



FLIR Si2-PD

ANALIZA WYŁADOWAŃ
NIEZUPEŁNYCH



 **FLIR**[®]

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	3
Czym jest wyładowanie niezupełne?	3
Wykrywanie wyładowań niezupełnych za pomocą kamery FLIR Si2	3
Wzory wyładowań niezupełnych w rozdzielczości fazowej....	4
Rodzaje wyładowań niezupełnych	6
Wyładowania powierzchniowe lub wewnętrzne.....	8
Wyładowanie pływające	10
Wyładowanie koronowe.....	12
Inne źródła dźwięku	14
Wibracje	14
Wycieki gazu	14
Elektronika	14
Referencje	14

WPROWADZENIE

Urządzenia FLIR Si2-PD i Si2-Pro są wyposażone w inteligentne funkcje analizy wyładowań niezupełnych. Funkcje te pomagają użytkownikowi w wykrywaniu, rozpoznawaniu i analizowaniu wyładowań niezupełnych, które często wskazują na problemy i zbliżające się awarie w urządzeniach do wytwarzania, przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej.

CZYM JEST WYŁADOWANIE NIEZUPEŁNE?

Wyładowanie niezupełne (PD) to, jak sama nazwa wskazuje, częściowa awaria izolatora. Oznacza to, że ładunki elektryczne będą przemieszczać się przez izolator sporadycznie lub, częściej, w sposób regularny. Jeśli usterka będzie się pogłębiać, może doprowadzić do całkowitego przebicia izolatora. Występowanie wyładowań niezupełnych można zatem wykorzystać do przewidywania katastrofalnych awarii systemu i zapobiegawczego usuwania tych problemów poprzez planowe działania konserwacyjne.

Wyładowania niezupełne mogą występować w każdym rodzaju izolatora: stałym, powietrznym, gazowym, próżniowym lub cieczowym. Istnieje kilka różnych rodzajów wyładowań niezupełnych, w zależności od typu izolatora, a także innych czynników. Te różne rodzaje wyładowań niezupełnych zostały opisane bardziej szczegółowo w niniejszym przewodniku.

WYKORZYSTANIE URZĄDZENIA FLIR Si2 DO WYKRYWANIA WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH

Ogólne instrukcje obsługi urządzenia Si2 znajdują się w instrukcji obsługi. Urządzenie Si2 pokazuje na wyświetlaczu różne rodzaje źródeł dźwięku, nie tylko wyładowania niezupełne (przykłady w rozdziale Inne źródła dźwięku).
Urządzenie Si2 wykryje jednak, kiedy

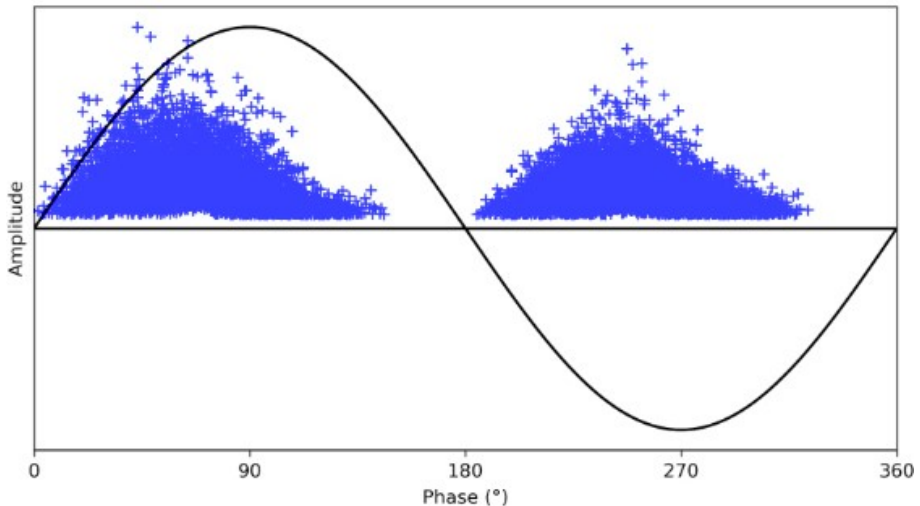
źródło dźwięku w polu widzenia jest potencjalnym wyładowaniem niezupełnym i wyświetli tzw. wzór wyładowania niezupełnego o rozdzielczości fazowej (PRPD) obliczony na podstawie tego sygnału dźwiękowego. Można nacisnąć PRPD, aby przełączać się między małym a dużym widokiem wzoru. Aby przeprowadzić analizę wspomaganą przez sztuczną inteligencję na urządzeniu oraz ocenę stopnia zagrożenia wykrytego wyładowania niezupełnego, należy wykonać jego zrzut ekranu, ustawić odległość, napięcie i element, w którym wykryto wyładowanie niezupełne, a następnie kliknąć „Analiza wyładowań niezupełnych”. Wyświetlona zostanie klasyfikacja typu wyładowania niezupełnego wraz z oszacowanym , a także opisem i zaleceniem dotyczącym wykrytej usterki, co stanowi natychmiastowe wsparcie decyzyjne w terenie.



Si2 oferuje wspomaganą przez sztuczną inteligencję analizę na urządzeniu oraz ocenę stopnia zagrożenia, co stanowi wsparcie przy podejmowaniu decyzji w terenie.

Wzorce wyładowań niezupełnych w funkcji fazy

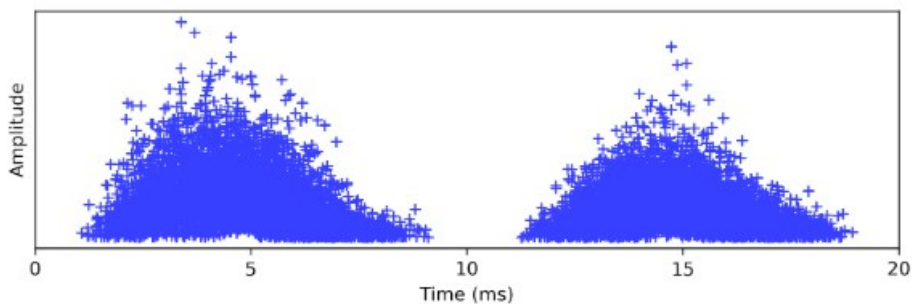
Różne rodzaje wyładowań niezupełnych pojawiają się w postaci impulsów lub ich skupisk w różnych momentach cyklu o częstotliwości 50 lub 60 Hz. Pomiary elektryczne wyładowań niezupełnych pozwalają określić ładunek przenoszony podczas tych impulsów i przedstawić go w odniesieniu do fazy napięcia. Nazywa się to wzorcem wyładowań niezupełnych w funkcji fazy (PRPD) i zazwyczaj pokazuje on amplitudę tych impulsów, a także ich położenie względem fazy napięcia, na podstawie danych zebranych w dłuższym okresie czasu.



Wzór wyładowań niezupełnych w funkcji fazy (PRPD).

Istnieje kilka różnych cech wzorca PRPD, które można wykorzystać do określenia rodzaju wyładowań niezupełnych w . Na przykład wzór często będzie miał dwa odrębne skupiska, np. jedno w pobliżu dodatniego szczytu napięcia, a drugie w pobliżu ujemnego szczytu napięcia. Klastry te mogą różnić się wielkością i kształtem. Oba klastry mogą być symetryczne pod względem wielkości i kształtu lub może występować między nimi znaczna asymetria. W niektórych przypadkach zamiast dwóch klastrow może występować tylko jeden. Te różne cechy wzorów PRPD omówiono bardziej szczegółowo poniżej w sekcjach dotyczących różnych typów wyładowań niezupełnych.

Si2 automatycznie wykrywa sygnał o silnej okresowości 50 lub 60 Hz i tworzy podobny wzór PRPD. Jednakże, podczas gdy pomiary wyładowań niezupełnych (PD) często uwzględniają fazę napięcia, Si2 nie dysponuje tą informacją. Z tego powodu wzory PRPD utworzone na podstawie sygnału dźwiękowego będą zawierały informacje o fazie względnej, ale nie o fazie bezwzględnej.



Wzór PRPD bez odniesienia do fazy bezwzględnej napięcia.

W przypadku wykrycia wzór PRPD zostanie wyświetlony w interfejsie użytkownika urządzenia Si2. Należy pamiętać, że nawet jeśli wyświetlany jest wzór PRPD, źródło dźwięku nie zawsze jest wyładowaniem częściowym. Na przykład niektóre typy urządzeń elektronicznych niskonapięciowych mogą również generować podobne wzorce okresowe.



RODZAJE WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH

Istnieje kilka różnych typów wyładowań niezupełnych o różnych charakterystykach. Ze względów praktycznych w urządzeniu Si2 są one podzielone na cztery kategorie: wyładowanie koronowe ujemne, wyładowanie koronowe dodatnie i ujemne, wyładowanie pływające oraz wyładowanie powierzchniowe lub wewnętrzne. Kategorie te zostały opisane bardziej szczegółowo poniżej, wraz z przykładami typowych wzorów PRPD.

TERMINOLOGIA

Terminologia stosowana w tej dziedzinie nie zawsze jest spójna, co może powodować niejasności i nieporozumienia. Często zdarza się, że termin „korona” jest używany w odniesieniu do dowolnego rodzaju (zewnątrznego) wyładowania niezupełnego. Niektórzy, mówiąc o wyładowaniach niezupełnych, mają na myśli wyłącznie wyładowania wewnętrzne, w odróżnieniu od wyładowań koronowych i innych wyładowań powierzchniowych.

W niniejszym dokumencie termin „wyładowanie niezupełne” jest używany w odniesieniu do każdego rodzaju wyładowań niezupełnych, zewnętrznych lub wewnętrznych: wyładowań koronowych, wyładowań pływających, wyładowań powierzchniowych lub wyładowań wewnętrznych. Termin „wyładowanie koronowe” jest zarezerwowany dla rzeczywistych wyładowań koronowych, tj. wyładowań niezupełnych w powietrzu.

WYŁADOWANIA POWIERZCHNIOWE LUB WEWNĘTRZNE

Najbardziej krytyczne rodzaje wyładowań niezupełnych to te, które mają miejsce na powierzchni lub wewnątrz materiałów izolacyjnych. Jeśli nie zostaną usunięte, często będą się nasilać i ostatecznie doprowadzą do uszkodzenia izolatora. Wyładowania powierzchniowe i wewnętrzne mają bardzo podobne wzorce PRPD i dlatego są klasyfikowane w tej samej kategorii w systemie Si2. Ponieważ wyładowania wewnętrzne mogą zachodzić głęboko wewnątrz

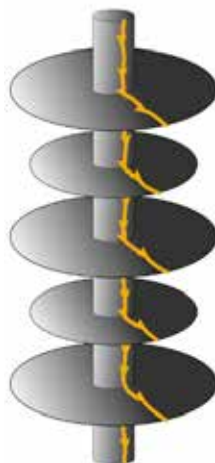
elementów, mogą one nie generować żadnego dźwięku, który mógłby wychwycić Si2. Jeśli jednak wyładowania wewnętrzne znajdują się stosunkowo blisko powierzchni, np. w zakończeniu kabla, często emitują dźwięk, który Si2 może zlokalizować.

Wzór tych wyładowań niezupełnych jest często dość symetryczny w obu półokresach napięcia, w porównaniu z wyładowaniami koronowymi. W niektórych przypadkach amplituda może się znacznie różnić w obu półokresach.



WYŁADOWANIE POWIERZCHNIOWE

Wyładowania niezupełne na powierzchni izolatora mogą zacząć występować z powodu zanieczyszczenia, uszkodzenia lub wad powierzchni izolatora. Tak zwane łukowanie w pasie suchym może również wystąpić, gdy różne obszary izolatora są mokre, a inne suche. Wyładowania powierzchniowe szybko powodują degradację zwłaszcza organicznych materiałów izolacyjnych i mogą łatwo doprowadzić do przeskoku iskry na całą powierzchnię izolatora [1]. Wszelkie oznaki wyładowań powierzchniowych należy zatem dokładnie zbadać i ocenić konieczność podjęcia działań. Występowanie wyładowań powierzchniowych zależy w dużym stopniu od warunków środowiskowych, takich jak wilgotność i temperatura [2], co należy uwzględnić podczas planowania kontroli. Termin „ścieżkowanie” może być również używany w odniesieniu do wyładowań powierzchniowych.



TYPOWE MIEJSCA

- Wszystkie rodzaje izolatorów i przepustów
- Zakończenia i połączenia kabli

PROBLEMY I ZAGROŻENIA

- Może prowadzić do uszkodzenia izolatorów i przerw w dostawie prądu

HARMONOGRAM KONTROLI

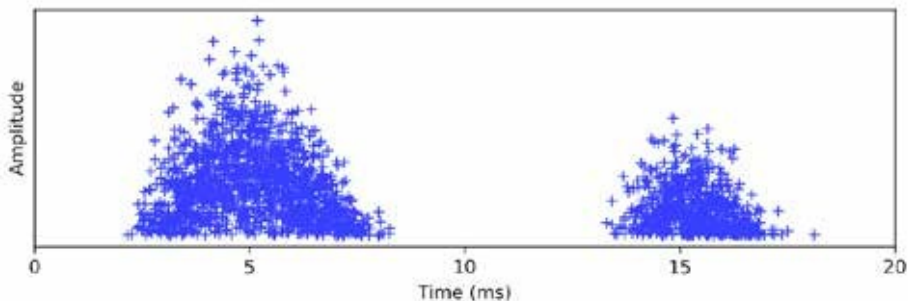
- Regularne przeglądy, na przykład raz w roku
- Krótsze odstępy czasu po wykryciu potencjalnie poważnych wyładowań niezupełnych

ZALECANE DZIAŁANIA

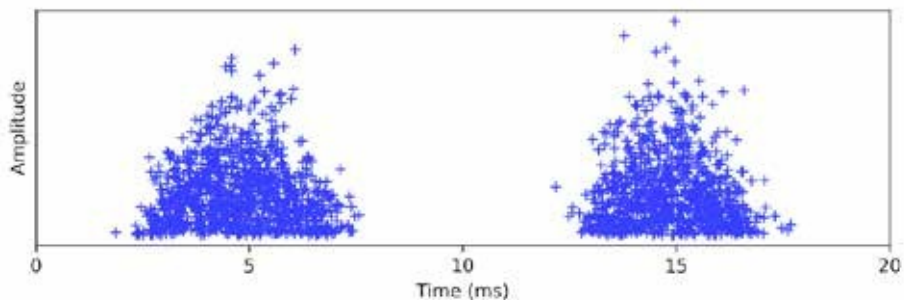
- Ocena ryzyka związanego z wykrytymi wyładowaniami niezupełnymi
- Czy wyładowania niezupełne nasiliły się z upływem czasu?
- Jakie zagrożenia wiążą się z uszkodzeniem izolatora?
- Czyszczenie lub wymiana kluczowych elementów
- Szybka wymiana uszkodzonych zakończeń kabli i połączeń

WZÓR PRPD

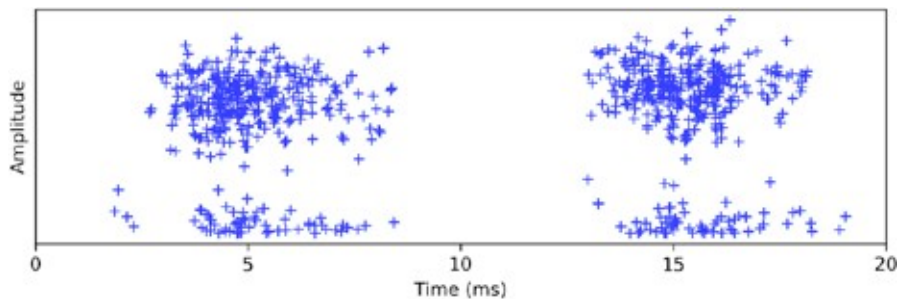
Wyładowania na powierzchni lub wewnątrz elementów mają wzory PRPD charakteryzujące się dwoma skupiskami o nieco symetrycznym kształcie i rozmiarze. Wyładowania powierzchniowe mogą jednak wykazywać umiarkowaną różnicę amplitudy między tymi dwoma skupiskami. Skupiska często mają kształt trójkąta lub „wzgórza”.



Przykład wzoru PRPD wyładowania powierzchniowego.



Przykład wzoru PRPD wyładowania powierzchniowego.



Przykład wzoru PRPD wyładowania wewnętrznego.

Wyładowania pływające występują między dwoma elementami lub częściami systemu średniego lub wysokiego napięcia.

Wyładowania pływające mają wysoce symetryczny wzór PRPD, z równą liczbą wyładowań dyskretnych podczas każdego półokresu napięcia.

Wyładowanie pływające ma miejsce między przewodnikiem a metalowym obiektem o potencjale pływającym. Wyładowania mają miejsce, gdy różnica potencjałów między dwoma obiektami staje się wystarczająco duża, aby wywołać iskrzenie. Wyładowania pływające mogą być wynikiem złego styku między różnymi elementami, na przykład z powodu utlenionych lub zanieczyszczonych powierzchni stykowych [1]. W niektórych przypadkach wyładowania pływające są nieszkodliwe, ale mogą również być oznaką błędów w projekcie lub instalacji, a także uszkodzonych elementów.

W zależności od lokalizacji wyładowań pływających, z czasem mogą one prowadzić do poważniejszych problemów. W przypadku wykrycia tego typu wyładowań należy zawsze przeprowadzić dokładniejszą kontrolę.

TYPOWE MIEJSCA

- Zaciski izolatorów wspierających szyny zbiorcze
- Elementy nieuziemione lub słabo uziemione

PROBLEMY I RYZYKO

- Może wskazywać na uszkodzone elementy lub wadliwą konstrukcję lub instalację

HARMONOGRAM KONTROLI

- Kontrola podczas uruchamiania nowych podstacji, linii energetycznych i urządzeń
- Regularne kontrole, na przykład raz na dwa lata

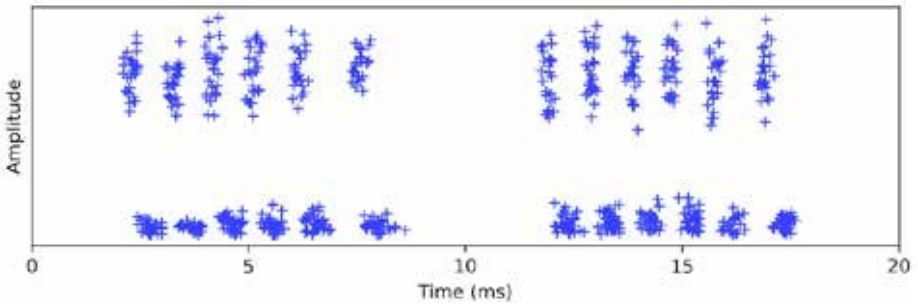


ZALECANE DZIAŁANIA

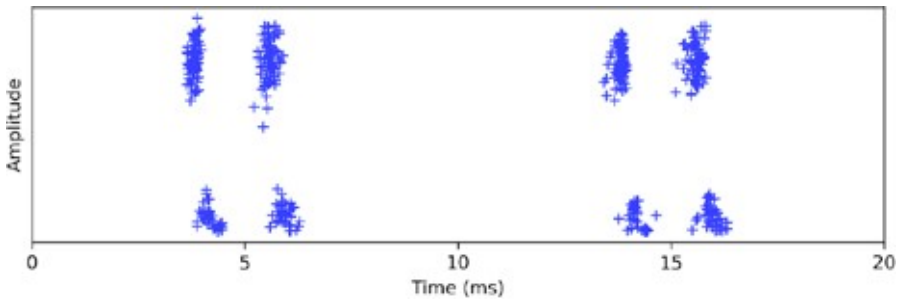
- Ocena ryzyka związanego z wykrytymi wyładowaniami częściowymi
- Czy wyładowania niepełne wynikają ze złego styku między elementami? Czy jest to problem w tym konkretnym przypadku?
- Czy wyładowania niepełne wskazują na błędy projektowe lub montażowe albo uszkodzone elementy?
- Naprawa lub wymiana wadliwych konstrukcji i instalacji, a także uszkodzonych elementów

WZÓR PRPD

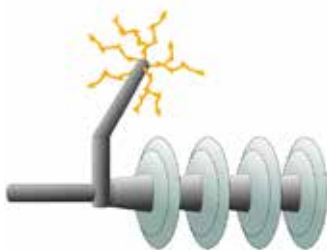
Wyładowania pływające mają charakterystyczny wzór PRPD, który składa się z dwóch skupisk oddzielnych impulsów. Liczba impulsów w skupisku może wahać się od jednego impulsu w górę, a podczas obserwacji wyładowania pływającego nierzadko zdarza się, że liczba impulsów się zmienia. Oba skupiska mają taką samą liczbę impulsów, a poza tym są symetryczne pod względem wielkości i kształtu. Podczas każdego impulsu ładunek elektryczny przenosi się albo z przewodnika do obiektu o potencjale pływającym, albo z obiektu o potencjale pływającym z powrotem do przewodnika.



Przykład wzoru PRPD wyładowania pływającego.



Przykład wzoru PRPD wyładowania pływającego.



Wyładowania koronowe zazwyczaj wytwarzają wysoce asymetryczne wzorce PRPD. Słaba korona ma wyładowania tylko podczas ujemnej połowy cyklu napięcia. Silniejsza korona może powodować wyładowania również podczas dodatniej połowy cyklu. Wyładowania te mają większą amplitudę niż podczas ujemnej połowy cyklu, ale skupisko często nie jest tak szerokie.

Wyładowanie koronowe to wyładowanie niepełne do powietrza z ostro zakończanego punktu o wysokim potencjale. Wyładowania koronowe mają miejsce, gdy natężenie pola elektrycznego jest wystarczająco duże, aby zjonizować powietrze. Zazwyczaj wyładowanie koronowe obserwuje się podczas ujemnej połowy cyklu napięcia (tzw. wyładowanie koronowe ujemne). Jeśli natężenie pola elektrycznego jest wystarczająco duża, wyładowania koronowe można zaobserwować również podczas dodatniej połowy cyklu (tzw. korona dodatnia). Korona dodatnia zawiera mniej wyładowań na półokres niż korona ujemna, ale amplituda jest większa [3]. W niektórych przypadkach koronę można również zaobserwować w punktach przeciążonych o potencjale uziemienia [4]. W większości przypadków korona jest nieszkodliwa. Powoduje ona jednak straty mocy, zakłócenia elektromagnetyczne i hałas słyszalny, co w niektórych przypadkach może stanowić problem. Często najważniejszym problemem związanym z koroną jest to, że wytwarza ona ozon i korozyjne związki chemiczne, które uszkadzają pobliskie materiały organiczne, takie jak izolatory polimerowe [1].

TYPOWE MIEJSCA WYSTĘPOWANIA

- Ostre końcówki, krawędzie i narożniki przewodów
- Rogi łukowe
- Zerwane żyły na liniach energetycznych

PROBLEMY I ZAGROŻENIA

- Utrata mocy
- Zakłócenia elektromagnetyczne
- Hałas
- Powoduje degradację polimerowych materiałów izolacyjnych w pobliżu

HARMONOGRAM KONTROLI

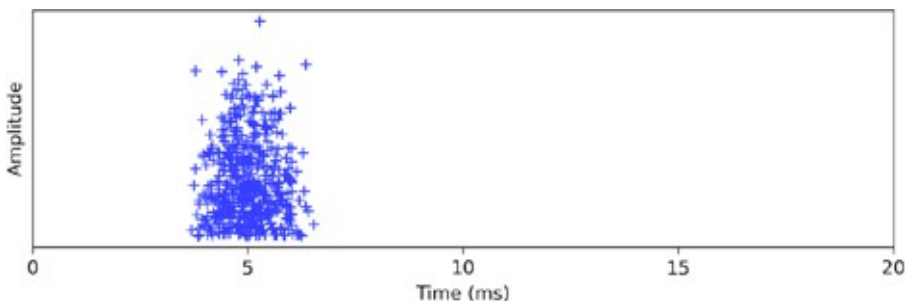
- Kontrola przy uruchamianiu nowych podstacji, linii energetycznych i urządzeń
- Regularne przeglądy, na przykład raz na dwa lata

ZALECANE DZIAŁANIA

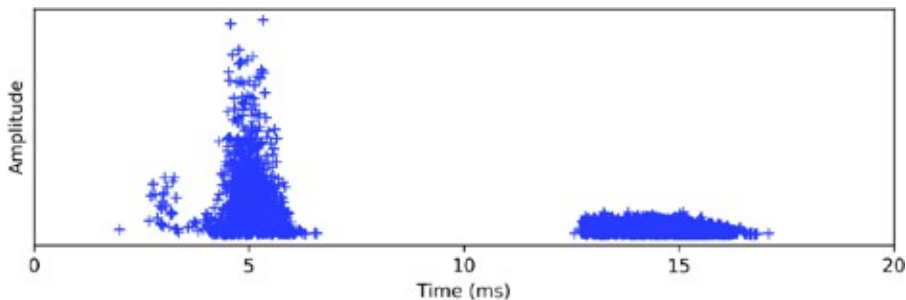
- Ocena ryzyka związanego z wykrytymi wyładowaniami częściowymi
- Czy zakłócenia elektromagnetyczne lub hałas stanowią problem?
- Czy należy naprawić uszkodzone żyły?
- Czy w pobliżu znajdują się izolatory, które mogą zostać uszkodzone przez wyładowania koronowe?
- Dodaj brakujące pierścienie koronowe w pobliżu izolatorów polimerowych
- Napraw linie energetyczne z uszkodzonymi żyłami

WZÓR PRPD

Wzór PRPD wyładowań niepełnych w powietrzu (wyładowań koronowych) jest bardzo asymetryczny. W przypadku wyładowań koronowych ujemnych występuje pojedyncza grupa impulsów skupionych wokół szczytu napięcia ujemnego. Jeśli wyładowania niepełne są silniejsze, oprócz wyładowań koronowych ujemnych można również zaobserwować wyładowania koronowe dodatnie. Koronę dodatnią można postrzegać jako skupisko impulsów skupionych wokół szczytu napięcia dodatniego. Skupisko to ma znacznie większą amplitudę w porównaniu z koroną ujemną i zazwyczaj nie jest tak szerokie.



Przykład wzorca PRPD wyładowania korony ujemnej.



Przykład wzorca PRPD wyładowań koronowych ujemnych i dodatnich. Korona dodatnia widoczna jest po lewej stronie, a korona ujemna po prawej stronie.

INNE ŹRÓDŁA DŹWIĘKOWE W SYSTEMIE

Ponieważ Si2 lokalizuje wyładowania niezupełne na podstawie emitowanego przez nie dźwięku, pokazuje również źródła dźwięku inne niż wyładowania niezupełne. Często łatwo je odróżnić od wyładowań niezupełnych, ponieważ najczęściej nie wytwarzają one wzoru PRPD. Poniżej wymieniono kilka typowych przykładów innych źródeł dźwięku, które można wykryć za pomocą Si2.

WIBRACJE

Szum pochodzący między innymi z transformatorów i dławików może powodować wibracje różnych elementów. Tego typu wibracje zazwyczaj nie generują wzorca PRPD, dzięki czemu można je łatwo odróżnić od wyładowań niezupełnych.

WYCIEKI GAZU Z A

Wycieki gazu i sprężonego powietrza powodują syczący dźwięk o dużej energii w wysokich częstotliwościach. Te rodzaje wycieków są lokalizowane przez Si2, ale nie generują wzorca PRPD.

ELEKTRONIKA

Niektóre niskonapięciowe elementy elektroniczne wytwarzają dźwięk o częstotliwości 50 lub 60 Hz. Tego typu dźwięki tworzą wzór podobny do wzoru PRPD, ale można je łatwo odróżnić od wyładowań niezupełnych wysokiego lub średniego napięcia na podstawie ich lokalizacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Kimmo Nepola: Wykonalność pomiarów zakłóceń częstotliwości radiowej w monitorowaniu stanu podstacji wysokiego napięcia. Praca magisterska, Uniwersytet Aalto, 2013.
2. Kristoffer Bäckström: Analiza statystyczna wyładowań niezupełnych. Praca magisterska, Uniwersytet w Uppsali, 2010.
3. Li-Jung Chen, Ta-Peng Tsao i Yu-Hsun Lin: Nowe podejście diagnostyczne do wyładowań niezupełnych w transformatorach z żywicą epoksydową z wykorzystaniem technologii akustycznej. IEEE Transactions on Power Delivery, tom 20, nr 4, 2005.
4. David A. Natrass: Pomiar i interpretacja wyładowań niezupełnych. IEEE Electrical Insulation Magazine, tom 4, nr 3, 1988.





flir.com

Teledyne FLIR, LLC
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA
Tel.: +1 866.477.3687

Sprzęt opisany w niniejszym dokumencie podlega amerykańskim przepisom eksportowym i może wymagać uzyskania licencji przed eksportem. Wykorzystanie niezgodne z prawem Stanów Zjednoczonych jest zabronione.

©2026 Teledyne FLIR, LLC.
Wszelkie prawa zastrzeżone.
Utworzono 26.04