

Pomiary wyładowań niepełnych w izolacji uzwojeń stojana generatora w trybie on-line i off-line

Streszczenie. Wyładowania niepełne są symptomem i przyczyną pogorszenia się właściwości elektrycznych izolacji stojanów wielu typów generatorów pracujących w elektrowniach. Próby on-line (w czasie pracy maszyny) i off-line (w czasie postoju generatora) pomagają personelowi obsługi w elektrowniach określić problemy z izolacją maszyn wirujących.

Abstract. Partial discharges are a symptom and sometimes a cause of many types of generator stator winding insulation system deterioration mechanisms in utility generators. On-line and off-line partial discharge testing used to help maintenance personnel detect stator winding insulation problems. (*Measurements of partial discharges in generator winding insulation in on-line and off-line mode*).

Słowa kluczowe: Wyładowania niepełne, pomiar w trybie on-line i off-line, hydrogenerator

Keywords: Partial discharges, on-line and off-line measurements, hydrogenerator

doi:10.12915/pe.2014.10.41

Wstęp

Celem przeprowadzonych badań było uzyskanie wyników pomiarów wyładowań niepełnych (wnz) występujących w izolacji uzwojeń stojana generatora wykonanych w trybie off-line (w czasie postoju maszyny) oraz w trybie on-line (podczas ruchu maszyny), za pomocą jednego, tego samego, systemu pomiarowego. Starano się znaleźć metodę porównywania tych wyników w oparciu o analizę parametrów intensywności wyładowań.

Utrudnieniem w analizach porównawczych obu metod jest brak możliwości bezpośredniego przeliczenia wskazań mierników układów on-line na wielkości wyrażone w ładunku pozornym wyładowań dla układów off-line [1]. Dąży się do opracowania systemu pomiarów wyładowań niepełnych dającego najlepsze możliwości śledzenia zachodzących zmian starzeniowych i rozpoznawania defektów w układzie izolacyjnym uzwojenia stojana generatora [3, 4, 5].

Wyniki pracy mogą być pomocne w skuteczniejszym wykrywaniu defektów w układzie izolacyjnym uzwojeń stojanów generatorów oraz w ocenie ich stanu technicznego i określaniu stopnia zesterzenia izolacji. Pomogą w diagnostyce stanu izolacji i w podejmowaniu decyzji o konieczności przeglądu lub zakresie planowanego remontu [1, 2].

Jako środek badawczy zastosowano komputerowy system do pomiaru wyładowań niepełnych PD-Smart firmy Doble Lemke. Pomiary wyładowań niepełnych w trybie on-line i off-line wykonuje się okresowo, przy użyciu kondensatorów sprzęgających na stałe zamontowanych do zacisków wyprowadzenia mocy z generatora. Przedsięwzięcie jest próbą skojarzenia obu metod pomiarowych w celu uzyskania możliwości porównania parametrów wyładowań.

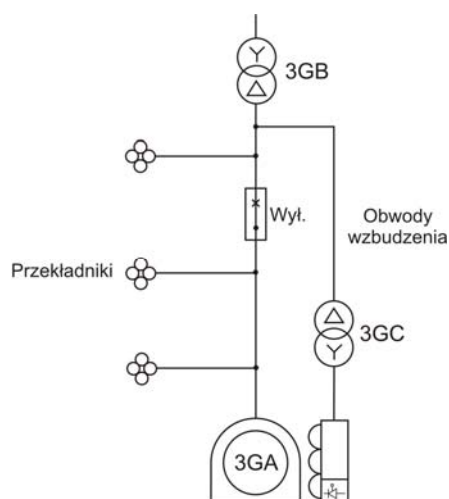
Obiekt badań

Wyładowania niepełne mierzono w izolacji stojana hydrogeneratora typu HV 820692/24 o mocy 62 MVA i napięciu znamionowym 10,5 kV wyprodukowanego w 1969 r. przez firmę Skoda i zmodernizowanego w 2011 r. Schemat blokowy urządzenia pokazano na rysunku 1, a sposób umieszczenia kondensatorów sprzęgających na rysunku 2.

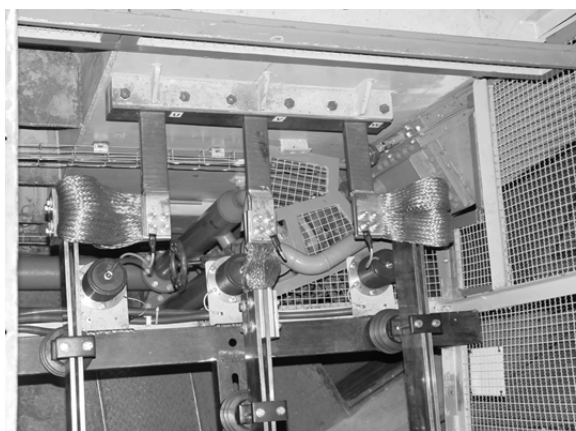
Opis układu pomiarowego

Pomiary przeprowadzono przy użyciu systemu do pomiaru wyładowań niepełnych PD-Smart firmy

Doble Lemke, który umożliwia wielofunkcyjną analizę ładunku impulsów prądowych lub sygnałów impulsowych, powstających w układzie izolacyjnym pod wpływem natężenia pola elektrycznego lub innych przyczyn.



Rys.1. Schemat blokowy badanego hydrogeneratora, 3GA – hydrogenerator, 3GB – transformator blokowy

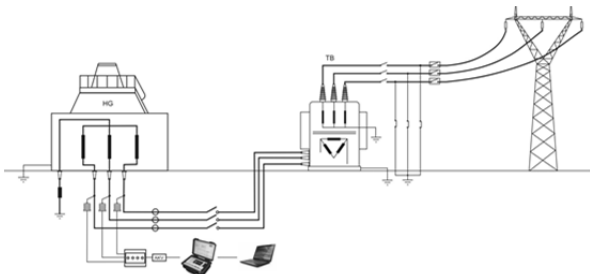


Rys.2. Układ sprzęgający do pomiaru wyładowań niepełnych w trybie on-line zamontowany na szynach wyprowadzenia mocy w generatorze

W złączu zacisków liniowych generatora z szynoprzewodami poszczególnych faz podłączono na stałe trzy kondensatory sprzęgające firmy Dobbie Lemke, do których można podczas pracy maszyny przyłączać odpowiednio dobrane urządzenie sprzęgające. Dalej, poprzez kabel przesyłowy, przyłączane jest urządzenie pomiarowe, które szeregowo, poprzez kabel światłowodowy i konwerter, połączone jest z komputerem typu PC.

Układ izolacyjny poszczególnych faz generatora wraz z osprzętem wykalibrowano przy otwartym wyłączniku generatorowym w trybie off-line, co pozwala na badanie wyładowań niepełnych zgodnie z powszechnie stosowaną normą PN/IEC 60270. Oprogramowanie systemu umożliwia kreowanie różnych funkcji rozkładu impulsów wyładowań niepełnych i ich analizę statystyczną.

System PD-Smart posiada możliwość fazowego okienkowania oraz bramkowania sygnałów, co umożliwia redukcję rozpoznanych zakłóceń. Jeden z przykładowych sposobów monitorowania generatora pokazano na rysunku 3.



Rys.3. Sposób monitorowania generatora

Wyniki badań

Na początku eksperymentu zmierzono wyładowania niepełne w izolacji poszczególnych faz uzwojenia generatora podczas jego postępu w trybie rutynowym R, tj. przy liniowo narastającym napięciu probierczym 50 Hz od 0 do 6,1 kV i obniżającym się do zera w czasie kilkudziesięciu sekund, a następnie w trybie analitycznym A, tj. przy ustalonym napięciu 6,1 kV w czasie dwóch minut. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

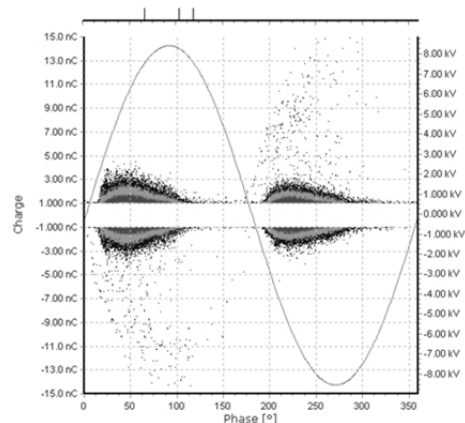
Tabela 1. Wyniki pomiarów wyładowań niepełnych w trybie off-line, gdzie: Q_{max} – ładunek maksymalny wyładowań niepełnych, Q_{iecmax} – ładunek maksymalny zgodny z normą IEC 60270, D – wskaźnik kwadratowy

Faza	Q_{max}	Q_{iecmax}	D	Rodzaj pomiaru
-	[nC]	[nC]	$[\mu C^2/s]$	-
U	12,6	7,30		R
U	16,5	10,20	0,016	A
V	14,3	9,64		R
V	15,8	9,20	0,033	A
W	14,6	10,00		R
W	13,2	8,51	0,036	A

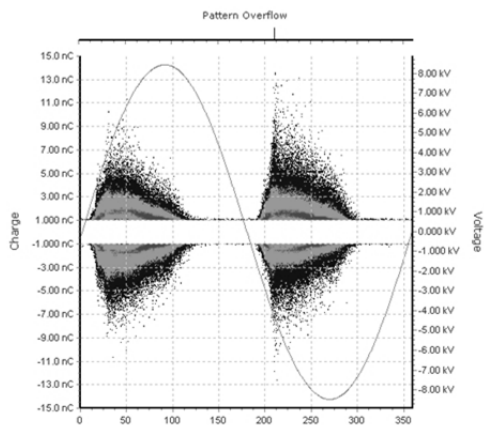
Typowy przebieg wyładowań niepełnych w izolacji poszczególnych faz uzwojenia hydrogeneratora podczas próby off-line pokazano na rysunku 4.

Następnie przeprowadzono próbę on-line i w nastawni elektrowni równolegle rejestrowano parametry pracującego generatora, takie jak: napięcie znamionowe, prąd, moc oddawana i pobierana z sieci czy zmiana temperatury w żłobku podczas pracy maszyny. W ciągu 2 godzin pracy hydrozespołu w pierwszej godzinie

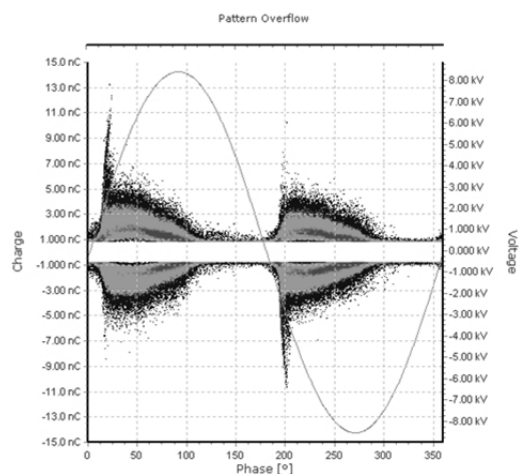
maszyna pracowała w trybie generatorowym, a w drugiej w trybie kompensacyjnym. Charakterystykę pracy generatora przedstawiono na rysunku 5, a wyniki pomiarów wyładowań niepełnych zawarto w tabeli 2.



Faza U

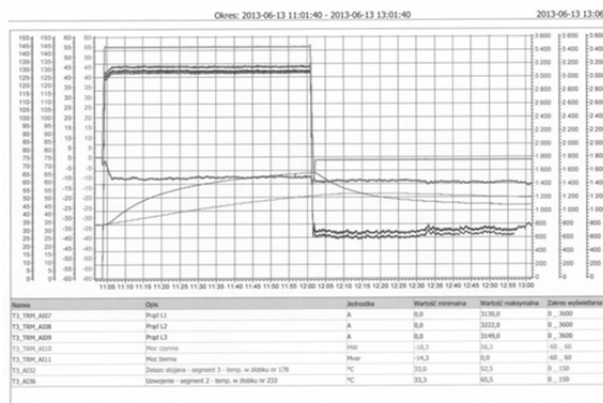


Faza V



Faza W

Rys.4. Obraz $N-Q-\phi$ wyładowań niepełnych zmierzony w trybie off-line przy napięciu 6 kV dla poszczególnych faz uzwojenia hydrogeneratora



Rys.5. Parametry pracy hydrogeneratora podczas pomiarów w trybie on-line

Tabela 2. Wyniki pomiarów wyładowań niepełnych w trybie on-line, gdzie: Q_{max} – ładunek maksymalny wyładowań niepełnych, Q_{iecmax} – ładunek maksymalny zgodny z normą IEC 60270, D – wskaźnik kwadratowy

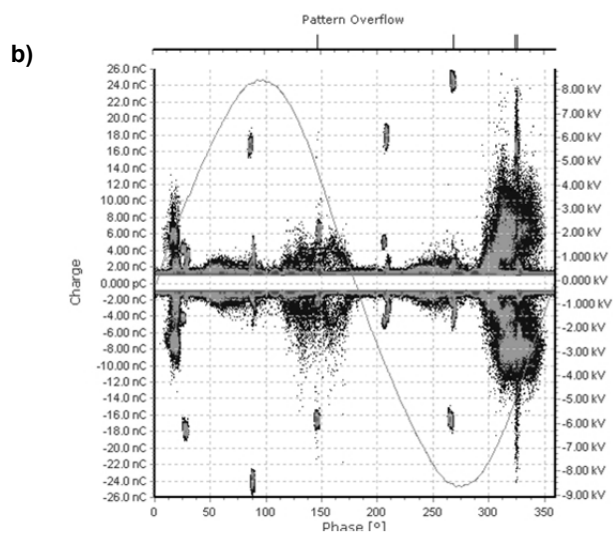
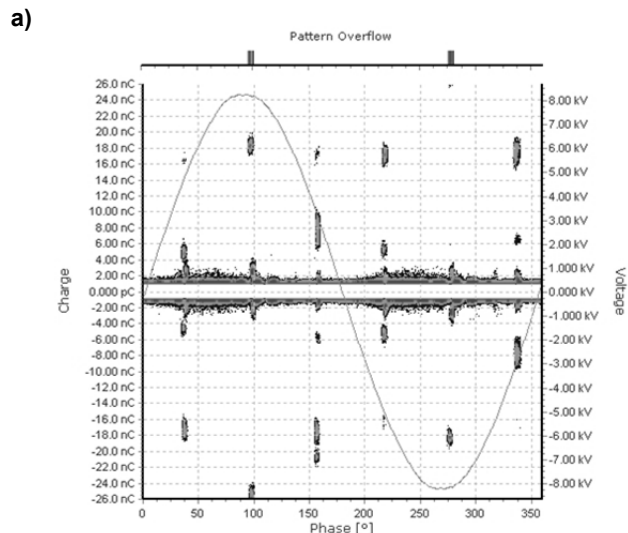
Faza	Q_{max} [nC]	Q_{iecmax} [nC]	D [$\mu C^2/s$]	Rodzaj pracy
-				-
U	27,8	26,1	0,17	kompensacyjna
V	26,4	24,7	0,16	kompensacyjna
W	28,4	26,9	0,18	kompensacyjna
U	27,5	25,1	0,22	generatorowa
V	32,2	25,4	0,25	generatorowa
W	28,4	24,7	0,25	generatorowa

Na rysunku 6 pokazano typowy obraz $N-Q-\phi$ wyładowań niepełnych zmierzony w trybie on-line w fazie W uzwojenia hydrogeneratora przy napięciu 6 kV dla pracy kompensacyjnej (a) i generatorowej (b). Przedstawione, surowe wyniki pomiarów wyładowań niepełnych w trybie on-line badanego hydrogeneratora są zdominowane przez impulsy zakłócające pochodzące z sieci i od przekształtników statycznych układu wzbudzenia. Poza tym, specyfiką pomiarów wyładowań w tym trybie są przesłuchy impulsów między fazowymi pasmami uzwojeń. Impulsy z obu tych źródeł przykrywają oryginalne impulsy pochodzące od wyładowań niepełnych.

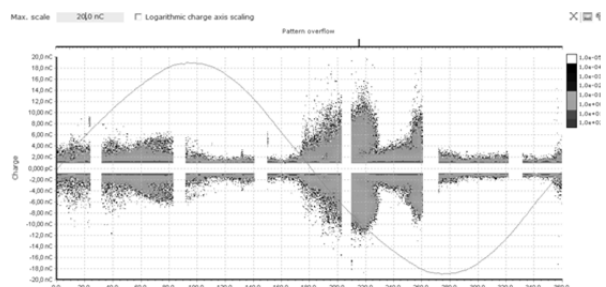
Dobłą metodą usunięcia impulsów zakłócających, występujących stabilnie fazowo, jest zastosowanie filtra okienkowego w odpowiednio dobranych miejscach fazowych przebiegu napięcia przemiennego. Stabilne fazowo są impulsy zakłócające pochodzące od przekształtnika statycznego. W obwodzie wzbudzenia badanego hydrogeneratora pracuje przekształtnik statyczny napięcia wzbudzenia. Do wyników pomiarów on-line wyładowań niepełnych można zastosować okienkowanie fazowe, które powoduje usunięcie impulsów zakłócających pochodzących od przekształtników statycznych.

Innym sposobem pozyskania informacji o stanie układu izolacyjnego uzwojenia fazowego w pomiarze on-line w obecności sygnałów zakłócających może być zawężenie okna fazowego pomiarów do szerokości, gdzie głównie powinny występować wyładowania wzbudzone napięciem fazowym i nie występują impulsy, które dają się zidentyfikować jako impulsy sygnału zakłócającego.

Wyniki pomiarów wyładowań niepełnych po usunięciu stabilnych fazowo impulsów zakłócających przy zastosowaniu filtra okienkowego, wykonanych on-line w czasie pracy generacyjnej hydrogeneratora pokazano na rysunku 7.



Rys.6. Obraz $N-Q-\phi$ wyładowań niepełnych zmierzony w trybie on-line w fazie W uzwojenia hydrogeneratora przy napięciu 6 kV dla pracy kompensacyjnej (a) i generatorowej (b)



Rys.7. Pomiar wyładowań niepełnych występujących w izolacji generatora po zastosowaniu filtra okienkowego

Podsumowanie

1. W celu oceny stanu izolacji hydrogeneratora metodą porównywania wyników pomiarów wyładowań niepełnych otrzymanych w trybie okresowych pomiarów on-line i wyników otrzymanych w czasie odstawienia maszyny do zaplanowanego przeglądu w trybie off-line wyznaczono kilka tzw. parametrów wyładowań niepełnych zdefiniowanych wprost przez ładunek pozorny wyładowania niepełnego, lub jego funkcję w czasie referencyjnym.
2. Można stosować co najmniej dwie metody usunięcia impulsów zakłócających występujących w trybie on-line.

Pierwsza, przez usunięcie stabilnych fazowo impulsów zakłócających (sześć okien wąskich) oraz druga przez pomiar w ograniczonym przedziale fazowym (trzy okna szerokie), w rezultacie których wartości parametrów wylądowań logicznie odpowiadają parametrom otrzymanym w trybie off-line.

3. Na podstawie zestawienia wartości parametrów wylądowań niezupełnych można zauważyć dużą zbieżność parametrów opisanych bezpośrednio na ładunku pozornym wylądowania niezupełnego dla pomiarów on-line i off-line przy napięciu fazowym. Wartości tych parametrów wylądowań parametrów będących funkcją czasu referencyjnego, otrzymane dla pomiaru off-line przy napięciu międzyliniowym są znacznie większe od parametrów on-line mierzonych w tym samym czasie i wszystkich wcześniejszych, mimo ogólnie ich niżkowego trendu, jaki się obserwuje w początkowym (np. po kapitalnym remoncie) okresie eksploatacji generatora.

4. Z analizy porównawczej parametrów wylądowań niezupełnych wynika, że pomiar off-line wylądowań przy napięciu znamionowym jest testem izolacji uzwojeń stojana wyraźnie ograniczającym z góry poziom wszystkich parametrów wylądowań on-line, rejestrowanych podczas normalnej eksploatacji generatora.

5. W porównaniu wzajemnym wartości parametrów wylądowań niezupełnych wyznaczonych w dwóch metodach fazowego okienkowania zakłóceń, opisowo nazwanych: 6 okien wąskich i 3 okna szerokie, można zauważyć dużą zbieżność wartości $Q_{iec-max}$, $Q_{iec-śrs}$, Q_{max} . Można więc przyjąć, że obie metody analizowania wyników on-line pozwalają śledzić lub szacować poziom wylądowań niezupełnych w czasie eksploatacji generatora. Wskaźnik kwadratowy D , na który

zdecydowany wpływ ma udział dużych impulsów w ich rozkładzie amplitudowym wykazuje dużą zbieżność wartości we wzajemnym porównaniu pomiarów on-line metodą 6 okien wąskich z pomiarami off-line przy napięciu fazowym.

6. Należy położyć nacisk na potrzebę dalszego poszukiwania współzależności wyników pomiaru wylądowań niezupełnych w izolacji uzwojeń stojana hydrogeneratora w trybie on-line oraz off-line w celu rozwijania tej metody badawczej dla potrzeb diagnostyki stanu izolacji generatorów.

LITERATURA

- [1] Gulski E., Diagnostowanie wylądowań niezupełnych w urządzeniach wysokiego napięcia w eksploatacji, OWPW, Warszawa, 2003
- [2] Przybysz J., Turbogeneratory. Zagadnienia eksploatacyjne, Instytut Energetyki, Warszawa, 2003
- [3] Andrzejewski K., Drewnik K., Zajączek M., Zubieliak P., Monitoring układów izolacyjnych hydro- i turbogeneratorów wraz z transformatorami blokowymi metodą pomiaru i analizy wylądowań niezupełnych, EI/02/STAT/2003, Instytut Energetyki, Poznań, 2003
- [4] Nadacny J., Pietrzak K., Zubieliak P., Opracowanie logistyczne i dobranie układu do systemu pomiarów wylądowań niezupełnych w izolacji uzwojenia stojana generatora dużej mocy, Instytut Energetyki, EI/01/STAT/2012, Poznań, 2012
- [5] Nadacny J., Zubieliak P., Analiza porównawcza wyników pomiarów wylądowań niezupełnych w izolacji uzwojeń stojana generatora w trybie on-line oraz off-line dla opracowania zintegrowanego systemu, EI/01/stat/2013, Instytut Energetyki, Poznań, 2013

Autorzy: mgr inż. Jerzy Nadacny, Instytut Energetyki, Zakład Izolacji, Poznań, ul. Prądnicki 3, 61-070 Poznań, E-mail: nadacny@ien.poznan.pl; dr inż. Piotr Zubieliak, Instytut Energetyki, Zakład Izolacji, Poznań, ul. Prądnicki 3, 61-070 Poznań; E-mail: zubieliak@ien.poznan.pl