



badania kabli wolnozmiennymi napięciami przemiennymi VLF

Tomasz Koczorowicz – TOMTRONIX

Amerykańska firma High Voltage Inc. produkuje przenośne urządzenia pomiarowe do badania kabli napięciem przemiennym o bardzo niskiej częstotliwości (VLF – Very Low Frequency). Systemy pomiarowe VLF powstały w wyniku poszukiwania rozwiązania, które zapewni mobilność aparaturze pomiarowej generującej sygnał próby o parametrach zbliżonych do napięcia występującego podczas eksploatacji kabla. Metody pomiarowe VLF zostały zdefiniowane w normie PN-EN60060-3:2008.

Kable wysokiego napięcia poddawane są pomiarom powykonawczym oraz eksploatacyjnym. Pomiaru powykonawcze potwierdzają prawidłowość wykonania nowych sieci kablowych. Fabrycznie nowe kable mogą ulec uszkodzeniu podczas transportu, przechowywania lub samego montażu i mimo że wcześniej przeszły badania jakościowe u producenta, muszą zostać sprawdzone ponownie. Pomiaru eksploatacyjne określają bieżący stan techniczny eksploatowanych instalacji oraz pozwalają prognozować ich niezawodność w przyszłości. Badania takie przeprowadza się m.in. po

usunięciu awarii kabla, aby potwierdzić skuteczność wykonanej naprawy i gotowość linii energetycznej do eksploatacji. Archiwizacja wyników pomiarów wykonanych przez służby energetyczne podczas przeglądów okresowych pozwala śledzić postęp degradacji izolacji kabla i planować nakłady inwestycyjne w przyszłości. Pomiaru kabli wysokiego napięcia przeprowadza się napięciem stałym lub przemiennym. Zaletą urządzeń pomiarowych napięcia stałego jest ich niska waga, cena oraz nieduże wymagania w zakresie zasilania. Urządzenia te są mobilne i nieuciążliwe w eks-

ploatacji w terenie. Wadą diagnostyki napięciem stałym jest niepełne odwzorowanie narażeń, które są charakterystyczne dla sygnału przemiennego oraz zależność wyników pomiarów od temperatury. Pomiaru napięciem przemiennym o częstotliwości znamionowej 50 Hz, czyli w warunkach, które występują podczas normalnej eksploatacji linii kablowej, najlepiej charakteryzują stan techniczny kabla. Kable energetyczne stanowią obciążenie o charakterze pojemnościowym, więc moc konieczna do dostarczenia wymaganej energii jest wprost proporcjonalna do częstotliwości sygna-



Fot. 1. System VLF-28CMF

System VLF High Voltage Inc.	Maksymalne szczytowe napięcie próby, w [kV]	Częstotliwość sygnału wyjściowego, w [Hz]	Maksymalna pojemność obciążenia, w [μ F]	Waga, w [kg]
VLF-28CMF	28	0,1	0,4	34
VLF-4022CMF	40	0,1 0,05 0,02	1,1 2,2 5,5	Moduł sterujący – 23, moduł WN – 33
VLF-50CMF	50	0,1 0,05 0,02 0,01	5 10 25 50	Moduł sterujący – 9, moduł regulatora – 73, moduł WN – 98, całość z wózkiem i kablami – 352
VLF-6022CMF	60	0,1 0,05 0,02	1,1 2,2 5,5	Moduł sterujący – 34, moduł WN – 45
VLF-65CMF	65	0,1 0,05 0,02 0,01	2,2 4,4 11 22	Moduł sterujący – 9, moduł regulatora – 73, moduł WN – 98, całość z wózkiem i kablami – 320
VLF-90CMF	90	0,1 0,05 0,02	0,55 1,1 2,75	Moduł sterujący – 34, moduł WN – 132
VLF-12011CMF	120	0,1 0,05 0,02 0,01	0,55 1,1 2,75 5,5	Moduł sterujący – 9, moduł regulatora – 73, moduł WN – 177, całość z wózkiem i kablami – 388
VLF-200CMF	200	0,1 0,05 0,02	0,75 1,5 3,75	Moduł sterujący – 295, moduł WN – 1678

Tab. 1. Zestawienie systemów pomiarowych oferowanych przez firmę High Voltage Inc.

Napięcie znamionowe kabla	Napięcie próby podczas odbioru	Napięcie próby po czynnościach naprawczych	Napięcie próby podczas przeglądów okresowych
kVrms faza do fazy	kVrms (kVpik) faza do ziemi	kVrms (kVpik) faza do ziemi	kVrms (kVpik) faza do ziemi
5	9 (12)	10 (14)	7 (10)
8	11 (16)	13 (18)	10 (14)
15	18 (25)	20 (28)	16 (22)
25	27 (38)	31 (44)	23 (33)
35	39 (55)	44 (62)	33 (47)

Tab. 2. Wartości napięć pobierczych dla poszczególnych kabli zalecane przez IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)



Fot. 2. System VLF-4022CMF



Fot. 3. System VLF-6022CMF



Fot. 4. System VLF-90CMF

łu pomiarowego. W związku z tym systemy pomiarowe napięciem przemiennym 50 Hz mają bardzo duże rozmiary, wagę oraz wymagają zasilania dużej mocy i nie nadają się do zastosowania w terenie. Na przykład, kabel o długości 1600m badany napięciem 50kVAC 50Hz może wymagać aparatury pomiarowej o mocy wyjściowej od 400 do 500kVA. Pomiar napięciem przemiennym o bardzo niskiej częstotliwości zostały zdefiniowane w normach IEEE400, IEEE400.2, VDE0276, CENELEC HD620/621 i PN-EN 60060-3:2008 Wysokonapię-

ciowa technika probiercza: Definicje i wymagania dotyczące prób w miejscu zainstalowania.

systemy pomiarowe VLF

Firma High Voltage Inc. oferuje duży wybór przenośnych systemów wysokonapięciowych VLF dla różnych obciążeń o pojemności do 50 μ F (kable, maszyny wirujące), z napięciami probierczymi od 28 do 200 kV. Umożliwiają one badanie kabli o długości powyżej 30km oraz największych generatorów lub silników. Sys-

temy VLF są również wykorzystywane jako źródło napięcia podczas pomiarów współczynnika strat dielektrycznych tangens delta oraz wyładowań niezupełnych, ponieważ generują sinusoidalny sygnał wyjściowy spełniając wymagania światowych norm w zakresie tego typu pomiarów. Na przebieg napięcia nie ma wpływu wartość pojemności obciążenia. Użytkownik ustala częstotliwość sygnału pomiarowego (do wyboru 0,1 Hz, 0,05 Hz, 0,02 Hz, 0,01 Hz) dopasowując parametry wyjściowe przyrządu pomiarowego do obciąże-

nia. Mniejsza częstotliwość sygnału pomiarowego pozwala wykonać badania dłuższych odcinków kabli przy tej samej amplitudzie sygnału pomiarowego. Dla częstotliwości 0,1 Hz moc niezbędna do zbadania kabla jest o 500 razy mniejsza niż dla 50 Hz. System pomiarowy 60kVAC, który w przypadku sygnału wyjściowego o częstotliwości 50 Hz miałby wagę kilku ton, dla systemu VLF waży około 80kg (część sterująca 34kg, część WN 45kg) i ma wymiary, które pozwalają na umieszczenie go na podręcznym wózku ułatwiają-



Fot. 5. System VLF-12011CMF

reklama

TOMTRONIX
APARATURA POMIAROWA

www.tomtronix.com.pl
tomtronix@tomtronix.com.pl
tel. fax. (42) 6747455
tel. (42) 6760633

**SYSTEMY POMIAROWE
DO BADANIA KABLI
WOLNOZMIENNYM
NAPIĘCIEM PRZEMIENNYM**

System VLF High Voltage Inc.	Napięcie znamionowe kabla, w [kV]	Maksymalna długość badanego kabla przy 0,1 Hz
VLF-28CMF	15	Od 0,64 do 1,2 km
VLF-4022CMF	15 25	Od 1,6 do 3,2 km Od 2,4 do 4,8 km
VLF-50CMF	25 35	Do 15 km
VLF-6022CMF	35	Od 3,2 do 6,8 km
VLF-65CMF	35	Do 6,1 km
VLF-90CMF	50	Do 3,2 km
VLF-12011CMF	69	Od 2,4 do 3,2 km
VLF-200CMF	138	Od 3,2 do 5,6 km

Tab. 3. Podano maksymalne długości badanych kabli dla poszczególnych przyrządów firmy High Voltage Inc.



Fot. 6. Mostek pomiarowy kąta strat dielektrycznych TDB-60F5

maksymalnych napięć znamionowych badanych kabli. W tabeli 2, podano wartości napięć pobierczych dla poszczególnych kabli zalecane przez IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

Zakres pojemności badanych kabli można określić uwzględniając w obliczeniach przewidywaną maksymalną długość badanego kabla oraz wartość pojemności na metr dla danego kabla. W przypadku kabli w izolacji z tworzywa sztucznego, pojemność kabla zależy od napięcia znamionowego oraz wymiaru kabla. Im wyższe jest napięcie znamionowe pracy lub mniejsza średnica, tym mniejsza jest pojemność kabla. W tabeli 3, podano maksymalne długości badanych kabli dla poszczególnych przyrządów firmy High Voltage Inc. Maksymalne długości podane w tabeli podwajają się, jeżeli pomiar jest wykonywany sygnałem o częstotliwości 0,05 Hz lub odpowiednio zwiększają się pięciokrotnie dla częstotliwości 0,02 Hz.

Zakres pojemności obciążenia dla częstotliwości sygnału probierczego

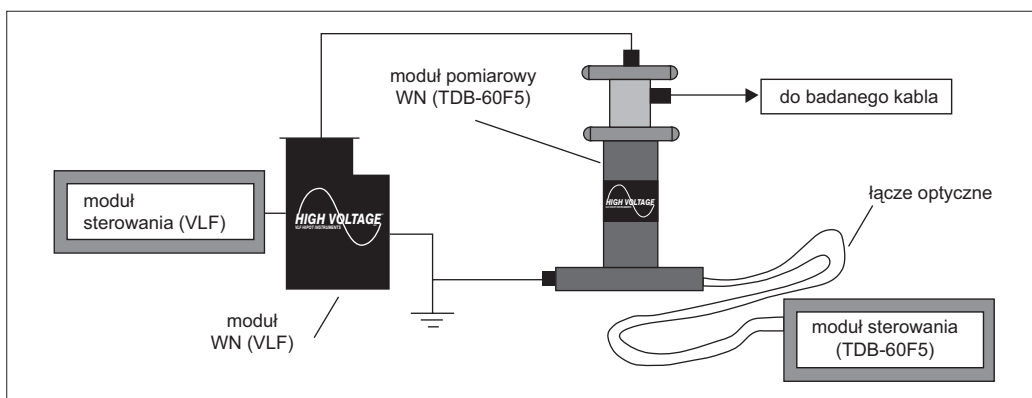
równiej 0,1 Hz jest istotny wówczas, jeżeli system VLF ma być wykorzystywany do pomiarów współczynnika strat dielektrycznych tangens delta lub wyładowań niezupełnych, gdyż parametr ten określa możliwości pomiarowe w tym zakresie.

Najprostszy system VLF-28CMF (fot. 1.) jest umieszczony w jednej obudowie i doskonale nadaje się wykonywania szybkich pomiarów w terenie. Wszystkie pozostałe modele składają się z co najmniej dwóch modułów. Systemy VLF-4022CMF (fot. 2.), VLF-6022CMF (fot. 3.), VLF-90CMF (fot. 4.) oraz VLF-200CMF składają się z modułu sterowania oraz modułu wysokiego napięcia. W wersji podstawowej oferowane są bez wózka, ale użytkownik może opcjonalnie wyposażyć system w wózek lub przyczepę (VLF-200CMF). W skład systemów VLF-50CMF, VLF-65CMF oraz VLF-12011CMF (fot. 5.) wchodzi trzy moduły – sterujący, regulatora i wysokiego napięcia. W wersji podstawowej są one wyposażone w wózki.

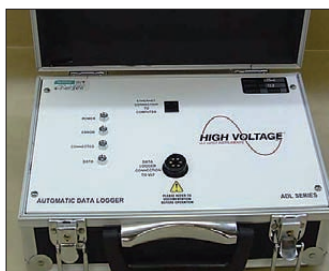
pomiar kąta strat dielektrycznych

Pomiar kąta strat dielektrycznych jest jednym z najstarszych sposobów badania systemów izolacji. Wyniki pomiarów, z uwagi na warunki badania zbliżone do realnych warunków pracy urządzeń, są bardzo wiarygodne. Zmiana kąta strat dielektrycznych informuje o procesach starzenia izolacji oraz jej chemicznej degradacji pod wpływem oddziaływania

temperatury (np. miejscowego przegrzania). Wskazuje również na zawilgocenie, obecność brudu, węgla i innych substancji chemicznych. Informuje o pęknięciach, upływności powierzchniowej izolatora oraz obecności procesów jonizacji. Diagnostyka ta wymaga dużego doświadczenia od operatora i konsekwentnego oraz planowanego działania. Najlepsze efekty uzyskuje się obserwując różnice w wynikach pomiarów tego samego urządzenia po upływie kolejnych przedziałów czasu (trend) lub porównując wyniki testów urządzeń tego samego typu uzyskane w tych samych warunkach i czasie. Można także poddawać badaniom urządzenia przy różnych napięciach. Jeżeli uzyskana w ten sposób krzywa kąta strat dielektrycznych w funkcji napięcia próby zmienia swój kąt nachylenia, oznacza to, że przy określonej wartości napięcia ujawniają się zjawiska jonizacji. Jeżeli wartość napięcia progowego jest mniejsza od znamionowego napięcia pracy danego obiektu, wówczas procesy jonizacji występują w sposób ciągły, powodując degradację izolacji. Systemy pomiarowe VLF firmy High Voltage Inc. są przystosowane do współpracy z mostkiem pomiarowym TDB-60F5 (fot. 6.), służącym do pomiaru kąta strat dielektrycznych napięciami wolnozmiennymi o przebiegu sinusoidalnym. Mostek pomiarowy TDB-60F5 składa się z modułu pomiarowego WN oraz modułu sterowania. Oba moduły połączone są światłowodem. Dzięki takiemu rozwiązaniu wyeliminowano zagrożenia pochodzące od części wysokonapięciowej. Wysokie napięcie z systemu pomiarowego VLF jest przykładane do badanego obiektu przez moduł pomiarowy WN (rys. 1.). Moduł sterowania automatycznie dostarcza układ pomiarowy do częstotliwości generatora VLF, porównuje kąt fazowy między przebiegami napięcia i prądu w celu wyznaczenia kąta strat dielektrycznych oraz udostępnia odczyt wyników pomiaru kąta strat dielektrycznych, napięcia, częstotliwości i prądu w czasie rzeczywistym.



Rys. 1. Układ pomiarowy kąta strat dielektrycznych



Fot. 7. Rejestrator danych ADL-1

rejestracja danych

Na życzenie użytkownika systemu pomiarowe VLF produkowane przez High Voltage Inc. mogą być przystosowane do współpracy z rejestratorem danych ADL-1 (fot. 7.), który umożliwia monitorowanie, rejestrację i bezprzewodową transmisję do komputera wszystkich wyników pomiarów. Dzięki temu użytkownik korzystając w terenie z laptopa może obserwować i rejestrować wyniki pomiarów lub zapisywać wyniki w pamięci ADL-1 do późniejszego wykorzystania. Rejestrator ADL-1 łączy się z systemem pomiarowym VLF za pomocą kabla, natomiast z laptopem przez komunikację bezprzewodową Wi-Fi w standardzie 802.11g, zgodną z protokołami 802.11a i b oraz Ethernet. Wewnętrzna pamięć rejestratora pozwala zapisać wyniki około 40-godzinnych pomiarów.

Systemy pomiarowe VLF firmy High Voltage Inc. spełniają wymagania dyrektyw nowego podejścia Unii Europejskiej w zakresie bezpieczeństwa i kompatybilności elektromagnetycznej. Zostały oznaczone symbolem zgodności CE.