

Bronisław Drak, Piotr Zientek, Roman Niestrój, Andrzej Boboń
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW USZKODZEŃ KLATKI WIRNIKA NA WARTOŚĆ NAPIĘĆ WAŁOWYCH W SILNIKACH INDUKCYJNYCH

INFLUENCE OF SQUIRREL CAGE FAULTS ON SHAFT VOLTAGE VALUES IN INDUCTION MOTORS

Abstract: The paper presents initial results of laboratory investigations. These results emphasize the intensification of the phenomena connected with bearing currents flow at different rotor cage damages. In the section 2 is presented the influence of rotor cage damages on the shaft voltage value. The subject of these studies was a low power induction motor (fig. 2), taking into consideration easiness and low costs of necessary modernization of it. On the figure 3 is presented the diagram of the shaft voltage and current measurement system. The measurements results are presented on the figures 5, 6. Conclusions drawn from laboratory researches are presented in chapter 3.

1. Wstęp

Problem pasożytniczych napięć wałowych i prądów łożyskowych jest tematem powszechnie znanym, sięgającym początków istnienia silników indukcyjnych. Problem ten dotyczy głównie maszyn indukcyjnych dużej mocy. Z dostępnej literatury wynika, że przyczyn powstawania napięcia wałowego należy szukać w budowie samego silnika [1, 2, 3]. Powszechnie przyjmuje się, że są to głównie asymetrie powstające w procesie wytwarzania silnika, takie jak: nierównomierna szczelina powietrzna, ekscentryczność wirnika, asymetrie w obwodzie magnetycznym maszyny i jego anizotropie. W literaturze krajowej i zagranicznej brakuje publikacji wyjaśniających i potwierdzających, na podstawie badań laboratoryjnych, główne przyczyny powstawania napięć wałowych i prądów łożyskowych. Pasożytnicze prądy łożyskowe przyczyniają się do uszkodzeń węzłów łożyskowych nie tylko silników indukcyjnych, ale także maszyn sprzęgniętych z tymi silnikami. Źródłem prądów łożyskowych jest SEM indukowana wzdłuż wału maszyny, zwana napięciem wałowym. Powstaje ona wtedy, gdy istnieje zmienny strumień magnetyczny, zamykający się w obwodzie wzdłuż jarzma rdzenia stojana i wirnika, obejmujący wał maszyny indukcyjnej. Strumień ten powstaje wtedy, gdy występują jakiegokolwiek asymetrie w obwodzie elektromagnetycznym silnika spowodowane, na przykład, pęknięciem prętów lub pierścieni zwierających klatki wirnika. W pewnych przypadkach silniki indukcyjne mogą długotrwale pracować z uszkodzeniami klatki

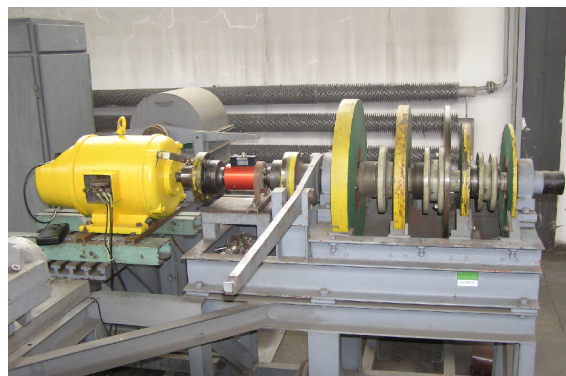
wirnika, co może, w sposób pośredni, negatywnie wpływać na trwałość węzłów łożyskowych. W niniejszym artykule przedstawiono metodę i wyniki wstępnych badań laboratoryjnych silnika z uszkodzoną klatką wirnika. Uzyskane wyniki wskazują na nasilenie zjawisk związanych z przepływem prądów łożyskowych przy różnych uszkodzeniach klatki wirnika. Obiektem badań był silnik indukcyjny małej mocy, ze względu na łatwość i niskie koszty wykonania niezbędnych modernizacji silnika. Można przyjąć, z dużym prawdopodobieństwem, że zjawiska zaobserwowane w czasie przeprowadzonych badań wystąpią również w silnikach dużej mocy, w odpowiednio większej skali.

2. Wpływ uszkodzeń klatki wirnika na wartość napięcia wałowego

Jedną z głównych przyczyn powstawania napięcia wałowego jest asymetria obwodu elektromagnetycznego silnika indukcyjnego. Asymetria ta bardzo często występuje w stanach awaryjnych silników indukcyjnych dużej mocy, które pracują w bardzo ciężkich warunkach. Jest spowodowana uszkodzeniami klatki wirnika, powstałymi w wyniku pęknięcia prętów lub pierścieni zwierających. Pęknięcie kilku prętów w wirniku mającym co najmniej 30 żłobków, nie wpływa w zasadniczy sposób na stan pracy silnika i na jego właściwości ruchowe. Powoduje jednak powstanie zmiennego strumienia magnetycznego, zamykającego się w obwodzie wzdłuż jarzma rdzenia stojana i wirnika. Stru-

mień ten obejmuje wał maszyny indukcyjnej, powodując powstanie napięcia wałowego. Obiektem badań był zmodernizowany silnik indukcyjny pierścieniowy o mocy znamionowej 3 kW i napięciu znamionowym 380 V (rys. 1). Silnik ten zamontowano na stanowisku pomiarowym umożliwiającym nastawianie różnych momentów bezwładności elementów wirujących sprzężonych z wałem (rys. 1). Badany silnik ma 24 żłobki w wirniku. Jego modernizacja polegała na wymontowaniu uzwojenia wirnika i zastąpieniu go przez mosiężne uzwojenie klatkowe o specjalnej konstrukcji. Od strony napędowej pręty wirnika przymocowano na stałe do pierścienia zwierającego. Od strony przeciwnapędowej każdy pręt klatki wirnika przymocowano do pierścienia zwierającego za pomocą dwóch śrub (rys. 2), które w łatwy sposób można usunąć. Taka konstrukcja klatki umożliwia wykonanie przerw w poszczególnych prętach wirnika, poprzez odkręcenie śrub mocujących. W ten sposób można określić wpływ uszkodzeń prętów klatki wirnika na wartość napięcia wałowego i prądów łożyskowych. Schemat wykorzystanego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3. Pomiary napięcia i prądu wałowego wykonano podczas bezpośredniego rozruchu silnika i w stanie ustalonym, przy sprawnej klatce wirnika i dla różnej ilości uszkodzonych prętów. Do pomiaru prądu łożyskowego wykorzystano cewkę Rogowskiego firmy PEM typu: CWT 03LFB [4]. Cewka ta zamocowana była w miejscu wbudowania pierścieni ślizgowych silnika w ten sposób, że obejmowała wał silnika przed samym węzłem łożyskowym i przymocowana była do pokrywy silnika w dużej odległości od czół uzwojenia stojana (rys. 4). Takie zamocowanie cewki zapewnia eliminację zakłóceń pochodzących od obcych pól magnetycznych.

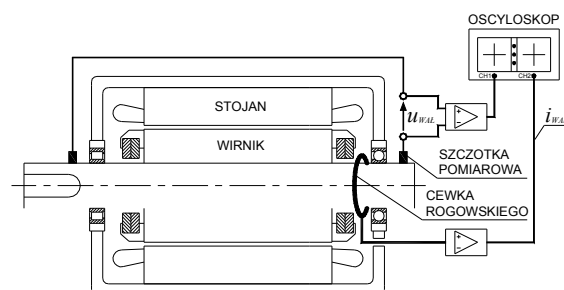
Wyniki pomiarów napięcia i prądu wałowego, przy sprawnej klatce wirnika oraz dla różnej ilości uszkodzonych prętów przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Badania przeprowadzono na biegu jałowym, przy małym i dużym momencie bezwładności elementów wirujących sprzężonych z wałem.



Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego



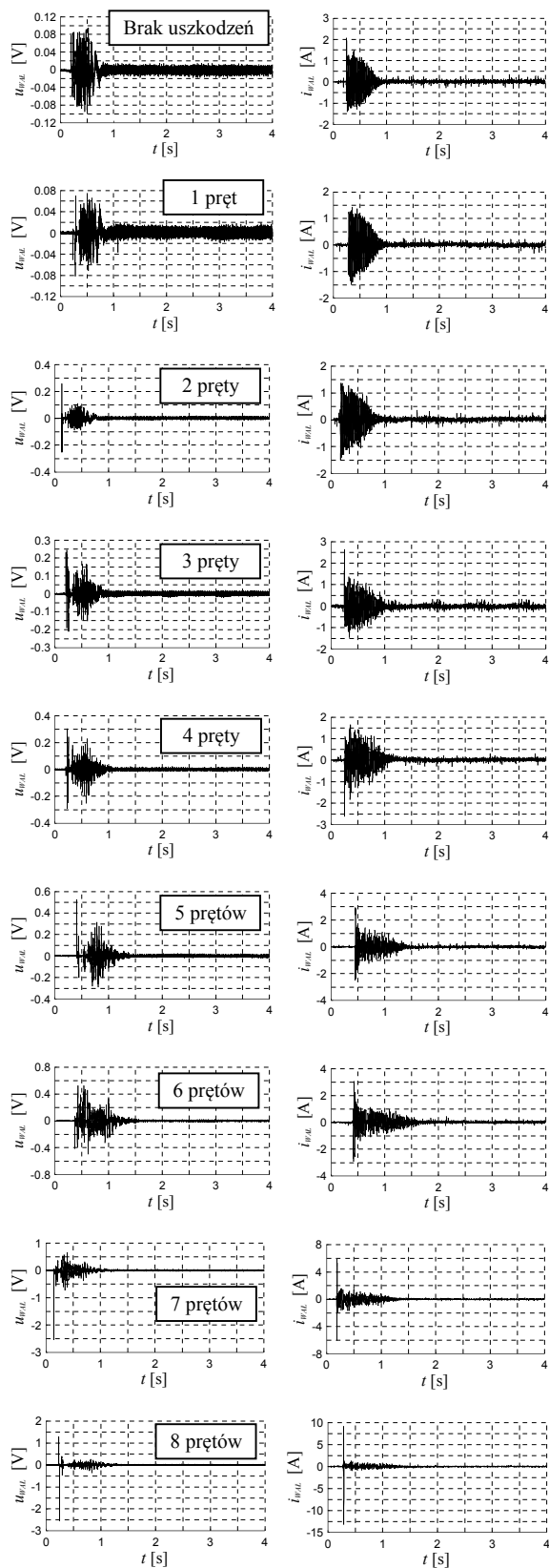
Rys. 2. Widok pierścienia zwierającego z odkręcanymi prętami



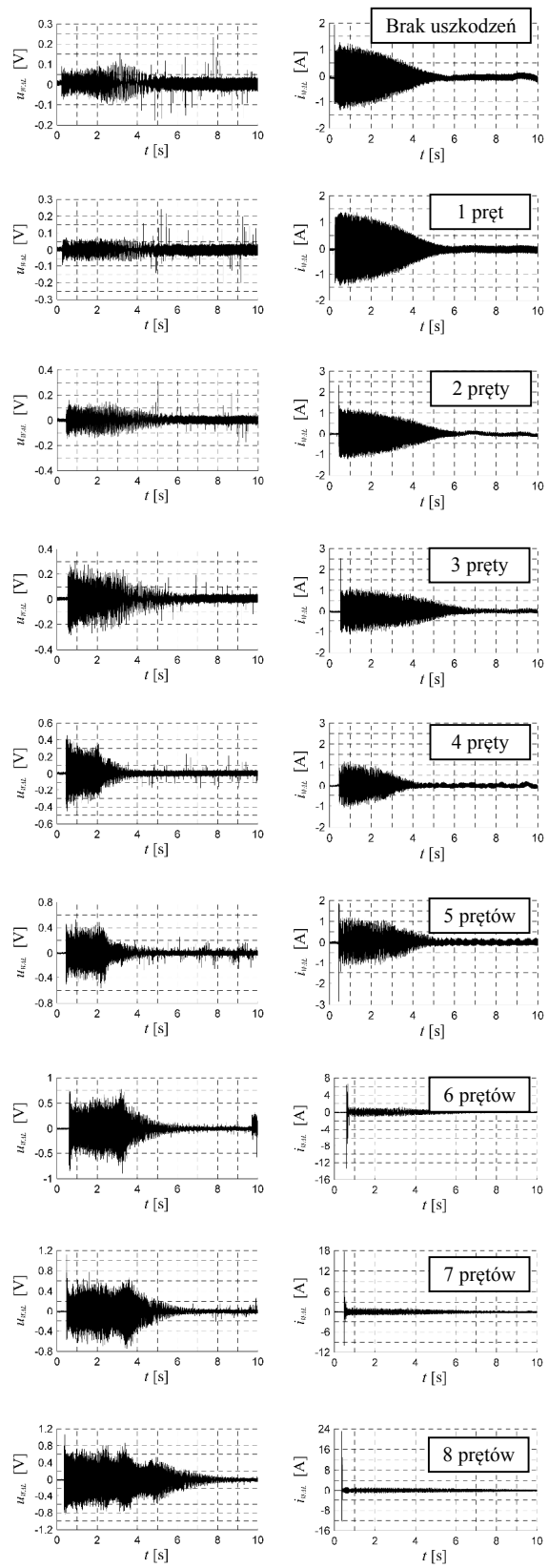
Rys. 3. Schemat układu do pomiaru napięcia i prądu wałowego



Rys. 4. Sposób zamocowania cewki Rogowskiego do pomiaru prądu łożyskowego



Rys. 5. Wpływ ilości uszkodzonych prętów klatki wirnika na wartość napięcia i prądu wałowego podczas rozruchu silnika przy małym momencie bezwładności



Rys. 6. Wpływ ilości uszkodzonych prętów klatki wirnika na wartość napięcia i prądu wałowego podczas rozruchu silnika przy dużym momencie bezwładności

Do pomiaru napięcia wałowego wykorzystano wzmacniacz napięciowy z wejściem różnicowym. Do wejścia wzmacniacza doprowadzono sygnały ze szczotek pomiarowych zamocowanych na końcach wału silnika. Szczotki zamocowano w taki sposób aby zminimalizować siłę boczną działającą poprzez szczotki na wał, która mogłaby powodować dodatkowe zmniejszenie impedancji łożysk. Z zarejestrowanych przebiegów wynika znaczna zależność pomiędzy ilością uszkodzonych prętów klatki wirnika, a wartościami międzyszczytowymi napięcia i prądu wałowego. Wartości te są największe podczas rozruchu silnika. Wydłużenie czasu rozruchu przy dużej ilości uszkodzonych prętów skutkuje dłuższym narażaniem łożysk silnika na przepływ znacznych prądów łożyskowych. Podczas badań zaobserwowano impulsy prądu łożyskowego o bardzo dużej wartości, które pojawiają się w pierwszej chwili rozruchu, tuż po załączeniu napięcia zasilającego, kiedy wirnik silnika jest jeszcze zatrzymany. Impulsy te mogą być spowodowane działaniem na wirnik siły poprzecznej, która może się pojawić przy tak dużej asymetrii magnetycznej. Siła ta dociska punktowo elementy toczne łożysk do bieżni, co prawdopodobnie skutkuje zmniejszeniem impedancji łożyska i chwilowym przepływem prądu łożyskowego o dużej wartości.

3. Uwagi i wnioski końcowe

W badaniach laboratoryjnych stwierdzono silną zależność pomiędzy wartością napięć i prądów wałowych, a ilością uszkodzonych prętów klatki wirnika i związaną z tym asymetrią magnetyczną silnika.

Badania przedstawione w niniejszym artykule zostały wykonane w ramach przygotowania programu analogicznych badań dla silników indukcyjnych dużej mocy. Wstępne wyniki uzyskane w ramach badań silników małych mocy potwierdzają słuszność podjęcia dalszych prac w tym kierunku. Prace te wymagają przygotowania silnika dużej mocy, w którym będzie możliwe uszkodzenie prętów i pierścieni zwi-

rajających klatki wirnika. Należy spodziewać się, że zaobserwowane zjawiska wystąpią w silnikach dużej mocy w odpowiednio większej skali. Wcześniejsze badania prowadzone przez autorów dla dużej grupy górniczych silników indukcyjnych wskazują na powszechność awarii łożysk, spowodowanych między innymi przez przepływ prądów łożyskowych.

W związku z tym celowe wydaje się podjęcie badań, mających na celu szczegółowe poznanie zjawisk pasożytniczych, których efektem jest przepływ prądu łożyskowego.

4. Literatura

- [1] Donner G., Oakes B.K., Evon S.T.: *Motor Primer – Part III*. IEEE Trans On Ind. Appl., Vol. 39, No. 5, September/October 2003, pp. 1467-1474
- [2] Gambica/Rema Technical Guide: *Motor Shaft Voltages and Bearing Currents under PWM Inverter Operation*. Technical Report No. 2 First Edition, 2002
- [3] Kerszenbaum I.: *Shaft currents in electric machines fed by solid-state drives*. IEEE Conference Record of the Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 1992. Conference Record, Papers Presented at the 1992 Annual Meeting, 4-7 May 1992, pp. 71-79
- [4] Miedziński B., Szkółka S., Wiśniewski G., Lisowiec A.: *Cewki Rogowskiego jako elementy nowoczesnych układów automatyki i pomiarów*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 2/2007, ss. 23-30

Autorzy

Dr hab. inż. Bronisław Drak, prof. PŚI,
e-mail: Bronislaw.Drak@polsl.pl
tel/fax: 032-2371447

Mgr inż. Piotr Zientek,
e-mail: Piotr.Zientek@polsl.pl
tel: 032-2372652

Mgr inż. Roman Niestrój,
e-mail: Roman.Niestroj@polsl.pl
tel: 032-2372526

Dr inż. Andrzej Boboń,
e-mail: Andrzej.Bobon@polsl.pl
tel: 032-2372548

Katedra Maszyn i Urządzeń Elektrycznych
Politechniki Śląskiej
ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice