

Tadeusz Glinka, Artur Polak, Adam Decner
BOBRME Komel, Katowice

OBSERWACJA PROCESU STARZENIA IZOLACJI UZWOJEŃ MASZYN ELEKTRYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY NAPIĘCIA STAŁEGO

OBSERVATION OF THE AGING PROCESS OF ELECTRICAL MACHINES WINDINGS INSULATION USING THE METHOD OF DC VOLTAGE

Abstract: In majority of factories like cement mills, electric motors working there are subject to a considerable influence of weather conditions due to their location. A significant number of those machines are placed in the open air, and in some mills, in the period of increased air humidity, from November to March, the factory delays production and the planned repairs of production lines are implemented. In this period diagnostic tests of electrical machines are also carried out. Some of the tested motors have built-in heating systems what limits the soaking of the windings insulation, whereas others have no such heating systems and that is reflected in the received results.

The article presents a short history (2001-2007) of conducting diagnostic tests of insulation of medium voltage electric motors with the DC voltage method. The results of the tests and their influence on limiting repairs as well as tendencies of changes in motors working in fairly difficult exploiting conditions are presented.

1. Wstęp

W większości zakładów typu cementownia silniki elektryczne tam pracujące są poddawane znacznemu oddziaływaniu warunków atmosferycznych ze względu na ich miejsce zainstalowania. Znaczna część tych maszyn umieszczona jest na wolnym powietrzu, a w niektórych zakładach w okresie podwyższonej wilgotności powietrza: listopad – marzec, zakład wstrzymuje produkcję i przeprowadzane są planowe remonty linii produkcyjnych. W tym okresie prowadzone są również badania diagnostyczne maszyn elektrycznych. Niektóre z badanych silników posiadają zabudowane systemy grzewcze co ogranicza wchłanianie wilgoci przez izolację uzwojeń, niektóre nie posiadają takich urządzeń co odzwierciedla się w otrzymanych wynikach.

2. Diagnostyka izolacji napięcie stałym

Diagnostyka układu izolacyjnego uzwojeń maszyn elektrycznych napięciem stałym jest najprostszą metodą oceny stanu technicznego izolacji.

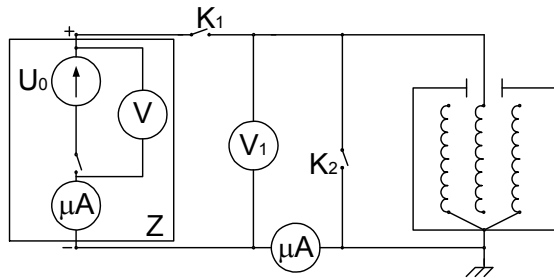
Metoda ta obejmuje trzy próby:

- wyznaczenie charakterystyki $R_{60} = f(U)$, o ile jest to możliwe w przedziale napięcia od zera do $2U_N$,
- zdjęcie przebiegu czasowego prądu upływu i_p po skokowym załączeniu, na całkowicie roz-

ładowany układ izolacyjny, napięcia stałego o wartości znamionowej $U_o = U_N$ bądź wyższej,

- naładowanie układu izolacyjnego do napięcia $U_o \geq U_N$ (do stanu ustalonego), następnie odłączenie napięcia zasilającego i zwarcie układu izolacyjnego na czas t_z po czym rozwarcie układu izolacyjnego i zdjęcie przebiegu odbudowy napięcia na układzie izolacyjnym

Pierwsze dwie próby są powszechnie stosowane w badaniach okresowych izolacji, gdyż są zalecane w instrukcjach eksploatacji maszyn elektrycznych. Jednak zakres tych prób ogranicza się zwykle do jednej wartości napięcia 2500V, 1000V, 500V i coraz częściej 5000V. W polecanym programie badań diagnostycznych rozszerza się zakres tych prób na wyznaczenie charakterystyki $R_{60} = f(U)$ o ile jest to możliwe do $2U_N$ i wyznaczenie $i_p = f(t)$ przy U_N . Badanie odbudowy napięcia (próba trzecia) jest próbą najważniejszą dla diagnostyki stanu technicznego izolacji i oceny stopnia jej zużycia.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do diagnostyki stanu technicznego izolacji

Badania przeprowadza się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys.1. Podstawowym elementem tego układu jest zasilacz Z napięcia stałego o wartości regulowanej w przedziale od zera do $2U_N$ mikroamperomierz i woltomierz elektrostatyczny oraz wyłączniki pozwalające realizować poszczególne próby.

W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznacza się następujące charakterystyki i parametry układu izolacyjnego:

- wykres rezystancji izolacji $R_{60} = f(U)$ w zakresie napięcia od 0 do $2U_N$ z którego określa się rezystancję R_{60} przy U_N ,
- z ekstrapolacji krzywej $R_{60} = f(U)$ szacuje się poziom napięcia przebicia U_p układu izolacyjnego,

- wykres odbudowy napięcia $U_{od}(t)$ na układzie izolacyjnym, z którego odczytuje się czas odbudowy t_{od} i wartość maksymalną odbudowanego napięcia $U_{od\max}$,
- współczynnik absorpcji układu izolacyjnego i_{p15}/i_{p60} ,
- poziom wahań prądu upływu $i_{p60\max}$ i $i_{p60\min}$ liczony po czasie $t > 60s$ od chwili załączenia napięcia (tzn. dla stanu ustalonego).

W tabeli 1 scharakteryzowano ocenę punktową stopnia degradacji izolacji w oparciu o wyznaczone parametry kryterialne.

Ocena napięcia przebicia jest ważnym parametrem diagnostycznym.

Napięcie przebicia $U_p \leq U_N$ może wystąpić w mocno zdegradowanej izolacji uzwojeń w maszynach prądu stałego.

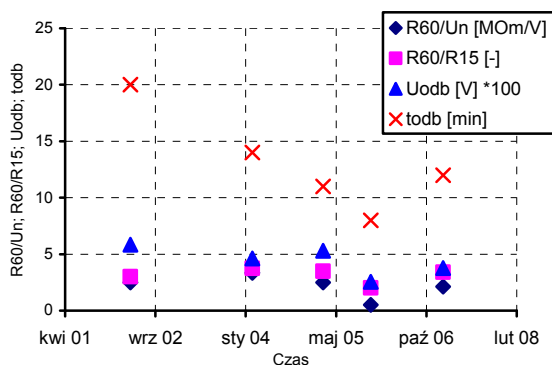
W oparciu o wartość rezystancji izolacji można ocenić czy izolacja nie jest zawilgocona, natomiast nie można, nawet w przybliżeniu, ocenić stopnia degradacji izolacji. Izolację zawilgoconą trudno jest sklasyfikować, najpierw należy ją wysuszyć, a następnie wykonać pomiary diagnostyczne. Sam fakt, że jeśli maszyna stoi (np. miesiąc) w pomieszczeniu w miarę suchym, a izolacja wchłania wilgoć i rezystancja jej spada, świadczy, że stopień jej degradacji jest znaczny (ocena co najwyżej 3).

Tabela 1. Kryteria oceny wyników badań

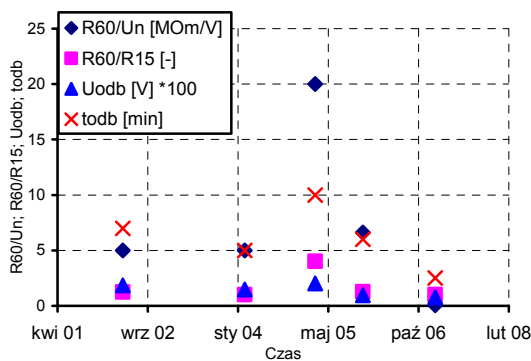
Lp	Parametr układu izolacyjnego	Ocena punktowa stanu technicznego izolacji						
		5	4	3	2	1	izolacja zawilgocona	
1	Napięcie przebicia U_p/U_N	>3	>3	>2	~1,5	~1	~1	
2	Rezystancja R_{60N}/U_N [kΩ/V]	przy $U_N = 6kV$	>50	>20	>10	>10	>10	<3
		przy $U_N < 1kV$	>50	>20	>10	>3	>1	<1
3a	Czas zwarcia dla t_z [s]	dla $U_N = 6kV$	30	30	30	1	1	0
		dla $U_N < 6kV$	10	10	10	1	0	0
3b	Maksymalna wartość odbudowanego napięcia $U_{od\max}/U_o$		>0,1	≥0,1	≥0,05	≥0,01	0	0
	Czas odbudowy napięcia t_{od} [s]	dla $U_N = 6kV$	>240	>120	>30	~10	0	0
		dla $U_N < 1kV$	>120	>60	>15	~5	0	0
4	Wahania prądu upływu przy U_N $\frac{i_{p60\max} - i_{p60\min}}{i_{p60\text{sr}}}$	<0,5	<1	>1	>1	>2	0	
5	i_{p15}/i_{p60}	$U_N = 6kV$	>1,5	>1,2	>1	1	1	1
		$U_N < 1kV$	>1,3	>1,1	>1	1	1	1

3. Pomiary diagnostyczne w cementowni

Pomiary diagnostyczne w jednej z cementowni prowadzone są systematycznie w każdym okresie remontowym przypadającym na zimę już od 2001 roku. Sześć lat prowadzenia diagnostyki dało około 120 pomiarów diagnostycznych. Niektóre z silników, zwłaszcza maszyny 6kV były badane kilkakrotnie, co dało pogląd na zmieniające się właściwości materiałów izolacyjnych. Wykonanie remontu izolacji jest od razu widoczne poprzez polepszenie parametrów izolacji i zmianę jej oceny na wyższą. Na poniższych rysunkach przedstawione są wyniki badań diagnostycznych izolacji maszyn o napięciu znamionowym $U_{NS}=6000V$; $U_{NW}=1680V$; moc znamionowa $P_N=2000kW$.



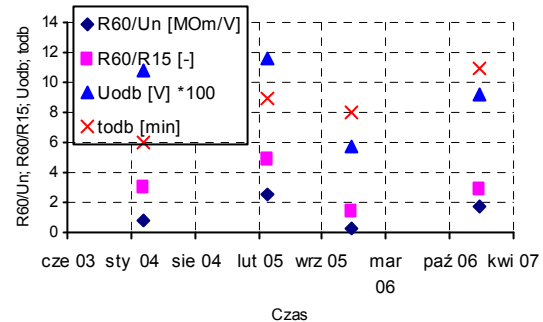
Rys. 2. Badania diagnostyczne stojana maszyny SyUe146t (silnik nr 1 młyna cementu A)



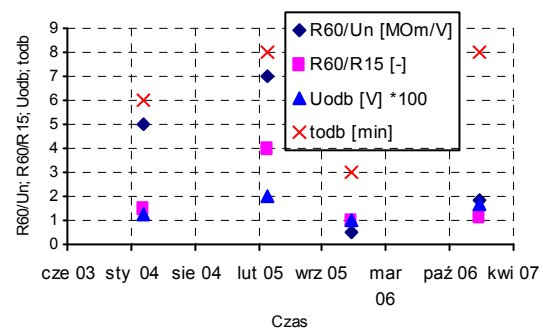
Rys. 3. Badania diagnostyczne wirnika maszyny SyUe146t (silnik nr 1 młyna cementu A)

Izolacja stojana silnika nr 1 młyna cementu A, którego wyniki przeprowadzonych diagnostyk zaprezentowano na rysunkach 2 i 3 wykazuje tendencję zniżkową, izolacja ulegała stopniowemu zużyciu. Natomiast wirnik tegoż silnika po dwóch pierwszych pomiarach został podany pracom remontowym – mycie, naprawa izolacji. Ostatni pomiar wykonany w styczniu 2007 pokazuje stan gorszy od pomiaru pierw-

szego – wykonanego w kwietniu 2002, stąd wniosek – przeprowadzona naprawa dała kilka lat spokojnej pracy maszyny, jednak stan techniczny układu izolacyjnego wirnika w tym czasie pogorszył się. Na kolejnych wykresach (rys. 4 i 5) prezentowane są wyniki badań następnego silnika.

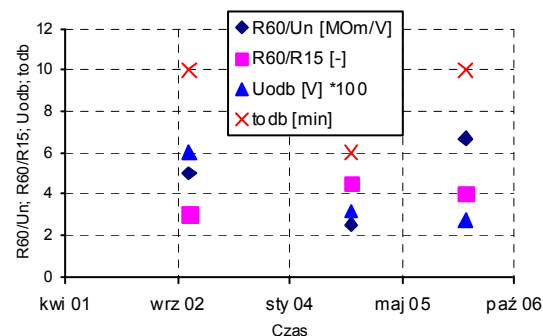


Rys. 4. Badania diagnostyczne stojana maszyny SyUe146t (silnik nr 2 młyna cementu A)

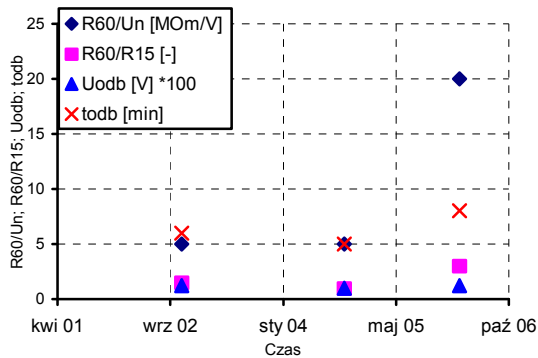


Rys. 5. Badania diagnostyczne wirnika maszyny SyUe146t (silnik nr 2 młyna cementu A)

Silnik nr 2 młyna cementu A, którego wyniki diagnostyki prezentowane są na rysunkach 3 i 4 w czasie objętym badaniami diagnostycznymi nie był remontowany. Zmiany parametrów widoczne na wykresach są powodowane różnym czasem postoju, temperaturą otoczenia i wilgotnością względną powietrza w jakich silnik przebywał bezpośrednio przed pomiarami.

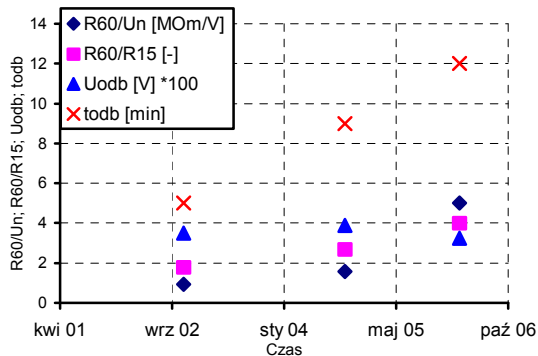


Rys. 6. Badania diagnostyczne stojana maszyny SyUe146t (silnik nr 1 młyna cementu B)

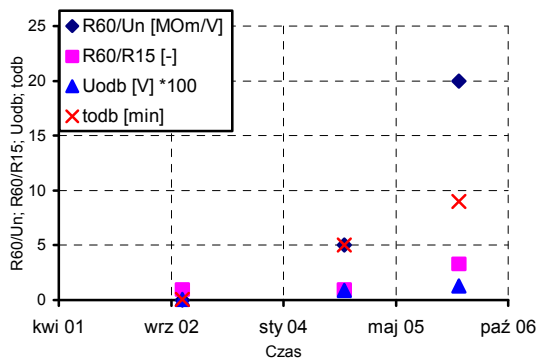


Rys. 7. Badania diagnostyczne wirnika maszyny SyUe146t (silnik nr 1 młyna cementu B)

Silnik nr 1 młyna cementu B w trakcie badań diagnostycznych był remontowany. Stojan i wirnik silnika były myte, naprawiona była izolacja uzwojeń.



Rys. 8. Badania diagnostyczne stojana maszyny SyUe146t (silnik nr 2 młyna cementu B)

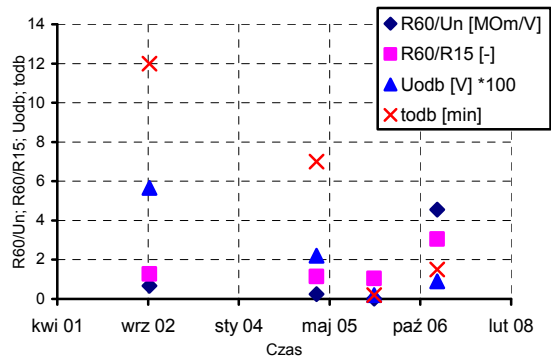


Rys. 9. Badania diagnostyczne wirnika maszyny SyUe146t (silnik nr 2 młyna cementu B)

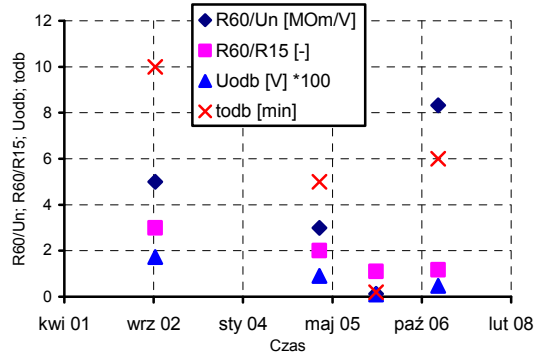
Silnik nr 2 młyna cementu B w okresie, w którym prowadzone były badania diagnostyczne poddany był remontowi. Stojan silnika był myty, naprawiona była izolacja uzwojeń, natomiast wirnik silnika był przewojony.

Jako ostatni przykład – wyniki silnika po remoncie. Od początku prowadzenia diagnostyki stwierdzono znaczne zużycie izolacji. Silnik

bardzo intensywnie absorbował wilgoć z powietrza. Aby go załączyć do sieci służby utrzymania ruchu na dwie lub trzy doby wcześniej załączały silnik na napięcie 400V w celu jego wysuszenia. Napięcia znamionowe silnika: $U_{NS}=6000V$; $U_{NW}=1160V$; moc znamionowa $P_N=1000kW$.



Rys. 10. Badania diagnostyczne stojana maszyny SZUre136t (wentylator)



Rys. 11. Badania diagnostyczne wirnika maszyny SZUre136t (wentylator)

Z przedstawionych wykresów silnika wentylatora wynika, że silnik ten osiągnął bardzo zdegradowany stan izolacji, w którym w każdej chwili mógł ulec uszkodzeniu. Decyzja właściciela silnika o przeznaczeniu go do kapitalnego remontu była słuszna i jak najbardziej uzasadniona. Pomiar wykonany w styczniu 2007 ukazują poprawę stanu izolacji w stosunku do wyników uzyskanych w poprzednich latach.

4. Wnioski

Przeprowadzając analizę wyników diagnostyki izolacji silników zainstalowanych w napędach cementowni można określić „czas życia” silnika. Służby odpowiedzialne za prowadzenie napraw i remontów silników mogą na podstawie posiadanych wyników określić terminy i zakresy przeprowadzanych prac remonto-

wych. Zestawiając otrzymane wyniki w sposób podobny do przedstawionych w artykule widać tendencje zachodzących zmian oraz ich intensywność.

Przed rozpoczęciem w 2001 roku diagnostyki maszyn elektrycznych w cementowni przeglądy i remonty były planowane według harmonogramu i były realizowane bez względu na stan maszyny. Dochodziły jeszcze remonty nieplanowane – po awarii silnika. Wiązało się to jeszcze oczywiście z nieplanowanym postojem i wynikającymi z tego stanu stratami. Po 2001 zmieniło się podejście służb utrzymania ruchu do remontów. Obecnie remonty planowane są na podstawie otrzymanych wyników z przeprowadzonej diagnostyki. Zakres remontów i ich ilość obniżyła się o ok. 50%. Koszty przeznaczone na wykonanie diagnostyki w danym sezonie są znikome w porównaniu z kosztami systematycznie prowadzonych prac remontowych. Koszty przeprowadzenia remontu jednego silnika wielokrotnie przewyższają koszty jego diagnostyki.

5. Literatura

- [1]. Glinka T.: *Klasyfikacja stopnia zużycia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych*. Przegląd Elektrotechniczny PL ISSN 0033-2097 Nr.9/2004, s. 852 – 855.
- [2]. Glinka T.: *Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle*. Wyd. BOBRME Komel w Katowicach ISBN 83-910585-4-9, 2002r.
- [3]. PN-98/E-04700. *Urządzenia i układy elektryczne. Wytyczne przeprowadzenia pomontażowych badań odbiorczych*.
- [4]. Glinka T.; Polak A.; Decner A.: *Wpływ czasu eksploatacji maszyn elektrycznych na stopień degradacji izolacji uzwojeń*. Wiadomości Elektrotechniczne nr 7-8/2005; ISSN0043-5112; str. 41-44
- [5]. Glinka T.; Polak A.; Decner A.: *Degradacja izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych pod wpływem czasu ich eksploatacji*. Zeszyty Problemowe Maszyn Elektrycznych nr 74/2006 str. 51-56
- [6]. Decner A.; Picheta B. *Diagnostyka izolacji metodą napięcia stałego w Cementowni Nowiny*. Zeszyty Problemowe Maszyn Elektrycznych nr 74/2006 str. 57-61