

ВИКОРИСТАННЯ РЕЛЕ ПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕПОВНОФАЗНИХ РЕЖИМІВ У МЕРЕЖАХ 110–220 кВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²ДП «НЕК «Укренерго» ВП Південно-Західна ЕС

Запропоновано захист від неповнофазного режиму за провідністю окремих фаз. Обґрунтовано принцип дії, вибір форми зони та уставок реле провідності для побудови захисту від неповнофазних режимів у мережах напругою 110–220 кВ. На експериментальних даних перевірена справедливість прийнятих припущень. Проаналізовано особливості застосування захисту за провідністю в мережах різної конфігурації. Виконано визначення чутливості і перевірку селективності захисту за провідністю.

Ключові слова: електричні мережі, релейний захист, неповнофазний режим, провідність.

Вступ

Одним з аномальних режимів роботи мереж напругою 110–220 кВ є неповнофазний режим — обрив провідника без короткого замикання. Хоча при цьому не відбувається швидкого пошкодження і руйнування лінії електропередачі, але внаслідок появи значних рівнів струмів зворотної та нульової послідовностей існує небезпека для роботи силових трансформаторів та обладнання споживачів [1]. Тому існує необхідність у виявленні неповнофазного режиму, пошкодженої фази та відстані до місця пошкодження. Для вирішення цієї проблеми у статті [2] запропоновано використовувати вимірювання ємнісного струму лінії, але такий підхід орієнтований на «ручне» виконання вимірювань, подальших розрахунків та аналізу експлуатаційним персоналом. Також слід зазначити, що у разі обриву різних фаз вектор ємнісного струму займає різні положення на комплексній площині, що ускладнює реалізацію пристрою релейного захисту (РЗ).

Для автоматизації виявлення неповнофазного режиму в [3] пропонується впровадити захист по провідності, виконаний на принципі аналогічному до дистанційного захисту. Під час розробки алгоритму виявлення та ідентифікації неповнофазного режиму пропонується використовувати умову зменшення в аварійному режимі повної фазної провідності y_A, y_B, y_C хоча б однієї з фаз до рівня $y_{\text{спр}}$, що визначається фазною напругою та ємнісним струмом холостого ходу лінії. Виконання цієї умови дозволяє не лише встановити факт існування неповнофазного режиму, а й визначити ушкоджену фазу та розрахувати відстань до місця пошкодження.

Мета роботи полягає в обґрунтованні форми характеристики фазного реле провідності та у виборі заходів для відлаштування від зайвих спрацювань в режимі холостого ходу лінії в мережах різної конфігурації.

Обґрунтування принципу дії захисту

Характеристику реле провідності за аналогією з дистанційним захистом [4] зручно аналізувати на комплексній площині. У такому випадку комплексну провідність фази на вході вимірювального органу (ВО) можна представляти модулем і аргументом або активною та реактивною складовими комплексної провідності $\underline{Y} = y \cdot \exp(-j\varphi) = g - jb$. На цій же площині для зручності аналізу можна розмістити вектор провідності в нормальному режимі та у разі короткого замикання (КЗ).

Для визначення виду потрібної характеристики слід проаналізувати положення вектора провідності на комплексній площині в різних режимах роботи лінії. При обриві фази провідність лінії визначається ємнісним зарядним струмом, значення якого залежить від відстані до місця обриву (рис. 1а).

Під час дії несприятливих природних умов активні втрати на корону дуже сильно зростають [5]. Так для лінії 110 кВ, виконаної проводом АС-120/19, за гарної погоди питомі втрати активної по-

тужності на корону складають 0,02 кВт/км, за сухого снігу — 0,1 кВт/км, за дощу — 0,3 кВт/км, у разі паморозі — 1 кВт/км. Тобто в залежності від погодних умов активна провідність може зростати в 50 раз від $1,653 \cdot 10^{-9}$ См/км до $8,264 \cdot 10^{-8}$ См/км. Але навіть за самих несприятливих умов модуль b_0 ($2,8 \cdot 10^{-6}$ См/км) перевищує g_0 більше ніж в 30 разів.

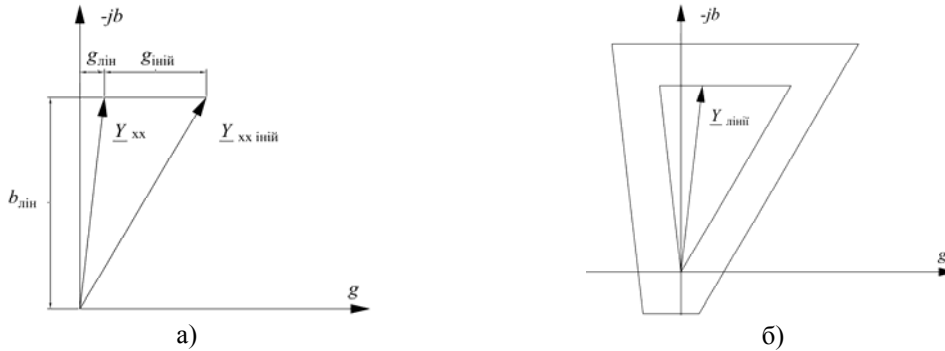


Рис. 1: а — зміна вектора провідності лінії на холостому ході у разі випадіння інію; б — форма першої та другої зон повної провідності для визначення обриву фазного провідника

Враховуючи наведені міркування, вважається доцільним запропонувати для виявлення обриву фази трикутну форму зони повної провідності, яку зображено на рис. 1б. Уставка спрацювання реле $y_{уст}$ може складати від 1,1 до 1,2 відносно y_{xx} лінії, що забезпечить надійну роботу захисту. Відхилення зони праворуч від осі ординат зі значенням активної провідності в 10—11 разів більшим від розрахункового має забезпечити роботу захисту за несприятливих погодних умов таких як паморозь, іній, туман тощо. Для надійного спрацювання у разі обриву проводу на початку лінії, чи зникненні контакту у комутаційній апаратурі — вимикачах чи роз'єднувачах, доцільно було б ввести незначне зміщення зони у третій квадрант для того щоб вона гарантовано охоплювала початок координат.

У разі обриву фази на суміжній лінії, чи на лінії, яка приєднана до шин цієї ж підстанції, хибна робота захисту виключається, так як по справній лінії буде протікати активне навантаження $g_{нав} \gg g_{xx}$.

Розглянемо як наведені міркування будуть співвідноситись з реальним випадком неповнофазного режиму, який стався 14 серпня 2014 р. на ПС-330 «Тернопільська», де після однофазного КЗ відгоріла частина пошкодженого проводу і було зафіксовано обрив фази *C* на Л-110 «Озерна». Фазна провідність (наприклад на 50-му періоді напруги живлення) складала:

- в нормальному навантажувальному режимі — $121,17 \cdot 10^{-5}$ См, $\angle -17^\circ$;
- у разі однофазного короткого замикання — $4382 \cdot 10^{-5}$ См, $\angle -67^\circ$;
- у разі обриву фази — $9,8 \cdot 10^{-5}$ См, кут \angle змінювався від 78° до 95° .

На рис. 2а зображено осцилограму струмів, а на рис 2б — експериментально отриманий годограф вектора провідності в усталеному режимі після обриву фази *C* на Л-110 Тернопільська–Озерна. На рис. 3а зображено годограф вектора провідності фази *C* у разі вимкнення КЗ, а на рис. 3б — взаємне розміщення провідностей фаз *A* та *B* на комплексній площині провідностей.

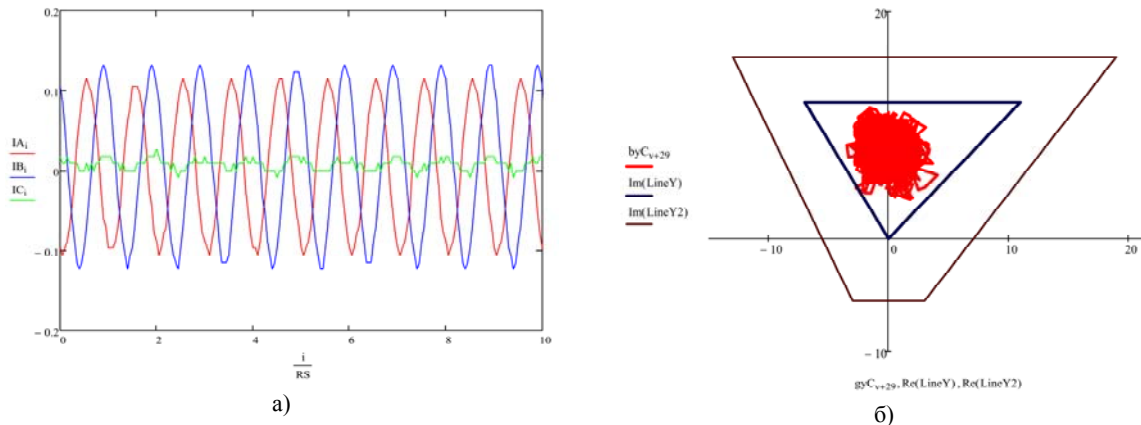


Рис. 2: а — осцилограма струмів у разі обриву фази *C*; б — годограф вектора провідності фази *C* в усталеному неповнофазному режимі

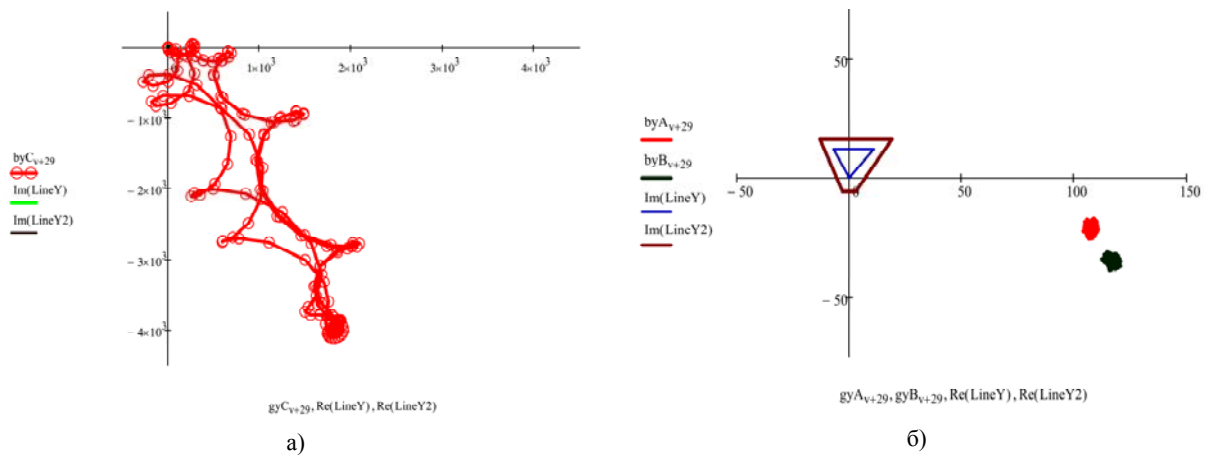


Рис. 3: а — годограф вектора провідності фази *C* у разі вимкнення КЗ; б — годографи векторів провідностей фаз *A* та *B* в навантажувальному режимі

Під час аналізу осцилограми реального неповнофазного режиму було помічено, що аргумент вектора провідності змінюється від 78° до 95° . Для забезпечення роботи захисту в такому випадку його зона спрацювання має невеликий виступ у другий квадрант комплексної площини.

Аналіз застосування захисту в мережах різної конфігурації

У простій радіальній мережі, за відсутності можливості пошкодження силових трансформаторів та обладнання споживачів, з метою підвищення надійності електропостачання доцільно виконувати захист по провідності з дією на сигнал.

У разі обриву фази на одній з двох паралельних ліній слід вимкнути пошкоджену лінію з мінімальною витримкою часу, для попередження можливості хибного вимкнення обох ліній і справної, і пошкодженої [6].

У кільцевій мережі одностороннє вимкнення пошкодженої лінії ліквідує несиметричний режим живлення і водночас не призводить до перерв в електропостачанні.

Розглянемо роботу реле провідності, встановленого на ПС Пилипківці для захисту лінії Пилипківці—Нова Ушиця (рис. 4) як двостороннього, так і радіального живлення у таких випадках виникнення обривів фази:

- пошкодження на лінії що захищається (Пилипківці—Нова Ушиця);
- пошкодження на суміжній лінії (Нова Ушиця—Ставчани);
- пошкодження «за спиною» (на лінії Пилипківці—Ярмолинці).

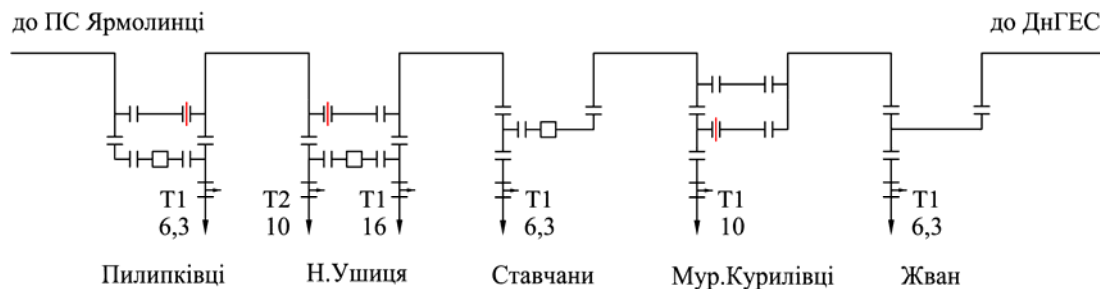


Рис. 4. Дільниця мережі 110 кВ з двостороннім живленням від Дністровської ГЕС та ПС Ярмолинці

У випадку пошкодження на лінії, що захищається, захист працює правильно при обриві у будь-якій точці та забезпечує чутливість 1,5 у разі обриву в кінці лінії біля шин ПС Нова Ушиця як в режимі двостороннього, так і радіального живлення від ПС Ярмолинці.

У разі пошкодження на суміжній лінії Нова Ушиця—Ставчани в усіх фазах лінії Пилипківці—Нова Ушиця протікають струми навантаження і умови для спрацювання захисту по провідності на ПС Пилипківці не виконуються ні при двосторонньому живленні незалежно від точки розподілу потужностей, ні при радіальному живленні від ПС Ярмолинці.

У разі обриву, наприклад фази *A*, на лінії Ярмолинці—Пилипківці, по фазі *A* лінії Пилипківці—

Нова Ушиця при двосторонньому живленні підтікає струм навантаження і, незважаючи на зміщення характеристики реле провідності в третій квадрант, умови для спрацювання захисту лінії Пилипківці—Нова Ушиця відсутні.

При радіальному живленні від ПС Ярмолинці у разі обриву, наприклад, фази *A* на лінії Ярмолинці—Пилипківці по проводу фази *A* лінії Пилипківці—Нова Ушиця буде протікати струм в кілька раз менший, ніж у фазах *B* і *C*, оскільки на лінії Пилипківці—Нова Ушиця—Ставчани—Муровані Курилівці—Жван згідно з ПУЕ повинна бути заземлена нейтраль хоча б одного трансформатора. Напрямок і значення цього струму залежить від точок заземлення нейтралей трансформаторів та опорів нульової послідовності. Захист по провідності в такому разі працювати не повинен.

Якщо на лінії, що захищається, є кілька відгалужувальних ПС, наприклад ПС Жван і Муровані Курилівці на лінії Ставчани—ДсГЕС, то захист по провідності зможе працювати лише за умови виникнення обриву на ділянках, що безпосередньо примикають до підстанцій, на яких встановлено вимикачі — тобто на Л-110 Дністровська ГЕС—Жван та на Л-110 Ставчани—Муровані Курилівці. Для ділянки Жван—Муровані Курилівці захисти по провідності, встановлені на ПС Ставчани і Дністровській ГЕС, нечутливі для виявлення таких режимів.

У такому випадку раціональним є встановлення захисту по провідності на ввіді силових трансформаторів, адже саме для трансформаторів, а не для ліній становлять небезпеку неповнофазні режими. Для реле провідності, встановленого для захисту трансформатора, на відміну від захисту лінії, доцільно використовувати кругову характеристику, центр якої проходить через початок координат. Захист по провідності, встановлений на ввіді силового трансформатора 110 кВ, буде правильно працювати як у випадку заземленої так і розземленої нейтралі, оскільки опори нульової послідовності трансформаторів відрізняються незначно.

Загальні зауваження до організації роботи захисту по провідності

За потребою захист по провідності може діяти як на вимкнення, так і на сигнал. Якщо при виникненні неповнофазного режиму можливе пошкодження, збої в роботі обладнання споживачів, або неправильна робота інших пристроїв РЗ, то пошкоджену лінію слід вимкнути. Якщо робота в двофазному режимі допустима, то для підвищення надійності електропостачання доцільно перевести дію захисту «на сигнал», щоб оперативно-диспетчерський персонал міг своєчасно вжити заходів з пошуку несправності та ремонту лінії. Слід зазначити, що у разі роботи на вимкнення для ліквідації неповнофазного режиму захист може вимкнути лінію лише з однієї сторони. Якщо після цього не зникають аварійні параметри, то оперативний персонал для аналізу ситуації може орієнтуватись на сигнал про пуск захисту. Також за наявності однієї відгалужувальної підстанції захист буде працювати односторонньо.

Висновки

Розглянуто принцип дії захисту від неповнофазного режиму по провідності. Обґрунтовано вибір форми характеристики фазного реле провідності у вигляді трикутної зони. На експериментальних даних перевірено справедливість прийнятих припущень. Проаналізовано особливості застосування захисту по провідності в мережах різної конфігурації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Особенности работы тупиковых подстанций 220–110 кВ при неполнофазных режимах по признаку заземления нейтрали трансформаторов / М. Ш. Мисриханов, Т. Е. Путова, В. П. Гречин, П. Г. Малошицкий // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2005. — Вып. 1. — С. 82—89.
2. Ластовкин В. Д. ВЛ 110—220 кВ. Диагностика обрыва фазы под рабочим напряжением / В. Д. Ластовкин // Новости ЭлектроТехники. — 2010. — № 2(62).
3. Бурбело М. Й. Умови та алгоритми виявлення неповнофазних режимів роботи в мережах 110 кВ / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). — 2011. — № 2. — С. 40—43.
4. Атабеков Г. И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей / Г. И. Атабеков. — М. : Госэнергоиздат, 1957. — 334 с.
5. Басс Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пос. / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев ; под редакцией А. Ф. Дьякова. — М. : изд-во МЭИ, 2002. — 296 с.
6. Маруда И.Ф. Релейная защита линий 110—220 кВ при разрывах фаз / И. Ф. Маруда // Электрические станции. — 2002. — № 1. — С. 40—42.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Бурбело Михайло Йосипович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: burbelom@ukr.net;

Мельничук Сергій Миколайович — завідувач сектору служби релейного захисту, e-mail: melnichuk7sm@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. Yo. Burbelo¹
S. M. Melnychuk²

Use of the conductivity relay to detect phase conductor breakage in networks 110–220 kV

¹Vinnitsia National Technical University,

²State Enterprise “NPC “Ukrenergo” SU Southwestern Electric Power System

The article offers protection of unbalance conductivity of the individual phases. The principle of operation, the choice of form zones and settings relay of conductivity for building protection against unbalance networks 110–220 kV are substantiated in the paper. The validity of assumptions is verified according to experimental data. The features of the application of the protection of conductivity in the networks of various configurations are analyzed. Determination of sensitiveness and verification of selectivity of protection on conductivity are executed.

Keywords: power networks, relay protection, broken conductor mode, conductivity.

Burbelo Mykhailo Yo. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelom@ukr.net;

Melnychuk Sergii M. — Head of the Sector of Relay Protection, e-mail: melnichuk7sm@gmail.com

М. И. Бурбело¹
С. М. Мельничук²

Использование реле проводимости для выявления неполнофазных режимов в сетях 110–220 кВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²ГП «НЭК «Укрэнерго» ОП Юго-Западная ЭС

Предложена защита от неполнофазного режима по проводимости отдельных фаз. Обоснован принцип действия, выбор формы зоны и уставок реле проводимости для построения защиты от неполнофазных режимов в сетях напряжением 110–220 кВ. На экспериментальных данных проверена справедливость принятых допущений. Проанализированы особенности применения защиты по проводимости в сетях различной конфигурации. Выполнено определение чувствительности и проверка селективности защиты по проводимости

Ключевые слова: электрические сети, релейная защита, неполнофазный режим, проводимость.

Бурбело Михаил Иосифович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: burbelom@ukr.net;

Мельничук Сергей Николаевич — заведующий сектором службы релейной защиты, e-mail: melnichuk7sm@gmail.com