

## ВИКОРИСТАННЯ GSM ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МІСЦЬ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ ЗІ ШТИРЬОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

В.М. Безручко<sup>1\*</sup>, канд.техн.наук, Р.О. Буйний<sup>1\*\*</sup>, канд.техн.наук, А.Ю. Строгий<sup>1</sup>, В.І. Ткач<sup>2</sup>

<sup>1</sup>- Чернігівський національний технологічний університет,  
вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна,  
e-mail: [slavajm@meta.ua](mailto:slavajm@meta.ua), [buinyiroman@gmail.com](mailto:buinyiroman@gmail.com),

<sup>2</sup>- ПАТ «Чернігівобленерго», вул. Гонча, 40, Чернігів, 14000, Україна.

*Запропоновано спосіб ідентифікації однофазних замикань на землю через штирєву ізоляцію в мережах з ізолюованою нейтраллю за рахунок встановлення на кожному опорі ПЛ пристроїв, що живляться від струму ОЗЗ. За наявності струму ОЗЗ у заземлюючому спуску стійки опори зазначені пристрої відправляють повідомлення через GSM-мережу стільникового зв'язку на диспетчерський пункт. Показано можливість живлення таких пристроїв навіть у разі мінімальних струмів замикань на землю, що виключає необхідність у підкорочуванні непошкоджених фаз мережі для визначення місця ОЗЗ. Отримано мінімально необхідну ємність накопичувача, енергії якої достатньо для надійного відправлення повідомлення через GSM-мережу стільникового зв'язку. Бібл. 5, рис. 5.*

**Ключові слова:** електрична мережа, ізолюована нейтраль, однофазні замикання на землю, пошук місця замикання, спосіб ідентифікації.

**Вступ.** Для забезпечення безперебійності роботи розподільних мереж 6–10 кВ під час однофазних замикань на землю (ОЗЗ) в Україні та ближньому зарубіжжі використовують режим ізолюованої нейтралі. Однак при таких пошкодженнях у цих мережах напруга у пошкодженій фазі, залежно від перехідного опору у місці замикання, прямує до нуля, а напруга у двох інших фазах зростає до лінійної. Це збільшує ймовірність утворення міжфазного короткого замикання через землю, що призводить до знеструмлення споживачів на час пошуку та ліквідації пошкодження. Друга фаза, у якій відбувається ОЗЗ, може виявитися на іншому електричному зв'язаному фідері, через що будуть знеструмлені відразу два приєднання. У роботі [1] для зменшення недовідпуску пропонується секціонувати електричну мережу комутаційними апаратами, що дає змогу зменшити тривалість пошуку пошкодженої ділянки. Проте пошук точного місця пошкодження виконується силами оперативно-виїзної бригади (ОВБ).

Сьогодні найпоширенішими є методи пошуку, які базуються на аналізі ОВБ електромагнітного поля вздовж траси повітряної лінії (ПЛ). При значній її протяжності пошук ОЗЗ може зайняти багато часу. Тому пошук місця ОЗЗ є достатньо тривалим і затратним. За весь період пошуку мережа буде працювати у ненормальному режимі. Для зменшення часу пошуку ОЗЗ та ймовірності утворення міжфазних замикань використовують прилади, що дають змогу виявити місце пошкодження та передати цю інформацію на диспетчерський пункт.

У даний час відомі такі пристрої для визначення місць ОЗЗ:

- пристрої для «традиційного» пошуку ОЗЗ: «Поиск», «Спектр», «Зонд», «Волна», «Квант» і т.п., що визначають лише напрям, у якому слід рухатися ОВБ вздовж траси ПЛ для пошуку ОЗЗ;
- індикатор короткого замикання [2] встановлюється на кожному відгалуженні ПЛ та дає змогу фіксувати лише факт наявності короткого замикання на відгалуженні, а також ОЗЗ, у випадку його переведення у міжфазне замикання закороочуванням непошкодженої фази, що лише звужує зону пошуку до виявленого відгалуження та призводить до протікання великих струмів короткого замикання через електрообладнання електричних мереж; даний пристрій живиться від акумулятора, який буде потребувати обслуговування;
- фіксатор короткого замикання [3, 4] за принципом дії та недоліками аналогічний попередньому, проте він живиться від сонячних батарей та акумулятора, що також потребує значних експлуатаційних витрат;
- комплект ІКЗ-33У [5] складається з трьох індикаторів короткого замикання, що розміщуються на проводах ПЛ. Вони живляться від акумуляторів та встановлюються на кожному відгалуженні ПЛ та дають можливість фіксувати лише факт наявності замикання на землю на відгалуженні, що лише зменшує зону пошуку.

Усі зазначені вище пристрої дають змогу лише звузити зону пошуку до виявленого відгалуження від магістралі ПЛ, а пошкодження має бути знайдене «традиційним» способом пошуку під час обходу персоналом ОВБ лінії електропередавання та візуального контролю.

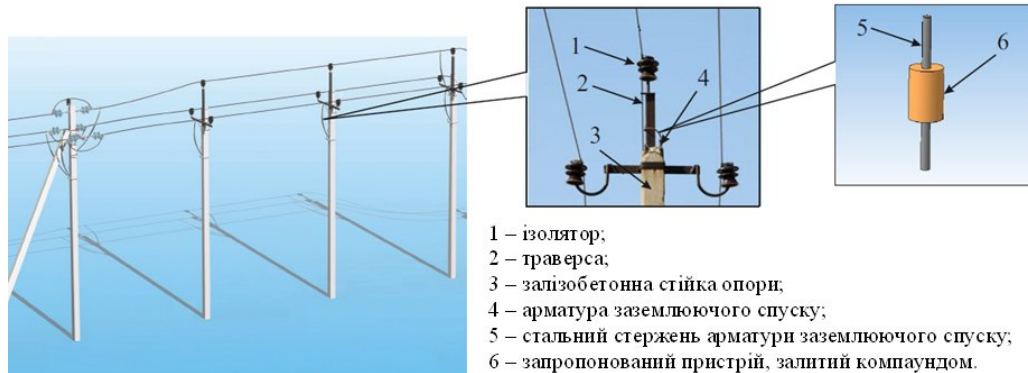
**Мета статті.** Метою даної статті є обґрунтування можливості не тільки ідентифікації місця ОЗЗ за рахунок виміру струму замикання через штирєву ізоляцію на опорі, але й живлення електронних пристроїв від даного струму без підкорочування непошкоджених фаз мережі.

© Безручко В.М., Буйний Р.О., Строгий А.Ю., Ткач В.І., 2018

ORCID ID: \*<http://orcid.org/0000-0002-3705-8543>, \*\*<http://orcid.org/0000-0002-5432-2924>

**Основні матеріали дослідження.** Технічною задачею є створення нової конструкції пристрою ідентифікації ОЗЗ у мережах 6–10 кВ, що у порівнянні з існуючими пристроями має забезпечити високу експлуатаційну надійність, відсутність акумуляторного джерела живлення та сонячних батарей, отримати високу точність визначення місця ОЗЗ. Поставлена задача вирішується за рахунок використання специфічного блока живлення, що живиться від струму ОЗЗ.

Пристрій пропонується встановлювати на металевому спуску заземлення траверси кожної опори повітряної лінії (рис. 1). Електронний вузол пристрою передбачається герметично заповнювати компаундом для його вологонепроникності. У нормальному режимі роботи мережі (за відсутності струму ОЗЗ) даний пристрій знаходиться без напруги живлення, що також зменшує ймовірність виходу його з ладу.



- 1 – ізолятор;
- 2 – траверса;
- 3 – залізобетонна стійка опори;
- 4 – арматура заземлюючого спуску;
- 5 – сталевий стержень арматури заземлюючого спуску;
- 6 – запропонований пристрій, залитий компаундом.

Рис. 1

Запропонована структурна схема приладу показана на рис. 2. Вона складається з трансформатора струму (ТС), блока контролера заряду (БЗ), ємнісного накопичувача енергії (НЕ), ключа ввімкнення живлення (К), блока живлення (БЖ), мікроконтролера (МК) та GSM-модуля зв'язку.

Пристрій ідентифікації ОЗЗ підключається шляхом встановлення магнітопроводу трансформатора струму на арматуру, що з'єднує траверсу та заземлюючий спуск опори.

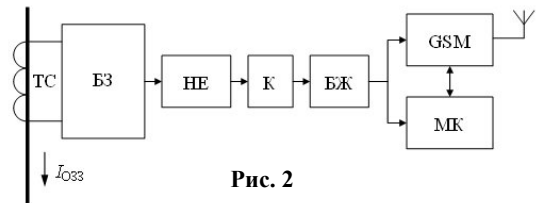


Рис. 2

У разі виникнення ОЗЗ через штиркову ізоляцію на одній з опор ПЛ струм замикання протікає через ізолятор, траверсу та заземлюючий спуск у землю. Величина цього струму для вітчизняних електричних мереж з ізолюваною нейтраллю напругою 6–10 кВ знаходиться в межах 0,5–20 А. Цей струм, протікаючи через ТС запропонованого пристрою, живить накопичувач енергії через контролер заряду. Таким чином, при виникненні ОЗЗ у НЕ починає накопичуватись енергія. У разі накопичення достатньої її кількості ключ К подає напругу на блок живлення БЖ. Він забезпечує живлення мікроконтролера та GSM-модуля постійною напругою при розряджанні ємнісного накопичувача. За час розряджання ємнісного НЕ мікроконтролер відправляє повідомлення за допомогою GSM-модуля на диспетчерський пункт. Дане повідомлення може бути реалізоване як у вигляді SMS, так і у вигляді повідомлення через Інтернет за умови наявності підключення GPRS. За повідомленням із запропонованого пристрою визначається місце виникнення ОЗЗ з точністю до опори.

Таким чином, тривалість визначення місця ОЗЗ у мережі 6–10 кВ зводиться до часу накопичення достатньої кількості енергії у ємнісному НЕ та часу надходження повідомлення через GSM-мережу.

Проте слід зазначити, що не всі ОЗЗ є постійними, вони можуть перейти у міжфазне коротке замикання або самоусунутися. У разі самоусунення замикання за час, менший ніж час заряджання ємнісного НЕ, місце ОЗЗ не буде ідентифіковане. Тому тривалість заряджання ємнісного НЕ повинна бути якомога меншою.

Для доведення можливості живлення від струмів ОЗЗ розглянемо найпростішу принципову схему (рис. 3) реалізації заряду накопичувача у запропонованій структурній схемі.

У схемі, зображеній на рисунку, вторинна обмотка трансформатора струму, на якій індукуються напруга, підключається до випрямляча (діоди VD1-VD4). Випрямлена напруга подається на ємнісний накопичувач C1 з напруго-обмежувальним стабілітроном VD5. Як ємність C1 обрано сучасний конденсатор (іоністор) з високою ємністю (декілька фарад).

Для експериментального вимірювального трансформатора струму ТА1 (типу АС1020) отримано залежність (рис. 4) зміни потужності, що відбирається від струму ОЗЗ, при різних струмах замикання на землю залежно від напруги на конденсаторі C1.

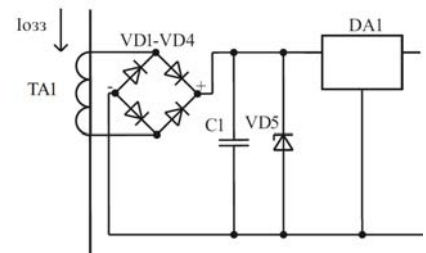


Рис. 3

З характеристик видно, що при первинних струмах ОЗЗ (навіть 3 А) на виході трансформатора індукуються достатня напруга ( $U_2$ ) для заряджання конденсатора до напруги жив-

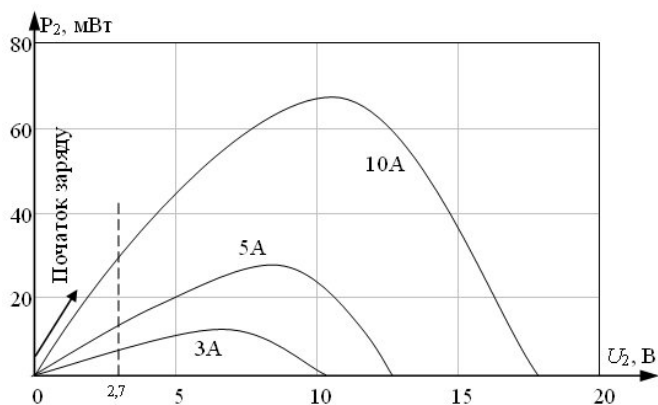


Рис. 4

ності накопичувача енергії слід використовувати контролер заряду БЗ, що буде працювати в точці найбільшого ККД. Наприклад, для ПЛ зі струмом ОЗЗ близько 10 А БЗ повинен стабілізувати споживаний струм, при цьому напруга на його вході складатиме близько 10 В. Другим варіантом може бути використання послідовного включення іоністорів для досягнення більшої напруги.

Для обґрунтування можливості живлення від струму ОЗЗ запропонованого пристрою визначена кількість енергії, необхідної для відправлення повідомлення через GSM мережу. В досліді використовувався GSM модуль M590 з низьким енергоспоживанням.

На рис. 5 показана осцилограма струму, що споживає модуль при відправленні повідомлення на різних етапах. Осцилограма виміряна цифровим осцилографом SDS1022DL зняттям напруги на шунті. Значення енергії, необхідної для відправлення повідомлення, та ємність іоністорів, що слід використовувати як накопичувач енергії, розраховується за формулами

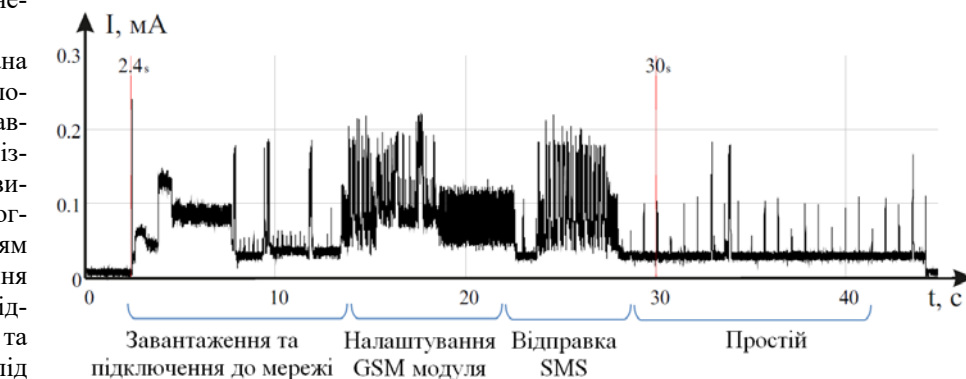


Рис. 5

$$W_{GSM} = \sum_{i=1}^N (U_i \cdot I_i) \cdot \Delta T, \quad C = \frac{2 \cdot (W_{GSM} + W_{MK})}{U_{\max}^2 - U_{\min}^2},$$

де  $U_i$  – напруга живлення, В;  $I_i$  – струм, що споживається в  $i$ -й проміжок часу, А;  $\Delta T$  – період вибірок, с;  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$  – максимальна і мінімальна напруга конденсатора, за якої підвищуючий стабілізатор напруги БЖ спроможний працювати, В (для звичайного іоністора це 2,7 і 0,7 В).

За формулами отримані значення  $W_{GSM} \approx 9$  Дж, тоді слід використовувати іоністор з ємністю  $C > 3$  Ф.

Запропонований пристрій було реалізовано і протестовано в лабораторних умовах.

**Висновки.** 1. Запропоновано спосіб ідентифікації однофазних замикань на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю зі штирьовою ізоляцією встановлення на кожному опорі ПЛ пристроїв, що живляться від струмів ОЗЗ та відправляють повідомлення через GSM-мережу стільникового зв'язку на диспетчерський пункт про наявність струму ОЗЗ у заземлюючому спуску стійки опори.

2. Обґрунтовано можливість живлення пристрою ідентифікації від струмів ОЗЗ у мережах 10 кВ зі струмами замикання на землю 3 А, тому немає необхідності у підкорочуванні непошкоджених фаз мережі.

3. Визначено енергію, необхідну для відправлення повідомлення через GSM мережу, з урахуванням чого показано, що ємність конденсатора має бути більшою за 3 Ф при номінальній напрузі 2,7 В. На сьогодні іоністори такої ємності виготовляють досить мініатюрних розмірів (1–2 см<sup>2</sup>), тому пристрій малогабаритних розмірів вдалося реалізувати для розміщення на траверсі опори.

1. Буйний Р.О., Діхтярук І.В., Зорін В.В. Автоматичне секціонування розподільних електричних мереж напругою 6–10 кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління. *Технічна електродинаміка*. 2014. № 3. С. 70-75.

2. Кучерявенков А.А., Карпашев А.С. Устройство для определения местоположения и вида поврежденной воздушной линии электропередач. Патент России на полезную модель №126144, 2013.

лення електроніки, яка складає 2,7–5 В. Тому ідентифікація місця ОЗЗ є можливою без підкорочування непошкоджених фаз мережі для збільшення струму. Однак потужність, що відбирається від струму ОЗЗ ( $P_2$ ), значно відрізняється для різних значень струму ОЗЗ. Тому час заряду ємності накопичувача енергії буде різний для мереж з різними струмами замикання.

З графіка також видно, що в такій схемі відбір потужності відбувається не в оптимальному режимі. Це спричинено тим, що сучасні іоністори великої ємності виготовляються на номінальну напругу 2,7 В, а зарядження ємності проходить при значно меншій потужності від точки оптимуму.

Для зменшення тривалості зарядження єм-

3. Черемісін М.М., Зубко В.М., Коробка В.О., Сідоров Г.А., Пироженко А.А. Фіксатор короткого замикання. Патент України № 64352 А, 2004.

4. Зубко В.М., Коробка В.О., Мірошник О.В. Ефективність моніторингу замикань в мережах з ізольованою нейтраллю. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2010. Вип. 102. С. 21-23.

5. Руководство по эксплуатации. Комплект индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В33-У3.

URL: <http://www.antraks.ru/biblioteca/normativnaya-dokumentatsiya?download=104:komplekt-indikatorov-korotkogo-zamykaniya-ikz-v33-u3>. (дата звернення 10.02.2018)

УДК 621.311

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕСТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ СО ШТЫРЕВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

В.М. Безручко<sup>1</sup>, канд.техн.наук, Р.А. Буйный<sup>1</sup>, канд.техн.наук, А.Ю. Строгий<sup>1</sup>, В.И. Ткач<sup>2</sup>

<sup>1</sup>- Черниговский национальный технологический университет,

ул. Шевченко, 95, Чернигов, 14035, Украина, e-mail: [slavajm@meta.ua](mailto:slavajm@meta.ua), [buinyiroman@gmail.com](mailto:buinyiroman@gmail.com),

<sup>2</sup>- ПАО «Черниговоблэнерго», ул. Гончая, 40, Чернигов, 14000, Украина.

*Предложен способ идентификации однофазных замыканий на землю через штыревую изоляцию в сетях с изолированной нейтралью за счет установки устройств на каждую опору ВЛ, питающихся от токов ОЗЗ. При наличии тока ОЗЗ в заземляющем спуске стойки опоры указанные устройства отправляют сообщение через GSM-сеть сотовой связи на диспетчерский пункт. Показана возможность питания таких устройств даже при минимальных токах замыкания на землю, что исключает необходимость в подкорачивании неповрежденных фаз сети для определения места ОЗЗ. Получена минимально необходимая емкость накопителя, энергии которого достаточно для надежной отправки сообщения через GSM-сеть сотовой связи. Библ. 5, рис. 5.*

**Ключевые слова:** электрическая сеть, изолированная нейтраль, однофазные замыкания на землю, поиск места замыкания, способ идентификации.

## APPLICATION OF GSM TECHNOLOGY FOR IDENTIFICATION OF PHASE-TO-GROUND FAULTS IN ELECTRIC NETWORKS WITH ISOLATED NEUTRAL AND PIN-TYPE ISOLATION

V.M. Bezruchko<sup>1</sup>, R.O. Buinyi<sup>1</sup>, A.Y. Strogii<sup>1</sup>, V.I. Tkach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>- Chernihiv National University of Technology,

str. Shevchenka, 95, Chernihiv, 14035, Ukraine, e-mail: [slavajm@meta.ua](mailto:slavajm@meta.ua), [buinyiroman@gmail.com](mailto:buinyiroman@gmail.com),

<sup>2</sup>- PJSC Chernihivoblenergo,

str. Goncha, 40, Chernihiv, 14000, Ukraine.

*A method for identifying single-phase-to-ground faults through pin isolation in networks with isolated neutral is proposed. It involves installation of devices on each tower of overhead power line. Those devices will be powered by the current of the single phase-to-ground faults. When the short-circuit current flows through the grounding step-down of the tower, the device sends a signal through a GSM network to the control center. It is shown that such devices can be powered even by the minimum values of the fault current, that is why there is no need in further short-circuiting to find the localization of the fault. Estimated the minimum required capacity of the energy accumulator for reliable transmission of the signal through the GSM network. References 5, figures 5.*

**Key words:** electric network, isolated neutral, single phase-to-ground faults, search for a fault location, identification method.

1. Buinyi R., Dikhtyaruk I., Zorin V. The automatic sectionalization of the distributing networks with high voltage of 6-10 kV with application the disconnectors of new generation. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2014. No 3. Pp. 70-75. (Ukr)

2. Kucheryavenkov A.A., Karpashev A.S. Device for determining the location and type of damage to the overhead power line. Patent for utility model Russia No 126144, 2013. (Rus)

3. Cheremisin M.M., Zubko V.M., Korobka V.O., Sidorov H.A., Pyrozhenko A.A. Short-circuit lock. Patent Ukraine No 64352 A, 2004. (Ukr)

4. Zubko V.M., Korobka V.O., Miroshnyk O.V. Effectiveness of monitoring of closures in the degree of horror with isolated neutral. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka*. 2010. No 102. Pp. 21-23. (Ukr)

5. Manual. Kit of short-circuit indicators IRZ-B33-U3. URL: <http://www.antraks.ru/biblioteca/normativnaya-dokumentatsiya?download=104:komplekt-indikatorov-korotkogo-zamykaniya-ikz-v33-u3>. (Accessed 10.02.2018). (Rus)

Надійшла 02.03.2018  
Остаточний варіант 04.04.2018