

onsite

HV SOLUTIONS

MORSKIE FARMY WIATROWE

Testy powykonawcze i diagnostyka infrastruktury elektrycznej ze szczególnym uwzględnieniem systemów kabli eksportowych i między-turbinowych



O nas

onsite hv solutions, której siedziba znajduje się w Warszawie, jest międzynarodową organizacją niezależnych firm zatrudniających zespół wysoko wykwalifikowanych specjalistów, zapewniających na całym świecie wsparcie w zakresie testów i konserwacji infrastruktury elektroenergetycznej, takiej jak między-turbinowe i eksportowe systemy kabli zasilających, transformatory mocy i rozdzielnice w izolacji gazowej SF6 dla morskich farm wiatrowych.

onsite hv solutions dysponuje rozległą wiedzą naukową i wieloletnim doświadczeniem zdobytym w terenie, dzięki długiej i ścisłej współpracy z renomowanymi uniwersytetami, wiodącymi producentami, firmami energetycznymi i deweloperami z całego świata.

onsite hv solutions ma ponad 20-letnie doświadczenie w przeprowadzaniu na całym świecie testów powykonawczych i oceny stanu technicznego instalacji w miejscu zainstalowania za pomocą tłumionego napięcia przemiennego (DAC), próby napięciowe oraz diagnostyka z monitorowaniem wyładowań niezupełnych i współczynnika strat dielektrycznych wszystkich typów lądowych i morskich połączeń kablowych do 400 kV.

onsite hv solutions aktywnie działa w ramach takich organizacji jak CIGRE, IEEE, IEC i ACP, dzięki czemu doskonale rozumiemy potrzeby przedsiębiorstw z sektora energetycznego, a także możemy opracowywać i oferować skuteczne rozwiązania w zakresie zarządzania majątkiem sieciowym i jego optymalizacji.

Export and inter-array power cables	On- and off-shore power transformers	On- and off-shore gas insulated switchgear (GIS)
After-laying (SAT)	SAT Provided by the manufacturer	SAT Provided by the manufacturer
Condition assessment	Condition assessment	Condition assessment

Spis treści

Omówienie towarów i usług	3
Zwiększanie wiedzy i współpraca	4
Niezawodność kabli zasilających morskie farmy wiatrowe	5
Kontrola jakości morskich systemów kabli zasilających	6
Testowanie i diagnostyka kabli zasilających morskich farm wiatrowych z tłumionym napięciem przemiennym (DAC)	8
Testowanie i diagnostyka monitorowana pod kątem wyładowań niezupełnych	9
Odpowiednie międzynarodowe normy i wytyczne	10
Testowanie i diagnostyka stringu kabli między-turbinowych	11
Testowanie i diagnostyka kabli eksportowych	12
Testowanie i diagnostyka kabli HVDC	14
Konserwacja oparta na stanie technicznym (CBM) odcinków morskich kabli między-turbinowych	15

Omówienie towarów i usług

Nasze kompetencje

Infrastruktura elektroenergetyczna morskich farm wiatrowych (MFW), np. kable eksportowe, kable między-turbinowe, transformatory mocy i rozdzielnice w izolacji gazowej SF6 odgrywają kluczową rolę w dostarczaniu wytworzonej energii do podstacji morskich i dalej na ląd.

Zatrudniamy wysokiej klasy specjalistów do testów na morzu, którzy przeprowadzają testy instalacji, konserwacji i zarządzania składnikami majątku.

- **Testy morskich systemów kabli eksportowych i między-turbinowych** - rodzaje, zakres testów, procedury testowe, kryteria oceny wyników pomiarów z uwzględnieniem np. testów mechanicznych, elektrycznych i nieelektrycznych:
 - Testy wstępnej kwalifikacji systemu kabli składającego się z: kabli morskich i lądowych, muf fabrycznych morskich, muf przejściowych (TJB), muf lądowych i głowic kablowych
 - Typ systemu kabli i rutynowe testy
 - Inspekcja i fabryczne testy odbiorcze
 - Testy przed ułożeniem kabla (sprawdzające, czy kabel nie został uszkodzony podczas załadunku na statek lub podczas transportu)
 - Testy międzyoperacyjne (połączenia kolejnych odcinków kabla, po innych pracach)
 - Testy odbiorcze (SAT) po wybudowaniu linii kablowej
 - Test konserwacyjny podczas eksploatacji linii kablowej
 - Test w przypadku awarii w eksploatacji
- **Ocena stanu** układów izolacyjnych **transformatorów mocy** za pomocą analizy rozpuszczonych gazów (DGA), analizy oleju i testów rezystancji izolacji, ocena jakości podobciążeniowego przełącznika zaczepów (PPZ) za pomocą pomiaru rezystancji dynamicznej uzwojeń transformatora (DRM).
- **Ocena stanu rozdzielnic z izolacją gazową** (GIS) poprzez analizę gazu SF6 i monitorowanie on-line wyładowań niezupełnych (jeśli są wyposażone w czujniki wyładowań niezupełnych).

Kompetencje techniczne

- Testy OTDR kabli światłowodowych
- Test TDR na żyłach kablowych
- Test rezystancji izolacji
- Tłumione napięcie przemienne (DAC) - testy poinstalacyjne i diagnostyczne, w tym wyładowania niezupełne i szacowanie współczynnika strat dielektrycznych stringów kablowych między-turbinowych (do 66 kV) i obwodów kabli eksportowych (do 400 kV)
- Test wytrzymałości napięciowej powłoki
- Test weryfikacji fazy
- Test działania systemu łączącego/uziemiającego

Kompetencje w zakresie siły roboczej

- Wysoko wykwalifikowani specjaliści z ponad 25-letnim doświadczeniem w testach w terenie
- Przeszkoleni specjaliści do testów na morzu z certyfikatem GWO (przetrawianie na morzu, pierwsza pomoc, praca na wysokości, obsługa ręczna, wiedza przeciwpożarowa) i HUET z CAEBS z co najmniej 5-letnim doświadczeniem w testach terenowych

Kompetencje specjalistyczne

- Ocena i analiza danych pomiarowych
- Interpretacja wyników pomiarów
- Raportowanie danych, w tym zalecenia
- Przechowywanie i ocena danych na potrzeby konserwacji opartej na stanie technicznym

Kompetencje uzupełniające

- Oszacowanie wpływu ryzyka, w tym zalecenia dotyczące przyszłych działań
- Eksport i zarządzanie danymi o stanie kabli między-turbinowych



Zwiększanie wiedzy i współpraca

Dzięki naszemu wieloletniemu doświadczeniu w zakresie uruchamiania i konserwacji systemów elektrycznych, w tym kabli zasilających, transformatorów mocy i systemów rozdzielnic z izolacją gazową, możemy wspierać naszych klientów w następujących obszarach:

- Pełne testy odbiorcze (SAT) nowo zainstalowanych kabli
- Ocena stanu i zalecenia dotyczące konserwacji na podstawie stanu (CBM)
- Ocena danych z pomiarów wyładowań niezupełnych
- Nadzór i wsparcie ekspertów
- Szkolenia i zwiększanie wiedzy

Testy odbiorcze i możliwości diagnostyki kabli zasilających z tłumionym napięciem przemiennym (DAC) i monitorowaniem wyładowań niezupełnych przy użyciu opcjonalnych rozwiązań High Power i Dual-Side.

- Linii kablowych między-turbinowych do 33 kV za pomocą DAC MV60os
- Linii kablowych między-turbinowych do 66 kV za pomocą DAC HV110os DP DS
- Linii kablowych eksportowych do 400 kV za pomocą DAC HV400 HP DS

Strony współpracujące

W ostatnich latach z powodzeniem współpracowaliśmy na całym świecie z różnymi podmiotami w zakresie instalacji i obsługi morskich farm wiatrowych:

- Producenci kabli lądowych i morskich
- Wykonawcy usług inżynieryjnych, zaopatrzeniowych i budowlanych (EPC)
- Instytuty nadzorujące i badawcze
- Deweloperzy i konsultanci
- Właściciele i operatorzy morskich farm wiatrowych



Testy kabli eksportowych przy użyciu systemu DAC HV110: Jednostka główna z Dual-Power zainstalowana na podstacji lądowej (na dole). Jednostka końcowa z Dual-Side zainstalowana na podstacji morskiej (na górze)



Niezawodność kabli zasilających morskie farmy wiatrowe

Rosnące zapotrzebowanie na energię odnawialną na całym świecie przyczyniło się do szybkiego rozwoju liczby i wielkości morskich farm wiatrowych.

W przypadku tego typu wytwarzania energii podmorskie kable zasilające odgrywają ogromną rolę w przesyłaniu energii z turbin wiatrowych do morskich i lądowych podstacji odbiorczych.

Doświadczenia z ostatnich 20 lat pokazują, że:

- Między-turbinowe i eksportowe kable zasilające stanowią główną przyczynę awarii zasilania instalacji morskich
- Naprawa tak krytycznej infrastruktury jest niezwykle trudna i kosztowna
- Kilka kwestii związanych z projektowaniem, transportem, instalacją, testami jakości i konserwacją kabli zasilających na morskich farmach wiatrowych wymaga szczególnej uwagi.

Awarie morskich kabli zasilających

Na podstawie doświadczeń z ostatnich dwudziestu lat funkcjonowania MFW, awarie morskich kabli zasilających odpowiadają nawet za 80% całkowitych strat finansowych i wniosków o wypłatę odszkodowań. Ostatnie badania przeprowadzone przez międzynarodowe podmioty wykazały, że:

- W przypadku kabli między-turbinowych i eksportowych wykorzystywanych w MFW można wyróżnić cztery główne tryby awarii: 46% - nieprawidłowa instalacja, 31% - nieprawidłowości produkcyjne, 15% - nieprawidłowa konstrukcja kabla i 8% - uszkodzenia zewnętrzne,
- Z powodu awarii i naprawy średni czas przerwy w pracy kabla między-turbinowego wynosi ponad 1 miesiąc, a kabla eksportowego ponad 2 miesiące.

Sytuacja ta jest tym bardziej godna uwagi i niepokojąca, że biorąc pod uwagę całkowite koszty farmy wiatrowej, kable morskie stanowią mniej niż 10% całkowitych kosztów kapitałowych.

W ciągu ostatnich 7 lat zgłoszono około 90 awarii kabli morskich, a wartość wniosków o wypłatę odszkodowań wyniosła ponad 350 milionów euro.

Średni koszt wniosków o wypłatę odszkodowań w ciągu ostatnich 9 lat wzrósł siedmiokrotnie. Co do zasady, wraz ze wzrostem mocy turbiny rosną koszty naprawy, a co za tym idzie odszkodowania - na każdy 1 MW mocy więcej przypada 1 mln euro.

Zależnie od wielkości MFW i lokalizacji niesprawnej turbiny, skutki finansowe pojedynczej awarii kabla między-turbinowego mogą sięgać od 200 tys. euro do 3 mln euro.

Szacowany roczny wzrost mocy MFW przewiduje, że do końca 2030 r. łączna globalna moc wzrośnie ze 117 GW do 234 GW.

Awarie kabli zasilających MFW często wynikają z następujących problemów:

- Nacisk na obniżenie kosztu energii elektrycznej powoduje, że producenci, deweloperzy i wykonawcy podejmują dyskusyjne decyzje.
- Przemysł morski skupia się na silnym obniżaniu kosztów, więc poświęca mniej uwagi na rozwój i innowacje.
- Rozwiązania techniczne są stale rozwijane w celu rozwiązania konkretnych problemów występujących podczas instalacji i eksploatacji.
- Połączenie niedostatecznej identyfikacji ryzyka, (specyficznego dla projektu) projektu kabla podmorskiego i niedociągnięć we wdrażaniu określonych procedur zapewniania jakości testów
- Awarie na otwartym morzu, spowodowane ciągnięciem sieci rybackich, uderzeniami kotwic i erozją



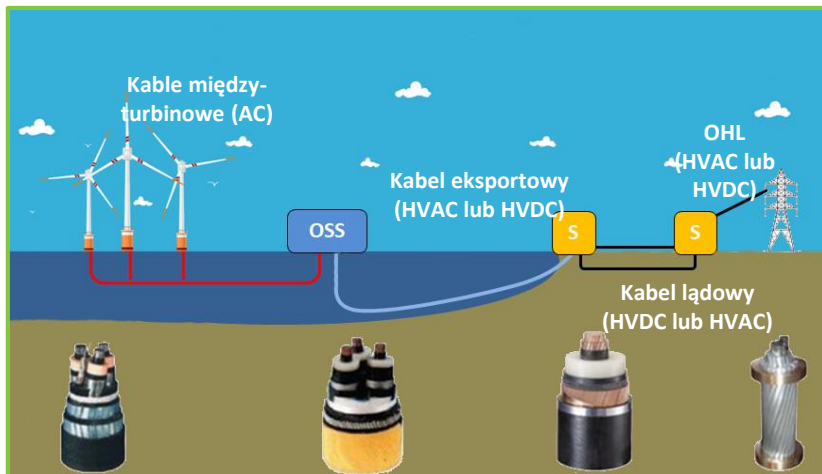
Przykłady uszkodzeń mechanicznych pancerza kabla między-turbinowego w terenie



Kontrola jakości morskich systemów kabli zasilających

Kable eksportowe do 400 kV mogą mieć bardzo długie połączenia, sięgające nawet 120 kilometrów, a z punktu widzenia dostarczania energii z morskiej stacji elektroenergetycznej na ląd niezwykle ważna jest jakość instalacji.

Kable między-turbinowe są łączone przez pojedyncze turbiny w string o długości do 20-25 km, a jakość instalacji jest niezwykle ważna z punktu widzenia dostarczania energii z odcinków zawierających do kilku turbin wiatrowych zainstalowanych w jednym takim stringu.

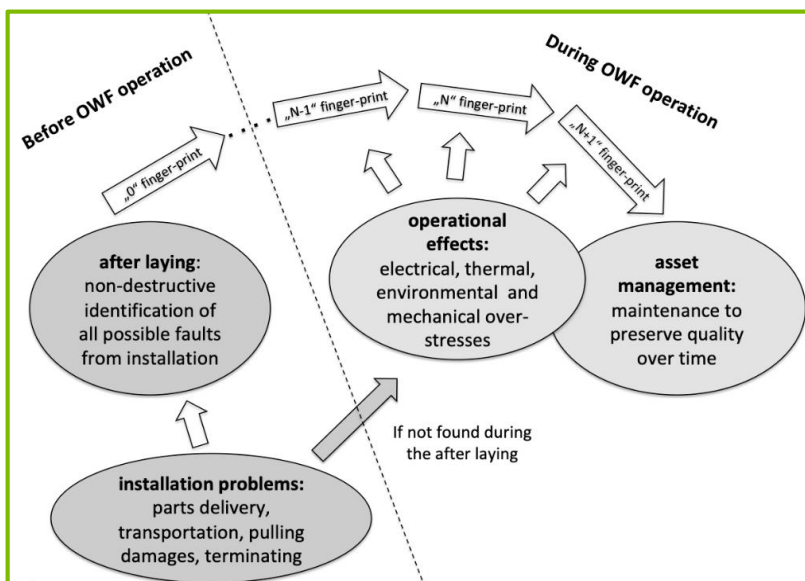
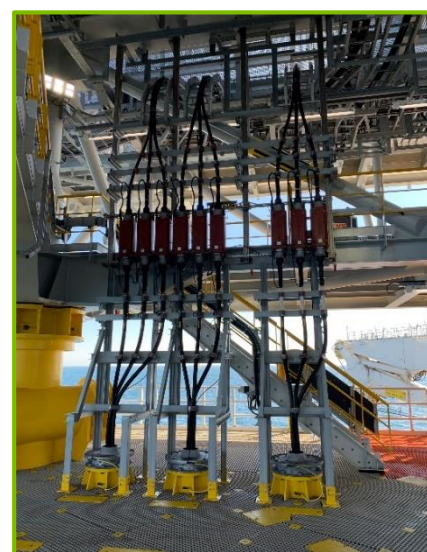


W zależności od wielkości i konfiguracji morskiej farmy wiatrowej, w przypadku awarii kabla, naprawa wszelkich uszkodzeń niezbędnej infrastruktury okablowania na morzu jest bardzo problematyczna i kosztowna. Testy odbiorcze (SAT) kabli zasilających morskie farmy wiatrowe (MFW), zarówno eksportowych (EC), jak i między-turbinowych (IAC), nie są łatwe do przeprowadzenia ze względu na

- o długość kabla: EC do 120 km i IAC do 20-25 km,
- o ich położenie w morzu,
- o warunki takie jak pogoda, logistyka, koszty, planowanie, ryzyko wykonania itp.

Pomimo powyższego, w celu zapewnienia wymaganej niezawodności instalacji kablowej dla przyszłej eksploatacji, warunki testów odbiorczych muszą być uzgodnione zgodnie z tym,

- o co jest praktycznie możliwe do osiągnięcia w warunkach morskich,
- o która metoda z zakresu najlepszych praktyk stanowi solidną podstawę do właściwej oceny jakości kompletnych morskich instalacji kablowych



Podstawowe czynniki zarządzania zasobami określające bezpieczne i niezawodne działanie sieci kabli zasilających morskich farm wiatrowych. Podejście „odcisku palca” oznacza określenie jakości systemu kablowego w całym okresie eksploatacji poprzez ocenę parametrów diagnostycznych, np. wyładowań niepełnych, monitorowanie testów napięciowych, współczynnika strat dielektrycznych ($\tan \delta$) itp.



Rozwój norm IEEE w ciągu ostatnich 15 lat, które powstały we współpracy pomiędzy firmami energetycznymi, producentami i firmami serwisowymi i które odnoszą się do wybranych dokumentów pomiarowych IEC, opisują najnowsze osiągnięcia w zakresie nowoczesnych metod nieniszczących zarówno dla testów poinstalacyjnych, jak i konserwacyjnych oraz diagnostyki. Więcej szczegółów można znaleźć w odpowiednich międzynarodowych normach i wytycznych oraz publikacjach podanych na stronie 10.

Testy na miejscu i diagnostyka systemów kabli eksportowych i między-turbinowych

Uwzględniając ryzyka, przemysł morski musi ustanowić własne niezawodne specyfikacje dotyczące testów kabli podmorskich i oceny ich stanu.

Ogólnie rzecz biorąc, skuteczna technologia testów po ułożeniu musi być dedykowana:

- o do testów na morzu
- o do zapewnienia odpowiednich informacji, np. testów napięciowych i odcisków palca (np. wyładowania niezupełne, $\tan \delta$) podczas całego procesu instalacji i eksploatacji
- o do zapewniania niezawodnej eksploatacji kabli eksportowych i między-turbinowych.
- o do zapewniania wykonawcom podstawy do obniżania ryzyka w okresie gwarancyjnym
- o do zapewniania dostawcom usług odpowiedniej do konserwacji na podstawie stanu podczas eksploatacji



Uwagi dotyczące testowania

Obecne międzynarodowe zalecenia dotyczące instalacji morskich są oparte przede wszystkim na zastosowaniach w sieci lądowej, a obecne procedury dotyczące instalacji morskich zalecają przeprowadzanie tanich testów podstawowych bez czułości pozwalającej na wykrycie ewentualnych słabych punktów.

Sytuacja ta wskazuje na pewne braki w zakresie niezawodnych testów kabli podmorskich i z pewnością nie uwzględnia optymalnego zmniejszenia ryzyka możliwych awarii i bardzo wysokich kosztów napraw.

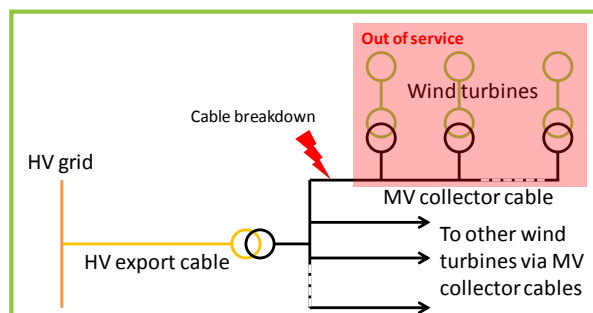
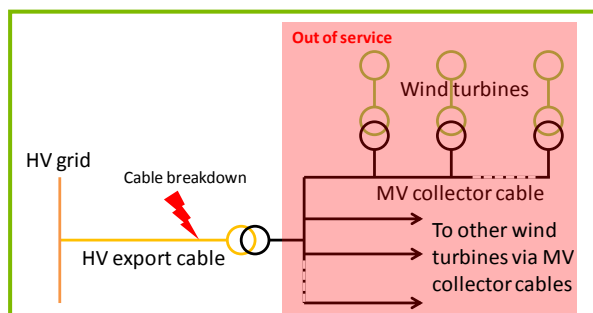
Dlatego procedury testów podczas produkcji, transportu / przechowywania, instalacji i eksploatacji są potrzebne, aby wykluczyć lub przynajmniej zmniejszyć potencjalne ryzyko uszkodzenia podczas transportu / przechowywania lub instalacji, a następnie awarii podczas eksploatacji.

Wyższa wydajność instalacji MFW i optymalna kontrola jakości zapewnią ochronę:

- o inwestycji wobec właścicieli farm MFW
- o przed ryzykiem gwarancyjnym dla wykonawców i podwykonawców
- o interesu ubezpieczycieli w tym obniżenia opłat ubezpieczeniowych
- o przed nieoczekiwanymi awariami operacyjnymi i wysokimi kosztami napraw i konserwacji.

Zastosowanie technologii tłumionego prądu przemiennego (DAC) od prawie 25 lat na lądzie i od ponad 10 lat na morzu zapewnia zatwierdzony protokół testów po instalacji i oceny stanu kabli eksportowych do 400 kV.

Dzięki temu dedykowane testy napięciowe z monitorowaniem wyładowań niezupełnych i $\tan \delta$ są najnowocześniejszym sposobem na przeprowadzanie czułych i nieniszczących testów oraz diagnostykę kabli eksportowych i między-turbinowych.



Przykład skutków awarii: (po lewej) w przypadku awarii kabla eksportowego WN, (po prawej) w przypadku awarii odcinka kabla między-turbinowego będącego częścią lub całym stringiem turbin wiatrowych.

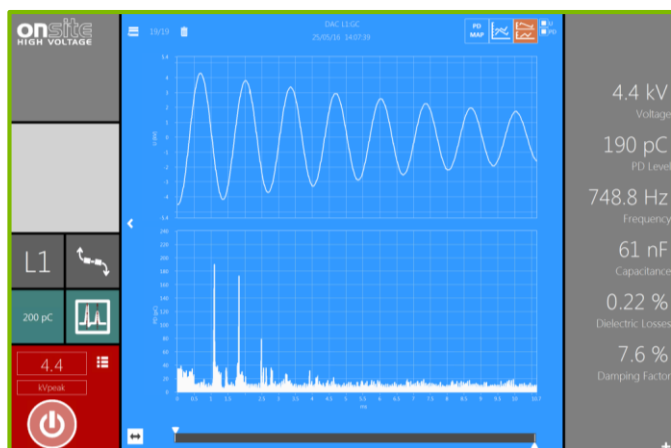
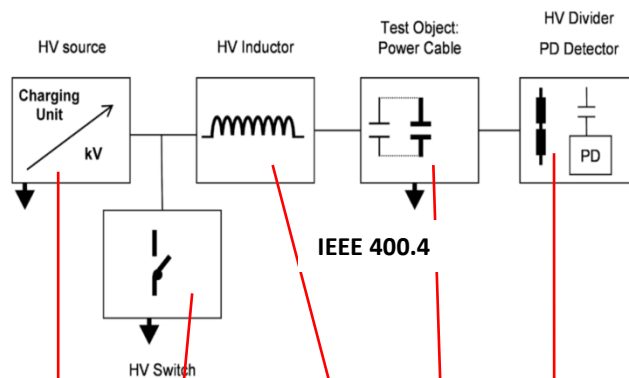
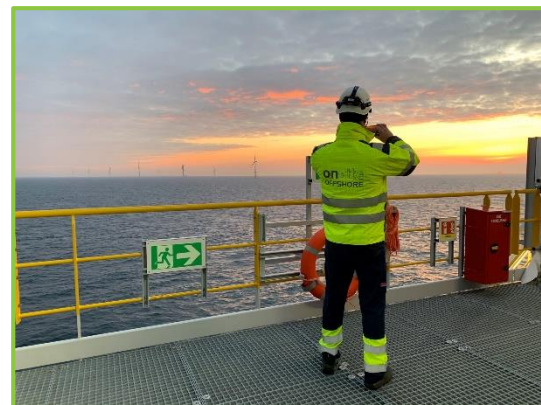
Testowanie i diagnostyka wyładowań niezupełnych kabli zasilających morskich farm wiatrowych tłumionym napięciem przemiennym (DAC)

Stosowane od ponad 25 lat i zgodne z odpowiednimi parametrami testów z międzynarodowych norm i zaleceń (np. IEEE, IEC, CIGRE, CENELEC, ACP), a także z zaleceń krajowych (np. UKPN, UNE, SEP, PTPIREE).

Dzięki wyjątkowo niskiemu zapotrzebowaniu na moc wejściową i rozwiązaniu zasilania o dużej mocy własnej, bardzo kompaktowa technologia tłumionego napięcia przemiennego (DAC) ułatwia efektywne testowanie bardzo długich kabli eksportowych.

Może być stosowana w miejscu, po ułożeniu/odbiorze i testach diagnostycznych wszystkich typów kabli zasilających AC i HVDC o napięciu do 400 kV stosowanych na lądzie i na morzu.

Rozwiązanie Dual-Side zapewnia zgodną z normami detekcję wyładowań niezupełnych i szacowanie współczynnika strat dielektrycznych podczas testów wytrzymałości napięciowej i wyładowań niezupełnych zgodnie z normami IEC 60270, IEC 60885-3 i IEEE 400.4.



Testy w miejscu zainstalowania dla eksportowych i między-turbinowych kabli zasilających z wykorzystaniem tłumionego napięcia przemiennego

Dostępne są różne systemy testów napięcia przemiennego (DAC) do testowania między-turbinowych stringów kablowych MFW o długości do 20-25 km i eksportowych systemów kabli zasilających o długości do 120 km.

Strona morska

Strona lądowa



Tłumione napięcie przemiennego (DAC) 110 kV* wersja off-shore dla kabli do 66 kV

Tłumione napięcie przemiennego (DAC) 60 kV * wersja off-shore dla kabli do 33 kV



* Dostępne konfiguracje Dual-Side i Dual-Power

Testowanie i diagnostyka monitorowana pod kątem wylądowań niezupełnych

Biorąc pod uwagę złożoność procesu instalacji w środowisku morskim, a także wszystkie zagrożenia związane z produkcją i transportem, dedykowane testy dla zainstalowanych kabli mają kluczowe znaczenie dla weryfikacji kompletności integralności systemu kabli i wykluczenia wad, np:

- o pustych przestrzeni i nacięć w materiałach polimerowych
- o rozwarstwień i zanieczyszczeń izolacji
- o wystających elementów lub niewłaściwego użycia materiałów osłony
- o brakujących lub nieprawidłowo zastosowanych komponentów lub połączeń lub nieprawidłowych wymiarów
- o nieprawidłowego ustawienia osprzętu

To wszystko może prowadzić do wzrostu napięcia, a w konsekwencji do przedwczesnej awarii lub wyższego wskaźnika starzenia podczas eksploatacji.

Bezpieczna i niezawodna praca sieci kablowej MFW rozpoczyna się już w momencie uruchomienia nowo zainstalowanego obwodu kablowego, po którym następuje odpowiednia konserwacja na podstawie stanu technicznego (CBM).

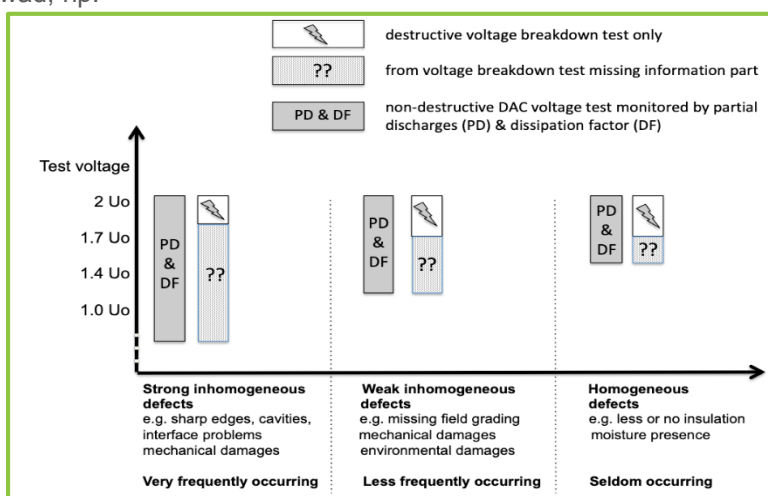
W związku z tym, że połączenia kablowe WN na lądzie i na morzu stają się coraz dłuższe, należy wziąć pod uwagę, że:

- o Same niszczące testy przepięciowe nie są optymalne technicznie i wystarczające do wykrywania wszystkich możliwych wad instalacji.
- o W przypadku długich linii kablowych dedykowana diagnostyka wylądowań niezupełnych jest bardziej czuła, co pozwala wykryć wszystkie wady

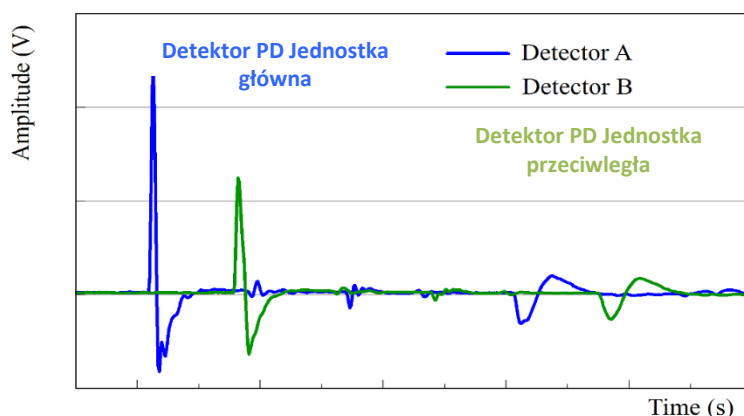
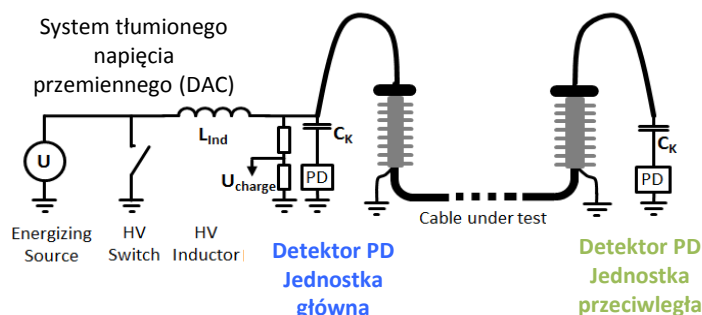
Dlatego czuły test próby napięciowej z monitorowaniem wylądowań niezupełnych może skuteczniej identyfikować wady wynikające z nieprawidłowego montażu i zapewnieniu tzw. stanu „0” — odcisku palca do dalszej oceny warunków obwodu kablowego, np. do porównania bezpośrednio przed końcem okresu gwarancji.

Dwustronne pomiary wylądowań niezupełnych

- o Technologia DAC zapewnia możliwość zasilania kabli o dużej pojemności, tj. kabli eksportowych o bardzo dużej długości, przy niskim zapotrzebowaniu na moc wejściową w połączeniu z czułą detekcją i lokalizacją wylądowań niezupełnych.
- o Wykrywanie i lokalizowanie wylądowań niezupełnych w systemach kabli o dużej długości można poprawić, wykonując pomiary wylądowań niezupełnych po obu stronach obwodu kabla (DS).
- o Detektory wylądowań niezupełnych są instalowane po obu stronach systemu kabli.
- o Detektory muszą być zsynchronizowane w celu skorelowania danych pomiarowych z obu stron.
- o W tej konkretnej konfiguracji impulsy wylądowań niezupełnych są mierzone bezpośrednio i nie ma potrzeby uwzględniania odbić, jak ma to miejsce w przypadku jednostronnej oceny TDR
- o Ponieważ obie jednostki są zsynchronizowane, różnica w czasach nadejścia impulsów po obu stronach wraz z prędkością impulsu uzyskaną z kalibracji zapewnia lokalizację defektu wylądowania.



Najlepszą skuteczność wykrywania defektów izolacji w morskim kablu zasilającym można uzyskać za pomocą testów napięcia przemiennego tłumionego (DAC) monitorowanych pod kątem wylądowań niezupełnych i współczynnika strat dielektrycznych.



Odpowiednie międzynarodowe standardy, wytyczne i międzynarodowe publikacje

Informacje ogólne

IEC 60060-3: Wysokonapięciowa technika probiercza Część 3: Definicje i wymagania dotyczące testów na miejscu.

IEEE 400: Przewodnik do testów terenowych i oceny izolacji ekranowanych systemów kabli zasilających o napięciu znamionowym 5 kV i wyższym

IEEE 400.4: Wytyczne badań w miejscu zainstalowania ekranowanych systemów kablowych na napięcie powyżej 5 kV z użyciem tłumionego prądu przemiennego (DAC)

IEC 63026: Podmorskie kable elektroenergetyczne o izolacji wytłaczanej oraz ich osprzęt przeznaczone do pracy przy napięciach znamionowych od 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) do 60 kV ($U_m = 72,5$ kV) - Wymagania metod testowych

HD 620 S2 (CENELEC): Kable dystrybucyjne o izolacji wytłaczanej przeznaczone do pracy przy napięciach znamionowych od 6 kV do 36 kV

IEC 60840: Kable o izolacji wytłaczanej oraz ich osprzęt przeznaczone do pracy przy napięciach znamionowych od 30 kV do 150 kV – Wymagania metod testowych

IEC 62067: Kable o izolacji wytłaczanej oraz ich osprzęt przeznaczone do pracy przy napięciach znamionowych od 150 kV do 500 kV – Wymagania metod testowych

HD 632 S2 (CENELEC): Kable elektroenergetyczne o izolacji wytłaczanej oraz ich osprzęt przeznaczone do pracy przy napięciach znamionowych od 36kV do 150kV

Cigré TB 496: Zalecenia dotyczące testów systemów kabli wytłaczanych prądu stałego do przesyłu energii elektrycznej o napięciu znamionowym do 500 kV

Cigré TB 841: Testy po ułożeniu systemów kabli prądu przemiennego i stałego z zastosowaniem nowych technologii

Energies: Damped AC Testing and Diagnosis of Wind Farms HVAC Long Length Cable Circuits (Tłumiony prąd przemienny Testy i diagnostyka farm wiatrowych HVAC obwodów kablowych o dużej długości), *Energies* 2022, 15, 8426. / <https://doi.org/10.3390/en15228426>.

Energies: Offshore Wind Farms On-Site Submarine Cable Testing and Diagnosis with Damped AC. (Morskie farmy wiatrowe Testowanie i diagnostyka kabli podmorskich na miejscu za pomocą tłumionego prądu przemiennego) *Energies* 2019, 12, 3703 <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/19/3703>

Cigre Science and Engineering: Testing and Diagnosis of Power Cables using Damped AC Voltages (Testy i diagnostyka kabli zasilających z wykorzystaniem tłumionych prądów przemiennych), *Cigre Science and Engineering*, CSE no. 29, 2023, <https://cse.cigre.org/cse-n029/testing-and-diagnosis-of-power-cables-using-damped-ac-voltages.html>

ACP OCRP-2024: Recommended Practice for Design, Deployment, and Operation of Submarine Cables in the United States (OCRP5) (Zalecane praktyki w zakresie projektowania, wdrażania i eksploatacji kabli podmorskich w Stanach Zjednoczonych (OCRP5)), opracowane przez komitet normalizacyjny American Clean Power Association, 2024.

Zgodne z normami wykrywanie wyładowań niezupełnych

IEEE 400.3: Przewodnik po testach wyładowań niezupełnych ekranowanych systemów kabli zasilających w warunkach terenowych

IEC 60270: Pomiar wyładowań niezupełnych

IEC 60885-3: Metody testowania pomiarów wyładowań niezupełnych na długościach wytłaczanych kabli zasilających

Cigré TB 502: Wysokonapięciowe testy na miejscu z pomiarem wyładowań niezupełnych

IEC 62478: Wysokonapięciowa technika probiercza - pomiar wyładowań niezupełnych metodami elektromagnetycznymi i akustycznymi

Cigré TB 444: Wytyczne dotyczące niekonwencjonalnych pomiarów wyładowań niezupełnych

Cigré TB 662: Wytyczne dotyczące wykrywania wyładowań niezupełnych przy użyciu metod konwencjonalnych (IEC 60270) i niekonwencjonalnych

Diagnostyka współczynnika strat dielektrycznych

IEC 60141: Testy kabli olejowych i gazowych oraz ich osprzętu

IEEE 1425: Przewodnik do oceny pozostałej żywotności impregnowanych systemów kabli przesyłowych o izolacji papierowej

IEC 60141: Testy kabli olejowych i gazowych oraz ich osprzętu

Cigré TB 627: Ocena stanu izolacji wypełnionej cieczą w kablach prądu przemiennego

Testowanie i diagnostyka stringu kabli między-turbinowych

Przykładowe kryteria zarządzania ryzykiem dla wykonawców (np. 5 lat gwarancji), operatorów systemów, ubezpieczycieli muszą być związane z kontrolą jakości np:

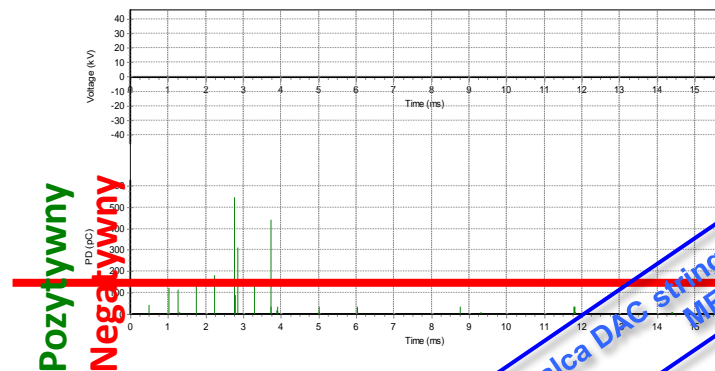
Ruch próbny U₀/24-72h = z powodu braku informacji na temat niezawodności eksploatacyjnej = **Brak gwarancji** *

Tylko testy napięcia prądu przemiennego = tylko z powodu wykazania przez przepięcie ekstremalnych wad = **Ograniczona gwarancja**

Test tłumionego napięcia przemiennego = ze względu na wrażliwe (PD- i Tan δ) odciski palców = **Pełna gwarancja** *

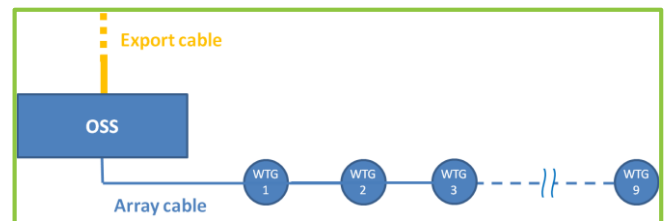
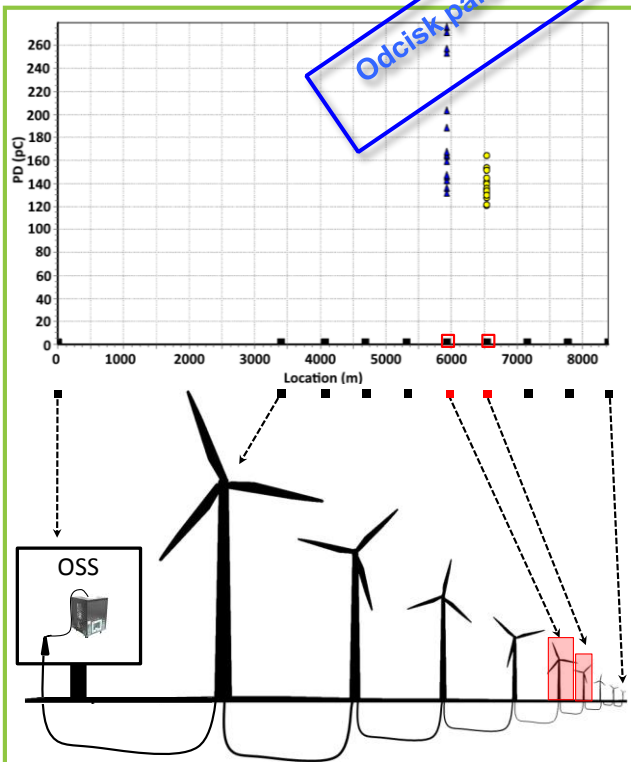
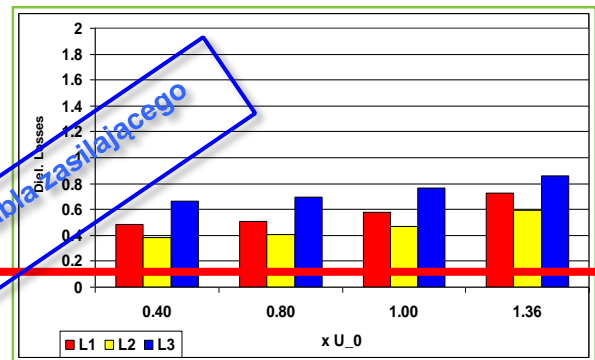
* W przypadku bardzo długich kabli eksportowych MFW coraz więcej Pracodawców łączy tłumione napięcie przemiennie z monitorowaniem wyładowań niepełnych z testem napięcia roboczego.

Wzorzec wyładowań niepełnych

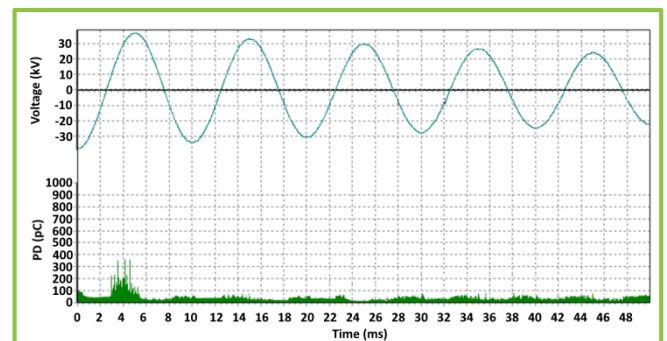


Pozytywny
Negatywny

Współczynnik strat dielektrycznych (tan δ)



Układ stringu. Test został przeprowadzony z OSS, odcinki kablowe łączące szeregowo 9 turbin wiatrowych są mierzone jednocześnie, co pozwala wskazać wszystkie obszary obciążone ryzykiem na całej długości linii.



Pomiar DAC PD i mapowanie PD całego łańcucha wykonane z OSS, wskazujące lokalizację defektu PD w łańcuchu (zakończenia kabla) w WTG 5 (faza L3 i WTG 6 (faza L2).



Testowanie i diagnostyka kabli eksportowych

Charakterystyczne cechy obwodów kabli eksportowych morskich farm wiatrowych:

- Wysoka pojemność, która wymaga ekstremalnie wysokiego zapotrzebowania na moc dla konwencjonalnych systemów napięcia przemiennego do testów
- Ze względu na bardzo duże długości fabryczna instalowana jest duża liczba (fabrycznych) muf
- Potrzeba testowania całego bębna kablowego w fabryce przed wysyłką i na miejscu po instalacji
- Dostępność i ograniczenia przestrzenne związane z dostępem do kabla na morzu
- Brak możliwości wykonywania pomiarów „w punkt” wyładowań niezupełnych na poszczególnych mufach kabla podmorskiego
- W przypadku kabli HVAC lub HVDC wszelkie możliwe wady wynikające z instalacji i transportu można wykryć i zlokalizować tylko za pomocą testów tłumionego napięcia przemiennego DAC, w tym wykrywania wyładowań niezupełnych.



Testy kabli eksportowych przy użyciu systemu DAC 400 kV: Jednostka nadrzędna z High-Power zainstalowana na podstacji lądowej (po lewej) Jednostka przeciwnie z Dual-Side zainstalowana na podstacji morskiej (po prawej)

Testy DAC eksportowych kabli zasilających o dużej długości

- Ze względu na niskie zapotrzebowanie na zewnętrzną moc wejściową i rozwiązania o dużej mocy, technologia tłumionego prądu przemiennego umożliwia zasilanie bardzo długich odcinków (do 120 kilometrów) kabli HVAC i HVDC o dużej pojemności.
- Zastosowanie do wszystkich typów kabli zasilających HVAC i HVDC HV i EHV
- Zastosowanie do testów na miejscu po ułożeniu / uruchomieniu, konserwacji i do diagnostyki
- Zatwierdzona metodologia testów, spełniająca odpowiednie parametry testów z odpowiednich międzynarodowych norm i zaleceń (IEEE, IEC, CIGRE, ACP)
- Możliwość dwustronnego wykrywania wyładowań niezupełnych na bardzo długich odcinkach (do 120 km) kabli eksportowych

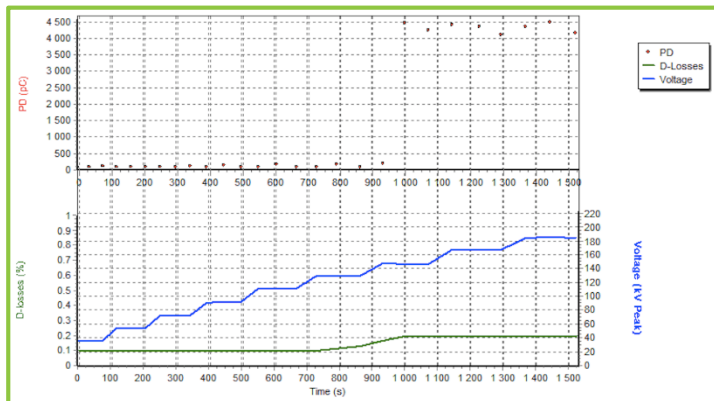


Mufa przejściowa (TJB) pojedynczego kabla 275 kV z sieci lądowej na podmorską.

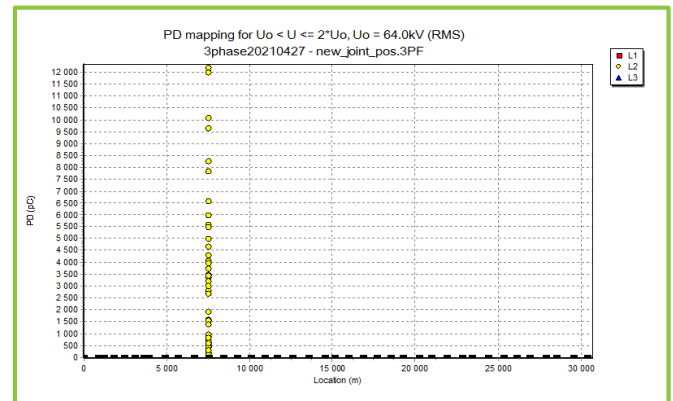
Podczas testów powykonawczych DAC z monitorowaniem wyładowań niezupełnych w zalecanym zakresie testowania częstotliwości zasilania (10 Hz-300 Hz) wykryto i zlokalizowano obecność wyładowań niezupełnych w jednej fazie w miejscu połączenia (część lądowa)

Dwustronny pomiar wyładowań niepełnych na długich odcinkach eksportowych i międzyturbiniowych systemów kabli zasilających

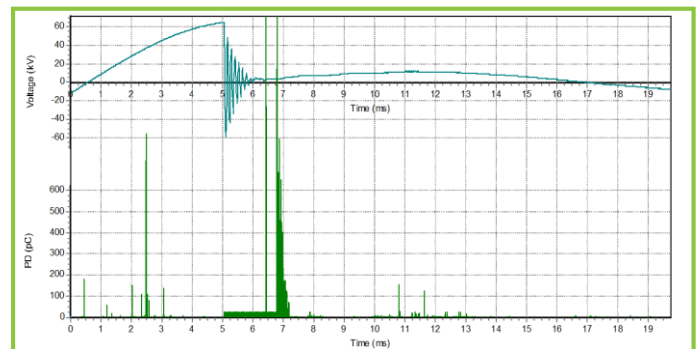
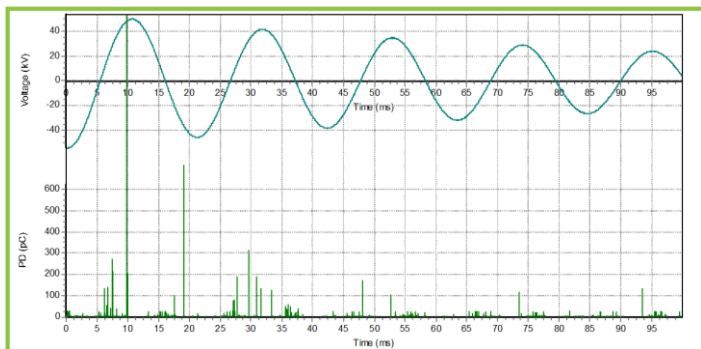
- Dwustronne testowanie w czasie rzeczywistym i diagnostyka wyładowań niepełnych są przeznaczone dla długich obwodów kabli transmisyjnych i dystrybucyjnych
- Lokalizacja wszystkich rodzajów uszkodzeń izolacji wzdłuż całego obwodu kabla
- Poprawa ogólnej wydajności pomiaru wyładowań niepełnych nawet o 200%.
- Wysoce czuły pomiar wyładowań niepełnych z automatyczną lokalizacją wyładowań niepełnych w czasie rzeczywistym
- W pełni zintegrowana zaawansowana diagnostyka wyładowań niepełnych zapewniająca pełny obraz stanu kabla
- Prosta konfiguracja z inteligentną komunikacją i synchronizacją



Wzrost podczas testu wytrzymałości napięciowej pokazujący pojawienie się wyładowania niepełnego przy 1,6U₀



Obustronne mapowanie impulsów wyładowań niepełnych (DS) w kablu 110 kV o długości 30 km wskazuje na mufę



Wzorce DAC PD przed / w momencie przebicia izolacji podczas testu po ułożeniu kabla o długości 13,3 km od sieci lądowej do podmorskiej 220 kV

Klasa napięcia	Izolacja kabla	Długości kabli
132 kV	XLPE	25 km, 50 km, 60 km
230 kV	Olejowa	27 km i 28 km
110 kV	XLPE	19 km, 28 km, 38 km, 50 km
110 kV	XLPE	31 km, 30,9 km, 27 km, 21 km
50 kV	XLPE	22,2 km i 17,5 km
35 kV	XLPE	27 km i 18 km
30 kV	XLPE	25 km i 26 km
33 kV	XLPE	różne do 15 km
220 kV	XLPE	14 km
150 kV	XLPE	18 km
66 kV	XLPE	różne do 50 km

Przykłady ostatnich projektów testów odbiorczych długich kabli na lądzie i na morzu z wykorzystaniem technologii tłumionego prądu przemiennego DAC

Testowanie i diagnostyka kabli HVDC

Typowe problemy występujące w podmorskich kablach HVDC

- Instalacja podmorskiego kabla HVDC to kosztowne i trudne zadanie. Kabel podmorski może być eksploatowany przez dziesiątki lat, ale naprawy usterek takiego kabla są kosztowne i skomplikowane.
- Według Cigré TB 496 można rozważyć rutynowe testy napięciem przemiennym, ale długie odcinki produkcyjne i wysokie poziomy napięcia mogą sprawić, że testy napięciem przemiennym będą niepraktyczne. Na szczęście można uporać się z tym problemem, przeprowadzając testy za pomocą tłumionego napięcia DAC.
- Cigré TB 496 zaleca do testów poinstalacyjnych napięcie stałe o wartości $1,45 U_0$ (przez 1 godzinę), przy czym należy stosować biegunowość ujemną niezależnie od biegunowości.
- To oczywiste, że test Cigré TB 496 nie zapewnia pożądanych optymalnych kryteriów wyboru w celu uzyskania ogólnej oceny stanu kabla
- Test HV DAC połączony z testem wyładowań niezupełnych może być przeprowadzony również na całych zainstalowanych odcinkach.
- Test przepięciowy DC nie jest wystarczający do wykazania obecności wad izolacji w izolacji kabla i w osprzęcie. Tylko naprężenia AC mogą wykazać te wady.
- Ze względu na wysoką pojemność kabli HVDC, która wymaga ekstremalnie wysokiego zapotrzebowania na moc dla konwencjonalnych systemów testów napięcia przemiennego, najbardziej oczywistym rozwiązaniem jest zastosowanie tłumionego napięcia przemiennego do sprawdzania jakości dużej liczby (fabrycznie) zainstalowanych złączy i całej izolacji kabli

Przydatność tłumionego napięcia przemiennego (DAC) do testów powykonawczych kabli zasilających HVDC

- Test powykonawczy na miejscu ma na celu weryfikację jakości całego systemu kabli.
- To test terenowy wykonywany po instalacji całego systemu kablowego, w tym głowic i muf, przed oddaniem systemu kablowego do normalnej eksploatacji.
- Test powykonawczy musi być przeprowadzony za pomocą testu wytrzymałości na tłumione napięcie przemiennie (DAC) z monitorowaniem wyładowań niezupełnych
- Test ten składa się z testu wysokonapięciowego z góry określonej wartości (zgodnie z IEC), a monitorowanie wyładowań niezupełnych ułatwia ocenę ogólnego stanu kabla.
- Połączenie testu wytrzymałości napięciowej z wykrywaniem wyładowań niezupełnych i współczynnika strat dielektrycznych ($\tan \delta$) dostarcza informacji o słabym punkcie izolacji i degradacji izolacji przed awarią.
- Jeżeli chodzi o całą długość zainstalowanego kabla HVDC, wszelkie możliwe usterek powstałe w fabryce lub po instalacji i transporcie mogą być wykryte i zlokalizowane wyłącznie za pomocą testów tłumionego napięcia przemiennego (DAC), w tym jedno- lub dwustronnego wykrywania wyładowań niezupełnych na zakończeniach kabla.



Test tłumionego prądu przemiennego z pomiarami wyładowań niezupełnych kabla HVDC 320 kV

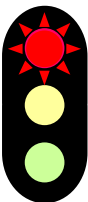
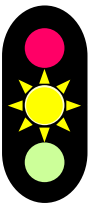

Konserwacja oparta na stanie technicznym (CBM) odcinków morskich kabli między-turbinowych

Dzięki zastosowaniu dedykowanej metody, takiej jak technologia DAC, możliwa będzie lepsza kontrola jakości nowo zainstalowanych obwodów morskich kabli eksportowych oraz podejście do zachowania jakości kabli zasilających (CAPEX) przez cały czas pracy MFW, co przełoży się na wyższą niezawodność, a w konsekwencji niższe koszty przestojów (OPEX).

Na podstawie nieniszczącej zaawansowanej diagnostyki DAC starzejących się w wyniku eksploatacji odcinków kablowych między-turbinowych można określić rzeczywisty stan izolacji i wykorzystać go do konserwacji na podstawie stanu (CBM).

Zastosowanie reguł wiedzy o stanie kabli może pomóc przy podejmowaniu decyzji dotyczących zarządzania aktywami sieci kabli MFW.



Obwód kabla	Rzeczywisty stan	Zalecenia
 <p>String 5: OSS do WTG 5_8</p>	<p>Wewnętrzne wyładowanie niepełne znalezione w:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lokalizacja WTG 5_6, faza L1 2. Lokalizacja WTG 5_1, fazy L1, L3 i L3 3. Lokalizacja WTG 5_6, faza L3 	<p>Zbadaj/napraw wskazaną lokalizację. Kolejne testy konserwacyjne powinny zostać przeprowadzone w okresie 1 roku, jeśli nie zostaną przeprowadzone żadne działania naprawcze w celu weryfikacji zmian wyładowań niepełnych.</p>
 <p>String 3: OSS do WTG 3_8</p>	<p>Wewnętrzne wyładowanie niepełne znalezione w:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lokalizacja WTG 3_5, fazy L1 i L3 2. Lokalizacja WTG 3_3, faza L1 	<p>Zbadaj/napraw wskazaną lokalizację. Kolejne testy konserwacyjne powinny zostać przeprowadzone w okresie około 3 lat, jeśli nie zostaną przeprowadzone żadne działania naprawcze w celu weryfikacji zmian wyładowań niepełnych.</p>
<p>String 4: OSS do WTG 4_8</p>	<p>Wewnętrzne wyładowanie niepełne znalezione w:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lokalizacja WTG 4_3, faza L2 2. Lokalizacja WTG 4_4, faza L1 	
 <p>String 1: OSS do WTG 1_8</p>	<p>Nie znaleziono wewnętrznych źródeł PD</p>	<p>Następny test konserwacyjny w ciągu 5 lat</p>
<p>String 2: OSS do WTG 2_8</p>	<p>Nie znaleziono wewnętrznych źródeł PD</p>	<p>Następny test konserwacyjny w ciągu 5 lat</p>

* Zalecenia opierają się na wynikach oceny stanu DAC przeprowadzonej w dwuletnich odstępach między inspekcjami.



onsite hv solutions ag

Töpferstrasse 5

6004 Lucerna

Szwajcaria

Członek *Electrosuisse*

tel. +41 41 500 0550

fax. +41 41 500 0551

onsite hv solutions Central Europe Sp. z o. o.

Ciasna 6

00-232 Warszawa

Polska

tel. +48 693 491 444

fax. +48 895 264 485

onsite hv solutions Benelux B.V.

Van der Kunstraat 10

4251 LN Werkendam

Holandia

tel. +31 183 304 012

fax. +31 183 302 008

MasterGrid

2 rue de la Neva

38000 Grenoble

Francja

tel. +33 4 56 59 35 12

E-mail: clients@mastergrid.com

Strona internetowa:

www.mastergrid.com

**Polska firma, polski personel – stanowimy nasz polski wkład
w budowę Morskich Farm Wiatrowych na Bałtyku**

<https://www.forbes.pl/diamenty/wizytowki/2025/onsite-hv-solutions-central-europe/1nlwbjx>



E-mail:

info@onsitehv.com

Strona internetowa:

www.onsitehv.com

onsite
HV SOLUTIONS

Członek Grupy **Onsite HV**