

**СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ І БЕЗПЕКИ  
РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ**

*Питання надійності мереж 6-35 кВ. Найбільш поширені види пошкоджень. Вплив режиму заземлення нейтралі. Засоби захисту від однофазних замикань на землю.*

**Постановка проблеми.** Відповідно до «КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ», що розроблена Донецькою обласною державною адміністрацією, Регіональним комітетом по економічним реформам в Донецьку, в 2010 році, метою технологічного інноваційного напрямку технічного переозброєння електричних мереж є, серед інших, «*Забезпечення надійності електропостачання споживачів* (виділено автором), якості електричної енергії, безпеки і ефективності експлуатації мереж». Крім того, у цьому документі вказується, що загальна протяжність розподільчих мереж напругою 6 – 20 кВ в Донецькій області перевищує 19 200 км, що складає 28,9% від всіх електричних мереж області. В цю статистику не включені розподільчі мережі 6 - 10 кВ, що знаходяться в підпорядкуванні і управлінні промислових підприємств не електроенергетичної галузі, наприклад шахт, кожна з яких складає десятки і сотні кілометрів.

Надійність роботи електричних розподільчих мереж напругою 6 – 10 кВ (в подальшому будемо називати їх просто «мережі») є важливим чинником економічної ефективності і безпеки роботи промислових виробництв. У випадку порушення роботи таких мереж, як мінімум, зупиняється виробництво, і неважко підрахувати економічні втрати за кожну хвилину простою, наприклад, дільниці шахти. Окрім того, можливе порушення режиму вентиляції і інші події, що можуть бути джерелами значних економічних втрат і соціальних проблем.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Найбільш поширеним видом пошкоджень мереж (75 – 90%) є однофазні замикання на землю [1].

«Правила улаштування електроустановок» п.1.2.16 регламентують, що:

«Мережі напругою 6 – 35 кВ повинні передбачатися з ізолюваною або заземленою через дугогасний реактор нейтраллю.

Компенсація ємнісного струму замикання на землю повинна застосовуватись при таких величинах току в нормальних режимах:

- в мережах 3 – 20 кВ, що мають залізобетонні або металеві опори на повітряних лініях і у всіх мережах 35 кВ – більше 10 А.

- в мережах, що не мають залізобетонних або металевих опор на повітряних лініях: при напрузі 3 – 6 кВ — більше 30 А; при 10 кВ – більше 20А; при 15 – 20 кВ – більше 15 А.

- в схемах 6 – 20 кВ блоків генератор – трансформатор (на генераторній напрузі) – більше 5 А.

- при струмах замикання на землю більше 50 А рекомендується застосування не менше двох заземлюючих дугогасних реакторів»

Таким чином, в режимі «ізолюваної» нейтралі однофазне замикання на землю не є «коротким» і не викликає значного струму. Але небезпека такого замикання полягає в можливості переходу такого замикання в двухфазне коротке, а також можливістю виникнення пожеж і враження електричним струмом людей в місці замикання.

Струм при такому замиканні не повинен перевищувати 30 А, але цього буває достатньо для настання негативних наслідків. На відміну від «короткого» замикання, коли струм сягає тисяч ампер, і яке звичайно у зв'язку з цим легко ідентифікується, виявити струм однофазного замикання не завжди просто, і цим пояснюється те, що до сьогоднішнього дня системи захисту від однофазних замикань, як правило, працюють не

на «відключення» лінії, а на «сигнал», а потім вже людина (диспетчер) здійснює пошук пошкодженої лінії і приймає рішення про відключення.

Відносно невеликий струм однофазного замикання на землю (ОЗЗ) обумовлює і інші особливості протікання цього процесу [2]. Зокрема виділяють два основних види ОЗЗ – стійке і нестійке. Стійкі ОЗЗ мають місце при надійному гальванічному зв'язку провідника фази з землею – металічний контакт, перехідний опір, постійно існуюча дуга, що зумовлює наявність в струмі замикання тільки вимушених складових. Однак основним видом ОЗЗ є нестійке замикання, коли струм час від часу переривається (наприклад електрична дуга періодично згасає внаслідок незначного струму, але через підвищення напруги в місці пробую через деякий час відбувається новий електричний розряд і т.д.). Таким чином, струм ОЗЗ переважно складається з вільної складової перехідного процесу [3, 4, 5].

Всі нестійкі ОЗЗ в свою чергу можна розділити на одноразові пробой ізоляції, що самоликвідуються, наприклад в наслідок вигорання елементів, що викликали замикання, якщо це повітряна ЛЕП, або підвищення тиску всередині кабелю внаслідок локального нагріву в місці замикання, що викликає деіонізацію ізоляції кабельної лінії, а також дугові переривчасті замикання – що являють собою послідовність (в загальному випадку неперіодичну) одноразових замикань. Якщо такі пробой виникають через незначні проміжки часу (наприклад через 0,1с.), то цей процес може викликати накопичення електричного заряду на провідниках мережі, що в свою чергу призведе до значного підвищення напруги між фазними провідниками і землею і подальшому пробую ізоляції в інших місцях.

В таких випадках також іноді спостерігається пошкодження вимірювальних трансформаторів напруги, що встановлені в мережі. Не дивлячись на те, що такі трансформатори звичайно мають великий запас міцності стосовно змінної напруги на входах, постійний струм, що в режимі нестійкого ОЗЗ проходить через обмотки трансформатора, викликає насичення сталі магнітопровода і значне підвищення струму трансформатора.

З метою зниження негативних наслідків ОЗЗ використовується заземлення нейтралі мережі через котушку, індуктивність якої визначається певним чином, і яка знижує (компенсує) струм замикання на землю. Така котушка отримала назву «Дугогасний реактор» (ДР), в деяких джерелах також зустрічається стара назва «Котушка Петерсена».

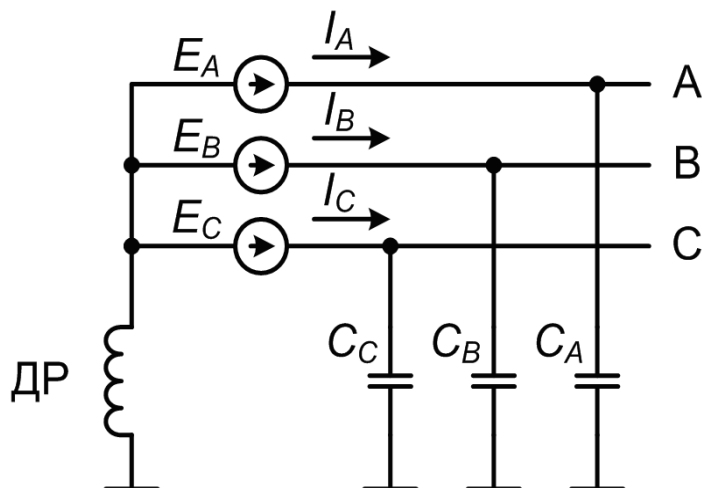


Рисунок 1. Заступна схема компенсованої електричної мережі

Принцип компенсації полягає в тому, що на ємнісний струм в місці пошкодження накладається протилежний індуктивний струм. Для точної компенсації потрібно, щоб індуктивний опір заземлюючої котушки дорівнював сумарному ємнісному опорі всіх фаз мережі.

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C} \quad (1)$$

При цій умові, а також при невеликих активних заземлюючих провідностях в місці пошкодження виникає імпульсний швидкозгасаючий струм, а після його зникнення залишається тільки незначний активний струм. Якщо не враховувати активних втрат, то струм ОЗЗ знижується до нуля, а струм дугогасного реактора проходить через ємності непошкоджених фаз.

У випадку замикання через дугу, при недостатньому для її підтримання струмі, пошкодження ліквідується після згасання розрядного струму. Однак напруга на пошкодженій фазі відновлюється не одразу, а повільно (практично протягом кількох періодів робочої частоти). Це пояснюється тим, що після погасання дуги ємність фаз відносно землі і індуктивність дугогасного реактора створюють коливальний контур, власна частота якого, при точному налаштуванні котушки, дорівнює робочій частоті мережі.

Вільні коливання в контурі нульової послідовності приводять до того, що різниця потенціалів між пошкодженою фазою і землею деякий час близька до нуля. В наслідок згасання коливань в контурі нульової послідовності поступово відновлюється нормальна напруга пошкодженої фази відносно землі, а напруга нейтралі ( $U_{30}$ ) знижується до нуля.

Зауважимо, що проблема налаштування індуктивності дугогасного реактора також є актуальною, оскільки ємність мережі може змінюватись неконтрольовано (наприклад в ході технологічного процесу підприємства), в результаті чого виникає необхідність в автоматичному режимі змінювати індуктивність котушки.

Також вважаємо, що з одного боку компенсація ємнісного струму ОЗЗ за допомогою дугогасних реакторів, а з іншого боку ефективна робота систем захисту від ОЗЗ є не альтернативними засобами, а взаємодоповнюючими.

**Мета статті.** Аналіз останніх досліджень забезпечення надійності і безпеки електричних розподільчих мережі.

**Результати досліджень.** В 2005 – 2010 роках на сторінках російських електротехнічних спеціалізованих видань активно обговорювались проблеми режимів заземлення нейтралі мереж і компенсації ємнісних струмів ОЗЗ. Деякі автори [6] активно пропагують заземлення нейтралі мережі не через дугогасний реактор, а через резистор з активним опором від 100 до 1500 Ом. Позитивною стороною такого рішення є значне спрощення систем селективного захисту від ОЗЗ за рахунок збільшення струму ОЗЗ. Головний недолік полягає в зниженні рівня безпеки такої мережі, що зумовлене збільшенням потужності, що виділяється в місці пошкодження і відповідно більш важкими наслідками ОЗЗ. Одразу зазначимо, що такий підхід не може бути використаний в шахтних підземних умовах, оскільки питання безпеки в цьому випадку є першочерговим.

Актуальною залишається проблема автоматичного налаштування дугогасного реактора. Достатньо ґрунтовний огляд цього питання доступний в Інтернеті. Автором є Обабков В.К., який свого часу працював над цією проблемою в Донецькому політехнічному інституті, в інституті прикладної математики і механіки АН УССР, а в подальшому в Росії. Тільки бібліографія його статті налічує більше 200 найменувань [7]. Над цим питанням працюють в Німеччині, Австрії [8], Франції [9]. Відомі такі засоби налаштування дугогасних реакторів:

- 1) по моделі мережі;
- 2) по реактивним провідностям;
- 3) по фазовим характеристикам;
- 4) по екстремальним характеристикам;
- 5) по частоті вільних коливань в контурі нульової послідовності і ін.

Незважаючи на те, що питання активно розробляється вже близько ста років [10], час від часу з'являються заяви про винайдення «нового метода» [11]. На сьогоднішній день серед цих методів немає явного лідера, що свідчить про актуальність подальших досліджень в цьому напрямку.

Що стосується систем захисту від ОЗЗ, то їх можна поділити на такі великі групи в залежності від використання електричних величин:

- 1) промислової частоти;
- 2) вищих гармонік;
- 3) «накладених» струмів;
- 4) параметрів перехідних процесів і ін.

До першої групи віднесемо загальний неселективний контроль напруги нульової послідовності (НП) або (інша назва) контроль ізоляції. Використовується у всіх випадках, якщо є в наявності вимірювальний трансформатор напруги. Традиційно виконувався за допомогою реле РН 53. Звичайно має уставку спрацювання 15% (фазної напруги мережі). Як правило, доповнюється затримкою часу за допомогою реле часу з витримкою до 10 с для нечутливості до нестійких однократних ОЗЗ. Оскільки є неселективним, працює не на відключення, а на сигнал. Також до цієї групи відноситься токовий захист нульової послідовності. Виконується за допомогою трансформатора струму нульової послідовності і токового реле РТ 40/02, РТЗ-50, РТЗ-51, РТЗ-52 (селективність передбачається забезпечувати за рахунок вибору уставок), а також реле ЗЗП-1М, що є чутливим до напрямку потужності в контурі НП і використовує струм і напругу НП.

До другої групи можна віднести пристрій УСЗ 2/2, який реагує на струм НП, але не на основну частоту, а на вищі гармоніки. Також існує УСЗ 3, УСЗ 3М, КДЗС 2 і «ПАУК» які дозволяють порівнювати такі струми для різних ліній [12].

Принцип роботи пристроїв третьої групи полягає в веденні в контур НП ззовні напруги частотою 25 Гц або іншою і відповідно пошуку цієї складової в струмі НП [13].

Четверта група представлена пристроями ИЗС, УЗС-01, КЗЗП [14] (розробка ДП), ПЗЗМ (варіант Обабкова В.К.) і ін.

Взагалі то це не повний перелік, оскільки його не дозволяє зробити формат даної роботи.

В останні роки спостерігається тенденція закупівлі промислового обладнання в «дальньому» зарубіжжі, що стосується і електротехнічного обладнання. Таким чином ми отримали можливість ознайомитись на практиці з технічними рішеннями світових авторитетів в цій царині. Наприклад, в інструкції (цитата) «REF 541, 543 и 545 - Терминалы защиты фидеров. Предназначены для выполнения функций защиты, местного и дистанционного управления, сигнализации, измерения и мониторинга (контроля) различных типов присоединений в сетях 6...35 кВ, на ПС высокого класса напряжения 110...500 кВ, а также в распределительных устройствах собственных нужд станций, в качестве основной или резервной защиты.» фірми АВВ система захисту від ОЗЗ може здійснюватися за допомогою трьох альтернативних функціональних блоків захисту, що поіменовані «DEF2Low, DEF2High і DEF2Inst», причому перший блок має 19 різних альтернативних критеріїв роботи, а другий і третій – по 12, з якими повинен визначитись користувач, всі критерії докладно описані, наведені векторні діаграми, осцилограми і інші дані, які пояснюють ці критерії. Крім того, треба обрати уставки для струмів і напруг нульової послідовності, існує можливість фільтрації вхідних сигналів, а також різноманітних залежних і незалежних затримок часу спрацювання. Зазначимо, що більшість критеріїв призначені для реєстрації стійкого ОЗЗ і серед них немає чогось принципово нового, порівняно з уже згаданими вище критеріями. Можна зробити висновок, що постачальник обладнання не пропонує якийсь конкретний засіб для визначення ОЗЗ. Маємо ситуацію, аналогічну засобам налаштування дугогасних реакторів

– пропонується велика кількість альтернатив і кожен користувач обирає критерій, який йому більше «до душі».

**Висновки.** 1. Існує значна кількість способів і критеріїв побудови систем захисту мереж. За останні 10 - 20 років не з'явилося принципово нових технічних ідей, які б суттєво вплинули на погляди в даному питанні. Підхід світових лідерів полягає в пропозиції «будь якого варіанта» і сподіванні, що користувач самостійно визначиться з тим, що йому потрібно.

2. Забезпечення надійності і безпеки електричних розподільчих мереж напругою 6 – 10 кВ. є і буде в найближчі роки актуальною проблемою. Елементарні розрахунки дозволяють легко визначити можливі збитки від перебоїв і аварій в електропостачанні.

### **Використані джерела**

1. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6 – 10 кВ – М. НТФ «Энергопрогресс», 2001.
2. Лихачев Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия 1971.
3. Дуговые замыкания на землю в кабельных сетях/ Л.Е. Дударев, С.И.Запорожченко, Н.М. Лукьянцев // Электрические станции, 1971. №8. с. 64 – 66.
4. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. М.: Госэнергоиздат 1959.
5. Режимы нейтрали электрических сетей / И. М. Сирота, С. Н. Кисленко, А. М. Михайлов. Киев: Наукова думка, 1985.
6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ МАЛЫХ ГОРОДОВ. Обеспечение надежности и безопасности электроснабжения / С. Дмитриев, С. Нестеров, Ю. Целебровский // Новости ЭлектроТехники, 2010. №6 (66). є в інтернеті: <http://www.news.elteh.ru/arh/2010/66/07.php>
7. Обабков В.К., Целуевский Ю.Н. Обзор существующих алгоритмов управления контуром нулевой последовательности сети в задаче подавления дуговых замыканий на основе резонансного заземления нейтрали. <http://ntbe.ural.ru/pages.htm>
8. ДУГОГАСЯЩИЕ РЕАКТОРЫ 6 - 35 КВ Повышение точности настройки / Gernot Druml, компания Aeberle GmbH, Нюрнберг, Германия Andreas Kugi, университет Кеплера, Линц, Австрия Vodo Parr, компания Aeberle GmbH, Нюрнберг, Германия// Новости ЭлектроТехники, 2007. №1 (43). є в інтернеті: <http://www.news.elteh.ru/arh/2007/43/08.php>
9. Jean Pierre Clerfeuille, Philippe Juston and Michel Clement, Electricite de France.стаття з журналу «Transmission & Distribution World». <http://masters.donntu.edu.ua/2008/eltf/prihogaya/library/index9.htm>, <http://masters.donntu.edu.ua/2008/eltf/prihogaya/library/index10.htm>
10. Обердорфер Г. Замыкания на землю и борьба с ними М.: Энергоиздат, 1932
11. ДУГОГАСЯЩИЕ РЕАКТОРЫ 6-35 кВ Новый метод определения параметров сети/ Gernot Druml, компания Aeberle GmbH, Нюрнберг, Германия Olaf Seifert, Университет технологии, Дрезден, Германия// Новости ЭлектроТехники, 2007. №2 (44). є в інтернеті: <http://www.news.elteh.ru/arh/2007/44/07.php>
12. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций / А.А.Антюшкин, А.Е. Гомберг, В.П. Караваев и др. Под ред Э.С.Мусаэляна / 2-е издание, М.: Энергоатомиздат, 1989.
13. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6 – 10 кВ / Р.А.Вайнштейн, С.И. Головкин, В.С. Григорьев и др. // Электрические станции, 1998, №7 с.26-30.
14. Дударев Л. Е., Зубков В.В. Комплексная защита от замыканий на землю // Электрические станции, 1981, №7 с.59-61.