

A large industrial high-voltage test chamber with multiple silver-colored spherical electrodes and blue insulating columns. A red rod is visible in the center. The background shows a window with a grid pattern.

**HIGH
VOLT**

KONFERENCJI NAUKOWO TECHNICZNEJ

Nidzica, 5-7 września 2023

Tobias Miessler, HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH

**HIGH
VOLT**

Profil firmy

HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH

Prawie 120 lat doświadczeń systemów pomiarowych z Drezna

1904



1945



1991

SIEMENS

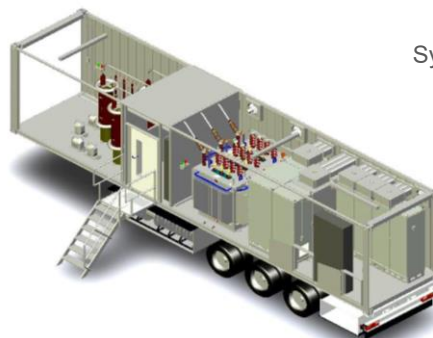
1996



2002



Member of REINHAUSEN Group



System mobilny do testowania transformatorów



System mobilny do prób napięcia doprowadzonego dla transformatorów mocy

Produkty:

- Systemy AC stacjonarne i mobilne
- Systemy DC stacjonarne i mobilne
- Generatory udarowe napięciowe
- Generatory impulsowe prądowe
- Kompletnie stacje prób

Klienci:

- 67 % Producenci
- 17 % Dostawcy usług
- 5 % Uczelnie
- 4 % Zakłady energet.
- 15 % Inni

Udział w rynku >30 %

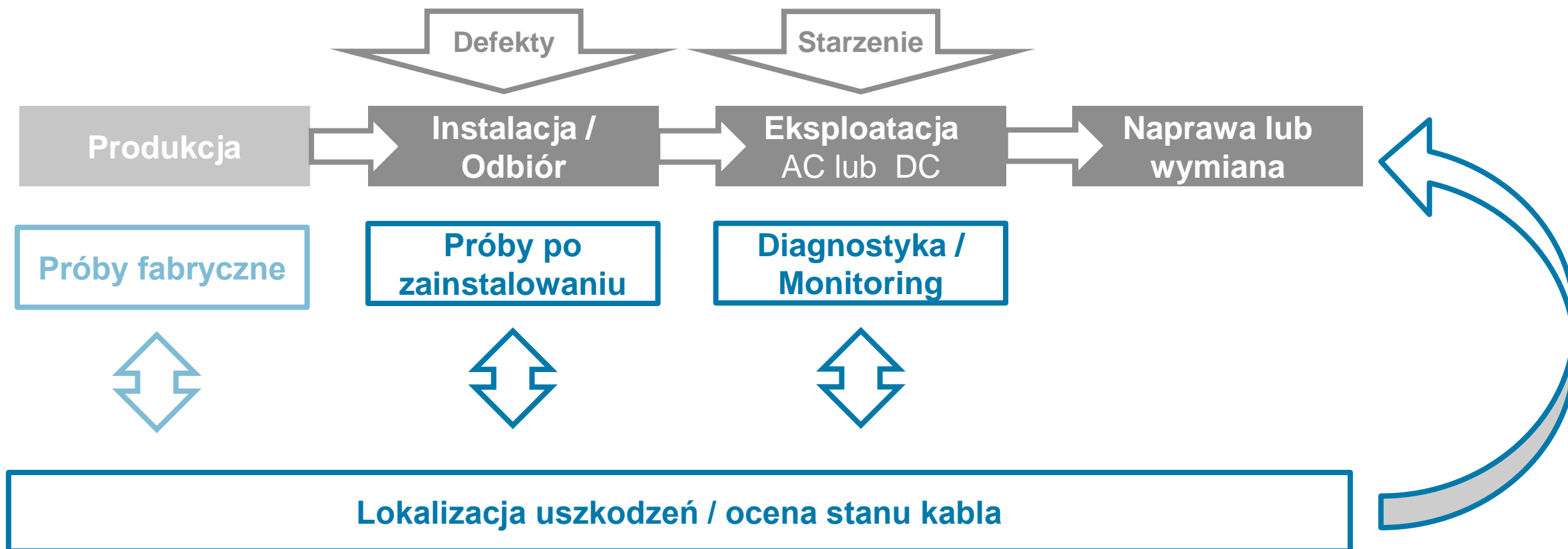
Udział eksportu >90 %

**HIGH
VOLT**

Próby odbiorcze kabli w miejscu
zainstalowania

**HIGH
VOLT**

Cykl życia kabla



General demands for on-site testing

- Cel testu
 - Zainicjowanie wyładowań niezupełnych w miejscu defektu, tak żeby było możliwe zlokalizowanie.
 - Próba wytrzymałościowa: przyczyna znacznego wzrostu uszkodzeń prowadząca do przebicia

- Istotne parametry testu:
 - Napięcie próby
 - Tczas trwania próby (zarówno rozpoczęcie jaki narastanie WNZ)
 - Kształt krzywej napięcia (rodzaj obciążenia)

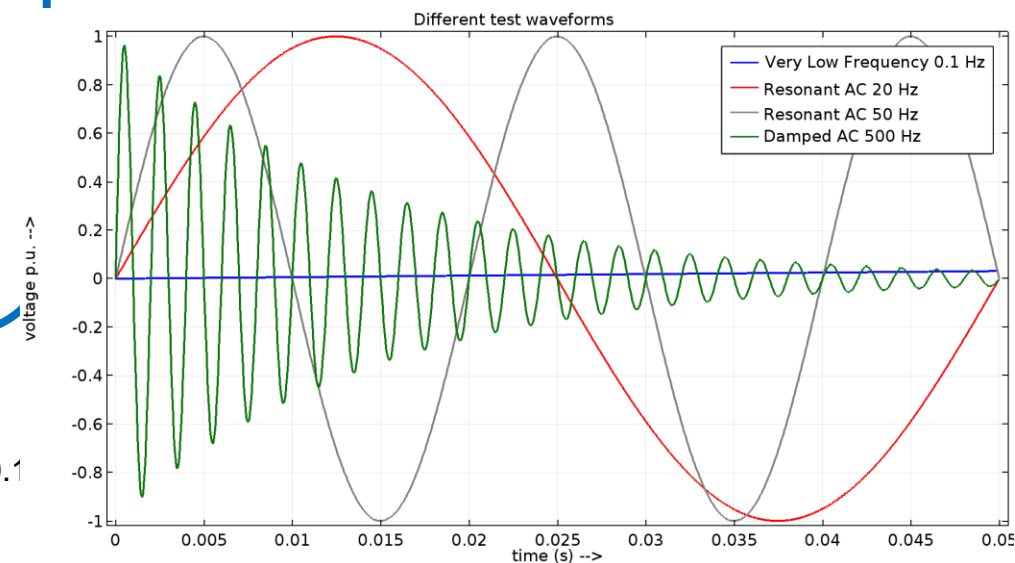


Rodzaj i wartość obciążenia jest ważna z punktu widzenia istotności testu

Różne rodzaje generatorów AC i różne kształty krzywych do testowania on-site kabli

- VLF - Very Low Frequency
Napięcie wolnozmiennie sinusoidalne of 0.1 Hz or 0.01 Hz
- OWTS - Oscillating Wave Test System
System probierczy z tłumioną falą oscylacyjną wzbudzoną DC
- DAC - Damped Alternating Current voltage
Tłumiony przebieg napięciowy oscylacyjny 20...100...500 Hz wzbudzony ładowaniem prądem stałym DC
- ACRF – Metoda rezonansowa prądu przemiennego z dostrajaniem częstotliwościowym, fala sinusoidalna 10 Hz do 300 Hz
- ACRL - Metoda rezonansowa prądu przemiennego z dostrajaniem indukcyjnością, fala sinusoidalna 50 Hz or 60 Hz
- VLF CR - Very Low Frequency wolnozmiennie napięcie kosinusoidalno-prostokątne 0.1
- Nachylenie 50 Hz – zmodyfikowana metoda VLF CR
fala prostokątna of 0.1 Hz z “nachyleniem” podczas zmiany polaryzacji
- DC - Napięcie prądu stałego
stałe napięcie o polaryzacji dodatniej lub ujemnej, czasem zmiennej
- I wiele innych...

Najpopularniejsze metody testowe, różne kształty krzywej probierczej



Pytanie

Jaki jest najwłaściwszy rodzaj testu dla kabla wysokiego napięcia w izolacji wytłaczanej?

Porównanie - napięcie DC

Zalety:

- Małe i lekkie urządzenia probiercza o małym poborze energii

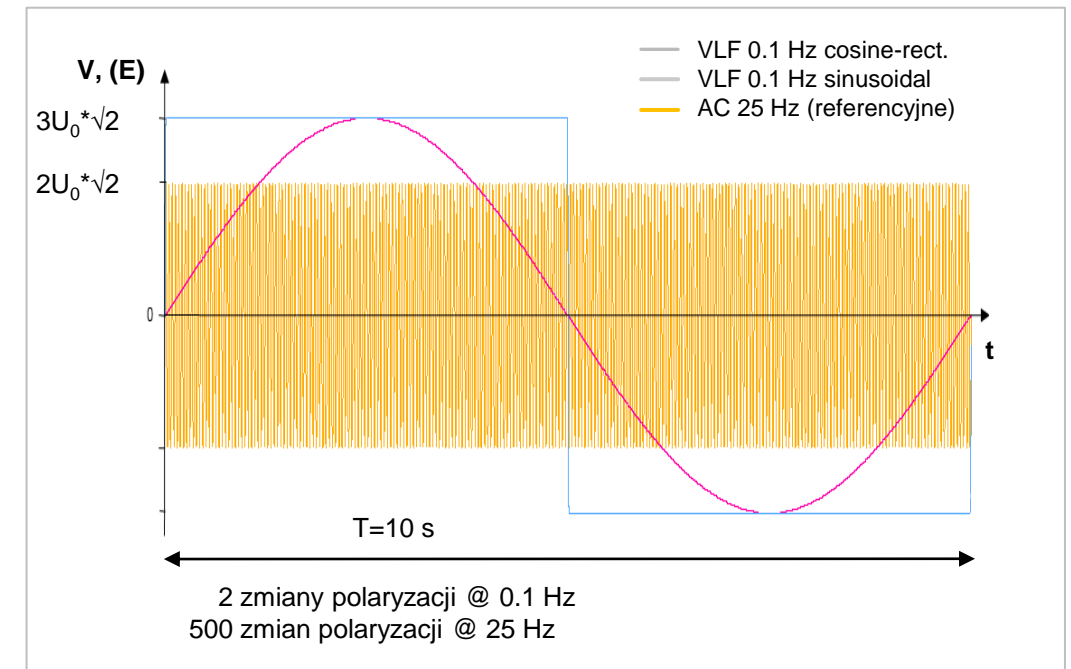
Wady:

- Obciążenie DC powoduje powstawanie ładunków przestrzennych w kablu
- Po załączeniu naprężenie od napięcia AC nakłada się z polem generowanym przez ładunki przestrzenne
- Natężenie pola zwiększa się dla stałej polaryzacji
- Nowe uszkodzenia izolacji powstające w wyniku zwiększonego natężenia pola
- Wcześniejsze kable XLPE testowane napięciem DC uszkadzały się w krótkim czasie po załączeniu

Porównanie – Very Low Frequency (VLF)

Voltage test with VLF

- Wolnozmienny sinusoidalny cosinusoidalno-prostokątny kształt krzywej od 0.01 Hz do 0.1 Hz → Napięcie robocze jest 500 do 5000 razy szybsze (50 Hz)
- Współczynnik zmian polaryzacji napięcia 50 Hz do 0.1 Hz = 500 (lub 5000 dla 0.01 Hz)
- Próba trwająca 15 min skutkuje 90 cyklami 0.1 Hz



Porównanie – Very Low Frequency (VLF)

Zalety:

- Małe i lekkie urządzenia probiercza o małym poborze energii
- Dobrze zdefiniowane napięcie probiercza (napięcie, czas trwania, częstotliwość)

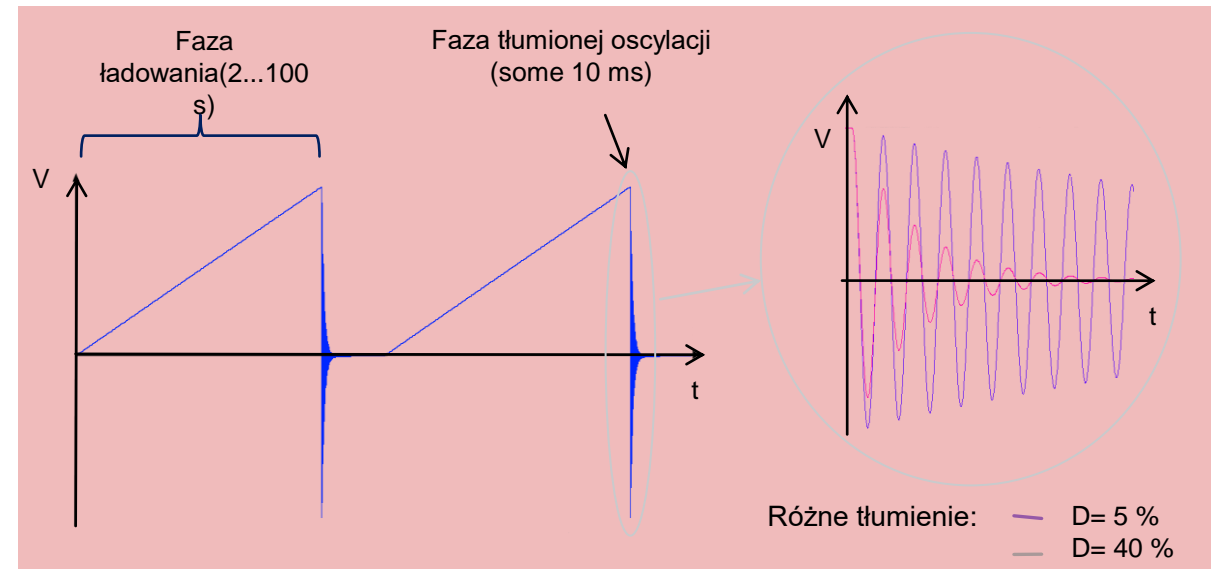
Wady:

- Zgodnie ze standardami IEC dozwolone tylko dla kabli SN
- Kształt krzywej i częstotliwość nie są podobne do częstotliwości roboczej i prób fabrycznych (brak kompatybilności)
- Rozkład pola sterowany rezystancją w pobliżu defektów izolacji > w ten sposób jest redukowane natężenie pola w defektach
- Dla uzyskania znaczących wyników testów są niezbędne wyższe nadnapięcia, które są akceptowalne dla kabli SN, problematyczne dla kabli WN i EWN z powodu wyższego natężenia pola
- Mniej czuły pomiar WNZ ponieważ wartość $\frac{dU}{dt}$ jest mała, co pozwala zainicjować tylko niewielką ilość zapłonów

Porównanie – Metoda fali gasnącej AC (DAC)

Próba napięciowa DAC

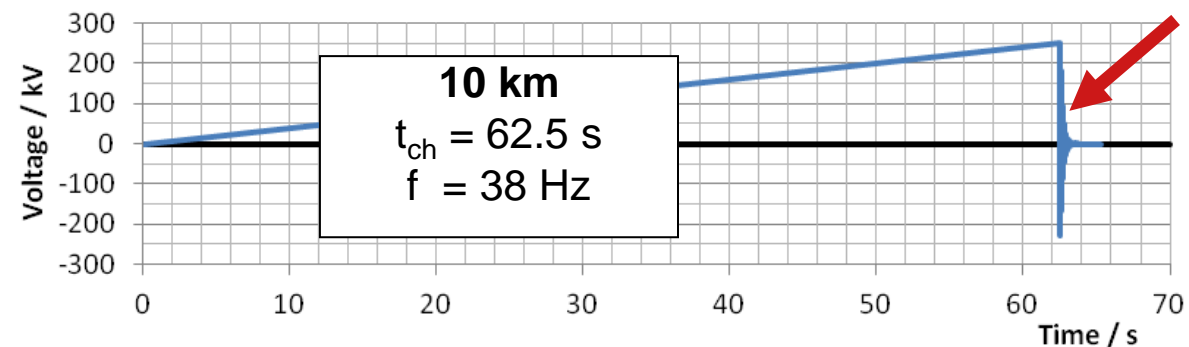
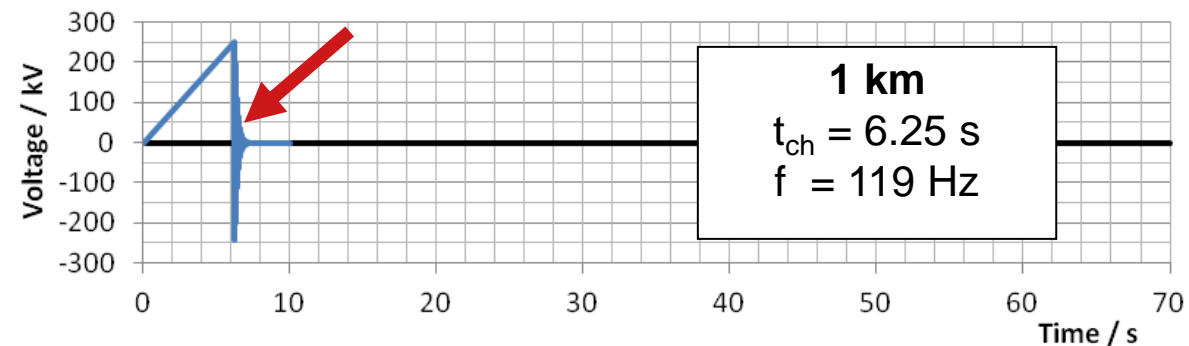
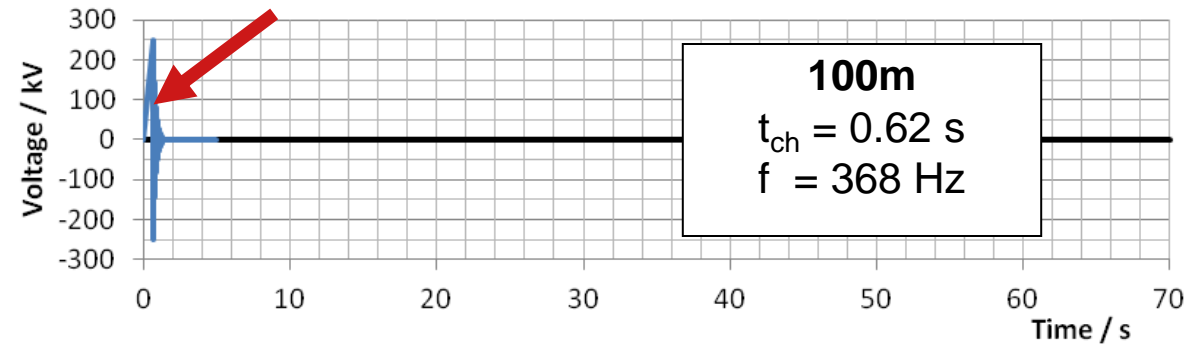
- Tłumiony przebieg napięciowy oscylacyjny 20...100...500 Hz wzbudzany DC
- Długi czas ładowania unipolarnego DC do 100 s (zależy od długości kabla i prądu ładowania)
- Ładowany kabel jest podłączony do reaktora WN przez przełącznik WN tworząc obwód oscylacyjny
- Napięcie tłumione (współczynnik tłumienia ... 40%), szybkie spadek napięcia spowodowany stratami w testowanym kablu, reaktorze WN, przełączniku WN
- Procedura powtarzana 50 razy zgodnie z wymaganiami producenta (50 “strzałów”)



Porównanie – Metoda fali gasnącej AC (DAC)

Czas ładowania uzależniony od:

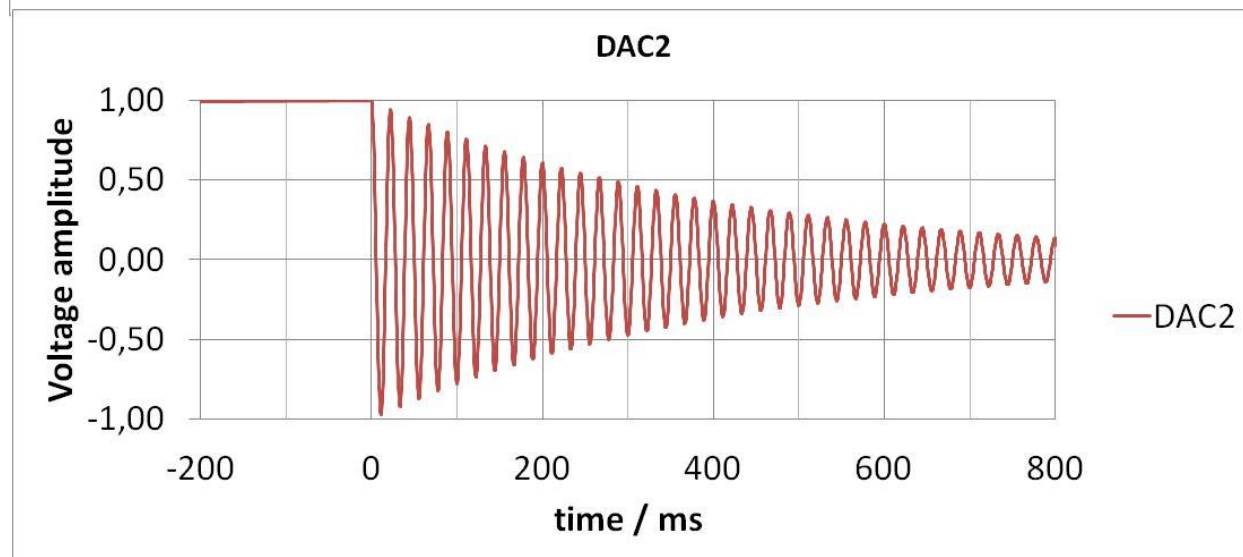
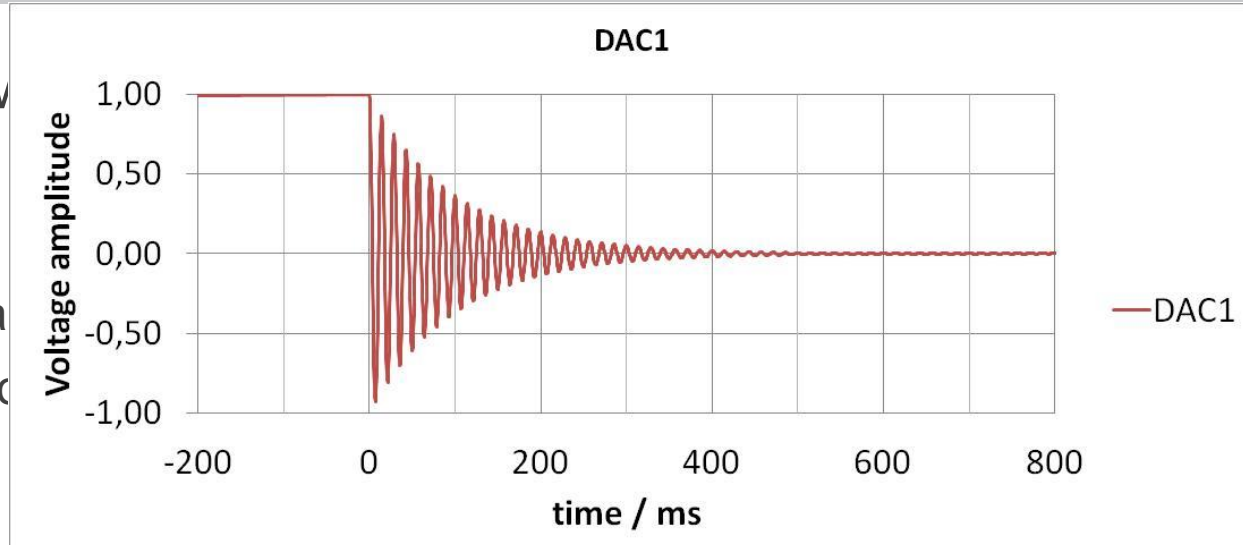
- Pojemności badanego obiektu
- Napięcia próby
- Prądu generowanego przez system probierczy



Porównanie – Metoda fali gasnącej AC (DAC)

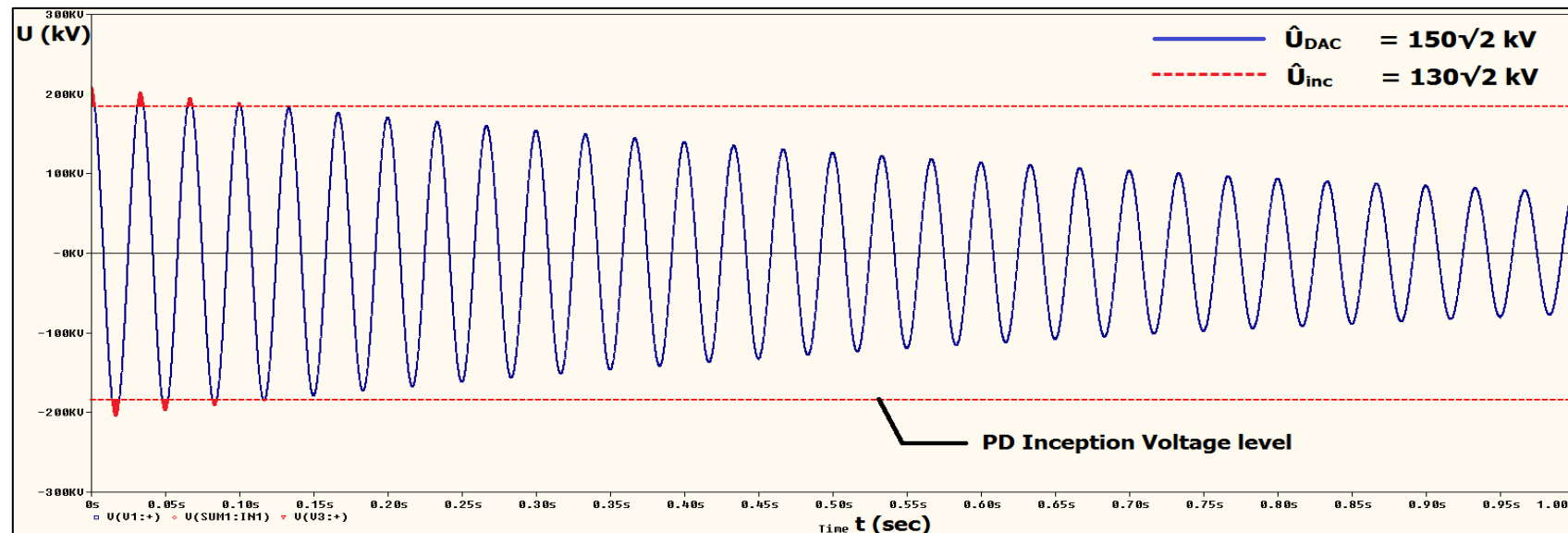
Tłumienie zależne od wielu czynników

- Pojemności badanego obiektu
- Rezystancji reaktora WN, przełącznika
- Przewodności izolacji kabla WN, reaktora
- Tan delta, poziomu WNZ



Porównanie – Metoda fali gasnącej AC (DAC)

DAC przykład przebiegu napięcia dla oscylacji 30 Hz i β , kabel 150 kV XLPE



Test voltages:

- $ACRF = 1.7 \cdot U_0$ (IEC 60840)
- $DAC = 1.7 \cdot U_0$ (CIGRE WG B1.28)
- Assumed inception voltage = $1.5 \cdot U_0$

Współczynnik ACRF do DAC = 1593
Prawdopodobieństwo inicjalizacji
początkowego elektronu podczas
testu AC jestis 1593 razy większe niż
podczas DAC

Porównanie – Metoda fali gasnącej AC (DAC)

Zalety:

- Mniejsze rozmiary i waga urządzenia probierczego, małe zużycie energii (Źródło DC)

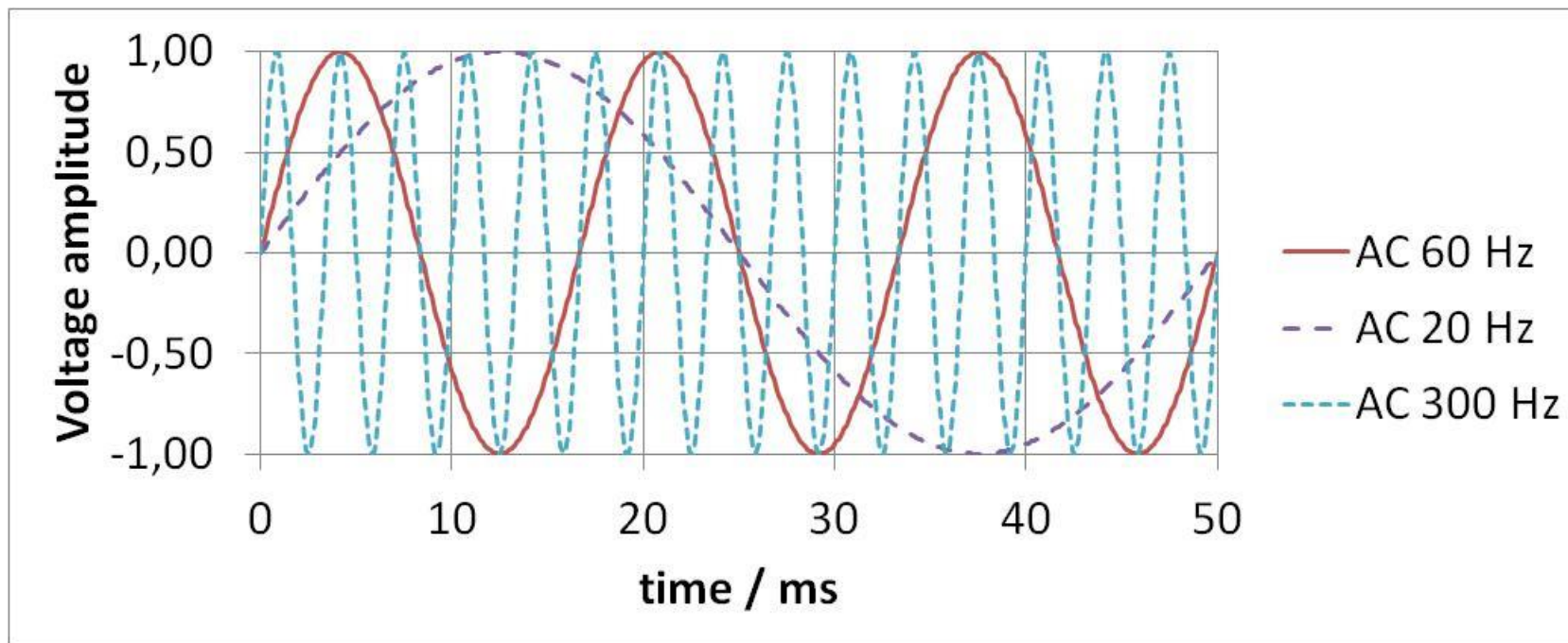
Wady:

- Niedopuszczalna zgodnie ze standardami IEC
- Ryzyko ładunków przestrzennych z powodu jednobiegunowego ładowania.
- Drgania tłumione dają w rezultacie bardzo krótkie skuteczne obciążenie AC (50 wzbudzeń jest odpowiednikiem 2s efektywnego obciążenia AC)
- Faza AC próby jest zbyt krótka dla skutecznego wykrywania słabych miejsc w izolacji
- Nie reprezentuje rzeczywistego stresu podczas eksploatacji
- Brak powtarzalności

Porównanie - Rezonansowy system probierczy AC

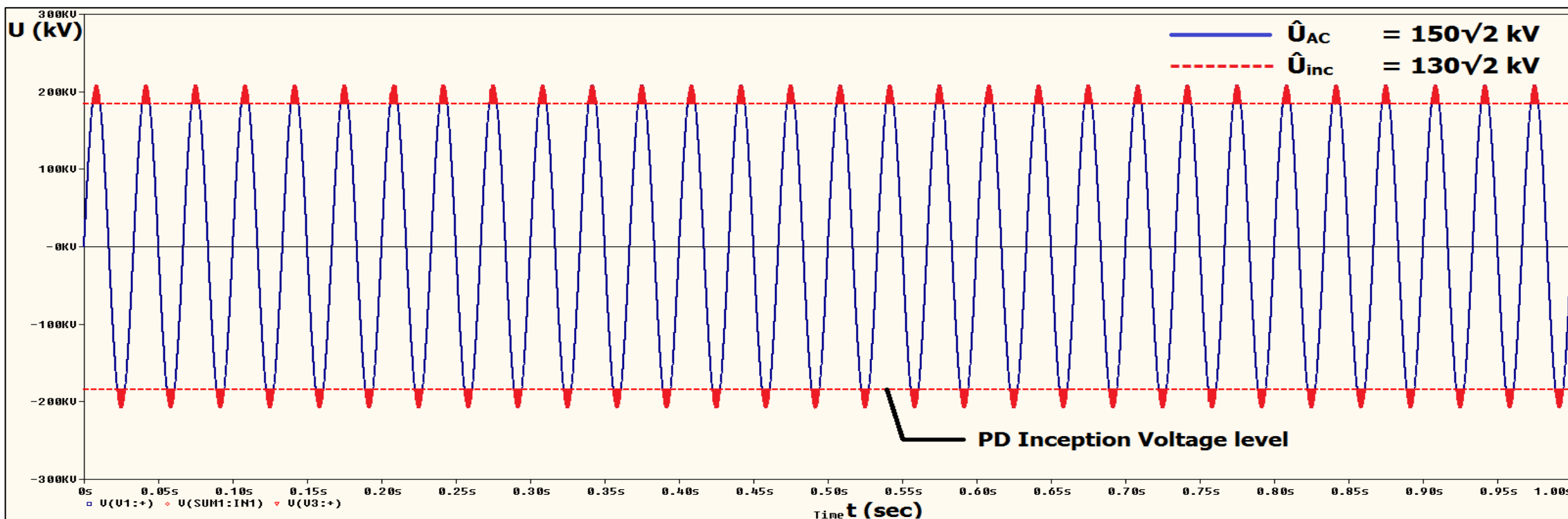
Próba rezonansowa ACRF przez 1 h napięcie probiercze 1.1...2 U₀

- Sinusoidalny kształt krzywej probierczej, częstotliwość od 20 Hz do 300 Hz, napięcie 1.1 do 2 U₀ (w zależności od klasy kabla) lub 1.7 U₀
- Czas trwania próby: 15 / 30 / 60 min (w zależności od klasy kabla)



Porównanie - Rezonansowy system probierczy AC

ACRF at 30 Hz



Napięcie probiercze:

- $ACRF = 1.7 \cdot U_0$ (IEC 60840)
- $DAC = 1.7 \cdot U_0$ (CIGRE WG B1.28)
- Zakładane napięcie zapłonu $WNZ = 1.5 \cdot U_0$

Obszar poniżej krzywej

- Współczynnik ACRF do DAC = 1593
- Prawdopodobieństwo inicjalizacji początkowego elektronu podczas testu AC jestis 1593 razy większe niż podczas DAC

Porównanie - Rezonansowy system probierczy AC

Zalety:

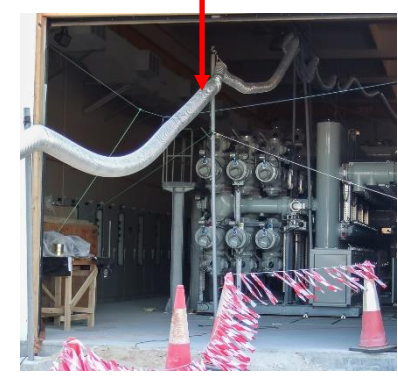
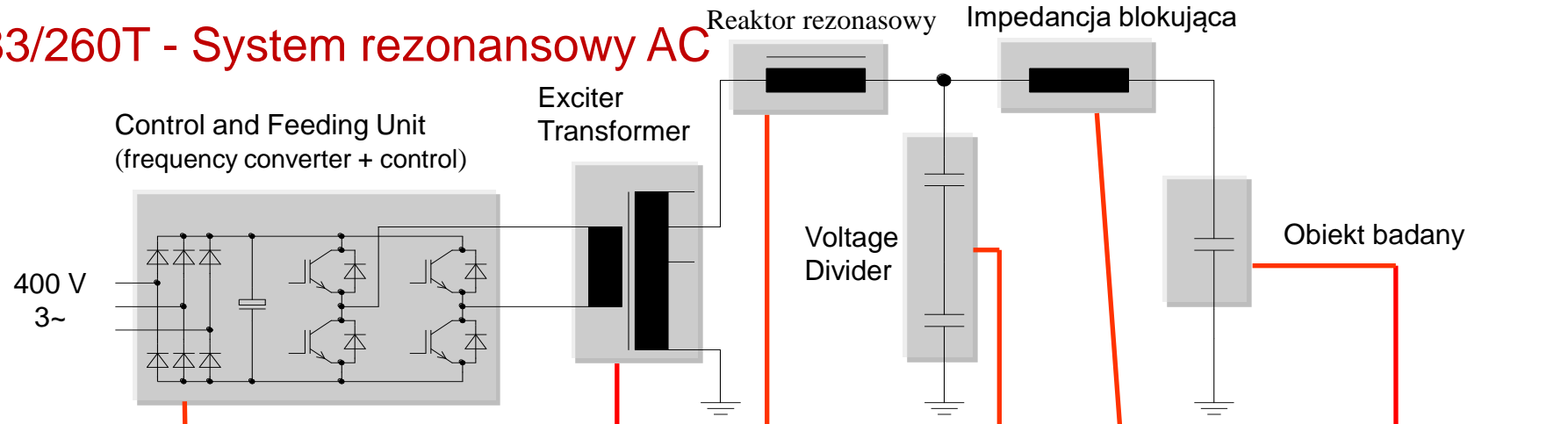
- Metoda dopuszczalna zgodnie z aktualnymi standardami
- Częstotliwość probiercza ma taką samą wartość amplitudy w porównaniu z częstotliwością energetyczną.
- Napięcie probiercze i rozkład pola są zbliżone do warunków pracy żeby przyspieszyć mechanizm usterek i wykrywanie uszkodzeń
- Kształt krzywej i częstotliwość są podobne do częstotliwości pracy i prób fabrycznych (porównywalność)

Wady:

- Większe rozmiary i waga rezonansowych urządzenia probiercze są większe w porównaniu z systemami DAC i VLF
- Większe koszty niż systemy DAC i VLF

System mobilny do testowania on-site kabli WN i EWN

WRV 83/260T - System rezonansowy AC



System mobilny do testowania on-site kabli WN i EWN

System probierczy zaprojektowany do:

- Testowania kompletnych instalacji kablowych
- Zastosowań zewnętrznych
- Mobilny, wytrzymały sprzęt
- Uwzględniono wszystkie wymagania bezpieczeństwa w warunkach terenowych

Zawiera

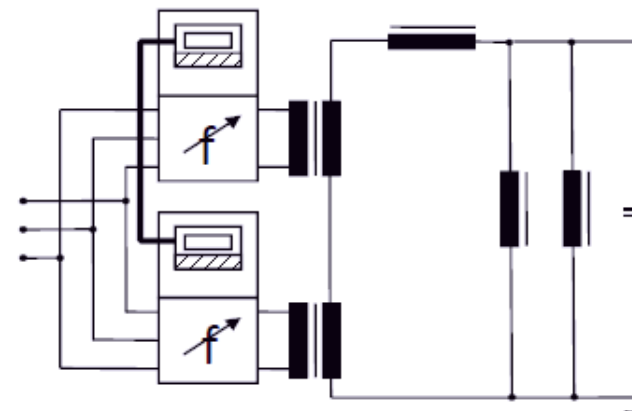
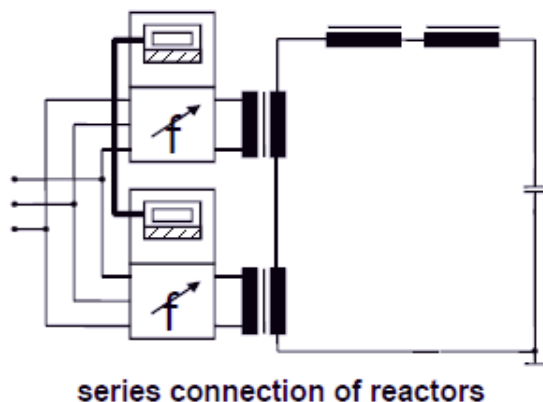
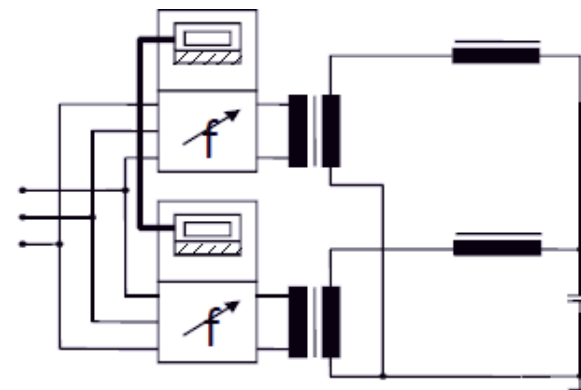
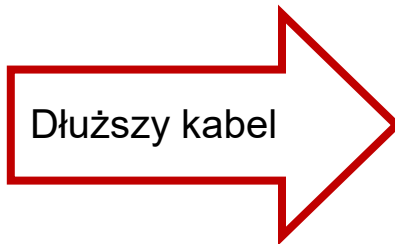
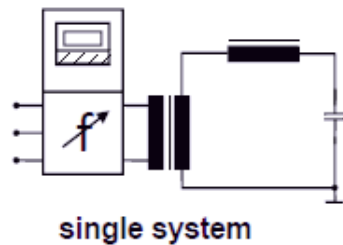
- System probierczy HV AC (bazujący na szeregowym obwodzie rezonansowym)

Oraz urządzenia pomocnicze

- System pomiaru WNZ, system lokalizacji WNZ
- Różne narzędzia diagnostyczne
- System lokalizacji uszkodzeń



Zwiększanie mocy i napięcia przez kombinację reaktorów



Przykład prób odbiorczych on-site

Układ do próby 260 kV / 4.78 μ F



Parametry testu:

Lokalizacja	Qatar, Oct. 2011
Typ kabla	400 kV XLPE
Długość kabla	22 km
Pojemność kabla	4.78 μ F
Napięcie probiercze	260 kV
Częstotliwość próby	21.03 Hz
Prąd próby	164.2 A
Współczynnik jakości	141
Moc probiercza	42.7 MVA
Moc zasilania	0.30 MVA

Pytanie - Jaka jest najwłaściwsza metoda próby wysokonapięciowej dla kabla energetycznego WN w izolacji wytłaczanej?

▪ Kable SN

- HVAC sinusoidalna krzywa 20 Hz do 300 Hz lub VLF częstotliwość 0.1 Hz
- Czas próby 15 min
- Pomiar WNZ dla akcesoriów opcjonalnie
- Pomiar $\tan \delta$...

▪ Kable WN i EWN

- HVAC sinusoidalna krzywa 20 Hz do 300 Hz lub
- Czas próby 30 lub 60 min
- Pomiar WNZ dla akcesoriów opcjonalnie
- Pomiary $\tan \delta$...

Niezalecane:

- DC
- Krzywa oscylacyjna / DAC
- Próba z wykorzystaniem 24 h x U_0
- VLF dla kabli WN i EWN

The image shows a high-voltage testing facility. In the foreground, there are several large, silver, toroidal (donut-shaped) components, likely part of a transformer or reactor, mounted on a blue metal frame. A thick, copper-colored rod is visible, extending from the left towards the center. In the background, there are more similar components and a window with a grid pattern. The overall scene is brightly lit, suggesting an indoor industrial or laboratory setting.

**HIGH
VOLT**

Metody diagnostyki i monitoringu

**HIGH
VOLT**

Uzasadnienie dla oceny stanu kabli

▶ **Cel** – Zwiększenie dostępności kablowej linii przesyłowej

- Ocena stanu podczas prób fabrycznych, prób powykonawczych i w trakcie eksploatacji
 - Szybka lokalizacja przebić w kablu
 - Wykrywanie rozwijających się uszkodzeń
 - Ocena starzenia

▶ **Rezultat** – Zalecania odpowiednich działań

The image shows a high-voltage testing facility. A red cable is being tested, passing through a series of blue insulators. The equipment is housed in a structure with a 'HIGH VOLT' warning sign. The background features a window with a grid pattern.

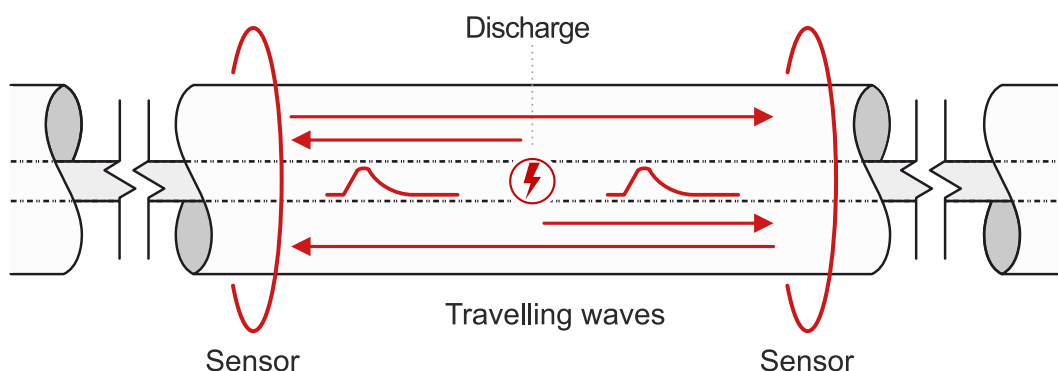
**HIGH
VOLT**

Szybka lokalizacja przebicia w kablu

**HIGH
VOLT**

Metoda szybkiej lokalizacji przebicia w kablu (RT-TDR)

Real Time - Time Domain Reflectometry (RT-TDR)

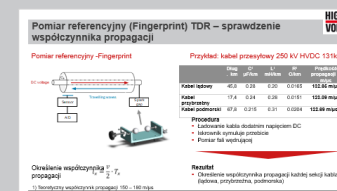


- Przebiecie w kablu**
 Przebiecie w izolacji kabla powoduje powstanie impulsu wysokiej mocy, który prowadzi do transmisji fali wędrującej w obu kierunkach od miejsca uszkodzenia.
- Lokalizacja uszkodzenia**
 Lokalizacja miejsca uszkodzenia polega na pomiarze czasu propagacji fali w kablu.

Parametry kabla
 Długość, $v = f(C', L', R')$,
 każdej sekcji kabla

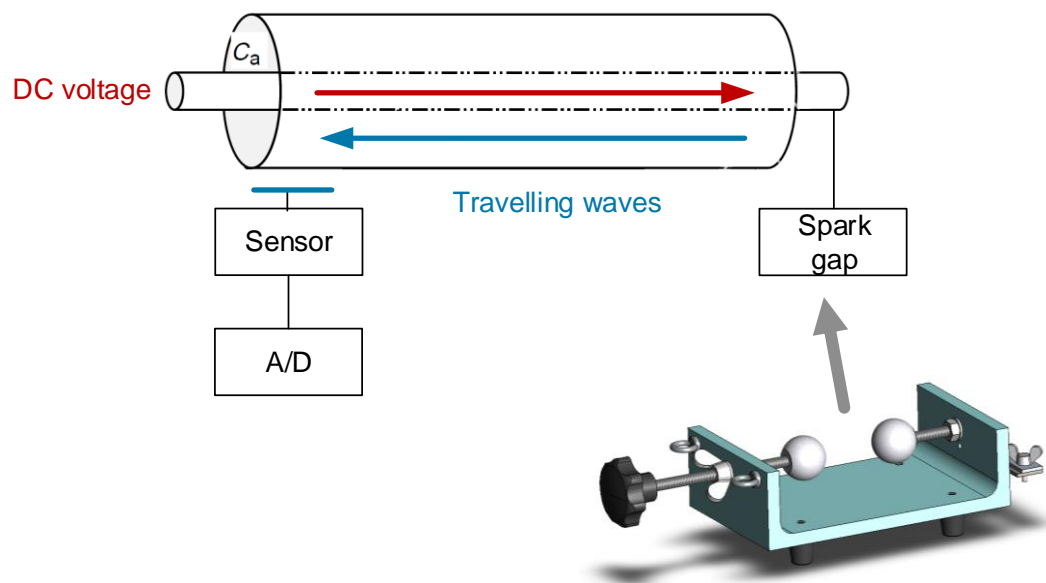


Pomiar referencyjny (Fingerprin)
 Określenie prędkości propagacji
 każdej sekcji kabla



Pomiar referencyjny (Fingerprint) TDR – sprawdzenie współczynnika propagacji

Pomiar referencyjny -Fingerprint



Przykład: kabel przesyłowy 250 kV HVDC 131km

	Długość km	C' μF/km	L' mH/km	R' Ω/km	Prędkość propagacji w m/μs
Kabel lądowy	45,8	0.28	0.20	0.0165	132.65 m/μs
Kabel przybrzeżny	17,4	0.24	0.28	0.0151	123.09 m/μs
Kabel podmorski	67,8	0.215	0.31	0.0204	122.69 m/μs¹⁾

Procedura

- Ładowanie kabla dodatnim napięciem DC
- Iskrownik symuluje przebicie
- Pomiar fali wędrującej

Określenie współczynnika propagacji

$$l_x = \frac{v}{2} \cdot T_x$$

1) Teoretyczny współczynnik propagacji 150 – 180 m/μs

Rezultat

- Określenie współczynnika propagacji każdej sekcji kabla (lądowa, przybrzeżna, podmorska)

Komponenty do szybkiej lokalizacji przebicia w kablu



**Rejestrator zdarzeń
HiRES® Locator**



**HFCT Sensor
HiMAG®**

Przegląd głównych komponentów

Sensor

- HFCT sensor HiMAG® lub szerokopasmowy dzielnik

Rejestrator zdarzeń HiRES® Locator, zawierający.

- Karta cyfrowa (125 MS/s, 14 Bit)
- Przemysłowy serwer
- 19-inch plug-in design

Infrastruktura IT

- Akwizycja danych w zakładzie
- HiMON® Intelligence Cluster
- Elastyczna koncepcja cyberbezpieczeństwa
- Uniezależnienie danych od systemu (integracja z infrastrukturą IT)

The background of the slide is a photograph of a high-voltage laboratory. It features several large, silver, disc-shaped insulators mounted on blue vertical support poles. A prominent red horizontal rod is visible in the upper left. The scene is lit from the side, creating strong highlights and shadows. A window with a grid pattern is visible in the background on the right.

**HIGH
VOLT**

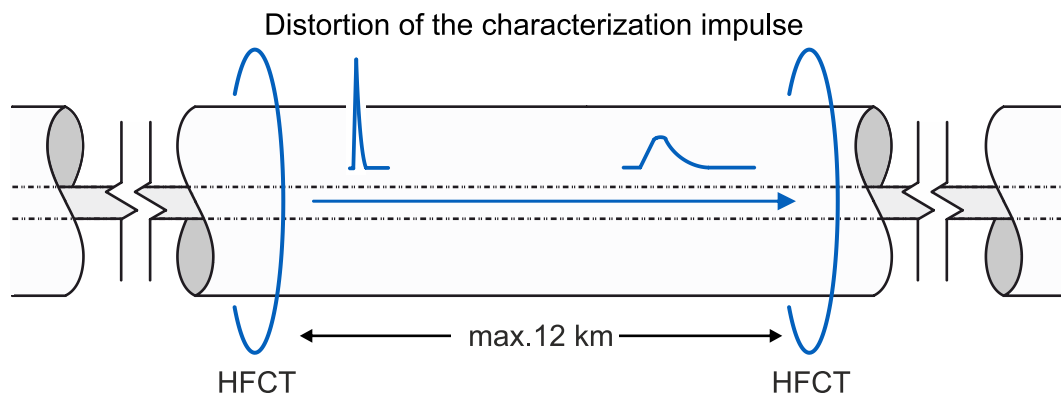
Ocena małych zdarzeń

**HIGH
VOLT**

Metody ewaluacji małych sygnałów (RT-TF oraz TruePD)

RT-TF

Analiza i synteza sekcji kabla

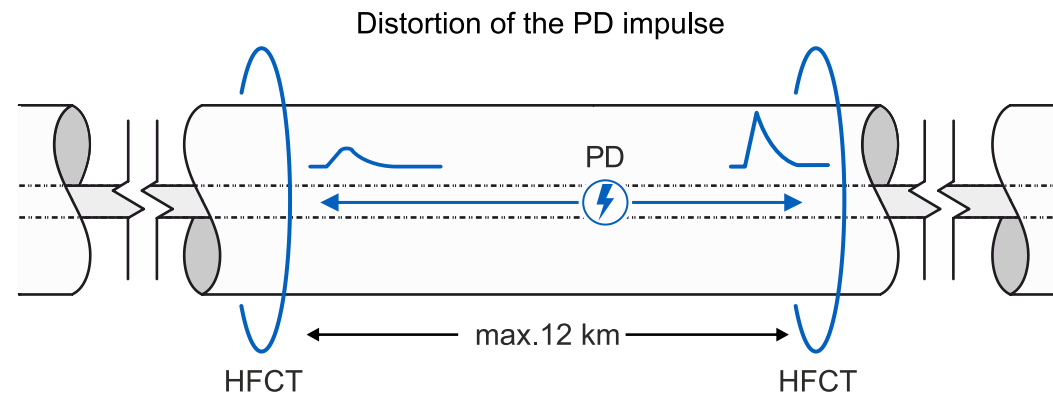


Okresowe modelowanie sekcji kabla pomiędzy dwoma sensorami

Wstrzykiwanie małych impulsów do kabla w celu określenia funkcji transmisji w sekcji kabla.

TruePD

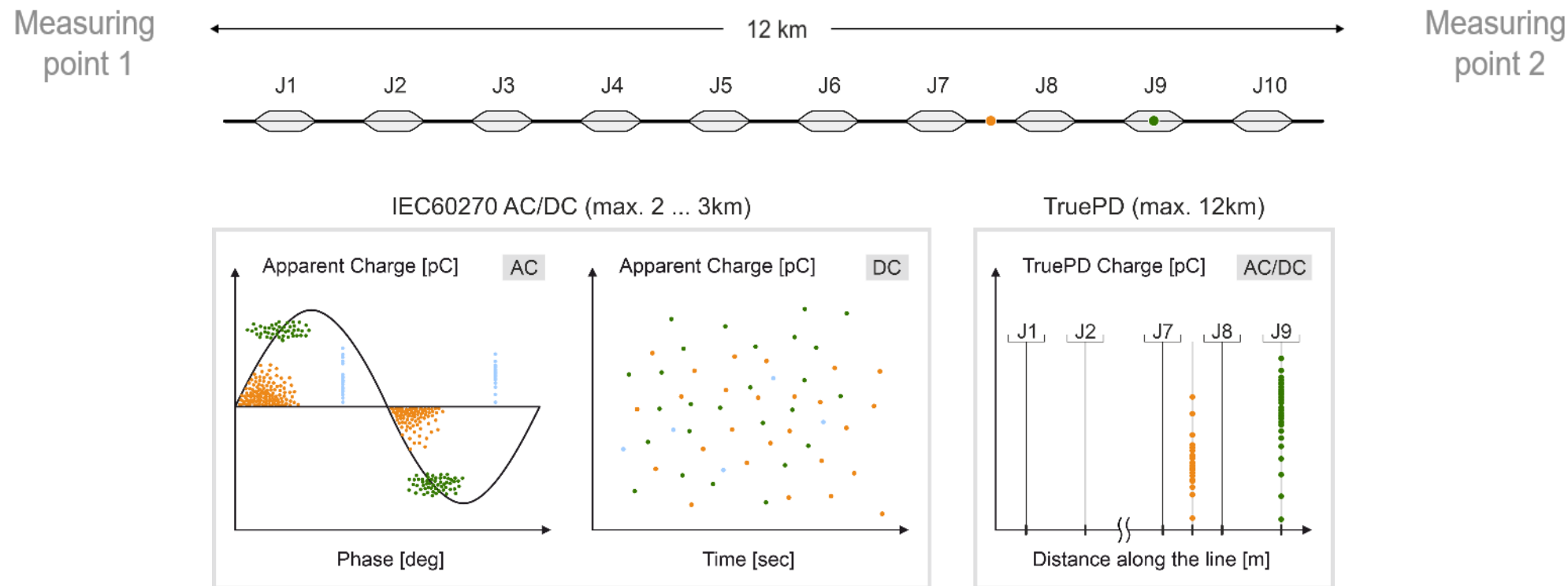
Pomiar i filtrowanie rzeczywistych sygnałów



Lokalizacja i pomiar wykrytych WNZ i lokalizacja uszkodzenia z uwzględnieniem aktualnej funkcji transmisji w kablu.

Klasyfikacja i charakterystyka zdarzeń z wykorzystaniem algorytmów AI.

Porównanie wyników: metoda zgodnie z IEC 60270 i TruePD

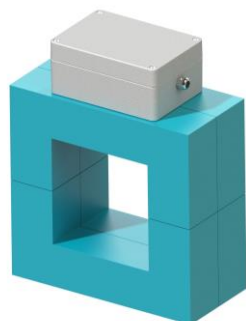


TruePD jest szybką i niezawodną metodą oceny stanu systemu kablowego AC i DC

Komponenty do ewaluacji małych sygnałów



**Rejestrator zdarzeń
HiRES® Analizator**



**HFCT Sensor
HiMAG®**

Przegląd głównych komponentów

Sensor

- HFCT sensor HiMAG®

Rejestrator zdarzeń HiRES® Analizator wraz z:

- Jednostka digitalizacji (250 MS/s, 16 Bit)
- Generator impulsów
- FO LAN repeater
- Serwer przemysłowy
- Konstrukcja 19-inch plug-in

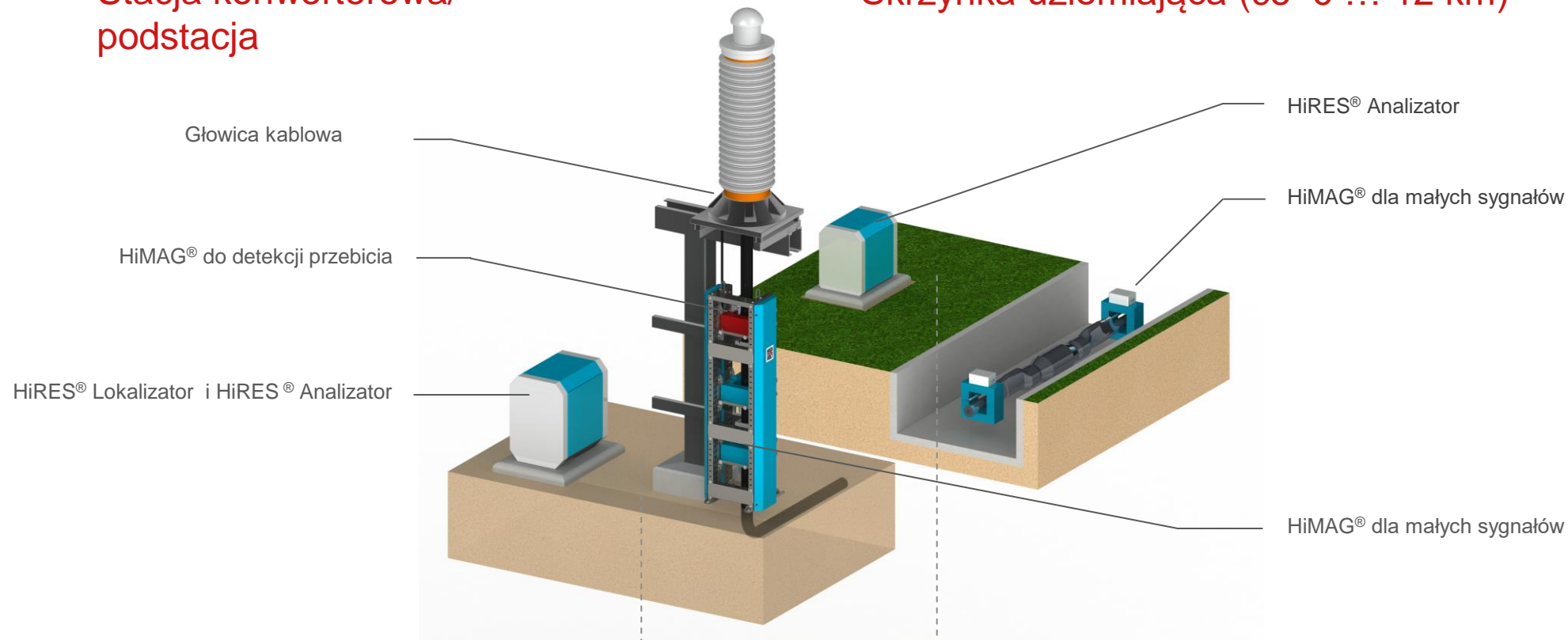
Infrastruktura IT

- Akwizycja danych
- HiMON® Intelligence Cluster
- Elastyczna koncepcja cyberbezpieczeństwa
- Uniezależnienie danych od systemu (integracja z infrastrukturą IT)

Integracja systemu (jedno pole / jedna faza)

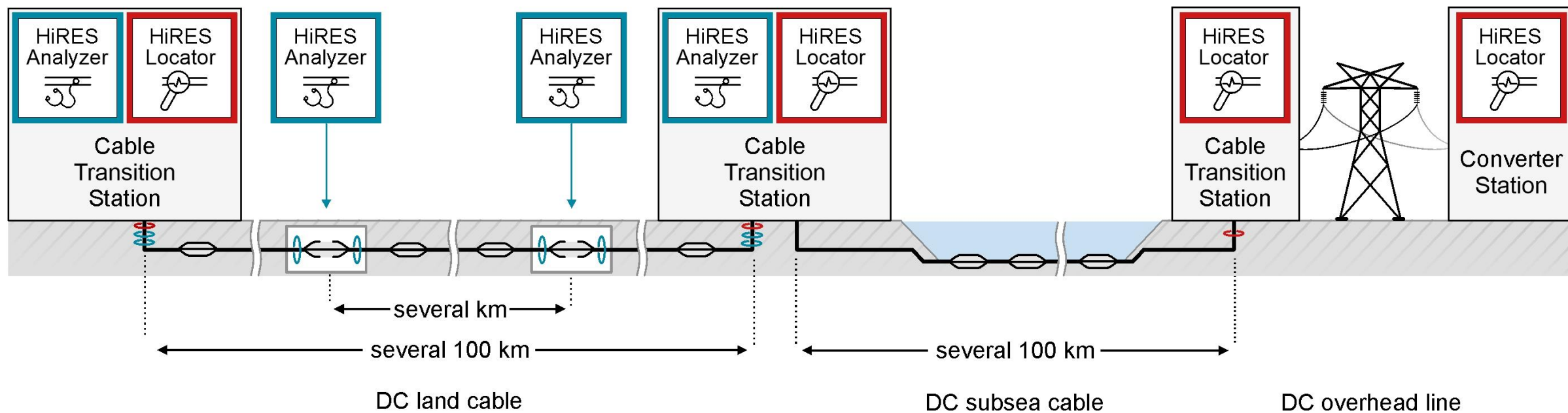
Stacja konwerterowa/
podstacja

Skrzynka uziemiająca (co 6 ... 12 km)



HiMON® Intelligence Cluster

Integracja systemu










The background of the slide is a photograph of a high-voltage laboratory. It features several large, silver, disc-shaped insulators mounted on blue vertical support poles. A prominent red horizontal rod is visible in the upper left. The scene is lit from the side, creating strong highlights and shadows. A window with a grid pattern is visible in the background on the right.

**HIGH
VOLT**

Referencje i wnioski

**HIGH
VOLT**

Referencje

Klient	Nazwa projektu	Nazwa projektu	Długość kabla, typ	Rok	Ciągła ocena stanu kabla
 Tennet	TenneT	HelWin2	129 km 320 kV DC	2022	Tak
 Sachsen Netze	SachsenNetze	Dresden	10 km 110 kV AC	2022	Tak
 50hertz <small>Elia Group</small>	50Hertz	Kontek	170 km 400 kV DC	2021	Tak
 Litgrid  SVENSKA KRAFTNÄT	Litgrid Svenska Kraftnät	Nordbalt	450 km 300 kV DC	2020	Tak
 Tennet	TenneT	Borwin	130 km 150 kV DC	2018	Tak
 การไฟฟ้าหลวง Metropolitan Electricity Authority	MEA	Bangkok	8,2 km 115 kV AC	2015	No

Wnioski – korzyści ze stosowania HiMON[®]



- **HIGHVOLT jest neutrealny**
- **Redukcja kosztów przestołów**
- **Redukcja prawdopodobieństwa awarii**
- **Ekonomiczna integracja z nowymi i istniejącymi systemami kablowymi**
- **HIGHVOLT to doświadczony partner w realizacji wymagających projektów**

Dziękujemy za uwagę – Prosimy o pytania i Państwa doświadczenia!

HIGH
VOLT
Test with the best.

