

Sławomir Szymaniec
Politechnika Opolska, Opole

DIAGNOSTYKA STANU IZOLACJI SILNIKÓW INDUKCYJNYCH WYSOKONAPIĘCIOWYCH OFF-LINE W PRZEMYŚLE

DIAGNOSTICS OF INSULATION HIGH VOLTAGE INDUCTION MOTOR OFF-LINE IN INDUSTRY

Abstract: The article presents an application of diagnostic insulation high voltage induction motor off-line in industry. The paper contains an analysis of different diagnostics methods. It the usefulness of method was has talked over was in peculiarity using measurements PI, C, DD i SV - Polarization Index Testing, Capacitance, Dielectric Discharge Testing, Step Voltage Testing. The examples of results of measurements state isolation interesting industrial cases were passed.

1. Wstęp

Diagnostyka silników indukcyjnych wysokonapięciowych (WN) jest jednym z najważniejszych zadań dla Służb Technicznych w każdym zakładzie przemysłowym. Praca silników powinna być niezawodna a stan techniczny eksploatowanych silników najlepiej jakby nie budził zastrzeżeń. Wymóg ten narzuca coraz to wyższe wymagania Służbom Działu Głównego Energetyka-Elektryka oraz Służbom Diagnostycznym. Diagnostyka wspomnianych wyżej silników powinna być coraz efektywniejsza. Jednym z najważniejszych elementów tej diagnostyki jest ocena stanu ich izolacji.

2. Uszkodzenia silników indukcyjnych WN

Długoletnie obserwacje autora artykułu w zakresie oceny przyczyn awarii silników indukcyjnych WN w przemyśle krajowym wskazują że w ostatnich latach ich awaryjność wyraźnie spada. Zmienia się statystyka rodzaju występujących uszkodzeń. Zmniejsza się liczba uszkodzeń obwodu elektrycznego i magnetycznego silników a relatywnie powiększa się liczba uszkodzeń typu mechanicznego. Z ekonomicznego punktu widzenia dla Użytkownika silników WN najkosztowniejsze są uszkodzenia izolacji silników i poważne uszkodzenia jego fundamentów i konstrukcji wsporczych. Remont silnika mający na celu gruntowną poprawę stanu jego izolacji to najczęściej przewożenie, co jest bardzo kosztowne. Remont taki eliminuje ów silnik z cyklu produkcyjnego zakładu na kilka, kilkanaście tygodni, co dodatkowo komplikuje sytuację i powiększa wyraźnie koszty awarii. Eksploatując silniki

elektryczne WN należy monitorować proces starzenia się ich izolacji. W sposób szczególny należy traktować napędy nie mające rezerwy - dublera. Awaria takiego napędu unieruchamia często nitkę produkcyjną lub nawet cały zakład. Koszt awarii przekracza wówczas wiele razy koszt samego silnika. Rzetelna ocena stanu izolacji w takim napędzie jest szczególnie ważna. W oparciu o diagnozę stanu izolacji można prowadzić racjonalną politykę remontową - planować i prowadzić remonty przy optymalizacji kosztów w zakładzie. Błędem jest przedwczesne kierowanie silnika na przewożenie gdy stan jego izolacji umożliwia jeszcze jego pracę w przewidywalnym i akceptowalnym przez Służby Techniczne zakładzie czasie. Ale o wiele większym błędem jest nietrafna ocena stanu izolacji silnika który ma w rzeczywistości bardzo słabą izolację a niestety został dopuszczony do eksploatacji, w wyniku czego nastąpiła awaria z wszystkimi konsekwencjami finansowymi.

3. Badania stanu izolacji silników WN

Izolacja silników WN powinna zdaniem autora artykułu zapewnić okres użytkowania silników w przewidzianych dla nich warunkach eksploatacji w czasie nie krótszym niż 15-20 lat. Ponieważ jest ona jednym z głównych czynników określających eksploatacyjne i techniczno-ekonomiczne wskaźniki silników musi być poddana wiarygodnej ocenie czyli badaniom. Badania stanu izolacji silników WN można usystematyzować następująco:

- próba napięciowa,
- badania diagnostyczne stanu izolacji off-line

(poza eksploatacją),
-badania diagnostyczne stanu izolacji on-line
(w czasie eksploatacji).

Należy tu jeszcze wspomnieć o badaniach stanu izolacji uzwojeń silników WN w czasie ich produkcji na poszczególnych etapach jego wytwarzania a następnie montażu. Jest to obszar diagnostyki i kontroli jakości produkcji występujący w zakładach wytwarzających i remontujących silniki WN.

4. Badania diagnostyczne stanu izolacji off-line w przemyśle

Badanie stanu izolacji silników WN prowadzone „poza jego eksploatacją” (off-line) jest podstawowym badaniem określającym stan jego izolacji. Obserwując od wielu lat sposoby oceny izolacji silników indukcyjnych WN głównie w przemyśle krajowym, wykonując osobiście pomiary diagnostyczne stanu izolacji oraz śledząc literaturę techniczną krajową i obcojęzyczną poświęconą temu zagadnieniu usystematyzowałem „rodzaje technik” stosowanych przez oceniających stan izolacji silników indukcyjnych WN w przemyśle. Wg mojej wiedzy można tu wyróżnić następujące metody:

- a) Ocena w oparciu o pomiary wg norm krajowych, zaleceń branżowych i zakładowych.
- b) Metoda prof. Glinki w oparciu o pomiary napięciem stałym [3,4].
- c) Ocena w oparciu o pomiary wyładowań niezupełnych [1,2,5,9,12,14,15,16].
- d) Zespół metod stosowanych w Elektrowni Opolo [5].
- e) Metoda w oparciu o pomiary PI, DD, SV, C (Megger, Fluke, Adwel, Vanguard Instruments Company, AEMC Instruments [6,8,14,15].
- f) DC Ramp Test [14,15].
- g) Test impulsowy [15,17].

Wg oceny autora artykułu większość użytkowników silników indukcyjnych WN w kraju do oceny stanu ich izolacji stosuje tylko wskazania norm krajowych i ewentualnie zalecenia branżowe i zakładowe [9,10,11,13]. Najważniejszymi zaleceniami tych wskazań jest konieczność wykonania pomiarów:

- rezystancji izolacji uzwojeń i
- wskaźnika zmian rezystancji izolacji R_{60}/R_{15} (współczynnika absorpcji).

Przy pomiarze rezystancji należy uwzględnić temperaturę. Rezystancja izolacji uzwojeń wyrażona w kiloomach w temperaturze 75°C nie powinna być liczbowo mniejsza niż wartość

napięcia znamionowego wyrażonego w voltach. Pomiar każdej fazy oddzielnie lub wszystkich faz wspólnie przy stałym połączeniu punktu gwiazdowego, należy wykonać miernikiem rezystancji o napięciu 2.5kV[11]. Zalecenia odnośnie wskaźnika zmian rezystancji izolacji R_{60}/R_{15} są następujące: Stosunek rezystancji izolacji zmierzonej po 60s (R_{60}) od chwili przyłożenia napięcia do rezystancji zmierzonej po 15s (R_{15}) nie powinien być mniejszy niż [11]:

- 1.5 w temperaturze 20°C,
- 1.4 w temperaturze 40°C,
- 1.3 w temperaturze 60°C.

W literaturze [7] jest stwierdzenie że wartość R_{60} izolacji poszczególnych faz maszyny wirującej nie powinny różnić się między sobą więcej niż o 30% i nie powinny się różnić od R_{60} zmierzonych przy poprzedniej próbie więcej niż o 30%. W niektórych zakładach produkujących i remontujących silniki indukcyjne WN [1,5] do oceny stanu ich izolacji wykonuje się pomiary współczynnika stratności $\tan\delta$. Pomiar ten wykonuje się wysokonapięciowym mostkiem Scheringa podając na badany układ napięcie zmienne o częstotliwości 50 Hz. Z długoletnich doświadczeń w eksploatacji maszyn elektrycznych wynika że zjawisku starzenia się izolacji towarzyszy zwiększanie się szczelin powietrznych pomiędzy poszczególnymi warstwami izolacji tzw. spuchnięcie izolacji [7]. Skutkuje to obniżeniem się wartości napięcia krytycznego przy którym pojawiają się wyładowania niezupełne, towarzyszy temu wzrost $\tan\delta$. W literaturze [7] podano kryteria oceny stanu izolacji silników w oparciu o pomiar $\tan\delta$. Pomiar ten w istotny sposób uzupełnia informacje o stanie izolacji maszyn elektrycznych. W eksploatacji silników WN jak również innych maszyn elektrycznych pożądane są jednoznaczne kryteria pozwalające określić stopień zużycia izolacji. Służby Utrzymania Ruchu Elektrycznego muszą mieć bazę odniesienia na podstawie której można by porównywać proces starzenia się izolacji silników w kolejnych latach ich eksploatacji. W rezultacie długoletnich badań, diagnozując stan izolacji eksploatowanych w przemyśle krajowym maszyn elektrycznych prof. Glinka opracował metodę oceny stanu izolacji przy wykorzystaniu pomiarów napięciem stałym. Metodę przedstawiono w bogatej już literaturze, np. [3,4]. Metoda jest już na tyle uznana że została wpisana do Polskiej Normy PN-E-04700 z 1998 r jako próba

nieobowiązkowa [11]. Na ostatnim Seminarium Komelu w 2004 roku prof. Glinka przedstawił wspomnianą wyżej metodę wraz z klasyfikacją stopnia zużycia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych [4]. Jest to cenne uzupełnienie tej metody.

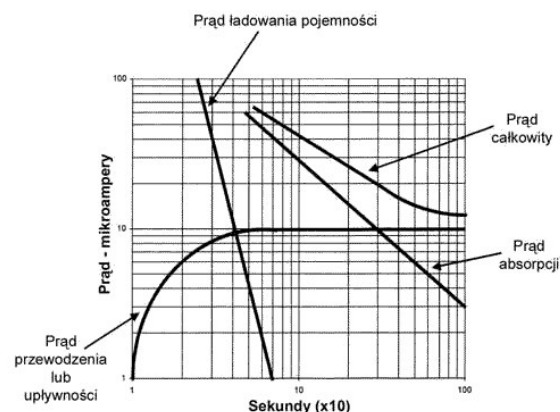
W ostatnich kilku latach obserwuje się coraz częściej wykorzystywanie wyładowań niezupełnych (wnz) do diagnostyki stanu izolacji maszyn elektrycznych WN off-line, głównie dzięki szybkiemu rozwojowi techniki cyfrowej która może przetwarzać i analizować informacje z pomiarów wnz [1,2,12,14,15,16].

Wg wiedzy autora artykułu jak do tej pory nie ma w kraju normy wyładowań niezupełnych dotyczących izolacji silników WN. Jest prawie pewne że jednolitych norm nie ma również na świecie. Przewodzące światowe firmy produkujące uzwojenia maszyn elektrycznych stosują własne fabryczne normy wprowadzając kryteria dotyczące intensywności wnz głównie dla uzwojeń generatorów. Bardzo istotnym mankamentem pomiarów diagnostycznych stanu izolacji w oparciu o pomiar wyładowań niezupełnych jest wpływ zakłóceń. Zakłócenia te utrudniają lub wręcz uniemożliwiają pomiar wnz. Wyeliminowanie lub skuteczne ograniczenie zakłóceń podczas pomiarów wnz jest sprawą podstawową ale bardzo trudną. Wymaga to bardzo dobrej znajomości metodologii pomiarów, opanowania techniki ograniczania zakłóceń. Jest to bardzo obszerne zagadnienie które nie do końca jest skutecznie rozpoznane. Informacje na ten temat można znaleźć między innymi w publikacjach [2,14].

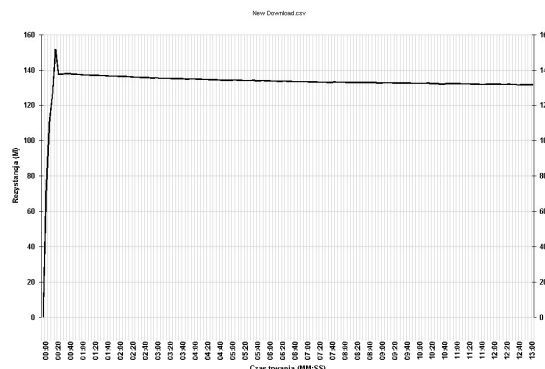
5. Doświadczenia własne

Prowadząc od dawna pomiary stanu izolacji w przemyśle i obserwując „historię” silników indukcyjnych WN które z konieczności zostały uruchomione przy współczynniku absorpcji poniżej 1.3 a zdarzało się że nawet poniżej 1.0 nabrałem dużego dystansu do przydatności do oceny stanu izolacji pomiaru R_{60}/R_{15} . Silniki których nie powinno się uruchamiać ze względu na niską wartość R_{60}/R_{15} pracowały nawet kilka lat. Myślę że podobne doświadczenia ma wielu Kolegów zajmujących się eksploatacją silników indukcyjnych WN. Po analizie wyników swoich badań doszedłem do wniosku że pomiar rezystancji izolacji powinien odbywać się w dłuższym horyzoncie czasowym. Mierzac bowiem w szczególności R_{15} , ze względu na charakter zmian prądu w tak

krótkim czasie możemy popełnić duży błąd. Znajdujemy się bowiem na szybko wznoszącej się charakterystyce $I(t)$. Na rys.1 przedstawiono charakter zmian prądu w izolacji podczas pomiaru stanu izolacji silnika



Rys.1. Prąd w izolacji podczas pomiaru [8]



Rys.2. Rezystancja izolacji stojana silnika WN, izolacja wadliwa.

Na rys.2. przedstawiono wynik pomiaru rezystancji izolacji stojana w funkcji czasu dla przykładowego silnika WN 400kW. Rezystancję mierzono przez 13 minut, zwraca uwagę charakter zmian R w początkowym okresie czasu pomiaru. Nasuwa się szereg wątpliwości co do wielkości błędu pomiaru R_{15} .

Stwierdzono doświadczalnie [8,14] że dobra izolacja wykazuje wzrost rezystancji w horyzoncie czasowym 10 – 30 minut. W izolacji zawilgoconej lub zabrudzonej charakterystyka $R(t)$ jest płaska w horyzoncie kilkunastu minut lub jak stwierdził autor artykułu wręcz opada. Te podstawowe wątpliwości w przydatność „historycznych” kryteriów oceny stanu izolacji maszyn elektrycznych, postęp w dziedzinie materiałoznawstwa elektrotechnicznego oraz możliwości aparaturowe zrodziły w krajach zachodnich ideę oceny stanu izolacji maszyn elektrycznych w tym silników indukcyjnych WN w oparciu o pomiary [6,8,15]:

5.1. Wskaźnika polaryzacji – PI (Polarization Index). $PI = R_{10min}/R_{1min}$ czyli R zmierzone po 10 minutach, do R zmierzonego po 1 minucie od podania napięcia pomiarowego. Dla stojana indukcyjnego WN zalecane jest 5 kV.

5.2. Pojemności układu izolacji – C.

5.3. Pomiar rozładowania dielektryka – DD (Dielectric Discharge).

Obecność trzech składowych prądu podczas ładowania izolacji: prądu ładowania pojemności, prądu absorpcji i prądu upływu powoduje że pomiar prądu polaryzacji jest trudny. W fazie rozładowania pomiar ten jest znacznie prostszy. Podczas pomiaru DD izolacja jest ładowana przez długi czas – zalecane 30 minut. Po tak długim czasie zakończony jest proces ładowania i polaryzacji. W izolacji „czynny” jest tylko prąd upływowy.

Następnie izolacja jest rozładowywana. Prąd jest mierzony po upływie 1 min. aby wyeliminować składową rozładowania pojemności. Ewentualnie duży prąd reabsorpcji jest spowodowany zanieczyszczeniem izolacji [6,8]. Obok prądu mierzona jest pojemność C badanego układu izolacji i napięcie pomiarowe - probiercze U cyklu ładowania. Wartość wskaźnika DD jest obliczana ze wzoru (1). Stosowane jednostki – mA/VxC.

$$DD = \frac{I_{1min}}{U \times C} \quad (1)$$

Wskaźnik DD jest zależny od temperatury. W tablicy 1 przedstawiono omawiane wielkości określające stan izolacji silników WN [8]. DD dla złego stanu izolacji przyjmuje wartości większe od 7 [8]. Bardzo często przy pomiarach stanu izolacji silników o zużytej izolacji wskaźnika DD nie można wyznaczyć. Powodem tego jak stwierdził autor artykułu jest zbyt niska wartość pojemności C. Firma Megger [13] np. uważa że DD można mierzyć jeżeli C jest większe od 0.2µF. Określa w ten sposób dolny próg wartości C dla izolacji maszyny elektrycznej WN którą „warto szczegółowo diagnozować”- miernik BM25.

Tablica 2. Wielkości określające stan izolacji silników [8]

Stan izolacji	PI	R ₆₀ /R ₁₅	DD
Definicja	$\frac{10 \text{ minut}}{1 \text{ minuta}}$	$\frac{60 \text{ sekund}}{15 \text{ sekund}}$	Prąd rozładowania (po 60s)/(V x C)
Słaby	< 1	< 1	> 4
Niejasny	1 do 2	1 do 1,4	2 do 4
Dobry	2 do 4	1,4 do 1,6	< 2

5.4. Badanie napięciem narastającym schodkowo – SV (Step Voltage)

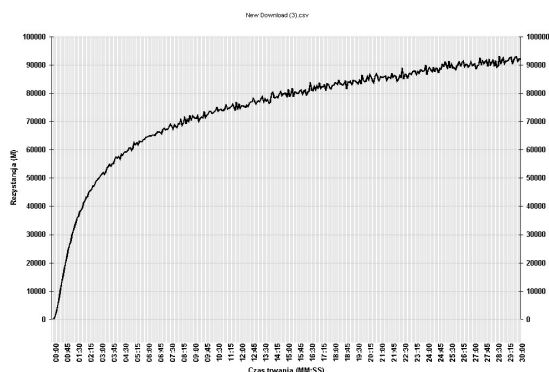
Idealna izolacja ma jednakową rezystancję niezależnie od napięcia probierczego. Izolacja z wadami ma rezystancję wyraźnie zmniejszającą się przy wyższych napięciach [6,8]. Pomiar jest wykonywany np. przez 5 min. Napięcie podwyższa się co 1 min o np. 1 kV. Rezystancja jest w tym czasie sekwencyjnie rejestrowana wraz z pojemnością. Wykres R(t) jest w kształcie charakterystycznych zębów o różnym stopniu „opadania”.

Wielkości od 1 - 4 wprowadzają do swojego sprzętu czołowe światowe firmy produkujące aparaturę do oceny stanu izolacji maszyn elektrycznych. Wymienić tu można między innymi firmy - Megger, Fluke, Adwel, Vanguard Instruments Company, AEMC Instruments. Autor artykułu stosuje wymienione wielkości do oceny stanu izolacji maszyn elektrycznych WN off-line korzystając ze sprzętu jednej z wymienionych wyżej firm.

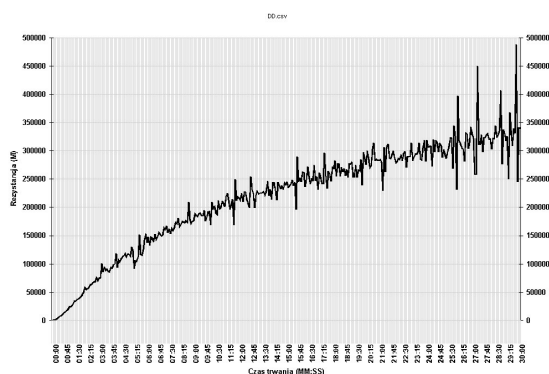
Dla zilustrowania przydatności wielkości PI, DD, SV, C do oceny stanu izolacji silników indukcyjnych WN przedstawiono poniżej wyniki pomiarów dla dwóch ciekawych zdaniem autora przypadków.

Na rys.3 i 4 przedstawiono wyniki pomiarów stanu izolacji dla dwóch silników tego samego typu. Silniki z napędu młyna węgla, 400kW, 6kV, 740obr/min, izol. klasy B. W wyniku pomiarów należało wybrać silnik o izolacji lepszej gwarantujący pracę przez cały sezon grzewczy

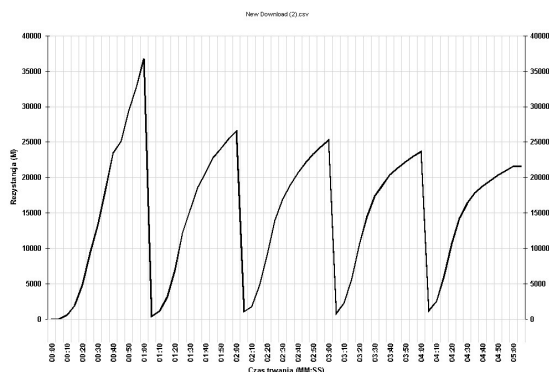
w jednej z krajowych ciepłowni. Do oceny wykorzystano metodę przedstawioną powyżej, mierząc PI, DD, SV i C. Mierząc np. rezystancję w horyzoncie czasu 30min, przy napięciu 2.5 kV (rys.3 i 4) stwierdzono wyraźną różnicę pomiędzy silnikami. Z uzyskanych pomiarów wynika że izolacja silnika nr 1 jest wyraźnie lepsza niż dla silnika nr 2. Do eksploatacji wybrano silnik nr 1.



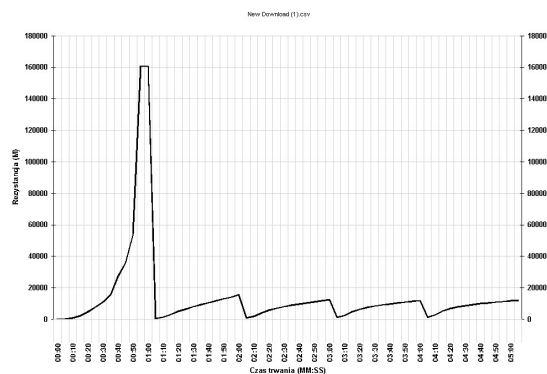
Rys.3. Rezystancja izolacji stojana silnika WN, 400kW, silnik nr 1, izolacja dobra.



Rys.4. Rezystancja izolacji stojana silnika WN, 400kW, silnik nr 2, izolacja wadliwa.



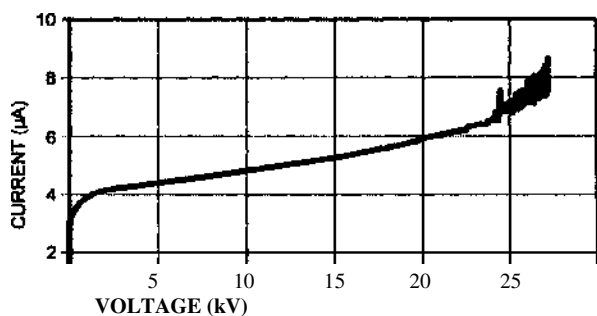
Rys.5. Rezystancja izolacji wirnika silnika WN, 740kW, silnik nr 1, pomiar SV, izolacja dobra.



Rys.6. Rezystancja izolacji wirnika silnika WN, 740kW, silnik nr 2, pomiar SV izolacja wadliwa.

Na rys. 5 i 6 przedstawiono wyniki pomiarów stanu izolacji również dla dwóch silników tego samego typu. Silnik pierścieniowy, stojan 6kV, wirnik 1700V, napęd wentylatora.. Do oceny stanu izolacji stojana i wirnika wykorzystano również metodę przedstawioną powyżej, mierząc PI, DD, SV i C. W wyniku pomiarów należało również wybrać silnik lepszy. Z pomiarów wynikało że stojany są jakościowo porównywalne, natomiast w izolacji wirników stwierdzono wyraźne różnice. Wirnik silnika nr 1 jest wyraźnie lepszy. Wynika to między innymi z pomiarów SV (rys.5 i 6). Rezystancja wirnika silnika nr2 bardzo mocno zależy od napięcia i wyraźnie – zbyt mocno maleje przy wzroście napięcia. Wirniki badano przez okres 5 minut, podając co 1min. napięcie wzrastające schodkowo, kolejno: 500V, 1000V, 1500V, 2000V i 2500V.

Coraz częściej do oceny stanu izolacji silników WN w praktyce przemysłowej wykorzystuje się DC Ramp Test [14]. Używa się jej zgodnie ze standardem IEEE95-2002 do analizy stanu izolacji maszyn elektrycznych dużej mocy. Daje ona możliwości wykrycia wady izolacji już we wczesnej fazie jej rozwoju [14]. Test polega na pomiarze prądu podczas podawania na badane uzwojenie silnika liniowo narastającego napięcia. W urządzeniu pomiarowym diagnosta wybiera granicę napięcia do jakiego ma być izolacja badana (wybór najczęściej z przedziału kilka do 50kV DC), wybiera również prędkość narastania napięcia (najczęściej przedział 0-2.5kV/min). Urządzenia pomiarowe wykorzystujące tą metodę posiadają prądowe zabezpieczenia które przerywają pomiar przy gwałtownym wzroście prądu o czym osobiście mógł się przekonać autor artykułu biorąc udział w pomiarach



Rys.7.DC Ramp Test dla izolacji epoksydowo-mikowej wadliwej [14].

wykorzystujących DC Ramp Test. Na rys.7 podano przykładowy wynik DC Ramp Testu dla maszyny elektrycznej z izolacją epoksydowo-mikową w której stwierdzono nieprawidłowości w procesie impregnacji [14].

Coraz większą popularnością do oceny stanu izolacji maszyn elektrycznych cieszy się test impulsowy [15,17]. W trakcie pomiarów diagnozowane uzwojenie jest pobudzane do drgań przez rozładowanie przez nie kondensatora o znanej pojemności. Uzyskany przebieg ma kształt gasnącej sinusoidy o częstotliwości wynikającej z wielkości występujących L i C . Typowa częstotliwość zawiera się pomiędzy kilkoma kHz a 200kHz. Uszkodzenie izolacji uzwojenia powoduje zmianę pojemności C , a tym samym częstotliwości oscylacji. Ten fakt jest wykorzystany do diagnostyki.

6. Uwagi końcowe

Według autora artykułu rzetelna ocena stanu izolacji silników indukcyjnych WN w oparciu o pomiary off-line w przemyśle nie powinna opierać się tylko na jednej metodzie. Osobiście staram się stosować równolegle kilka metod. Niewskazane jest ocenianie stanu izolacji maszyny elektrycznej na podstawie tylko jednego pomiaru. Sytuację taką uważam za awaryjną. Pomiary bieżące powinny być porównywane z poprzednimi i na tej podstawie powinien być wyznaczony trend zmian izolacji.

Literatura

- [1]. Biernacki A., Zielonka A.: Metody diagnozowania stanu izolacji silników elektrycznych wysokiego napięcia, Wiadomości Elektrotechniczne nr 12, 1996 r.
- [2]. Florkowska B., Florkowski M., Włodek R., Zydrón P.: Mechanizmy, pomiary i analiza wyładowań niepełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia, Wyd. IPPT PAN, Warszawa 2001 r.

- [3]. Glinka T.: Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle, Wyd. BOBRME Katowice 1998 r.
- [4]. Glinka T. Klasyfikacja stopnia zużycia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych, Wyd. BOBRME, Katowice 2004r, Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne nr 68, 2004 r.
- [5]. Hickiewicz J., Ławrowski Z.: Diagnostyka układów izolacyjnych dla poziomów napięć pracy, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 4, 2003 r.
- [6]. Koczorowicz T.: Pomiary rezystancji izolacji w teorii i w praktyce, Elektroinfo, nr 9 2004
- [7]. Latek W.: Badanie maszyn elektrycznych w przemyśle, Wyd. WNT, Warszawa 1987 r.
- [8]. Megger: The Complete Guide to Electrical Insulation Testing, AVO International 2001 r.
- [9]. Norma PN-86/E-04066. Pomiary wyładowań niepełnych.
- [10]. Norma PN-88/E-06701. Maszyny elektryczne wirujące. Ogólne wymagania i badania.
- [11]. Norma PN-98/E-04700. Urządzenia i układy elektryczne. Wytyczne przeprowadzenia pomontażowych badań odbiorczych.
- [12]. Przybysz J.: Diagnozowanie w czasie rzeczywistym stanu izolacji uzwojeń stojanów generatorów, Prace Instytutu Energetyki, Warszawa, zeszyt nr 24, 1999 r.
- [13]. Przepisy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych. Dział I zeszyt 8 Eksploatacja elektrycznych urządzeń napędowych. Wyd. Instytutu Energetyki, Warszawa 1988 r.
- [14]. Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Hussein Dhirani: Electrical insulation for rotating machines, Wiley-Interscience, USA, Canada, 2004 r.
- [15]. Szymaniec S.: Diagnostyka stanu izolacji silników elektrycznych indukcyjnych wysokonapięciowych off-line w przemyśle, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 4, 2005 r.
- [16]. Tułodziecka E., Andrzejewski K., Proczek M.: Diagnostyka układu izolacyjnego VPI stojana silnika 6 kV, 630 kW, 3000 obr/min. w procesie produkcji, Wyd. BOBRME, Katowice 1998r., Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne nr 55, 1998r.
- [17]. Wierzbicka B., Wierzbicki J.: Tester impulsowy IT 6, Noty aplikacyjne firmy SEITZ Inst.

Autor

Dr inż. Sławomir Szymaniec Politechnika Opolska. Wydział Elektrotechniki i Automatyki. Instytut Układów Elektromechanicznych i Elektroniki Przemysłowej. 45-951 Opole ul. Luboszycka slawszym@po.opole.pl