Metody wykrywania uszkodzeń w kablach elektroenergetycznych

1. Metody podania odległości uszkodzenia od punktu pomiaru

Mozna stosowac jedną z trzech metod:

- odbicia impulsów niskonapięciowych reflektometru (TDR),
- odbicia impulsów niskonapięciowych od łuku ARM,
- impulsu prądowego (Surge IC).

1.2. Odbicia impulsów niskonapięciowych reflektometru (TDR)

Reflektometr jest elektronicznym przyrządem pomiarowym służącym głównie do pomiarów długości i tłumienności przewodów miedzianych oraz włókien światłowodowych. Reflektometry można podzielić na:

- reflektometry do żył przewodów miedzianych zwane TDR (ang. *Time-Domain Reflectometer*),
- reflektometry optyczne do badania torów światłowodowych zwane OTDR (ang. *Optical Time-Domain Reflectometer*).

Działanie reflektometru polega na porównaniu parametrów impulsu pomiarowego wysyłanego w kierunku miejsca badanego z impulsem powrotnym, odbitym od końca przewodu lub od jego niejednorodności, np. miejsca łączenia lub uszkodzenia. Na podstawie pomiaru czasu powrotu sygnału odbitego i charakteru jego odkształceń można z dużą dokładnością ocenić długość przewodu, jego budowę, rodzaj uszkodzeń – czy jest to przerwa lub zwarcie itp. oraz inne jego parametry.

Rys. 2. Lokalizator LKZ-700 firmy Sonel – pozwala określić zarówno przebieg trasy przewodów, jak również miejsca występujących w nich uszkodzeń (przerwa, zwarcie)

Najnowsze reflektometry to urządzenia mikroprocesorowe wyposażone w wyświetlacz LCD lub diodowy, które w sposób mniej lub bardziej automatyczny potrafią zmierzyć,

przetworzyć i wyświetlić pełne dane dotyczące parametrów badanego kabla. Nowoczesne cyfrowe reflektometry przeznaczone są do lokalizowania uszkodzeń w instalacjach niskiego i średniego napięcia. Niektóre modele cechuje bardzo przyjazny dla użytkownika interfejs oparty o kolorowy wyświetlacz pracujący w rozdzielczości VGA. Jako akcesoria oferowane są przystawki pozwalające na lokalizowanie uszkodzeń w wysokoomowych kablach symetrycznych. Wyniki badań podawane są na wyświetlaczu w formie wykresów. Najczęściej przewidziane są dwa tryby wyświetlania reflektogramów. W trybie pierwszym na pełnym ekranie wyświetlana jest trasa badanego kabla. Po naciśnięciu odpowiedniego przycisku wyświetlą się dwa obrazy. Na górnej połowie ekranu ukaże się pełny reflektogram badanego kabla, zaś na dolnej wybrany fragment kabla, który może być powiększany i analizowany z uwzględnieniem szczegółów. W bardziej zaawansowanych technologicznie reflektometrach przewidziano możliwość kompensacji impulsu wejściowego. Tym sposobem uzyskuje się optymalne dostosowanie reflektometru do impedancji mierzonego kabla. Dzięki temu mogą być również wykrywane uszkodzenia znajdujące się w niewielkiej odległości od lokalizatora. W niektórych modelach reflektometrów cyfrowych przewidziano trzy tryby pracy: w trybie Quick Steps przyrząd wykonuje pomiary samoczynnie i wyniki wyświetla na ekranie monitora z możliwością ich wydrukowania. Funkcja Step-by-Step Easy Mode pozwala na wykorzystanie menu, które krok po kroku prowadzi przez proces badania kabla. Trzeci tryb to Expert Mode, który przewiduje dowolne ustawianie parametrów.

1.3. Odbicie impulsów niskonapięciowych od łuku ARM

Kolejna metoda stosowana do wykrywania uszkodzeń w kablach to odbicie impulsów niskonapięciowych od łuku ARM (ang. *Arc Reflection Method*). Sposób ten zazwyczaj wykorzystuje się w miejscach, w których nie można zastosować reflektometru. Metoda ta oparta jest na wysyłaniu impulsu niskonapięciowego o znacznej energii, który powoduje zapalenie łuku elektrycznego w miejscu uszkodzenia. Następnie wysyłane są przez reflektometr impulsy niskonapięciowe, które odbijają się od łuku. Odbicia tych impulsów są analizowane przez reflektometr.

Rys. 3. Lokalizator tras kablowych, znaczników i uszkodzeń 3M Dynatel 2273M

1.4. Metoda impulsu prądowego (Surge IC)

Jeżeli rezystancja łuku jest większa od 200Ω, to metoda ARM jest zawodna. Wówczas stosuje się metodę impulsu prądowego – Surge IC. Polega ona na generowaniu impulsu o znacznej energii przy napięciu dochodzącym do 16 kV, który powoduje zapalenie łuku w miejscu uszkodzenia. Analizie poddawane są stany nieustalone (oscylacje) prądu. Do obwodu włączany jest sprzęg, pełniący rolę bocznika. Uzyskiwany dzięki temu sygnał jest rejestrowany i analizowany.

2. Metoda trasowania kabli

Metoda trasowania (lokalizowania uszkodzeń) różni się od metody reflektometru tym, że operator nie analizuje parametrów badanego kabla w miejscu przyłączenia do niego przyrządu pomiarowego, lecz przemieszcza się wraz z przyrządem pomiarowym wzdłuż trasy badanego kabla. Wyznaczana jest rzeczywista trasa kabla w ziemi. Metoda ta doskonale uzupełnia badania przeprowadzone reflektometrem. Traser składa się z nadajnika i odbiornika. Sygnał z nadajnika może być doprowadzony do kabla w różny sposób: przez galwaniczne połączenie nadajnika z żyłą kabla, przez sprzężenie indukcyjne, przez umieszczenie nadajnika nad badanym kablem, przez sprzężenie indukcyjne za pomocą cęgów obejmujących kabel. Niektóre typy traserów umożliwiają lokalizację pasywną przebiegu kabli pod napięciem prądu przemiennego 50 Hz bez użycia nadajnika.

Nadajniki generują sygnały pomiarowe w szerokim zakresie częstotliwości:

- poniżej 20 kHz – dobrze działają w obszarach zurbanizowanych, tam gdzie występują silne sprzężenia pojemnościowe z innymi instalacjami zakopanymi w gruncie. Małe częstotliwości ze względu na niewielkie pojemnościowe prądy upływu dają lepsze efekty na dłuższych dystansach,
- powyzej 20 kHz do 80 kHz stosuje się w takich miejscach, w których w najbliższym sąsiedztwie badanego kabla nie ma innych obiektów lub gdy kabel jest trasowany na niewielkiej długości, lub gdy nie ma możliwości wykonania połączenia dla sygnału powrotnego (nie można uziemić przeciwległego końca kabla).

Przystępując do badań zawsze w pierwszej kolejności należy jedno wyjście nadajnika połączyć galwanicznie z badanym kablem, zaś drugie z sondą uziemiającą umieszczoną w możliwie dużej odległości od badanego kabla, innych kabli oraz metalowych przedmiotów, np. rurociągów znajdujących się w gruncie. Drugi koniec badanego kabla należy uziemić. Jeżeli takie połączenie nie jest możliwe, trzeba wykorzystać inny z podanych sposobów doprowadzenia sygnału pomiarowego do kabla. Po doprowadzeniu sygnału pomiarowego do kabla należy przystąpić do jego trasowania.

Trasowanie rozpoczyna się od zatoczenia kręgu o średnicy około 3 m odbiornikiem wokół nadajnika w celu wykrycia miejsca, w którym odbiornik wykrywa maksymalny sygnał, w zależności od rodzaju odbiornika – analogowy lub cyfrowy. Obydwa odbiorniki wyposażone są w regulację wzmocnienia sygnału. Oferowane są dwa rodzaje odbiorników: analogowe ze wskaźnikiem wychylnym i cyfrowe z monitorem LCD lub diodowym. Obydwa rodzaje odbiorników wyposażone są w regulację wzmocnienia sygnału. Informacji wizualnej zawsze towarzyszy sygnał akustyczny. Niektóre z

oferowanych urządzeń mają możliwość wyboru sposobu trasowania według sygnału maksymalnego lub minimalnego.
Przyrządy bardziej zaawansowane technologicznie wyposażone są w bardzo przydatne funkcje określania głębokości ułożenia kabla w gruncie oraz pomiaru względnej wartości prądu pomiarowego płynącego w kablu. Możliwość pomiaru prądu w badanym kablu zmniejsza ryzyko zakłóceń pochodzących od kabli sąsiednich generujących sygnały pasożytnicze. W prostszych, analogowych urządzeniach głębokość ułożenia kabla w gruncie określa się metodą triangulacyjną.

2.1. Lokalizacja zwarć doziemnych

Mimo, że podstawowym zadaniem trasera jest wyznaczanie trasy kabla ułożonego w gruncie, może on również pełnić funkcję lokalizatora uszkodzeń kabli. W tym celu wyposaża się go w tzw. ramkę powrotną (A-ramkę), która służy do lokalizacji zwarć doziemnych kabli. Gdy w czasie pomiaru trasy kabla operator stwierdzi gwałtowny zanik sygnału lub jego osłabienie i jednocześnie nie ulega zmianie głębokość zalegania kabla w gruncie, to może oznaczać, że część sygnału na odcinku ostatnich kilku metrów odpłynęła do gruntu. W takiej sytuacji odbiornik montuje się na A-ramce i łączy się go z nią. Obwód między przednią i tylną sondą A-ramki tworzy ścieżkę dla prądu upływowego kabla. Odbiornik mierzy prąd płynący przez A-ramkę. Prąd w gruncie rozpływa się promieniście od miejsca uszkodzenia kabla i ma największą gęstość w pobliżu tego miejsca i w miejscu zagłębienia sondy uziemiającej odbiornika. Pomiędzy miejscem uszkodzenia kabla i sondą uziemiającą prąd jest bardzo rozproszony w gruncie. Lokalizacja miejsca doziemienia kabla polega na umieszczaniu A-ramki w odległości co 3-4 kroki w okolicy spodziewanego doziemienia kabla. W miarę zbliżania się odbiornika do obszaru o dużej gęstości prądu, wskazuje on coraz wyższy poziom sygnału. Sygnał nasila się dopóty, dopóki jedna z sond A-ramki nie ominie miejsca uszkodzenia. W chwili gdy obydwie sondy A-ramki znajdą się po przeciwnych stronach miejsca uszkodzenia w równych od niego odległościach, prądy płynące przez A-ramkę znoszą się i wskazanie odbiornika jest bliskie zeru, co oznacza zlokalizowanie miejsca uszkodzenia.

Rys. 4. Lokalizator uszkodzeń kabli X-Wave firmy Hipotronics

3. Podsumowanie

W ofercie rynkowej znajduje się wiele przyrządów do ustalania tras kablowych i wyszukiwania miejsc uszkodzenia zarówno kabli ziemnych, jak i kabli w instalacjach budynkowych:

- standardowe lokalizatory przewodów są zazwyczaj uproszczonymi wersjami przyrządów, które mogą współpracować tylko z instalacjami pod napięciem.
- bardziej zaawansowane technologicznie modele są przeznaczone do lokalizacji kabli w gruncie, zarówno pod napięciem, jak i nieczynnych.
- w czasie badań można korzystać z nadajnika i z odbiornika lub tylko z odbiornika. Można więc wykorzystywać pole pochodzące od napięcia sieciowego, jak i od generowanych fal radiowych.
- zaawansowane detektory są uniwersalnymi przyrządami pozwalającymi na trasowanie przewodów w budynkach, jak i kabli w gruncie do głębokości 2 m. Mogą być wykrywane przerwy żył, zwarcia, mogą być identyfikowane kable w wiązce oraz miejsca zainstalowanych zabezpieczeń. Niektóre urządzenia tego rodzaju umożliwiają lokalizację instalacji gazowych, wodnych, c.o. oraz lokalizację stelaży metalowych w ścianach kartonowo-gipsowych. Najczęściej jednak chodzi o diagnostykę kabli niskiego napięcia. Niektóre przyrządy przy zastosowaniu specjalnych filtrów separujących mogą być wykorzystywane przy badaniu kabli pod napięciem. Przewody do lokalizowania uszkodzeń w kablach są szeroko stosowane nie tylko w elektroenergetyce ale również w telekomunikacji telewizji przemysłowej itp.

Lokalizator LKZ-700 firmy Sonel – pozwala określić zarówno przebieg trasy przewodów, jak również miejsca występujących w nich uszkodzeń (przerwa, zwarcie)

Lokalizator tras kablowych, znaczników i uszkodzeń 3M Dynatel 2273M

Rys. 4. Lokalizator uszkodzeń kabli X-Wave firmy Hipotronics