Міністерство освіти і науки України

Тернопільський НАЦІОНАЛЬНИЙ технічний Університет

імені Івана Пулюя

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА КОМП’ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

**ЗМИКАЛО ЯН Олександрович**

УДК 621.326

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В ЛІНІЯХ 35 КВ**

8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2017

|  |  |
| --- | --- |
| 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:** | кандидат технічних наук, доцент кафедри систем електроспоживання та комп’ютерних технології в електроенергетиці **Решетник Віктор Якович,** Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. |
| **Рецензент:** | кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки та електротехніки  **Куземко Наталія Анатолівна**  Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. |

Захист відбудеться 24 лютого 2017 р. о 14.00 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 40 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46005, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус №7, ауд. 310

**ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Нині електричні мережі 6-35кВ отримали широке застосування на промислових підприємствах, в системі власних потреб електростанцій, в міських мережах і вони значною мірою визначають надійність функціонування цих об'єктів.

Основною перевагою цих мереж є те, що при їх роботі з ізольованою або частково заземленою нейтраллю вони можуть продовжувати працювати впродовж декількох годин при виникненні однофазних замикань фази на землю (ОЗЗ). Недоліком цих мереж є часті ушкодження електроустаткування через високий рівень перенапружень при дугових замиканнях на землю, а також складність забезпечення селективного спрацьовування релейного захисту, особливо при низькому рівні струмів замикання фази на землю. Підвищенню надійності роботи цих мереж постійно приділяється увага як з боку науково-дослідних і експлуатуючих організацій так і заводів-виробників електроустаткування. Так відбувається впровадження високоомного і низькоомного заземлення нейтралі мережі, сучасного мікропроцесорного захисту, обмежувачів перенапружень типу ОПН на основі оксидно - цинкових резисторів. Проводяться роботи по дослідженню перехідних процесів в цих мережах як з використанням сучасних цифрових реєстраторів, так і методами математичного моделювання. Проте, незважаючи на це, надійність роботи вказаних мереж залишається недостатньою. Так, наприклад, в системі власних потреб теплових електростанцій Бурштинська і Дрогобицька виникає 3-5 ушкоджень асинхронних двигунів великої потужності за рік, а на підстанції Дрогобицька трапляється в середньому до 15 неселективних відключень фідерів 6 кВ і 35кВ за місяць.

Тому актуальним є підвищення надійності роботи мереж 35 кВ при ОЗЗ за рахунок вдосконалення методів математичного моделювання цих мереж, заземлення резистора нейтралі, обмеження перенапружень і підвищення чутливості і селективності дії релейного захисту.

**Мета і завдання дослідження.**

Метою дипломної роботи є оптимізація процесу пошуку пошкодження методом послідовного ділення мережі в лініях електропостачання напругою 35 кВ.

* дослідження статичних та динамічних характеристик аварійних режимів в розподільчих мережах, аналіз і оцінка існуючих методів визначення місць пошкоджень;
* аналіз методу послідовного ділення мережі в розподільчих мережах 35 кВ з урахуванням інформаційної невизначеності;
* оптимізації процесу пошуку пошкоджень методом послідовного ділення мережі.

**Об’єкт дослідження** – розподільчі мережі напругою 35 кВ.

**Предмет дослідження**– способи підвищення надійності пристроїв захисту від замикань на землю а також використання методу послідовного ділення мережі для визначення місця пошкодження в розподільчих мережах 35 кВ.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

Запропоновано метод послідовного ділення мережі при визначенні місць пошкодження в системах електропостачання з повітряними розподільними мережами 35 кВ, який забезпечує попередній розрахунок оптимальної послідовності перевірок на основі використання статичних характеристик, критерії мінімізації недовідпуску електроенергії і часу пошуку, що зменшує об'єм обчислень.

**Практичне значення отриманих результатів.** Автоматизації пошуку пошкоджень в системах електропостачання напругою 35 кВ.

**Апробація.**

1. Змикало Ян Олександрович. Дослідження методів та засобів зменшення однофазних замикань на землю в лініях 35 кВ “АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ”: зб. тез доповідей Студентська науково – практична конференція (Бережани, 22-24 листоп. 2016.) // Бережани: ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут» 2016. С– 191с.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань.

Загальний обсяг текстової частини – 156 сторінки, 38 таблиць, 9 діаграм, 38 рисуноків.

**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 «Огляд сучасного стану проблеми»** проаналізовано наукові праці різних авторів в яких розглянуто умови виникнення однофазних замикань на землю та проведені дослідження їх розвитку в електричних мереж з ефективно ізольованою нейтраллю.

**У другому розділі «Постановка завдання і розрахункова схема»** розглянуто розрахункову схему системи електропостачання, математичні моделі її основних елементів і системи в цілому, способи і приклади реалізації моделі на ЕОМ для аналізу перехідних процесів при однофазних замиканнях на землю.

Одним із завдань цієї роботи є подальший розвиток відомих математичних моделей для дослідження перенапружень і захисту від ОЗЗ в мережах 6-35 кВ за рахунок обліку впливу на ці процеси рухового навантаження, нелінійних параметрів трансформаторів, обмежувачів перенапружень і комутацій вакуумних вимикачів при включеннях і відключеннях АД.

Ефективність різних способів обмеження перенапруг, значною мірою, залежить від параметрів електричної мережі, кількості приєднань, що відходять, рівня ємнісних струмів та ін. Найбільш доцільним способом оцінки ефективності різних методів обмеження перенапружень, аналізу поведінки захисту від ОЗЗ для конкретних мереж являється використання математичного моделювання.

Відомі математичні моделі [13], використовувані для дослідження перенапружень в мережах 6-35 кВ, враховують міжфазні місткості, а також місткості і опори ізоляції на землю, активні і індуктивні опори живлячих трансформаторів, кабельних і повітряних ліній. Проте недоліком цих моделей є спрощене представлення силових, вимірювальних і приєднувальних трансформаторів для заземлення нейтралі із-за не обліку насичення їх магнітопроводів і втрат в сталі. Усе це не дозволяє отримувати адекватні процеси при моделюванні ОЗЗ як за відсутності, так і за наявності заземлення резистора нейтралі мережі, а також оцінити поведінку захисту, у тому числі і при виникненні ферорезонансних процесів.

**У третьому розділі «Методи обмеження однофазних замикань з допомогою низьковольтного резистивного заземлення нейтралі мережі»** на даний час широко розповсюдженим методом пошуку ОЗЗ є метод заснований на послідовному обході лінії із використанням реєстраторів вищих гармонік в струмі замикання. Перевагою є те, що не потрібно відключати споживачів від джерела живлення в процесі пошуку, однак при цьому витрачається досить багато часу на ВМП, так, як довжина магістралі досягає декількох десятків кілометрів. Такий підхід має і інші недоліки: у випадку розташування вимірювальних пристроїв на шинах підстанції з великою різницею довжин ліній, що відходять, або при високому перехідному опорі в місці замикання визначити місце пошкодження стає практично не можливо.

Вказані недоліки усуваються при сумісному використанні пристроїв вимірювання рівня гармонік та оптимізованого МПДМ.

Процес визначення оптимальної послідовності перевірок при ОЗЗ відрізняється від аналогічного процесу пошуку міжфазного замикання показниками цільової функції. Дійсно, після побудови таблиці покриття вибирається найбільш інформативна перевірка, або стрічка з найбільшою кількістю одиниць. При наявності стрічок з однаковою кількістю одиниць вибирають ту, на яку витрачається менший час, або ту, що має більшу швидкість отримання інформації. При наявності стрічок з однаковим часом здійснення операцій вибрають ту перевірку при якій меншою є недовідпуск електроенергії споживачам. В крайньому разі співпадіння усіх умов, для визначеності, обирають перевірку з найменшим порядковим номером.

Для ОЗЗ використовують критерій мінімізації часу поушку.

**У четвертому розділі «Експериментальні дослідження на фізичній моделі»** Трифазна модель мережі 6 кВ відтворюється трьома приєднаннями, що відходять, кожне з яких моделюється групою високовольтних косинусних конденсаторів різної місткості, підключених до шин підстанції кабельними вставками завдовжки в декілька метрів. Вказані приєднання забезпечують, шляхом ступінчастого регулювання місткості у фазах, максимальне значення струму замикання, відповідно, в межах 12.0, 6.0 і 4.0 А. Живлення моделі здійснюється від трифазного силового трансформатора 0,4/6 кВ, потужністю 320 кВА. Високовольтна обмотка цього трансформатора (ТМ-320/6) сполучена в зірку, до нейтральної точки якого може бути підключений високовольтний бетэловый резистор серії РШ-2, опором 100, 200 або 400 Ом. Для реєстрації струмів і напруги при проведенні досліджень кожне приєднання моделі мережі забезпечене трансформатором струму типу ТЗЛ, а на шинах 6 кВ встановлений вимірювальний трансформатор напругою НТМИ - 6 - 66.

При проведені експериментів імітувався різний характер замикань фази на землю:

– глухе замикання на землю при різних значеннях струму;

– дугове через повітряний проміжок заданої довжини ;

– дуга з довжиною повітряного проміжку, що змінюється, і дуга, що вільно-горить, у вузькій щілині між жилою і оболонкою високовольтного кабелю з паперово-масляною ізоляцією.

Експерименти глухого замикання фази на землю на моделі були проведені для різних значень активного опору в нейтралі (100, 200, 300, 400 Ом, а також при різних місткостях мережі (1; 4; 7,1; 10 мкФ).

В процесі випробувань було виявлено що при виникненні замикання на землю бетэловый резистор дуже швидко нагрівається і змінює свій опір. Тому використати його при тривалих ОЗЗ не можна.

**У п’ятому розділі «Існуючі струмові захисти і їх недоліки»** Найбільш прості ненапрямлені струмові захисту від ОЗЗ застосовуються в системах електропостачання власних потреб електростанцій, а більше складно-спрямовані в системах електропостачання гірничо - металургійних підприємств та ін. Недоліки цих захисту полягають в наступному. У режимах пуску або останову блоків на електростанціях більшість приєднань на секціях 6 кВ знаходяться у відключеному стані і значення струмів замикання на землю складають менше 1 A, що недостатньо для спрацьовування струмових захисту. Таким чином у вказаних режимах, а також при непрацюючому блоці такі захисту не працездатні. Аналогічні проблеми мають місце і на підстанціях інших промислових об'єктів. Так, наприклад, схема електричних з'єднань 6 кВ , приведена, являється типовий для гірничо - металургійних підприємств, головними споживачами в якій є крокуючі екскаватори. Недоліки таких схем і встановлюваних на них захисту від замикань на землю являються також часті замикання на землю, які супроводжуються відключенням однієї пошкодженої лінії і двох, - трьох неушкоджених. Відшукування пошкодженої лінії і повторне відновлення доаварійної схеми вимагає дуже тривалого часу. Вказані недоліки відзначалися в роботах. Однією з причин неселективної роботи захисту є виникнення ферорезонансних процесів після відключення пошкодженого устаткування, з - за різкого збільшення струмів намагнічення трансформаторів напруги. Резонансні процеси протікають при частотах напруги  16 - 25 Гц, т.е нижче частоти 50 Гц, тоді як струм  має близьку до номінальної частоту. В результаті відбувається втрата спрямованості дії чутливого захисту ЗЗП - 1 та ін. стійкіші до резонансних процесів ненапрямлені струмові реле (РТ - 40/0,2, РТЗ - 50, РТЗ - 51). Проте останні дуже важко погоджувати по уставкам спрацьовування, якщо власні ємнісні струми замикання на землю окремих приєднань сильно відрізняються між собою

**У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** проведені розрахунки визначення техніко-економічної ефективності.

**У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** дія електричного струму на організм людини, самозаймання та пожежна профілактика електрообладнання. Розглянуті заходи щодо підвищення стійкості будівель підстанцій в надзвичайних ситуаціях.

**У восьмому розділі «Екологія»** представлено актуальність охорони навколишнього середовища, екологічні проблеми й енергозбереження для покращання екологічної безпеки.

**ВИСНОВКИ**

У дипломній роботі вирішено актуальне завдання підвищення надійності роботи мереж 6-35 кВ при однофазних замиканнях на землю за рахунок комплексної системи обмеження перенапружень. На основі проведених в роботі досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновано математичну модель мережі 6-35 кВ для аналізу перехідних процесів при ОЗЗ, в якій враховується рухове навантаження, нелінійні характеристики ОПН, приєднувальних трансформаторів і трансформаторів напруги, міжфазні взаємні індуктивності і місткості приєднань. Модель дозволяє досліджувати комутації вакуумними вимикачами і перенапруження в цих режимах на асинхронних двигунах, характер протікання перехідних процесів при ОЗЗ і способи підвищення надійності роботи мереж.

2. Результати математичного моделювання дугових замикань фази на землю в системі власних потреб 6 кВ ТЕС показали, що за рахунок виникнення високочастотної складової струму середньоквадратичне значення струму при ОЗЗ може бути істотне більше.

3. Для підвищення надійності роботи мереж з ізольованою нейтраллю результатам математичного моделювання показана доцільність використання регульованого низьковольтного заземлення нейтралі і шунтування пошкодженої фази, що комплексно вирішує проблему обмеження перенапружень і підвищення чутливості релейного захисту від ОЗЗ.

4. Проведено аналіз вибору параметрів приєднувальних трансформаторів і низьковольтних резисторів, які включаються в коло розімкненого трикутника обмоток низької напруги цих трансформаторів замість використання дорожчих і громіздких високовольтних резисторів.

5. Запропонований спосіб підвищення чутливості захисту від ОЗЗ шляхом використання додаткової обмотки трансформатора струму нульової послідовності, яка підключена через місткість до обмоток трансформатора напруги, яка сполучена в розімкнений трикутник.

**Перелік посилань.**

1. Дослідження методів та засобів зменшення однофазних замикань на землю в лініях 35 кв : Матеріали V Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів ["Актуальні задачі сучасних технологій "], (Тернопіль, 17-18 лист. 2016 р.) / М-во освіти і науки України, Терн. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. — Т. : Терн. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2016.

АНОТАЦІЯ

**Змикало Я.О. Дослідження методів та засобів зменшення однофазних замикань на землю в лініях 35 кВ**, 8.05070103 – електротехнічні системи електроспоживання; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; Тернопіль, 2017.

В дипломній роботі представлено методи обмеження однофазних замикань з допомогою низьковольтного резистивного заземлення нейтралі мережі, проведено аналіз комплексної системи обмежень перенапруг і релейного захисту при однофазних замиканнях на землю.

Досліджено математичні моделі : трансформаторів, обмежувачів перенапруг, асинхронного двигуна та розгалуженої системи електропостачання для аналізу перехідних процесів при однофазному замиканні на землю.

Запропоновано заходи по підвищенню чутливості струмового захисту від замикання на землю в системах електропостачання 35 кВ.

**Ключові слова:** трансформатор напруги, дільник напруги, цифровий комплекс, однофазне замикання, перехідний процес.

**ANNOTATION**

**Zmykalo Y.O. The research of methods and means reduce single-phase earth fault in lines 35 kV,** 8.05070103 – Electrotechnical Systems of Electricity Consumption; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2017.

In diploma paper examined methods of limiting single-phase circuits using low-voltage resistive neutral grounding network, developed the integrated system of limits over and relaying with single-phase ground fault.

Studied mathematical models of transformers, Overvoltage limiters, an extensive induction motor and power supply system for transient analysis with single phase short circuit to ground.

The measures to improve the sensitivity of the current protection of ground fault in power systems 35 kV.

**Key words:** voltage transformer, voltage divider digital complex, single-phase circuit transition process.