

WIRNIK SILNIKA PUSZKOWEGO JAKO NARZĘDZIE DIAGNOSTYCZNE UZWOJEŃ PRZY MAŁOSERYJNEJ PRODUKCJI LUB REMONTACH SILNIKÓW

ROTOR OF A CUP MOTOR AS A HANDY TOOL FOR WINDINGS CONNECTION TESTING AT SMALL SCALE MANUFACTURE OR REPAIR SHOPS

Abstract: A new, simply method for final connection testing of repaired or small scale manufactured three phase stator windings of induction motors. The testing is carried out before final assembly of the motor (the rotor outside). Presented simply method was successfully tested at control desk of the Research and Development Centre of Electrical Machines Komel, Katowice.

1. Wstęp

Dla prawidłowego połączenia uzwojeń w maszynach indukcyjnych niezbędna jest znajomość początków i końców zwojów (zezwojów) tworzących poszczególne pasma uzwojeń silników. Pomimo symetrii rezystancji poszczególnych faz poprawnie wykonanego uzwojenia, na skutek mylnego połączenia początków i końców jednego pasma uzwojenia lub jednej z faz, przy pracy generatorowej takiej maszyny powstaje niesymetryczny układ napięć, a przy pracy silnikowej niesymetria prądów. Poprawność wykonania uzwojeń maszyn indukcyjnych, tak nowo wyprodukowanych jak i maszyn remontowanych, sprawdzana jest według przyjętych procedur oraz metod pomiarowych. Ocena stanu technicznego zmontowanych maszyn nie przedstawia żadnych trudności i dokonywana jest w oparciu o uzyskane wyniki z próby podczas tzw. prób wyrobu, przeprowadzanej przez producenta lub zakład remontowy. Na zmontowanej maszynie wszelkie błędy w połączeniach uzwojeń ujawniają się w wyznaczanych parametrach, np. w asymetrii prądów fazowych, prędkości obrotowej biegu jałowego itp. Odrębnym zagadnieniem jest diagnozowanie wykonanych połączeń pomiędzy zezwojami bądź grupami zezwojów tworzących pasma w stojanie maszyny indukcyjnej po jej uzwojeniu, a więc z wyjętym wirnikiem. Ten przypadek został omówiony w artykule.

2. Sposoby identyfikacji początków i końców zezwojów oraz poszczególnych faz uzwojenia

W maszynach indukcyjnych już na etapie procesu produkcyjnego istotne znaczenie ma między innymi:

- jednoznaczne określenie początków i końców poszczególnych faz wielofazowego uzwojenia,
- przyporządkowanie oznaczeń poszczególnych faz następujących po sobie tak, aby uzyskać określony kierunek wirowania,
- sprawdzenie poprawności połączeń początków i końców zezwojów łączonych w grupy lub gałęzie równoległe w pasmach fazowych.

W przypadku produkcji wielkoseryjnej i maszynowym uzwojeniu pakietów stojanów mało prawdopodobne są pomyłki w wykonaniu połączeń na czołach uzwojeń. Natomiast w produkcji małoseryjnej lub jednostkowej, w tym również podczas remontu uszkodzonych uzwojeń, przy ręcznym uzwojeniu stojanów, istnieje konieczność sprawdzenia poprawności wykonania wewnętrznych połączeń w pasmach fazowych. Z literatury znane są metody sprawdzania poprawności połączenia uzwojeń trójfazowych maszyn elektrycznych:

- metoda zasilania uzwojeń połączonych w gwiazdę napięciem symetrycznym trójfazowym [2],
- metoda indukcyjna [3,4],
- metoda pomiaru symetrii napięć międzyprzewodowych i prądów fazowych przy jednofazowym zasilaniu uzwojenia trójfazowego [3],

- metoda zasilania prądem stałym odpowiednio skonfigurowanego uzwojenia stojana łącznie z analizą powstałego pola [2,5].

Sprawdzenie poprawności wykonania uzwojenia tymi metodami jest realizowane zwykle na maszynie zmontowanej lub pozwala wykryć tę niesymetrię lecz nie pozwala zidentyfikować, który zewzów (lub zewzoje) są odwrócone. Każda faza uzwojenia 3-fazowego składa się z kilku cewek, połączonych ze sobą na czołach szeregowo i/lub równolegle. Gdy jeden lub kilka zewzów jednej z faz jest odwrócony, to przepływ tej fazy jest niesymetryczny. Trójfazowy sinusoidalnie zmienny prąd płynący przez uzwojenie wytwarza pole magnetyczne. W przypadku pełnej symetrii uzwojenia 3-fazowego zasilanego napięciem 3-fazowym symetrycznym pole to będzie polem wirującym. W przypadku niewłaściwego połączenia, pole magnetyczne jest odkształcone. Aby przeprowadzić identyfikację błędu połączenia, maszynę należy rozmontować i szukać odwróconego zewzoju. W takich przypadkach literatura [2,3] zaleca stosowanie, między innymi, jednego z poniższych sposobów:

- metoda igły magnetycznej,
- metoda elektromagnesu z rdzeniem stalowym zasilanym prądem stałym.

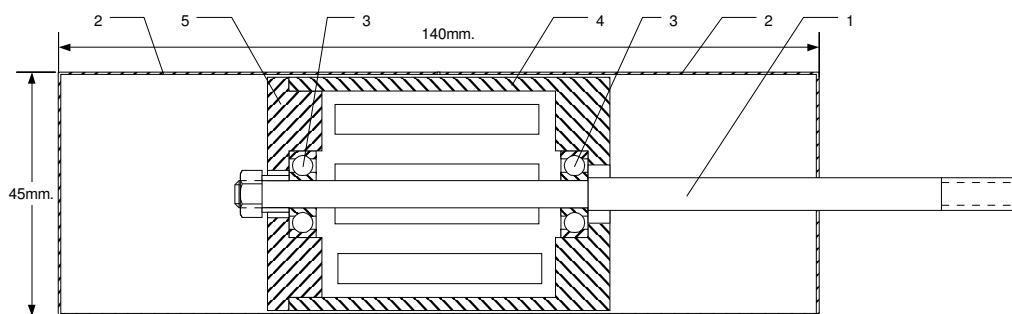
Igła magnetyczna nie zawsze daje dobre wyniki, gdyż reaguje na pole wypadkowe wzbudzone przez dobrze połączone zewzoje i zewzów odwrócony. Natomiast identyfikacja niesymetrii uzwojenia po zmontowaniu maszyny wymaga jej demontażu, co zwiększa koszty.

3. Diagnostyka uzwojeń stojana w maszynie indukcyjnej z wyjętym wirnikiem

Nowy sposób przeprowadzenia diagnostyki uzwojeń w stojanie maszyny omówiono na przykładzie uzwojonego magnetowodu, który po uzwojeniu wprasowywany jest w obudowę elektrobębna. W ramach badań międzyoperacyjnych istnieje konieczność sprawdzenia uzwojenia, przed zmontowaniem silnika.

Stwierdzenie symetrii rezystancji uzwojeń nie pozwala jednoznacznie ocenić poprawności wykonania połączeń cewek (zewzów) łączonych ze sobą szeregowo bądź równolegle. Pośrednią metodą sprawdzenia może być wykorzystanie ułożyskowanej klatki składającej się z prętów oraz pierścieni zwierających. Kierunek wirowania ułożyskowanej klatki wsuniętej do uzwojonego stojana zasilanego obniżonym napięciem 3-fazowym, określa poprawność przyjętych oznaczeń początków i końców faz. Jednak ze względu na dużą elektromechaniczną stałą czasową (znaczny moment bezwładności klatki) sposób ten nie zapewnia jednoznacznej oceny symetrii wykonania uzwojenia 3-fazowego.

Pewny sposób lokalizacji błędnie wykonanych połączeń w uzwojonych pakietach maszyn indukcyjnych zapewnia rozwiązanie opracowane w Laboratorium Maszyn Elektrycznych BOBRME Komel, a stosowane w diagnostyce uzwojonych stojanów z wyjętymi wirnikami (tzw. sonda diagnostyczna). Sonda do sprawdzenia uzwojenia 3-fazowego, której szkic przedstawiono na Rys.1, składa się z dwóch



Rys.1. Przykładowe rozwiązanie sondy stosowanej do diagnostyki stojanów z wyjętym wirnikiem. 1- wał, 2-cienkościennie puszek, 3- łożyska miniaturowe, 4- ażurowy wirnik

cienkościennych aluminiowych puszek (2) osadzonych na ażurowym wirniku (4) ułożyskowanym na wałku (1). Szczegółowy opis rozwiązania zawarto w zgłoszeniu patentowym.

Sprawdzenie symetrii uzwojenia 3-fazowego za pomocą zaproponowanej sondy wykonuje się na uzwojonym stojanie (przed zamontowaniem do maszyny elektrycznej). Uzwojenie stojana zasilane symetrycznym 3-fazowym napięciem o obniżonej wartości (0,1 – 0,35 napięcia znamionowego). Przykłada się sondę w pobliżu wewnętrznej powierzchni pakietu stojana. Puszki (2) łącznie z ażurowym wirnikiem obracają się. Sondę wolno przesuwają po obwodzie pakietu zataczając pełny kąt 2π . Jeśli uzwojenie jest symetryczne puszki wirują ze stałą prędkością obrotową. Jeśli pojawi się lokalna niesymetria badanego uzwojenia, puszki natychmiast zmieniają prędkość wirowania, czasami zatrzymują się, a nawet zmieniają kierunek wirowania. Sonda umieszczona w polu wirującym charakteryzuje się własnościami takimi, jakie posiada wirnik silnika wykonawczego puszki [1]. Wykorzystano tutaj podstawową zaletę silnika puszki, to jest małą wartość elektromechanicznej stałej czasowej [6] określoną zależnością:

$$T_{em} = J^*(\omega_s/M_k)$$

gdzie:

J- masowy moment bezwładności wirnika,

ω_s – prędkość kątową synchroniczną,

M_k – moment rozruchowy.

Ponieważ rezystancja tak wykonanego wirnika puszki jest znacząca, poślizg krytyczny (s_k) silnika przesuwają na charakterystyce $M = f(s)$ w kierunku większych wartości, a więc moment rozruchowy wzrasta a elektromechaniczna stała czasowa maleje. Dla zmniejszenia momentu bezwładności (J) zwiększono stosunek l/D (długości puszek l do ich średnicy D). Mała elektromechaniczna stała czasowa sondy umożliwia przeprowadzanie diagnostyki i testów na stojanach o $2p = 2 \div 16$ a więc stojanów o bardzo dużej rozpiętości podziałek biegunowych $\tau = \dot{Z}_1/2pm$.

4. Podsumowanie i wnioski

Wykorzystanie podstawowych własności, jakie posiada wirnik silnika wykonawczego puszki, umożliwiło opracowanie sondy do diagnostyki uzwojonych pakietów silników z wyjętymi wirnikami. Zaletą przyjętego rozwiązania jest niska (w stosunku do ułożyskowanych prętowanych klatek z pierścieniami zwierającymi) elektromechaniczna stała czasowa T_{em} . Ta właściwość jest bardzo istotna podczas wyszukiwania i lokalizacji błędów w połączeniach

zezwojów łączonych ze sobą szeregowo, bądź równolegle w paśmie jednej fazy. Małe gabaryty sondy czynią z niej uniwersalne narzędzie do diagnostyki wykonania uzwojeń stojanów silników 3-fazowych nisko i wysoko obrotowych o mocach od kilkunastu W do kilkudziesięciu kW, pozwalając dzięki jej zastosowaniu na uniknięcie zmontowania maszyny niewłaściwie uzwojonej. Opisany sposób diagnostyki wymaga dysponowania niskonapięciowym, a wysokoprądowym symetrycznym źródłem napięcia 3-fazowego. Np. podczas badań diagnostycznych stojana silnika 3-fazowego o mocy około 1,7 kW i napięciu znamionowym 24 V napięcie przyłożone na zaciski było rzędu 4,5 V. Z przeprowadzonej serii badań diagnostycznych kilkuset uzwojonych stojanów silników nisko- i wysoko obrotowych o mocach od kilkunastu W do kilkudziesięciu kW i napięciach znamionowych od 24V do 690V (1000V) wynika, że napięcia zasilania rzędu $0,1 \div 0,2 U_N$ dotyczą maszyn o większych mocach i napięciach znamionowych $U_N = 400-690$ V. Dla maszyn niskoobrotowych i małej mocy - napięcia prób są rzędu od $0,2 \div 0,35 U_N$. Wszystkie zmontowane maszyny, dla których przeprowadzono diagnostykę i nie wykazywały niesymetrii, pracowały poprawnie a uzyskane parametry elektryczne tych maszyn nie budziły zastrzeżeń.

Literatura

- [1]. Kamiński G., Kosk J., Przyborowski W. *Laboratorium maszyn elektrycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999
- [2]. Latek W. *Badania maszyn elektrycznych w przemyśle*. WNT, Warszawa, 1979
- [3]. Giemke R.G. *Niedomagania maszyn elektrycznych*. WNT, Warszawa
- [4]. Glinka T. *Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle*. Wyd. BOBRME Komel, Katowice, 2002
- [5]. Plamitzer A. *Maszyny elektryczne*. WNT, Warszawa, 1976, Wyd.VI
- [6]. Praca zbiorowa. *Poradnik inżyniera elektryka*, t. II. *Maszyny i napędy elektryczne*, WNT, Warszawa, 1975

