

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

BADANIA DIAGNOSTYCZNE IZOLACJI ZWOJOWEJ

DIAGNOSTIC TESTS METHOD OF TURN TO TURN INSULATION

Abstract: Testing of main insulation in electrical machines is known well. Testing methods of main insulation are described in literature [1, 2]. For now, there is no develop a method for testing of turn to turn insulation. Statistic of windings damages shows that most of these damages begun in insulation between turns. The main insulation and insulation between turns is made with similar kind of dielectric material, but aging process of those two insulations is not similar. The insulation of turn is aging faster then the main insulation because the working temperature is higher for turn insulation then for main insulation. The article describes the schema of turn to turn insulation and results of simulations. Simulations were made with breaking of dc current in tested coil and turning on the voltage on tested coil. The article shows differences between methods.

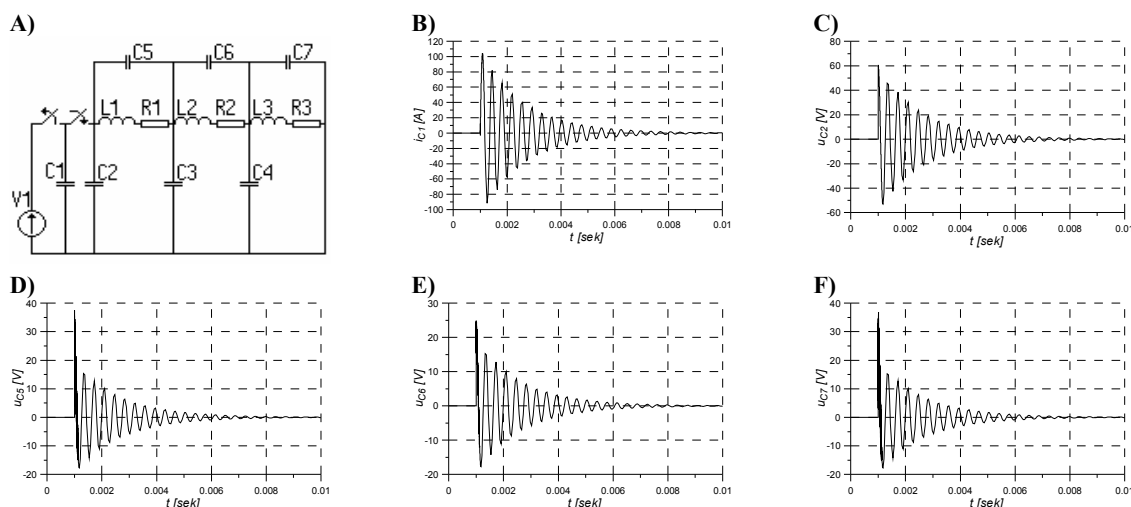
1. Badanie izolacji zwojowej udarami napięciowymi

Znana jest metoda badań izolacji zwojowej udarami napięciowymi (rys.1). Metoda ta jest stosowana na automatycznych taśmach produkcyjnych do sprawdzania izolacji wirników maszyn komutatorowych tj. wykrywania zwarć międzydziałkowych na komutatorze [4]. Metoda ta w tych badaniach sprawdza się, gdyż rezystancja izolacji zwojowej, przy zwartym zwoju (zwartych dwóch sąsiednich działkach komutatora) jest równa zero. Przyłączając do uzwojenia, naładowany do napięcia U_1 , kondensator C_1 , rejestruje się przebieg zanikania prądu w obwodzie. Przebieg tego prądu będzie różny przy dobrym uzwojeniu i przy zwartych działkach komutatora (uszkodzonej izolacji międzydziałkowej). Przyłączając ten sam kondensator naładowany jednakowym napięciem U_1 do różnych (kolejnych) par wycinków komutatora można porównywać zarejestrowane przebiegi prądu rozładowania z wzorcowym zarejestrowanym dla takiego samego uzwojenia dobrego. Czynione są próby zastosowania tej metody do badań diagnostycznych izolacji zwojowej. Produkowana jest także specjalistyczna aparatura do tego celu. Załączanie na uzwojenie, naładowanego do napięcia U_1 , kondensatora C_1 , powoduje na uzwojeniu szybko narastający udar napięcia o dużej wartości i znacznej energii ($0,5 CU_1^2$). Napięcie to wzbudza w obwodzie kondensator C_1 - uzwojenie, prąd, którego przebieg, w zależności od parametrów obwodu, jest oscylacyjnie zanikający lub aperiodycznie zanikający. Przebieg zanikania prądu, porównuje się z przebiegiem wcześniej zarejestrowanym (dla uzwojenia dobrego lub nowego) i na tej

podstawie ocenia się w jakim stopniu izolacja zwojowa pogorszyła się. Metoda ta jest niejednoznaczna, wykonując pomiary różną aparaturą można otrzymać różne wyniki. Czy zatem wyniki te można ze sobą porównywać? Wykażemy na przykładzie, że w zależności od parametrów źródła zasilania (pojemności kondensatora źródłowego C_1), przebiegi zanikania prądu są różne. Model symulacyjny uzwojenia, na którym przeprowadzono obliczenia składa się z trzech zezwojów. Każdy zezwój ma identyczne parametry wewnętrzne: indukcyjności $L_1 = L_2 = L_3$, rezystancje $R_1 = R_2 = R_3$, pojemności izolacji zwojowej $C_5 = C_6 = C_7$ i pojemności izolacji głównej $C_2 = C_3 = C_4$. Przewody łączące kondensator źródłowy C_1 z uzwojeniem mają parametry L_p, R_p, C_p . Wartości liczbowe parametrów schematu zastępczego określono pomiarowo dla jednego zezwoju znajdującego się w powietrzu. Do pomiarów wykorzystano zezwój odzyskany z demontażu uzwojenia twornika maszyny indukcyjnej o napięciu 6 kV i mocy znamionowej 800 kW, który ma następujące parametry:

- rezystancje zezwojów - $R_1 = R_2 = R_3 = 0,01 \Omega$;
- indukcyjności zezwojów - $L_1 = L_2 = L_3 = 10 \mu\text{H}$,
- pojemności izolacji głównej - $C_2 = C_3 = C_4 = 10 \text{ nF}$,
- pojemności izolacji zwojowej - $C_5 = C_6 = C_7 = 10 \text{ nF}$.

W obliczeniach pominięto parametry przewodów łączących - $L_p = 0 \mu\text{H}$, $R_p = 0 \Omega$, $C_p = 0 \text{ F}$.



Rys. 1. Schemat zastępczy a) i przebieg prądu b) oraz przebiegi napięcia U_{C2} c), napięcia U_{C5} d), napięcia U_{C6} e), napięcia U_{C7} f) przy załączeniu napięcia na symulowany schemat zastępczy uzwojenia

Tabela 1. Charakterystyczne parametry obliczonych sygnałów przy załączeniu napięcia na symulowany schemat zastępczy uzwojenia

Lp	Zwoje	C_1	U_1	I	U_{C2}	U_{C5}	U_{C6}	U_{C7}	f	czas zani.
		μF	V	A	V	V	V	V	kHz	ms
1	3*	100	60	103	58	32	25	36	2,7	7
2	2**	100	60	128	58	44	0	44	3,3	7
3	3*	1000	60	282	60	35	25	35	0,9	8
4	2**	1000	60	360	60	44	0	44	1,1	7
5	3*	470	60	210	60	35	25	36	1,2	7,5
6	2**	470	60	260	60	42	0	42	1,5	7,2
7	3*	470	12	10,4	10,4	7,5	5	6,8	1,2	7,5
8	3*	470	120	415	120	72	50	70	1,2	7,5

3* - trzy zwoje mają izolację dobrą,

2** - dwa zwoje skrajne mają izolację dobrą, zwoj środkowy jest zwarty.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat symulacyjny (rys.1a) i obliczone przebiegi poszczególnych wielkości:

- prądu pobieranego z kondensatora źródłowego C_1 , (rys. 1b),
- napięcia na kondensatorze C_2 , - jest to także napięcie na zwoju (rys. 1c),
- napięcia na kondensatorach C_5 , C_6 , i C_7 - są to napięcia na kolejnych zewojach połączonych szeregowo (rys. 1d, e, f).

Symulacje przeprowadzono przy zmienianych parametrycznie:

- napięciu $U_1 = 12 \text{ V}$ i 60 V i 120 V ,

- pojemności kondensatora źródłowego $C_1 = 100 \mu\text{H}$, $470 \mu\text{H}$ i $1000 \mu\text{H}$.

Przebiegi prądu i napięć obliczono dla dwóch przypadków przyjmując, że:

- wszystkie trzy zewoje dobre,
- zewoj środkowy zwarty.

Wyniki obliczeń przedstawiono w formie wykresów czasowych na rysunku 1 natomiast charakterystyczne wielkości zestawiono w tabeli 1.

Z przebiegów napięć na poszczególnych zewojach widać, że:

- dla uzwojenia dobrego, wartość maksymalna napięcia zewoju środkowego jest

mniejsza o 30 % od napięć na zewzwojach skrajnych, co dowodzi, że zewzwoje są badane przy różnych napięciach udarowych, w zależności od ich położenia,

- porównując przebiegi prądu i napięcia, przy identycznych parametrach zasilania, na uzwojeniu dobrym i przy zwartym zewzwoju środkowym widać, że przy zwartym zewzwoju okres oscylacji jest mniejszy o 20 %, wartość maksymalna (pierwsza amplituda) prądu jest większa, przy zwartym zewzwoju o 20 %,
- pojemność kondensatora źródłowego C_1 ma istotny wpływ na częstotliwość oscylacji prądu i napięcia, np. przy pojemności 100 μF częstotliwość oscylacji wynosi $2,5 \times 10^6$ Hz, a przy pojemności 10 razy większej częstotliwość oscylacji wynosi $0,75 \times 10^6$ Hz, a więc zmniejsza się 3,3 krotnie.

Z przedstawionych wyników widać, że przebiegi zanikania prądu i napięcia na uzwojeniu (tylko te parametry można w praktyce rejestrować na badanych maszynach) silnie zależą od parametrów źródła generującego napięcie udarowe. Zarejestrowane wyniki są zatem nie porównywalne jeśli nie ma wzorca.

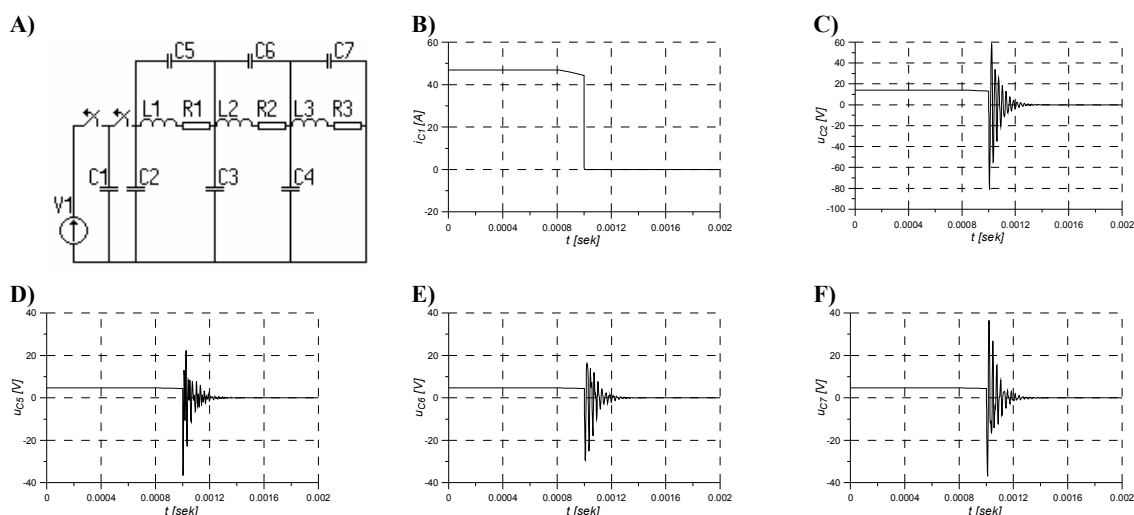
2. Badanie izolacji zwojowej przez wyłączenie prądu stałego

Drugi sposób badania izolacji zwojowej został zaproponowany przez autorów [4]. Polega on na badaniu fali napięciowej wzbudzonej w uzwojeniu po wyłączeniu prądu stałego. Na rysunku 2a przedstawiono schemat układu, w którym przeprowadzono obliczenia symulacyjne wyłączenia prądu stałego płynącego w uzwojeniu. Obliczenia przeprowadzono przy różnych wartościach wyłączanego prądu.

Z obliczonych przebiegów prądu i napięć na poszczególnych zewzwojach (rys. 2b, c, d, e, f) określono wielkości charakterystyczne, które zestawiono w tabeli 2.

Z danych tych widać, że częstotliwość oscylacji nie zależy od wartości prądu przerywanego, jak również od parametrów zewnętrznych układu C_1 i U_1 . Częstotliwość zależy od parametrów schematu zastępczego uzwojenia. Dla izolacji dobrej częstotliwość oscylacji jest równa 40 kHz. Dla zwartego zwoju środkowego częstotliwość oscylacji wzrasta do 50 kHz.

Natomiast fala napięciowa generowana w uzwojeniu przy przerywaniu prądu nie rozkłada się równomiernie na poszczególnych zwojach: na zwoju środkowym napięcie U_{C6} jest o kilka procent mniejsze niż na zwojach skrajnych U_{C5} i U_{C7} . Jednak różnice napięć są znacznie mniejsze niż w przypadku załączania napięcia udarowego na to uzwojenie.



Rys. 2. Schemat zastępczy a) i przebieg prądu b) oraz przebiegi napięcia U_{C2} c), napięcia U_{C5} d), napięcia U_{C6} e), napięcia U_{C7} f) przy przerywaniu prądu płynącego przez symulowany schemat zastępczy uzwojenia

Tabela 2. Charakterystyczne parametry zarejestrowanych sygnałów przy przerywaniu prądu płynącego przez symulowany schemat zastępczy uzwojenia

Lp	zwoje	$C_1 \times 10^3$	U_1	I	U_{C2}	U_{C5}	U_{C6}	U_{C7}	f
		μF	V	A	V	V	V	V	kHz
1	3*	10	15	47	80	35	30	35	40
2	2**	10	15	63	97	60	0	60	50
3	3*	1	15	35	58	20	18	20	40
4	2**	1	15	27	91	22	0	25	50
5	3*	100	15	46,5	85	37	31	37	40
6	2**	100	15	67	105	65	0	62	50
7	3*	10	30	88	160	70	60	70	40
8	2**	10	30	178	300	140	0	140	50

3* - trzy zwoje mają izolację dobrą,

2** - dwa zwoje skrajne mają izolację dobrą, zwój środkowy jest zwarty.

3. Wnioski

Przeprowadzono badania symulacyjne napięć na uzwojeniu modelowym złożonym z trzech zezwojów przy:

- załączaniu naładowanego kondensatora na uzwojenie i
- wyłączaniu prądu stałego płynącego w uzwojeniu.

Symulowano zanikanie fali napięciowej w uzwojeniu przy:

- uzwojeniu dobrym i
- zwartym jednym zezwoju.

Wyniki wskazują, że przy załączaniu naładowanego kondensatora na uzwojenie, fala napięciowa rozkłada się nierównomiernie na poszczególne zezwoje. Najniższe napięcie jest na zezwoju środkowym. Częstotliwość oscylacji zanikania fali napięciowej zależy od pojemności kondensatora źródłowego.

Fala napięciowa generowana w uzwojeniu przy wyłączaniu prądu stałego rozkłada się bardziej równomiernie na poszczególnych zezwojach, a jej częstotliwość zależy wyłącznie od parametrów uzwojenia. Zwarcie zwoju środkowego w modelu uzwojenia powoduje wzrost częstotliwości oscylacji o 25%. Wydaje się zatem, że jest to najlepszy parametr do oceny diagnostycznej izolacji zwojowej uzwojenia.

Literatura

- [1]. Glinka T.: *Klasyfikacja stopnia zużycia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych*. Przegląd Elektrotechniczny. Nr 9/2004, str. 852 – 855.
- [2]. Glinka T., Polak A., Decner A.: *Obserwacja procesu starzenia izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych z wykorzystaniem metody napięcia stałego*. Proc. SME 2007. Pol. Poznańska. ISBN 978-83-921340-39.
- [3]. Schlichting St.: *Strsspannungsprufung von Ankerwicklungen*. Elektro Automation, 1996 nr 3.
- [4]. Zgłoszenie patentowe P 382388. *Układ pomiarowy i metoda badania izolacji zwojowej*. BOBRME Komel.