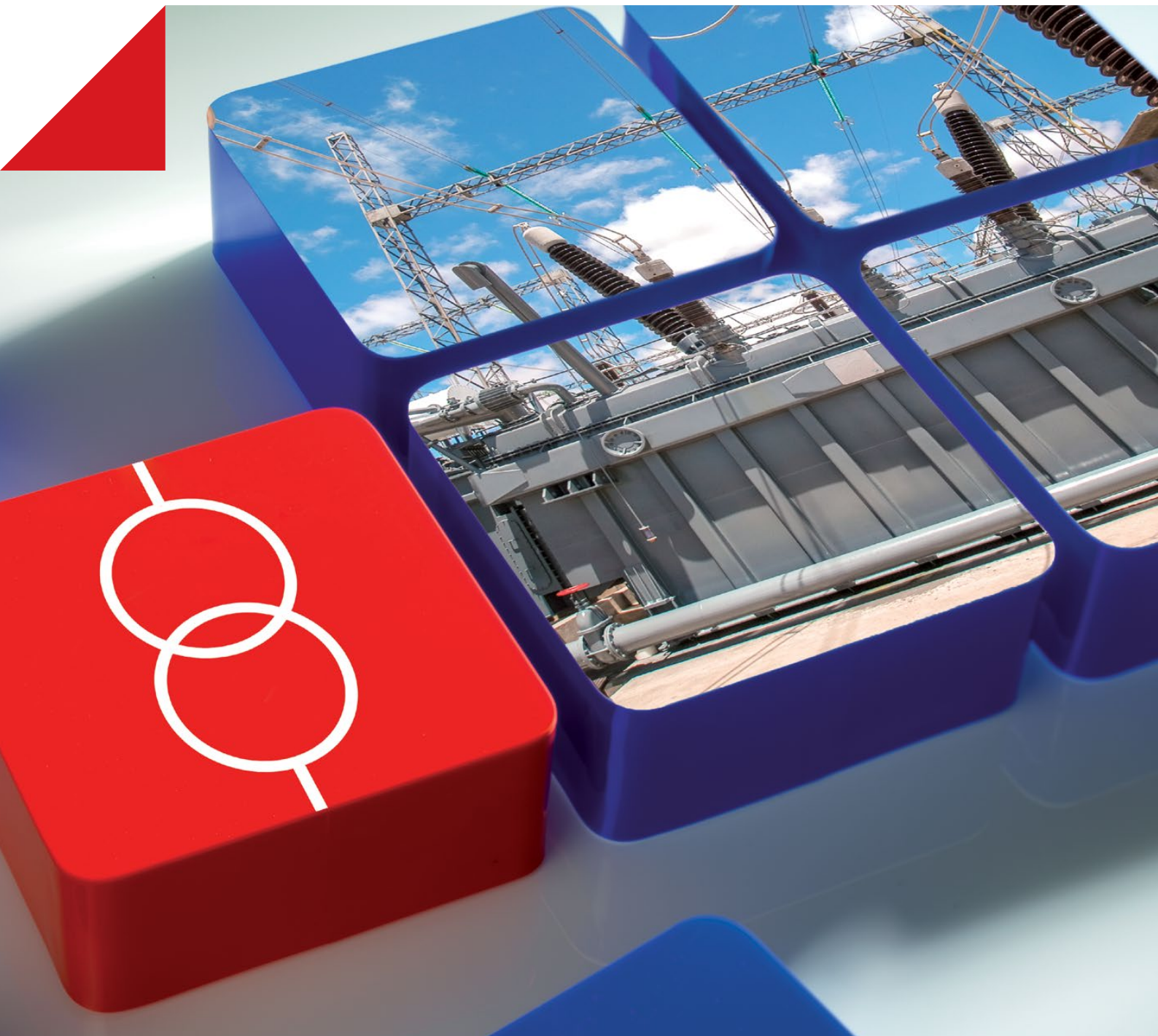


# Testowanie i monitoring transformatorów mocy



# Poznaj stan swojego transformatora, aby optymalnie go wykorzystać

Podczas uruchamiania i eksploatacji transformatora kluczowe znaczenie ma jego stan. Na oczekiwany okres eksploatacji transformatora mogą wpływać różne czynniki.

Testy diagnostyczne i monitorowanie pomagają określić stan urządzenia i wybrać właściwe środki naprawcze, aby zapewnić jego niezawodne działanie oraz zmaksymalizować przewidywany okres jego eksploatacji.

## Czynniki wpływające ujemnie na okres eksploatacji transformatora

- > **Temperatura**  
Przeciążenie, przegrzanie, warunki otoczenia
- > **Starzenie się**  
Wilgoć, kwasy, tlen, zanieczyszczenia, nieszczelności
- > **Czynniki mechaniczne**  
Uszkodzenia transportowe, naprężenia zwarciove, aktywność sejsmiczna
- > **Czynniki elektryczne**  
Skoki napięcia, wyładowania atmosferyczne, przepięcia, prądy zwarciove
- > **Problemy z zabezpieczeniami**  
Usterki, awarie

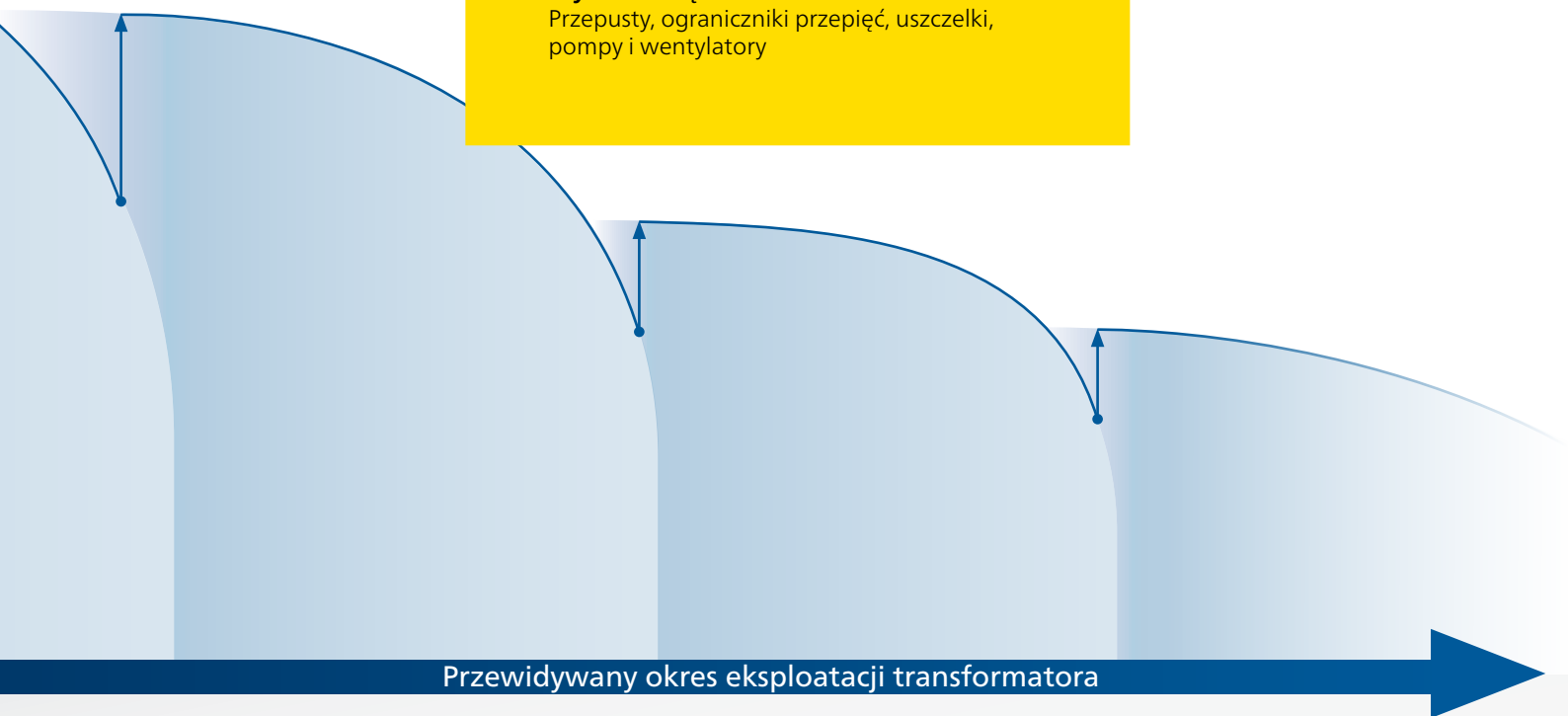


Produkcja

Uruchomienie

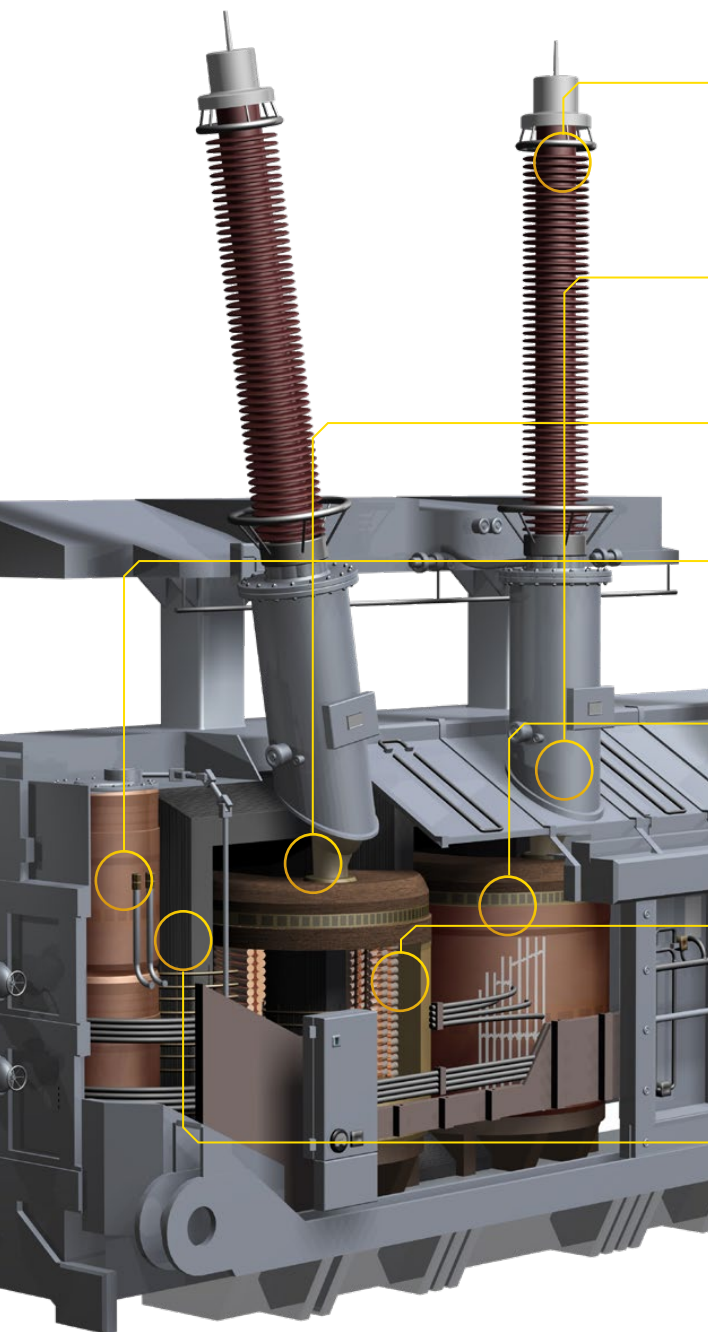
## Testy i środki naprawcze wydłużające okres eksploatacji transformatora

- > **Konserwacja elementów pomocniczych**  
Przełączniki zaczepów, układ chłodzenia, odpowietrzanie
- > **Konserwacja izolacji**  
Suszenie, uzdatnianie oleju, wymiana oleju
- > **Wymiana części**  
Przepusty, ograniczniki przepięć, uszczelki, pompy i wentylatory



Użytkowanie

# Części transformatora i ich możliwe do wykrycia usterki



Część	Możliwe do wykrycia usterki
Przepusty	<p>Częściowe przebicia między warstwami pojemnościowymi, pęknięcia w izolacji żywicznej</p> <p>Starzenie się i wchłanianie wilgoci</p> <p>Otwarte lub uszkodzone połączenie z zaczepek pomiarowym</p> <p>Wyładowania niezupełne w izolacji</p>
PP	<p>Błąd przekładni lub kąta przy uwzględnieniu obciążenia, nadmierny magnetyzm szczątkowy, niezgodność z odpowiednimi normami IEEE lub IEC</p> <p>Przesunięcie fazy i uchyb przekładni zależne od obciążenia</p> <p>Skrócone zwoje</p>
Przewody	<p>Problemy ze stykami</p> <p>Odształcenia mechaniczne</p>
Przełącznik zaczepek	<p>Problemy ze stykami w wybieraku zaczepek i przełączniku mocy</p> <p>Obwód otwarty, zwarcie lub wysoka rezystancja połączeń w uzwojeniu wyrównawczym</p> <p>Problemy ze stykami w DETC</p>
Izolacja	<p>Wilgoć w izolacji stałej</p> <p>Starzenie się, wilgoć, zanieczyszczenie cieczy izolacyjnych</p> <p>Wyładowania niezupełne</p>
Uzwojenia	<p>Zwarcia między uzwojeniami lub zwojami</p> <p>Zwarcia między pasmami</p> <p>Obwody otwarte w połączeniach równoległych</p> <p>Zwarcie z ziemią</p> <p>Odształcenia mechaniczne</p> <p>Problemy ze stykami, obwody otwarte</p>
Rdzeń	<p>Odształcenia mechaniczne</p> <p>Brak uziemienia rdzenia</p> <p>Zwarte warstwy rdzenia</p> <p>Magnetyzm szczątkowy</p>

**Możliwe metody pomiaru**

		■		■							■			■			■
		■		■							■						■
			■	■													■
			■														■
													■				
												■					
						■						■					
						■						■					
						■		■				■					
						■		■				■					
						■						■					
		■		■								■					
		■		■								■					
			■													■	■
						■		■				■					
						■						■					
						■						■					
						■						■					
																	■
		■		■													■
		■		■													■
											■						
												■					

- i współczynnika mocy/rozproszenia: przy 50 lub 60 Hz
- jako test pobudzenia ze zmienną częstotliwością
- Pomiar rezystancji uzwojenia prądu stałego (DC) i weryfikacja OLTC
- Pomiar przekładni zwojowej transformatora (TTR)
- Pomiar prądu nasycenia
- Pomiar impedancji zwarciowej / reakcji i rozproszenia
- Pomiar odpowiedzi częstotliwościowej strąat obciążeniowych (FRSL)
- Rozmagnesowywanie
- Analiza odpowiedzi dielektrycznej (częstotliwościowej)
- Analiza odchyień odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA)
- Analiza przekładników prądowych
- Analiza wyładowań niepełnych
- Lokalizacja wyładowań niepełnych
- Pomiar online okresowy monitoring wyładowań niepełnych

# Idealne rozwiązanie odpowiadające indywidualnym potrzebom, wy

	TESTRANO 600	CPC 100	CPC 80 + CP TD12/15	TANDO 700
<b>Pomiar pojemności i współczynnika mocy/ rozproszenia:</b>				
przy 50 lub 60 Hz	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
jako test podwyższonego napięcia	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
ze zmienną częstotliwością	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
<b>Pomiar rezystancji uzwojenia prądu stałego (DC) i weryfikacja OLTC</b>	■	■ <sup>2</sup>		
<b>Pomiar przekładni zwojowej transformatora (TTR)</b>	■	■ <sup>3</sup>		
<b>Pomiar prądu nasycenia</b>	■	■ <sup>1</sup>		
<b>Pomiar impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia</b>	■	■		
<b>Pomiar odpowiedzi częstotliwościowej strat obciążeniowych (FRSL)</b>	■	■		
<b>Rozmagnesowywanie</b>	■	■ <sup>2</sup>		
<b>Analiza odpowiedzi dielektrycznej (częstotliwościowej)</b>				
<b>Analiza odchyłań odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA)</b>				
<b>Analiza przekładników prądowych</b>			■	
<b>Analiza wyładowań niezupełnych</b>				
<b>Lokalizacja wyładowań niezupełnych</b>				
<b>Pomiar online okresowy monitoring wyładowań niezupełnych</b>				

<sup>1</sup> Wymagany dodatkowy osprzęt: CP TD12/15

<sup>2</sup> Wymagany dodatkowy osprzęt: CP SB1

<sup>3</sup> Dostępny dodatkowy osprzęt przyspieszający testy: CP SB1

<sup>4</sup> Wymagane dodatkowe zasilanie i kondensator standardowy

Tester trójfazowy umożliwiający wykonywanie najszybszych i najbardziej kompleksowych testów diagnostycznych oraz ocenę stanu transformatorów mocy.



Wielofunkcyjny tester do kompleksowej diagnozy i oceny stanu wielu urządzeń wysokonapięciowych.



Tester do pomiaru współczynnika mocy/rozproszenia (z kondensatorem źródłowym i odniesienia) różnych urządzeń wysokonapięciowych.



Ultraprecyzyjny tester do pomiaru współczynnika mocy/rozproszenia oraz pojemności urządzeń wysokonapięciowych (z zewnętrznym źródłem i kondensatorem odniesienia).



# maganiom i zastosowaniom

DIRANA

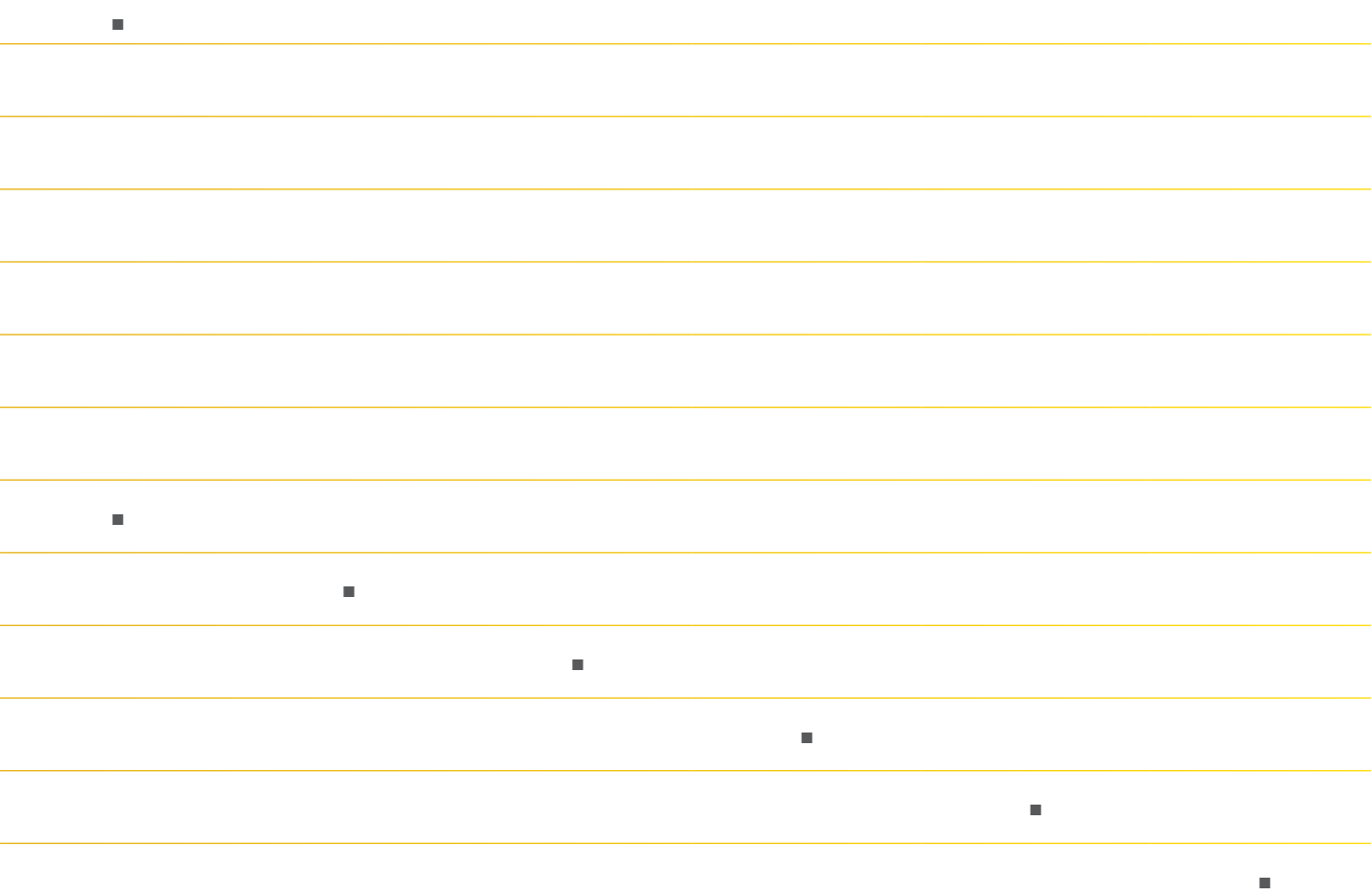
FRANEO 800

CT ANALYZER

MPD 800

PDL 650

MONTESTO 200



Lekki tester umożliwiający szybkie i rzetelne określenie poziomu wilgotności transformatorów mocy z izolacją olejowo-papierową.

Inteligentny tester do analizowania odchyłań odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA) rdzenia i uzwojeń transformatora mocy.

Dokładny i lekki tester do kalibracji i weryfikacji przekładników prądowych.

Uniwersalny system do pomiarów i analizy wylądowań niezupełnych.

Tester ułatwiający lokalizację wylądowań niezupełnych w transformatorach mocy.

Przenośny system online do pomiarów okresowego monitorowania wylądowań niezupełnych.



# Pomiar pojemności i współczynnika mocy/rozproszenia

## Testowane obiekty

- ✓ Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zaczerwów
- ✓ Izolacja
- Uzwojenia
- Rdzeń

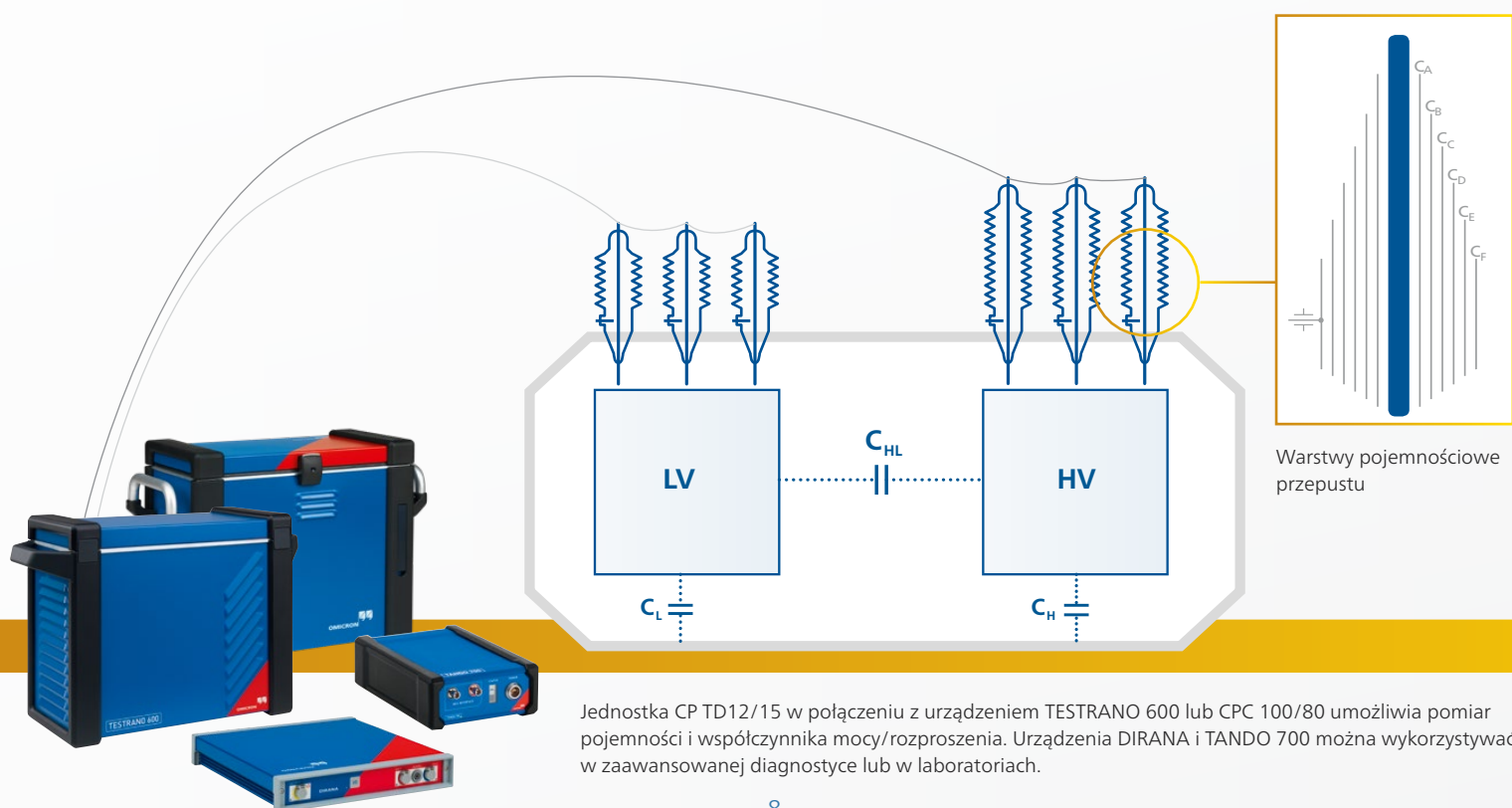
## Uzasadnienie pomiarów

Pomiary pojemności i współczynnika mocy/rozproszenia (power factor / dissipation factor, PF/DF) prowadzi się w celu określenia stanu izolacji transformatorów mocy i przepustów. Oba systemy izolacji są kluczowe dla niezawodnego działania transformatora.

Wysoka przewodność oleju, starzenie się i wzrost zawartości wody są objawami procesu degradacji izolacji. Objawy te powodują również wzrost strat, które można określić ilościowo przez pomiar współczynnika mocy lub współczynnika rozproszenia.

Zmiany pojemności mogą wskazywać na częściowe przebicie między warstwami pojemnościowymi przepustów. Pomiar pojemności i strat pozwala wykryć problemy związane z izolacją przed wystąpieniem awarii.

Jedną z głównych przyczyn przerw w działaniu transformatorów jest konieczność wymiany przepustów wskutek degradacji lub uszkodzenia izolacji.



Jednostka CP TD12/15 w połączeniu z urządzeniem TESTRANO 600 lub CPC 100/80 umożliwia pomiar pojemności i współczynnika mocy/rozproszenia. Urządzenia DIRANA i TANDO 700 można wykorzystywać w zaawansowanej diagnostyce lub w laboratoriach.



## Sposób działania

W transformatorach mocy wykonuje się pomiary głównej izolacji między uzwojeniami ( $C_{HL}$ ) oraz izolacji między uzwojeniem a kadzią ( $C_{Hr}$ ,  $C_L$ ). Po zwarceniu uzwojeń na jedno uzwojenie przykładane jest napięcie testowe, a na drugim uzwojeniu lub kadzi mierzy się prąd płynący przez izolację.

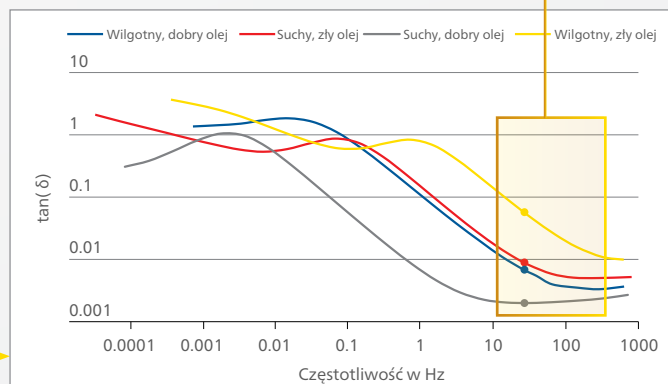
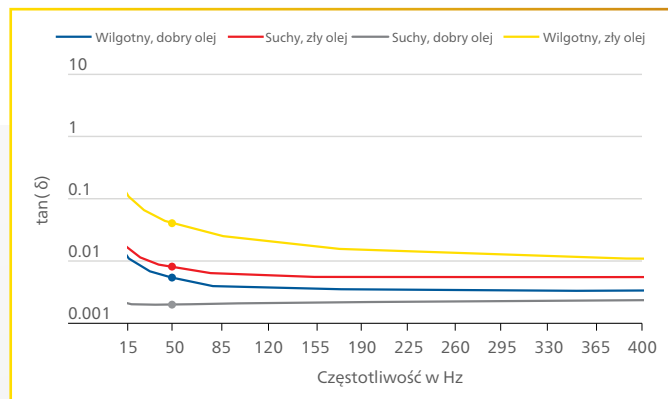
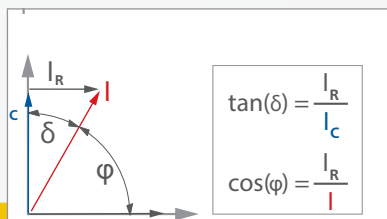
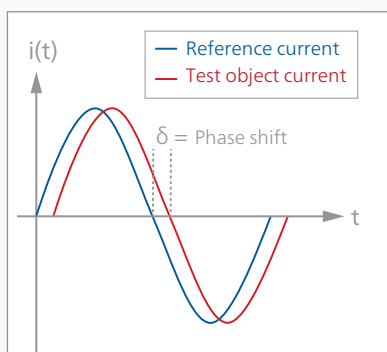
W przepustach napięcie przykładane jest do przewodu głównego, a prąd mierzy się na zaczepek pomiarowym.

Współczynnik rozproszenia, tzw.  $\text{tg}\delta$ , oblicza się jako tangens kąta  $\delta$  między mierzonym prądem a prądem idealnym (w sytuacji, gdyby nie wystąpiły żadne straty). Współczynnik mocy to  $\cos\phi$ , czyli cosinus kąta  $\phi$  między napięciem wyjściowym a mierzonym prądem.

Korzystanie z częstotliwości innych niż częstotliwość linii zwiększa czułość pomiaru, ponieważ niektóre problemy są bardziej widoczne przy częstotliwościach powyżej lub poniżej częstotliwości linii. Nowoczesne urządzenia testowe umożliwiają automatyczną analizę odchyłek częstotliwości lub napięcia.

Wartość  $\text{tg}\delta$  czterech różnych transformatorów poniżej i powyżej częstotliwości linii (50 Hz)

Straty dielektryczne powodują przesunięcie kąta



W zależności od urządzenia testowego można mierzyć różne zakresy częstotliwości, np. od 15 Hz do 400 Hz przy użyciu testera TESTRANO 600 i od 10  $\mu\text{Hz}$  do 5 kHz przy użyciu urządzenia DIRANA.

# Pomiar pojemności i współczynnika mocy/rozproszenia

## Warto wiedzieć...

Po zakończeniu pomiarów warto porównać uzyskane wartości z poprzednimi wynikami i wartościami odniesienia wymienionymi w odpowiednich normach dotyczących testowanego urządzenia.

Wzrost pojemności przepustów o ponad 10% uznaje się zwykle za zjawisko niebezpieczne. Wskazuje to, że część izolacji jest już zniszczona, a naprężenia dielektryczne w pozostałej części izolacji są za wysokie.

Dodatkowy test podwyższonego napięcia pozwala wykryć uszkodzone styki warstw przepustu lub zaczepu pomiarowego. Świadczą o nich malejące wartości PF/DF.

Standardowe pomiary PF/DF przy częstotliwości 50 lub 60 Hz pozwalają wykryć efekty zawilgocenia i starzenia się dopiero w zaawansowanym stadium. Przeprowadzając pomiary w szerszym zakresie częstotliwości, można wykryć te zjawiska wcześniej, dzięki czemu zyskuje się więcej czasu na zaplanowanie działań naprawczych.

W razie wykrycia wysokich wartości PF/DF jako dodatkową metodę diagnostyczną, można wykorzystać analizę odpowiedzi dielektrycznej. Ten szerokopasmowy pomiar dielektryczny pozwala sprawdzić, czy wysoka wartość PF/DF jest spowodowana wilgocią lub wysoką przewodnością oleju.

Ciecz izolująca	Poziom napięcia kV	Znamionowy/ nowy limit PF/DF	Granica użyteczności ze względu na wiek
Olej mineralny	< 230 kV	0,5%	1,0%
Olej mineralny	≥ 230 kV	0,5%	1,0%
Olej naturalny	Wszystkie	1,0%	1,0%

Typowe wartości współczynnika mocy/rozproszenia transformatorów w zależności od zastosowanej cieczy izolacyjnej w temperaturze 20°C, zgodnie z normami międzynarodowymi (IEEE C.57-152)

Typ izolacji	Nowe przepusty	IEEE C57.19.01	IEC 60137
Papier impregnowany żywicą (RIP)	od 0,3% do 0,4%	< 0,85%	< 0,70%
Papier impregnowany olejem (OIP)	od 0,2% do 0,4%	< 0,50%	< 0,70%
Papier żywiczny (RBP)	od 0,5% do 0,6%	< 2,00%	< 1,50%

Typowe wartości współczynnika mocy/rozproszenia przepustów przy częstotliwości linii w temperaturze 20°C, zgodnie z normami międzynarodowymi

## Nasze rozwiązania

Oferujemy szeroką gamę rozwiązań umożliwiających pomiary pojemności oraz współczynnika mocy/rozproszenia ( $\text{tg}\delta$ ). Obejmuje ona rozwiązania mobilne pozwalające z łatwością prowadzić testy w terenie, precyzyjne urządzenia do zastosowań laboratoryjnych, a także specjalistyczne testery służące do zaawansowanej diagnostyki stanu transformatorów mocy, np. określania poziomu wilgotności.

	Zakres pomiarowy	Typowe zastosowanie
<b>TESTRANO 600 + CP TD12/15</b>	od 0 do 12 kV / 15 kV od 15 Hz do 400 Hz	Specjalistyczna diagnoza stanu transformatorów mocy w terenie i podczas produkcji
<b>CPC 100 + CP TD12/15</b>	od 0 do 12 kV / 15 kV od 15 Hz do 400 Hz	Ogólna diagnoza stanu wielu urządzeń w terenie i podczas produkcji
<b>CPC 80 + CP TD12/15</b>	od 0 do 12 kV / 15 kV od 15 Hz do 400 Hz	Specjalistyczne testy współczynnika mocy/rozproszenia wielu urządzeń w terenie i podczas produkcji
<b>TANDO 700</b>	Napięcie zależne od źródła zewnętrznego od 5 Hz do 400 Hz	Wysokonapięciowe testy laboratoryjne, np. testy rutynowe i testy typu lub testy materiałowe wielu urządzeń
<b>DIRANA</b>	maks. 200 V <sub>peak</sub> od 50 $\mu$ Hz do 5 kHz	Zaawansowana diagnostyka stanu i określanie poziomu wilgotności izolacji papierowo-olejowej

# Pomiar rezystancji uzwojenia prądu stałego (DC) i weryfikacja OLTC

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- ✓ Przewody
- ✓ Przełącznik zacze­pów
- Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Pomiary rezystancji uzwojenia prowadzi się w celu oceny ewentualnych uszkodzeń uzwojeń lub problemów ze stykami, takich jak połączenie przepustów z uzwojeniami, uzwojeń z przełącznikami zacze­pów itp.

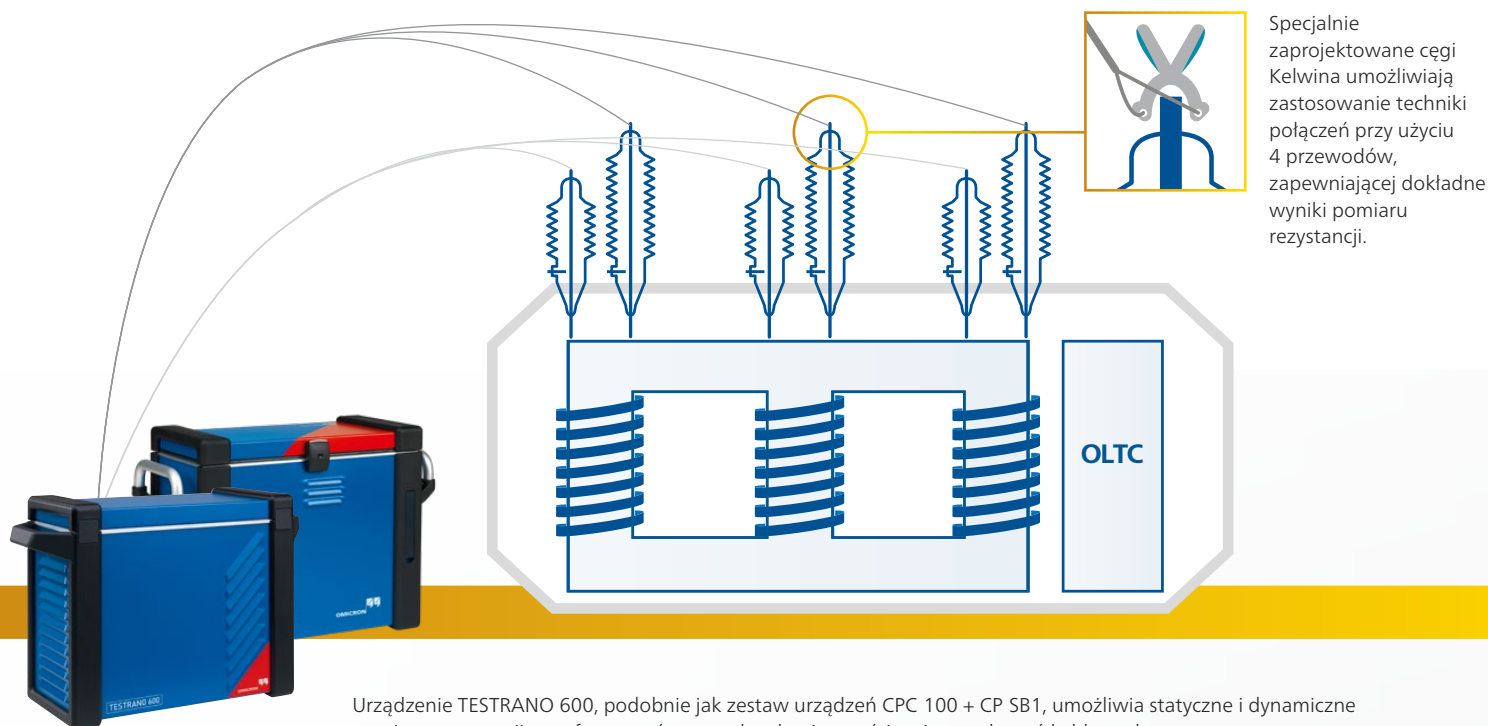
Są one również wykorzystywane do sprawdzania podobieżeniowych przełączników zacze­pów (on-load tap changer, OLTC), ponieważ mogą wskazywać, kiedy należy wyczyścić lub wymienić styki OLTC albo wymienić lub wyremontować samo urządzenie. Do wykrycia błędów nie jest konieczne otwieranie komory przełącznika zacze­pów.

## Sposób działania

Aby można było zmierzyć rezystancję uzwojenia, uzwojenie musi być naładowane do momentu nasycenia rdzenia. Rezystancję można potem określić przez pomiar prądu i napięcia DC. W przypadku uzwojeń przełączanych należy przeprowadzić pomiar dla każdego położenia zacze­pów, dlatego przełącznik OLTC i uzwojenie testuje się razem. Zwykle stosuje się dwa podejścia do tego testu: pomiary statycznej i dynamicznej rezystancji uzwojenia.

**Pomiary statycznej rezystancji uzwojenia** są najczęściej stosowanym i najprostszym sposobem kontrolowania problemów związanych z uzwojeniem i OLTC. Polegają na zmierzeniu rezystancji w każdym położeniu zacze­pu po kolei, a następnie porównaniu wyników z referencyjnymi danymi pomiarowymi podanymi przez producenta.

**Pomiary rezystancji dynamicznej** są wykonywane jako dodatkowy pomiar w celu analizy procesu przełączania przejściowego przełącznika rezystancyjnego OLTC. Pozwalają przeanalizować sam proces przełączania przełącznika rezystancyjnego. Podczas przełączania przełącznika zacze­pów przy pomiarach rezystancji uzwojenia natężenie prądu stałego chwilowo spada, co jest rejestrowane i analizowane.



Urządzenie TESTRANO 600, podobnie jak zestaw urządzeń CPC 100 + CP SB1, umożliwia statyczne i dynamiczne pomiary rezystancji transformatorów mocy bez konieczności zmiany połączeń kablowych.

## Warto wiedzieć...

Odchylenie wyników pomiarów rezystancji uzwojenia prądu stałego od wartości odniesienia nie powinno przekraczać 1%. Różnice między fazami są poza tym zazwyczaj mniejsze niż 2–3%.

Przy porównywaniu wyników pomiarów rezystancji uzwojenia należy uwzględnić korektę temperaturową. Zwykle przyjmuje się, że temperatura odniesienia wynosi 75°C.

Pomiar przekładni zwojowej transformatora może posłużyć do potwierdzenia istnienia obwodu otwartego, zaś analizę odpowiedzi częstotliwościowej można wykorzystać do potwierdzenia problemów ze stykami.

W obu przypadkach dodatkowa analiza gazu może wskazywać na istnienie punktów gorących w transformatorze. Sygnatury gazowe nie są jednak unikatowe, więc nie pozwalają na określenie zasadniczej przyczyny problemów.

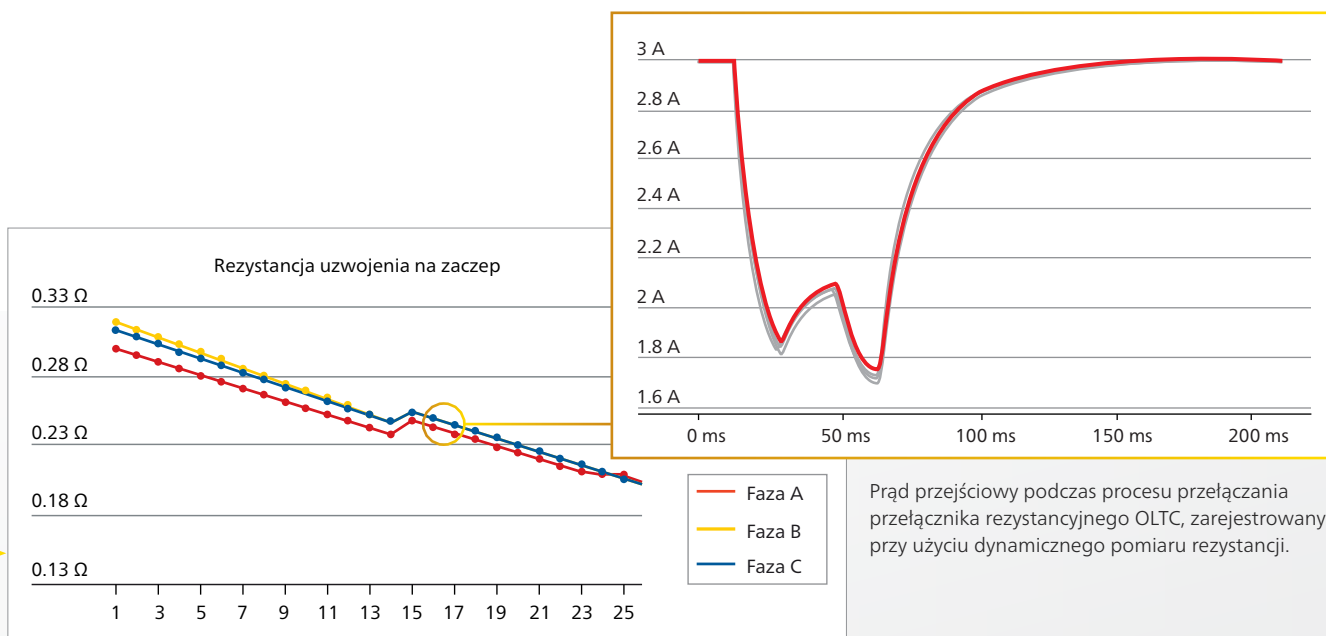
Podczas pomiarów rezystancji uzwojenia rdzeń transformatora może zostać namagnesowany. Dlatego po wykonaniu tego testu zaleca się przeprowadzenie demagnetyzacji (roznamagnesowania) rdzenia.

## Zastosowanie urządzenia TESTRANO 600

- > Pomiar trójfazowy uzwojeń górnego i dolnego napięcia bez konieczności ponownego podłączenia kabli, przy użyciu prądu stałego do 33 A
- > Pomiar jednofazowy uzwojeń o niskiej rezystancji przy użyciu prądu stałego do 100 A
- > Automatyczne sterowanie przełącznikiem zaczeów oraz pomiar prądu i napięcia silnika OLTC
- > Rozmagnesowanie rdzenia i pomiar przekładni zwojowej bez konieczności zmiany połączeń kablowych

## Zastosowanie urządzeń CPC 100 + CP SB1

- > Pomiar wszystkich trzech faz bez konieczności ponownego podłączenia kabli, przy użyciu urządzenia CP SB1 i prądu stałego do 6 A
- > Pomiar jednofazowy uzwojeń o niskiej rezystancji przy użyciu prądu stałego do 100 A
- > Automatyczne sterowanie przełącznikiem zaczeów przy użyciu urządzenia CP SB1



Prąd przejściowy podczas procesu przełączania przełącznika rezystancyjnego OLTC, zarejestrowany przy użyciu dynamicznego pomiaru rezystancji.

Rezystancja uzwojenia dla poszczególnych zaczeów zarejestrowana podczas statycznego pomiaru rezystancji uzwojenia.

# Pomiar przekładni zwojowej transformatora (TTR)

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zacsepów
- Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Pomiary przekładni zwojowej transformatora (transformer turns ratio, TTR) przeprowadza się w celu sprawdzenia podstawowej zasady działania transformatora. Mierząc przekładnię i kąt fazowy między uzwojeniami, można wykryć obwody otwarte i zwarcia między zwojami.

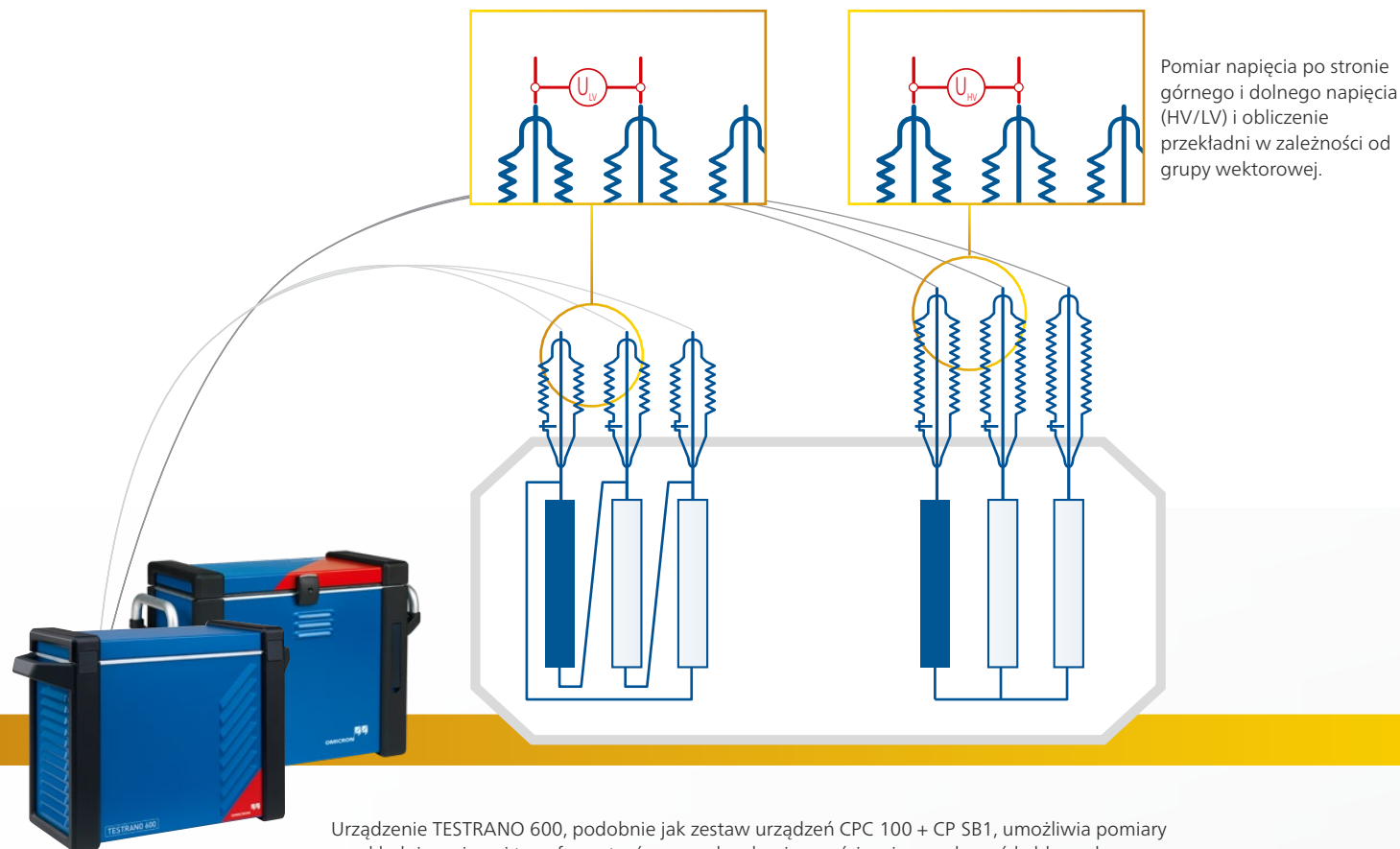
Przekładnię zwojową określa się podczas fabrycznych testów odbiorczych (factory acceptance tests, FAT). Po oddaniu transformatora do eksploatacji należy ją regularnie sprawdzać. Czynnikiem skłaniającym do wykonania pomiarów przekładni może być zadziałanie zabezpieczenia i inne testy diagnostyczne, takie jak analiza rozpuszczonych gazów (dissolved gas analysis, DGA) oraz pomiary współczynnika rozproszenia/mocy.

## Sposób działania

Przy użyciu **źródła jednofazowego** napięcie testowe jest przykładane do każdej fazy jednego uzwojenia i mierzone zarówno na uzwojeniu górnego jak i dolnego napięcia tej samej kolumny transformatora.

Przy użyciu **źródła trójfazowego** ten sam pomiar można wykonać na wszystkich trzech fazach w tym samym czasie.

Obliczoną wartość przekładni można następnie porównać z wynikami fabrycznymi, które są podane na tabliczce znamionowej.



## Warto wiedzieć...

Wyniki są porównywane z wartościami na tabliczce znamionowej i między fazami. Zgodnie z normami IEC 60076-1 i IEEE C57.152 odchylenia wartości zmierzonych od przekładni znamionowej nie powinny przekraczać 0,5%.

Przekładnię zwojową mierzy się zazwyczaj od uzwojenia wysokiego napięciowego do uzwojenia niskonapięciowego, co pozwala uniknąć niebezpiecznych napięć na wejściach pomiarowych.

Namagnesowanie rdzenia lub brak uziemienia mogą mieć wpływ na pomiar i prowadzić do nieprawidłowych wyników. Dlatego bardzo ważne jest sprawdzenie, czy rdzeń transformatora jest rozmagnesowany i czy każde uzwojenie jest prawidłowo uziemione.

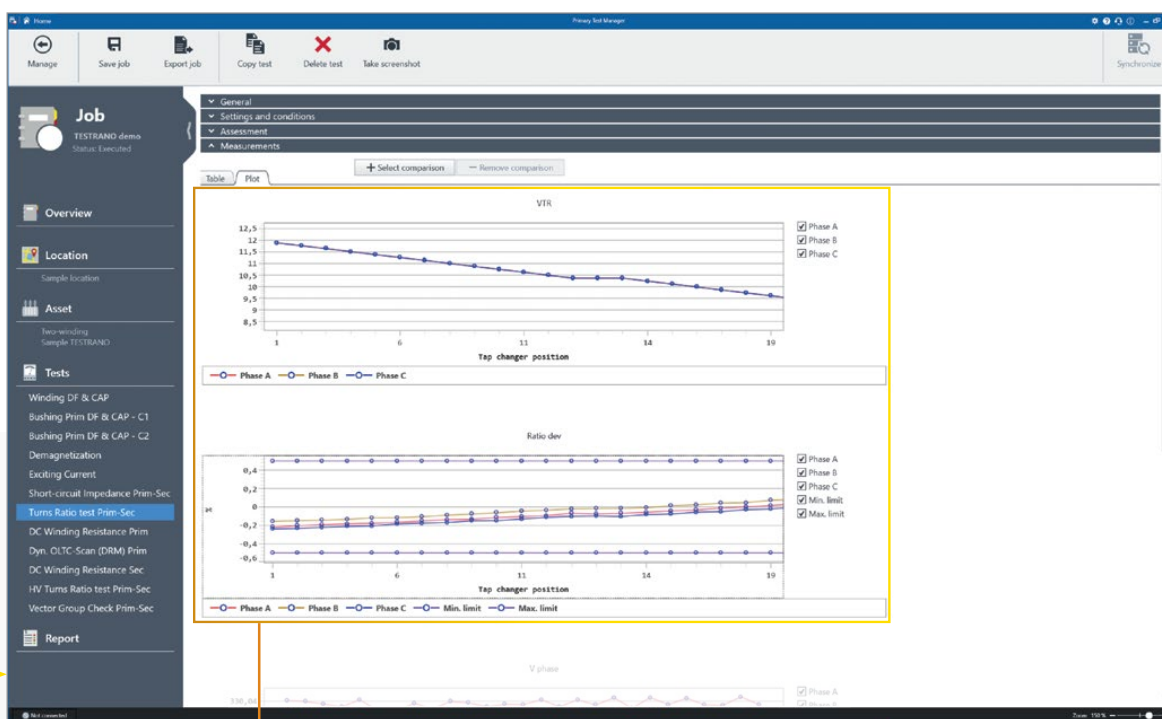
Aby potwierdzić lub wyeliminować przypuszczalny problem, przydatny jest dodatkowy test prądu pobudzenia. Umożliwia on diagnozowanie zwarc. Testy rezystancji uzwojeń prądu stałego pozwalają natomiast z dużą czułością wykrywać obwody otwarte.

## Zastosowanie urządzenia TESTRANO 600

- > Pomiar trójfazowy w celu określenia przekładni i przesunięcia fazowego dowolnej konfiguracji uzwojenia
- > Pomiary napięcia do 400 V prądu przemiennego (L-L) bez konieczności ponownego podłączenia kabli
- > Wykorzystanie tych samych połączeń do testowania rezystancji uzwojenia, bez konieczności zmiany połączeń kablowych
- > Wbudowana funkcja automatycznego sterowania przełącznikiem zaczepów, bez konieczności stosowania dodatkowego osprzętu

## Zastosowanie urządzeń CPC 100 + CP SB1

- > Pomiar wszystkich trzech faz bez konieczności ponownego połączenia, do 300 V (L-L), przy użyciu urządzenia CP SB1
- > Pomiary jednofazowe do 2 kV
- > Automatyczne sterowanie przełącznikiem zaczepów przy użyciu urządzenia CP SB1



Pomiar TTR dla wszystkich trzech faz w każdym położeniu zaczepu. Zgodnie z normami międzynarodowymi odchylenia wartości zmierzonych od wartości podanych na tabliczce znamionowej nie powinny przekraczać 0,5%.

# Pomiar prądu nasycenia

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zacsepów
- Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- ✓ Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Pomiary prądu nasycenia przeprowadza się w celu oceny izolacji uzwojeń, obwodu magnetycznego transformatora, a także przełącznika zacsepów.

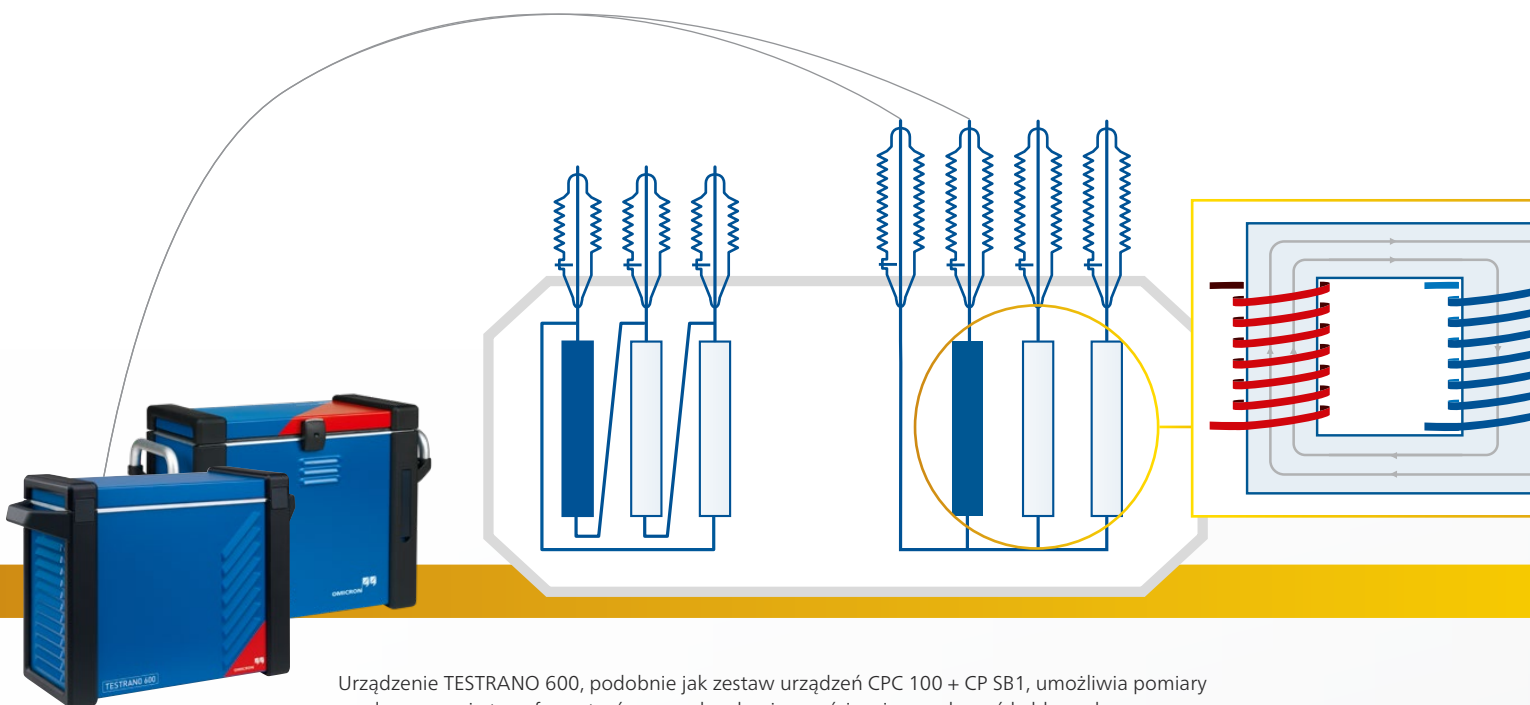
Największą zaletą tego testu jest wykrywanie zwarcć między poszczególnymi zwojami. Fizyczne przesunięcia warstw i poważne uszkodzenia rdzenia mogą mieć wpływ na reluktancję (opór magnetyczny), a tym samym spowodować zmianę prądu nasycenia. Odchylenia od wartości odniesienia mogą też wskazywać na zużycie styków lub nieprawidłowe podłączenie przełącznika zacsepów.

## Sposób działania

Test prądu nasycenia przeprowadza się bez obciążenia. Dlatego do jednej strony transformatora (zazwyczaj wysokonapięciowej) przykładają się napięcie przemienne, a druga strona pozostaje otwarta. Wielkość prądu pobieranego w uzwojeniu pierwotnym jest proporcjonalna do energii potrzebnej do wymuszenia działania transformatora, tj. wyindukowania napięcia w uzwojeniu wtórnym.

W celu wykrycia zwarcć między zwojami zaleca się wybranie najwyższego napięcia testowego mieszczącego się w zakresie dopuszczalnym dla danego testera i uzwojenia. Typowe napięcie testowe wynosi 10 kV.

Sposób wykonania połączeń testowych różni się w zależności od konfiguracji uzwojenia. Zasadniczo przepusty zerowe uzwojenia pod napięciem (jeśli są) należy podłączyć do przewodu powrotnego niskiego napięcia. Przepusty zerowe na otwartym uzwojeniu należy uziemić, jeśli są również uziemione podczas eksploatacji.



Urządzenie TESTRANO 600, podobnie jak zestaw urządzeń CPC 100 + CP SB1, umożliwia pomiary prądu nasycenia transformatorów mocy bez konieczności zmiany połączeń kablowych.



## Warto wiedzieć...

Wyniki testu prądu nasycenia należy porównywać między fazami i położeniami zaczepów. W zależności od konstrukcji transformatora i liczby kolumn wyniki powinny wskazywać na wyraźną charakterystykę faz z dwiema lub trzema podobnymi fazami (HLH, LHL, HHH). Odchylenia między tymi podobnymi fazami powinny mieścić się w zakresie od 5% do 10%.

Jeśli prądy nasycenia we wszystkich trzech fazach są różne, zaleca się przeprowadzenie dalszych analiz. Przyczyną odmiennej charakterystyki faz może być namagnesowanie rdzenia lub problem z uzwojeniem.

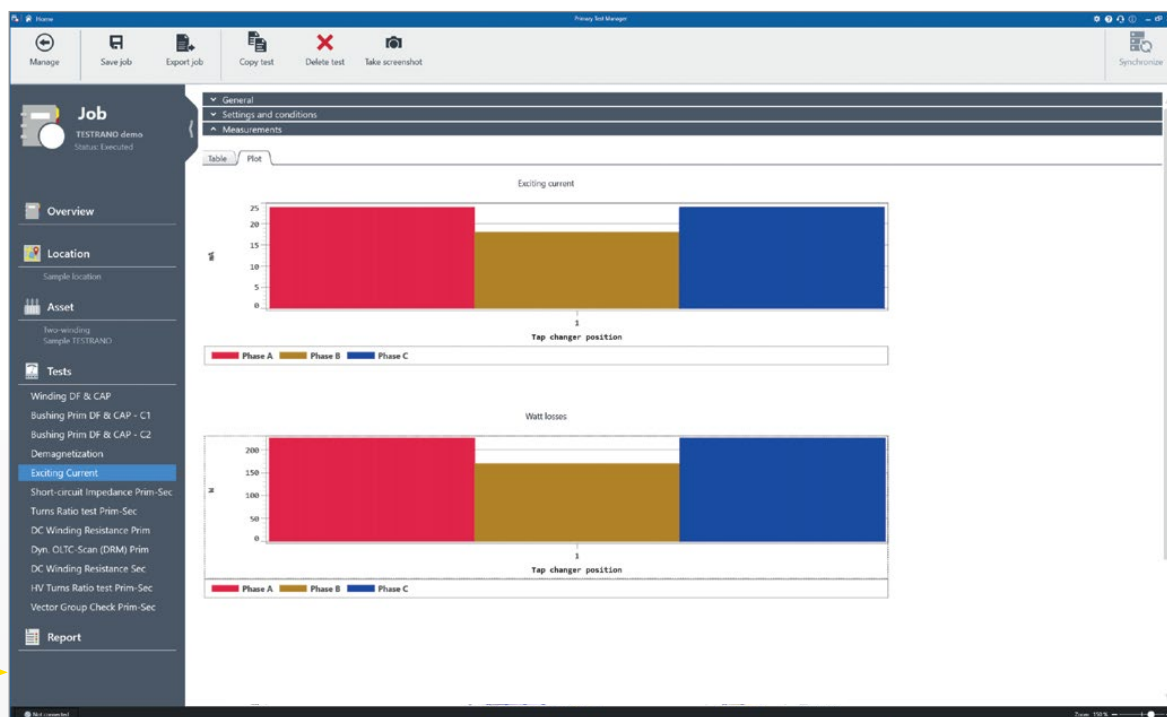
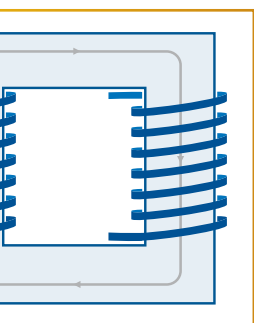
Jak wspomniano powyżej, magnetyzm szczątkowy w rdzeniu może mieć wpływ na wyniki. W takim przypadku należy rozmagnesować transformator i powtórzyć test.

Oprócz odpowiedniej charakterystyki faz wyniki powinny wskazywać również na wyraźną charakterystykę we wszystkich położeniach zacze- pów. Może ona zmieniać się w zależności od typu przełącznika zacze- pów. Nawet jeśli charakterystyka danego przełącznika zacze- pów nie jest znana, powinna być taka sama dla wszystkich faz.

Istnienie zwarc między zwojami można też potwierdzić przy użyciu pomiarów przekładni zwojowej transformatora (TTR). W dalszym dia- gnozowaniu problemów dotyczących rdzenia pomocna jest natomiast analiza odchyleń odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA).

## Zastosowanie urządzeń TESTRANO 600 lub CPC 100

- > Prowadzenie testów prądu nasycenia przy zwykłym napięciu testowym 10 kV, przy użyciu urządzenia CP TD12/15
- > Określanie prądów nasycenia podczas pomiaru przekładni zwojowej
- > Określanie prądów nasycenia dla wszystkich trzech faz bez konieczności ponownego podłączenia kabli



Typowa charakterystyka fazowa HLH transformatora trójcolumnowego z dwiema podobnymi wysokimi wartościami w fazach zewnętrznych i jedną niższą wartością w fazie środkowej.

# Pomiar impedancji zwarciowej/reaktancji rozproszenia

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zacsepów
- Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Pomiary impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia to czułe metody umożliwiające sprawdzenie uzwojeń pod kątem ewentualnych odkształceń lub przesunięć.

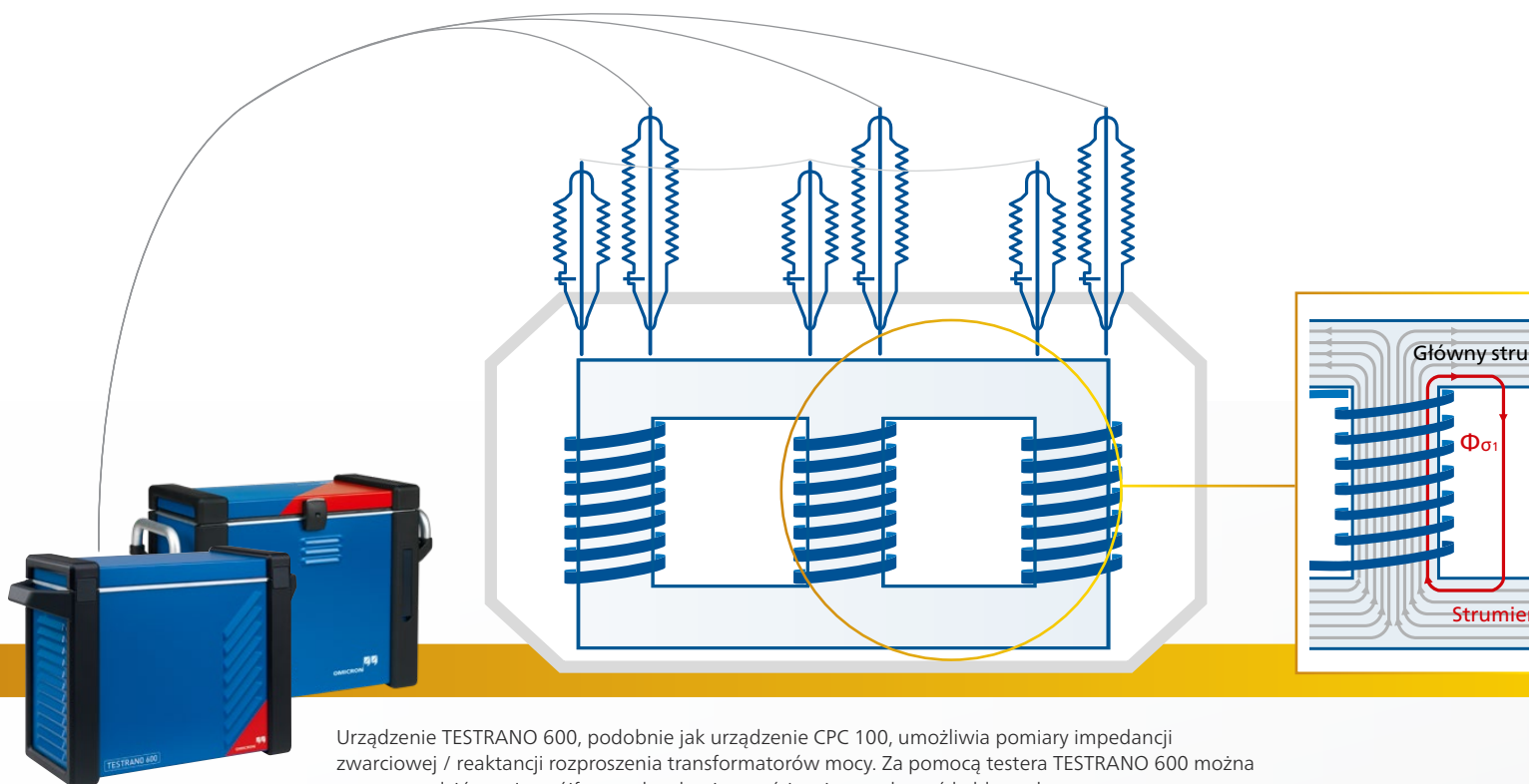
Poważne zwarcia lub transport transformatora mogą spowodować przesunięcia lub deformację uzwojeń. W takich wypadkach zaleca się przeprowadzenie testów impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia.

Takie testy wykonuje się zwykle jako pomiary trójfazowe, których wyniki można porównać z wartością podaną na tabliczce znamionowej, ustaloną przez producenta podczas fabrycznych testów odbiorczych. Ponieważ wartość ta reprezentuje średnią we wszystkich trzech fazach, podczas diagnozowania stanu uzwojenia zaleca się też przeprowadzenie pomiarów dla poszczególnych faz.

## Sposób działania

Do każdej fazy uzwojenia wysokonapięciowego podłącza się źródło prądu przemiennego. Podczas pomiaru trójfazowego wszystkie trzy fazy strony niskonapięciowej są zwarte bez podłączenia zacisku zerowego (jeśli jest). W testach dla poszczególnych faz zwiiera się wyłącznie odpowiednie uzwojenie po stronie niskonapięciowej.

Prąd i napięcie w uzwojeniu wysokonapięciowym mierzone są w amplitudzie i fazie. Na zakończenie oblicza się impedancję zwarciową, uwzględniając parametry danego transformatora.



Urządzenie TESTRANO 600, podobnie jak urządzenie CPC 100, umożliwia pomiary impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia transformatorów mocy. Za pomocą testera TESTRANO 600 można przeprowadzić pomiar trójfazowy bez konieczności zmiany połączeń kablowych.

## Warto wiedzieć...

Odchylenie wartości impedancji zwarciowej uzyskanej w ramach pomiaru trójfazowego od wartości na tabliczce znamionowej nie powinno przekraczać 3%.

Większe odchylenia nie stanowią jednak automatycznego potwierdzenia, że uzwojenie jest zdeformowane. Aby tak było, co najmniej jeden z testów reaktancji rozproszenia dla poszczególnych faz musi zakończyć się niepowodzeniem.

Wynik dla każdej fazy należy porównać ze średnią wszystkich trzech pomiarów dla poszczególnych faz. W większości przypadków odstępstwa od średniej wynoszą mniej niż 1% i nie powinny przekraczać 2–3%. Wyników testów dla poszczególnych faz nie można porównywać z danymi na tabliczce znamionowej.

Reaktancja rozproszenia reprezentuje wyłącznie bierną składową impedancji zwarciowej. Oba tych terminów używa się jednak zamiennie w odniesieniu do tej samej metody testowej.

W celu dalszego zbadania przesunięć i odkształceń uzwojenia można przeprowadzić dodatkowo analizę odchyłeń odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA).

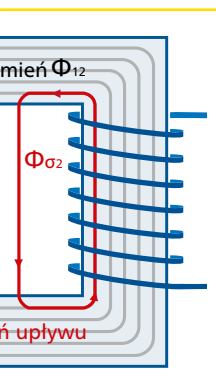
## Zastosowanie urządzenia TESTRANO 600

- > Pomiar trójfazowy w celu określenia impedancji zwarciowej bez konieczności ponownego podłączenia kabli
- > Metoda testowa podobna do stosowanej podczas fabrycznych testów odbiorczych
- > Sposób połączeń taki sam jak używany do pomiarów FRSL

## Zastosowanie urządzenia CPC 100

- > Pomiary jednofazowe w celu określenia impedancji zwarciowej dla poszczególnych faz oraz jej odpowiednika trójfazowego
- > Sposób połączeń taki sam jak używany do pomiarów FRSL

Reaktancja rozproszenia odzwierciedla upływ strumienia z rdzenia transformatora. Przesunięcie lub odkształcenie uzwojeń zmienia reluktancję (opór magnetyczny) na ścieżce upływu, a tym samym reaktancję.



Short circuit impedance results (Zk)					
	Phase	I AC	V1 AC	V1 AC phase	Wat
Start	A	941,02 mA	164,73 V	87,09 °	7,87
Start	B	959,90 mA	168,62 V	87,08 °	8,24
Start	C	970,41 mA	168,56 V	86,97 °	8,64

Assessment uk		
Phase	uk meas (%)	uk ref (%)
	8,67 %	8,45 %

Transformer Type		ODL 16 000 / 110		Serial No.		561525	
Year:		Manufacturing 1966		Operation		DB	
50 Hz		Cooling S		Vector Group		Yd11	
Power P:		PRIM 12 000		TERT		SEC 12 000 kVA	
Rated Voltage	1	12 62 00	54.9				
	13	11 00 00	53.0	V	A	10 600	V
	25	9 38 00	73.9				A
Impedances:		PRIM-TERT		TERT-SEC		PRIM-SEC 8.45 %	
						9.45	
						8.15	
Weight:		Total	424	Oil	17.6	Active Part	18
				Shipping	41 t		

Impedancję zwarciową oblicza się na podstawie wyników pomiarów trójfazowych i mocy znamionowej transformatora. Uzyskaną wartość porównuje się następnie z wartością podaną na tabliczce znamionowej transformatora.

# Pomiar odpowiedzi częstotliwościowej strat obciążeniowych (FRSL)

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zaczerwów
- Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Test odpowiedzi częstotliwościowej strat obciążeniowych (frequency response of stray losses, FRSL) jest pomiarem składowej rezystancyjnej impedancji zwarciowej przy wielu częstotliwościach. To jedyna metoda elektryczna pozwalająca na identyfikację zwarców pomiędzy równoległymi pasmami uzwojenia oraz miejscowego przegrzania wskutek nadmiernych strat prądów wirowych.

Wykonywanie pomiarów FRSL, podobnie jak testu impedancji zwarciowej i reaktancji rozproszenia, zaleca się podczas testów uruchomieniowych lub odbiorczych w celu ustalenia wyników wzorcowych. Testy FRSL nie są rutynowo przeprowadzanymi testami diagnostycznymi, ale zaleca się ich przeprowadzenie podczas diagnostyki zaawansowanej. Ten test także można przeprowadzić jako test trójfazowy albo test dla poszczególnych faz.

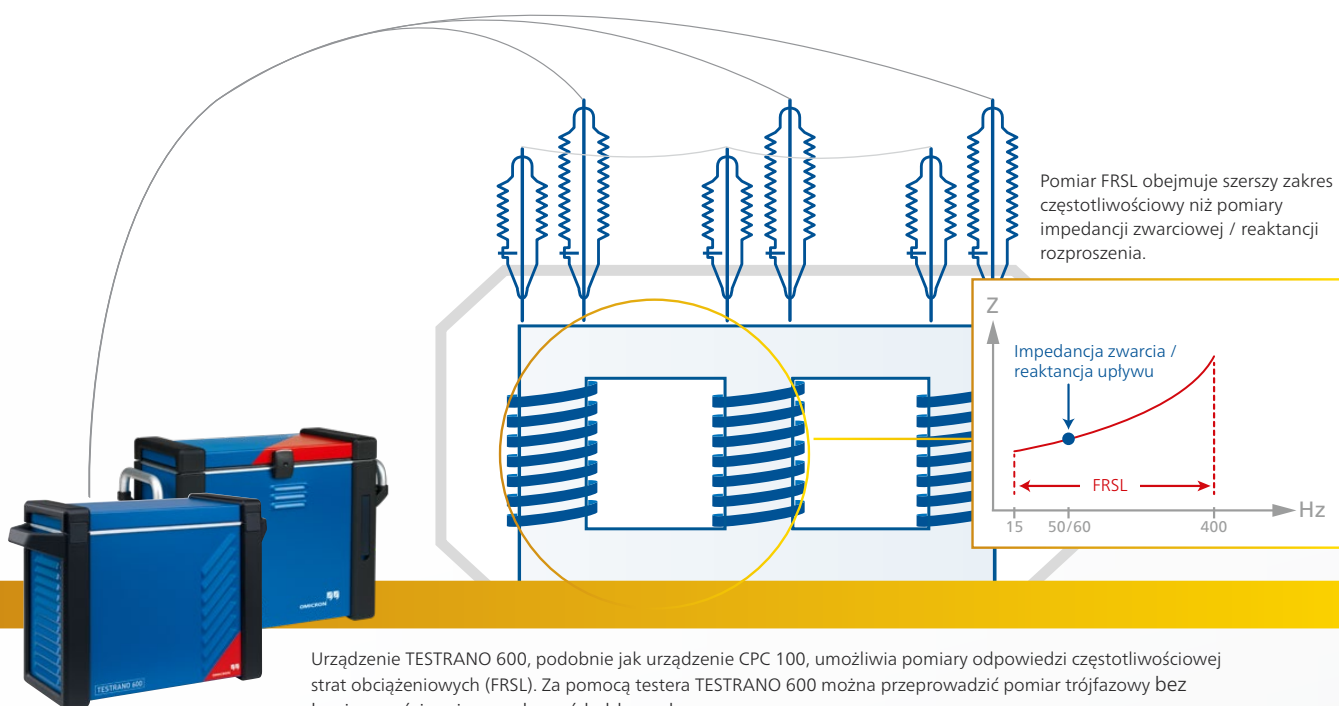
## Sposób działania

Konfiguracja testowa i procedura testu FRSL są takie same, jak w przypadku testu impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia. Testy te można więc wykonywać równocześnie.

Do każdej fazy uzwojenia wysokonapięciowego podłącza się źródło prądu przemianego. Podczas pomiaru trójfazowego wszystkie trzy fazy strony niskonapięciowej są zwarte bez podłączenia zacisku zerowego (jeśli jest). W testach dla poszczególnych faz zwraca się wyłącznie odpowiednie uzwojenie po stronie niskonapięciowej.

Zmierzone wartości prądu, napięcia i przesunięcia kąтового wykorzystuje się do obliczenia składowej rezystancyjnej impedancji zwarciowej przy częstotliwościach dyskretnych od 15 do 400 Hz.

Ponieważ straty prądów wirowych w transformatorze stają się wyraźniejsze przy wyższych częstotliwościach, sporządzenie wykresu przedstawiającego wyniki w całym zakresie częstotliwości pozwala zaobserwować wzrost składowej rezystancyjnej.



## Warto wiedzieć...

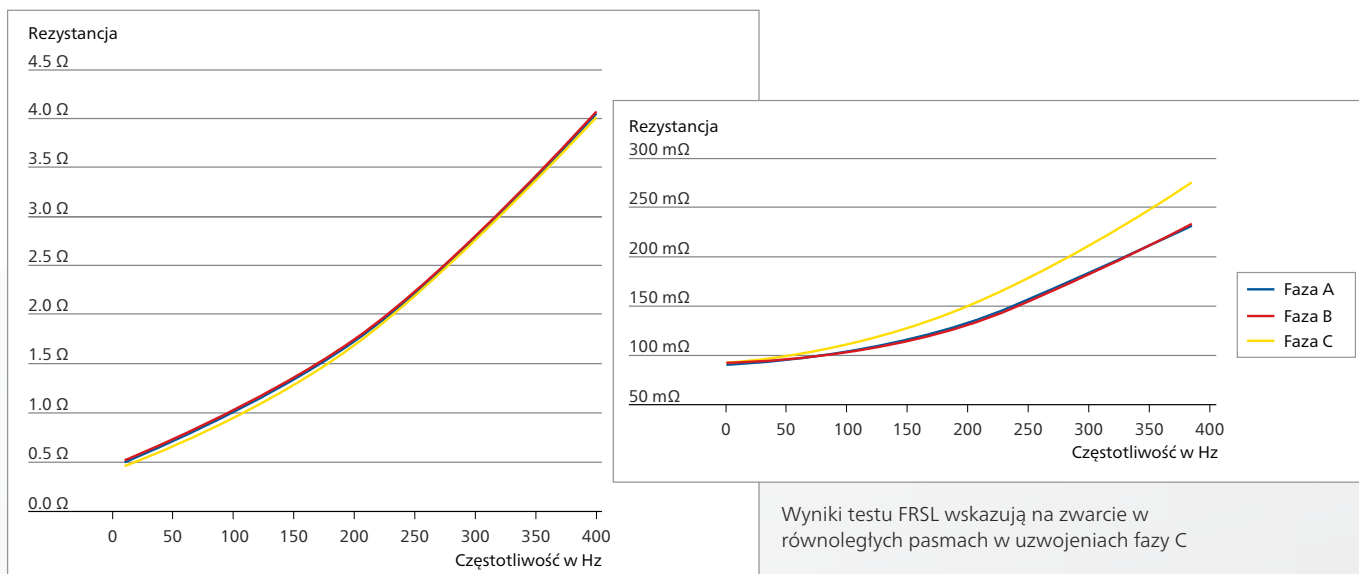
Analiza wyników FRSL ma w dużej mierze charakter wizualny i obejmuje porównanie ich w różnych fazach i czasie. Ponieważ straty prądów wirowych w transformatorze są proporcjonalnie zależne od częstotliwości, można zaobserwować wzrost impedancji w zakresie częstotliwości.

Wzrost ten powinien być taki sam we wszystkich trzech fazach, dając gładką krzywą wykładniczą. Odchylenia na poziomie 3%, zwłaszcza przy wyższych częstotliwościach, mogą wskazywać na zwarcie między pasmami uzwojenia.

Wyniki testu FRSL należy zweryfikować krzyżowo, przeprowadzając analizę gazów rozpuszczonych (DGA). Wiele problemów, które można zdiagnozować przy użyciu testu FRSL, powoduje wytwarzanie gazów palnych.

Zwarcia między pasmami mogą na przykład powodować większe niż zwykle przegrzanie, co można wykryć za pomocą DGA.

Najczęściej spotykanymi problemami, wskutek których wyniki testu FRSL mogą być mylące, są nieprawidłowe połączenia i małe przekroje zastosowanej zworki. W takim przypadku można zaobserwować przesunięcie pionowe między fazami.



Wyniki testu FRSL wskazują na zwarcie w równoległych pasmach w uzwojeniach fazy C

## Zastosowanie urządzenia TESTRANO 600

- > Pomiar trójfazowy w celu określenia FRSL bez konieczności ponownego podłączenia kabli
- > Sposób połączeń taki sam jak używany do pomiarów impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia

## Zastosowanie urządzenia CPC 100

- > Pomiary jednofazowe w celu określenia FRSL dla poszczególnych faz i jej odpowiednika trójfazowego
- > Sposób połączeń taki sam jak używany do pomiarów impedancji zwarciowej / reaktancji rozproszenia

# Rozmagnesowywanie

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zaczeów
- Izolacja
- Uzwojenia
- ✓ Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Jeśli transformator mocy jest odizolowany od systemu zasilania, przesunięcie fazowe powoduje gromadzenie się w jego rdzeniu magnetyzmu szczątkowego. Magnetyzm szczątkowy pozostaje również po podaniu napięcia stałego do rdzenia transformatora, na przykład podczas rutynowych testów rezystancji uzwojenia w terenie lub w zakładzie produkcyjnym.

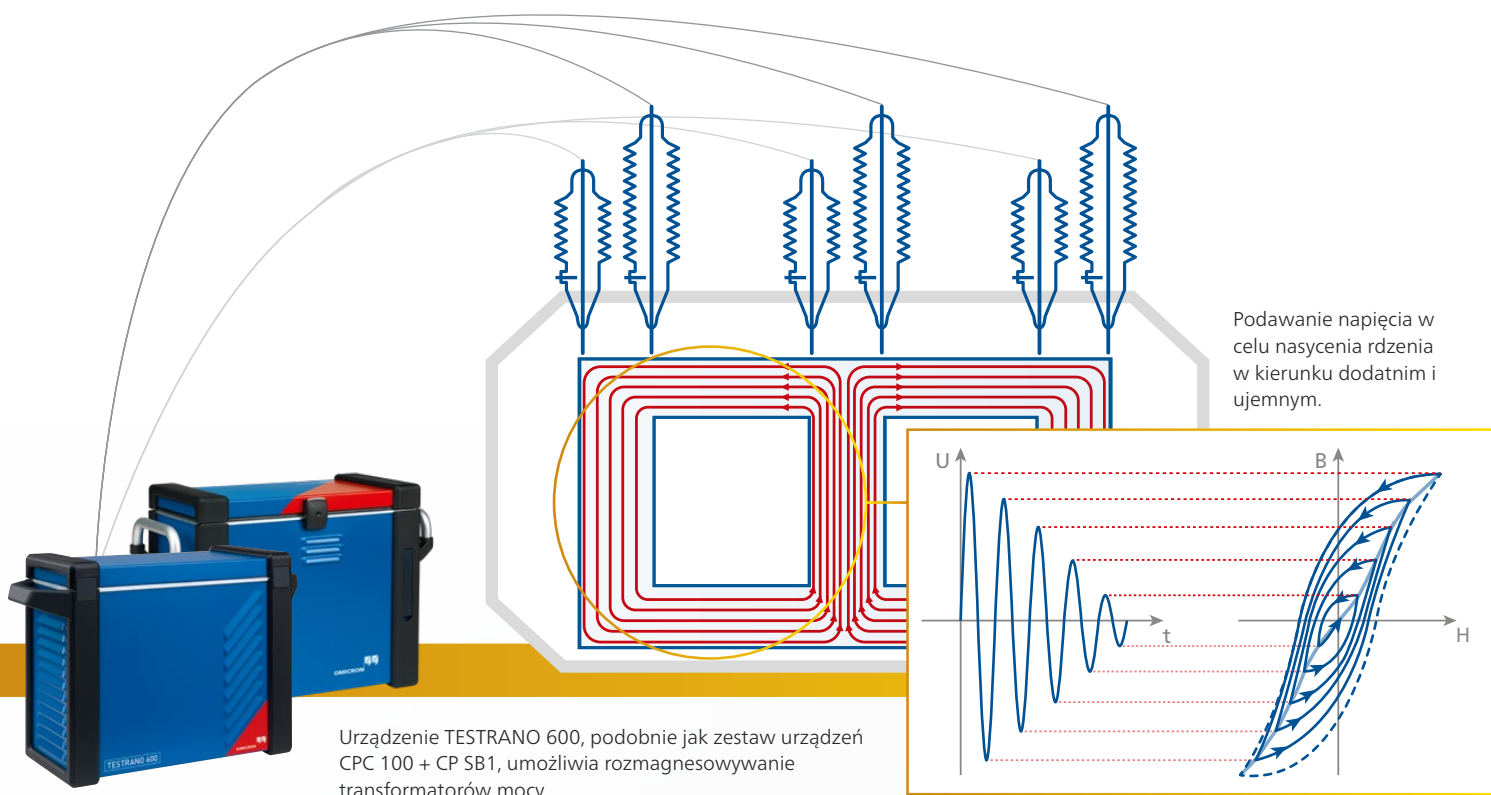
Magnetyzm szczątkowy w rdzeniu może prowadzić do wystąpienia dużych prądów rozruchowych, aż do maksymalnego prądu zwarciovego. Powoduje to niepożądane przeciążenie transformatora po jego ponownym włączeniu do eksploatacji. Magnetyzm szczątkowy może też wpływać na wyniki wielu pomiarów diagnostycznych, znacząco utrudniając rzetelną ocenę.

Dlatego przed ponownym włączeniem transformatora do eksploatacji i po podaniu napięcia stałego podczas testów diagnostycznych zaleca się rozmagnesowanie rdzenia.

## Sposób działania

Na początku rdzeń jest nasycany w obu kierunkach. Następnie określa się konkretne parametry histerezy i oblicza strumień początkowy. Później wykorzystuje się oparty na tych parametrach algorytm iteracyjny, pozwalający na zmniejszenie zastosowanego strumienia poprzez dostosowanie wartości napięcia i częstotliwości. Zastosowanie wielu iteracji umożliwia rozmagnesowanie rdzenia poniżej 1% jego wartości maksymalnej.

Opisane podejście do rozmagnesowywania rdzenia transformatora mocy na podstawie pomiaru strumienia magnetycznego sprawdza się niezawodnie zarówno w przypadku małych, jak i dużych transformatorów.



## Warto wiedzieć...

Rozmagnesowanie rdzenia transformatora minimalizuje zagrożenia dla personelu i sprzętu podczas ponownego włączania transformatora do eksploatacji.

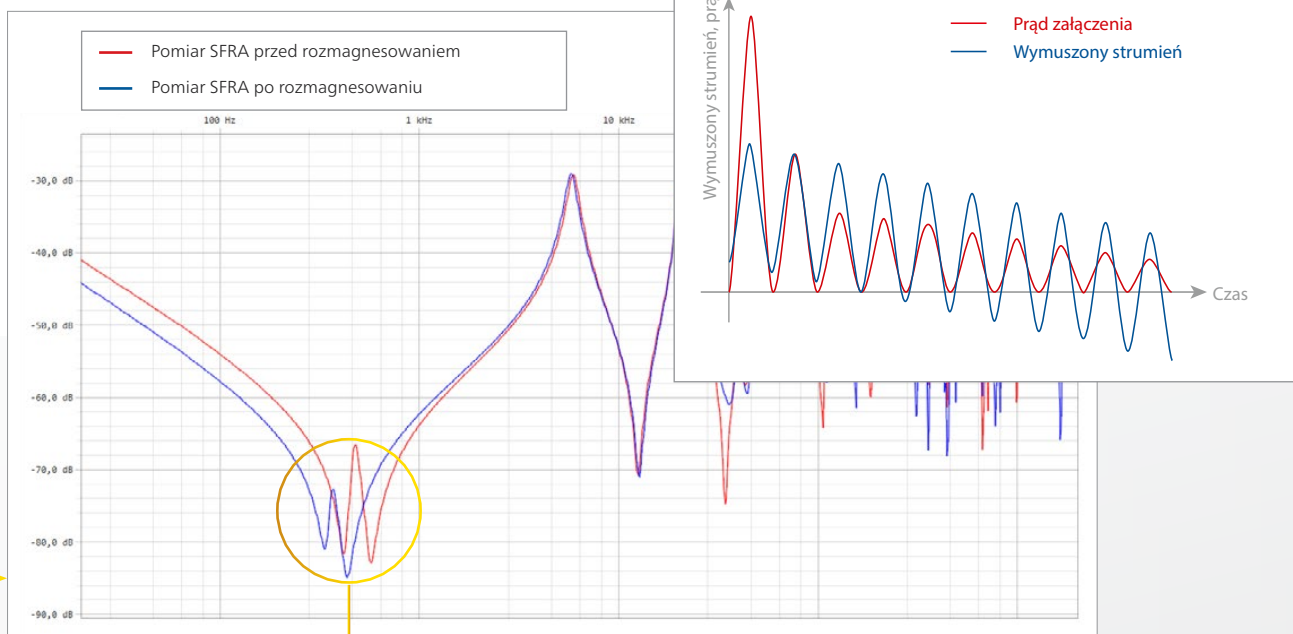
Rozmagnesowanie transformatora zaleca się także przed przeprowadzeniem testów prądu nasycenia, analizy odchyłń odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA) lub równowagi magnetycznej. Namagnesowanie rdzenia wpływa na wszystkie te pomiary, co może prowadzić do błędnej interpretacji wyników.

Dla udanego rozmagnesowania ważne jest stałe monitorowanie strumienia magnetycznego ( $\phi$ ) w rdzeniu podczas całego procesu.

## Zastosowanie urządzeń TESTRANO 600 lub CPC 100 + CP SB1

- > Szybkie i niezawodne rozmagnesowanie rdzenia transformatora
- > Pomiar w celu dalszej diagnozy, np. w razie uzyskania nieoczekiwanych wyników testu prądu nasycenia
- > Rozmagnesowanie do poziomu poniżej 1% wartości maksymalnej rdzenia

Magnetyzm szczątkowy powoduje powstanie dużych prądów rozruchowych i niepożądane przeciążenie transformatora po jego ponownym włączeniu do eksploatacji.



Pomiar SFRA dla fazy A: Przesunięcie punktów rezonansowych świadczy o wpływie namagnesowania rdzenia na pomiar.

# Analiza odchyłeń odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA)

## Testowane obiekty

- Przepusty
- PP
- ✓ Przewody
- Przełącznik zaczerpów
- Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- ✓ Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Analizę odchyłeń odpowiedzi częstotliwościowej (sweep frequency response analysis, SFRA) wykorzystuje się do identyfikowania problemów mechanicznych lub elektrycznych w uzwojeniach, stykach lub rdzeniach transformatorów mocy. Poważne zwarcia lub wstrząsy podczas transportu transformatora mogą spowodować przesunięcie lub odkształcenie uzwojenia.

Od czasu wprowadzenia normy IEC 60076-18 metoda ta stała się jednym z powszechnie stosowanych testów elektrycznych, a jej akceptacja wśród użytkowników znacznie wzrosła.

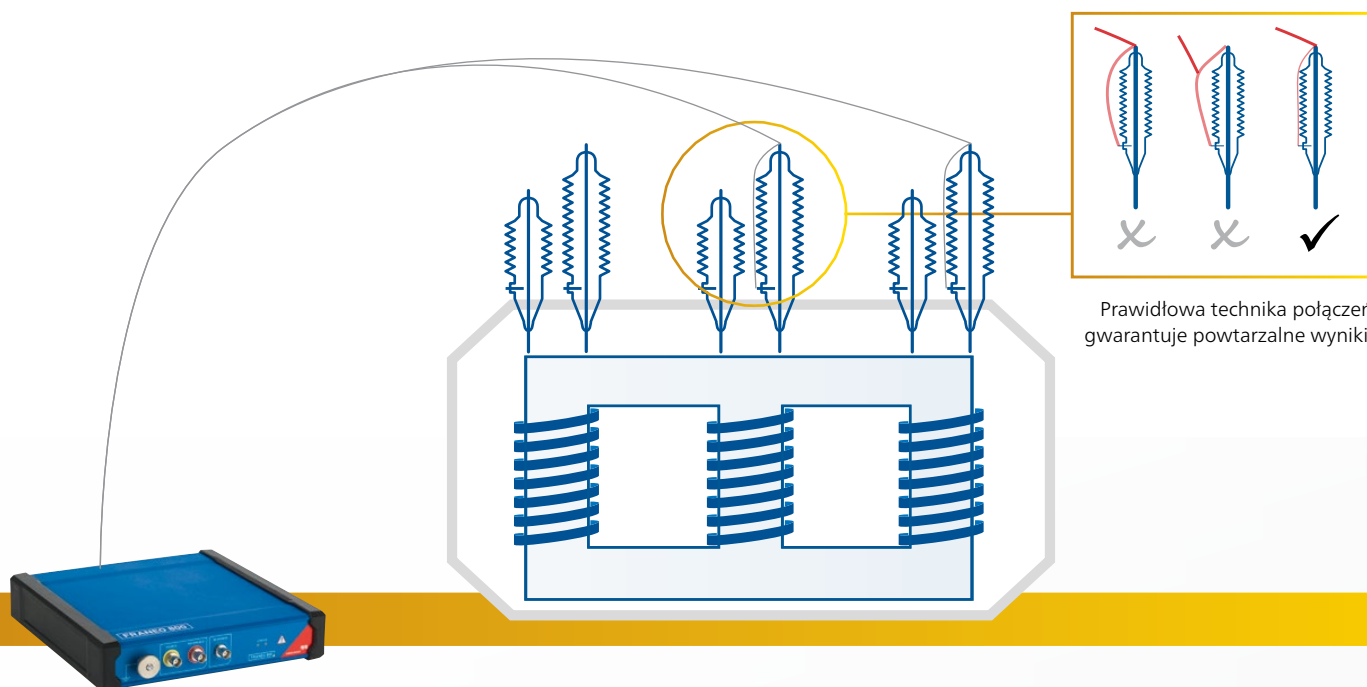
Przeprowadzenie testów SFRA zaleca się po zakończeniu testów odbiorczych przez producenta (pozwala to bowiem ustalić parametry charakterystyczne dla danego transformatora), a następnie ponownie po zakończeniu transportu i podczas uruchamiania.

## Sposób działania

Transformatory mocy można traktować jako złożoną sieć elektryczną elementów pojemnościowych, indukcyjnych i rezystorów. Każda sieć elektryczna ma własną, unikatową odpowiedź częstotliwościową.

Na jeden koniec uzwojenia transformatora podawane jest napięcie nasycenia o przebiegu sinusoidalnym i stale rosnącej częstotliwości; wartością mierzoną jest sygnał odpowiedzi z drugiego końca uzwojenia. Porównanie sygnałów wejściowych i wyjściowych pozwala wygenerować unikatową odpowiedź częstotliwościową, którą można porównać z danymi odniesienia.

Zmiany, przesunięcia lub odkształcenia elementów wewnętrznych prowadzą do zmian w tej funkcji, więc można je zidentyfikować przez porównanie wykresów.



Prawidłowa technika połączeń gwarantuje powtarzalne wyniki.

Urządzenie FRANEQ 800 umożliwia niezawodne diagnozowanie rdzeni i uzwojeń transformatorów mocy przy wykorzystaniu metody analizy odchyłeń odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA).



## Warto wiedzieć...

Metoda SFRA bazuje na porównaniu testu bieżącego z testem referencyjnym. Jeśli dane odniesienia są niedostępne, do porównania można wykorzystać wyniki uzyskane dla innej fazy lub podobnego transformatora.

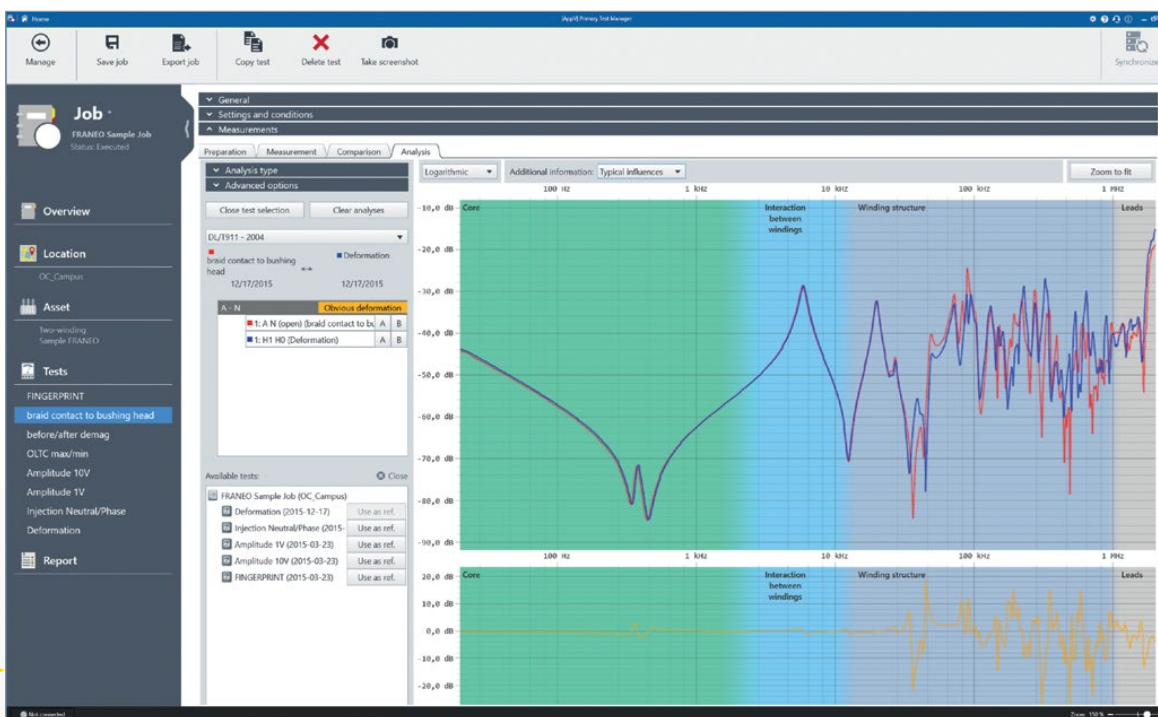
Tak wykryte zwarcia można potwierdzić za pomocą pomiarów innych wielkości, takich jak rezystancja uzwojenia prądu stałego, odpowiedź częstotliwościowa strat obciążeniowych (FRSL), impedancja zwarciowa / reaktancja rozproszenia, prąd nasycenia lub przekładnia zwojowa transformatora (TTR).

SFRA jest metodą nieinwazyjną. Pozwala na rzetelną ocenę integralności transformatora bez konieczności stosowania wysokich napięć.

Żadna inna metoda nie jest równie czuła na odkształcenia mechaniczne części czynnych transformatorów jak metoda SFRA.

## Zastosowanie urządzenia FRANEO 800

- > Najszerszy dynamiczny zakres pomiarowy w branży (> 150 dB)
- > Powtarzalne wyniki dzięki innowacyjnej technologii połączeń, opartej na metodzie 1 określonej w normie IEC 60076-18
- > Współpraca z oprogramowaniem Primary Test Manager™: procedury konfiguracji, wykonania i oceny testów ułatwiający prowadzenie analiz bez specjalistycznej wiedzy
- > Krótkie czasy pomiaru dzięki inteligentnym algorytmom analizy odchyleń
- > Mały i lekki sprzęt gwarantujący optymalną użyteczność



Program PTM pozwala na automatyczną ocenę wyników i ich porównanie, a także wizualizację typowych czynników wpływających na odchylenie.

# Analiza odpowiedzi dielektrycznej (częstotliwościowej)

## Testowane obiekty

- ✓ Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zacze­pów
- ✓ Izolacja
- Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Analizę odpowiedzi dielektrycznej (częstotliwościowej) wykorzystuje się do oceny poziomu wilgotności izolacji celulozowej, a więc określenia jej stanu.

Wilgoć w transformatorach z izolacją papierowo-olejową powstaje wskutek starzenia się papieru lub dostaje się do transformatora przez nieszczelne połączenia lub odpowietrzenia. Prowadzi to do zmniejszenia odporności na przebicia i szybszego starzenia się izolacji.

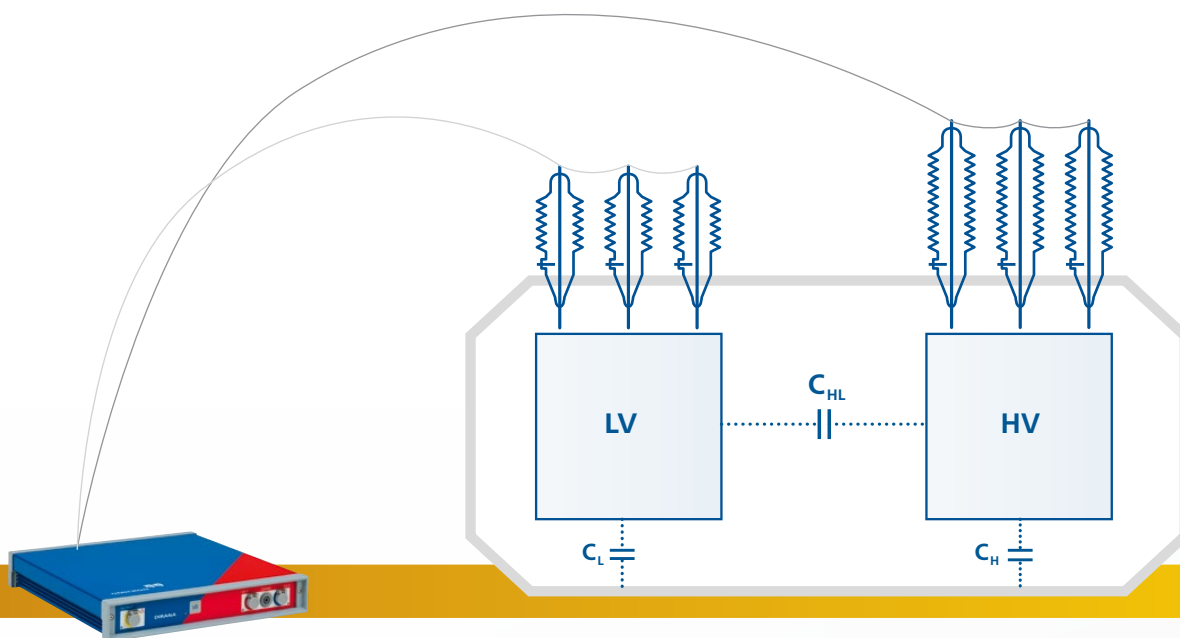
Znajomość poziomu wilgotności jest ważna dla oceny stanu transformatora i jego przepustów. Pomiar ten przeprowadza się także w nowych transformatorach, aby sprawdzić, czy poziom wilgotności po procesie suszenia jest odpowiednio niski.

## Sposób działania

Najwięcej izolacji celulozowej w części czynnej transformatora mocy znajduje się między jego uzwojeniem pierwotnym i wtórnym. W celu pomiaru tej izolacji wyjście podłącza się do uzwojenia wysokonapięciowego a wejście — do uzwojenia niskonapięciowego. Niepożądane prądy pojemnościowe i rezystancyjne są bocznikowane przez przyłącze ochronne podłączone do zbiornika.

Współczynnik mocy/rozproszenia izolacji mierzy się w szerokim zakresie częstotliwości. Przebieg otrzymanej krzywej informuje o stanie izolacji.

Bardzo niskie częstotliwości świadczą o wilgotności w izolacji stałej, podczas gdy kąt nachylenia w zakresie średnich częstotliwości wskazuje na przewodność izolacji ciekłej. Krzywa jest automatycznie porównywana z modelem i obliczana jest wilgotność izolacji celulozowej.



Urządzenie DIRANA pozwala określić poziom wilgotności w transformatorach z izolacją z papieru impregnowanego olejem. Umożliwia też ocenę stanu przepustów za pomocą analizy odpowiedzi dielektrycznej.

## Warto wiedzieć...

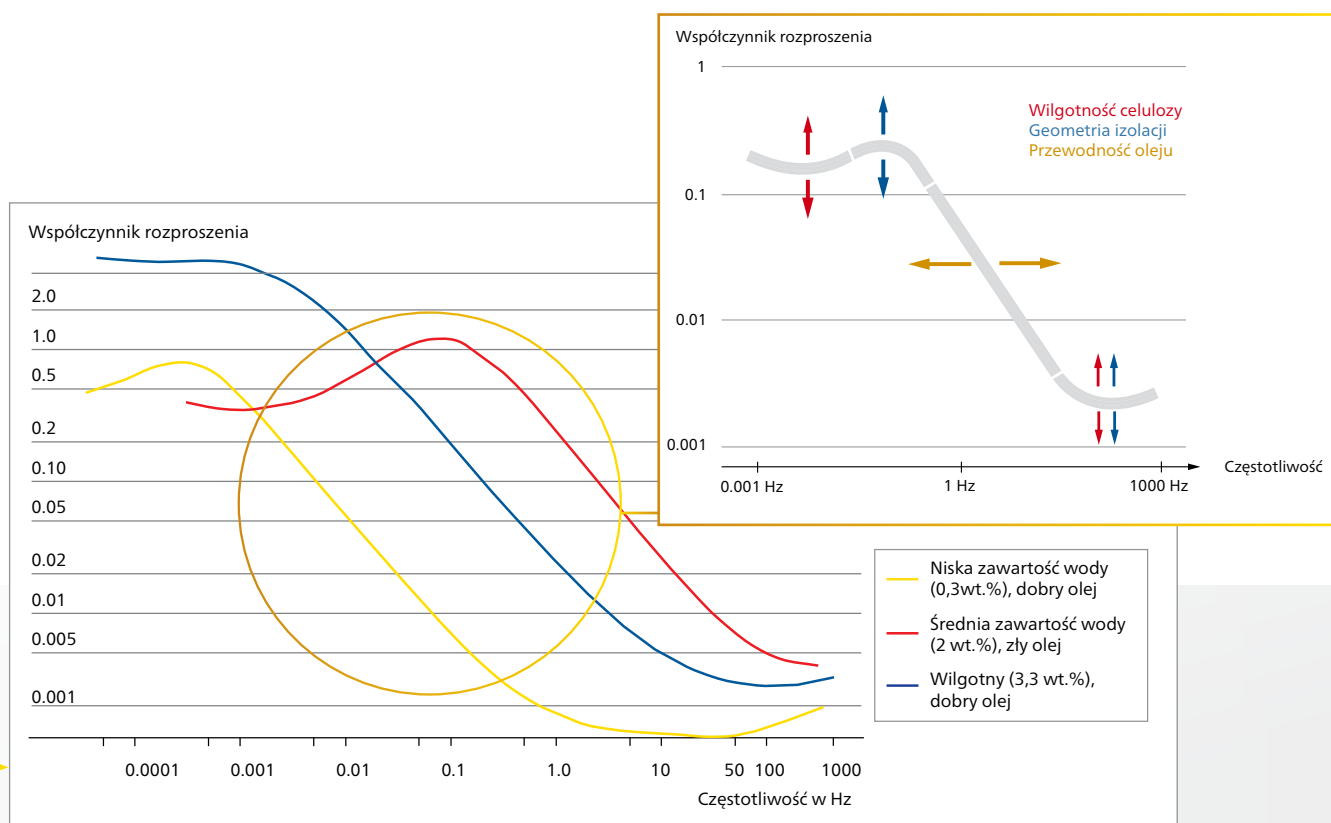
Ta metoda jest też zatwierdzona naukowo przez międzynarodowe stowarzyszenie CIGRÉ. Nie ma innych nieinwazyjnych sposobów oceny poziomu wilgotności w transformatorze, które zapewniłyby porównywalną dokładność.

Metoda pozwala określić wilgotność celulozy bezpośrednio, a nie na podstawie wilgotności oleju. Dlatego może być stosowana we wszystkich temperaturach i nie wymaga czekania na osiągnięcie równowagi wilgotności między papierem a olejem.

Ocenę przeprowadza się zgodnie z normą IEC 60422, w której określono kategorie poziomów wilgotności.

## Zastosowanie urządzenia DIRANA

- > Niezawodne określanie poziomu wilgotności transformatorów mocy i przepustów z izolacją z papieru impregnowanego olejem (OIP)
- > Bardzo krótkie czasy pomiaru dzięki połączeniu różnych metod pomiarowych (FDS i PDC+)
- > Szeroki zakres częstotliwości (od 10  $\mu$ Hz do 5 kHz)



Krzywa odpowiedzi dielektrycznej pozwala wyciągnąć wnioski na temat różnych czynników wpływających na wynik pomiaru.

# Analiza przekładników prądowych

## Testowane obiekty

- Przepusty
- ✓ PP
- Przewody
- Przełącznik zaczerwów
- Izolacja
- Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Przekładniki prądowe w przepustach (PP) są testowane przez producentów podczas końcowych testów odbiorczych, a także przez operatorów stacji elektroenergetycznych podczas uruchomień. Test pozwala sprawdzić, czy PP wysyła prawidłowe sygnały do systemu zabezpieczeń.

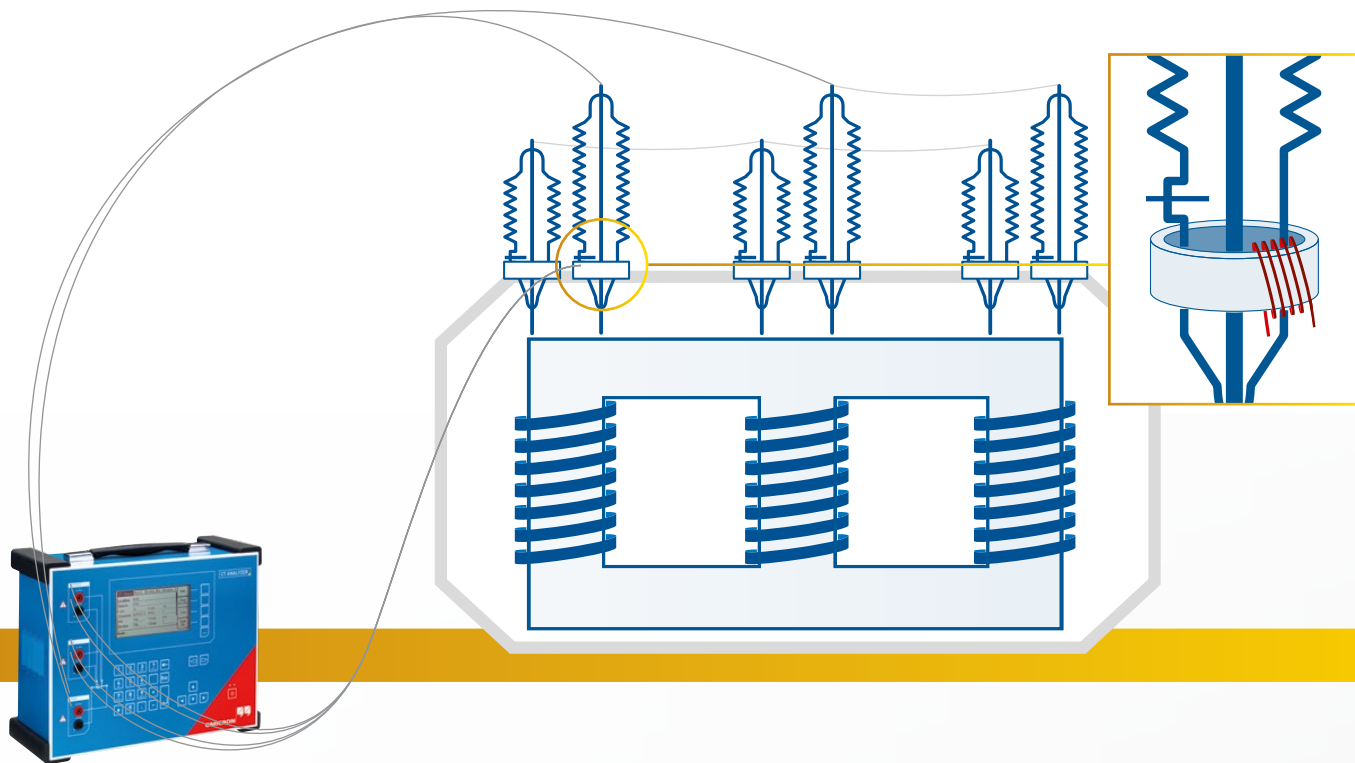
Nieprawidłowe sygnały prowadzą do wadliwego działania systemu zabezpieczeń, co może spowodować uszkodzenie podłączonych urządzeń. Do sprawdzanych parametrów należą dokładność PP, w tym uchyb przekładni PP i przesunięcie fazowe, dokładność przy różnych obciążeniach, rezystancja uzwojenia PP, charakterystyka nasycenia PP, a także współczynnik graniczny dokładności (ALF) i współczynnik bezpieczeństwa przyrządu (FS).

Wszystkie testy są wykonywane zgodnie z normami: IEC 60044-6, IEC 60044-1, IEC 61869-2, IEEE C57.13

## Sposób działania

Każda faza jest testowana osobno; pozostałe fazy muszą być zwarte. Napięcie podawane jest do strony wtórnej przekładnika. To powoduje powstanie siły magnetycznej i gęstości strumienia magnetycznego w rdzeniu PP. Uchyb przekładni oblicza się na podstawie obciążenia i modelu PP (schemat obwodu równoważnego), którego parametry są wyznaczane.

Nie jest potrzebne źródło dużego prądu, a test wystarczy wykonać tylko raz, nawet jeśli PP musi być później oceniony przy użyciu innych obciążeń i prądów pierwotnych. Wszystkie istotne parametry PP są mierzone dokładnie, z uwzględnieniem obciążenia PP i jego charakterystyki nasycenia.



Urządzenie CT Analyzer pozwala przeprowadzać testy diagnostyczne PP przepustowych.

## Warto wiedzieć...

Cykle i wartości testów diagnostycznych przekładników prądowych w przepustach (PP) są zdefiniowane w odpowiednich normach oraz w wytycznych uruchomieniowych dla użytkowników PP.

Uchyb PP określa się dla różnych metod połączeń uzwojeń transformatora. Kontrola polaryzacji pozwala sprawdzić, czy biegunowość PP i jego uzwojenie są prawidłowe. Podczas testu mierzona jest także krzywa nasycenia i obliczane są punkty kolanowe. Aby uniknąć wadliwego działania zabezpieczenia, przeprowadza się pomiar pozostałości magnetycznej (remanencji) oraz rozmagnesowanie PP.

Im większa impedancja obciążenia, tym szybciej osiąga się nasycenie. Nasycenie rdzenia osiąga się, gdy poziom namagnesowania przestanie rosnąć, ale natężenie zewnętrznego pola magnetycznego dalej wzrasta. Efektem jest ogromny spadek wydajności i pogorszenie parametrów PP.

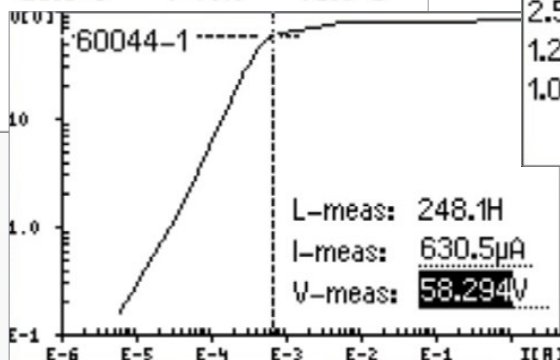
Podczas pomiarów przekładni PP umieszczonych w przepuście zacisku uzwojenia transformatora zamiast prądu podaje się napięcie (ze względu na impedancję uzwojenia transformatora). W przypadku tej metody napięcie testowe podawane jest do strony wtórnej PP, a napięcie mierzy się na zaciskach przepustu uzwojenia. Ten test można też przeprowadzić przy użyciu urządzenia CPC 100 w celu sprawdzenia przekładni, polaryzacji i stopnia ochrony PP.

## Zastosowanie urządzenia CT Analyzer

- > Automatyczne rozmagnesowanie PP pozwalające uniknąć wadliwego działania zabezpieczeń
- > Automatyczne generowanie raportów z testów zgodnie z normami
- > Metoda podawania napięcia wtórnego jest jedynym sposobem testowania PP przepustowych podłączonych już do transformatorów mocy
- > Wyjątkowo wysoka dokładność (0,02% wartości typowej) do klasy dokładności 0,1
- > Małe wymiary i niska masa (< 8 kg)

CT-Obje...	Resistance	Excitation	Ratio
Secondary winding:			
I-DC:	0.962A	V-DC:	8.516V
R-meas:	8.852Ω	R-ref:	10.56Ω
T-meas:	25.0°C	T-ref:	75.0°C

CT-Object	Resistance	Excitation	Ratio
Nominal Burden		Current ratio error in % at % of rated current	
VA/Cosφ	100%	120%	
2.50/1.000	-0.009	-0.008	
1.25/1.000	-0.008	-0.007	
1.00/1.000	-0.007	-0.007	



Resistan...	Excitati...	Ratio	Assessment
Standard:	60044-1	Class:	0.1
Parameter		Auto	Manual
Class		OK	<input checked="" type="checkbox"/>
ε		OK	?
Δφ		OK	?
FS		OK	?

Różne karty testowe ułatwiają sprawdzanie i ocenę odpowiednich parametrów PP, takich jak przekładnia, rezystancja i stopień ochrony.

# Analiza wyładowań niezupełnych

## Testowane obiekty

- ✓ Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zaczeów
- ✓ Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Wyładowania niezupełne (partial discharge, PD) mogą uszkodzić materiały izolacyjne w przepustach i uzwojeniach transformatora. To może prowadzić do ich awarii i kosztownych przestoów.

Wyładowania niezupełne obserwuje się w przepustach i uzwojeniach transformatorów mocy, jeśli materiał izolacyjny między różnymi potencjałami jest stary, zanieczyszczony lub uszkodzony.

Pomiar wyładowań niezupełnych jest niezawodną i nieinwazyjną metodą służącą do diagnozowania stanu izolacji transformatora mocy. Przeprowadza się go podczas fabrycznych testów odbiorczych, przy uruchamianiu transformatorów w terenie, a także w czasie rutynowych testów konserwacyjnych w celu wykrycia kluczowych wad i oceny ryzyka.

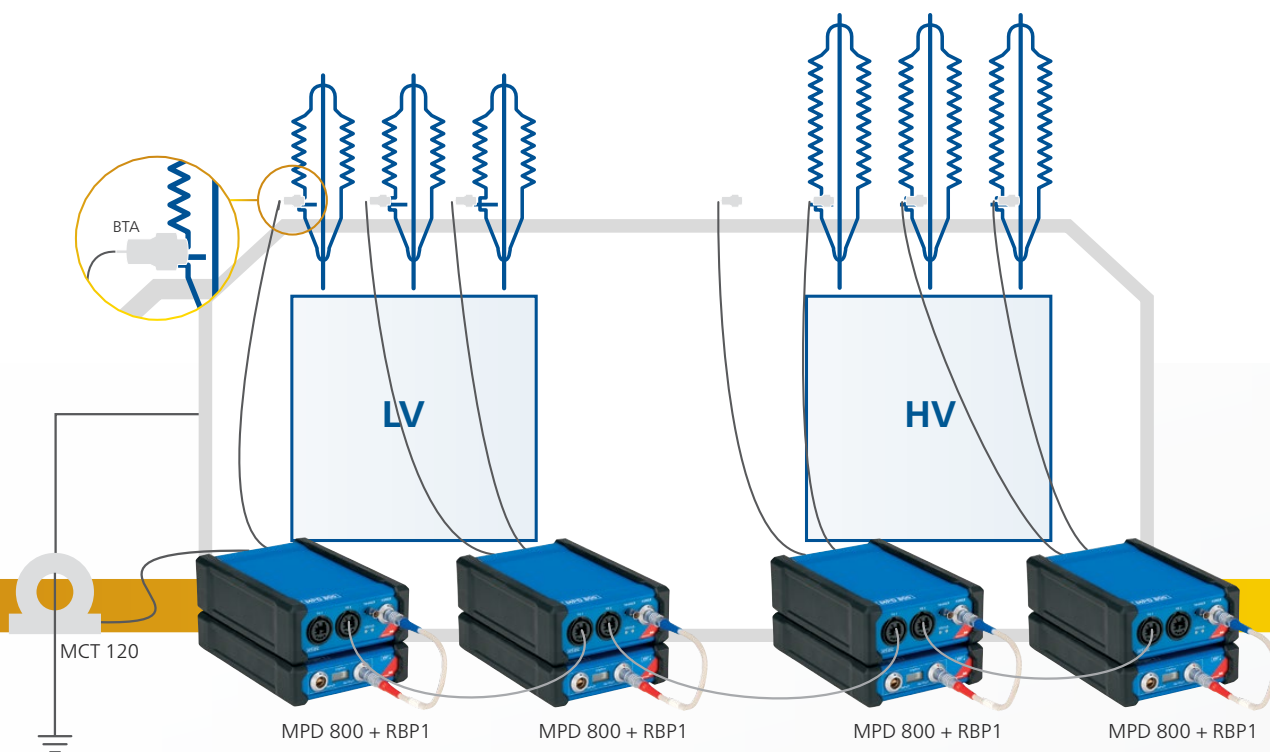
## Sposób działania

Przy pomiarze i analizie wyładowań niezupełnych w transformatorach mocy poszczególne testy i konfiguracje testów określa się na podstawie typu transformatora oraz normy, zgodnie z którą wykonywane są pomiary.

W zależności od typu używanych przepustów, system analizy wyładowań niezupełnych podłącza się do zaczeu pojemnościowego przepustów albo do zewnętrznego kondensatora łączącego. Umożliwia to przeprowadzenie pomiarów elektrycznych wyładowań niezupełnych w transformatorze.

Wyładowania niezupełne są mierzone w mikrowoltach ( $\mu\text{V}$ , zgodnie z normami IEEE) lub pikokulombach ( $\text{pC}$ , zgodnie z normą IEC 60270).

W środowiskach o dużym natężeniu zakłóceń często stosuje się zaawansowane techniki tłumienia szumów, aby zminimalizować ilość nieistotnych danych.



## Warto wiedzieć...

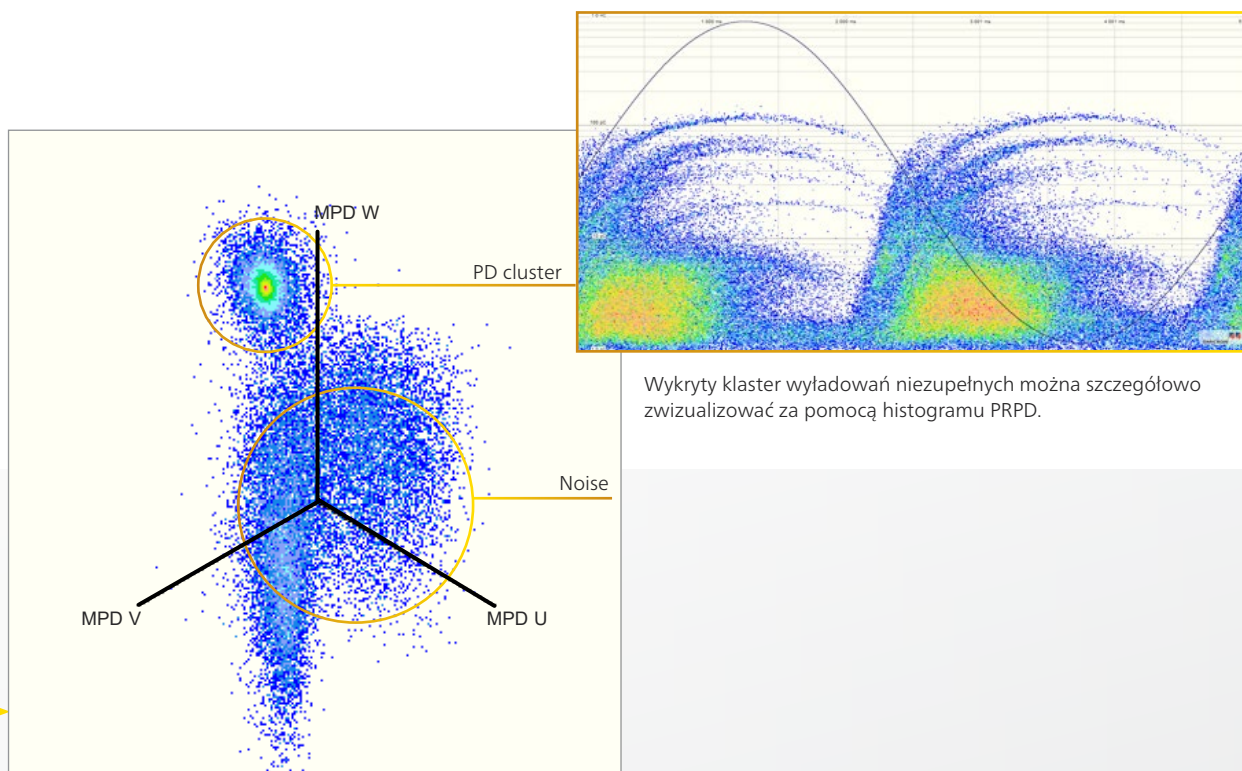
Wyładowania niezupełne można też mierzyć bezpośrednio wewnątrz kadzi transformatorów z izolacją olejową przy użyciu czujników ultrawysokiej częstotliwości (UHF). Pomiar wyładowań niezupełnych za pomocą czujników UHF mogą być skuteczną metodą weryfikacji wyników: impulsy wyładowań niezupełnych z pomiaru elektrycznego w przepustach są akceptowane tylko wtedy, gdy odbierany jest też impuls UHF ze zbiornika transformatora.

Po wykryciu wyładowań niezupełnych można przeprowadzić pomiary akustyczne w celu dokładnego zlokalizowania uszkodzeń transformatora.

W ramach systematycznego zarządzania ryzykiem można zainstalować dielektryczny system monitorowania stanu online, umożliwiającą ciągłą ocenę stanu izolacji przepustów i transformatorów.

## Zastosowanie urządzenia MPD 800

- > Solidny i elastyczny, do użytku w laboratoriach, na stanowiskach diagnostycznych i w terenie
- > Synchroniczne wielokanałowe pomiary wnz i możliwość bramkowania
- > Możliwość doboru filtrów do testów wyładowań niezupełnych zgodnie z normami IEC oraz IEEE
- > Szeroki zakres częstotliwości wnz dla uzyskania optymalnego stosunku sygnału do szumu w środowiskach o wysokim poziomie zakłóceń
- > Zaawansowane techniki separacji szumów i źródeł wyładowań niezupełnych dla zapewnienia wiarygodnej analizy
- > Wielojęzyczne oprogramowanie do testów wnz z konfigurowanym interfejsem użytkownika do zindywidualizowanych testów wnz i tworzenia raportów



Wykres relacyjny amplitudy 3-fazowej (3PAR) oddziela źródła wyładowań niezupełnych od szumu.

Wykryty klaster wyładowań niezupełnych można szczegółowo zwizualizować za pomocą histogramu PRPD.

# Lokalizacja wyładowań niezupełnych

## Testowane obiekty

Przepusty

PP

Przewody

Przełącznik zacze­pów

✓ Izolacja

✓ Uzwojenia

Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Wyładowania niezupełne (PD) mogą nieodwracalnie uszkodzić izolację transformatora mocy na długo przed faktyczną awarią izolacji. Nawet po wykryciu i analizie uszkodzenia kluczowe znaczenie ma znajomość dokładnej lokalizacji uszkodzeń izolacji transformatora.

Dzięki akustycznym pomiarom wyładowań niezupełnych można precyzyjnie zlokalizować słabe punkty lub wady izolacji. Znajomość dokładnego położenia uszkodzeń pozwala skutecznie zaplanować i podjąć odpowiednie czynności zaradcze, aby zapobiec awarii.

Pomiary akustyczne wyładowań niezupełnych przeprowadza się po wykryciu wyładowań niezupełnych podczas fabrycznych testów odbiorczych. Są one też integralną częścią pomiarów diagnostycznych w terenie w całym okresie eksploatacji transformatorów mocy.

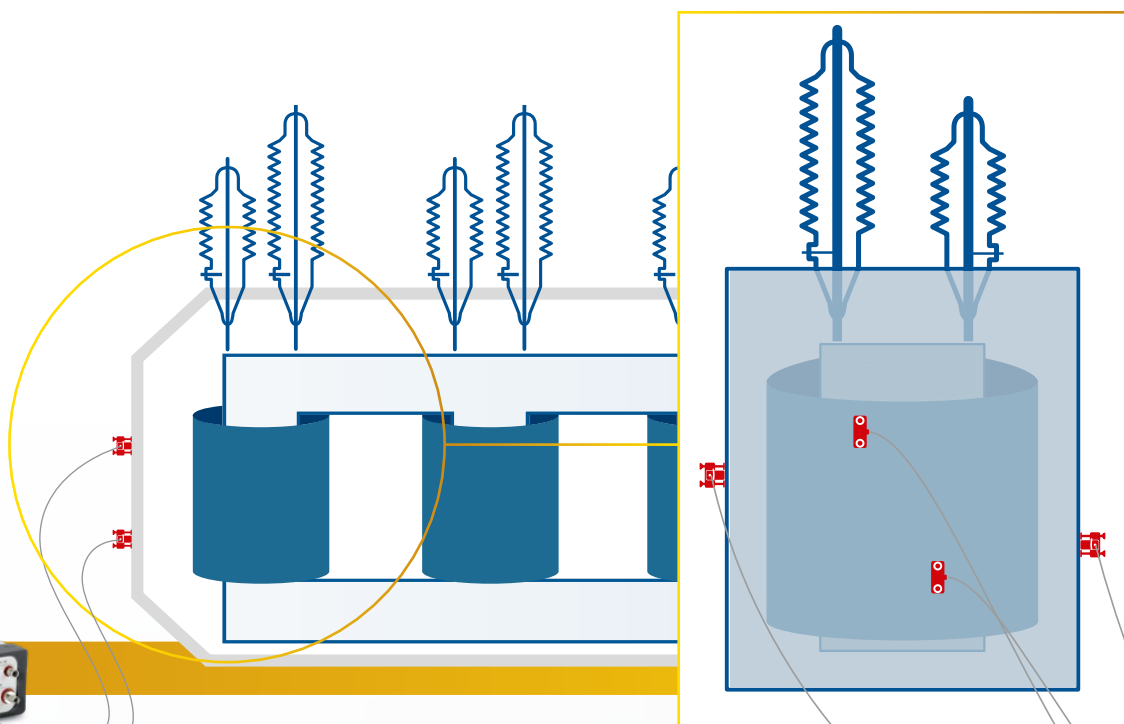
## Sposób działania

Na powierzchni zbiornika transformatora mocy montuje się za pomocą magnesów wiele czujników akustycznych. Każdy czujnik mierzy czas propagacji sygnału akustycznego od źródła wyładowania niezupełnego do ściany zbiornika. Następnie na podstawie różnic czasowych, położenia czujnika i prędkości propagacji oblicza się położenie uszkodzenia.

Dane zebrane przez czujniki są w tym samym czasie porównywane ze sobą w celu dokładnego określenia lokalizacji uszkodzenia.

Typowy przebieg pomiaru akustycznego opisano w normie IEEE C57.127-2007.

Konfiguracja urządzenia PDL 650 w transformatorze mocy z czterema czujnikami akustycznymi.



Czujniki akustyczne na ścianie transformatora pomagają zlokalizować usterkę.



## Warto wiedzieć...

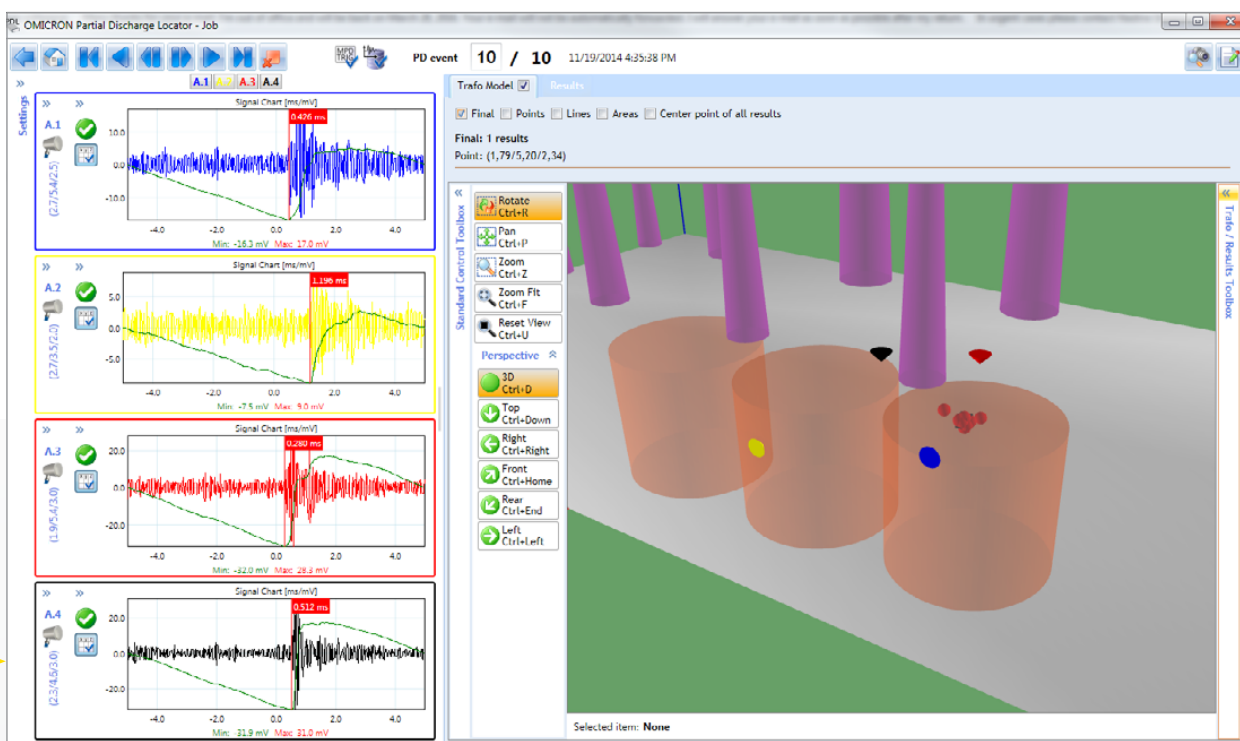
Analiza gazów rozpuszczonych (DGA) może wskazywać na obecność wylądowań niezupełnych, ale nie pozwala ich faktycznie zlokalizować. Pomiary akustyczne wylądowań niezupełnych wykonuje się więc, jeśli wyniki DGA wskazują na istnienie wylądowań niezupełnych.

Połączenie pomiarów elektrycznych i ultrawysokoczęstotliwościowych (UHF) służących do wykrywania wylądowań niezupełnych można wykorzystać do uruchamiania akustycznych pomiarów wylądowań niezupełnych. Ta metoda zapewnia optymalną lokalizację wylądowań niezupełnych w środowiskach o dużym natężeniu zakłóceń.

Pomiary akustyczne wylądowań niezupełnych wykonuje się przy transformatorach działających i podłączonych do sieci. To eliminuje konieczność wyłączania transformatora z eksploatacji.

## Zastosowanie urządzenia PDL 650

- > Modułowa, lekka konstrukcja ułatwiająca przenoszenie urządzenia i jego konfigurację w terenie
- > Bezpieczeństwo dzięki galwanicznemu odizolowaniu operatora od wysokiego napięcia
- > Wizualizacja trójwymiarowa (3D) umożliwia wyraźne zlokalizowanie uszkodzeń wewnątrz transformatora
- > Wyzwalanie elektryczne w połączeniu z urządzeniem MPD 600 i czujnikami UHF zapewniające optymalną lokalizację wylądowań niezupełnych w środowiskach o dużym natężeniu szumów



Trójwymiarowy model transformatora pozwala określić dokładną lokalizację wylądowań niezupełnych.

# Pomiar online i czasowe monitorowanie wyładowań niezupełnych

## Testowane obiekty

- ✓ Przepusty
- PP
- Przewody
- Przełącznik zacsepów
- ✓ Izolacja
- ✓ Uzwojenia
- Rdzeń

## Uzasadnienie pomiarów

Wyładowania niezupełne (partial discharge, PD) mogą uszkodzić materiały izolacyjne w przepustach i uzwojeniach transformatora. To może prowadzić do uszkodzenia izolacji i kosztownych przestoju. Wyładowania niezupełne obserwuje się w przepustach i uzwojeniach transformatorów mocy, jeśli materiał izolacyjny między różnymi potencjałami jest stary, zanieczyszczony lub uszkodzony.

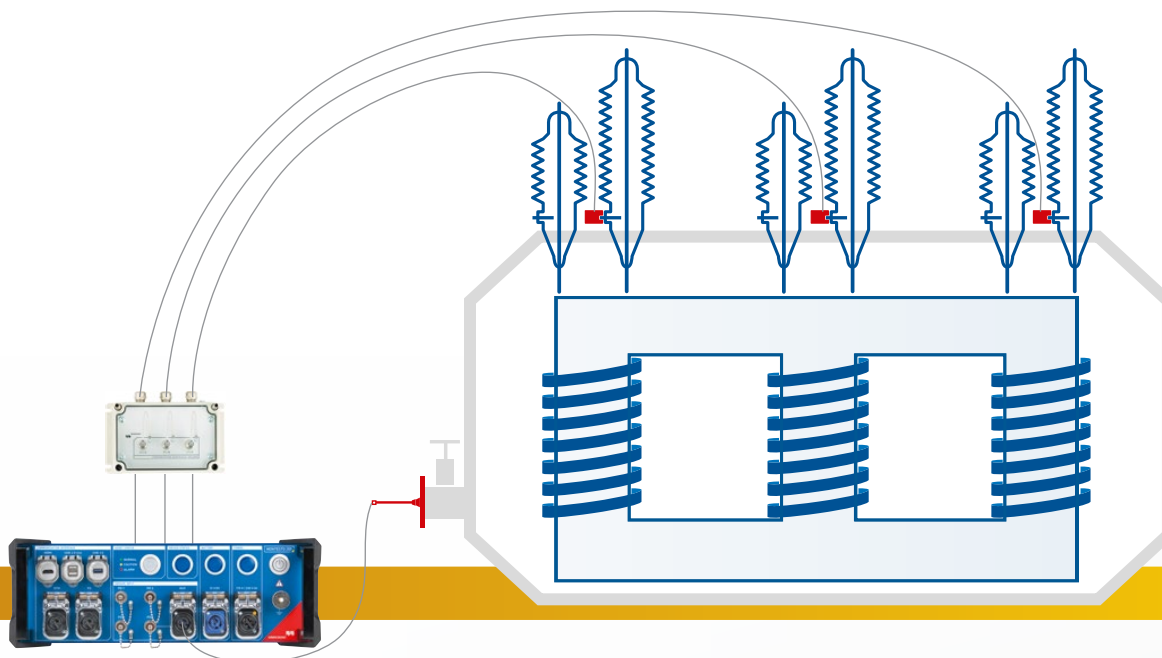
Pomiary online wyładowań niezupełnych pozwalają ocenić częstotliwość ich występowania oraz zapewniają wrywkowe badanie stanu izolacji podczas działania transformatora. Monitorowanie okresowe online wyładowań niezupełnych pokazuje zmiany częstotliwości ich występowania w określonym czasie podczas eksploatacji transformatora.

Dane zgromadzone podczas pomiarów i monitorowania online wyładowań niezupełnych umożliwiają technikom określenie, kiedy urządzenie elektryczne jest zagrożone awarią. Te istotne informacje, oparte na stanie urządzenia, pomagają w zoptymalizowaniu strategii serwisowania, zarządzania urządzeniami oraz planowania inwestycji.

## Sposób działania

Układ do pomiaru on-line wyładowań niezupełnych połączony z systemem okresowego monitorowania WNZ może być łatwo podłączony do zamontowanych na stałe czujników w przepustach za pośrednictwem skrzynki zaciskowej. Umożliwia to bezpieczną i wygodną konfigurację typu plug-and-play przy działających transformatorach mocy. Operator może wykonać pomiar wyładowań niezupełnych zawsze, gdy będzie to potrzebne, nawet podczas normalnej pracy transformatora, bez wyłączenia go.

Częstotliwość wyładowań niezupełnych jest mierzona synchronicznie dla wszystkich trzech faz na przepustach oraz wewnątrz kadzi transformatora, w zakresie UHF. Do separacji szumów i wielu źródeł wyładowań niezupełnych używane są zaawansowane narzędzia diagnostyczne, takie jak 3PARD (trójfazowy wykres zależności amplitudowych), co gwarantuje wiarygodną interpretację.



Urządzenie MONTESTO 200 może zostać łatwo podłączone do zamontowanych na stałe czujników wyładowań niezupełnych za pośrednictwem skrzynki zaciskowej.

## Warto wiedzieć...

Bieżącą częstotliwość wyładowań niepełnych w przepustach i uzwojeniach najłatwiej potwierdzić, monitorując wyładowania niepełne na zaczepek przepustów, w zakresie UHF.

Można wykorzystać okresowe badania próbek oleju i analizy gazów rozpuszczonych w oleju (DGA), aby potwierdzić tendencje właściwości dielektrycznych, wykrywając produkty uboczne degradacji izolacji rozpuszczone w oleju transformatorowym.

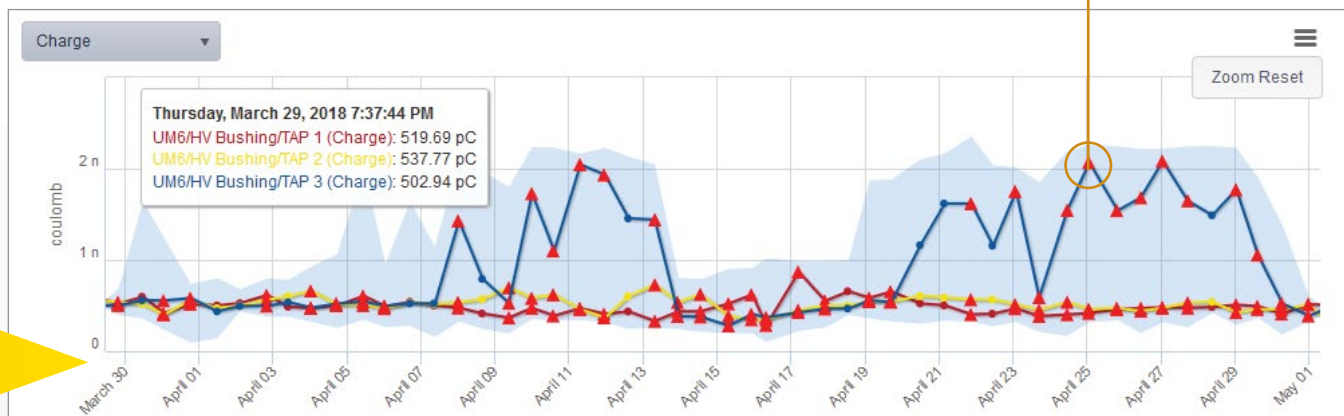
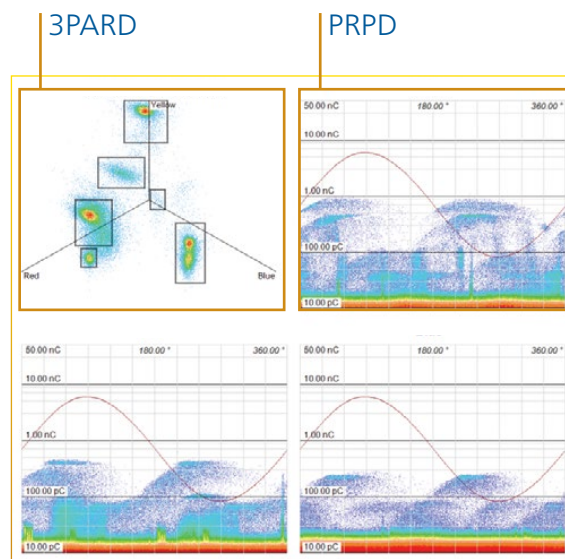
Po wykryciu wyładowań niepełnych można wykonać pomiary akustyczne, aby – w sposób dokładny i wiarygodny – zlokalizować uszkodzenia izolacji w uzwojeniach transformatora.

## Zastosowanie urządzenia MONTESTO 200

- > Dwufunkcyjne rozwiązanie do pomiarów online wyładowań niepełnych oraz okresowego ich monitorowania
- > Małe wymiary i niewielka waga ułatwiają transport
- > Do stosowania w pomieszczeniach i na zewnątrz
- > Wbudowany komputer umożliwia ciągłe, długotrwałe zbieranie danych oraz ich archiwizację
- > Interfejs internetowy pozwala na wygodny zdalny dostęp do danych
- > Automatyczne funkcje oprogramowania ułatwiają analizę danych i raportowanie

Event Log - TRAF0 UM6		
Confirm All		
Start Date	End Date	Level
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Critical
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Warning
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Warning

Dziennik zdarzeń pokazuje, jakie zdarzenia wyładowań niepełnych spowodowały aktywowanie ostrzeżenia (żółty) lub alarmu (czerwony).



Można obejrzeć wykresy tendencji wyładowań niepełnych dla poszczególnych faz lub kanałów. Najeżenie na punkty umożliwia wyświetlenie wartości wyładowań niepełnych, a powiększenie pozwala zobaczyć więcej szczegółów.

Tworzymy wartość dla Klienta poprzez ...

## Jakość

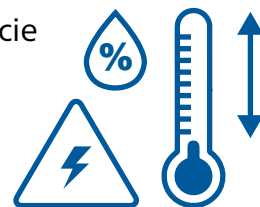
Chcemy, aby klienci zawsze mogli polegać na naszych rozwiązaniach do testowania. Dlatego nasze produkty zostały opracowane w oparciu o doświadczenie, pasję i staranność, nieustannie wyznaczając przy tym przełomowe standardy w branży.



Możesz polegać na najwyższych standardach bezpieczeństwa i ochrony

Najwyższa niezawodność potwierdzona w trakcie

72



godzin testów wygrzewania przed dostawą

100%



podzespołów testera przechodzi wszystkie testy rutynowe

ISO 9001  
TÜV & EMAS  
ISO 14001  
OHSAS 18001



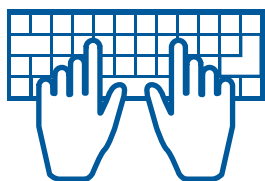
Zgodność z normami międzynarodowymi

## Innowacyjność

Myślenie i działanie w innowacyjny sposób są głęboko zakorzenione w DNA naszej firmy. Nasza rozbudowana koncepcja konserwacji produktów gwarantuje, że Twoja inwestycja zwróci się w dłuższej perspektywie, np. za pomocą bezpłatnych aktualizacji oprogramowania.

Ponad

**200**



konstruktorów  
dba o aktualność naszych  
rozwiązań

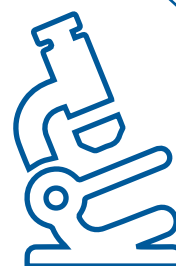
Potrzebuję...



... gama produktów  
dostosowana do moich  
potrzeb

Ponad

**15%**



naszej rocznej wartości sprzedaży ponownie inwestujemy w badania i rozwój

Oszczędź do

**70%**



czasu poświęcanego na  
testy dzięki szablonom  
i automatyzacji

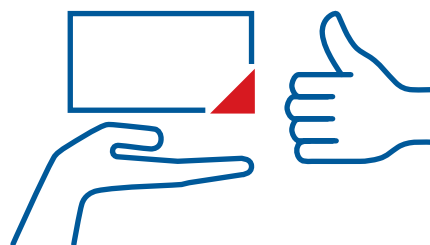
Tworzymy wartość dla Klienta poprzez ...

## Wsparcie

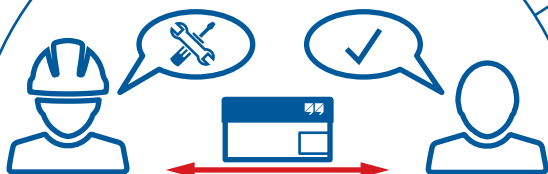
Zawsze jesteśmy przy Tobie, gdy potrzebne jest szybkie wsparcie. Nasi wysoko wykwalifikowani technicy są zawsze dostępni. Ponadto pomagamy zminimalizować czas przestoju, wynajmując klientom sprzęt do testowania z jednego z naszych centrów serwisowych.



Zawsze dostępna  
profesjonalna pomoc  
techniczna



Urządzenia zastępcze  
umożliwiają skrócenie  
czasów przestoju



Oszczędne i nieskompli-  
kowane procesy napraw  
i kalibracji



biura na całym świecie, z któ-  
rymi można się kontaktować  
i uzyskać pomoc techniczną

## Wiedza

Pozostajemy w ciągłym kontakcie z użytkownikami i ekspertami. Klienci mogą korzystać z naszej wiedzy i doświadczenia, uzyskując bezpłatny dostęp do not aplikacyjnych i fachowych artykułów. Ponadto w ramach Akademii OMICRON oferujemy też szeroką gamę szkoleń i webinarów.



Częste spotkania użytkowników  
seminaria i konferencje organi-  
zowane przez OMICRON

Ponad

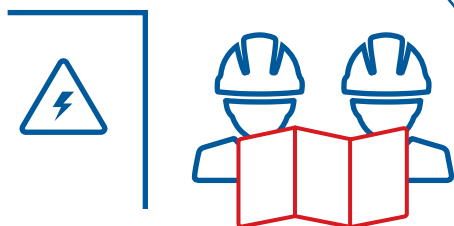
300



kursów i liczne szkolenia  
praktyczne każdego roku



tysiące dokumentów  
technicznych i not  
aplikacyjnych



Rozległa wiedza ekspercka wy-  
korzystywana podczas konsulta-  
cji, testów i diagnostyki

OMICRON to firma międzynarodowa, w której pracujemy z pasją nad ideami, które czynią systemy elektroenergetyczne bezpiecznymi i niezawodnymi. Nasze pionierskie rozwiązania są zaprojektowane w taki sposób, aby stawić czoła obecnym i przyszłym wyzwaniom stojącym przed branżą. Zawsze dokładamy wszelkich starań, aby wspomagać naszych klientów: reagujemy na ich potrzeby, zapewniamy znakomite wsparcie lokalne i dzielimy się naszą wiedzą.

W obrębie grupy OMICRON badamy i opracowujemy innowacyjne technologie stosowane na wszystkich polach w systemach elektroenergetycznych. Gdy przychodzi do testów elektrycznych urządzeń średniego i wysokiego napięcia, testowania zabezpieczeń, testowania stacji cyfrowych, a także rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa cybernetycznego, klienci z całego świata ufają precyzji, szybkości i jakości naszych przyjaznych dla użytkownika rozwiązań.

Założona w 1984 r. firma OMICRON czerpie ze swojej gruntownej wiedzy eksperckiej w zakresie energetyki. Oddany zespół złożony z przeszło 900 pracowników dostarcza rozwiązania, zapewniając przy tym całodobowe wsparcie przez cały tydzień w 25 centrach pomocy na całym świecie i służy klientom z ponad 160 krajów.

Szczegółowe informacje, dodatkowe publikacje oraz dane kontaktowe naszych oddziałów na całym świecie można znaleźć w naszej witrynie internetowej.

[www.omicronenergy.com](http://www.omicronenergy.com)

© OMICRON L4248, 02 2022  
Zastrzega się prawo do wprowadzania zmian bez uprzedzenia.



L4248