

*napięcia wałowe, prądy łożyskowe,
uszkodzenia łożysk silników indukcyjnych*

Piotr ZIENTEK*

DROGI PRZEPLYWU PRĄDÓW ŁOŻYSKOWYCH W UKŁADACH NAPĘDOWYCH DUŻEJ MOCY ZASILANYCH NAPIĘCIEM SIECIOWYM

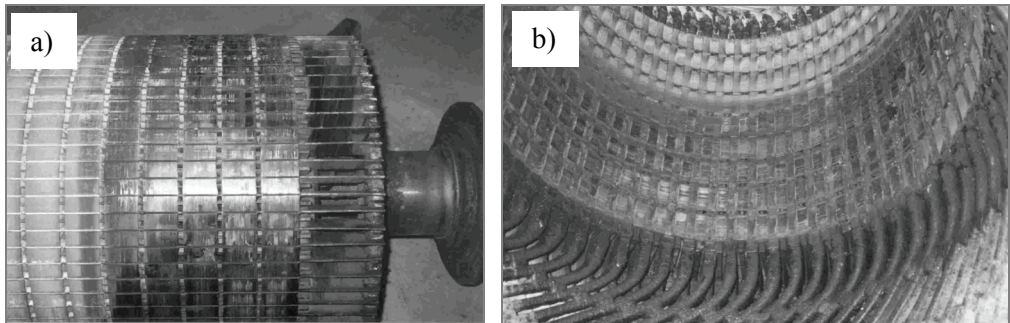
W artykule przedstawiono przyczyny występowania prądów łożyskowych w silnikach indukcyjnych zasilanych napięciem sieciowym. Omówiono mechanizm powstawania napięcia wałowego i prądów łożyskowych na podstawie przebiegów z badań laboratoryjnych. W artykule przedstawiono także podstawowe rodzaje uszkodzeń łożysk tocznych spowodowane występowaniem prądów łożyskowych. Na podstawie organu urabiającego kombajnu górniczego omówiono metody eliminacji prądów łożyskowych.

1. WSTĘP

Prądy łożyskowe są zjawiskiem bardzo rozpowszechnionym w maszynach elektrycznych. W większości przypadków posiadają one niewielką wartość, przez co nie wywołują widocznych skutków i pozostają niezauważalne przez obsługę techniczną. Kiedy jednak z różnych przyczyn, prądy łożyskowe osiągają znaczne wartości, powodują bardzo poważne uszkodzenia łożysk. Intensywność uszkodzenia łożysk zależy przede wszystkim od natężenia prądu łożyskowego i czasu jego trwania, obciążenia łożyska, prędkości obrotowej oraz rodzaju zastosowanego smaru. Występujące przestoje maszyn bardzo często spowodowane są awarią łożysk, co jest wynikiem przepływu prądów łożyskowych. Przeprowadzona analiza uszkodzeń łożysk tocznych silników indukcyjnych, wykazała, że coraz częściej uszkodzenia te występują w wyniku występowania prądów łożyskowych [1–3]. Zarówno zasilanie silników napięciem sieciowym, jak również z falowników PWM powoduje powstanie takich zmian na bieżniach i elementach tocznych łożysk, które wymagają wyłączenia

* Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice, e-mail: Piotr.Zientek@polsl.pl

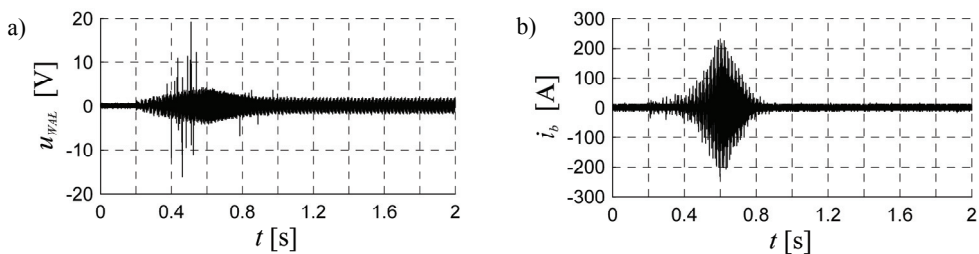
silnika i wymianę łożysk na nowe. Należy jednocześnie zaznaczyć, że awarie silników spowodowane uszkodzeniami łożysk tocznych nie występują zbyt często. Wynika to z faktu, że od szeregu lat rozwinęła się nowoczesna technika diagnozowania stanu łożysk tocznych, dzięki której dokonywana jest wymiana łożysk na nowe, przed ostatecznym zniszczeniem łożyska, które prowadzi do awarii silnika (wirnika, jak i stojana) (rys. 1). Zastosowanie łożysk izolowanych lub izolowanie komór łożyskowych eliminuje prądy łożyskowe, wydłużając tym samym czas bezawaryjnej pracy układu napędowego [4].



Rys. 1. Zatarcie pakietu blach wirnika –a) oraz stojana –b) spowodowane uszkodzeniem łożyska
Fig. 1. Seizing the rotor sheets – a) and stator sheets pack – b) caused by bearing damage

2. USZKODZENIA ŁOŻYSK TOCZNYCH W SILNIKACH INDUKCYJNYCH DUŻEJ MOCY SPOWODOWANE PRĄDAMI ŁOŻYSKOWYMI

W silnikach indukcyjnych dużej mocy, zasilanych sinusoidalnym napięciem sieciowym, źródłem prądów łożyskowych jest indukowana wzdłuż wału maszyny SEM zwana napięciem wałowym (rys. 2a). Pod wpływem tego napięcia płyną prądy łożyskowe (rys. 2b) w obwodzie złożonym z wału maszyny, obu łożysk i kadłuba silnika.



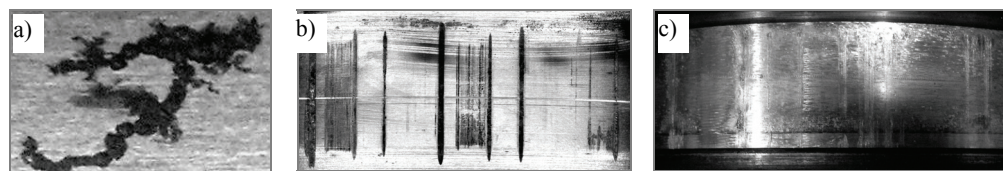
Rys. 2. Przebieg napięcia wałowego –a) oraz prądu łożyskowego –b) w silniku indukcyjnym
Fig. 2. The course of shaft voltage –a) and bearing current –b) figure caption in induction motor

Najczęściej prądy te powodują uszkodzenia łożysk w postaci wżerów na powierzchniach bieżni pierścieni oraz na elementach toczyń. Charakter uszkodzeń uzależniony jest przede wszystkim od natężenia przepływającego prądu i czasu jego działania (rys. 3, 4).



Rys. 3. Nieregularne wżery na bieżni zewnętrznej pierścienia wewnętrznego –a), krater na powierzchni wewn. pierścienia wewnętrznego –b) oraz krater na powierzchni pierścienia zewnętrznego –c)

Fig. 3. Irregular pitting on inner ring outer race –a), the visible craters and small pitting on inner surface of inner ring –b) and the visible crater on outer surface of outer ring –c)



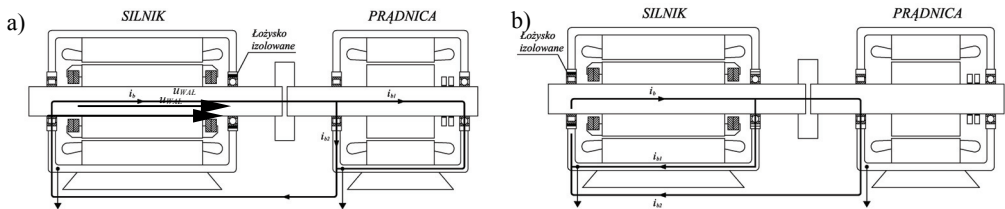
Rys. 4. Widoczne zygzakowate przypalenia na powierzchni wewnętrznej pierścienia zewnętrznego –a), wżery liniowe na bieżni pierścienia łożyska walcowego po trzech rozruchach –b) oraz uszkodzenie czopa wału spowodowane przepływem prądu przez łożysko –c)

Fig. 4. Visible zigzag burns on inner surface of outer ring –a), the linear pitting on ring race of roller bearing after two start-ups figure caption –b) and the damage of shaft pivot, caused by flow of current through a bearing –c)

3. PRĄDY ŁOŻYSKOWE W TYPOWYCH UKŁADACH NAPĘDOWYCH

Drogi przepływu prądów łożyskowych w układach napędowych uzależnione są od zastosowanej architektury połączeń mechanicznych i sposobu uziemień. Ponieważ źródłem prądów łożyskowych jest indukowana wzdłuż wału silnika SEM (rys. 5), to sposób zesprzężenia silnika z obciążeniem oraz rodzaj zastosowanych łożysk w silniku w dużym stopniu decyduje o rozplywie prądów łożyskowych. W przypadku występowania prądów łożyskowych w silniku, jedynym skutecznym sposobem ich wyeliminowania jest zastosowanie łożysk izolowanych. Bardzo ważnym aspektem jest wybór łożyska silnika, które należy izolować. W przypadku zastosowania izolowanego łożyska silnika od strony napędowej prąd łożyskowy popłynie poprzez wał silnika i sprzęgło przewodzące do obciążenia, następnie przez łożyska obciążenia

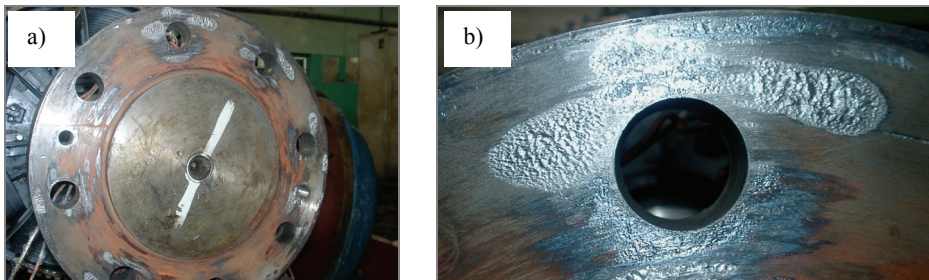
do uziemionego kadłuba i z powrotem przez wspólny uziom do kadłuba silnika i przez łożysko silnika strony przeciwnapędowej do wału silnika (rys. 5a).



Rys. 5. Przepływ prądu łożyskowego po zastosowaniu izolowanego łożyska w silniku po stronie napędowej –a) oraz po stronie przeciwnapędowej –b)

Fig. 5. A flow of the bearing current after application of an insulated bearing at drive end – a) at non-drive end – b)

Tak płynący prąd łożyskowy stwarza zagrożenie nie tylko dla łożyska silnika strony przeciwnapędowej, ale także dla łożysk obciążenia. Bardzo często poważnemu uszkodzeniu ulega także sprzęgło silnika (rys.6).



Rys. 6. Widoczne wżery i duże kraterki na powierzchni sprzęgła –a, b)

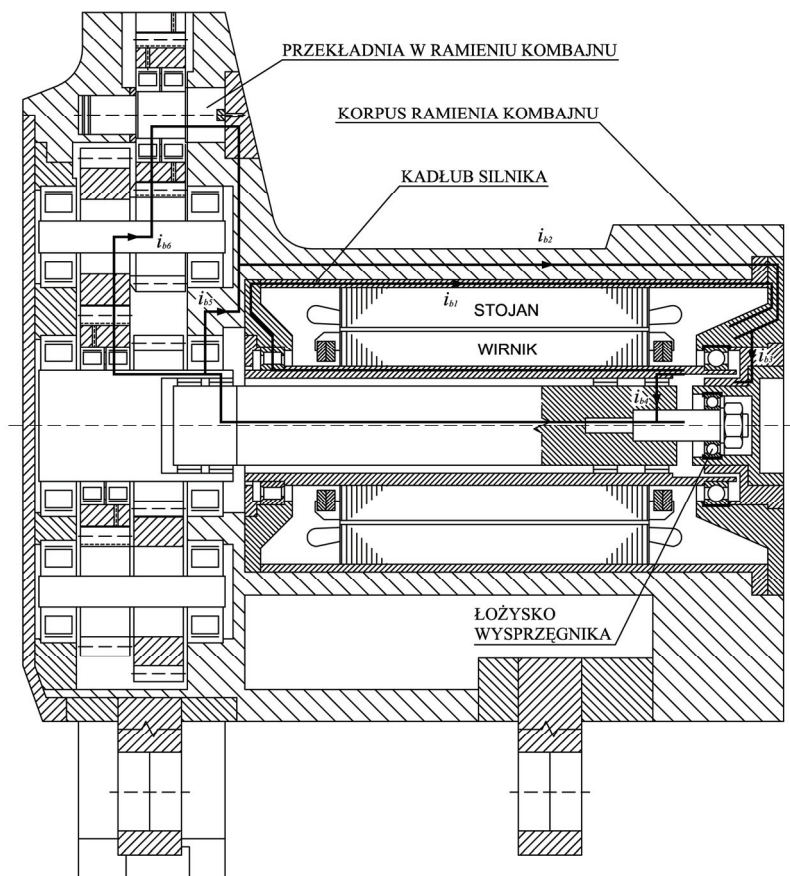
Fig. 6. Visible pitting and large craters on coupling surface – a, b)

W przypadku zastosowania izolowanego łożyska silnika od strony przeciwnapędowej prąd łożyskowy w drodze powrotnej znajduje barierę w postaci bardzo dużej rezystancji. Dzięki temu uzyskujemy całkowite wyeliminowanie prądów łożyskowych (rys. 5b). W bardziej rozbudowanych układach napędowych dodatkowo w razie konieczności stosuje się sprzęgła izolowane.

4. PRĄDY ŁOŻYSKOWE W GÓRNICZYCH KOMBAJNACH ŚCIANOWYCH

Organy urabiające górniczych kombajnów ścianowych podczas pracy narażone są na oddziaływanie szkodliwych prądów łożyskowych. Główną uwagę należy skupić

zarówno na prądach płynących przez łożyska silnika, wyprężnika obrotów, jak i przez łożyska przekładni przenoszącej napęd z silnika do organu urabiającego. Powodują one uszkodzenia elementów tocznych oraz bieżni łożysk. Uszkodzenie któregośkolwiek z tych łożysk powoduje wyłączenie kombajnu z pracy. Po zabudowaniu silnika w ramieniu kombajnu, istnieją dwie drogi przepływu prądu łożyskowego [4]. Bardzo skomplikowana budowa tych silników powoduje, że indukują się w nich dwa takie same napięcia wałowe. Jedno z tych napięć indukuje się w wale silnika, natomiast drugie w wałku wysprężnika obrotów, posadowionym wewnątrz drążonego wału silnika (rys. 7). Napięcia te są równe, ponieważ ten sam zmienny strumień magnetyczny (powodujący powstanie napięcia wałowego pomiędzy końcami wału silnika) obejmujący wał maszyny indukcyjnej, obejmuje także wał wyprężnika obrotów. Istnieją więc dwie drogi przepływu prądów łożyskowych (rys. 7).



Rys. 7. Drogi przepływu prądów łożyskowych
Fig. 7. Bearing current path

W takim przypadku jedynym sposobem wyeliminowania prądów łożyskowych jest zastosowanie łożysk izolowanych. Należy jednak zaznaczyć, że w obwodach, w których płyną prądy łożyskowe występują tylko dwa łożyska, które można zastąpić łożyskami izolowanymi. Jest to łożysko silnika strony przeciwnapędowej, oraz łożysko wyprężnika obrotów. Tylko w przypadku jednoczesnego zastosowania izolowanych obydwu łożysk uzyskuje się zadowalający efekt w postaci wyeliminowania wszystkich prądów łożyskowych $i_{b1} - i_{b6}$ (rys. 7), [4].

5. UWAGI KOŃCOWE

Prądy łożyskowe działają niekorzystnie na stan węzłów łożyskowych. Największe wartości (rys. 2b) występują w początkowej chwili rozruchu, kiedy występuje jeszcze metaliczne zwarcie pomiędzy elementami tocznymi łożyska a bieżniami. Drogi ich przepływu są różne, uzależnione od architektury układu napędowego (rys. 5, 7). W związku z powyższym, przy określaniu metod eliminacji prądów łożyskowych trzeba indywidualnie dobierać środki w zależności od rozwiązań określonego układu napędowego.

Praca naukowa współfinansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr. N N510 602540

LITERATURA

- [1] 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, 137–146.
- [2] 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, 55–62.
- [3] 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, 99–112.
- [4] ZIENTEK P., *Napięcia wałowe i prądy łożyskowe w silnikach indukcyjnych*, praca doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Gliwice 2010.

BEARING CURRENT PATH IN HIGH POWER NETWORK SUPPLIED DRIVES

Bearing currents are very widespread phenomenon in electric machines. In most cases their value is small; due to this fact they do not produce visible effects and they are out of sight for technical service. However, when, due to various reasons, bearing currents reach significant values, they cause very serious damages of bearings. Intensity of damages of bearings depends on bearing current intensity and its duration, rotational speed and on type of used grease. The paper also describes the methods for bearing currents elimination in high power drives.