



UTRZYMANIE RUCHU

1/2016



- marka handlowa skupiająca ponad 300 firm i jednostek biznesowych,
 - zatrudniająca ponad 28 000 specjalistów, inżynierów i techników,
 - dostarczająca usługi techniczne dla przemysłu
- W Polsce reprezentowana przez Cegelec sp. z o.o.



DODATEK SPECJALNY

**Automatyka
przemysłowa**



Cegelec, spółka będąca częścią międzynarodowej grupy VINCI ENERGIES, w ramach której ponad 9000 pracowników świadczy usługi utrzymania ruchu w 20 krajach świata.

www.cegelec.pl

ZATRUDNIAMY OKOŁO 100 OSÓB, KTÓRE DOSTARCZAJĄ USŁUGI
DLA PONAD 120 KLIENTÓW W POLSCE I ZA GRANICĄ.

Przekładnie zębate

Rynek

- 5 Aktualności

Mechanika

- 8 Przekładnie zębate
– podział, wytwarzanie,
zastosowanie
dr inż. Ryszard Kuryjański

Bezpieczeństwo

- 16 Bezpieczny dostęp
do stref pracy maszyny
Włodzimierz Łabanowski

Napędy

- 21 Napędy przekształtnikowe.
Którą ofertę wybrać?
Marek Trajdos
- 26 Przegląd uszkodzeń uzwojeń
statorów silników elektrycznych.
Przyczyny, skutki, symptomy,
zapobieganie
dr inż. Mariusz Hetmańczyk

Hydraulika i pneumatyka

- 28 Automatykacja sprężarkowni
i obszaru poboru
sprężonego powietrza
Wojciech Halkiewicz

Energetyka

- 30 Energia dla polskiej gospodarki.
Teraźniejszość i przyszłość
– nowe technologie i rozwiązania
Grażyna Kurowska

Diagnostyka

- 33 Diagnostyka
w układach automatyki
dr hab. inż. Marek Fidali

Zarządzanie

- 38 Automatykacja w Polsce
na tle światowych osiągnięć
mgr inż. Agnieszka Hyla,
mgr inż. Grzegorz Czekala

- 40 Zespół, załoga, team
– jak zarządzać ludźmi?
Menadżerowie radzą menadżerom
Izabella Kiriczok

Dodatek specjalny: Automatyka

- 42 Czujniki przemysłowe XXI wieku.
Kierunki rozwoju
a oczekiwania klientów
dr inż. Piotr Michalski
- 45 Industry 4.0 w praktyce, czyli
o tym, jak zoptymalizowano
proces produkcji komputerów
przemysłowych w fabryce
systemów automatyzacji*
- 48 Fabryka przyszłości.
Jak wygląda zakład produkcyjny
XXI wieku?
dr inż. Adrian Kampa
- 52 Napędy i silniki DC
– czy ich stosowanie wciąż
ma sens w epoce napędów AC?*
- 54 Identyfikacja źródeł dźwięku
i drgań*
- 56 Deska rozdzielcza
rozmawia z robotem.
Przemysłowy Internet Rzeczy
Grażyna Kurowska
- 61 Wzrasta rola współpracujących
robotów przemysłowych*
Daniel Niepsuj
- 64 Rittal TS 8 – 10 milionów
wyprodukowanych egzemplarzy.
Najpopularniejszy system
szaf sterowniczych*
- 66 Enkodery przemysłowe.
Szczególny rodzaj przetworników
Hipolit Chrzanowski
- 69 Scentralizowana
czy zdecentralizowana
technika napędowa?*
- Mariusz Snowacki
- 72 Znaczniki RFID z dużą pamięcią
dr inż. Bartłomiej Gładysz

Przegląd uszkodzeń uzwojeń statorów silników elektrycznych

Przyczyny, skutki, symptomy, zapobieganie

Uszkodzenia statorów silników elektrycznych należą do częstych przyczyn awarii elektrycznych układów napędowych. Ograniczenie ryzyka awarii silników spowodowanych uszkodzeniami uzwojeń stojana należy do prostych zagadnień, a wymaga jedynie poznania podstawowych przyczyn leżących u podstaw ich powstawania. W artykule przedstawiono najczęściej występujące uszkodzenia uzwojeń statorów elektrycznych, przyczyny oraz skutki i występowania. Opisano także elementarne wytyczne umożliwiające ograniczenie liczby lub eliminację opisanych typów awarii.

Uszkodzenia uzwojeń statorów wynikają z kilku przyczyn, które mogą wystąpić na różnych etapach życia silnika elektrycznego [1-3]. Wśród opisanej grupy czynników można wyodrębnić fazy: projektową, montażu u producenta, transportu, zabudowy na linii oraz niewłaściwego użytkowania.

Wady wynikające z fazy projektowej lub produkcyjnej należą do rzadkich przypadków z powodu zaawansowanych procesów kontroli jakości finalnego produktu [4]. Z kilku najczęściej spotykanych nieprawidłowości montażowych znaczącą rolę odgrywają: nieprawidłowa impregnacja, błędy wykonania warstwy izolacji (zanieczyszczenia, nieciągłości, niezgodność materiałów izolacyjnych).

W artykule szczególną uwagę skupiono więc na uszkodzeniach spowodowanych zmiennością parametrów pracy lub bezpośrednim wpływem warunków środowiska.

Starzenie termiczne

Degradacja termiczna [6] występuje najczęściej w silnikach chłodzonych powietrzem [5]. Ogólnie można ją zdefiniować jako niekorzystny wpływ wywołany przekroczeniem dopuszczalnej temperatury pracy uzwojeń, który może spowodować powstanie uszkodzeń wtórnych. Do najczęstszych przyczyn należą: przekroczenie dopuszczalnego momentu obciążenia silnika (praca długotrwała lub przerywa-

na, szczególnie w przypadkach silników chłodzonych konwekcyjnie bez wymuszonego obiegu powietrza), krótkie czasy startu silnika, występowanie składowych wysokich harmonicznych generowanych przez przetwornice częstotliwości, awarie lub zanieczyszczenia układu chłodzenia. Do głównych objawów starzenia termicznego można zaklasyfikować wzrost temperatury uzwojenia. Jednak wiele aspektów tych uszkodzeń objawia się w postaci uszkodzeń mechanicznych, m.in.: pęknięcia, łuszczenia lub puchnięcia izolacji, a także miejscowego przypalenia powierzchni. Podstawowe środki zaradcze skupiają się wokół czynności konserwacyjnych uwzględniających w swoim zakresie: czyszczenie obudów, przeglądy przewietrzników, instalacji chłodzących, a także kontrole warunków środowiskowych. Ważne jest również sprawdzenie poprawności doboru klasy izolacji. W wielu przypadkach pozytywny rezultat daje odciążenie napędu. W przypadku nieodwracalnych uszkodzeń konieczne może okazać się przewinięcie uzwojeń statora.

Cykle termiczne

Występują w maszynach pracujących ze zmiennymi obciążeniami oraz z dużą dynamiką zmian obciążenia (udary momentów oporowych). Przyczyną jest najczęściej nieprawidłowy dobór silnika do konkretnej aplikacji (zbyt niska moc, pozycja montażowa, nieprawidłowy typ

chłodzenia). Zbyt duża dynamika zmian, w połączeniu ze zbyt niską mocą napędu, może spowodować nagłe wzrosty temperatury całego ustroju silnika. Kolejnym czynnikiem jest wysoka temperatura otoczenia, co powoduje trudności z chłodzeniem. Duża liczba cykli zmian temperatury powoduje powstawanie naprężeń pomiędzy rdzeniem oraz uzwojeniem, co może prowadzić do odspojenia izolacji [7].

Do objawów należą: pęcznienie izolacji, pustki powietrzne, obecność różnokolorowych proszków w przewodach chłodzących oraz zmniejszenie grubości izolacji [6]. Zapobieganie wystąpieniu opisanego typu awarii wymaga wdrożenia czynności tożsamyh z zapobieganiem niekorzystnych efektów degradacji termicznej.

Powtarzalne lub losowe udary napięcia

Udary napięcia [6] w uzwojeniu pojawiają w się wyniku: wyładowań atmosferycznych, zwarcć doziemnych, zaburzenia parametrów faz zasilających, awarii urządzeń rozruchowych lub sterujących. Udar napięciowy wynika najczęściej z wysokich częstotliwości zmian napięcia zasilania silnika. Drugim czynnikiem jest nieprawidłowa długość przewodów zasilających lub zbyt mała rezystancja izolacji [6]. Czynnikiem pozwalającym na eliminację jest zamontowanie filtra pomiędzy przetwornicą częstotliwości a silnikiem [5]. Częstym objawem występowania udarów napięcia

są przebarwienia izolacji oraz powstawanie wyczuwalnego zapachu ozonu w bezpośrednim sąsiedztwie maszyny.

Zanieczyszczenia powodujące zwarcia

Kolejna przyczyna awarii związana jest z zaniedbaniami czynności w ramach okresowych przeglądów silników elektrycznych. Nagromadzenie zanieczyszczeń stanowi znaczącą część przypadków prowadzących do poważnych i kosztownych awarii silników. Zanieczyszczenia mogą zostać sklasyfikowane do grupy stałych lub ciekłych. Najczęściej prowadzą do podniesienia temperatury silnika (skutek odwracalny) lub zwarcia (skutek nieodwracalny). Zagrożenia awarią silnika o podłożu związanym z wpływem zanieczyszczeń mogą zostać wyeliminowane poprzez zastosowanie odpowiedniej obudowy silnika lub montaż filtrów powietrza [6]. Zwiększenie niezawodności może także nastąpić w wyniku okresowego przeglądu stanu łożysk oraz zastosowanie smarów o podwyższonej temperaturze kroplenia (w celu zapobiegania wnikania środków smarnych do uzwojeń).

Zużycie ściernie

Zużycie ściernie może wynikać z dwóch przyczyn, obecności cząstek w powietrzu lub przycierania wirnika o stator [7]. Cząsteczki obce znajdujące się w powietrzu mogą doprowadzić do ścierania warstwy izolacji, co skutkuje nieodwracalnym w skutkach zwarcie. Pomimo permanentnego braku obecności cząstek ściernych mogą one pojawiać się okresowo w przypadku piaskowania, czyszczenia suchym lodem oraz zastosowania innych metod czyszczenia maszyn [6]. Diagnoza zużycia ściernego jest łatwa do wykonania. Najczęściej widoczne są odsłonięte części przewodnika, z drugiej strony – zużycie ściernie jest trudno zauważalne w początkowej fazie rozwoju.

Degradacja chemiczna

Główne przyczyny degradacji chemicznej to niekorzystne oddziaływanie ciekłych (rozpuszczalniki, kwasy, farby, woda) lub gazowych czynników agresywnych. Oddziaływanie opisanych elementów może spowodować rozmiękczenie, pęcznienie lub całkowitą utratę własności mechanicznych izolacji. Skutkami są obniżenie

rezystancji [6] oraz występowanie przebić i zwarcia. Dodatkowym wizualnym objawem degradacji chemicznej jest odbarwienie izolacji. Środki zapobiegawcze skupiają się wokół zabezpieczenia uzwojeń przed wpływem niekorzystnych czynników degradujących w postaci: obudów, okresowego czyszczenia, zastosowania osłon przed wodą, zabudowy specjalnych układów filtrujących lub zastosowania środków nieagresywnych chemicznie (np. w fazie czyszczenia uzwojeń). Wymagane jest także zapewnienie poprawnej wentylacji [1], co zapobiega skraplaniu się pary wodnej we wnętrzu obudowy silnika.

Drgania uzwojeń statora

Drgania uzwojeń mogą być wywołane czynnikami zewnętrznymi lub oddziaływaniami sił elektromagnetycznych statora i rotora. W przypadku nieprawidłowego zamocowania uzwojeń siły elektromagnetyczne powodują wzrost drgań uzwojeń w żłobkach. Taki stan powoduje przyspieszone pęknięcia zmęczeniowe izolacji oraz w konsekwencji zwarcia [6]. Osłabienie rezystancji izolacji oraz poluzowanie uzwojeń skutkuje powstaniem łuku elektrycznego powodującego miejscowy wzrost temperatury, a w konsekwencji – stopienie izolacji. Wśród wielu przyczyn powstania nadmiernych drgań uzwojeń można wymienić długotrwałą pracę w podwyższonej temperaturze (kurczenie się, powiększanie luzów oraz utrata własności mechanicznych tworzyw izolacyjnych). Do widocznych efektów uszkodzeń spowodowanych drganiami można zaliczyć obecność pyłu lub pasty (mieszania pyłu oraz oleju). Eliminacja uszkodzeń polega na wymianie materiału wiążącego, zmniejszeniu wartości temperatury pracy lub zwiększeniu wydajności systemu chłodzącego.

Nieprawidłowości w połączeniach mechanicznych

Problem nieprawidłowości w połączeniach mechanicznych obejmuje głównie kontrolę jakości wykonania złączy. Postępujący wzrost temperatury wywołany jest głównie zwiększeniem rezystancji, pociągającym za sobą podwyższenie temperatury pracy oraz termiczną degradację izolacji. W wyniku oddziaływania opisanych czynników połączenia mechaniczne

ulegają przyspieszonemu utlenianiu, co dodatkowo blokuje odpływ ciepła oraz podwyższa wartość rezystancji [6]. Źródłem są: niepoprawne lutowanie, zbyt niski moment dokręcenia lub poluzowanie elementów złącznych. Izolacja uzwojenia w bezpośrednim sąsiedztwie jest najczęściej przypalona lub ulega odbarwieniu. W przypadku stwierdzenia tego typu awarii możliwe jest zmniejszenie szybkości rozwoju uszkodzenia poprzez obniżenie obciążenia silnika oraz polepszenie warunków chłodzenia.

Podsumowanie

Uszkodzenia uzwojeń statorów silników elektrycznych mogą mieć różne podłoża, jednak wspólnym wykładnikiem (pojawiącym się w przypadku wszystkich odmian) jest wzrost temperatury.

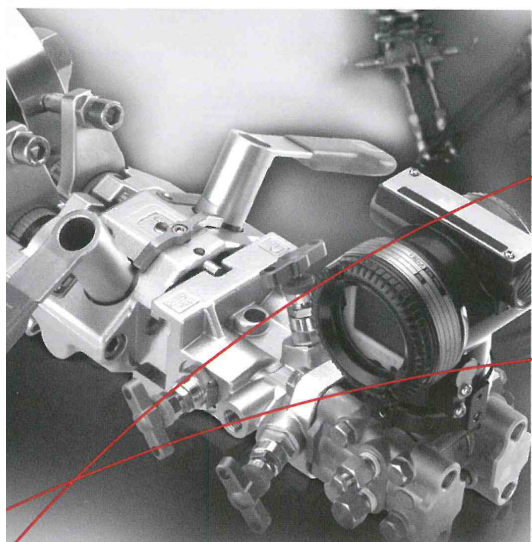
Większość symptomów uszkodzeń uzwojeń statorów objawia się dopiero w końcowej fazie ich rozwoju, co skutkuje trudnościami w diagnozie. Z drugiej strony – zapobieganie obejmuje wiele prostych czynności, które ujęte są w planach przeglądów okresowych napędów elektrycznych [4].

Zastosowanie diagnostyki uszkodzeń można oprzeć na bazie pomiarów temperatury. Zastosowanie pomiarów kontaktowych, pirometrów lub termografii znacznie podnosi wskaźnik wykrywalności uszkodzeń. □

Piśmiennictwo

1. Hughes A.: *Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications* (3rd edition). Elsevier Linacre House, Oxford, 2006.
2. Leonhard W.: *Control of Electrical Drives*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg 2001.
3. Nasar S.A.: *Theory and Problems of Electric Machines and Electromechanics*. McGraw-Hill, USA 1998.
4. Palmér R.D.: *Maintenance planning and scheduling handbook*. McGraw-Hill Education, USA 2006.
5. Sheldrake A.L.: *Handbook of Electrical Engineering For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry*. John Wiley & Sons Ltd, Wiltshire 2003.
6. Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: *Electrical Insulation for Rotating Machines. Design, evaluation, aging, testing, and repair*. IEEE Press, USA 2004.
7. Toliyat H.A., Kliman G.B.: *Handbook of electric motors*. CRC Press, New York 2004.

CENTRUM SZKOLEŃ INŻYNIERSKICH



Twój partner w przemyśle

INTEGRUJEMY GŁÓWNE PIONY PRZEMYSŁOWE

- kompleksowo ucząc nowoczesnych technik i metod działania.

- Hydraulika siłowa
- Pneumatyka przemysłowa
- Frezarki i tokarki CNC
- Automatyka produkcji / PLC / SCADA
- Robotyka, sensoryka produkcji
- Systemy CAD / CAM / CAE
- Tworzywa sztuczne
- Zarządzanie jakością produkcji
- Technologie informatyczne

Kursy i warsztaty praktyczne

kierowane do Służb utrzymania ruchu w tym działów: automatyki, mechanicznych, energetycznych, technicznych oraz projektów konstrukcyjnych.

Gwarantujemy

- ✓ Specjalistyczne szkolenia w doskonałych warunkach
- ✓ Nowoczesne pracownie szkoleniowe
- ✓ Unikalne stanowiska dydaktyczne do modelowania układów
- ✓ Wyselekcjonowanych specjalistów z bogatym doświadczeniem przemysłowym
- ✓ Fachową dokumentację szkoleniową



Dołącz do Nas na **Facebooku**
www.facebook.com/EMTSystems



Dołącz do Nas na **Google+:** EMT-Systems



SIEMENS



Zapraszamy na nasz kanał