Міністерство освіти і науки України

Тернопільський НАЦІОНАЛЬНИЙ технічний Університет

імені Івана Пулюя

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ

**ЛУПАСА КІСАНГА ФАНН**

УДК 621.311.4

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ В МЕРЕЖАХ ІЗ ЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ**

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2018

|  |  |
| --- | --- |
| Роботу виконано на кафедрі систем електроспоживання та комп’ютерних технологій в електроенергетиці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України | |
| **Керівник роботи:** | доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем електроспоживання та комп’ютерних технологій в електроенергетиці  **Євтух Петро Сильвестрович,** Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, |
| **Рецензент:** | кандидат технічних наук, доцент кафедри енергозбереження і енергетичного менеджменту  **Лучейко Ігор Дмитрович,**  Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, |

Захист відбудеться 22 лютого 2018 р. о 14.00 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46018, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус № 7, ауд. 310.

**ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Задача оперативного керування роботою електроенергетичних систем вимагає достовірної та своєчасної інформації про поточні параметри режимів. Основним джерелом цієї інформації є вимірювальні трансформатори. Пошкодження чи відмова вимірювальних трансформаторів може стати причиною системної аварії з перервою електропостачання на тривалий час та великими витратами на ліквідацію наслідків.

У зв’язку з досить частими ушкодженнями ВТН енергетичні підприємства змушені закуповувати в резерв до 30% трансформаторів напруги від необхідної кількості. Тому, захист останніх від пошкоджень, і перш за все від ферорезонансним процесів, є актуальним завданням, тим більше що від ВТН живляться ланцюги обліку електроенергії, релейного захисту, автоматики та сигналізації.

Аналіз показав, що в магнітопроводах ВТН в електричних мережах з ізольованою нейтраллю наявні елементи з неліній­ними характеристиками. Динамічна індуктивність вітки намагнічування трансформаторів може змінюватись протягом кожного періоду промислової частоти в широких межах, а форма струму сильно спотворюватись. При цьому з’являється можливість виникнення ферорезонансних процесів на основній, вищих та нижчих гармоніках.

Визначено, що виникнення ферорезонансних автопараметричних явищ можливе за послідовного чи паралельного з’єднання ємності з нелінійною індуктивністю. У мережах з ізольо­ваною нейтраллю створюються умови для виникнення ферорезонансу між ємністю мережі та індуктивністю трансформаторів.

Для вибору захисту потужних вузлових підстанцій та станцій необхідно оцінити можливість виникнення ферорезонансних процесів. Основними методами дослідження ФРП історично стали методи математичного моделювання.

Тому, актуальним є на підставі створених розрахункових моделей та проведених симуляційних досліджень здійснювати вибір методу придушення ферорезонансу.

**Мета і завдання дослідження.**

Метою дипломної роботи є підвищення надійності роботи високовольтних трансформаторів напруги в мережах із ізольованою нейтраллю на онові аналізу ферорезонансних процесів та вибору пристроїв захисту.

Відповідно до вказаної мети розв’язувались наступні завдання:

– аналіз ферорезонансних процесів з метою виявлення умов та характеру їх протікання;

– аналіз можливості виникнення ферорезонансних процесів в електричних мережах із заземленою нейтраллю з приєднаними до неї трансформаторами напруги типу НКФ з метою запобігання та припинення ферорезонансних процесів в схемах розподільних злагод 220 кВ;

– побудова математичної моделі для проведення симуляційних досліджень режимів виникнення та розвитку ФРП в електромережах із заземленою нейтраллю;

– аналіз ефективності роботи відомих пристроїв захисту для оцінки уникнення чи придушення ФРП;

– за результатами проведених симуляційних досліджень встановити ефективність способів недопущення виникнення ФРП для підвищення надійності роботи трансформаторів напруги в електричних мережах із ефективно заземленою нейтраллю.

**Об’єкт дослідження** – високовольтні трансформатори напруги в електромережах 220 кВ із ефективно заземленою нейтраллю.

**Предмет дослідження**– способи та пристрої захисту від ферорезонансних процесів високовольтних трансформаторів напруги в електромережах 220 кВ із ефективно заземленою нейтраллю.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- cтворено комплекс структурних моделей електромережі 220 кВ з трансфор­маторами напруги НКФ, що дало змогу відтворити протікання ферорезонансних процесів та встановити причини пошкоджень трансформаторів напруги.

**Практичне значення отриманих результатів.** Основними практичними значен­ням роботи є:

– визначення діапазону зміни параметрів мережі 220 кВ та умови, за яких можливі ФРП і пошкодження трансформаторів напруги типу НКФ.

– запропонована схема резервного захисту трансформаторів, що обладнані зі сторони джерела живлення вимикачами або відокремлювачами, у випадку короткого замикання на підстанції і відмови комутаційної апаратури або релейного захисту.

**Апробація.**

Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на VI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“ (16-17 листопада 2017 року), Тернопіль, Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань ( 28 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 104 сторінки, 8 таблиць, 16 діаграм, 21 рисунок.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** подано загальну характеристику роботи: стан розробки наукової проблеми й актуальність роботи, мету і завдання роботи, об’єкт, предмет, описану наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів.

**У першому розділі «Аналітична частина»** проаналізовано наукові праці різних авторів в яких розглянуто умови виникнення ферорезонанс­них процесів та проведені дослідження їх розвитку в електричних мереж з ефективно ізольованою нейтраллю з приєднаними до неї трансформаторами напруги (ТН).

Встановлено, що в електричних мережах з ефективно ізольованою нейтраллю наявні елементи з неліній­ними характеристиками, а саме магнітопроводи вимірювальних трансформаторів напруги. Динамічна індуктивність вітки намагнічування трансформаторів може змінюватись протягом кожного періоду промислової частоти в широких межах, а форма струму сильно спотворюватись. При цьому з’являється можливість виникнення ферорезонансних процесів на основній, вищих та нижчих гармоніках.

Визначено, що виникнення ферорезонансних автопараметричних явищ можливе за послідовного чи паралельного з’єднання ємності з нелінійною індуктивністю. У мережах з ізольо­ваною нейтраллю створюються умови для виникнення ферорезонансу між ємністю мережі та індуктивністю трансформаторів.

Проведений аналіз показав, що необхідно розглянути найбільш ефективні існуючі заходи та засоби по недопущенню виникнення або зриву ферорезонансних процесів з метою відвернення пошкодження трансформаторів напру­ги.

**У другому розділі «Науково-дослідна частина»** побудовано структурні моделі, які охоплюють визначальні елементи підстанції та електричної мережі для симуляційних досліджень виникнення ферорезонансних процесів.

На основі спрощеної схеми лінії електричних мереж (лінія, трансформатор напруги) побудована розрахункова схема, яка відтворює послідовно-паралельний резонансний контур.

Для здійснення дослідження ферорезонансного процесу побудована розрахункова схема ферорезонансного контуру з двокаскадним ТН в однофазному виконанні включає в себе структурні моделі: параметри системи живлення (амплітуда, фаза, частота); збірних шин та ліній електропередачі 220 кВ (розраховано погонну електричну ємність ліній та шин, їх погонні міжфазні ємності за методом дзеркальних відображень); силовий трансформатор типу НКФ (розраховано активні опори та індуктивності розсіювання кожної обмотки, параметри магнітного кола за вебер-амперною характеристикою, коефіцієнти трансформації).

Параметри НКФ-220, які використовувались для моделювання, взяті з паспортних даних ТН та протоколів дослідів, що проводилися на реально діючих підстанціях.

**У третьому розділі «Технологічна частина»** проведені симуляційні дослідження виникнення ферорезонансного процесу на розподільній злагоді на шинах 220 кВ ПС 220 кВ "Калуш".

Для проведення досліджень за допомогою цифрового комплексу RE створено симулятивну модель відкритої розподільчої злагоди напругою 220 кВ.

У симулятивній моделі враховано фазність схеми, вплив суміжних фаз, каскадну будову трансформатора напруги, багатоточкову кусково-апроксимовану криву намагнічування електротехнічної сталі.

Побудована розрахункова схема з урахуванням ємнісних дільників вимикача, каскадності ТН, ємності ошиновки обладнання для дослідження ФРП на збірних шинах ВРЗ 220 кВ ПС 220 кВ “Калуш” та для оцінки адекватності побудованих моделей..

Аналіз результатів комп’ютерної симуляції показав, що за вимкнення системи шин 220 кВ, у приєднаних до неї ТН виникає ферорезонансний процес, тривале існування якого може призвести до скритого внутрішнього пошкодження ТН. На збірних шинах виникає напруга, більша за уставку пуску автоматичного повторного ввімкнення (АПВ) шин, а це унеможливлює дію АПВ, що сприяє довготривалому існуванню ФРП.

**У четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина»** розглянуті заходи по запобіганню виникнення ферорезонансних процесів та пристрої для зриву ферорезонансних процесів в трансформаторах напруги.

На підставі аналізу сучасних методів та засобів по запобіганню виникнення ферорезонансних процесів та пристрої для зриву ферорезонансних процесів в трансформаторах напруги запропоновані рекомендації з запобігання пошкоджень трансформаторів напруги за виникнення ферорезонансних процесів.

Встановлено, що запропоновані заходи та засоби для недопущення явища ферорезонансу чи зриву процесу за його появи необхідно оптимізувати при впровадженні в експлуатацію.

**У п’ятому розділі «Спеціальна частина»** проведені симуляційні дослідження впливу параметрів ферорезонансного контуру на розвиток та встановлення ферорезонансного процесу (ФРП).

Дослідження показали, що зміна кількості вимикачів чи довжини шин призводить до зміни можливості появи та характеру протікання ФРП.

Симуляційними дослідженнями встановлено, що за випереджуючого під’єднання оптимального гасильного резистора до вторинної обмотки ТН забезпечується ефективне недопущення виникнення ФРП.

**У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** проведені розрахунки визначення техніко-економічної ефективності використання пристрою (резервний захист) гасіння ферорезонансних процесів в трансформаторах напруги.

**У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** запропоновані заходи щодо зниження рівня шуму та вібрації, пожежної безпеки, електробезпеки при обслуговуванні високовольтних трансформаторів напруги. Розглянуті заходи щодо підвищення стійкості будівель підстанцій в надзвичайних ситуаціях.

**У восьмому розділі «Екологія»** проведена оцінка впливу на навколишнє середовище відпрацьованої оливи високовольтних трансформаторів напруги. Запропоновані сучасні заходи очищення та регенерації трансформаторної оливи для покращання екологічної безпеки.

**ВИСНОВКИ**

У дипломній роботі для підвищення надійності роботи високовольтних трансформаторів напруги проведені дослідження розвитку ферорезонансних процесів в трансформаторах напруги НКФ електричних мереж 220 кВ із заземленою нейтраллю та розглянуті способи та методи захисту трансформаторів напруги, що дали змогу сформулювати основні висновки роботи.

1. Підтверджено, що одним з вагомих недоліків мереж з ізольованою нейтраллю є можливість виникнення ферорезонансних процесів та вихід з ладу трансформаторів напруги.

2. Створено структурні моделі, які охоплюють основні елементи підстанції та електричної мережі (трансформатор напруги, збірні шини, лінії електропередач), що дало можливість провести симуляційні дослідження, визначити межі виник­нення та існування феро­резонансних процесів.

3. Розглянуті методи придушення ферорезонансу мають наступні особливості:

а) метод придушення ферорезонансу шляхом збільшення сумарної ємності шин по відношенню до землі є ефективний і простий, але дорогий, оскільки необхідна достатньо велика додаткова ємність на шинах. Висока вартість високовольтних конденсаторів обмежує широке застосування цього способу;

б) метод придушення ферорезонансу шляхом введення у вторинну обмотку ТН активних опорів принципово простий та ефективний, проте має і ряд недоліків, таких як: складний алгоритм спрацювання, довготривалий процес гасіння ФРП, великий проміжок часу на визначення існування ФРП, значні струми, які протікають у процесі роботи пристрою вторинною обмоткою ТН;

в) принцип придушення ферорезонансу шляхом приєднання до вторинної обмотки ТН зустрічно направленої ЕРС безумовно є новим, але не зрозуміло, яким чином працюватиме релейний захист, АПВ на час існування ферорезонансу аж до відновлення напруги на шинах.

4. Симуляційні дослідження показали, що за випереджуючого під’єднання оптимального гасильного резистора до вторинної обмотки ТН забезпечується ефективне недопущення виникнення ФРП та підвищується надійність роботи електромагнітних ТН в електричних мережах із заземленою нейтраллю.

5. Результати симуляційних досліджень довели, що для надійного захисту трансформаторів напруги від ферорезонансних процесів додатково потрібно використовувати релейний захист.

**Перелік посилань.**

1. Лупаса Кісанга Фанн. Підвищення надійності роботи високовольтних трансформаторів напруги в мережах із заземленою нейтраллю / Лупаса Кісанга Фанн. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листопада, 2017.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – С. 115.

АНОТАЦІЯ

**Лупаса К.Ф. Підвищення надійності роботи високовольтних трансформаторів напруги в мережах із заземленою нейтраллю**, 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; Тернопіль, 2018.

В дипломній роботі розглянуто питання підвищення надійності трансформаторів напруги в мережах із заземленою нейтраллю обмеженням ферорезонансних процесів (ФРП).

Розроблено структурні моделі трансформатора напруги типу НКФ-220 та відкритої розподільчої злагоди напругою 220 кВ, складено розрахункові схеми для комп’ютерної симуляції ферорезонансних процесів, а також знято симуляційні осцилограми.

Проведені дослідження режимів роботи існуючих пристроїв захисту трансформаторів напруги типу НКФ-220 від пошкоджень внаслідок виникнення ФРП.

Результати досліджень показують, що існуючі способи та заходи від пошкоджень ТН типу НКФ-220 внаслідок виникнення ФРП не виконують у повному обсязі покладених на них функції.

Результати симуляційних досліджень довели, що для надійного захисту трансформаторів напруги від ферорезонансних процесів додатково потрібно використовувати релейний захист.

**Ключові слова:** ферорезонансні процеси, трансформатор напруги, дільник напруги, цифровий комплекс.

**ANNOTATION**

**Lupasa Kisanha Fann. The increase reliability work of high-voltage transformers of voltage in networks with earthed neutral,** 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2018.

In diploma paper examined of increasing the reliability of voltage transformers in networks with grounded neutral by restrictions of ferroresonance processes (FP) are considered.

Developed the structural models of voltage transformer of type NKF-220 and of open distribution system of voltage 220 kV, settlement schemes for computer simulation of ferroresonance processes as well built of simulation oscillogram.

Conducted researches of regimes work the existing of protection devices of voltage transformers of type NKF-220 from damage due to emergence FP.

Results of study show that existing methods and measures protection against damage of voltage transformers of type NKF-220 as a result of the emergence of FP not perform in full their functions.

The results of simulation research have proven that for reliable protection of voltage transformer from ferroresonance processes need to use additional relay protection.

**Keywords:** ferroresonance processes, transformer voltage, divider voltage, digital complex.