

Метод визначення місць ушкодження силового кабелю

Панченко А. М.¹, Мусаїрова Ю. Д.¹, Зарічняк Є. М.¹, Євченко В. С.¹, Клименко М. С.¹

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація. В статті пропонується спосіб знаходження місця ушкодження кабелю з використанням індикаторів короткого замикання (КЗ), з їх допомогою встановлюється який тип КЗ і на якій (яких) ділянці (ділянках) мав місце. Після цього на ушкоджену жилу кабелю встановлюється прилад UNI-TUT255A (типу струмових кліщів), повторно вмикається кабель на номінальну напругу та отримуємо значення ударного струму. Використовуючи в MATLAB модель КЗ кабелю з розподіленими параметрами, вносимо в неї погонні параметри кабелю та його довжину, варіюючи місцем ушкодження по довжині кабелю до місця де значення ударного струму моделі співпадає з значенням зафіксованим приладом. Ця точка й буде відповідати місцю КЗ. Для безпосереднього визначення місця ушкодження кабелю застосовується розподільний оптоволоконний датчик, що працює на ефекті розсіювання Рамана.

Ключові слова: запливаючий пробій; коротке замикання; ударний струм; перехідні процеси; розсіювання Рамана; індикатори короткого замикання.

Вступ

Визначення місця ушкодження силового кабелю залишається проблемним питанням, яке потребує багато працевитрат і високої кваліфікації персоналу. Обладнання, що для цього використовується, має значні масогабаритні показники, та являється джерелом підвищеної небезпеки.

При виникненні ушкодження кабелю типу “запливаючий пробій” застосовується технологія пропалювання дефектної ізоляції, процес відбувається за рахунок перетворення електричної енергії, що подається до місця пошкодження, у теплову енергію. Ефективність пропалювання зберігається тільки доти, поки опір у місці пошкодження має той же порядок, що й опір пропалювальної установки [1]. Тому практично використовують ступінчатий спосіб пропалювання. Суть способу полягає в тому, що в міру зниження перехідного опору в місці пошкодження та напруги пробою застосовуються різні схеми пропалювання. Варто мати на увазі, що кабель має значну власну ємність, тому час заряду кабелю при пропалюванні на 2-3 порядки більше, ніж при розряді через місце пошкодження.

Таким чином, електрична енергія до місця пошкодження подається періодичними імпульсами, частота проходження та амплітуда яких визначаються параметрами лінії та опором ізоляції в місці пошкодження.

У процесі багаторазових пробів стінки розрядного каналу обуглюються та перехідний опір поступово знижується. Процес послідовної подачі імпульсів заряду та розряду переходить у стійке протікання через місце пошкодження електричного струму, що супроводжується подальшим зниженням перехідного опору.

Після успішно проведеного процесу пропалювання переходять до другого етапу, визначення місця ушкодження на місцевості. Весь процес потребує набору відповідного обладнання і майстерності фахівців, яка набувається з тривалим досвідом.

Аналіз публікацій

В цілому, методів пошуку ушкодження кабельних ліній існує достатньо, але повстає питання в їх ефективності. Проаналізуємо ті способи і обладнання, які на даний час використовуються в світовій практиці.

Методи діляться на дві взаємопов'язані групи. Перша група послуговує для дистанційної локалізації місця ушкодження. Враховуючи той факт, що довжина кабелю може сягати від кілометра до декількох десятків кілометрів, з певною точністю, як правило 10 – 100 м, встановлюється місце ушкодження [2-4]. Друга група методів, безпосередньо на місцевості дозволяє в межах 1 – 4 м встановити місце ушкодження.

Проблеми першої групи методів. Оскільки існує близько 12 типів ушкодження кабелю, кожний із них потребує певної комбінації методів, в процесі пошуку, один тип несправності може переходити в інший. Основні методи пошуку, та їх комбінації, що при цьому застосовуються - це імпульсні, мостові, петльові, коливальні та інші, відповідно до них і специфічне обладнання. Окрему позицію займає ушкодження типу “запливаючий пробій”. Це найбільш складний дефект кабелю, його специфіка (особливість) полягає в тому, що релейний захист відпрацьовує несправність як коротке замикання (КЗ), а при обстеженні кабелю мегомметром, він показує норму. При повторному вмиканні кабелю, через певний час, ситуація повторюється. Така ситуація пов'язана з тим фактом, що в певному місці кабелю, або з'єднувальної муфти, з'явилося повітряне включення, воно пробивається електричним полем, з'являється електрична дуга і кабель відмикається. Поки він відімкнений, неоднорідність затягується кабелю мастикою і при перевірці мегомметром показує норму. Єдиний шлях - це пропалювання кабелю. Процедура складна, потребує потужного обладнання, а головне, що використовується напруга вище номінальної, що досить часто, в місцях ослабленої ізоляції викликає додаткові ушкодження кабелю. Замість однієї несправності виникає дві, а інколи і більше.

Друга група методів призначена для локалізації місця ушкодження на місцевості [5-7]. До них відносяться: акустичні, індукційні, індукційно-імпульсні. Ці методи також потребують кваліфікації, досвіду, а в ряді випадків і мистецького хисту, якщо кабелі проходять в зоні щільної забудови. Це пов'язано з тим, що в зонах забудови індукційні і індукційно-імпульсні методи вразливі до зовнішніх збурень, самі їх створюють і, як наслідок, точне визначення місця ушкодження ускладнюється. Оскільки при наявності комунікацій, арматури залізобетонних плит сигнали розсіюються, чітка межа наявності і відсутності сигналу зникає [8].

Мета та постановка задачі

Метою роботи є створення способу пошуку місця ушкодження кабелю типу “запливаючий пробій”.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- встановити залежність амплітуди ударного струму короткого замикання від довжини кабелю;
- опрацювати процедуру локалізації місця ушкодження кабелю на місцевості, з використанням оптоволоконного кабелю, як датчика з розподіленими параметрами.

Дослідження ударних струмів при виникненні короткого замикання в силовому кабелі

На даний час широкого розповсюдження набуває використання індикаторів КЗ, вони дають однозначну відповідь на якій фазі кабелю виникло КЗ і його тип міжфазне чи КЗ жили на землю [9]. Пристрій, може бути встановлений на лінію без зняття напруги. Він реагує на величину магнітного потоку, тобто на встановлену величину струму короткого замикання. Існують роторні (механічні), оптичні (після проходження відповідного струму змінюється колір рідини і потім переходить в попередній стан через певний проміжок часу), та інші [2]. Їхні датчики не потребують додаткового монтажу, розміщуються поряд з шинами, або поряд з жилами фаз, на відстані до 20 см. Принцип роботи, одного із них, показаний на рис. 1.

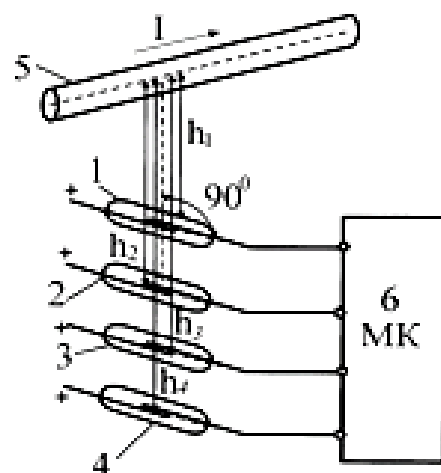


Рис. 1. Герконовий індикатор КЗ

Геркони налагоджуються в відповідності зі струмами КЗ. Три подібних індикатори КЗ можуть відпрацювати як струми КЗ міжфазні, так і струми нульової послідовності в випадку КЗ на землю. Методика по локалізації місця ушкодження розгалуженої мережі наведено на рис. 2 [10].

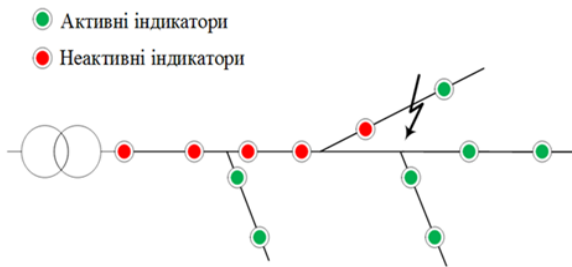


Рис. 2. Встановлення індикаторів на розгалуженій кабельній мережі

Це дає можливість ремонтній бригаді не витрачати час на з'ясування характеру КЗ [10]. Особливо ця властивість індикаторів КЗ цінна при несправності “запливаючий пробій”, оскільки перевірка стану ізоляції мегомметром, взагалі б не дала результату.

Наступним кроком виконується фіксація ударного струму при виникненні КЗ. На даний час існує багато переносних компактних приладів типу струмові “кліщі”, що дозволяють фіксувати діюче, середнє і амплітудне струму. Ми скористуємося приладом UNI-T UT255A рис. 3 [2].



Рис. 3. Прилад UNI-T UT255A

Вказаний прилад розрахований на роботу під напругами до 69 кВ, струмом 600 А, діаметр кліщів 33 мм. Головною його перевагою є можливість фіксації (збереження в пам'яті) пікових значень струму (ударних). Після встановлення типу КЗ на відповідну жилу встановлюється прилад і виконується повторна подача напруги на фідер. З одного боку, це необхідно зробити, щоб пересвідчитися в нехибному спрацюванні захисту, і одночасно з тим отримуюмо значення ударного струму.

Знаючи марку відповідного кабелю та його параметри, а також величину ударного та усталеного, струму короткого замикання, є можливість встановити місце ушкодження. Слід лише зауважити, що кабельна мережа, на відміну від повітряних ліній, має малий індуктивний опір (мала відстань між жилами), але значний ємнісний. Як правило, для кабелів довжиною до 40 км, достатньо використовувати схему заміщення з концентрованими параметрами рис. 4.

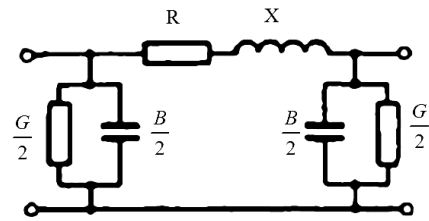


Рис. 4. Схема заміщення кабелю з концентрованими параметрами

Оскільки в нашому випадку інформативним параметром є ударний струм і при моделюванні використовуються перехідні процеси, доречно застосовувати схему яка відповідає фактичним даним кабелю, тобто схему з розподіленими параметрами (рис. 5).

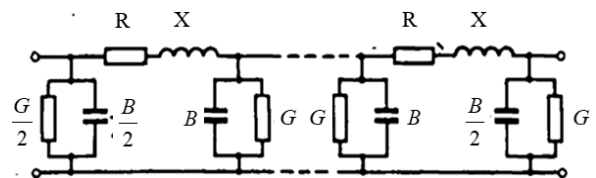


Рис. 5. Схема заміщення кабелю з розподіленими параметрами.

При подачі живлячої напруги 10 кВ відбувається реальне КЗ і прилад фіксує реальний ударний струм. В місці КЗ горить електрична дуга, яка фактично і відповідає опору металевого КЗ. Всілякі виміри опору кабелю після КЗ, як передбачено існуючими способами, будуть мати характер штучних і не відповідатимуть фактичному стану, а отже і істотно вплинуть на точність місця знаходження ушкодження.

Зазначимо, що в нашому випадку інформативним параметром є амплітудне значення ударного струму короткого замикання і параметри силового кабелю. Оскільки марка кабелю відома, ми можемо визначити активний і реактивний погонний опір. Довжина кабелю також відома.

Складаємо імітаційну модель в системі Matlab Simulink Рис.6. З метою наближення до

реальної картини вводимо параметри живлячого трансформатора і використовуємо схему заміщення кабелю з розподіленими параметрами (система Simulink дозволяє це зробити). Після цього в модель кабелю заносяться його погонні параметри і варіюючи точкою короткого замикання, по довжині кабелю, добиваємося співпадіння амплітудного значення ударного струму і усталеного струму короткого замикання. Ця точка й буде відповідати місцю ушкодження кабелю [11,12].

Модель для знаходження місця ушкодження кабелю складається з наступних елементів: 1 – живляча мережа з її внутрішніми опорами, 2 – силовий трансформатор (35/10 кВ), 3 – масляний вимикач навантаження, 4 – блок вимірювання, 5 – датчик струму, 6 і 8 – дві частини кабелю з розподіленими параметрами. В нашому випадку по 5 км. Тобто, загальна довжина кабелю 10 км. Вибираємо першу точку по 5 км, в залежності від отриманих результатів ударного струму зафіксованого UNI-T UT255A, переміщуємося вліво або вправо.

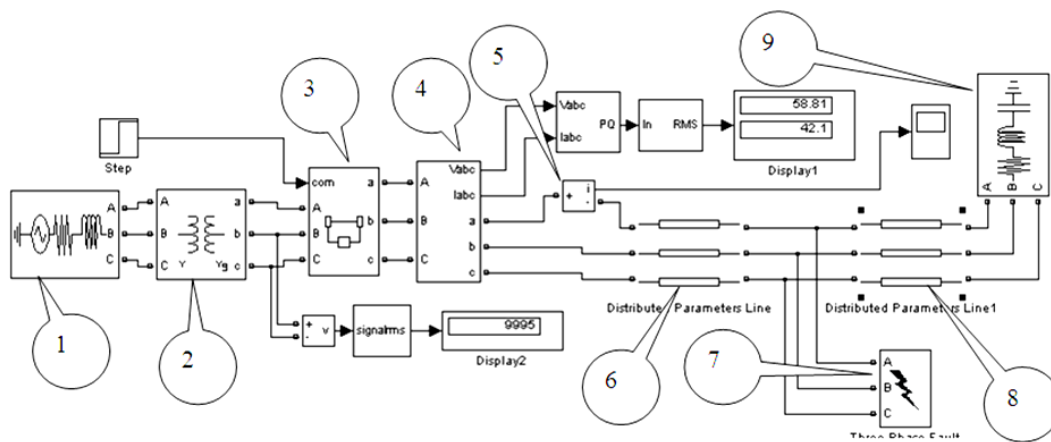


Рис. 6. Модель ушкодженого кабелю, що досліджується

Позиція 7 на рис. 6, блок, що дозволяє імітувати різні варіанти короткого замикання (однофазні, дво-, трифазні та замикання на землю). Позиція 9 навантаження, що імітує живлення 10 кВ підстанції.

Методика встановлення місця ушкодження кабелю передбачає наступні операції. При виникненні аварії відмикається масляний вимикач з рис. 6. Оперативний персонал прибуває на підстанцію і вирішує одночасно два питання. Пересвідчується в невідповідності спрацювання масляного вимикача, тобто встановлює прилад UNI-T UT255A. Для цього вмикається опція фіксації амплітуди струму та її зберігання в пам'яті. Після чого виконує вмикання масляного вимикача. Якщо спрацювання було хибне, то на споживач буде подане живлення, якщо вимикач знову спрацює то знімаються показники амплітуди струму (ударного струму).

На рис. 7. показане вікно, в якому наведений кабель з розподіленими параметрами. Позиція 1 вказана довжина першого відрізка ка-

белю 9 км, відповідно другий відрізок становить 1 км.

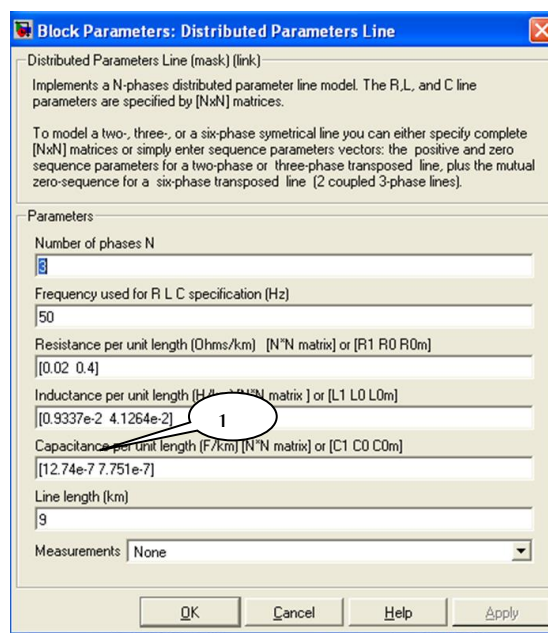


Рис. 7. Вікно, в якому наведений кабель з розподіленими параметрами.

Процедура пошуку наступна. Визначаємо по індикаторам, що маємо КЗ між фазами В і С, зафіксований ударний струм 625 А. Встановлюємо на моделі параметри відповідного кабелю, опцію міжфазне КЗ (В і С) і починаємо моделювання з ділянки, наприклад, перша половина 0,5 км, друга відповідно 9,5 км. Отримуємо перехідний процес, що наведений на

рис. 8. Маємо ударний струм понад 2500 А, що значно перевищує індикаторний 630 А [5-6]. На рис.8. позиція 1 показує штатний режим навантаження біля 80 А. Позиція 2 – ударний струм 2600 А, позиція 3 – усталений струм КЗ амплітуда 1700 А, позиція 4 – спрацювання масляного вимикача струм 0.

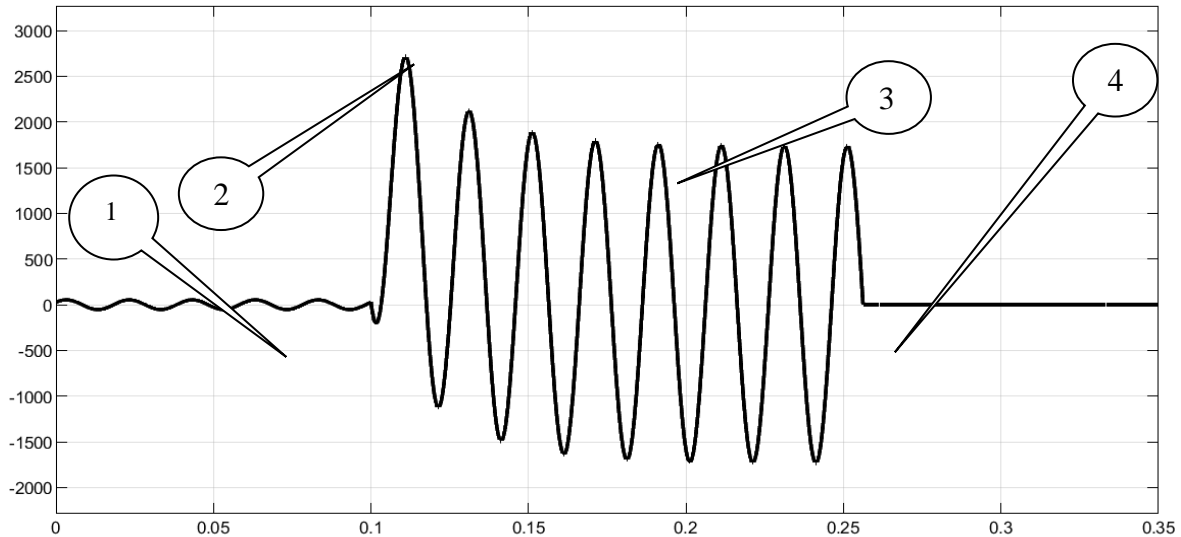


Рис. 8. Перехідні режими коротке замикання (В,С) на 0,5 кілометру від початку

З певним кроком збільшуємо довжину першої ділянки кабелю і зменшуємо другу. Таким чином, щоб їх загальна довжина відповідала

довжині кабелю 10 км. Після декількох ітерацій виходимо на ділянку 6 км рис. 9. Ударний струм позиція 2 становить понад 600 А.

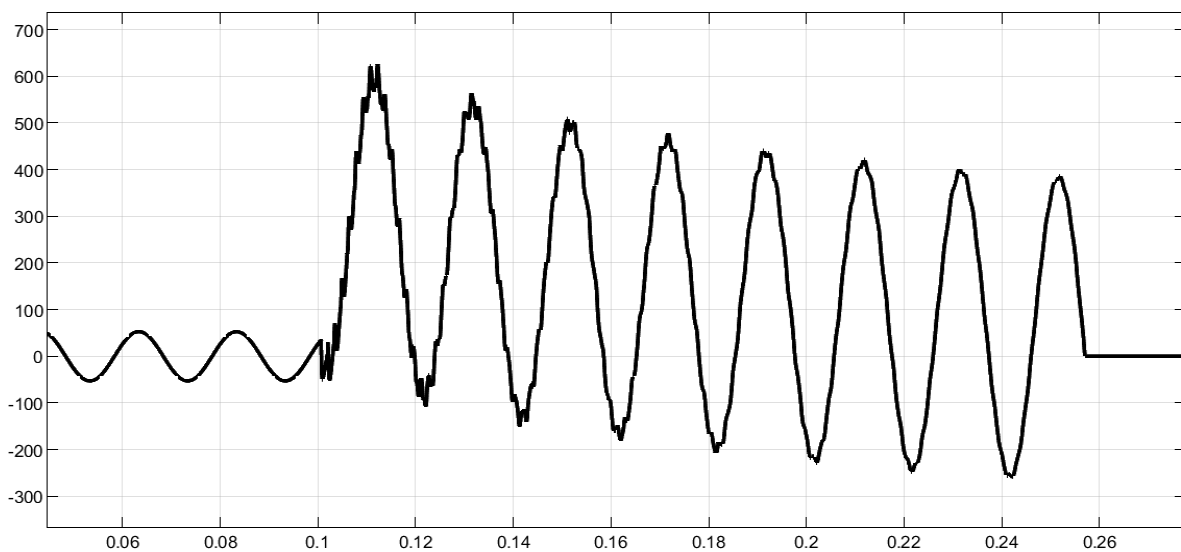


Рис. 9. Значення ударного струму на 6 км.

Для отримання необхідної точності збільшуємо масштаб (рис.10) маємо величину уда-

рного струму 625 А, що відповідає зафіксованому значенню приладом UNI-T UT255A.

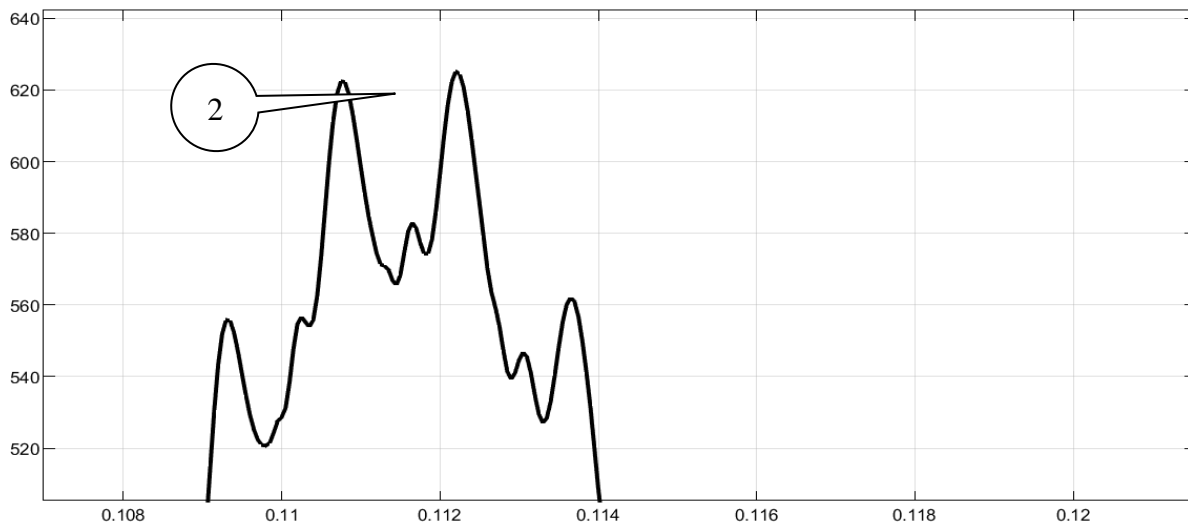


Рис. 10. Уточнення значення ударного струму на 6 км.

В певних випадках виникає необхідність знаходження місця ураження кабелю до метра. Для цього передбачені блоки 4, 5, 6. З їх допомогою враховується величина і характер навантаження до виникнення КЗ. Інформацію про величину активного і реактивного навантаження до моменту КЗ, як правило, надає відповідальний за об'єкт. Також з точністю до тисячних секунди з'ясовується момент виникнення КЗ у диспетчера (фіксується автоматично). Ці дані необхідні для точного імітування процесу КЗ, оскільки величина ударного струму і його форма залежить як від типу КЗ так і від положення точки КЗ по відношенню до синусоїди напруги (від її похідної) та від навантаження, яке було до цього.

Локалізація точки КЗ на місцевості

Для визначення місця КЗ на місцевості використовується розподільний акустичний датчик (сенсор) DistributedAcousticSensor (DAS), який являє собою стандартне телекомунікаційне волокно [13, 14]. В області очікуваної точки КЗ, по трасі кабелю розгортається оптоволоконний кабель з градуванням довжини, до 100 м. Діагностичний блок системи DAS підключається на вхід оптоволоконного кабелю рис. 11 [13, 14].

Після його вмикання, випромінювання вузькополосного лазера з довжиною хвилі 1550 нм, оптичний модулятор формує імпульси тривалі-

стю 100...400 нс потужністю в сотні мВт, які надходять в оптоволоконний кабель сенсор. В якості кабелю використовується звичайний стандартний телекомунікаційний кабель з одномодовим волокном SMF – 28.



Рис. 11. Оптична система локалізації акустичних сигналів від місця КЗ на місцевості

Розсіяний на мікроскопічних неоднорідностях волокна в точці акустичного збурення, зворотне релеєвське розсіювання утворює рефлектограму, кожна точка в якій відповідає певній точці волокна [15]. Базовий блок X5B-DAS аналізує спектр пружного розсіювання (рис. 12, [15]) відбитого від місця збурення кабелю.

Чутливість сигналу Релея достатня для фіксації подій з широким акустичним спектром, переміщення людини, земляних робіт. Акустичний сигнал з місця КЗ має набагато більшу потужність, тож піддається надійній фіксації. Акустичне збурення викликає зсув фаз в зворотнім розсіянім спектрі, яке аналізується.

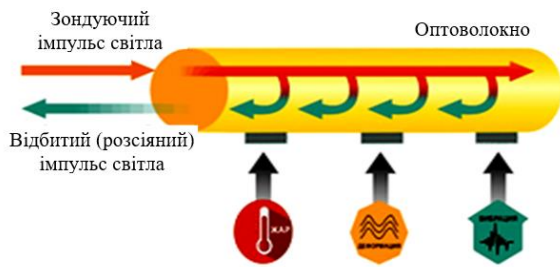


Рис. 12. Типи розсіювання в залежності від характеру збурення, відповідно Бріллюена, Рамана і Релея.

Після розгортання акустичного датчика на місцевості, по трасі прокладки кабелю і налаштуванні апаратури, знову подається напруга на кабель, виникає КЗ, приладом фіксується місце акустичного сигналу, на моніторі вказується відстань. З градування кабелю встановлюється точка КЗ. Місцеположення точки КЗ є результатом виміру тривалості часу, що минув між запуском імпульсу і отриманим розсіяним світловим імпульсом.

Зараз ведуться інтенсивні роботи, щодо об'єднання в одному волоконному кабелі розподіленого акустичного датчика і датчика по фіксації електромагнітного випромінювання, яким супроводжується місце КЗ.

Висновки

Таким чином запропонований спосіб пошуку несправності кабельної лінії типу “запливаючий пробій” має наступні переваги:

- фіксація несправності відбувається при номінальній напрузі, при натуральному КЗ. Це означає, що при повторному вмиканні кабелю (він охолоджений, ізоляція відновлена, відсутнє його навантаження), КЗ може не відбуватися. Тоді, в штатному режимі вмикається навантаження (прилад UNI-T UT255A залишається у ввімкненому стані, на підозрілій жилі). Через певний час знову КЗ. На приладі залишається значення ударного струму та подальший алгоритм відомий :

- необхідне обладнання для пошуку несправності “запливаючий пробій” переносить один оператор, для традиційних методів - необхідний транспорт, обладнаний потужною установкою для пропалювання;

- зникає необхідність самого процесу пропалювання кабелю, отже й вірогідність додаткового його ушкодження завищеною напругою.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Казанский, С.В., Матеєнко, Ю.П., Сердюк, Б.М. (2011) Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник (НТУУ “КПІ”), 216 с. Kazanskyi, S.V., Mateienko, Yu.P., Serdiuk, B.M. (2011) Nadiinist elektroenerhetychnykh system: nachal-nyi posibnyk. [Kazansky, S.V., Mateyenko, Y.P., Serdyuk, B.M. (2011) Reliability of electric power systems: an initial guide (NTUU "KPI").]. Kyiv. NTUU “KPI”. P. 216. [in Ukrainian].
2. Горященко, К.Л. (2012) Діагностика технічного стану провідникових кабельних ліній. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. № 2. С. 61-64. Horyashchenko, K.L. (2012) Diahnostyka tekhnichnoho stanu providnykovykh kabel'nykh liniy. Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. № 2. S. 61-64. [Horyashchenko, K.L. (2012) Diagnostics of the technical condition of conductor cable lines. Measuring and computing equipment in technological processes. No. 2. P. 61-64.]
3. Wang, Y., Ma, X., Zhao, L., Li, H. and Liu J. (2020) Analysis of Power Cable Fault Diagnosis and Electric Field Detection Technology Based on Computer Control System. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1574, First International Conference on Computer Applied Science and Information Technology (ICCASIT2020) 15-17 May 2020, Dalian, China.
4. Wang, Q., Tang, Ch., Wua, G. and Chenc, G. (2014) Fault location in the outer sheath of power cables. Journal of Power Technologies 94 (4), P. 250–258.
5. Transients in Electric Power Supply Systems. Textbook for institutions of higher education: under the editorship of G.G.Pivnyak / G.G.Pivnyak, I.V.Zhezhelenko, Y.A.Papaika; Ministry of Education and Science of Ukrainian, National Mining University –5-th edition, revised and expanded: Translation from Ukrainian. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2016. 382 p.
6. A Fault location on land and submarine links (AC & DC). Cigre Technical Brochure № 773. 2019. 152 p.
7. Mao, X., Xiang, B., Tu, S. (2022) Research on power penetration cable line fault location based on distributed traveling wave location technology. AIP Advances 12, 055024. doi: 10.1063/5.0093049.
8. Dmitriev, M.V. (2019) Methods or reducing the voltage induced on the cable line 6-500 kV.

- ELECTRIC POWER. Transmission and Distribution. no. 4(55). pp. 82-85.
9. Зайцев, Є.О., Блінов, І.В., Березниченко, В.О., Закусило, А.С. (2022) Засіб ідентифікації пошкодження лінії електропередавання в розподільчих електричних мережах. XVI міжнародна конференція «Вимірювання та керування в складних системах» (MCCS-2022). DOI <https://doi.org/10.31649/mccs2022.21>. Zaitsev, YE.O., Blinov, I.V., Bereznychenko, V.O., Zakusylo, A.S. (2022) Zasib identyfikatsiyi poshkodzhennya liniyi elektroperedavannya v rozpodil'chyykh elektrychnyykh merezhakh. XVI mizhnarodna konferentsiya «Vymiryuvannya ta keruvannya v skladnykh systemakh» (MCCS-2022). DOI <https://doi.org/10.31649/mccs2022.21>. Zaitsev, E.O., Blinov, I.V., Bereznychenko, V.O., Zakusylo, A.S. (2022) A tool for identifying power line damage in electrical distribution networks. XVI International Conference "Measurement and Control in Complex Systems" (MCCS-2022). DOI <https://doi.org/10.31649/mccs2022.21>.
 10. Індикатори пошкодження повітряних ліній 6 – 35 кВ Nortroll SICAME від Group. (n.d.). Retrieved from https://sicame.ua/posts?tlblog_id=119. Indykatory poshkodzhennya povitryanykh liniy 6 – 35 kV NORTROLL vid SICAME GROUP. [Indicators of damage to overhead lines 6 - 35 kV Nortroll from SICAME Group]. Retrieved from https://sicame.ua/posts?tlblog_id=119. [in Ukrainian].
 11. Панченко, А.М. (2004) Спосіб визначення максимального можливого струму при несподіваному короткому замиканні. Збірник наукових праць. Харківський військовий університет, 12, с. 148-157. Panchenko, A.M. (2004) Sposib vyznachennia maksymalno moshlyvoho strumu pry nespodiv-anomu korotkomu zamykanni. [Panchenko, A.M. (2004) A method for determining the maximum possible strum with an unsustainable short chirp.] Collection of scientific works. Kharkiv Viysk University. №12. pp.148-157. [in Ukrainian].
 12. Панченко, А.М. (2005) Метод визначення максимальних кидків струму в трансформаторі при ви-никненні КЗ в фіксовані моменти часу. Збірник наукових праць. Харківський університет Повітряних Сил, 3, с. 78-86. Panchenko, A.M. (2005) Metod vyznachennia maksimalnykh kydkiv strumu v transformatori pry vynyknenni KZ v fiksovani momenty chasu. [Panchenko, A.M. (2005) The method of determining the maximum surge current in a transformer in the event of a short-circuit failure at a fixed moment and hour.] Collection of scientific works. Kharkiv University of Air Forces №3. pp.78-86. [in Ukrainian].
 13. Khudyakov, M. M., Alekseev, V. V., Lipatov, D. S., Gur'yanov, A. N., Temyanko, V., Bubnov, M. M., Likhachev, M. E. (2020) Fiber with off-center core for SBS suppression. SOF., paper SoTu2H.5. <https://doi.org/10.1364/SOF.2020.SoTu2H.5>
 14. Distributed Acoustic/Vibration Sensing (DAS/DVS) Retrieved from <https://www.apsensing.com/technology/distributed-acoustic-sensing-das-dvs>.
 15. Gend, J., Staince, S., Blanke, M. and Jiang, Sh. (2007) Distributed fiber temperature and strain sensor using coherent radiofrequency detection of spontaneous Brillouin scattering . Apple. Opt. V. 46. P. 5928-5932. DOI: 10.1364/ao.46.005928
- Панченко Анатолій Миколайович¹**, к.т.н., доц., доцент кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки, e-mail: martensid1929@gmail.com, тел. +38 067-573-40-49, ORCID: 0000-0002-1280-2049
- Мусаїрова Юлія Дмитрівна¹**, док. філ., викладач кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки, тел. +38 050-858-55-27, e-mail: musairova2015@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7188-2085
- Зарічняк Євгенія Михайлівна¹**, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії, e-mail: zemih@ukr.net, тел. +38 050-435-66-55, ORCID: 0000-0003-1620-529X
- Євченко Володимир Володимирович¹**, курсант, e-mail: vladimirevcenko19@gmail.com, тел. +38 098-522-91-87, ORCID: 0009-0002-8341-6863
- Клименко Микола Сергійович¹**, курсант, e-mail: mr.klimenko34@gmail.com, тел. +38 093 762-74-32, ORCID: 0009-0003-5937-6221
- ¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 61023, Україна, м. Харків, вул. Сумська, 77/79.

Method for determining the locations of power cable damage

Abstract. Problem. Existing methods for remotely detecting cable damage locations, except in the case of cable breakage, have a common drawback. They are unable to accurately separate the cable core resistance from the transient resistance at the short-circuit location, leading to low accuracy in fault detection. The posterior transient resistance at the short-circuit location can vary widely, depending on when the repair crew arrives. **Goal.** The goal of this study is to propose a method for identifying the location of "floating breakdown" cable damage. **Methodology.** The method involves using short-circuit indicators to determine the type and area(s) of the short circuit. The UNI-TUT255A device, a

current clamp type, is then installed on the damaged cable core. The I_{max} option with memory is set, and the cable is switched on at the rated voltage. By comparing the recorded shock current value with the values obtained from a short-circuit model of the cable in MATLAB, the location of the damage along the length of the cable is determined. The point where the shock current value of the model matches the recorded value corresponds to the location of the short circuit. **Originality.** The proposed method addresses the challenge of locating faults in power cables, specifically those of the "floating breakdown" type. This type of cable damage, which occurs when the cable is accidentally disconnected during a short circuit, poses difficulties in detection, as traditional methods may show normal readings. The method presented in this study overcomes these limitations and provides a practical solution for identifying "floating breakdown" faults. **Practical value.** The results obtained from this method allow for the accurate detection of faults at the nominal voltage, without the need for burning the cable. This reduces the probability of additional damage caused by overvoltage. Furthermore, the method requires only one operator to carry the necessary equipment, eliminating the need for transport with powerful burning installations typically used in traditional methods.

Key words: floating breakthrough; short circuit indicators; short circuit; transitional processes; Raman scattering; shock current.

Panchenko Anatoliy¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Electrotechnical Systems of Weapons Complexes and Military Equipment, e-mail: martensid1929@gmail.com, tel. +38 067-573-40-49, ORCID: 0000-0002-1280-2049

Musairova Yuliia¹, PhD, Teacher of Department of Electrotechnical Systems of Weapons Complexes and Military Equipment, e-mail: musairova2015@gmail.com, tel. +38 050-858-55-27, ORCID: 0000-0002-7188-2085

Zarichniak Yevheniia¹, researcher of the research laboratory, e-mail: zemih@ukr.net, tel. +38 050-435-66-55, ORCID: 0000-0003-1620-529X

Yevchenko Volodymyr¹, cadet, e-mail: vladimirevcenko19@gmail.com, tel. +38 098-522-91-87, ORCID: 0009-0002-8341-6863

Klymenko Mykola¹, cadet, e-mail: mr.klimenko34@gmail.com, tel. +38 093 762-74-32, ORCID: 0009-0003-5937-6221

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79, Sumska str., Kharkiv, 61023, Ukraine.