

Metoda reflektometru – lokalizowanie uszkodzeń w kablach elektroenergetycznych

Tomasz Koczorowicz

Lokalizowaniem uszkodzeń w kablach elektroenergetycznych zajmują się grupy pomiarowe wyposażone w technicznie zaawansowaną aparaturę umieszczoną na specjalnie do tego celu przystosowanych samochodach. Skorzystanie z usług tych jednostek jest najlepszym rozwiązaniem. Czasami jednak problem można rozwiązać we własnym zakresie, bez angażowania dużych środków technicznych i finansowych. W artykule omówiono zagadnienia związane z nieinwazyjną, reflektometryczną metodą lokalizowania uszkodzeń w kablach elektroenergetycznych i przedstawiono funkcje reflektometrów marki Megger.

Uszkodzenia w kablach elektroenergetycznych można lokalizować wieloma metodami. Wynik badania w tym przypadku, nie jest tak jednoznaczny jak np. podczas pomiaru napięć czy prądów. Każde uszkodzenie ma swoją specyfikę. Posługując się aparaturą, której zasada działania oparta jest na różnych metodach pomiarowych zdobywa się bogatą wiedzę o istniejącym problemie.

Można wyróżnić nieinwazyjne i inwa-

zyjne metody lokalizacji uszkodzeń w kablach. Operator w pierwszej kolejności korzysta z tych metod, które nie narażają kabla na dalszą degradację czyli pomiaru rezystancji izolacji i ciągłości, metody niskonapięciowego reflektometru lub/i traseru. Dopiero wówczas, kiedy pomiary te nie kończą się wyznaczeniem miejsca uszkodzenia uruchamiane są badania metodą wysokonapięciowego reflektometru (odbicia od łuku) lub udarową. Trzeba jednak

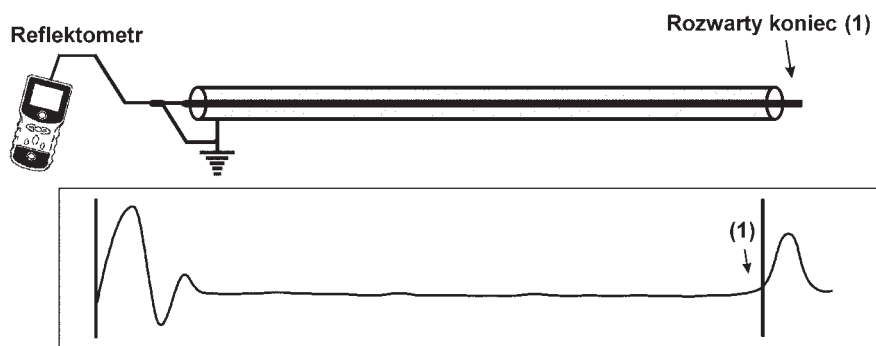
brać pod uwagę to, że kable starsze poddawane inwazyjnej metodzie badania często nie wytrzymują tej próby ewentualnie izolacja może ulec osłabieniu powodując problemy w przyszłości.

Postęp w elektronice spowodował spadek cen i w konsekwencji większą dostępność zaawansowanych urządzeń diagnostycznych. Jednym z takich urządzeń jest reflektometr niskonapięciowy.

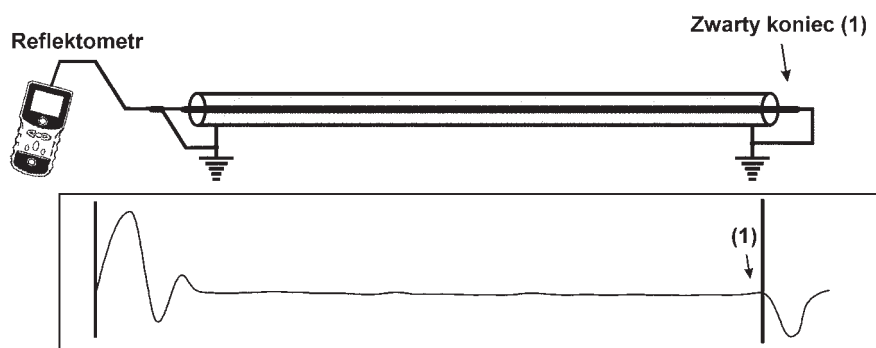
Metoda pomiarowa

Reflektometr, ze względu na zasadę działania często nazywany jest radarem kablowym. Funkcjonowanie przyrządu oparte jest na zjawisku rozprzestrzeniania się fali elektromagnetycznej w niejednorodnym torze, w którym występuje nieciągłość impedancji falowej. Fala elektromagnetyczna, przemieszczając się wzdłuż kabla, ulega częściowemu odbiciu od tych miejsc, w których skokowo zmienia się impedancja. Amplituda sygnału odbitego zależy od różnicy impedancji i ma największą wartość dla pełnego zwarcia (rys. 2) lub przerwy (rys. 1).

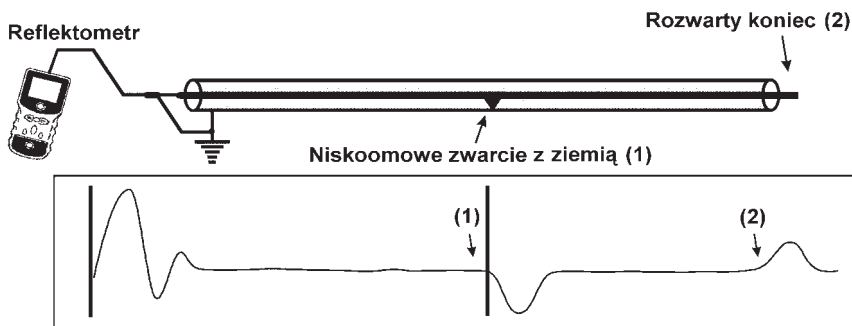
W zależności od tego, czy niejednorodność charakteryzuje się mniejszą czy większą impedancją względem średniej (znamionowej) falowej impedancji kabla, zmienia się faza odbitego sygnału. Urządzenie wysyła impuls energii do pary przewodników (dwóch żył lub żyły i ekranu). W kablu szybkość jego rozchodzenia się



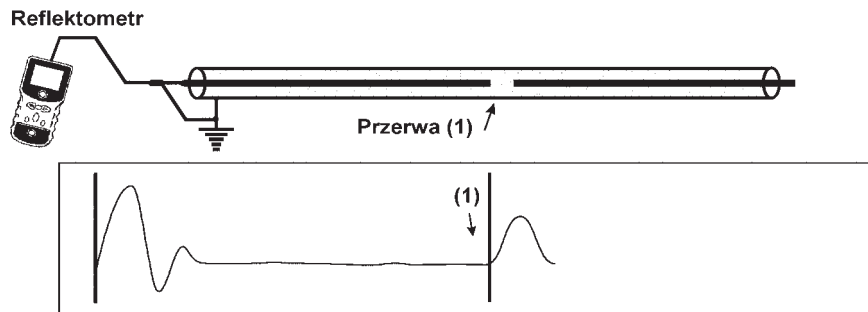
Rys. 1. Przebieg na ekranie reflektometru w przypadku rozwarcia na końcu kabla



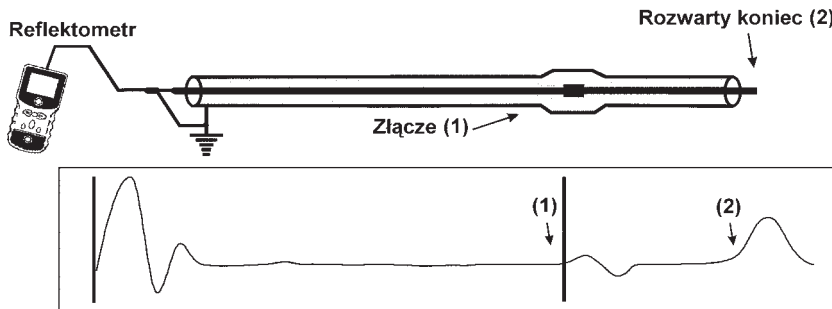
Rys. 2. Przebieg na ekranie reflektometru w przypadku zwarcia na końcu kabla



Rys. 3. Przebieg na ekranie reflektometru w przypadku niskoomowego zwarcia z ziemią na trasie kabla



Rys. 4. Przebieg na ekranie reflektometru w przypadku przerwy w kablu



Rys. 5. Przebieg na ekranie reflektometru w przypadku niesprawności złącza na trasie kabla

(propagacji) zależy od rodzaju izolacji między żyłami i charakteryzuje się współczynnikiem, który liczbowo stanowi ułamek szybkości rozprzestrzeniania się fali elektromagnetycznej w próżni. Mikroprocesor reflektometru mierzy czas, który upłynął od chwili nadania impulsu do chwili odbioru odbitego sygnału. Następnie mnoży go przez szybkość rozchodzenia się światła w próżni oraz przez współczynnik propagacji. W ten sposób obliczana jest odległość od punktu odbicia. Na monitorze przyrządu pojawia się obraz przebiegu impulsu. Widoczne są miejsca, w których występują uszkodzenia kabli (rys. 3, 4, 7), rozgałęzienia (rys. 6), niesprawności złączy (rys. 5), zawilgocenie, zagięcia itp. W miejscach o impedancji większej niż impedancja falowa kabla powstają odbicia o fazie zgodnej z nadawanym impulsem (dodatniej). Metoda reflektometru doskonale sprawdza się w przypadku ewidentnych przerw oraz niskoomowych zwarc w zakresie do około 200Ω.

Czynności przed pomiarami

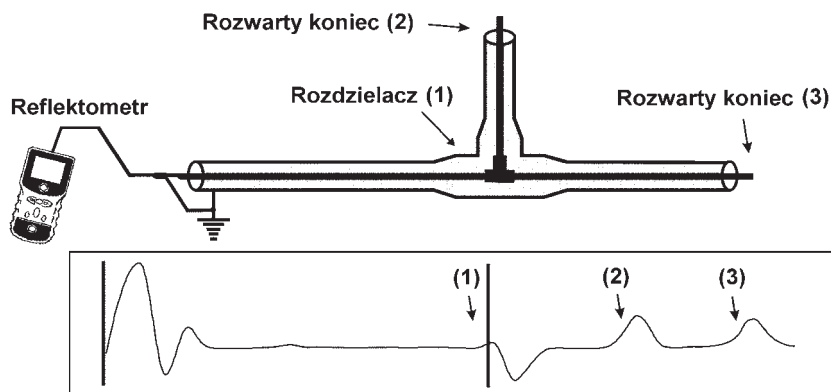
Przystępując do badania kabla należy przede wszystkim określić jego impedancję falową oraz współczynnik propagacji. Wartość impedancji związana jest z typem kabla lub przewodu i jest inna dla przewodu współosiowego (koncentrycznego), skrętki, przewodu instalacyjnego lub kabla energetycznego. Właściwe ustalenie współczynnika propagacji jest bardzo istotne przy wyznaczaniu odległości do miejsca uszkodzenia. W większości przypadków wartość ta zawiera się w zakresie od 0,5 do 0,9. Zależy ona od rodzaju zastosowanej izolacji (właściwości dielektryka), geometrii oraz okresu eksploatacji kabla. Dwa kable, w których zastosowano ten sam materiał izolacyjny, wykonane przez różnych producentów, mogą charakteryzować się różnymi wartościami tego współczynnika, ze względu na odmienne procesy technologiczne. Przykładowe wartości współczynnika propagacji dla wybranych rodzajów dielektryka są następujące:

- 0,50-0,56 – papier nasycony olejem,
- 0,64 – polietylen wypełniony pianką,
- 0,67 – polietylen,
- 0,71 – teflon,
- 0,94-0,98 – powietrze.

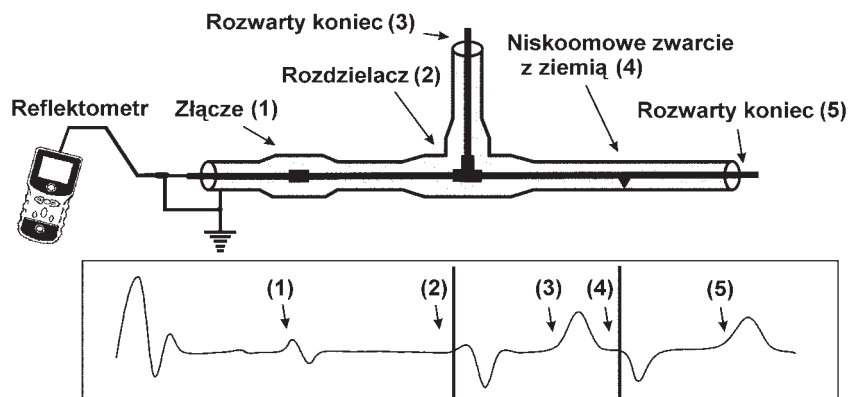
Często zdarza się, że osoba wykonująca pomiary nie zna wartości współczynnika propagacji badanego kabla. Konieczne jest wówczas wyznaczenie tej wartości eksperymentalnie. W tym celu należy przyłączyć reflektrometr do jednego z końców nieuszkodzonego odcinka kabla o znanej, możliwie największej długości (np. 20 m). Przeciwny koniec kabla będzie widoczny na ekranie przyrządu jako silne odbicie o fazie dodatniej (koniec rozwarty) lub ujemnej (koniec zwarty). Następnie należy ręcznie ustawić kursor odległości reflektrometru na miejsce odbicia i zmieniając nastawy wartości współczynnika propagacji doprowadzić do wskazania przez przyrząd długości kabla zgodnej z rzeczywistością. Postępując w ten sposób (przy założeniu, że znajomość długości kabla jest rzetelna) można dokładnie wyznaczyć szukaną wartość współczynnika propagacji.

Wykonywanie pomiarów

Po określeniu parametrów kabla można przystąpić do ustalania parametrów układu pomiarowego. W pierwszej kolejności wybiera się odpowiedni zakres pomiarowy. Należy tu uwzględnić, że emitowany impuls ulega tłumieniu w kablu, gdyż zmniejsza się jego amplituda w miarę oddalania się od przyrządu. Poziom tłumienia zależy od typu kabla, okresu eksploatacji oraz jakości połączeń występujących wzdłuż jego toru. W przypadku, gdy uszkodzenie (odbicie) pojawia się w dalszej odległości, np. pod koniec danego zakresu pomiarowego,



Rys. 6. Przebieg na ekranie reflektrometru w przypadku rozgałęzienia na trasie kabla



Rys. 7. Przebieg na ekranie reflektrometru w przypadku rozgałęzienia i niskoomowego zwarcia z ziemią na trasie kabla

może się okazać konieczne wzmocnienie nadawanego impulsu, tj. zwiększenie jego amplitudy lub szerokości. Wydłużenie czasu trwania impulsu, podobnie jak wzrost jego amplitudy, powoduje wzrost energii emitowanego sygnału.

Inaczej należy konfigurować parametry układu wówczas, gdy uszkodzenie występuje na początku zakresu pomiarowego. Zbyt duże wzmocnienie sygnału może spowodować przesterowanie układu pomiarowego i zniekształcenie obrazowania na wskaźniku przyrządu. Z kolei nadmierna szerokość impulsu będzie przyczyną wydłużenia tzw. martwej strefy. Powstaje

ona na początku badanego odcinka kabla (przewodu), w miejscu przyłączenia przyrządu oraz we wszystkich tych miejscach wzdłuż kabla, w których występuje niejednorodność impedancji.

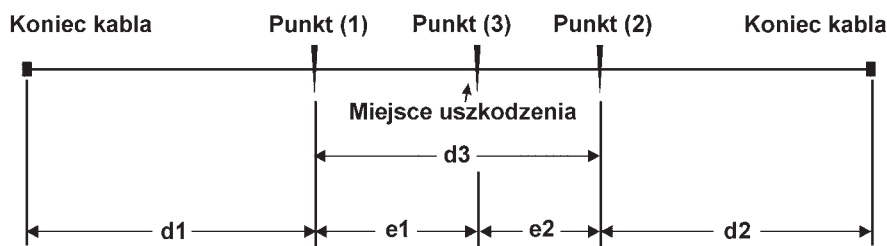
Martwa strefa na początku kabla jest wynikiem niedopasowania impedancji wyjściowej miernika i kabla. Nadawany impuls ulega odbiciu w tym miejscu wskutek niejednorodności toru tworząc strefę, w której ukryte są wszelkie odbicia będące wynikiem występowania uszkodzeń. Do wykrycia uszkodzeń na początku kabla jest wskazane, aby szerokość martwej strefy była jak najmniejsza. Mała szerokość nadawanego impulsu jest także ważna dla zapewnienia rozróżnialności uszkodzeń przy dużym ich zagęszczeniu na krótkim odcinku. W przeciwnym razie przyrząd prezentuje na ekranie oddzielnie tylko te uszkodzenia, między którymi odległość jest większa niż długość martwej strefy.

Metoda trzech punktów

Podczas wyznaczania miejsca uszkodzenia pomocna jest tzw. metoda trzech punktów (rys. 8). W pierwszej kolejności operator podłącza przyrząd do jednego z końców kabla, a następnie ustawiając kursor w miejscu odbicia, wyznacza odległość do miejsca uszkodzenia (punkt 1). W dalszej kolejności powtarza tę samą czynność dla

R E K L A M A

TOMTRONIX



Rys. 8. Metoda trzech punktów

przyrządu podłączonego do drugiego końca kabla (punkt 2).

W praktyce oba punkty mogą znajdować się w tym samym miejscu albo w niedalekiej odległości od siebie. W tym drugim przypadku rzeczywiste miejsce uszkodzenia znajduje się między dwoma wcześniej wyznaczonymi znacznikami – w punkcie nr 3. Wyznaczenie punktu nr 3 następuje z uwzględnieniem proporcji między odległościami do punktu nr 1 (d_1) i punktu nr 2 (d_2) oraz uchybów pomiarów odległości odpowiednio (e_1) i (e_2). W tym celu oblicza się odległość między punktami nr 1 i nr 2 (d_3), a następnie mnoży tę wartość przez iloraz odległości (d_1) oraz sumy odległości (d_1+d_2). Uzyskuje się wartość uchybu (e_1):

$$e_1 = d_3 \cdot (d_1 / (d_1 + d_2))$$

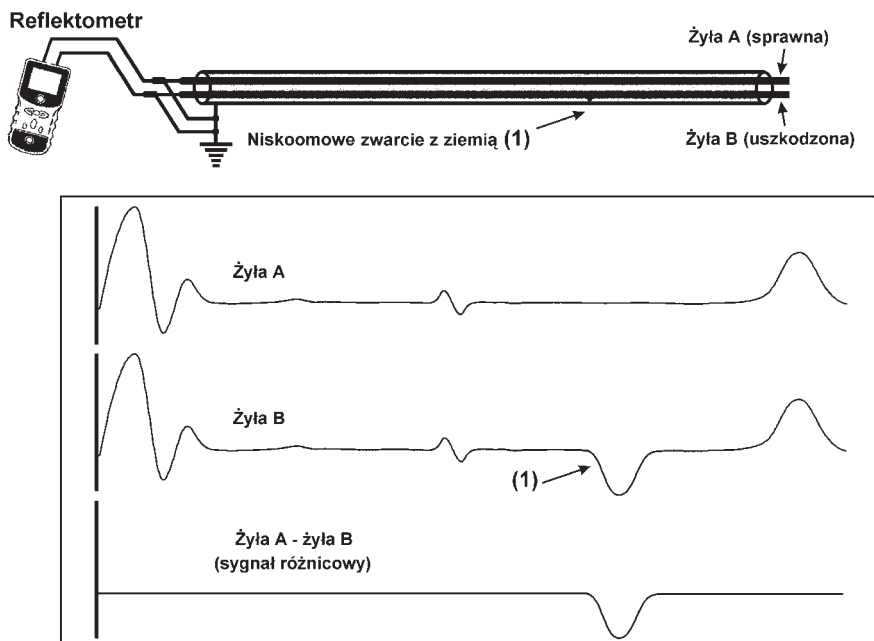
Miejsce uszkodzenia znajduje się w pobliżu wyznaczonego w ten sposób punktu nr 3 (d_1+e_1).

Należy zaznaczyć, że dobór parametrów układu pomiarowego powinien być każdorazowo dostosowany do badanego obiektu i występujących warunków. Zależy on od charakteru uszkodzeń, częstości ich wystę-

powania oraz odległości od miejsca przyłączenia reflektometru. Podczas badania kabla należy tak zmieniać nastawy przyrządu, aby doprowadzić do najlepszego zobrazowania odcinka kabla, który jest przedmiotem obserwacji.

Zaawansowane metody pomiaru

Nie zawsze prostymi metodami udaje się jednoznacznie rozwiązać zadanie pomiarowe. Z tego względu w niektórych reflektometrach zastosowano bardziej zaawansowane metody pomiaru. Pierwsza z nich – analiza porównawcza (rys. 9) – polega na jednoczesnym przyłączeniu dwóch torów wejściowych przyrządu do dwóch żył kabla – nieuszkodzonej i uszkodzonej. Obie żyły sąsiadujące ze sobą w kablu są poddawane takiemu samemu oddziaływaniu czynników zewnętrznych, np. zawilgoceciu. Czynniki te wprowadzają w błąd, gdyż nie stanowiąc uszkodzenia są powodem występowania innych fałszywych odbić na ekranie reflektometru. Podobny skutek może wywołać zgięcie o małym promieniu lub skręcenia kabla. Odbicia tym spowodowane będą jednakowo widoczne dla obu badanych żył. Metoda porównaw-



Rys. 9. Idea analizy porównawczej



Rys. 10. Reflektometr Megger TDR1000/2

cza polega na analizie sygnału różnicowego. W wyniku odejmowania dwóch sygnałów, które pochodzą od sąsiadujących ze sobą żył, zostają wyeliminowane z przebiegu wszelkie symetryczne zmiany sygnału. Powstaje zobrazowanie, które różni obydwa przebiegi i jednoznacznie określa miejsce uszkodzenia.

Druga metoda polega na uśrednianiu odbieranego sygnału i jest szczególnie przydatna wówczas, gdy lokalizuje się uszkodzenie w kablu wykorzystując duże wzmocnienie wysyłanego sygnału. W takich przypadkach będą wzmocniane zarówno obserwowany sygnał odbity, jak i szumy występujące w kablu. W celu ułatwienia analizy przyrząd w sposób zadany wysyła impuls wielokrotnie (dwu-, trzy- lub czterokrotnie), a następnie odpowiednio uśrednia odbieraną informację. Ponieważ szumy są zjawiskiem przypadkowym, dla kilku próbek istnieje małe prawdopodobieństwo wielokrotnego powtórzenia się powodowanych przez nie efektów w tym samym miejscu badanego kabla (w tej samej odległości od reflektometru).

Trzecia metoda polega na rozszerzeniu podstawy czasu wokół kursora tzw. lupa (zoom). Dzięki temu operator uzyskuje możliwość precyzyjnej obserwacji tych miejsc, w których występuje niejednorodność impedancji.

Reflektometr Megger TDR1000/2

Reflektometr Megger TDR1000/2 charakteryzuje się prostotą obsługi oraz małymi wymiarami. Użytkownik obserwuje wyniki na podświetlanym, graficznym wyświetlaczu LCD o wymiarach 128 x 64 pikseli. Urządzenie umożliwia sprawdzanie kabli o długości do 3000 m z najmniejszym zakresem pomiarowym 10 m i maksymalną rozdzielczością 0,1 m. Zaopatrzone go w funkcję płynnego dopasowania impedancji wyjściowej do impedancji falowej kabla, co pozwala w znacznym stopniu zmniejszyć martwą strefę (patent firmy Megger). Operator jednym naciśnięciem przycisku uruchamia procedurę automatycznego wyszukiwania pierwszego miejsca uszkodzenia na trasie kabla. Urządzenie ma regulację wzmocnienia sygnału wyjściowego oraz umożliwia wprowadzenie wartości współczynnika propagacji w zakresie od 0,30 do 0,99 z krokiem 0,01.



Rys. 11. Reflektometr Megger TDR2000/2

Uszkodzenia lokalizowane są z dokładnością $\pm 1\%$ zakresu pomiarowego. Układ wyjściowy przyrządu wyposażono w specjalny układ separujący, który umożliwia podłączenie urządzenia do obiektu znajdującego się pod napięciem do 300 V.

Reflektometr Megger TDR2000/2

Model ten (rys. 11) posiada dwa wyjścia pomiarowe, co umożliwia prowadzenie



Rys. 12. Reflektometr Megger TDR2000/2 podczas pracy z komputerem PC

R E K L A M A

1/8

analizy porównawczej. Przyrząd wyposażono w funkcję uśredniania wyników pomiarów. Użytkownik może obserwować wyniki na dużym graficznym wyświetlaczu z podświetleniem (monochromatycznym lub kolorowym w zależności od wersji). Podobnie jak w przypadku TDR1000/2, wyposażono go w funkcję płynnego dopasowania impedancji wyjściowej do impedancji falowej kabla, tzw. Tx Null (patent firmy Megger).

Reflektometr TDR2000/2 umożliwia sprawdzanie kabli na długości do 16 km z najmniejszym zakresem pomiarowym 50 m. Warto wspomnieć o funkcji zoom (lupa), która pozwala obserwować wybrany fragment przebiegu z bardzo dużą rozdzielczością. Można dobrać zarówno szerokość, jak i amplitudę impulsu na każdym zakresie pomiarowym w celu uzyskania optymalnych warunków pomiaru. Lokalizacja uszkodzeń jest prowadzona z maksymalną rozdzielczością 0,1 m oraz dokładnością $\pm 0,1\%$ zakresu pomiarowego. Operator jednym naciśnięciem przycisku uruchamia procedurę automatycznego wyszukiwania pierwszego miejsca uszkodzenia na trasie kabla. Urządzenie ma regulację wzmocnienia sygnału wyjściowego oraz umożliwia wprowadzenie wartości współczynnika propagacji w zakresie od 0,300 do 0,999 z krokiem 0,001.

Dużą zaletą tego modelu jest pamięć 15 przebiegów oraz dwustronna komunikacja z komputerem PC za pomocą RS232 (rys. 12). Dzięki temu użytkownik może tworzyć na twardym dysku komputera bibliotekę przebiegów prawidłowo funkcjonujących kabli. W razie potrzeby może sięgnąć do archiwum, wprowadzić do pamięci miernika odpowiedni przebieg, a następnie wykonać analizę porównawczą. Wraz z przyrządem dostarczane jest oprogramowanie. Układ wyjściowy przyrządu wyposażono w specjalny układ separujący, który umożliwia podłączenie urządzenia do obiektu znajdującego się pod napięciem do 415V.

Podsumowanie

Do niedawna posługiwanie się reflektometrem było traktowane w energetyce wyłącznie jako jeden z elementów procedury pomiarowej (obok metody udarowej) stosowanej w kosztownych urządzeniach służących do wykrywania uszkodzeń w kablach energetycznych. Obecnie postęp techniczny oraz rosnąca konkurencja spowodowały, że urządzenia te są dostępne dla wielu specjalistów, którzy na codzień zajmują się konserwacją instalacji elektrycznych, naprawą kabli elektroenergetycznych itp. Zalety metody pomiarowej wykorzystywanej w reflektometrach spowodowały, że przyrządy te znalazły zastosowanie również w dość nietypowych sytuacjach, np. do celów lokalizowania niepożądanych przyłączeń do instalacji elektrycznych.

Tomasz Koczorowicz
 Autor jest pracownikiem
 Firmy Tomtronix

