

ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ ОБРИВУ ПРОВОДУ В РОЗПОДІЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Кошман В. І., Сабарно Л. Р., Севастюк І. М.

Інститут електродинаміки Національної академії наук України

Запропоновано принципи визначення обриву проводу в розподільній мережі, основані на аналізі розподілу напруг на вторинних обмотках силових трансформаторів.

Постановка проблеми. Протяжність повітряних розподільних електричних мереж напругою 6-36 кВ становить в Україні більше 300 тис. км, що складає приблизно третину всіх мереж. Ці лінії проходять по сільській місцевості та живлять об'єкти аграрно-промислового комплексу. Вони розгалужені, розподілені по території і зазнають значного впливу зовнішніх чинників, тобто є найбільш ненадійним елементом систем електропостачання. Аварійний режим обриву проводу в цих мережах є дуже небезпечним і призводить до однофазного замикання на землю, що створює небезпечне поле розтікання струму, потрапляння в яке людей чи тварин може призвести до їх загибелі.

Процес пошуку цього пошкодження може тривати декілька годин, вповодж яких в місці падіння проводу має місце "спікання" ґрунту, що супроводжується значним зростанням перехідного опору. Все це призводить до відмови роботи сигналізації однофазного замикання на землю, в результаті чого складається хибне враження про усунення однофазного замикання на землю і час існування небезпечного поля розтікання струму на землю значно збільшується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі пристрої захисту від несиметричних режимів, що базуються на виділенні струму зворотної послідовності, внаслідок їх низької чутливості у більшості випадків не реагують на обрив проводу. Пристрої захисту від обриву проводу, які реагують на значення струмів в фазах електричної мережі, можуть надійно працювати тільки на тупикових лініях [1].

Одним з більш досконалих пристроїв захисту електричної мережі від обриву проводу є [2]. Цей прилад забезпечує вимірювання струму зворотної послідовності на протязі часу з моменту обриву проводу і до його падіння на землю та напруги нульової послідовності після падіння проводу на землю, що і є ознакою виникнення однофазного замикання на землю внаслідок обриву проводу. Суттєвим недоліком цього пристрою є його низька чутливість при обриві проводу в кінці лінії, особливо при малих навантаженнях після місця обриву. В таких випадках значення струму зворотної послідовності найчастіше буде нижчим гранично допустимого в нормальному режимі і пристрій не буде нормально працювати.

Мета статті. Пропонується розробка нових, більш досконалих принципів захисту розгалужених електричних мереж від обриву проводу.

Основні матеріали дослідження. Існуючі пристрої захисту від обриву проводу розміщуються на живлячій підстанції, від шин якої відходять лінії електропостачання. У той же час існує можливість встановлення факту обриву проводу за допомогою при-

строїв, встановлених в кінці розгалуженої лінії з подальшою передачею сигналу про обрив проводу в її початок, що дозволить суттєво підвищити чутливість захисту [3].

Розглянемо режим напруг на обмотках силового трансформатора, до вторинної обмотки якого приєднаний пристрій контролю обриву проводу.

При з'єднанні обмоток вказаного трансформатора за схемою "зірка/зірка" з нульовим проводом у випадку обриву проводу однієї з фаз, наприклад, фази А, на фази В та С трансформатора буде подана лінійна напруга U_{BC} , яка за умови симетричного навантаження розподілиться між фазами В та С навпіл. Розподіл струмів та напруг на обмотках трансформатора наведено на рис. 1, а. Фазні напруги при цьому будуть дорівнювати

$$U_{B_{об}} = -\frac{U_{BC}}{2}; U_{C_{об}} = \frac{U_{BC}}{2},$$

звідси

$$U_{B_{об}} = -U_{C_{об}}$$

де $U_{B_{об}}$ та $U_{C_{об}}$ - діючі значення напруг на фазах В та С після обриву проводу на фазі А відповідно.

Таким чином, геометрична сума напруг двох сусідніх фаз при обриві на третій буде дорівнювати нулю.

Аналогічно розподіляться електрорушійні сили на вторинних обмотках силового трансформатора. Тобто

$$E_{b_{об}} = -E_{c_{об}}.$$

У відповідності з цим, напруга на фазах буде

$$U_{b_{об}} = E_{b_{об}} - \frac{E_{b_{об}} \cdot Z_2}{Z_2 + Z_b},$$

$$U_{c_{об}} = E_{c_{об}} - \frac{E_{c_{об}} \cdot Z_2}{Z_2 + Z_c} = -E_{b_{об}} + \frac{E_{b_{об}} \cdot Z_2}{Z_2 + Z_c},$$

де $E_{b_{об}}$, $E_{c_{об}}$ - електрорушійна сила на фазах В та С відповідно,

Z_2 - опір фаз вторинної обмотки трансформатора;

Z_a , Z_b , Z_c - опір навантаження фаз А, В та С відповідно.

Як вже зазначалось, при рівних навантаженнях фаз напруги будуть однакові: $U_{b_{06}} = -U_{c_{06}}$. Різниця

напруг буде найбільшою, якщо навантаження однієї з

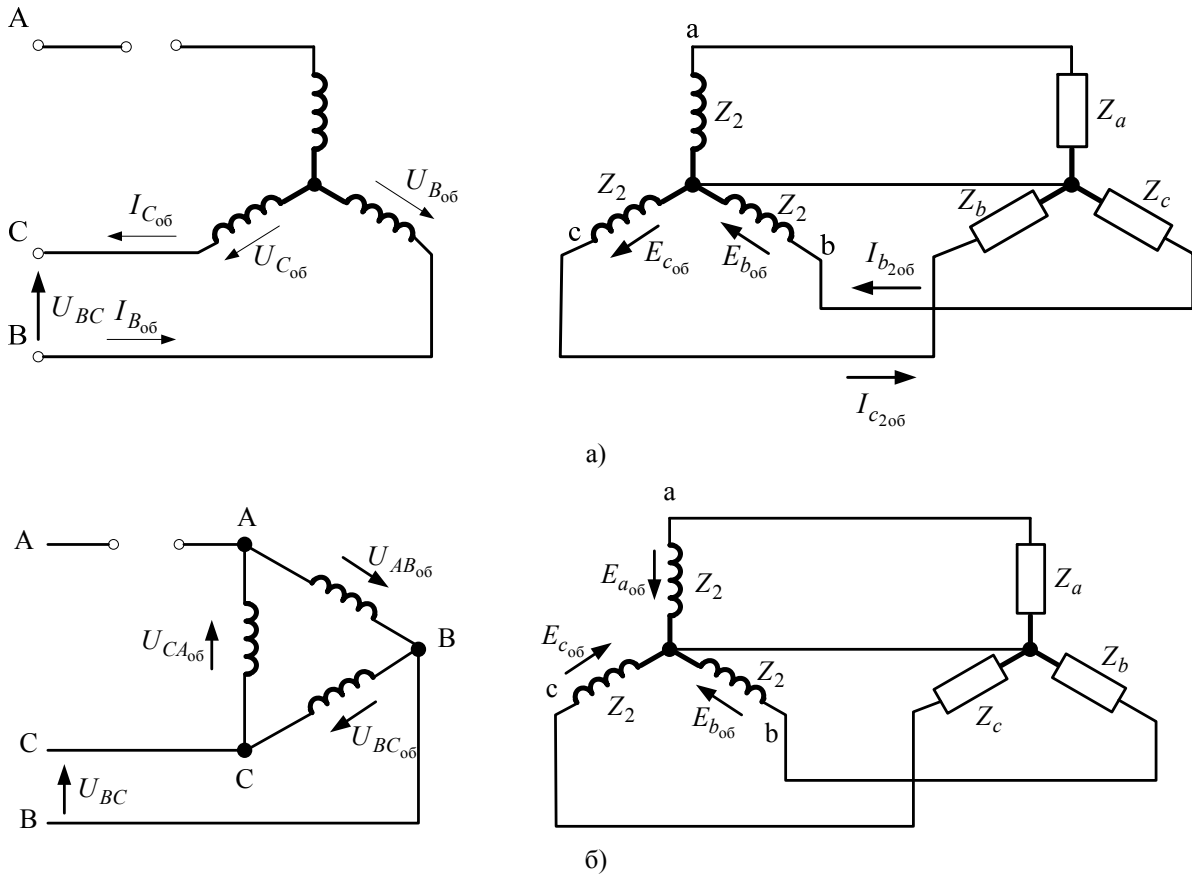


Рисунок 1 – Розподіл струмів та напруг на обмотках трансформатора

фаз, наприклад, фази В, мінімальне, а навантаження фази С має найбільше значення, тобто $Z_b = \infty$ і $Z_c = Z_{c_{min}}$ відповідно. У цьому випадку напруги в фазах будуть

ткуч цього трансформатора, що приєднана до фази В та С, буде подана лінійна напруга U_{BC} , тобто

$$U_{BC_{06}} = U_{BC},$$

$$U_{b_{06}} = E_{b_{06}}; \quad (1)$$

$$U_{c_{06}} = -E_{b_{06}} + \frac{E_{b_{06}} \cdot Z_2}{Z_2 + Z_{c_{min}}}. \quad (2)$$

Сума напруг буде становити

$$U_{b_{06}} + U_{c_{06}} = \frac{E_{b_{06}} \cdot Z_2}{Z_2 + Z_{c_{min}}} \ll U_{\phi}. \quad (3)$$

Таким чином, найбільше значення суми напруг на двох сусідніх фазах при обриві проводу буде дорівнювати падінню напруги на обмотці трансформатора при максимальному навантаженні, що суттєво менше значення фазної напруги при нормальному режимі.

Якщо ж обмотки силового трансформатора, до вторинної сторони якого приєднаний пристрій контролю обриву проводу, з'єднані за схемою "трикутник/зірка" з нульовим проводом, то при обриві проводу однієї із фаз, наприклад фази А, на первинну обмо-

а на інших двох обмотках ця лінійна напруга розділиться навпіл. Причому напрямком цих напруг буде протифазним напрузі U_{BC} . Таким чином, на обмотці, приєднаній до фаз А та В, буде напруга $U_{AB_{06}} = -\frac{U_{BC}}{2}$, а на обмотці, приєднаній до фаз С та А, так само $U_{CA_{06}} = -\frac{U_{BC}}{2}$. Розподіл напруг на обмотках трансформатора наведено на рис. 1, б.

Аналогічно розподіляться й електрорушійні сили на вторинних обмотках силового трансформатора, тобто

$$E_{a_{06}} = -\frac{E_{c_{06}}}{2},$$

$$E_{b_{06}} = -\frac{E_{c_{06}}}{2}.$$

Напруга на фазах трансформатора

$$U_{c_{об}} = E_{c_{об}} - \frac{E_{c_{об}} \cdot Z_2}{Z_2 + Z_c},$$

$$U_{a_{об}} = -\frac{E_{c_{об}}}{2} + \frac{E_{c_{об}} \cdot Z_2}{2(Z_2 + Z_a)},$$

$$U_{b_{об}} = -\frac{E_{c_{об}}}{2} + \frac{E_{c_{об}} \cdot Z_2}{2(Z_2 + Z_b)},$$

При рівних навантаженнях фаз

$$U_{a_{об}} = U_{b_{об}}.$$

Різниця напруг буде найбільшою, якщо навантаження однієї з фаз, наприклад, фази А, мінімальне, а навантаження фази В має найбільше значення – тобто $Z_a = \infty$ і $Z_c = Z_{c_{min}}$ відповідно. Напруги в фазах будуть

$$U_{a_{об}} = -\frac{E_{c_{об}}}{2}, \quad (4)$$

$$U_{b_{об}} = -\frac{E_{c_{об}}}{2} + \frac{E_{c_{об}} \cdot Z_2}{2(Z_2 + Z_{b_{min}})}. \quad (5)$$

Різниця напруг буде становити

$$U_{a_{об}} - U_{b_{об}} = -\frac{E_{c_{об}} \cdot Z_2}{2(Z_2 + Z_{b_{min}})} \ll U_{\phi}. \quad (6)$$

Таким чином, найбільше значення різниці напруг на двох сусідніх фазах при обриві проводу буде дорівнювати половині падіння напруги на обмотці трансформатора при максимальному навантаженні, що суттєво менше значення фазної напруги при нормальному режимі.

На відміну від обриву проводу на стороні високої напруги, при обриві на стороні низької напруги, що можливо при перегорянні запобіжника однієї з фаз, на двох інших фазах буде фазна напруга, зсунута одна відносно іншої на 120° .

На цьому принципі розроблено захист електричної мережі від обриву проводу. Він складається з блоку контролю обриву проводу та блоку передачі інформації про пошкодження лінії. Пристрій контролю обриву проводу приєднується по кінцях відгалужень та в кінці розгалуженої лінії 6-10 кВ на стороні 0,4 кВ понижуючої підстанції 10/0,4 кВ. Він здійснює аналіз сум напруг кожних сусідніх фаз при схемі з'єднання силового трансформатора зірка/зірка з нулем або різниці напруг кожних сусідніх фаз при схемі з'єднання силового трансформатора трикутник/зірка з нулем. Якщо ця сума або різниця менша заданого значення уставки то в мережі має місце обрив проводу і в цьому разі сигнал надходить на блок передачі інформації, за допомогою якого сигнал обриву передається на початок лінії для її відключення. Цей блок передачі інформації може використовувати різні канали зв'язку, як то радіоканал, мобільний зв'язок або електричну мережу. В останньому випадку інформація

про пошкодження лінії може передаватися з кінця лінії в її початок по двох непошкоджених проводах за допомогою субгармонійних сигналів, наприклад 25 Гц.

Висновки. З наведеного матеріалу можна зробити висновок, що однією з ознак обриву проводу в розподільній електричній мережі може бути:

- рівність напруг за модулем і зсув фаз на 180° на стороні низької напруги силового трансформатора, якщо його обмотки з'єднані за схемою "зірка/зірка" з нульовим проводом;

- рівність напруг на двох фазах як за модулем, так і за фазою на стороні низької напруги силового трансформатора, якщо його обмотки з'єднані по схемі "трикутник/зірка" з нульовим проводом;

- використання наведених ознак обриву проводу в електричних мережах напругою 6-10 кВ дозволить з високою надійністю виявляти пошкодження лінії незалежно від її конфігурації, протяжності та схем з'єднання силових трансформаторів.

Список використаних джерел

1. Комаров Д. Т. Автоматизация электрических сетей 0,38-35 кВ в сельских районах / Д. Т. Комаров. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 111 с.

2. Кутіна М. В. Система захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільних мережах напругою 6-35 кВ / М. В. Кутіна // Технічна електродинаміка. – 2012. - № 2. – С. 46-48.

3. Пристрій захисту електричної мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю від обриву проводу: пат. 08395 Україна: МПК H02N 3/24 / Кошман В. І., Сабарно Л. Р., Севастюк І. М.; Інститут електродинаміки НАН України. - № 109374; заявл. 23.07.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. – 6 с.: кресл.

Анотация

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБРЫВА ПРОВОДА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Кошман В. И., Сабарно Л. Р., Севастюк И. М.

Предложены принципы определения обрыва провода в распределительной сети, основанные на анализе распределения напряжений на вторичных обмотках силовых трансформаторов.

Abstract

PRINCIPLES FOR DETERMINING WIRE BREAK IN THE DISTRIBUTION NETWORK

V. Koshman, L. Sabarno, I. Sevastjuk

The principles of determining a wire break in the distribution network, based on the analysis of the stress distribution at the secondary windings of power transformers are proposed.