

Artur Polak
BOBRME KOMEL, Katowice

PRZYPADKI KOMPLEKSOWEJ OCENY STANU TECHNICZNEGO IZOLACJI METODAMI PRĄDU STAŁEGO

CASES OF A COMPREHENSIVE EVALUATION OF INSULATION TECHNICAL CONDITION USING DC METHODS

Abstract: Condition diagnostic of turn-to-turn insulation, using the method of fuzzy wave is based on breaking the passage of current in the circuit with tested coil or winding what generate a voltage wave. This voltage is exactly the same on each turn. The frequency of generated voltage depends solely on the parameters of the winding, not on the supply and parameters of insulation, what is described in [1] and [3]. Described method is a supplement of diagnostic method of main insulation with DC voltage, named method of prof. Glinka.

1. Wstęp

Zasilanie silników z układów energoelektronicznych (falowników, komutatorów elektronicznych itp.) charakteryzuje się krótkimi czasami narastania napięcia (dU/dt). Parametr ten ma negatywny wpływ na kondycje układów elektroizolacyjnych. Z podobnymi zjawiskami spotykamy się w przypadku silników trakcyjnych, gdzie zjawiskiem permanentnie występującym są przepięcia sieciowe (występujące m.in. z powodu utraty połączenia na pantografie lub przejścia z jednej do drugiej sekcji zasilania trakcji). W obu wymienionych przypadkach szczególnemu narażeniu podlega izolacja zwojowa i jest jednym z powodów szybszego starzenia się izolacji.

Uszkodzenia układów izolacyjnych, w większości przypadków rozpoczynają się właśnie od zwarć zwojowych, które postępując doprowadzają do awarii izolacji głównej - doziemienia lub zwarcia międzyfazowego.

W celu oceny stanu technicznego izolacji maszyn opracowano kompleksową i jednolitą metodę diagnozowania stanu technicznego izolacji uzwojeń, która może być wykorzystywana w praktyce przemysłowej bez potrzeby budowania skomplikowanej aparatury pomiarowo-badawczej.

2. Ocena stanu technicznego izolacji głównej

Promowana od wielu lat przez zespoły badawczo-diagnostyczne w Polsce, Republikach Czeskiej i Słowackiej metoda prof. T. Glinki oparta o pomiary napięciem stałym. Diagnostyka ukła-

du elektroizolacyjnego napięciem stałym obejmuje trzy zasadnicze próby:

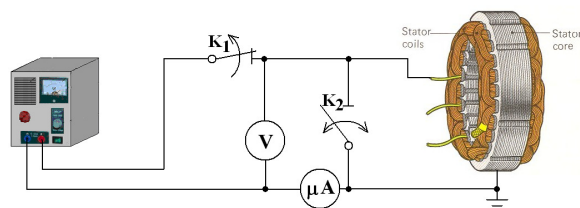
- wyznaczenie charakterystyki $R_{60} = f(U)$, o ile jest to możliwe w przedziale napięcia od zera do $2U_N$,
- wyznaczenie przebiegu czasowego prądu upływu i_p po skokowym załączeniu, na całkowicie rozładowany układ elektroizolacyjny, napięcia stałego o wartości $U_o = U_N$ bądź $U_o = 500V$ w przypadku maszyn o napięciu zasilania $U_n < 500V$,
- 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 $U_{od}(t)$. Pierwsze dwie próby są powszechnie stosowane w badaniach okresowych izolacji, gdyż są zalecane w instrukcjach eksploatacji maszyn elektrycznych, zwłaszcza wysokonapięciowych. Jednak zakres tych prób ogranicza się zwykle do jednej wartości napięcia 2500V, 1000V, bądź 500V.

W zalecanym zakresie prób badań diagnostycznych rozszerza się próby o wyznaczenie charakterystyki $R_{60} = f(U)$, o ile jest to możliwe do $2U_N$ i wyznaczenie $i_p = f(t)$ przy U_N . Program tych prób jest wpisany do Polskiej Normy PN-E-04700 jako próba dodatkowa.

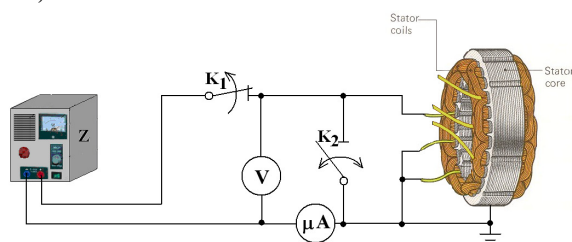
Trzecia próba - wyznaczenie odbudowy napięcia jest próbą najważniejszą dla diagnostyki stanu technicznego izolacji i oceny stopnia jej zużycia. Pomiar mający na celu wyznaczenie

odbudowy napięcia przeprowadza się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys.1, a złożonym z:

- zasilacza napięcia stałego Z o regulowanej wartości napięcia w przedziale od zera do $2U_N$,
- mikroamperomierza μA ,
- woltomierza V o wysokiej rezystancji wewnętrznej ($R_{we} > 1T\Omega$),
- wyłączników K_1 i K_2 pozwalających realizować poszczególne próby.



a) uzwojenie stojana bez wyprowadzonego punktu neutralnego i możliwości jego rozłączenia,



b) uzwojenie stojana z wyprowadzonymi końcówkami pasm uzwojenia,

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

Na podstawie uzyskanych wyników poszczególnych prób wyznacza się:

- wartość rezystancji R_{60} przy U_N ,
- współczynnik absorpcji układu elektroizolacyjnego i_{p15}/i_{p60} ,
- poziom wahań prądu upływu i_{p60max}/i_{p60min} dla stanu ustalonego,
- wartość napięcia odbudowy $U_{odb}(t)$, oraz czas trwania odbudowy.

Przedstawiona metoda diagnostyki izolacji głównej została zamknięta przejrzystą i spójną skalą oceny stanu technicznego izolacji [3].

Dalszy wzrost popularności metody diagnostyki izolacji głównej jest spowodowany:

- dostępnością aparatury pomiarowej niezbędnej do wykonania pomiarów,
- stosunkowo krótkim czasem realizacji pomiarów,
- oraz czytelną interpretacją wyników badań.

Tabela 1. Kryteria oceny wyników badań

Lp	Parametr układu izolacyjnego	Ocena stanu technicznego izolacji						
		5	4	3	2	1	Wilgotna	
1	Rezystancja R_{60}/U_N [kΩ/V]	przy $U_N = 6kV$	>50	>20	>10	>10	>10	<3
		przy $U_N < 1kV$	>50	>20	>10	>3	>1	<1
2a	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
2b	Maksymalna wartość odbudowanego napięcia U_{odmax}/U_0		>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
		dla $U_N < 1kV$	>120	>60	>15	~5	0	0
3	Wahania prądu upływu przy U_N $\frac{i_{p60max} - i_{p60min}}{i_{p60sr}}$		<0,5	<1	>1	>1	>2	0
4	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. Ocena stanu technicznego izolacji zwojowej

Metoda rozmytej fali napięciowej stanowi uzupełnienie stosowanej od wielu lat kompleksowej oceny izolacji głównej metodą polaryzacyjną prądu stałego tzw. metodą T. Glinki. Diagnostowanie stanu izolacji zwojowej z wykorzystaniem metody tzw. fali rozmytej polega na wygenerowaniu napięcia w badanym uzwojeniu w chwili wyłączania prądu stałego. Napięcie to rozkłada się równomiernie na poszczególnych zewojach. Częstotliwość generowanego napięcia zależy wyłącznie od parametrów uzwojenia, parametrów izolacji zwojowej uzwojenia, co opisano szczegółowo w [1] i [3].

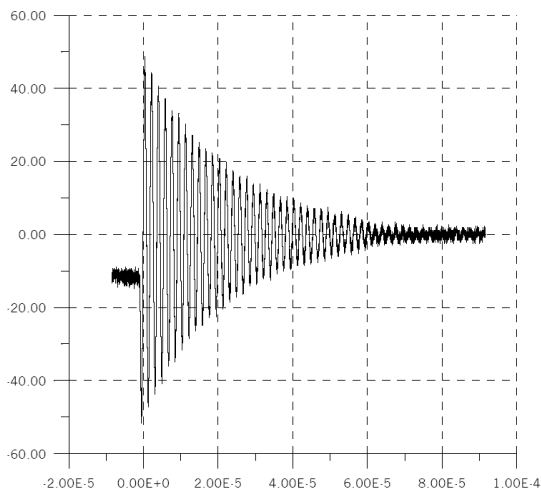
4. Krótki opis realizacji pomiarów w metodzie fali rozmytej

Proponowana metodyka realizacji badań polega na zasileniu badanego obwodu prądem stałym o wartości z przedziału 5 - 10% wartości prądu znamionowego badanej maszyny (w miarę możliwości pomiary uzwojeń każdej fazy przeprowadzamy oddzielnie, w przypadku braku takiej możliwości pomiary można wykonać na uzwojeniach połączonych ze sobą).

Ocenę stanu technicznego uzwojenia przeprowadza się w oparciu o następujące wielkości:

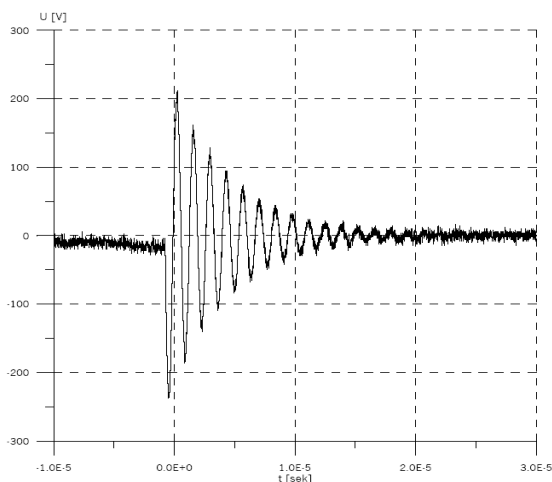
- częstotliwość napięcia indukowanego,
- kształt napięcia indukowanego,
- tłumienie napięcia indukowanego, po wyłączeniu prądu probierczego.

Na poniższych rysunkach przedstawiono zarejestrowane przebiegi napięcia, które wyindukowało się na cewkach o izolacji zwojowej w różnej kondycji technicznej:



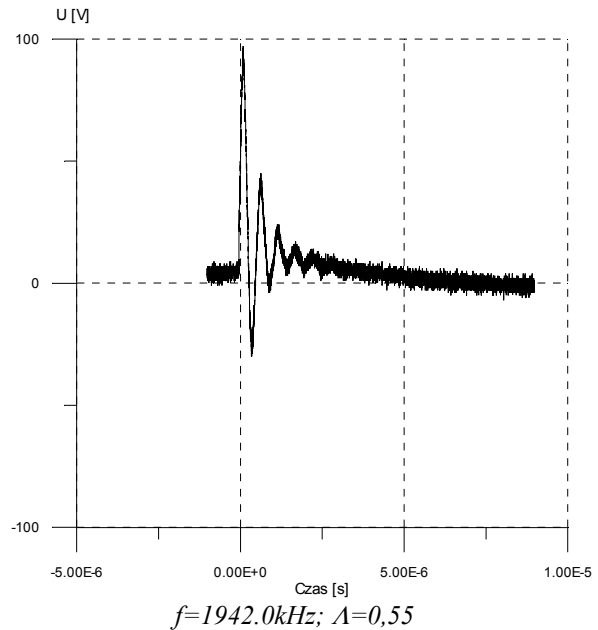
$$f=555\text{kHz}; \Lambda=0,11$$

Rys.2. Przebieg czasowy napięcia na cewce silnika Sh355H2C o zdrowej izolacji zwojowej



$$f=737,6\text{kHz}; \Lambda=0,35$$

Rys. 3. Przebieg czasowy napięcia na cewce silnika SZDvc198rE o zużytej izolacji zwojowej



$$f=1942.0\text{kHz}; \Lambda=0,55$$

Rys. 4. Przebieg czasowy napięcia na cewce silnika o zniszczonej izolacji zwojowej

Stopień tłumienia przebiegu określono wyznaczając logarytmiczny dekrement tłumienia Λ .

5. Ocena stopnia degradacji izolacji zwojowej na podstawie analizy wyników pomiarowych

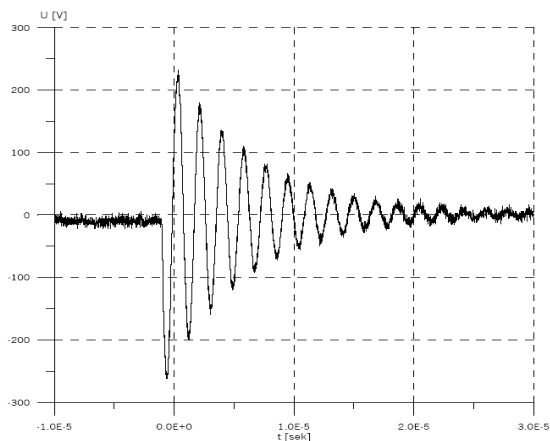
Ocena stopnia degradacji izolacji zwojowej może być przeprowadzana w odniesieniu do pomiarów uzyskanych na identycznych cewkach (pomiar uzwojeń silnika wielofazowego-pomiar każdej cewki oddzielnie), lub diagnoza może zostać wydana na podstawie trendu zmian zaobserwowanego w określonej perspektywie czasu.

Przykładowe wyniki pomiarów zestawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2. Pomiar częstotliwości generowanego napięcia przy różnych wartościach rezystancji R_D - rezystancja bocznikująca 1/3 uzwojenia cewki

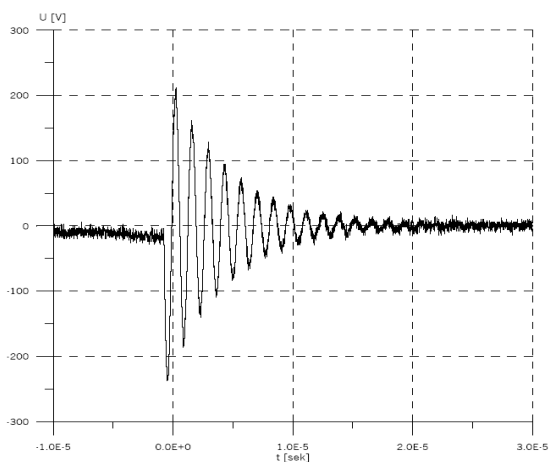
Lp	R_D	f	Λ
	k Ω	kHz	
1	∞	541	0,16
2	100000	598	0,18
3	10000	595	0,18
4	1000	586	0,20
5	100	588	0,19
6	10	587	0,21
7	<1	543	0,54

W przypadku realizacji tzw. pomiaru punktowego możliwe jest wykrycie jedynie izolacji całkowicie zniszczonej. W przypadku izolacji zużytej o obniżonych parametrach technicznych określenie poziomu tego zużycia jest praktycznie niewykonalne, co można zauważyć porównując wyniki pomiarów prezentowane na rys. 5 i 6.



$$f=541\text{kHz}; A=0,31$$

Rys. 5. Przebieg czasowy napięcia na cewce uzwojenia stojana silnika SZDVC198rE - uzwojenie nowe



$$f=737,6\text{kHz}; A=0,35$$

Rys. 6. Przebieg czasowy napięcia na cewce uzwojenia stojana silnika SZDVC198rE – uzwojenie zużyte

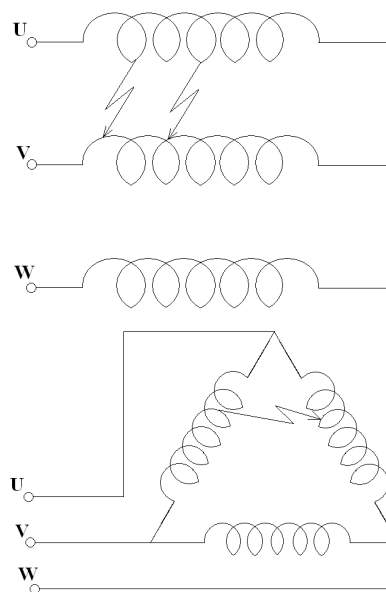
6. Wykorzystanie metody rozmytej fali napięciowej w diagnostyce stanu izolacji głównej

Ocena stanu izolacji głównej znacznie się komplikuje w przypadku pomiarów uzwojeń, których pasma poszczególnych faz są połączone galwanicznie bez możliwości ich rozłączenia (np. uzwojenia z nie wyprowadzonym pkt.

neutralnym, uzwojenia połączone wewnętrznie w trójkąt itp.).

W takich przypadkach pomiary rezystancji izolacji sprowadzają się jedynie do wyznaczenia rezystancji izolacji pomiędzy uzwojeniami, a rdzeniem. Z taką samą sytuacją mamy do czynienia w przypadku oceny stanu izolacji innymi metodami np. metodą wyładowań niezupełnych off-line, metodą prof. Glinki, wyznaczenie współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ itd. Oceniamy jedynie stan izolacji pomiędzy uzwojeniem, a rdzeniem badanej maszyny (silnika lub generatora).

Liczne awarie uzwojenia są wynikiem wystąpienia przebicia izolacji pomiędzy dwoma pasmami (fazami). Awarii te często zaliczane są do awarii izolacji zwojowej, co jest błędem, gdyż są to przykłady awarii izolacji głównej.



Rys. 7. Zwarcie między pasmami uzwojeń

Rzetelna ocena stanu technicznego izolacji głównej uzwojeń jest możliwa do wykonania jedynie w przypadku dostępu do obu końców uzwojenia każdej fazy i możliwości rozłączenia punktu wspólnego faz uzwojenia.

W przypadku pomiarów przeprowadzanych na uzwojeniach maszyn, gdzie nie ma możliwości rozłączenia pasm uzwojeń wydaje się słuszne wykorzystanie do oceny stanu technicznego metod przeznaczonych do badań izolacji zwojowej takich jak np. wcześniej opisana w pkt.3 niniejszej publikacji, metoda rozmytej fali napięciowej.

Wieloletnie badania diagnostyczne prowadzone przez autora oraz wykonane ekspertyzy awarii

układów elektroizolacyjnych stały się podstawą przedstawienia postulatów, aby:

- wytwórcy maszyn elektrycznych uwzględniali przy projektowaniu i wytwarzaniu maszyn konieczność odłączania każdego pasma (fazy) uzwojenia poprzez zastosowanie technik nieinwazyjnych np. połączeń śrubowych.
- zamawiający, kupujący maszynę powinni uwzględniać potrzebę przeprowadzania rzetelnych badań diagnostycznych zainstalowanych maszyn w długiej perspektywie czasu ich eksploatacji.

7. Literatura

- [1]. A. Decner, T. Glinka, A. Polak, *Kryteria oceny zużycia izolacji zwojowej* Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 81/2009 str.51.
- [2]. A. Decner, T. Glinka, A. Polak, J. Zawilak: *Izolacja zwojowa – badania diagnostyczne*. Przegląd Elektrotechniczny nr 12/2008.
- [3]. Patent Pat 210409 - Sposób badania diagnostycznego izolacji zwojowej. BOBRME Komel.
- [4]. A. Polak: Cases of a comprehensive evaluation of isolation technical condition using dc voltage method. Conference on Electrical Engineering, XIICLEEE Ponta Delgada - Azores, Portugal.

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy”, nr projektu N N504 4359 37.