

Бедерак Ярослав Семенович, канд. техн. наук, начальник лабораторії цеху електропостачання Приватного акціонерного товариства "АЗОТ", 096 036 66 82, yaroslav0768@gmail.com

Бусел Сергій Михайлович, майстер цеху електропостачання Приватного акціонерного товариства "АЗОТ", 0472 392543, busel@azot.ck.ua

Вул. Героїв Холодного Яру, 72, ПрАТ «АЗОТ», м. Черкаси, Україна, 18028

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПІДВИЩЕНОГО ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ НА ОДНІЙ З ЖИЛ КАБЕЛЮ З ПАПЕРОВО-МАСЛЯНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ НАПРУГОЮ 6 (10) кВ

Анотація. У публікації розглянуто одне із актуальних питань щодо обслуговування кабелю з паперово-масляною ізоляцією - визначення місця пошкодження кабелю, у якого одна з жил характеризується підвищеним перехідним опором. Обґрунтовано етапи знаходження місця пошкодження. Запропоновано метод визначення струму і напруги кабелю з виявленою дефектною жилою тільки за табличними даними кабелів без урахування опору навантаження, живлячого трансформатора і системи. Створено та розраховано модель дефектного кабелю. Обґрунтовано спрацювання захисту від замикань на землю в кабельній лінії з дефектом. Описано способи знаходження місця дефекту в кабелі, прокладеного як у землі, так і на естакаді. Запропоновано заходи, що сприяють виявленню кабелю з підвищеним перехідним опором на одній з жил при експлуатаційних профілактичних випробуваннях. Визначено причини появи дефектів у кабелях. Описано основні з них, такі як, механічні або корозійні ушкодження, заводські дефекти, дефекти монтажу сполучних та кінцевих муфт, висихання ізоляції внаслідок місцевих перегрівань кабелю та старіння ізоляції. Розглянуто широко поширені методи визначення місця ушкодження кабельної лінії - імпульсний, індукційний, пропалення, петльовий та акустичний. Описано способи знаходження місця знаходження дефекту в кабелі, прокладеного як у землі, так і на естакаді. Надано характеристику методу контролю стану високовольтної ізоляції «за частковими розрядами» (ЧР) (їх наявністю, кількістю, амплітудою та фазовим розподілом щодо синусоїди промислової частоти). Визначено, що цей метод чутливий до дефектів, що знаходяться на початковій стадії свого виникнення та розвитку і може вказувати на відстань від місця підключення спеціальних датчиків. Розроблено пропозиції до зміни чинних нині нормативних документів щодо вимог про вимірювання довжини кабельної траси рефлектометром на кожній фазі для попередження обриву кабелю та вимірювання опору постійному струму між фазами кабельної лінії на початку лінії при закороченому її кінці, що дозволить своєчасно виявити кабель, одна з жил якого має підвищений перехідний опір.

Ключові слова: кабель з паперово-масляною ізоляцією, опір постійному струму, схема заміщення, сполучна та кінцева муфти.

Bederak Yaroslav, Ph. D., head of the laboratory of the power Supply of the Private Joint-Stock Company "AZOT", 096 036 66 82, yaroslav0768@gmail.com

Busel Sergei, engineer of the power Supply of the Private Joint-Stock Company "AZOT", 0472 39 25 43, busel@azot.ck.ua

Str.Heroes of Kholodny Yar, 72, PJ-S Company «AZOT», Cherkassy, Ukraine, 18028

DETERMINATION OF THE LOCATION OF THE INCREASED TRANSITIONAL RESISTANCE OF THE CABLE WITH PAPER-OIL INSULATION FOR VOLTAGE 6 (10) KV

Abstract. The publication deals with the problem of determining the location of damage to a cable with paper-oil insulation, in which one of the cores is characterized by increased transient resistance. A model of the defective cable was created and calculated. The stages of finding the place of damage are substantiated. Proposed a method of determining the current and voltage of the detected cable with a defective core only according to the tabular data of the cables without taking into account the resistance of the load, the power transformer and the system. A model of the processes taking place in KL has been developed. Methods of determining the location of damage to a cable with paper-oil insulation, laid by an overpass or in the ground, one of whose cores is characterized by increased transient resistance, are considered. Proposals have been developed to change the currently valid regulatory documents regarding the requirement to measure the length of the cable route with a reflectometer at each phase to prevent cable breakage and measure the direct current resistance between the phases of the cable line at the beginning of the line when its end is shorted, which will allow timely detection of the cable, one of the cores which has an increased transient resistance. The activation of the protection against short circuits to the ground in the cable line with a defect is substantiated. Methods of finding the location of the defect in the cable laid both in the

ground and on the overpass are described. Measures are proposed to help detect a cable with increased transient resistance on one of the cores during operational preventive tests.

Keywords: oil-paper insulated cable, DC current resistance, equivalent circuit, connecting and end cable sleeves.

Бедерак Ярослав Семенович, канд. техн. наук, начальник лаборатории цеха электроснабжения Частного акционерного общества «АЗОТ», 096 036 66 82, yaroslav0768@gmail.com

Бусел Сергей Михайлович, мастер цеха электроснабжения Частного акционерного общества «АЗОТ», 0472 392543, busel@azot.ck.ua

Ул. Героев Холодного Яра, 72, ЧАО «АЗОТ», г. Черкассы, Украина, 18028

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВЫШЕННОГО ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОДНОЙ ИЗ ЖИЛ КАБЕЛЯ С БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 (10) КВ

Аннотация. В публикации рассмотрена проблема определения места повреждения кабеля с бумажно-масляной изоляцией, у которого одна из жил характеризуется повышенным переходным сопротивлением. Создана и рассчитана модель дефектного кабеля. Обоснованы этапы нахождения места повреждения. Предложен метод определения тока и напряжения обнаруженного кабеля с дефектной жилой только по табличным данным кабелей без учета сопротивления нагрузки, питающего трансформатора и системы. Разработана модель процессов, происходящих в КЛ. Рассмотрены способы определения места повреждения кабеля с бумажно-масляной изоляцией, проложенным эстакадой или в земле, одна из жил которых характеризуется повышенным переходным сопротивлением. Разработаны предложения по изменению действующих ныне нормативных документов относительно требований требования об измерении длины кабельной трассы рефлектометром на каждой фазе для предупреждения обрыва кабеля и измерения сопротивления постоянному току между фазами кабельной линии в начале линии при укороченном ее конце, что позволит своевременно обнаружить кабель, одна из жил которого имеет повышенное переходное сопротивление. Обоснованы срабатывания защиты от замыканий на землю в кабельной линии с дефектом. Описаны способы нахождения места нахождения дефекта в кабеле, проложенного как в земле, так и на эстакаде. Предложены меры, способствующие выявлению кабеля с повышенным переходным сопротивлением на одной из жил при эксплуатационных профилактических испытаниях.

Ключевые слова: кабель с бумажно-масляной изоляцией, сопротивление постоянному току, схема замещения, соединительная и концевая муфты.

Вступ. Кабельна лінія (КЛ) напругою 6 (10) кВ – це лінія електропередачі, що складається з одного або кількох паралельних силових кабелів із сполучними та кінцевими муфтами, кріпильних деталей. КЛ прокладається згідно з вимогами технічної документації у землі, в коробах, на лотках кабельних тунелів та естакад, а також безпосередньо по поверхні стін та стель та у порожнечах будівельних конструкцій або іншим способом.

Для прокладення як у радянський, так і в даний час використовують кабелі з алюмінієвими або мідними струмопровідними жилами з паперовою ізоляцією, просоченою в'язким або нестікаючим складом, в алюмінієвій або свинцевій оболонці, із захисними покриттями або без них. Такі кабелі призначені для передачі та розподілу електроенергії у стаціонарних установках в електричних мережах на напругу до 10 кВ змінного струму частотою 50 Гц або в електричних мережах постійного струму.

У сучасних умовах безперервно зростають вимоги до надійності та безперебійності електропостачання на об'єктах енергетики. Вихід з ладу КЛ призводить до недовипуску продукції, неминучих матеріальних та фінансових втрат, що змушує шукати найбільш ефективні способи усунення пошкоджень. Правильний вибір методу і устаткування для пошуку місць

ушкоджень визначають якість рішення поставленої задачі, тобто, максимальну ймовірність правильного визначення місця пошкодження та мінімальний час, що витрачається на це.

Причини появи дефектів у кабелях дуже різноманітні. Основні з них: механічні або корозійні ушкодження, заводські дефекти, дефекти монтажу сполучних та кінцевих муфт, висихання ізоляції внаслідок місцевих перегрівань кабелю та старіння ізоляції.

Практично будь-який дефект високовольтної ізоляції призводить до виникнення «часткових розрядів» невеликої потужності, які перекривають тільки частину основного ізоляційного проміжку. Чим більша зона дефекту, тим вища інтенсивність та амплітуда імпульсів часткових розрядів. На даний момент широко поширені такі методи визначення місця ушкодження кабельної лінії як імпульсний, індукційний, пропалення, петльовий та акустичний [1].

Останнім часом почали застосовувати такий метод діагностики як метод контролю стану високовольтної ізоляції «за частковими розрядами» (ЧР) (їх наявністю, кількістю, амплітудою та фазовим розподілом щодо синусоїди промислової частоти), який чутливий до дефектів, що знаходяться на початковій стадії свого виникнення та розвитку, і може вказувати на відстань від місця підключення спеціальних датчиків.

Дуже важливим є точне визначення місця пошкодження кабельної лінії, особливо в умовах промислових підприємств, міста або в зимовий час, оскільки дозволяє значно скоротити площу ґрунту, якого треба розрити [2-5].

При великій щільності прокладання кабельних ліній, що притаманно для великих промислових підприємств і міст, точне визначення місця ушкодження на кабельній трасі під силу лише фахівцям - професіоналам, які мають багаторічний досвід визначення ушкоджень кабельних ліній.

Основна частина досліджень. На початку 2022 року на приєднанні (фідері) 19Г (живлення ввода №1 на підстанцію 13 котельного цеху) 1 секції шин 6 кВ головної понижуючої підстанції (ГПП) №2 спрацював на сигнал захист від замикання на землю (ЗЗЗ) у мережі 6 кВ.

3 кабелі марки ААШв-6 перетином 150 мм² прокладені з ГПП 2 до підстанції 13 в основному по кабельній естакаді. Довжина КЛ $l=1680$ м. ЗЗЗ виконано на реле ЕТД-551/60. Робота реле була перевірена, реле справно. Температура навколишнього середовища +20°С.

Після цього КЛ була випробувана пофазно підвищеною випрямленою напругою 30 кВ протягом 5 хвилин.

Кабельна лінія випробування витримала, опір ізоляції до і після випробувань по фазах однаковий і по відношенню до землі $R_{ізол. (ф. А-земля)}=R_{ізол. (ф. В-земля)}=R_{ізол. (С-земля)}=1000$ МОм та між фазами $R_{ізол. (А-В)}=R_{ізол. (В-С)}=R_{ізол. (С-А)}=800$ МОм. Після цього був виміряний опір двох жил кабелю попарно з боку ГПП 2 при підключенні жил кабелів до комірки підстанції 13 спочатку мультиметром, потім мікроомметром, а потім

мегаометром на напругу 2500 В. Опір між фазами $R(A-C)=R(B-C)$ перевищував межу вимірювань мультиметра та мікроомметра (становив 3,2 Ома), а опір між фазами $R(A-B)=0,2$ Ом.

Результат виміру показує, що на фазі С кабельної лінії є погане контактне з'єднання. Після від'єднання кабелів від шин у шафах КРУ підстанцій 2 і 13 та подальшого вимірювання опору між фазами мікроомметром був виявлений кабель з дефектною жилою (кабель №3 КЛ). Кабель №3 від'єднали з обох кінців КЛ (від шин на ГПП та на підстанції 13).

Знаходження місця пошкодження доцільно провести в три етапи:

1 етап. Моделювання процесу в кабельній лінії.

2 етап. Аналіз ситуації з визначенням ймовірного місця ушкодження та способів вирішення проблеми.

3 етап. Безпосередньо знаходження місця пошкодження на місцевості.

1 етап.

Так як дефект спостерігається тільки на КЛ, то визначаються струми і напруги тільки за табличними даними кабелів без урахування опору навантаження, живлячого трансформатора і системи. Цей захід дозволить змоделювати процеси, що відбуваються в КЛ.

Доцільно провести розрахунок симетричного та несиметричного режиму роботи КЛ.

Симетричний режим.

Активний опір кабелю при температурі кабелю $+20^{\circ}\text{C}$ визначається за формулою:

$$R = r_0 \cdot l, \quad (1)$$

де l - довжина кабельної лінії в км, r_0 - активний опір при $+20^{\circ}\text{C}$, Ом/км.

Індуктивний опір кабелю при температурі кабелю $+20^{\circ}\text{C}$ визначається за формулою:

$$X = x_0 \cdot l, \quad (2)$$

де x_0 - індуктивний опір при $+20^{\circ}\text{C}$, Ом/км.

Для кабелю напругою 6-10 кВ у симетричному схема заміщення на одну фазу являє собою послідовне з'єднання активного та індуктивного опорів. Якщо температура відрізняється від 20°C , необхідно активні опори жили кабелю перерахувати за формулою:

$$R_0^t = r_0^{20} [1 + \alpha(t - 20)],$$

де r_0^{20} - нормативне значення опору при $t = 20^\circ \text{C}$, Ом; α – температурний коефіцієнт електричного опору, 1/градус (для міді та алюмінію $\alpha=0,00403$).

Для наведених у статті вихідних умов готуються наступні дані.

Переводяться електрорушійні сили (ЕРС) фаз А, В та С у показову форму:

$$\dot{E}_A = \frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^\circ} = 3464,1B; \dot{E}_B = \frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j120^\circ} = 3464,1e^{-j120^\circ} B; \dot{E}_C = \frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot e^{j120^\circ} = 3464,1e^{j120^\circ} B.$$

За формулами (1) і (2) розраховуються активний та індуктивний опір жили одного кабелю [2] (для марки кабелю ААШв-6 перетином 150 мм^2 $r_0=0,206 \text{ Ом/км}$ та $x_0=0,074 \text{ Ом/км}$):

$$R_1 = r_0 \cdot l = 0,206 \cdot 1,68 = 0,346 \text{ Ом} \text{ і } X_1 = x_0 \cdot l = 0,074 \cdot 1,68 = 0,124 \text{ Ом}.$$

Оскільки КЛ складається з трьох кабелів, то $R=R_1/3=0,346/3=0,115 \text{ Ом}$ та $X=X_1/3=0,041 \text{ Ом}$. Тоді $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = 0,115 + j0,041$.

У кожній фазі КЛ розраховуються модуль струму:

$$I_A = I_B = I_C = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = 28373 \text{ А}.$$

Струм небалансу $I_{нб}$ для справного кабелю дорівнює 0 ($I_{нб} = I_A + I_B + I_C = 0$).

Несиметричний режим.

Для несиметричного кола опори навантаження у фазах не рівні між собою.

Для обчислень зазвичай використовують метод вузлових потенціалів (рис. 1)[3].

Потенціал точки приймається рівним нулю для потенціалу точки n складається рівняння: $N(\dot{\phi}_N = 0)$,

$$\dot{\phi}_n \left(\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C} \right) = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_A} + \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_B} + \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_C}.$$

з якого потенціал знаходиться як:

$$\dot{\phi}_n = \left(\frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_A} + \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_B} + \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_C} \right) / \left(\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C} \right). \quad (3)$$

Лінійні струми рівні

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{\varphi}_n}{\underline{Z}_A}, \dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{\varphi}_n}{\underline{Z}_B}, \dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{\varphi}_n}{\underline{Z}_C}. \quad (4)$$

Фазна напруга

$$\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{\varphi}_n, \dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{\varphi}_n, \dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{\varphi}_n. \quad (5)$$

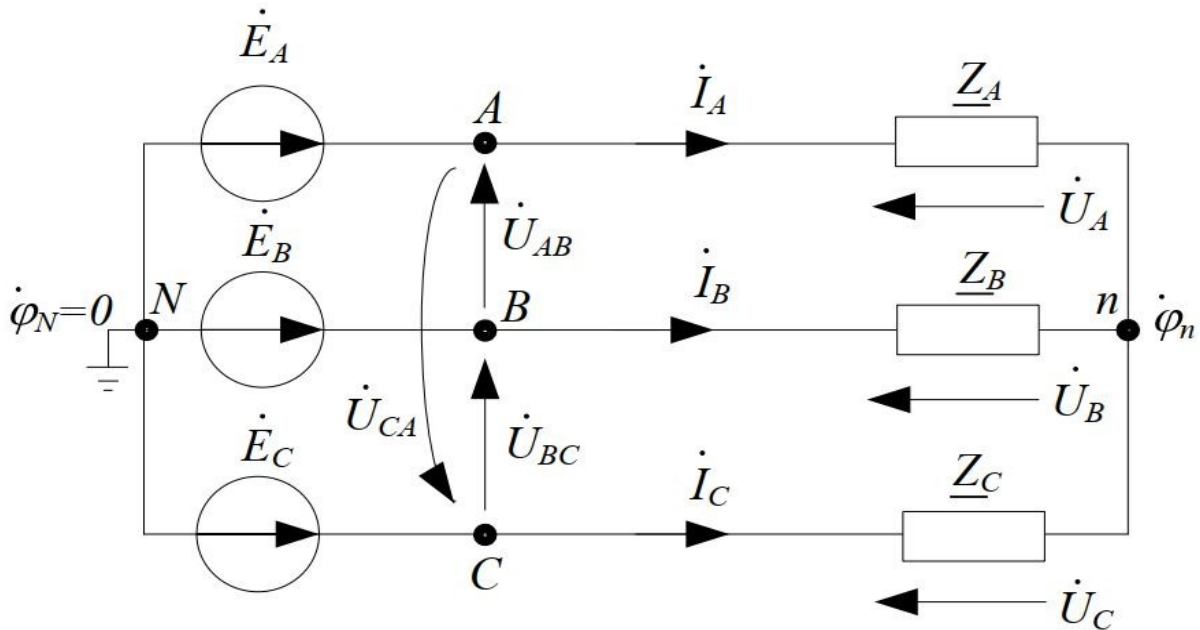


Рис. 1. Схема застосування методу вузлових потенціалів

Комплексні опори фаз А та В рівні $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = 0,115 + 0,041j$.

Активний опір фази С кабелю №1 за даними вимірювань приймається рівним 3,0 Ом, активні опори кабелів №2 та №3 дорівнюють 0,346 Ом. Індуктивні опори всіх трьох кабелів дорівнюють 0,124 Ом. Усі три кабелі включені паралельно. Шляхом розрахунків визначається комплексний опір фази С.

$$\underline{Z}_C = 0,511 + 0,207j.$$

Підставивши значення комплексних опорів і ЕРС фаз А, В, С у формули 3-5, отримаємо такі значення:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_n &= 4099,127 + 16,884j; \\ \dot{I}_A &= -4945,682 + 1616,426j, \dot{I}_B = -15442,002 - 12130,225j, \dot{I}_C \\ &= -791,47 + 4223,573j; \\ \dot{U}_A &= -635,027 - 16,884j, \dot{U}_B = -1278,721 - 2028,18j, \dot{U}_C = \\ &= -1278,721 + 1999,412j. \end{aligned}$$

Струм небалансу $I_{нб}$ для дефектного кабелю не дорівнює 0 ($I_{нб} = I_A + I_B + I_C \neq 0$), чим і спричинено спрацювання захисту від замикань на землю на фідері 19Г підстанції 2.

2 етап.

Такий дефект вказує, що поганий контакт на кабелі, прокладеному по естакаді, може бути тільки на гільзі сполучних муфт або наконечнику кінцевих муфт. Методи визначення місць пошкодження кабельних ліній (імпульсний, індукційний, пропалення, акустичний, петльовий), що застосовуються в даний час, місце дефекту без попереднього пропалювання дефектної жили кабелю визначити не можуть. Ось пристрій контролю часткових розрядів за його наявності може вказати на відстань від місця підключення датчика на ГПП. Таким чином, для визначення місця поганого контакту необхідно мати прилад контролю часткових розрядів.

Якщо кабель прокладений у землі, то місце підвищеного контакту може бути у заболоченому чи наповненому водою місці.

3 етап.

Є три способи вирішити проблему для кабелю, прокладеного у землі.

Перший спосіб (неправильний). Загрубити захист від замикання на землю (ЗЗЗ) (або працювати при блінкері ЗЗЗ) і включити лінію під напругу. Але це, вважаємо, неправильно, тому що рано чи пізно станеться багатофазне замикання на землю, яке призведе до короткого замикання в мережі 6 кВ, провалу напруги в мережі, недовипуску продукції та відключення споживачів.

Другий спосіб – знайти місце пошкодження. Знаходження місця пошкодження полягає у пропалюванні дефектної жили кабелю (він може проводитися тривалий час) та застосуванні після пропалювання імпульсного, індукційного або акустичного методів.

Третій спосіб – шукати місця прокладання муфт по трасі кабелю. Але це трудомістка операція.

Для кабелю, котрий прокладений по естакаді, є також три шляхи вирішення такої ситуації.

Перший варіант (неправильний). Загрубити захист від замикання на землю (ЗЗЗ) (або працювати при блінкері ЗЗЗ) і включити лінію під напругу. Але це, вважаємо, неправильно, тому що рано чи пізно станеться одно- або багатофазне замикання, яке призведе до короткого замикання в мережі 6 кВ, провалу напруги в мережі, недовипуску продукції та відключення споживачів.

Другий варіант. Визначити місця дефекту на муфті кабелю.

Послідовність робіт така.

Спочатку необхідно встановити переносне заземлення у відсіку трансформаторів струму (ТС) або включити заземлюючі ножі (у нашому

випадку в комірці 19Г ГПП 2 і в комірці вводу на підстанцію 13). Цей захід з'єднує в одну точку протилежні кінці кабелю.

Опір постійному струму з'єднаних послідовно двох жил дорівнюватиме в нашому випадку:

$$R_{AB} = 2\rho \frac{l}{S},$$

де ρ – питомий опір алюмінію ($0,28 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$); l – довжина кабелю, м; S – переріз жили кабелю, мм^2 .

Для зазначених довжини та перерізу $R_{AB} = 2 \cdot 0,28 \cdot \frac{1680}{150} = 0,63 \text{ Ом}$. Там, де немає дефекта (на жилах А і В) опір постійному струму послідовно з'єднаних жил А та В $R(A-B) = 0,63 \text{ Ом}$, а де є дефект, то вимірний опір між фазами $R(A-C) = R(B-C)$ перевищує межу вимірювань мікроомметра (опір дорівнює 3,315 Ом). В середині кабелю опір його на жилах А і В в одну чи іншу сторону складе $R(A-B) = 0,315 \text{ Ом}$.

Для знаходження місця пошкодження необхідно спочатку скласти план прокладання кабелю за допомогою генератора звукових хвиль і приймача звукової частоти, на плані вказати кінцеві і сполучні муфти (рис. 1) і методом дихотомії (половинного поділу) спочатку розрізати сполучну муфту 5 (рис. 1). В сторону обох кінців кабелю від муфти 5 однакове число з'єднувальних муфт. Потім необхідно виміряти опір постійному струму в обидві сторони. Там, де немає дефекту опір між жилами А і В буде приблизно буде рівним і для вихідних даних:

$$R(A-B) \approx \frac{0,315}{2} = 0,157 \text{ Ом}, \text{ де є дефект, то опір між фазами } R(A-C) = R(B-$$

С) перевищуватиме межу вимірювань мікроомметра (становить у нашому випадку кілька Ом).

Третій варіант – найоптимальніший. За наявності приладу контролю ЧР його підключають до наконечників кабелю 6 кВ ГПП 2 і визначається довжина до місця погіршення контакту. Але для цього необхідна наявність приладу контролю часткових розрядів у кабельних лініях напругою від 6 до 35 кВ типу "Frida" фірми "Baur" або аналогічне їм обладнання. На жаль, таких приладів в Україні небагато.

Для конкретного випадку, вказаного вище, через відсутність на підприємстві, на якому працюють автори публікації, приладу моніторингу ЧР, довелося вибрати другий варіант. Був визначений необхідний кабель на естакаді за допомогою генератора звукових хвиль та приймача звукової частоти. Пройшовши вздовж траси, виявилось, що на кабелі 7 сполучних муфт та 2 кінцевих. Саме у цих місцях наймовірніше може бути порушено контакт.

Для визначення місця поганого контакту обрізали кабель з двох сторін муфти 4. Був вимірний опір постійному струму. Дефектна ділянка виявилася від ГПП 2 до муфти 4 (рис. 1). Потім та сама процедура проводилася з муфтою 2. Пошкодження виявилось на епоксидній сполучній муфті 3.

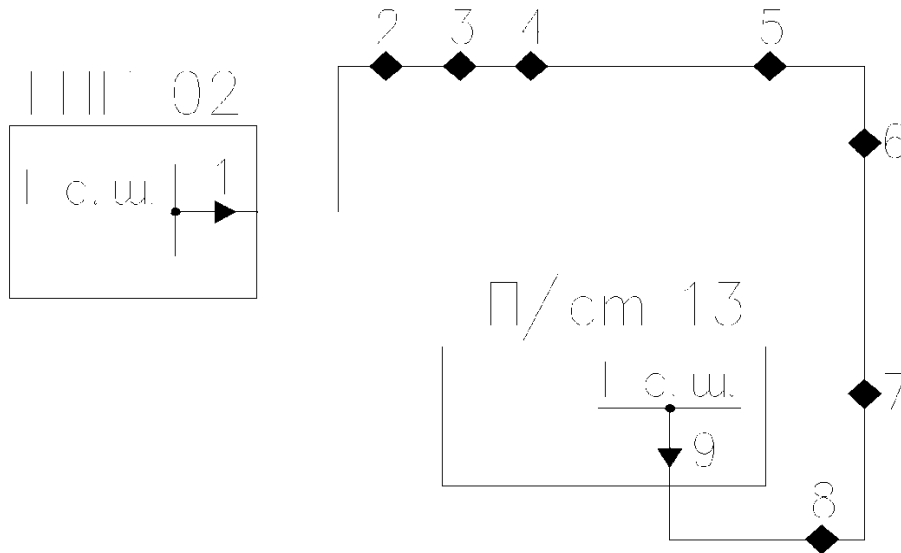


Рис. 1. Схема прокладення кабелю №3 з ГПП 2 до підстанції 13.

На рис. 1 трикутником позначені кінцеві муфти, а ромбом – сполучні. Сполучна муфта типу СЕФ 103х150 була розкрита. Загальний вигляд начинки сполучної муфти вказано на рис. 2.



Рис. 2. Зовнішній вигляд гільзи сполучної муфти.

Візуальний огляд показав, що з одного боку дроти, які утворюють жилу кабелю, вставлені в гільзу і добре пропаяні (див. рис. 3а). А з іншого боку

гільзи монтажники не вжили заходів з попередження витікання припою та весь припій з нижньої сторони гільзи витік. Таким чином, утворилося місце поганого контакту (див. рис. 3б), яке почало нагріватися.



а) вид зверху на гільзу



б) вид знизу на гільзу

Рис. 3. Місце на гільзі сполучної муфти, на якому був поганий контакт.

Коли дефектну муфту 3 вирізали, результати вимірювання опору спочатку (позначається 1) і в кінці епоксидної муфти (позначається 2) постійному струму на одній і тій же фазі наступні:

$$R(A1-A2) = R(B1-B2) = 0,2 \text{ Ом, а } R(C1-C2) = 3 \text{ Ом.}$$

Вважаємо за доцільне до Додатку 1 до Правил [6] та до нормативного документа [7] при поточному або капітальному ремонті кабельних ліній включити вимогу проводити вимірювання довжини кабельної траси рефлектометром на кожній фазі для попередження обриву кабелю та вимірювати опір постійному струму між фазами кабельної лінії при закороченому її кінці.

Вимірний опір повинен бути не більше ніж на 10% за значення опору, розрахованого за формулою:

$$R_{AB} = 2\rho \frac{l}{n \cdot S},$$

де n – кількість кабелів у кабельній лінії. Перевищення опору викликано наявністю сполучних муфт, на яких перехідний опір має невеликі значення.

Висновки. 1. Розглянуто способи визначення місця пошкодження кабелю з паперово-масляною ізоляцією, прокладеним естакадою або в землі, одна з жил якого характеризується підвищеним перехідним опором.

2. Запропоновано внести до чинних нині нормативних документів вимоги про вимірювання довжини кабельної траси рефлектометром на кожній фазі для попередження обриву кабелю та вимірювання опору постійному струму між фазами кабельної лінії на початку лінії при закороченому її кінці, що дозволить своєчасно виявити кабель, одна з жил якого має підвищений перехідний опір.

Список використаної літератури:

1. Дементьев В.С. Как определить место повреждения в силовом кабеле. – М.: Энергоатомиздат, 1980. – 72 с.
2. URL: <https://skomplekt.com/kak-najti-mesto-povrezhdenija-kabelja-pod-zemlej>.
3. URL: <https://samelectrik.ru/kak-najti-mesto-povrezhdeniya-kabelya-obzor-metodik.html>
4. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електрообладнання на електричних станціях та підстанціях. Методичні вказівки для студентів спеціальності 6.090600 “Електричні системи та мережі”. / Укл.: Буйний Р.О., Ананьєв В.М., Тисленко В.В. – Чернігів: ЧДТУ, 2004 – 70с.
5. Теоретичні основи електротехніки: Збірник задач: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І. Н. Намацалюк, Ю. В. Перетятко. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 112 с.
6. Нормативний документ Мінпаливенерго України «Норми випробування електроустаткування» СОУ-Н ЄЕ 20.302:2020, затверджений Наказом Міністерства енергетики та захисту довкілля України від 06.04.2020 № 224.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Міністерства палива та енергетики України 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості 13.02.2012 № 91) з Намін12 №905.

References:

1. Dementyev V.S. How to determine the location of damage in a power cable. M: Energoatomizdat. 1980. 72 p.
2. Available at: <https://skomplekt.com/kak-najti-mesto-povrezhdenija-kabelja-pod-zemlej>.
3. Available at: <https://samelectrik.ru/kak-najti-mesto-povrezhdeniya-kabelya-obzor-metodik.html>
4. Calculation of short-circuit currents and selection of electrical equipment at power stations and substations. Methodychni vkazivky dlia studentiv spetsialnosti 6.090600 “Elektrychni systemy ta merezhi”. Ukl.: Buynyi R.O., Ananiev V.M., Tyslenko V.V. – Chernihiv. ChDTU, 2004. 70 p.
5. Theoretical foundations of electrical engineering: Collection of exercises. [Elektronnyi resurs]: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika» / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: I. N. Namatsaliuk, Yu. V. Peretiatko. – Elektronni tekstovi dani. – Kyiv. KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. 112 p.
6. Normative document of the Ministry of Energy of Ukraine "Standards for the production of electrical equipment" SOU-N EE 20.302:2020, approved by the Order of the Ministry of Energy and environmental Protection of Ukraine dated April 06, 2020 № 224.
7. Regulations for the technical operation of power plants from those who survived, approved by the order of the Ministry of Energy of Ukraine on July 25, 2006, № 258 (at the editorship of the Ministry of Energy and Industry of Ukraine, dated February 13, 2012, no. 91) № 905.

Надійшла до редакції 05.06.2022р.