

67-72-46/1  
14.04.17р.

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Мазур Тетяни Андріївни** на тему:  
**«Хвильові процеси в обмотках трансформаторів під час дії на них імпульсних перенапруг»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

### **Актуальність теми дисертації.**

Силові трансформатори є одними з найбільш важливих і складних елементів електроенергетичної системи (ЕЕС). Вони безпосередньо задіяні в процесах виробництва, транспортування, розподілу та споживання електричної енергії. В Об'єднаній електроенергетичній системі (ОЕС) України потужність трансформаторів в декілька разів більша за установлену потужність генераторів на електростанціях. Очевидно, що трансформатори суттєво впливають на якість функціонування електричних мереж (ЕМ) енергосистем. Зокрема, вони багато в чому не тільки впливають, а й визначають надійність і економічність їх режимів. З іншої сторони, оскільки трансформатори є елементом системи, то на їх функціонування впливають процеси, що протікають в ЕЕС. Причому цей вплив проявляється як в нормальних, так і в аварійних режимах ЕЕС.

Для вибору ізоляції обмоток трансформатора та схем захисту трансформаторів від перенапруг необхідно знати максимальні значення напруги відносно землі окремих частин обмоток трансформаторів, а також значення напруги між витками обмотки і обмотками під час імпульсних перенапруг. Для отримання цих результатів необхідно вдосконалювати математичні моделі та створювати сучасні методи аналізу, оскільки для високовольтних трансформаторів виготовлення фізичних моделей натуральної величини є дорогим і недоцільним.

Метою дисертаційної роботи Мазур Т.А. є розроблення математичних моделей для дослідження електромагнітних процесів з врахуванням розподіленості параметрів в високовольтних трансформаторах та аналіз хвильових процесів під час імпульсних перенапруг в електричних мережах, що і визначає її актуальність.

Результати, що сприяють досягненню поставленої мети, автор отримала, виконуючи дослідження в рамках теми «Математичне моделювання електромагнітних процесів з врахуванням розподіленості параметрів в ЕЕС», що розробляється на кафедрі електричних станцій Національного університету «Львівська політехніка». Результати викладені в дисертації, отримані в рамках досліджень за угодами з ВАТ «Львівобленерго» (науково-дослідна робота ДР № 0105u004846 (тема № 7184 «Дослідження внутрішніх перенапруг в електричних мережах 6-10 кВ ВАТ «Львівобленерго» та захист від перенапруг») та з ВАТ «Закарпаттяобленерго» (науково-дослідна робота ДР № 0107u010252 (тема № 0173 «Дослідження усталених режимів в електричних мережах ВАТ «Закарпаттяобленерго» та регулювання напруги на них»)).

## **Короткий аналіз змісту дисертації і відповідність його поставленим задачам.**

В *першому розділі* виконано класифікацію перенапруг та їх характеристики у силових трансформаторах. Розглянуто методи їх визначення. Визначено вимоги до перенапруг, характеристики перенапруг в силових трансформаторах та координацію ізоляції. Запропоновано і обґрунтовано методи визначення перенапруг в електроенергетичних системах. Визначено вимоги до хвиль перенапруг під час дослідження хвильових процесів в трансформаторах. Обґрунтовано задачі, що вирішуються в дисертаційній роботі.

В *другому розділі* автором розглянуто математичні моделі обмотки силового трансформатора. Розроблено математичну модель для дослідження хвильових процесів в обмотках трансформатора з врахуванням і без врахування взаємоіндукції між витками обмотки. Запропоновано і обґрунтовано доцільність застосування методу розділення змінних для розв'язання рівнянь в часткових похідних, які описують хвильові процеси в обмотках трансформаторів. Розроблена математична модель для дослідження хвильових процесів в двообмоткових трансформаторах з врахуванням магнітної провідності магнітопроводу трансформатора.

*Третій розділ* присвячено математичному моделюванню вільних коливань в обмотках трансформаторів за різних форм імпульсу перенапруг. Запропонована математична модель розв'язання інтегрально-диференціальних рівнянь, які описують хвильові процеси в обмотках трансформаторів, методом розділення змінних. Отримано аналітичні вирази напруги вільних коливань в обмотках трансформаторів за дії різних форм імпульсу напруги. Запропоновано математичні моделі різних форм хвиль для дослідження перенапруг в трансформаторах. Проведено аналіз розподілу напруг вздовж обмотки трансформатора за різних форм імпульсу напруги.

В *четвертому розділі* досліджено початковий та кінцевий розподіл напруги в обмотці трансформатора за різних значень співвідношень ємнісних зв'язків між витками та довжини обмотки. Досліджено просторовий розподіл перших трьох гармонік вільних коливань напруги в обмотках трансформатора. Запропоновано для дослідження вільних коливань в обмотках трансформатора інтегральне перетворення Лапласа, для отримання початкового розподілу напруги в обмотках трансформатора з заземленою та ізольованою нейтраллю, що дозволяє отримати розподіл напруги в будь-якій точці обмотки.

Таким чином, Мазур Т.А., провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень і технічні засоби, розв'язала поставлені нею задачі і досягла поставлену в роботі мету – вдосконалила математичні моделі для дослідження електромагнітних процесів з врахуванням розподіленості параметрів в трансформаторах та аналізу хвильових процесів під час імпульсних перенапруг в електричних мережах.

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

В дисертації Мазур Т.А. отримала такі результати, які мають суттєву наукову новизну:

- розроблено математичну модель трансформатора, в якій враховано розподіленість параметрів, що дозволяє розраховувати як розподіляється напруга вздовж обмотки під час імпульсних перенапруг в електричних мережах;
- розвинуто метод формування математичної моделі трансформаторів з урахуванням струмів спливу між витками, що дозволяє досліджувати й аналізувати хвильові процеси в обмотках під час імпульсних перенапруг в електричних мережах;
- запропоновано метод розділення змінних для розв'язання інтегрально-диференціальних рівнянь, які описують хвильові процеси в обмотках трансформаторів і дозволяють досліджувати їх.

Положення і висновки відносно суті проблеми, принципів і методів побудови математичних моделей в роботі обґрунтовані і базуються на законах електротехніки, теорії лінійних та нелінійних електричних кіл та методах математичного моделювання. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Можна стверджувати, що приведені в дисертаційній роботі Мазур Т.А. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень достатньо обґрунтовані і відповідають дійсності. Достовірність їх забезпечена коректністю використання математичного апарату та наукових положень.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони доповідались на науково-технічних конференціях і опубліковані в 15-ти роботах, зокрема 5 у фахових виданнях, з них 2 статті опубліковано в наукових журналах, що входять до міжнародної науко-метричної бази Scopus, 8 – у матеріалах науково-технічних конференцій. Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них в повному об'ємі опубліковані матеріали дисертації. Автореферат дисертації відображає її зміст, ідеї і висновки. У авторефераті розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкриті новизна розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень. Варто також відмітити, що Мазур Т.А. є співавтором підручника «Математичне моделювання в електроенергетиці».

### **Практична цінність отриманих результатів.**

Дисертаційна робота Мазур Т.А. містить як в теоретичному, так і в практичному плані нові рішення щодо моделей і методів аналізу електромагнітних процесів з врахуванням розподіленості параметрів в трансформаторах під час імпульсних перенапруг в електричних мережах. На основі виконаних досліджень та встановлених закономірностей розроблено комплекс цифрових моделей, використання яких дозволяє оцінювати запаси електричної міцності ізоляції силових трансформаторів, достатньої для забезпечення їх експлуатаційної надійності. Результати роботи використані під



час дослідження внутрішніх перенапруг в електричних мережах ПАТ «Закарпаттяобленерго» та у навчальному процесі НУ «Львівська політехніка».

**Результати дисертаційної роботи можуть бути використані** в наукових та проектних організаціях (інститут "Енергомережпроект"), які займаються дослідженнями та розробкою методів і засобів аналізу електричної міцності ізоляції силових трансформаторів та забезпечення їх експлуатаційної надійності

#### **Зауваження по роботі.**

1. В першому розділі є загальновідома інформація, щодо якої можна було б обійтися посиланнями на літературні джерела. Наприклад, визначення, що таке перенапруга та умови її виникнення, принципи координації ізоляції.

2. Не оговорено, чи під час оцінювання електричної міцності ізоляції трансформатора враховується в математичні моделі старіння ізоляції і чи коригується відповідно значення необхідного запасу електричної міцності ізоляції.

3. В математичній моделі обмотки трансформатора не відображена особливість, коли в трансформаторі вбудовано РПН або ПБЗ.

4. В роботі розглядається математичне моделювання хвильових процесів в обмотках трансформаторів під час імпульсних перенапруг в електричних мережах. В чому відмінність цих процесів в автотрансформаторах і чи можна застосувати запропоновані моделі до автотрансформаторів?

5. Сумнівним є пояснення щодо середньорічної кількості комутацій в електричних мережах трансформаторів 6–35 кВ і 110–750 кВ (с. 21). Посилання на [30] є не коректним.

6. В математичній моделі обмотки трансформатора з врахуванням взаємодукції між витками розглянуто випадки, коли  $\det A=0$  і  $\det A \neq 0$  (сс.. 55, 58). Варто було б розглянути також випадок, коли матриця  $A$  погано обумовлена, тобто  $\det A \approx 0$ . Це характерно для моделей, чутливих до зміни параметрів.

7. Адекватність розроблених моделей обґрунтовано, але відсутній аналіз їх на чутливість до зміни вихідних даних. Це варто було б зробити, наприклад, щодо моделі для дослідження хвильових процесів у двообмоткових трансформаторах. Тут можна було б отримати цікаві результати.

8. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У роботі зустрічаються граматичні помилки, стилістичні неточності і описки, але кількість їх допустима. Путаються такі поняття як «величина» і «значення», по тексту зустрічається то «обвитка», то «обмотка», тощо. Вживається «при» там, де потрібно «під час» або «коли».

Зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Мазур Т. А.

#### **Висновки.**

Зміст дисертації Мазур Тетяни Андріївни відповідає спеціальності 05.14.02, за якою вона представлена до захисту. Дисертаційна робота має

значну наукову цінність, є закінченою науково-дослідною роботою, яка присвячена вирішенню важливої і складної проблеми для електроенергетики – створенню методів та математичних моделей для аналізу і забезпечення електричної міцності ізоляції силових трансформаторів та підвищення їх експлуатаційної надійності. Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам пп. 9, 11 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р., №656). Її автор, Мазур Тетяна Андріївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі та системи.

Завідувач кафедри електричних станцій та систем  
Вінницького національного технічного університету,  
доктор технічних наук, професор



*П. Д. Лежнюк* П. Д. Лежнюк

Підпис *Лежнюк П.Д.*  
**ПОСВІДЧУЮ**  
Зав. канцелярією *[Signature]*