ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992

Seria: ELEKTRYKA z.130 Nr kol.1184

Tadeusz GLINKA

DIAGNOSTYKA IZOLACJI UZWOJEŃ MASZYN ELEKTRYCZNYCH DUŻEJ MOCY

Streszczenie. Przedstawiono schemat zastępczy układu izolacyjnego uzwojenia maszyny elektrycznej z izolacją częściowo zużytą termicznie i mechanicznie. Schemat ten wykorzystano dla określenia kryteriów charakteryzujących stan techniczny izolacji.

DIAGNOSTIC ROUTINE FOR WINDINGS' INSULATION IN HIGH POWER ELECTRIC MACHINES

Summary. An equivalent of winding insulation scheme of electric machine with insulation partly spent, both thermally and mechanically, is presented. This scheme is used in formulating the criteria characterizing the technical condition of insulation.

ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Резюме. Предлагается схему замещения изоляционной системы электрических машин с термически и механически изношенной изоляцей. Эту схему исползуется для определения критериев характеризующих техническое состояние изоляции.

1. WSTĘP

W eksploatacji maszyn elektrycznych istotną sprawą jest śledzenie procesu starzenia się izolacji. Dla napędów nie mających rezerwy, właściwa ocena stopnia zużycia izolacji uzwojenia maszyn jest podstawą do planowania i przeprowadzenia remontu. Zaplanowane przygotowane i we właściwym czasie przeprowadzone przezwojenie maszyn jest gwarancją ich niezawodnej pracy. Każda awaria maszyny w czasie eksploatacji, powoduje straty produkcyjne wielokrotnie przekraczające koszt remontu samej maszyny.

Czynniki determinujące zużycie, bądź zniszczenie izolacji można podzielić na trzy grupy:

- czas i temperatura,
- siły mechaniczne i drgania,
- wilgotność, pyły, gazy aktywne oraz równocześnie działające pole elektryczne.

Zagadnienie wpływu temperatury i czasu na trwałość izolacji jest najlepiej rozpoznane i ma bogatą bibliografię. Prace na ten temat prowadzili m.in. Montsinger, Moses, Gotter określając znaną zależność trwałości izolacji od temperatury.

Zależność ta dobrze weryfikuje się np. w transformatorach olejowych gdzie o starzeniu się izolacji decyduje czas i temperatura, natomiast nie można jej wykorzystywać do oceny stopnia zużycia izolacji maszyn elektrycznych w warunkach eksploatacyjnych, gdzie o przebiegu procesu starzenia izolacji decydują wszystkie trzy wymienione wyżej zjawiska, które ponadto zmieniają się często w szerokich przedziałach (np. temp. od $-10^{o}C$ do $+110^{o}C$, powodując ciągłe wydłużanie i kurczenie się uzwojenia).

Wpływ drgań uzwojenia względem żłobków na trwałość izolacji zależy od wytrzymałości zmęczeniowej izolacji na zmienne w czasie siły ściskające oraz od podatności izolacji na pęknięcia i kruszenie się. Według rozeznania autora zagadnienie to w literaturze nie zostało w sposób dostateczny opracowane.

2. BADANIE DIAGNOSTYCZNE IZOLACJI UZWOJEŃ ZALECANE PRZEZ OBOWIĄZUJĄCE PRZEPISY

Zarówno w literaurze, jak i w praktyce eksploatacyjnej nie ma

jednoznacznych kryteriów pozwalających określić, np. w procentach, stopień zużywania się izolacji uzwojenia maszyn elektrycznych. Dla maszyn nowych, np. Polska Norma PN-88/E-06701, poleca się przeprowadzić następujące próby izolacji uzwojenia [1]:

- pomiar rezystancji,
- próbę izolacji zwojowej,
- próbę izolacji uzwojeń.

Dla maszyn dużej mocy przy pomiarze rezystancji izolacji norma zaleca, aby określić dodatkowo stosunek R_{60}/R_{15}, który jest wskaźnikiem stopnia zawilgocenia lub wysuszenia izolacji. Z programu tego widać, że przy badaniu izolacji maszyn nowych nie określa się praktycznie żadnych parametrów ani wskaźników, które stanowiłyby bazę do badań porównawczych postępującego stopnia jej zużywania się w czasie eksploatacji.

Nieco obszerniej problem ten traktuje "Instrukcja eksploatacji silników elektrycznych" [2].

W "Instrukcji " zaleca się "raz na 2 lata" przeprowadzić przegląd silnika. W ramach tego przeglądu należy wykonać m.in.:

- "pomiar rezystancji izolacji uzwojeń" przez określenie rezystancji po 15s, 30s, 45s i 60s od chwili załączenia napięcia,
- pomiar ustalonego prąd upływu I_{p600} po 600s od chwili ustalenia się napięcia o wartości $0,5U_N$ i $2U_N$.

Na podstawie tych pomiarów "Instrukcja" zaleca sprawdzić wskaźniki izolacji:

$$R_{60} \geq \frac{k_{75}\ U_N}{1000 + 10P_N} \quad [M\Omega], \tag{1}$$

$$\frac{R_{60}}{R_{15}} > 1,3, \tag{2}$$

$$\frac{R_{60}}{U_N} > 1 \ k\Omega/V \ \text{przy}\ \vartheta_0 \geq 20^0C, \tag{3}$$

$$\frac{I_{p600}\ (\text{przy}\ 2U_N)}{I_{p600}\ (\text{przy}\ 0,5U_N)} \leq 8, \tag{4}$$

$$i\% = \frac{I_{p600} - I'_{p600}}{I_{p600}} \cdot 100 \leq 30\% \tag{5}$$

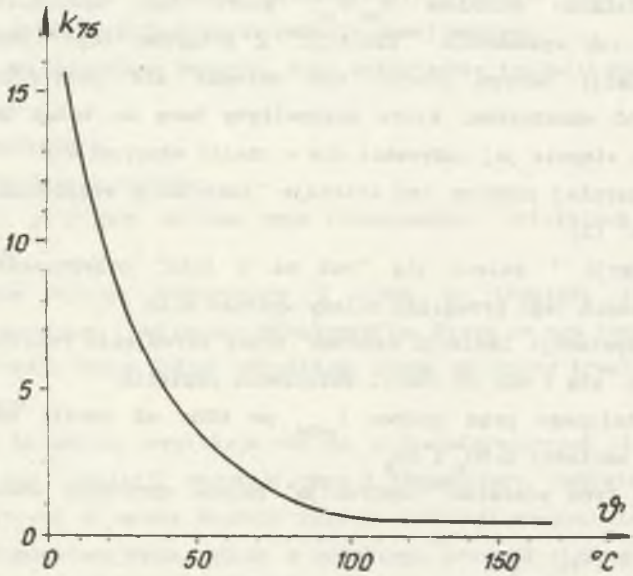
gdzie:

U_N - napięcie znamionowe silnika [V],

P_N - moc znamionowa silnika [MW],

k_{75} - współczynnik temperatury (rys.1),

I_{p600} - prąd I_{p600} zmierzony przy poprzednim przeglądzie wykonanym 2 lata temu.



Rys.1. Zależność współczynnika k_{75} od temperatury uzwojenia

Fig.1. The dependence of coefficient k_{75} on windings' temperature.

Według "Instrukcji" izolację silnika można uznać za dobrą, jeśli w czasie próby nie nastąpiło przebicie izolacji i nie zauważono przeskoków na czołach uzwojeń oraz jeśli są spełnione warunki od (1) do (5). Zachodzą pytania co zrobić jeśli nie wszystkie warunki są spełnione, np.nie jest spełniony warunek (2) a warunku (5) nie można określić, gdyż nie jest znana wartość I'_{p600} oraz czy taki silnik należy wyłączyć z eksploatacji?

Decyzja taka w niektórych przypadkach jest równoznaczna z zatrzymaniem całego wydziału produkcyjnego. Praktyka wykazała,że maszyny w których nie wszystkie warunki zalecane przez "Instrukcję" są spełnione,pracują jeszcze

wiele lat. Zatem warunki od (1) do (5) oceny stanu izolacji wydają się być mało precyzyjne, a zwłaszcza warunek (5).

Wystarczy, aby prąd I'_{p600} był zmierzony przy nadmiernie wysuszonej izolacji, a prąd I_{p600} przy lekko zawilgoconej, przy czym zawilgocenie jest w normie, tzn. spełniony jest warunek (1) i (3), a w efekcie otrzymany wynik jest fałszywy.

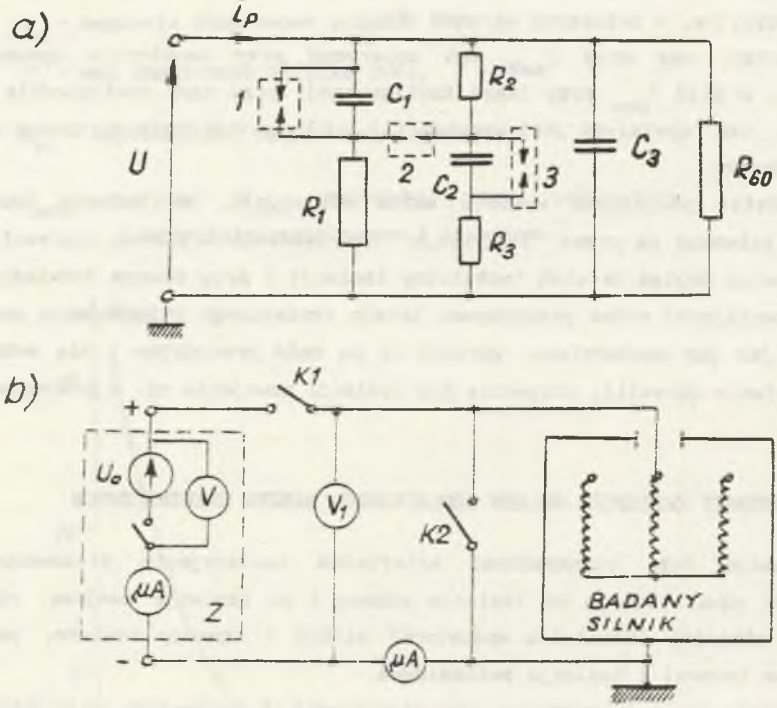
W świetle powyższych wywodów można stwierdzić, że badania izolacji uzwojeń zalecane są przez "Instrukcję" i prowadzone w sposób systematyczny dając pewien pogląd na stan techniczny izolacji i przy pewnym doświadczeniu osoby oceniającej można przewidywać termin koniecznego przezwojenia maszyn. Jednak, jak już powiedziano, warunki te są mało precyzyjne i nie można na ich podstawie określić, zużywania się izolacji uzwojenia np. w procentach.

3. SCHEMATY ZASTĘPCZE UKŁADU IZOLACYJNEGO MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Istnieje duża różnorodność materiałów izolacyjnych stosowanych w maszynach elektrycznych na izolację główną i na izolację zwojową, różnego rodzaju mikanity (mikafolia,epoksterm) włókna i tkaniny szklane, papiery aramidowe (nomex) i izolacja poliamidowa.

Materiały te mają różniące się właściwości i parametry, więc nie jest możliwe ustalenie jednego wspólnego kryterium, według którego ocenianoby stan techniczny izolacji. Gdyby takie kryterium można było opracować, to dawno by to zrobiono. Wydaje się możliwe, aby dla konkretnej maszyny, której rodzaj izolacji nie zawsze jest zidentyfikowany, wyznaczyć parametry i charakterystyki elektryczne. Badania takie, przeprowadzone dla maszyny nowej lub w pierwszych latach jej eksploatacji, stanowiłyby bazę danych odniesienia.a następnie-powtarzane np.co 5 lat, pozwoliłyby śledzić na zasadzie porównawczej pogarszanie się parametrów izolacji, co umożliwiłoby w sposób trafny planowanie i przeprowadzenie wymiany uzwojenia [3].

Proponując pewne kryteria (wykresy i parametry) charakteryzujące stan techniczny izolacji, posłużmy się elektrycznym schematem zastępczym izolacji. Schematów takich jest dużo [4], jednak z punktu widzenia kryteriów, które chcemy zaprezentować, przedstawimy własną wersję schematu zastępczego pokazaną na rys.2.



Rys.2. a) Schemat zastępczy układu izolacyjnego
b) Układ pomiarowy do badania izolacji uzwojenia napięciem stałym (z-zasilacz, V_1-woltomierz elektrostatyczny)

Fig.2. a) An equivalent circuit for insulation scheme
b) Measuring scheme for d.c.testing of insulation winding (z - d.c.source, V_1 - electrostatic voltmeter)

Na schemacie tym parametry C_1 i C_2 oznaczają pojemności wewnętrzne izolacji, C_3 - pojemność powierzchniową, R_1,R_2,R_3-rezystancje wewnętrzne a R_{60}- rezystancję zastępczą izolacji zmierzoną prądem stałym w stanie ustalonym. Rozdzielenie pojemności C_1 i C_2 na dwie pojemności pozwala uchwycić w schemacie zastępczym zjawiska rozwarstwienia i popękania izolacji oraz często stochastyczne przypadki wewnętrznych wyładowań. Zjawisku temu odpowiada w schemacie zastępczym układu izolacyjnego zwieranie lub rozwieranie pojemności C_1 i C_2 iskiernikami: 1,2 i 3.

Parametry i charakterystyki tego schematu można badać zarówno prądem stałym, jak i prądem zmiennym (tgδ). Praktyka pomiarowa wykazała, że

najefektywniejszą metodą badań izolacji uzwojeń maszyn z izolacją częściowo zużytą jest metoda prądu stałego. Sprawą oczywistą jest, że np. wartości tgδ izolacji nie można wyznaczyć, jeśli w czasie pomiaru będzie następowało ciągłe zwieranie i rozwieranie jednej lub obydwu pojemności C_1 i C_2, nie ma zatem sensu kryterium tego wykorzystywać przy ocenie stopnia zużycia izolacji.

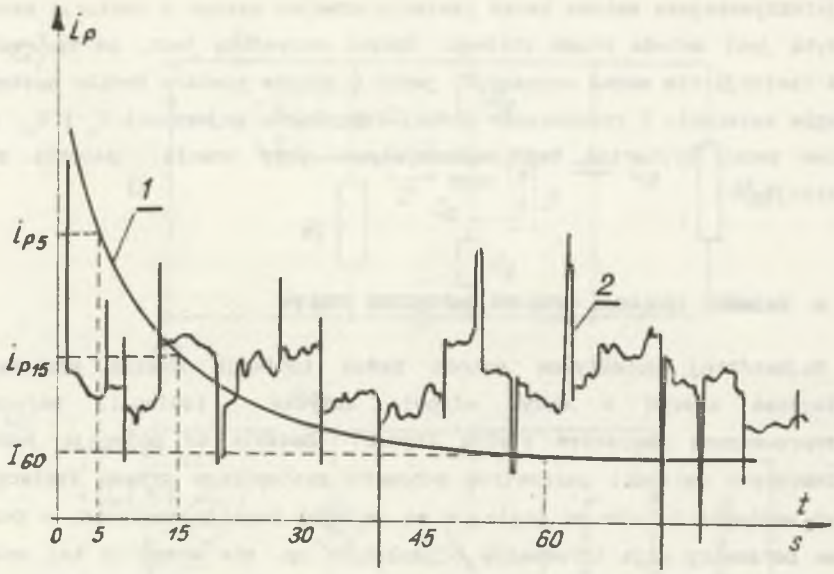
4. BADANIE IZOLACJI UZWOJEŃ NAPIĘCIEM STAŁYM

Najbardziej obiektywną metodą badań izolacji maszyn elektrycznych zwłaszcza maszyn o dużym stopniu zużycia izolacji, są badania przeprowadzone napięciem stałym (rys.2). Badania te polegają jednak na wyznaczeniu wartości parametrów schematu zastępczego układu izolacyjnego, gdyż wartości te nie są stałe, a są na ogół funkcją napięcia, a poza tym same parametry dają informację o izolacji, np. nie można na tej podstawie określić napięcia przebicia. Dlatego też kryteria oceny stanu technicznego uzależnimy głównie na czasowym przebiegu prądu upływu i_p po skokowym załączeniu napięcia stałego U i wartości maksymalnej odbudowy napięcia na izolacji po krótkotrwałym uziemieniu naładowanego uzwojenia.

4.1. Metodyka badań

Po skokowym załączeniu napięcia stałego U na uzwojenie badane, tzn, po załączeniu wyłącznika K1 (rys.2b) przebieg prądu $i_p(t)$ będzie miał charakter pokazany na rys.3. Dla czasu $t \rightarrow \infty$ i izolacji dobrej prąd ustali się $i_p(t \rightarrow \infty) = I_{p60}$ (krzywa 1). W maszynach o izolacji termicznie i mechanicznie mocno zużytej, przy izolacji popękanej, a także przy izolacji rozwarstwionej, wewnątrz której występują pęcherzyki powietrza, pod wpływem pola elektrycznego występuje wenętrzna jonizacja powietrza i związane z tym wyładowania i przeskoki ładunku elektrycznego. Zjawisko to jest równoznaczne z działaniem iskierników w schemacie zastępczym (rys.2a). Wyładowaniom takim towarzyszą stochastyczne wahania ustalonego prądu upływu (rys.3 krzywa 2).

Badania takie można przeprowadzić, przy nastawionej coraz to wyższej wartości napięcia U w przedziale od 0 do $2U_N$. Podwyższać napięcie należy ostrożnie, obserwując przyrządy pomiarowe oraz słuchając i obserwując, czy nie występują przebicia i przeskoki, aby nie doprowadzić do przebicia

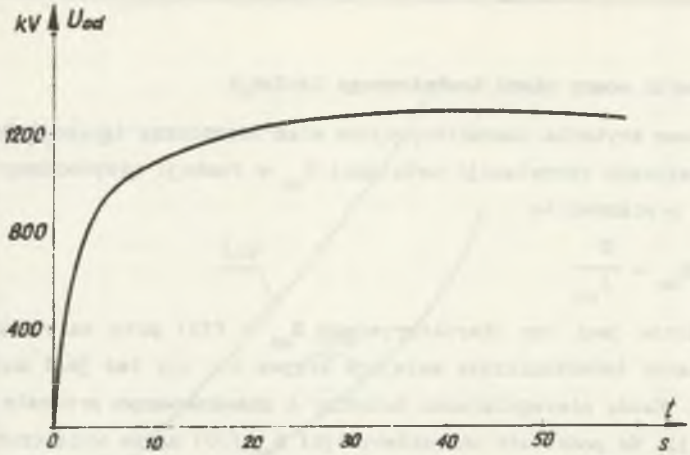


Rys. 3. Przebieg czasowy prądu upływu $i_p(t)$ w izolacji uzwojeń zarejestrowany po skokowym załączeniu napięcia stałego o wartości 6kV. Krzywa 1 dotyczy izolacji dobrej uzwojenia stojana silnika synchronicznego o mocy znamionowej 17500 kW i napięciu 6kV. Krzywa 2 dotyczy izolacji zużytej uzwojenia stojana silnika indukcyjnego o mocy znamionowej 3740kW i napięciu 6kV.

Fig. 3. The plot of insulation leakage current versus time following the switching on of 6 kV d.c. voltage. Curve 1 has been plotted for stator winding of a synchronous motor of 17500 kW and 6 kV. Curve 2 has been plotted for spent insulation induction motor stator . Motor ratings are 3740 kW and 6 kV.

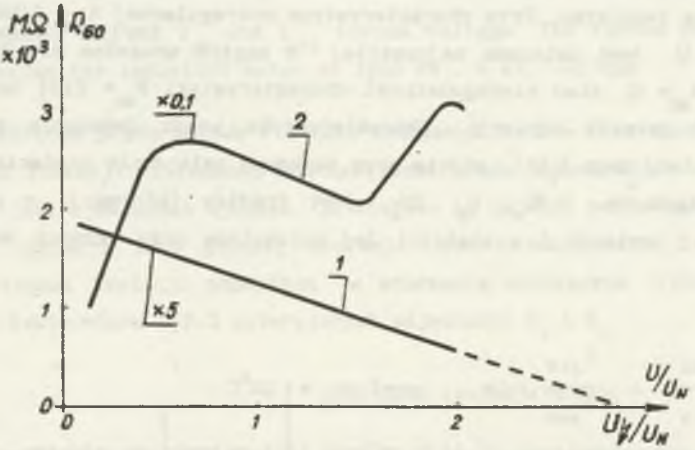
izolacji w czasie pomiaru. Jeśli izolacja ma pojemność wewnętrzną różną od zera i pojemność ta utrzymuje ładunek elektryczny po odłączeniu napięcia zasilania (K1), tzn. nie rozładowuje się samoistnie, to można przeprowadzić kluczem K2 krótkotrwałe zwarcie (ok. 1-30s), a następnie rozwarcie układu izolacyjnego. W czasie krótkotrwałego zwarcia układu izolacyjnego następuje całkowite rozładowanie pojemności powierzchniowych izolacji C_3 i częściowe rozładowanie pojemności wewnętrznych C_1 C_2. Jeśli pojemności wewnętrzne są różne od zera, to energia w nich zawarta, po rozwarciu klucza K2 spowoduje ponowne naładowanie pojemności C_3. Przebieg odbudowy napięcia układu izolacyjnego U_{od} pokazano na rys. 4.

Powyższe pomiary i uzyskane przebiegi są podstawą do opracowania kryteriów określających stan techniczny izolacji.



Rys.4. Przebieg odbudowy napięcia $U_{od}(t)$ na układzie izolacyjnym stojana silnika synchronicznego o parametrach znamionowych 17500kW; 6kV; 1925A; 375ob/min po naładowaniu go do napięcia 6kV i zwarciu 10 sekundowym

Fig.4. The course of voltage regeneration $U_{od}(t)$ in the insulation network of a stator of synchronous motor, following the one-second short - circuiting of the 6 kV built - up voltage. Motor ratings are 17500 kW, 6 kV, 1925A.



Rys.5. Charakterystyki $R_{60}=f(U)$. Krzywa 1 dotyczy izolacji silnika o parametrach znam. 1800kW; 6kV; 742ob/min. Krzywa 2 izolacji starej silnika indukcyjnego jak na rys.3

Fig.5. Characteristics $R_{60}=f(U)$. Curve 1 has been plotted for insulation of a motor with the ratings of 1800 kW , 6 kV, 742 rpm. Curve 2 has been plotted for spent insulation of induction motor as in Fig.3.

5. Kryteria oceny stanu technicznego izolacji

Podstawowe kryteria charakteryzujące stan techniczny izolacji budujemy na charakterystykach rezystancji ustalonej R_{60} w funkcji przyłożonego napięcia U (rys.5), a mianowicie:

$$R_{60} = \frac{U}{I_{60}} .$$

Bardzo istotne jest czy charakterystyka $R_{60} = f(U)$ przy wzroście napięcia jest regularna (monotonicznie malejąca krzywa 1), czy też jest nieregularna (krzywa 2). Każda nieregularność świadczy o zaawansowanym procesie starzenia się izolacji. Na podstawie charakterystyki $R_{60}=f(U)$ można wyznaczyć:

- napięcie przebicia izolacji:

$$\frac{U}{U_N} \begin{cases} > 3 \text{ - izolacja dobra,} \\ > 2 \text{ - izolacja dostateczna,} \\ < 1{,}5 \text{ - izolacja niedostateczna,} \end{cases}$$

- rezystancję izolacji:

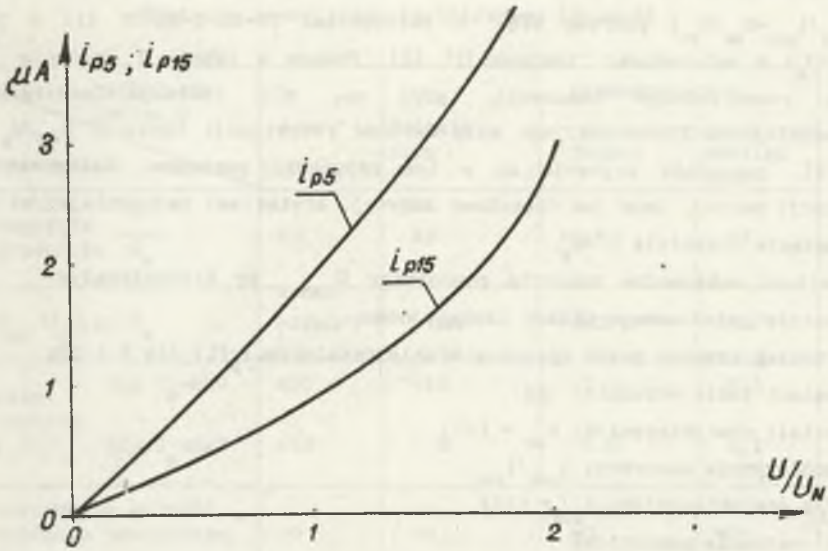
R_{60} przy U_N musi być większa od wartości wyliczonej z równania (1). Napięcie przebicia można określić tylko wówczas, gdy charakterystyka $R_{60} = f(U)$ ma przebieg regularny. Przy charakterystyce nieregularnej $R_{60} = f(U)$ napięcie przebicia U jest związane najczęściej z nagłym urwaniem się krzywej do wartości $R_{60} = 0$, stąd nieregularność charakterystyki $R_{60} = f(U)$ świadczy na niekorzyść jakości izolacji. Charakterystyka prądu ładowania pojemności układu izolacyjnego $i_p(t)$, zdjęta przy skokowym załączeniu napięcia stałego o wartościach np. $0{,}5U_N$; U_N; $2U_N$, jest źródłem informacji o pojemności wewnętrznej izolacji i o stałości jej parametrów przy różnych wartościach napięcia.

Jeśli

$$\frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{i_{p15}}{i_{p60}} > 1 \qquad \text{przy } \vartheta_o \geq 20^oC ,$$

to pojemności wewnętrzne C_1 i C_2 układu izolacyjnego są większe od zera. Z pomiaru $i_p(t)$ przy różnych napięciach można wyznaczyć zależność $i_{p15} = f(U)$ (rys.6).

Monotonicznie rosnąca charakterystyka $i_{p15} = f(U)$ dowodzi, że izolacja jest dobra , gdyż jej parametry w przedziale zmiany napięcia $U=0 - 2U_N$ nie ulegają skokowym zmianom.



Rys.6. Zależność prądu upływu i_{p5} oraz i_{p15} w funkcji napięcia. Charakterystyki dotyczą silnika indukcyjnego 1800kW; 6kV; 742ob/min.

Fig.6. Leakage current i_{p5} and i_{p15} versus voltage. The curves have been plotted for induction motor of 1800 kW , 6 kV, 742 rpm.

Stała wartość prądu upływu w stanie ustalonym $i_p(t \rightarrow \infty) \approx$ const świadczy na korzyść izolacji. Zmienność stochastyczna prądu upływu $i_p(t \quad \infty)$ (rys.3 krzywa 2) jest zjawiskiem ujemnym. Im większe są wahania prądu upływu $i_p(t)$, tym stan izolacji jest gorszy, izolacja jest rozwarstwiona i popękana. Takiemu stanowi izolacji odpowiada w schemacie zastępczym (rys.2) ciągłe działania iskierników 1,2,3 zwierających pojemności C_1 i C_2.

$$\frac{i_p(t)}{\frac{1}{T}\int_0^T i_p(t)dt} 100 \Bigg| \text{ dla } t \infty \begin{cases} (100 \pm 10)\% \text{ izolacja dobra,} \\ (100 \pm 50)\% \text{ izolacja dostateczna,} \\ (100 \pm 100)\% \text{ izolacja niedostateczna.} \end{cases}$$

Z powyższych przeprowadzonych rozważań można sformułować kryteria oceny stanu technicznego izolacji (tab.1). Z wymienioych w tabl.1 dziewięciu

kryteriów charakteryzujących stan techniczny izolacji, tylko jeden z nich ($i_{p15}/i_{p60}=R_{60}/R_{15}$) pokrywa się z zaleceniami PN-88/E-06701 [1] i jeden (R_{60}/U_N) z zaleceniami "instrukcji" [2]. Podane w tabeli 1 kryteria nie mają równorzędnego znaczenia, gdyż np. dla izolacji zawilgoconej najważniejszym kryterium jest mała wartość rezystancji izolacji $R_{60}/U_N < 1$ [kΩ/V], pozostałe kryteria są w tym przypadku pochodne. Natomiast dla izolacji suchej, lecz już częściowo zużytej, kryteriami najważniejszymi są:

- napięcie przebicia U/U_N,
- wartość maksymalna napięcia powrotnego U_{odmax} po krótkotrwałym zwarciu naładowanego układu izolacyjnego,
- przebieg czasowy prądu upływu w stanie ustalonym, $i_p(t)$ dla $t > 60s$.

Natomiast takie wskaźniki jak:

- kształt charakterystyki $R_{60} = f(U)$,
- współczynnik absorbcji i_{p15}/i_{p60},
- oraz charakterystyka $i_{p15} = f(U)$

mają znaczenie pomocnicze.

Bezwzględna ocena stanu izolacji, mimo dużej liczby kryteriow, jest oceną przybliżoną. Znacznie trafniejszą ocenę wyników badań mozna przeprowadzić, jeśli wyniki te porównuje się z wynikami pomiarów wykonanymi kilka lat wcześniej. Wówczas na zasadzie porównania można śledzić postępujące pogarszanie się parametrów izolacji. Można także z tych wyników wysnuć inne wnioski, np. maksymalna wartość napięcia powrotnego U_{odmax} zmierzonego 5 lat wcześniej wynosiła 600V, obecnie wynosi 300V. Wartości te świadczą o tym, ze wartość pojemności wewnętrznej C_1 i C_2 (rys.2) zmniejszyła się w przybliżeniu dwukrotnie.

Należy wyraźnie stwierdzić, ze sama rezystancja izolacji R_{60} nawet jeśli ma ona bardzo dużą wartość nie stanowi miarodajnej oceny dobrego stanu izolacji. Maszyny z izolacja zużytą (cieplnie i mechanicznie) lecz, gdy jest ona wysuszona, mają rezystancję bardzo dużą, jednak na tego typu izolacji nie zarejestruje się odbudowy napięcia ($U_{od}=0$), a przebieg czasowy prądu $i_p(t \quad \infty)$ będzie miał przebieg stochastyczny taki, jak na rys.3 krzywa 2.

Badania izolacji uzwojeń silnika, ktorych stan jest dobry, należy powtarzać przynajmniej co 5 lat, a w przypadku izolacji słabszej, o gorszych parametrach - okres między badaniami należy skrocić do 2 - 3 lat.

Tabela 1

Kryteria oceny stanu technicznego izolacji

Lp	stan techniczny izolacji / parametr	dobry	dostateczny	niedostateczny	
				zużyta	zawilgocona
1.	Napięcie przebicia $\frac{U}{U_N}$	>3	>2	<1,5	≈1
2.	R_{60}/U_N przy U_N	>10kΩ/V	>1kΩ/V	>1kΩ/V	<1kΩ/V
3.	Czas zwarcia t_z[s] dla U_N=6kV	≥30	≈10	1	0,1
	dla U_N<6kV	≥10	≈ 5	0,5	0,1
4.	Maksymalna wartość napięcia powrotnego $U_{od\ max}$	>0	>0	=0	=0
5.	Czas odbudowy napięcia T_{od} [s] dla U_N=6kV	>60	≈30	0	0
	dla U_N<6kV	>30	≈15	0	0
6.	$\frac{i_p(t)}{\frac{1}{T}\int_0^T i_p(t)dt} \cdot 100$ dla t ∞	<(100±50)	<(100±100)%	>(100±200)%	100%
7.	Kształt charakterystyki $R_{60}=f(U)$	opadający regularny	może by nieregularny	nieregularny	regularny
8.	$\frac{i_{p15}}{i_{p60}} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$	>1,5	>1	≈1	=1
9.	Charakterystyka $i_{p15} = f(U)$	liniowa	nieliniowa	nieliniowa	liniowa

LITERATURA

1. PN-88/E-06701 Maszyny elektryczne wirujące. Podstawowe wymagania i badania.
2. Instrukcja eksploatacji silników elektrycznych. Instytut Energetyki Ośrodek Normalizacji, 1976., s.36-43.
3. Stein Z.: Eksploatacja maszyn elektrycznych. Skrypt Politechniki Poznańskiej nr 1616, 1991 r.
4. Wajda D.: Issledovanija povrjeżdenij izolacji. Energija Moskwa 1968 s.68 - 82 i s.336-352.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Zbigniew Stein

Wpłynęło do Redakcji dnia 1 czerwca 1992 r.

A b s t r a c t

Neither in technical literature nor in exploiting practice there are determined criteria allowing the definition of the rate of wear of electrical machines windings' insulation. Figure 1 shows the equivalent scheme of machine's insulation system with insulation partially worn, both thermically and mechanically. the rate of insulation wear is represented by the spark gaps 1, 2, 3. the influence of spark gaps at a given voltage U shows itself in the course of leakage current - fig.2. As the insulation is used up, the value of the voltage U goes down, U being the starting point of spark gap action. The equivalent scheme (fig.1) is the basis for development of the variables characterizing the insulation's technical condition. These variables are shown in table 1. Apart from the hitherto known variables such as R_{60} and R_{60}/R_{15} some new ones have been suggested. The most important of these are:

- insulation breakdown voltage (U-Lp.1),
- the course of voltage reconstruction $U_{od}(t)$ after charging the insulation system to the voltage U_o, short - circuiting it for the time t_z and opening the short - circuit afterwards (Lp.3 and 4,5),
- the time course of leakage current $i_p(t)$ (Lp.6).

On the basis of these variables and the practical experience of engineers conducting the diagnostic testings it is possible to select the machines with worn insulation and give some prediction of their further work.