

Piotr Zientek, Roman Niestrój
Politechnika Śląska, Gliwice

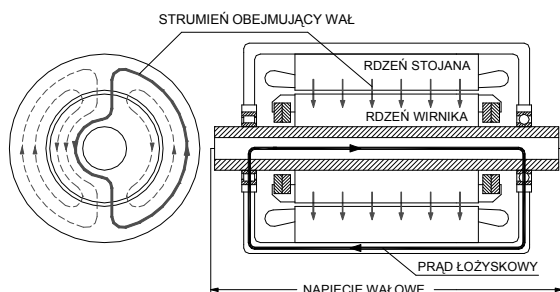
WPLYW USZKODZEŃ KLATKI WIRNIKA NA WARTOŚĆ NAPIĘĆ I PRĄDÓW WAŁOWYCH W SILNIKACH INDUKCYJNYCH

INFLUENCE OF SQUIRREL CAGE FAULTS ON SHAFT VOLTAGE AND CURRENTS 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 3 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. 3), taking into consideration easiness and low costs of necessary modernization of it. On the figure 4 is presented the diagram of the shaft voltage and current measurement system. The measurements results are presented on the figures 10, 11, 12. Conclusions drawn from laboratory researches are presented in chapter 4.

1. Wstęp

Problem powstawania napięć wałowych i prądów łożyskowych dotyczy głównie maszyn indukcyjnych dużej mocy. Napięcia wałowe wywołane są zmiennym strumieniem magnetycznym przenikającym obwód złożony z wału, łożysk i kadłuba silnika, obejmujący wał maszyny indukcyjnej.



Rys. 1. Powstawanie prądu łożyskowego

Przyczyn powstawania takiego strumienia należy szukać w budowie samego silnika. Według informacji zawartych w dostępnych materiałach [1, 5, 6, 7], są to głównie asymetrie obwodu magnetycznego, wynikające z sumowania się łańcucha tolerancji wszystkich detali maszyny. Zalicza się do nich nierównomierną szczelinę powietrzną, ekscentryczność wirnika, segmentowany lub dzielony stojan maszyny, oraz anizotropie w obwodzie magnetycznym maszyny. Jeżeli napięcie wałowe jest dostatecznie wysokie, aby spowodować przebicie filmu olejowego w łożysku, występuje iskrzenie pomiędzy bieżniami łożyska, a elementami tocznymi. W tym to momencie płynie prąd łożyskowy powodujący powstawanie wżerów

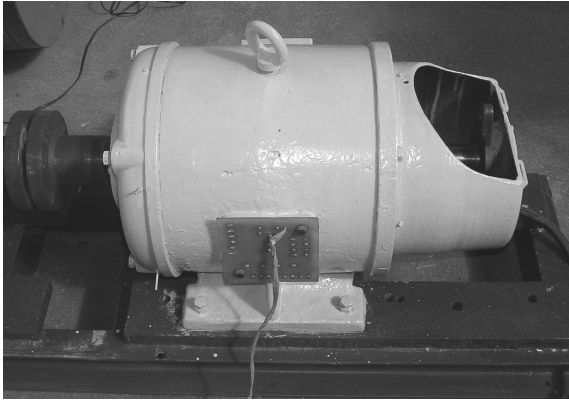
na bieżniach pierścieni i elementach tocznych łożysk silnika. Dodatkowo takie czynniki jak: zabrudzenia, mikroskopijne metalowe cząstki w filmie olejowym i jego nieregularna grubość spowodowana drganiem wirnika powodują, że film olejowy jest zwierany. Wtedy impedancja łożyska jest tak mała, że napięcia wałowe o niewielkich wartościach mogą powodować znaczne prądy łożyskowe przepływające także przez wał silnika. Według danych literaturowych napięcia wałowe większe od 0,2 V (rms) powodują rozwój szkodliwych prądów łożyskowych.

W niniejszym artykule przedstawiono metodę i wyniki badań laboratoryjnych silnika z uszkodzoną klatką wirnika. Uzyskane wyniki wskazują na nasilenie zjawisk związanych z przepływem prądów łożyskowych przy różnych uszkodzeniach klatki wirnika. Obiektami badań były dwa silniki indukcyjne: małej i dużej mocy.

2. Opis stanowiska badawczego

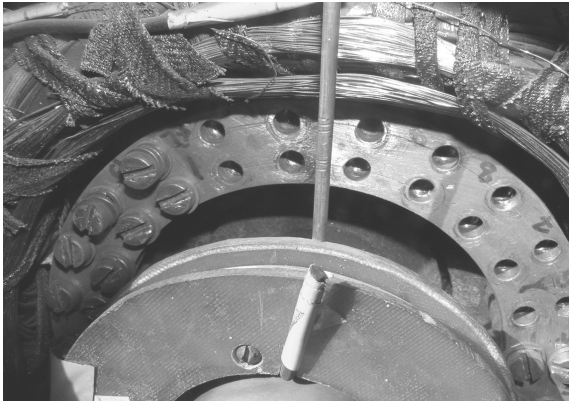
Obiektem badań był zmodernizowany silnik indukcyjny pierścieniowy typu SZUe 44b o mocy znamionowej 3kW i napięciu znamionowym 380V (rys. 2).

Silnik ten ma 24 żłobki w wirniku. Modernizacja silnika polegała na wymontowaniu uzwojenia wirnika i zastąpieniu go przez uzwojenie klatkowe o specjalnej konstrukcji. Uzwojenie klatkowe wykonano z mosiądzu. Od strony napędowej pręty wirnika przymocowano na stałe do pierścienia zwierającego.



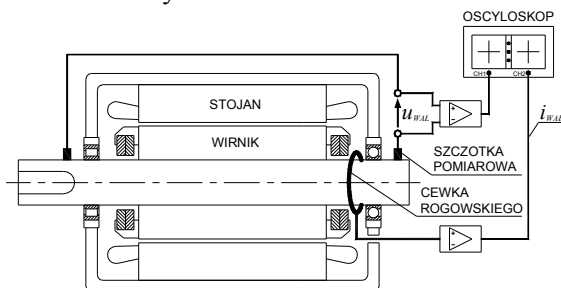
Rys. 2. Zmodernizowany silnik typu SZUe 44b wykorzystywany w badaniach

Od strony przeciwnapędowej każdy pręt klatki wirnika przymocowano do pierścienia zwierającego za pomocą dwóch śrub (rys. 3), które w łatwy sposób można usunąć.



Rys. 3. Widok pierścienia zwierającego z odkręcanymi prętami w silniku indukcyjnym typu SZUe 44b

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 4.



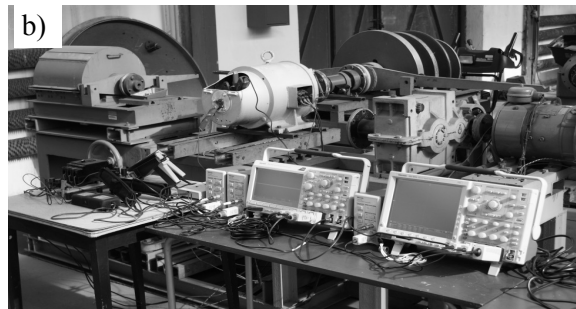
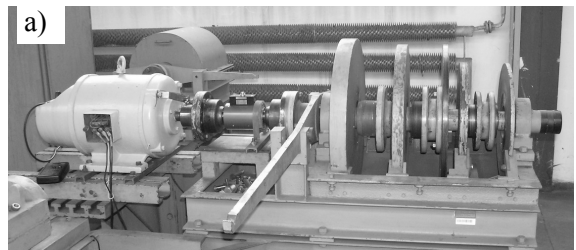
Rys. 4. Schemat układu do pomiaru napięcia i prądu wałowego

Do pomiaru prądu łożyskowego wykorzystano cewkę Rogowskiego firmy PEM typu: CWT 03LFB. Cewka ta zamocowana była w miejscu wybudowanych pierścieni ślizgowych silnika w ten sposób, że obejmowała wał silnika przed samym węzłem łożyskowym i przymocowana była do pokrywy silnika w dużej odległości od czoł uzwojenia stojana. Takie zamocowanie cewki zapewnia eliminację zakłóceń pochodzących od obcych pól magnetycznych (rys. 5).



Rys. 5. Sposób zamocowania cewki Rogowskiego do pomiaru prądu łożyskowego

Pomiary napięcia i prądu wałowego wykonano podczas bezpośredniego rozruchu silnika i w stanie ustalonym przy sprawnej klatce wirnika i dla różnej ilości uszkodzonych prętów. Badany silnik zamontowano na stanowisku pomiarowym umożliwiającym nastawianie różnych momentów bezwładności elementów wirujących sprzężonych z wałem silnika (rys. 6).



Rys. 6. Stanowisko pomiarowe umożliwiające zmianę momentu bezwładności elementów wirujących sprzężonych z wałem silnika

Podobne badania przeprowadzono także z wykorzystaniem silnika indukcyjnego typu dSKgw 315L-4 o mocy 300 kW i napięciu zasilania 1000 V. Widok wirnika z odciętym jednym prętem przedstawiono na rysunku 7.



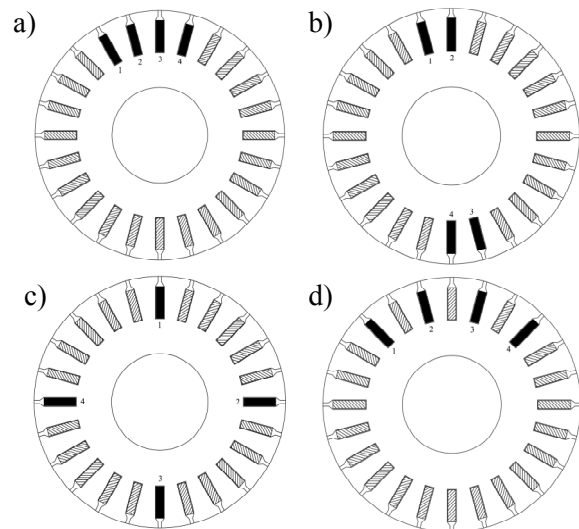
Rys. 7. Wirnik z odciętym prętem silnika typu dSKgw 315L-4 o mocy 300 kW

3. Badania laboratoryjne

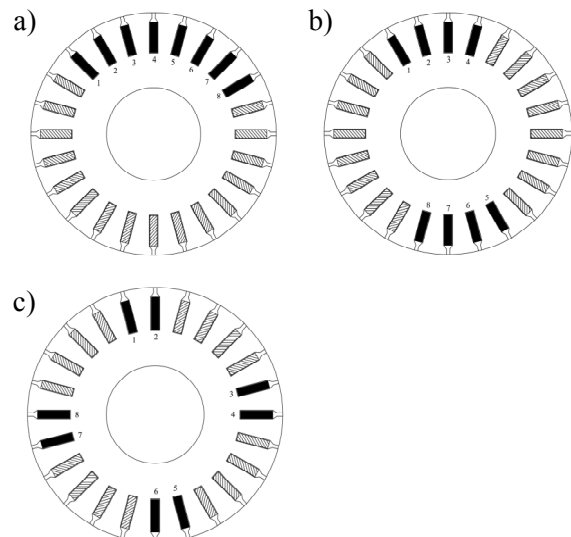
Pomiary napięcia i prądu wałowego przeprowadzono podczas rozruchu i w stanie ustalonym przy sprawnej klatce uzwojenia wirnika, dla różnej ilości uszkodzonych kolejnych prętów, oraz przy 4 i 8 uszkodzonych prętach przy różnym ich rozmieszczeniu na obwodzie wirnika (rys. 8, 9). Wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono na rysunkach 10, 11, 12.

Z wcześniej przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynikała znaczna zależność pomiędzy ilością kolejnych uszkodzonych prętów klatki wirnika, a wartościami międzyszczytowymi napięcia i prądu wałowego [3, 9]. Największe wartości prądów łożyskowych występują przy uszkodzonych prętach kolejno jeden za drugim (rys. 8a, 8d, 9a oraz rys. 11a, 11d, 12a). Przy symetrycznym rozmieszczeniu uszkodzonych prętów (rys. 8b, 8c, 9b, 9c) w stosunku do ilości par biegunów silnika występują znacznie mniejsze wartości prądów łożyskowych (11b, 11c, 12c).

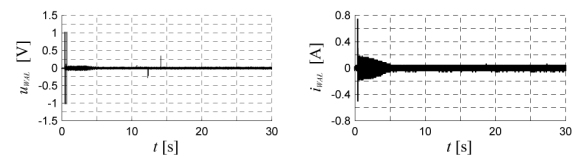
Przy kilku uszkodzonych prętach podczas rozruchu silnika zaobserwowano rozbłyski, które są wynikiem zaistnienia łuku elektrycznego w miejscu uszkodzenia prętów klatki wirnika. Dodatkowo zaobserwowano, że siła odśrodkowa wyrzuca w kierunku czół uzwojenia stojana rozgrzane drobinki materiału widoczne w postaci iskier (rys. 13, 14). Może to doprowadzić do uszkodzenia izolacji międzyzwojowej uzwojenia stojana.



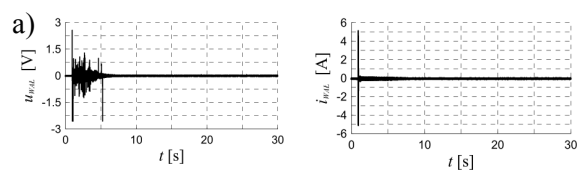
Rys. 8. Różne warianty rozmieszczenia pękniętych 4 prętów na obwodzie wirnika

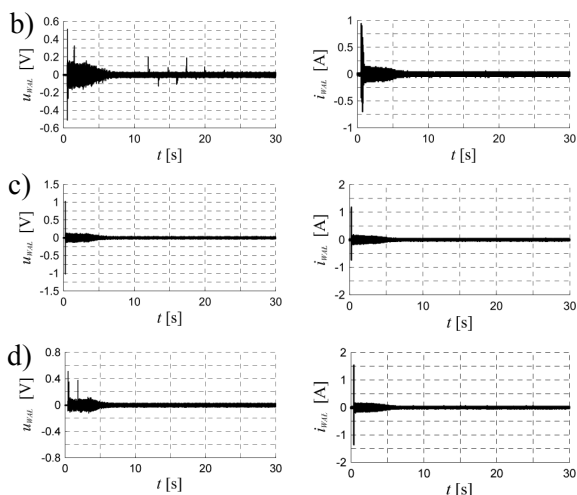


Rys. 9. Różne warianty rozmieszczenia pękniętych 8 prętów na obwodzie wirnika

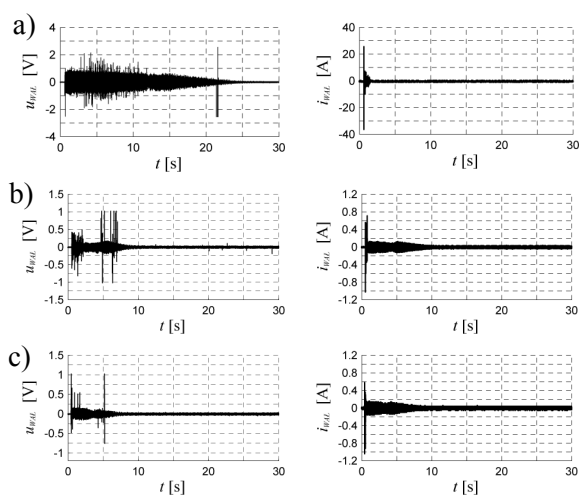


Rys. 10. Przebieg napięcia i prądu wałowego przy sprawnym uzwojeniu klatkowym wirnika





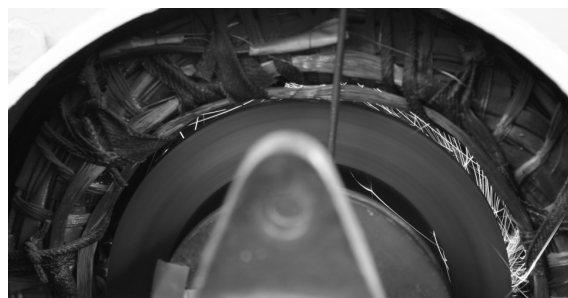
Rys. 11. Wpływ rozmieszczenia na obwodzie wirnika 4 uszkodzonych prętów klatki uzwojenia wirnika na wartość napięcia i prądu wałowego dla następujących przypadków: a) rys. 8a, b) rys. 8b, c) rys. 8c, d) rys. 8d



Rys. 12. Wpływ rozmieszczenia na obwodzie wirnika 8 uszkodzonych prętów klatki uzwojenia wirnika na wartość napięcia i prądu wałowego dla następujących przypadków: a) rys. 9a, b) rys. 9b, c) rys. 9c



Rys. 13. Przeskok iskry podczas rozruchu silnika



Rys. 14. Przeskok iskry podczas rozruchu silnika

Zaobserwowany huk elektryczny zapala się najprawdopodobniej na skutek przerywania przepływu prądu w uszkodzonych prętach klatki, które mogły zostać chwilowo zwarte do pierścienia zwierającego pod wpływem działania sił dynamicznych podczas rozruchu silnika.

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.

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.

4. 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. Wartości te są największe podczas rozruchu silnika. Wydłużenie czasu rozruchu przy dużej ilości uszkodzonych kolejno prętów skutkuje dłuższym narażeniem łożysk silnika na przepływ znacznych prądów łożyskowych, prowadząc do ich uszkodzeń [1, 4, 8]. Należy zaznaczyć, że silniki indukcyjne dużej mocy często są długotrwale eksploatowane z uszkodzonymi prętami klatki

wirnika. Przy symetrycznym rozmieszczeniu uszkodzonych prętów w stosunku do ilości par biegunów silnika występują znacznie mniejsze wartości prądów łożyskowych.

Wcześniejsze badania prowadzone przez autorów dla dużej grupy górniczych silników indukcyjnych wskazują na powszechność awarii łożysk, spowodowanych między innymi przez przepływ prądów łożyskowych [1, 3, 7]. Powszechnie uważa się, że pręty klatki w stanach awaryjnych najczęściej pękają kolejno jeden po drugim tak, jak przedstawiono to na rys. 8a i 9a. Jest to najgorszy przypadek z punktu widzenia wpływu na łożyska. Badania przedstawione w niniejszym artykule prezentują również mniej prawdopodobne przypadki awarii klatki wirnika. Zostały one jednak zrealizowane w celu uzupełnienia wiedzy z prezentowanej tematyki oraz potwierdzenia przypuszczeń powstałych przy wcześniejszych badaniach.

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]. Drak B., Zientek P., Niestrój R., Kwak J.: *Uszkodzenia łożysk w silnikach indukcyjnych użytych w organach urabiających kombajnów górniczych*. Zeszyty Problemowe-Maszyny Elektryczne, nr. 75/2006, ss. 137-146.
- [3]. Drak B., Zientek P., Niestrój R., Boboń A.: *Wpływ uszkodzeń klatki wirnika na wartość napięć wałowych w silnikach indukcyjnych*. SME 2009.
- [4]. Drak B., Zientek P., Niestrój R., Kwak J.: *Napięcia i prądy wałowe w silnikach indukcyjnych dużej mocy użytych w organach urabiających kombajnów górniczych*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr. 76/2007, ss.55-62.
- [5]. Gambica/Rema Technical Guide: *Motor Shaft Voltages and Bearing Currents under PWM Inverter Operation*. Technical Report No. 2 First Edition, 2002.
- [6]. 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.
- [7]. Rockwell Automation: *Inverter-Driven Induction Motors Shaft and Bearing Current Solutions*. 2004.
- [8]. Zientek P., Niestrój R., Białoń T.: *Napięcia wałowe i prądy łożyskowe w silnikach indukcyjnych dużej mocy - badania laboratoryjne*. Prace Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Z.3 (203), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007, ss.99-112.
- [9]. Zientek P., Niestrój R.: *Wpływ uszkodzeń klatki wirnika i nasycenia rdzenia na wartość napięć wałowych w silnikach indukcyjnych*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr. 80/2008, ss. 239-244.

Autorzy

dr inż. Piotr Zientek

Politechnika Śląska

Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie

ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice

tel: 32-2372652

e-mail: Piotr.Zientek@polsl.pl

mgr inż. Roman Niestrój

Politechnika Śląska

Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie

ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice

tel: 32-2372526

e-mail: Roman.Niestroj@polsl.pl

Artykuł opracowano w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr. N N510 351236