

АВТОМАТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ПРОВАЛУ НАПРУГИ

Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г., Яров Х.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Розглянуто особливості виникнення та зроблено аналіз режимів провалів напруги і запропонований метод автоматичного визначення місця їхнього розташування відносно межі балансової належності (МБН).

Постановка проблеми. Провал напруги є раптове зниження напруги нижче $0,9 U_{ном}$, за яким впливає відновлення напруги до первісного чи близького до нього рівня через проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд [1]. Він характеризується тривалістю і глибиною провалу напруги.

Провали напруги є дуже важливим показником для сучасного виробництва, насиченого електронними системами керування. Мікропроцесорні системи керування електроприводами у край чуттєві навіть до невеликих провалів напруги. Особливо важкі наслідки технологічних збоїв на металургійних підприємствах, де висока вартість простоїв устаткування і витрат на відновлення технологічного процесу.

Причиною появи провалів напруги є різкі зміни режиму, зв'язані, наприклад, з короткими замиканнями або з пусковими струмами при включенні потужних асинхронних двигунів. Для будь-якого підприємства причини виникнення провалів напруги можна розділити на зовнішні і внутрішні. Визначення належності причини виникнення провалів до однієї з цих груп має значення при оцінці відповідальності за виникнення збитків від порушення технологічного процесу. Невизначеність розташування джерела провалу напруги приводить до правових суперечок між споживачем і постачальником електроенергії, які тягнуться роками.

Автоматичне визначення положення джерела провалу напруги дає детерміновану основу щодо визначення відповідальності за виробничий збиток.

Аналіз досліджень і публікацій в українських та іноземних джерелах фахової літератури не виявив досліджень і публікацій у напрямку автоматичного визначення положення джерел провалу напруги.

Метою статті є розробка методу автоматичного визначення положення джерела провалу напруги відносно МБН і, тим самим, спрощення оцінки відповідальності за виникнення збитків, спричинених провалами.

Основні матеріали дослідження. Інформацію, необхідну для визначення положення джерела провалу напруги, можна одержати шляхом аналізу параметрів поточного режиму електричної мережі. При визначенні місця розташування короткого замикання (КЗ) на живильній лінії чи у споживача можна скористатися кутовими характеристиками струму. Для резистивно-індуктивних кіл, характерних для електричних мереж систем електропостачання, струм прямої послідовності відстає від напруги. Якщо направити вектор фазної напруги на шинах прийомної підстанції по речовій осі комплексної площини (рис. 1, а), то вектор фазного струму лінії буде розташовуватися в IV квадранті. Наприклад, для лінії 110 кВ кут складе $\varphi \approx 70^\circ$.

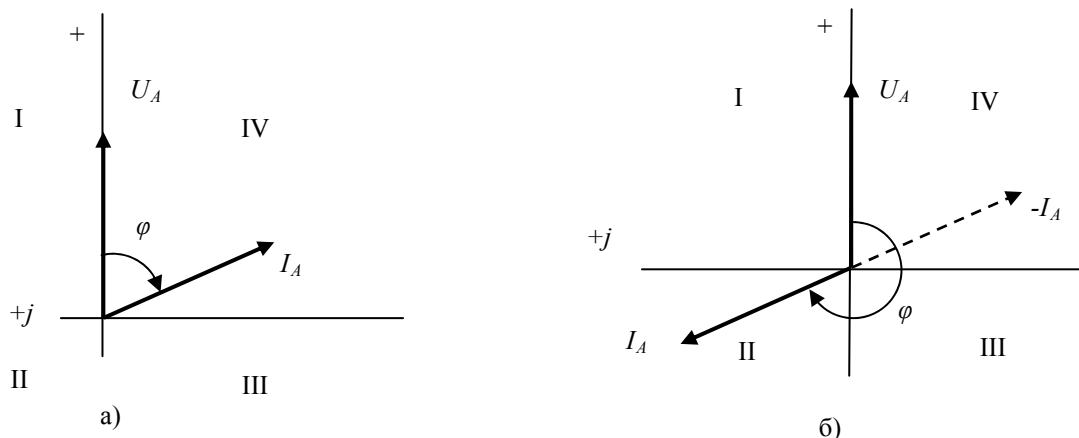


Рисунок 1 – Визначення місця КЗ: а – з боку лінії; б – з боку споживача

При розташуванні точки КЗ у споживача, якщо допустити, що характер мережі практично той же, струм буде мати протилежний напрямок (рис. 1, б). При цьому кут зміниться на 180° ($\varphi \approx 70^\circ + 180^\circ$).

Насправді, кутові характеристики при КЗ у внутрішній мережі підприємства можуть істотно відрізнятися від кутових характеристик при КЗ у зовнішніх

мережах у силу неоднорідності мереж різних ступіней номінальних напруг. Крім того, при розташуванні ушкодження в мережі підприємства в ланцюг КЗ попадає опір трансформатора.

При цьому кут φ буде іншим за величиною, але неоднорідність мережі не виведе вектор струму за межі II квадранту. Наявність компенсуючих пристро-

ів, може вплинути на кутові характеристики, аж до переходу вектора струму в III квадрант.

Можна зробити висновок:

- КЗ розташовано з боку лінії, якщо $\cos \varphi > 0$ ($|\varphi| < \pi/2$);
- КЗ розташовано з боку підприємства, якщо $\cos \varphi < 0$ ($|\varphi| > \pi/2$).

Звідси випливає що, критерієм визначення місця КЗ може служити напрямок активної потужності КЗ.

Якщо провал напруги викликаний віддаленим зовнішнім КЗ, то запропонований критерій працювати не буде, тому що по лінії поряд з потужністю КЗ (P_{K3}) буде протікати потужність навантаження (P_n). Сумарна активна потужність прямої послідовності в напрямку від лінії до шин прийомної підстанції буде визначатися різницею цих потужностей:

$$P = P_n - P_{K3} \quad (1)$$

У залежності від віддаленості та виду КЗ складова P_{K3} буде різної за величиною. При будь-яких видах КЗ на лініях, що підходять до тупикової чи відгалужувальної понижуючої підстанції, на цих лініях варто очікувати зміни напрямку активної потужності на протилежний: $P < 0$. У випадку КЗ, розташованих поза живильної лінії, складова P_{K3} буде зменшуватися в міру збільшення віддаленості точки КЗ. Згідно з (1) активна потужність P , що надходить від лінії на підстанцію, при виникненні зовнішнього КЗ буде зменшуватися, але тим менше, чим більш віддалене КЗ.

Говорити про зменшення активної потужності у випадку провалів напруги, викликаних зовнішніми для підприємства причинами, можна виходячи з інших розумінь. Як відомо, регулюючий ефект активного навантаження по напрузі практично завжди позитивний ($\partial P_n / \partial U > 0$) [2].

Тому зменшення напруги, яке визначено зовнішніми причинами, приведе до зниження активної потужності навантаження. Що стосується реактивної потужності, то регулюючий ефект реактивного навантаження по напрузі буде позитивний ($\partial Q_n / \partial U > 0$), якщо напруга вище критичного значення ($U > U_{кр}$). При глибоких провалах напруги ($U < U_{кр}$) регулюючий ефект реактивного навантаження по напрузі стає негативним ($\partial Q_n / \partial U < 0$). З огляду на те, що для шин 110 кВ критична напруга може досягати величини порядку $0,8 U_{ном}$ [2], можливість використання зміни реактивної потужності, як признака знаходження місця КЗ, повинна бути підтверджена додатковими дослідженнями.

Якщо провал напруги викликаний внутрішніми причинами, то для розглянутого об'єкта зниження напруги є не причиною зміни інших параметрів режиму, а наслідком. Представимо живлення підприємства у виді схеми заміщення (рис. 2), у якій $E_{сумт}$ – еквівалентна ЕРС системи; U – напруга на шинах прийомної підстанції; $z_{сумт}$ – еквівалентний опір зв'язку із системою; z_n – еквівалентний опір навантаження підприємства.

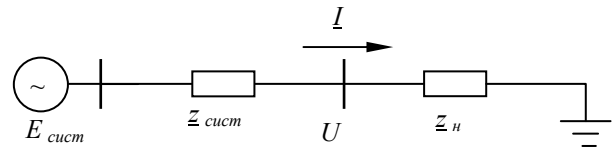


Рисунок 2 – Еквівалентна схема живлення підприємства

Провал напруги на шинах прийомної підстанції, викликаний зовнішніми КЗ, можна розглядати як наслідок тимчасового зниження $E_{сумт}$, що при допущенні про незмінність опору навантаження ($z_n = const$) приводить до зменшення струму і, відповідно, потужності. Насправді, при зміні напруги опір z_n буде трохи мінятися, але не на стільки, що б не відбулося зменшення активної потужності, як це показано вище.

Якщо джерело виникнення провалу розташовано на території підприємства, то відповідно до запропонованої моделі (рис. 2) відбудеться зменшення z_n , ріст струму і потужності. Провал напруги U на шинах прийомної підстанції буде викликаний збільшенням втрати напруги на еквівалентному опорі зв'язку із системою $z_{сумт}$. Якщо зневажити поперечною складовою спадання напруги, то можна записати:

$$U = E_{сумт} - \frac{P_n \cdot r_{сумт} + Q_n \cdot x_{сумт}}{U} \quad (2)$$

Обов'язковою умовою зменшення напруги U на шинах прийомної підстанції відповідно до (2) є збільшення втрати напруги в еквівалентному зв'язку із системою і, виходить, чисельника в дробовій частині формули (2):

$$[(P_n + \Delta P_n) \cdot r_{сумт} + (Q_n + \Delta Q_n) \cdot x_{сумт}] - (P_n \cdot r_{сумт} + Q_n \cdot x_{сумт}) > 0,$$

де $\Delta P_n + j\Delta Q_n$ – зміна потужності навантаження, яка викликала провал напруги.

Звідси випливає умова зміни потужності навантаження, що викликає провал напруги:

$$\Delta P_n \cdot r_{сумт} + \Delta Q_n \cdot x_{сумт} > 0. \quad (3)$$

Умова (3) є обов'язковою для виникнення провалу напруги при розташуванні джерела на території підприємства, але не є достатньою. Визначення достатньої умови в поставленій задачі не потрібно, тому що метою є не установлення факту провалу напруги (провал фіксується шляхом виміру), а визначення місця розташування його джерела.

Причини виникнення провалів напруги при розташуванні джерела на території підприємства (КЗ на території підприємства, ударні навантаження, пускові струми і т.п.) викликають збільшення споживання як активної, так і реактивної потужностей. Як критерій для визначення місця розташування джерела провалу напруги вибираємо зміну величини активної потужності, одержуваною прийомною підстанцією по лінії електропередачі.

Джерело провалу є зовнішнім для підприємства, якщо виникнення провалу приводить до зменшення активної потужності, яка споживається по лінії:

$$\frac{dP_n}{dt} < 0. \quad (4)$$

Джерело провалу є внутрішнім, якщо виникнення провалу приводить до збільшення активної потужності, яка споживається по лінії:

$$\frac{dP_n}{dt} > 0. \quad (5)$$

При використанні сучасних аналізаторів режимів електричної мережі (наприклад, АНТЕС АР-3Ф) інформація про режим надходить від реєстратора у виді дискретного запису миттєвих значень струмів і напруг з інтервалом дискретності, що забезпечує заданий клас точності, і, відповідно, кінцевою кількістю вимірів. Використовувати інформацію про діючі значення струмів і напруг можна для виділеного інтервалу усереднення.

Для фіксації провалу напруги використовуємо рухливий інтервал сканування. Якщо позначити рухливу границю сканування "n", а кількість вимірів в інтервалі усереднення – "m", то дискретна тривалість поточного інтервалу буде "n-m", а попереднього – "n-2m". Використовуємо три елементарних висловлення:

$$AU = \left(\frac{\sum_{j=n-m}^n |u_{ABj}|}{m} < 0,9 \text{ ч } \frac{\sum_{j=n-2m}^{n-m} |u_{ABj}|}{m} \right); \quad (6)$$

$$BU = \left(\frac{\sum_{j=n-m}^n |u_{BCj}|}{m} < 0,9 \text{ ч } \frac{\sum_{j=n-2m}^{n-m} |u_{BCj}|}{m} \right); \quad (7)$$

$$CU = \left(\frac{\sum_{j=n-m}^n |u_{CAj}|}{m} < 0,9 \text{ ч } \frac{\sum_{j=n-2m}^{n-m} |u_{CAj}|}{m} \right), \quad (8)$$

де u_{ABj} , u_{BCj} , u_{CAj} – j-й від початку сканування замір лінійних напруг.

Провал напруги варто заміряти на стороні нижчої напруги трансформатора, щоб виключити вплив опору трансформатора на вимір. Як умову спрацьовування варто прийняти диз'юнкцію елементарних висловлень (6)-(8), чому відповідає рівняння:

$$YU = AU \vee BU \vee CU = 1. \quad (9)$$

Умова (9) означає, що початок провалу напруги фіксується при раптовому зниженні хоча б однієї лінійної напруги більш, ніж на 10%. Зниження напруги розглядається в інтервалі усереднення від виміру "n-m" до виміру "n" у порівнянні з попереднім інтервалом усереднення від виміру "n-2m" до виміру "n-m".

Провал напруги – це раптове зниження напруги в точці електричної мережі нижче 0,9Uном, за яким впливає відновлення напруги до первісного чи близьких до нього рівня через проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд [1]. Тому фіксацію факту провалу напруги бажано забезпечити протягом половини періоду основної частоти (10 мс).

Висновки. Як критерій для автоматичного визначення місця розташування джерела провалу напруги доцільно використовувати зміну величини активної потужності, яку одержує прийомна підстанція по лінії електропередачі. Джерело провалу є зовнішнім для підприємства, якщо виникнення провалу приводить до зменшення активної потужності, джерело провалу є внутрішнім, якщо – до збільшення.

Список використаних джерел

1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – [Введ. в Украине 01.01.2000]. – Минск: ИПК. Изд-во стандартов, 1998. – 30 с.

2. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов / В. И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

Аннотация

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПРОВАЛА НАПРЯЖЕНИЯ

Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г., Яров Х.

Рассмотрены особенности возникновения и выполнен анализ режимов провалов напряжения. Предложен метод автоматического определения места положения провалов напряжения относительно границы раздела балансовой принадлежности.

Abstract

AUTOMATIC POSITION-FINDING OF SOURCE OF FAILURE OF VOLTAGE

O. Grib, G. Senderovych, P. Shcherbakov, H. Yarov

The features of origin of failures of voltage are considered and the analysis of their modes is executed. The method of automatic location of position of failures of voltage in relation to the border of division of balance belonging is offered.