифазної лінії електропередачі надвисокої напруги (ЛЕП НВН) , яка враховує вплив коронного розряду на рівень перенапруг за несиметричного режиму роботи ЛЕП, що дає змогу визначати під час моделювання перехідного процесу струми та напруги у будь-якій точці ЛЕП, значно розширюючи можливості аналізу процесів в магістральних електромережах для прийняття обґрунтованих рішень із запобігання небезпечних перенапруг.

2. Вперше запропоновано та обґрунтовано використання керованих шунтувальних реакторів для оптимізації режимів роботи магістральних електричних мереж в квазіреальному часі за критерієм мінімуму сумарних втрат активної потужності.

3. Вперше розроблено математичну модель керованого шунтувального реактора у вигляді залежностей струмів і напруг основної обмотки реактора від струму обмотки керування, що дає змогу враховувати інерційність зміни потужності реактора під час моделювання перехідних процесів, що виникають внаслідок комутацій однофазних АТ та ШР магістральних електромереж.

4. Для мінімізації сили струму дуги короткого замикання та забезпечення точності визначення моменту увімкнення від'єднаної фази вперше з використанням визначених в реальному часі струмів керованих шунтувальних реакторів непошкоджених фаз ЛЕП НВН розроблено метод визначення індуктивності статичного синхронного компенсатора, що компенсує міжфазну ємність. Це дає змогу враховувати відмінність параметрів фаз ЛЕП НВН за наявної схеми транспозиції і визначати момент набуття напругою на контактах вимикача значень, що забезпечують задану тривалість безструмової паузи циклу однофазного автоматичного повторного увімкнення.

5. Для налаштування пристроїв керованої комутації з метою запобігання пошкодженню дугогасильних камер елегазового вимикача вперше розроблено метод визначення часу його вимкнення, що використовує досягнення аперіодичними складовими фазних струмів нормативних значень зі збереженням послідовності фаз в момент набуття миттєвих значень струму нульових значень. Зазначеним налаштуванням забезпечується притлумлення аперіодичної складової струму в компенсованих ЛЕП надвисокої напруги та унеможливується пошкодження дугогасильних камер.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Запропоновано метод визначення індуктивності статичного синхронного компенсатора, що забезпечує зниження тривалості циклу

спрацьовування ОАПВ шляхом компенсації електростатичної складової струму повторної дуги.

2. Обґрунтовано схему транспозиції, в якій на одному циклі транспозиції використовується два одинарних чергування проводів у просторі, причому ЛЕП поділяється на три рівні частини, на межі яких два проводи із трьох, а саме один центральний та один з крайніх, перехрещені між собою. Виявлено, що кількість транспозиційних опор на ЛЕП зі спрощеною схемою зменшується вдвічі, залишаючи незмінними коефіцієнти несиметрії зворотної послідовності напруги та струму.

3. Реалізація методу аналізу несиметричних режимів МЕМ та вибору засобів їхнього симетрування на основі універсальних розрахункових виразів дозволила виконувати оперативне оцінювання ефективності симетрування неповнофазного режиму груп АТ 750/330/15,75 кВ, ШР 750 кВ та повітряних ліній 750 кВ.

4. Розроблені моделі та методи лягли в основу методичних рекомендацій із впровадження сучасних засобів управління режимами МЕМ, які впроваджено у підрозділах координації роботи АСУ ТП електростанцій та САРЧП Департаменту балансової надійності Дирекції управління ОЕС України НЕК «УКРЕНЕРГО». Використання зазначених рекомендацій в МЕМ ОЕС України сприятиме максимально ефективному використанню пропускної здатності електричних мереж та підвищенню надійності роботи, зокрема за форс-мажорних умов.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною і оформленою відповідно до вимог.

Робота містить анотацію на двох мовах, список публікацій автора, вступ, шість розділів, висновки, перелік використаних джерел та чотири додатки.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета і завдання досліджень, методи дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, публікації та апробація результатів дисертації, структура та обсяг дисертації.

У першому розділі розглянуто призначення магістральних електричних мереж надвисокої напруги, розглянуто неповнофазні режими, ферорезонансні процеси в МЕМ. Досліджено вплив факторів, що спричиняють підвищення напруги в мережах понад допустимі межі, зокрема через недостатню компенсацію реактивної потужності. Встановлено, що випадки виходу з ладу електротехнічного обладнання магістральних мереж стали частішими та тривалішими, що пов'язано як із природними чинниками, так і з наслідками воєнних дій. При цьому пошкодження часто стосується лише однієї фази груп однофазного електроустаткування, наприклад, шунтувальних реакторів чи автотрансформаторів, що призводить до виникнення неповнофазних режимів.

У другому розділі розглянуто методи та засоби керованої компенсації зарядної потужності ЛЕП, застосування керованих шунтувальних реакторів (КШР) як засобу керуючого впливу для оптимізації режимів роботи

магістральних електричних мереж з метою зниження сумарних втрат активної потужності.

Використання сучасних керованих пристроїв компенсації зарядної потужності забезпечує точне та гнучке управління режимами магістральних електричних мереж і сприяє мінімізації втрат активної потужності.

У третьому розділі розглянуто аналіз несиметричних режимів МЕМ, оцінка пропускну здатності в неповнофазному режимі, засоби запобігання резонансних перенапруг, обґрунтовано схеми транспозиції проводів повітряних ліній на основі розробленого підходу до визначення коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною послідовністю. Представлено метод визначення індуктивності СТАТКОМу для придушення струму дуги підживлення. Виконана оцінка тривалості безструмової паузи у циклі автоматичного повторного ввімкнення (ОАПВ) та ризик неуспішних повторних включень.

У четвертому розділі розглянуто симетрування неповнофазного режиму шляхом регулювання КШР із контролем напруги. Представлено метод зменшення струмів зворотної та нульової послідовностей для зниження навантаження на інші фази та підвищення пропускну здатності лінії. Запропоновано математичну модель КШР та методику вибору діапазонів регулювання КШР.

У п'ятому розділі описано метод керованого вимкнення елегазового вимикача для зниження аперіодичної складової струмів до нормативних значень. Запропоновано принципи керованої комутації ШР для зменшення перехідних процесів та перенапруг.

У шостому розділі запропоновано заходи для запобігання резонансним перенапругам і зменшення амплітуд струмів намагнічування в умовах несинусоїдальних режимів роботи електричних мереж. Розглянуто самозбудження генераторів в ненавантажених режимах ліній електропередавання надвисокої напруги.

Повнота відображення результатів у публікаціях та апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано у 46 друкованих працях, із них 20 статей – у наукових фахових виданнях України та 7 статей у закордонних періодичних виданнях, з яких 10 включено в міжнародні наукометричні бази Scopus та WOS; 1 патент на корисну модель України; 3 монографії, 7 – у матеріалах та тезах доповідей на Міжнародних конференціях, які включені у Scopus, 5 розділів у колективних монографіях, які включено в міжнародні наукометричні бази Scopus та WOS.

Основні положення, наукові результати та практичні розробки дисертації доповідались та обговорювались на міжнародних наукових конференціях та семінарах, а саме: IEEE Ukraine conference on electrical and computer engineering, UKRCON (Kyiv, 2017); International conference on modern electrical and energy system, MEES-17 (Kremenchuk, Ukraine, 2017); IEEE 39 th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO-37 (Kyiv, 2017); Міжнародний семінар «Power quality in distribution networks with distributed generation» (Kyiv, 2019); Міжнародні конференції «Контроль і

управління в складних системах КУСС» (Вінниця, 2020, 2021, 2024); Міжнародні конференції «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, Україна, 2020, 2024).

В публікаціях основні результати викладено в повній мірі, в працях, які опубліковано у співавторстві, відображено особистий внесок здобувача.

Зауваження до дисертації

1. У розділі 1 наведено вимоги до компенсації реактивної потужності в системах передачі надвисокої напруги змінного струму. Однак у тексті відсутня інформація про сучасний стан впровадження відповідних стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) для цього класу напруги у електроенергетичній системі України. Врахування таких даних є важливим для оцінки практичної актуальності і відповідності досліджень міжнародним вимогам.

2. У роботі відсутній аналіз особливостей моделювання повнофазного та неповнофазного режимів роботи групи однофазних автотрансформаторів 750/330 кВ. Задача зумовлена особливостями схем з'єднання обмоток високої та середньої напруги у трифазних групах, а також впливом роботи трансформаторів з підживленням регулювальної обмотки в неповнофазних режимах.

3. Не обґрунтована припустимість лінеарізації у математичній моделі керованого шунтувального реактора (4.35) – (4.38).

4. У розділі 6 вказано, що залишкове намагнічування автотрансформатора суттєво впливає на умови розвитку резонансних перенапруг. Але у роботі не розглянуті моменти комутації, які мають вирішальне значення для формування залишкового намагнічування у ярмах комутуваних автотрансформаторів. Врахування цих моментів є критично важливим, оскільки вони впливають на амплітуду і тривалість перенапруг, що виникають при комутаційних процесах.

5. З тексту неясно, які саме значення передвимкнених опорів вимикачів були прийняті в роботі. Відомо, що діапазон передувімкнених активних опорів може варіюватися від 100 до 500 Ом із кроком 50 Ом.

6. У розділі 5 наведено опис окремих технічних заходів — керованих шунтувальних реакторів, СТАТКОМів, автоматичного шунтування фази та пристроїв керованої комутації для придушення резонансних перенапруг. Проте в тексті відсутнє обґрунтування доцільності розроблення цих заходів у порівнянні з традиційними методами захисту, такими як обмежувачі перенапруг і розрядники.

7. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні та граматичні помилки. У змісті не вказано «Загальна характеристика роботи» що є на сторінці 30. Назва розділу 1 у змісті та на сторінці 40 відрізняються. На стор.155 замість «прямої» послідовності вказано «постійної». На стор. 239 замість рис. 6.1 вказано рис. 5.1, та ін.

Наведені зауваження не є визначальними і не знижують наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку

отриманих автором результатів, несуть рекомендаційний зміст і є відкритими до обговорення.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Кучанського В.В. на тему: «**Аналіз та управління режимами роботи магістральних електричних мереж за умов структурної несиметрії**», що подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.14.02- електричні станції, мережі та системи, містить самостійно одержані нові наукові результати.

Отримані в дисертаційній роботі результати в сукупності з вирішенням науково-практичної проблеми, що полягає у створенні теоретичних засад, розробленні та практичному застосуванні засобів та методів комплексного аналізу режимів роботи магістральних електричних мереж і електроенергетичних систем, що забезпечує підвищення надійності та функціональності.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. Реферат повністю відображає ключові положення дисертації та описує отримані результати.

Дисертація містить результати власних досліджень, у роботі відсутні академічний плагіат, фабрикації, фальсифікації.

За змістом, цілісністю, оформленням, науковим і практичним значенням вважаю, що дисертаційна робота Кучанського В.В. на тему «**Аналіз та управління режимами роботи магістральних електричних мереж за умов структурної несиметрії**» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені «Порядком присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженою постановою Кабінету міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197. Автор Кучанський Владислав Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електропостачання
Інституту енергозбереження та
енергоменеджменту
Національного технічного університету
України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

« ___ »

2025 р.

