

Marek Kacperak, Cementownia Odra S.A., Opole
Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, Opole

EKSPLOATACJA I DIAGNOSTYKA MASZYN ELEKTRYCZNYCH W PRZEMYSŁE CEMENTOWYM - ZAGADNIENIA WYBRANE

MAINTENANCE AND DIAGNOSTIC OF ELECTRIC MACHINES IN CEMENT INDUSTRY

Abstrakt : This short document describes represents question about maintenance and diagnostic of electric drive system. Industrial plant which they work in continuous system they require different way of repairs. Preventive working are important element in work of plant. Qualification of technical state of machines lies out the directions of repairs and observation. Every element of driving system should possess supervisory apparatus. Author represents his working for assurance of correct work of devices. The task of maintenance was introduced for on-line and off-line.

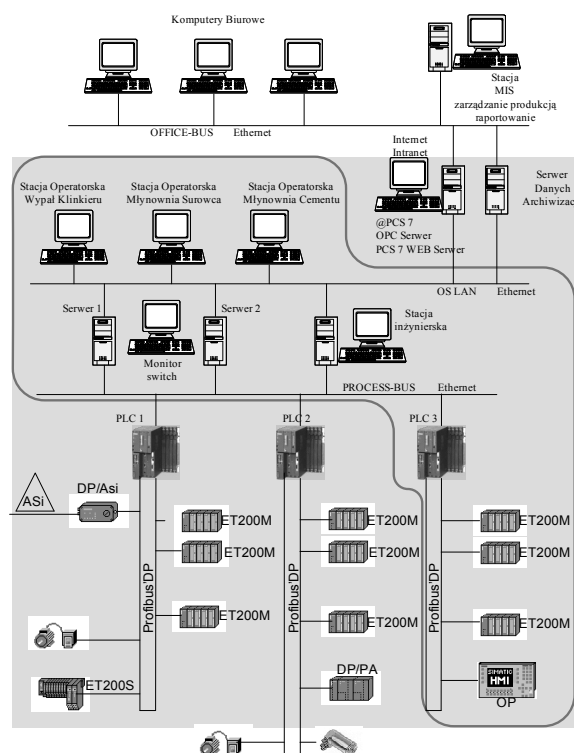
1. Wstęp

Ruch ciągły w zakładach przemysłowych wymaga specyficznego podejścia do spraw eksploatacji i diagnostyki maszyn elektrycznych. Dużym wyzwaniem jest utrzymanie w sprawności ruchowej instalacji w okresie między przeglądami. Bardzo istotne są działania prewencyjne podejmowane podczas pracy i krótkotrwałych postojów instalacji. Diagnostyka kontrolna oraz monitoring pozwala na określenie stanu technicznego instalacji. Zbierając dane z poszczególnych obiektów możemy planować zakresy rocznych remontów. W skrajnych przypadkach określamy czy dany element (np. silnik) nadaje się do remontu kapitalnego. W takich przypadkach należy porównać koszty remontu i zakup nowej jednostki.

2. Monitoring układów napędowych

W urządzeniach technologicznych obserwacja poszczególnych parametrów technologicznych obok sygnałów pomiarowych, pomaga analizować przyczyny występowania alarmów w systemie. Remontowane jak i nowe silniki należy wyposażać w odpowiednio skonfigurowaną aparaturę kontrolno pomiarową. Pomiar temperatury uzwojeń, temperatura łożysk, pomiary drgań powinny być przekazywane do systemów operatorskich. W Cementowni ODRA S.A. w układach napędowych dane zbierane i analizowane są w systemie CEMAT PCS7 Siemens - rys.1. Wprowadzenie ciągłego monitoringu urządzeń technologicznych zapewnia pełną kontrolę nad

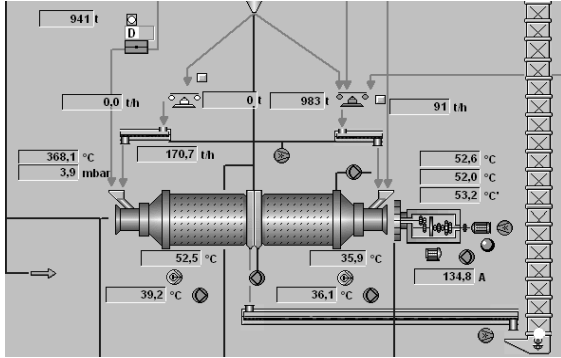
pracującymi urządzeniami. Częstość przypadkiem przekraczania granicznych wartości prądów, temperatur, jest przeciążanie układów technologicznych lub awaria układu mechanicznego. Monitorowanie na każdym poziomie obiektu technologicznego, jego podstawowych parametrów ruchowych pozwala na wcześniejsze wykrycie źródła awarii i ograniczenie jej skutków.



Rys.1. System sterowania CEMAT PCS7

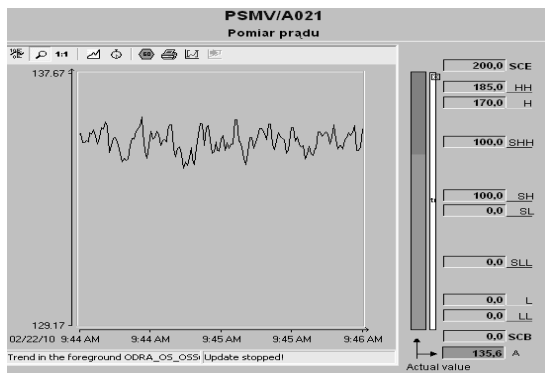
3. Sposoby obserwacji układów napędowych on-line

Istotnym elementem układów synoptycznych (rys. 2) jest prezentacja pomiarów oraz sygnałów diagnostycznych.



Rys. 2. Tablica synoptyczna młyna surowca

Poprawne ustawienia poziomów dopuszczalnych sygnałów, „obsługiwanie” alarmów, umożliwia operatorom zaobserwowanie przekroczeń oraz umożliwia szybsze wyłączenie maszyny – rys. 3 ÷ 7.



Rys. 3. Trend prądu silnika FHA 710 K12 1400 kW 6 kV młyna surowca

W urządzeniach technologicznych obserwacja parametrów technologicznych obok sygnałów

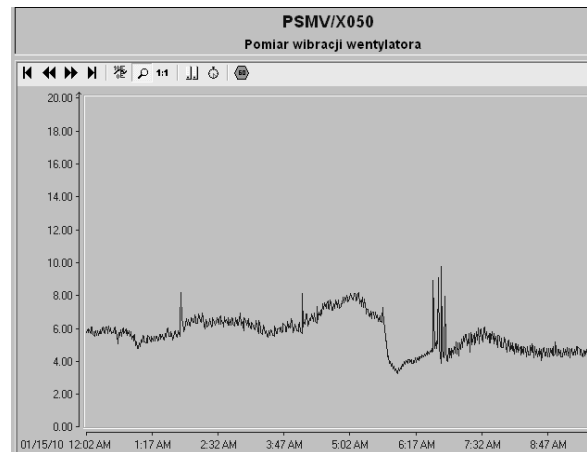


Rys. 4. Tabela alarmów generowana przez system CEMAT

pomiarowych pomaga analizować przyczyny występowania alarmów w systemie. Sygnały pomiarowo-diagnostyczne możemy podzielić ze względu na:

- Śledzenie trendów sygnałów z modelowanymi poziomami:
 - Normalnej pracy (zakres zielony)
 - Stan ostrzegawczy (zakres żółty)
 - Stan awaryjny wyłączenie (zakres czerwony)

Stan ostrzegawczy generuje alarm wyświetlony dla operatora, niezależnie na której planszy jest aktualnie. Stany awaryjne dodatkowo obsługiwane są sekwencją wyłączenia (wykonywane są czynności zabezpieczające, w sytuacjach krytycznych wyłącza się napęd).



Rys. 5. Trend wibracji łożyska silnika DKK 560-6/063 Ic 630 kW wentylatora piecowego

- Rejestracja parametrów normalnej pracy przy różnych obciążeniach:
 - Wartości temperatur uzwojeń.
 - Poziomy drgań.
 - Stan układów smarowania (przepływ oleju, temperatura).
 - Pomiar zużycia energii elektrycznej.
- Rejestracja zakłóceń maszyny:
 - Przekroczenia parametrów rozruchu.
 - Przeciężenia maszyny.
 - Rejestracja przyczyny wyłączenia.

Częstym przypadkiem przekraczania granicznych poziomów prądów, temperatur jest przeciążenie układów technologicznych lub awaria układu mechanicznego.

4. Źródła sygnałów pomiarowych i diagnostycznych

W rozbudowanych systemach sterowania procesami technologicznymi posiadamy kilka systemów generujących interesujące nas parametry. Konsolidacja sygnałów rejestrowanych w różnych miejscach jest kłopotliwa ze względu na brak standaryzacji protokołów komunikacyjnych. W takiej sytuacji jedynym rozwiązaniem jest wystawianie sygnałów dublowanych przechodzących do układów wejściowych systemu który wybraliśmy jako główny.

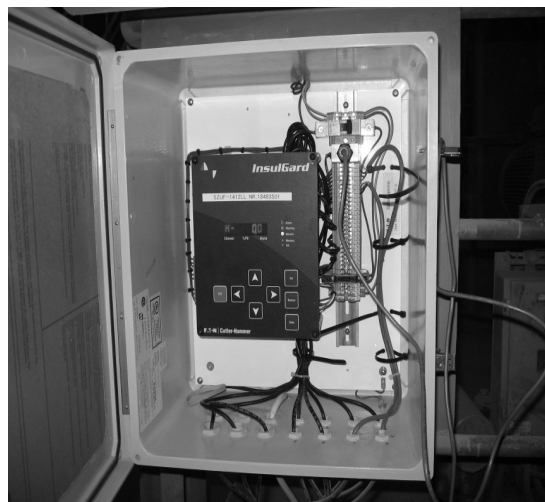


Rys. 6. System pomiaru drgań względnych silnika SYUe-148r/01 1000kW 6 kV

System sterowania procesem technologicznym łączy się :

- Z systemem rozliczania energii elektrycznej przekazujący zużycie dla wybranych liczników napędów głównych.
- Z systemem zabezpieczeń cyfrowych 6 kV w polach zasilających.
 - Sygnały alarmowe
 - Blokady rozruchu
- Z systemami pomiarów drgań względnych łożysk (rys. 6)
- Z systemami pomiarów wylądowań niezupełnych (rys.7).
- Z systemami stacji olejowych, pomiary i sygnały błędów.

Realizacja poszczególnych połączeń odbywa się za pomocą programowanych kart cyfrowych lub przez wymianę sygnałów analogowych i cyfrowych. W przypadku realizacji przesyłu komunikatów o awariach i zakłóceniach najwygodniejsze jest wygenerowanie w systemie głównym tabeli alarmów wyzwalanych kodem cyfrowym przesyłanym z podrzędnego systemu.



Rys. 7. System pomiaru wylądowań niezupełnych Insulgard silnika FH 710 K12 1400 kW 6 kV

5. Podział sygnałów alarmowych ze względu na przyczynę powstawania

Dla zachowania czytelności tablic synoptycznych tylko niektóre parametry pokazywane są bezpośrednio na głównym ekranie. Wybrane sygnały alarmów pozwolą skierować odpowiednie służby do systemu podrzędnego celem pełnej diagnostyki przyczyny powstania.

- Przeciążenia i zakłócenia technologiczne układu napędzanego.

Operator może bezpiecznie odciążyć maszynę obserwując parametry pracy silnika. Zabezpieczenia cyfrowe pracujące w oparciu o model cieplny zezwalają na pracę z dopuszczalnym nagrzewaniem się maszyny. W zabezpieczeniach pół 6 kV pokazywany jest procent wykorzystania mocy cieplnej po przekroczeniu której silnik będzie wyłączony. Parametr ten ułatwia bezpieczne schłodzenie uzwojeń silnika bez konieczności wyłączania go.

- Złe parametry rozruchu.

Operator zgłasza przyczynę nieudanego rozruchu służbom utrzymania ruchu. Obserwacja parametrów rozruch oraz alarmów układu rozruchowego zapobiega niepotrzebnym próbom rozruchowym będącym główną przyczyną wypaleń czoła uzwojeń.

- Sygnały blokady rozruchu.

Zabezpieczenia cyfrowe kontrolują ilość rozruchów w każdym stanie nagrzania silnika

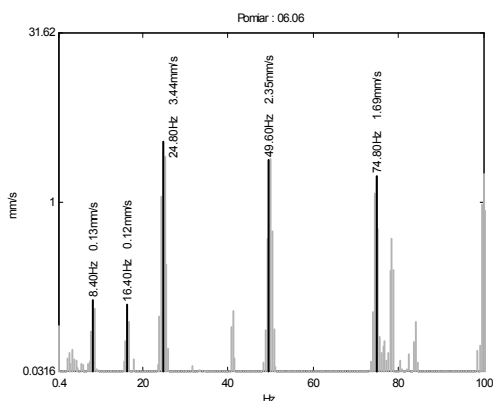
- Przekroczenia parametrów lub zakłócenia układów smarowania.

Rozbudowane systemy smarowania monitorują prace filtrów, przepływy i temperatury oleju.

- Przekroczenia poziomów dopuszczalnych drgań.

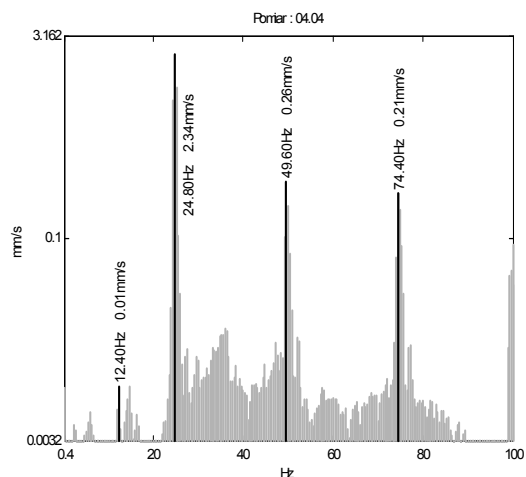
Powstałe zakłócenie należy zdiagnozować obejmując pomiarami kontrolnymi cały układ napędowy łącznie z przekładnią.

Na rys. 8 [1] przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów diagnostycznych widma prędkości drgań bezwzględnych stojaka łożyskowego przykładowego silnika. Zmiany w charakterze widma typu pojawienie się subharmonicznych $1/3 \times f_{obr}$, $2/3 \times f_{obr}$ mogą świadczyć o występowaniu luzu w zabudowie panewek łożysk ślizgowych. W łożysku tego silnika od strony napędowej miał miejsce nieprawidłowy zacisk panewek spowodowany ich poluzowaniem. Niesprawność usunięto.



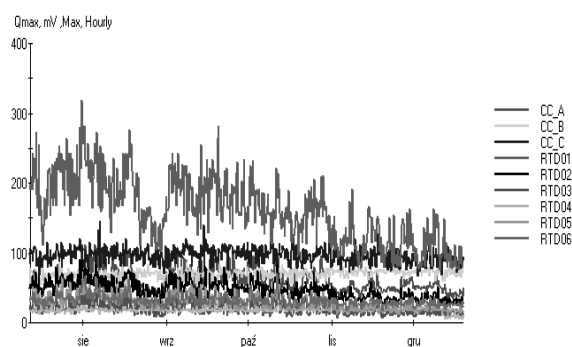
Rys. 8. Drgania bezwzględne stojaka łożyskowego od strony napędowej, kierunek V, V_{RMS} , przykładowego silnika, 1490 obr/min, przypadek nieprawidłowego zacisku panewek, spowodowany ich poluzowaniem

Zdarzały się przypadki zbyt dużych luzów pomiędzy panewką, a czopem wału. Przypadek taki dla silnika o mocy 1 MW, 1480 obr/min zilustrowano na rys. 9. W widmie drgań bezwzględnych na stojaku łożyskowym łożyska, w którym luz ten występuje, obok składowych $1 \times f_{obr}$ (24,8 Hz), $2 \times f_{obr}$ (49,6 Hz) występuje, a następnie rośnie z upływem czasu składowa subharmoniczna $1/2 \times f_{obr}$ (12,4 Hz). W warunkach eksploatacji cementowni pewna grupa ważnych technologicznie wentylatorów ulega w

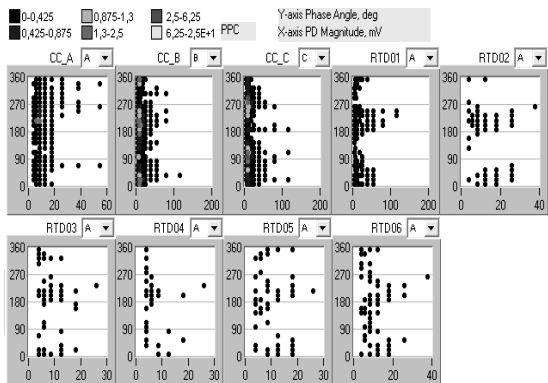


Rys. 9. Drgania bezwzględne stojaka łożyskowego od strony napędowej, kierunek V, V_{RMS} , silnik o mocy 1 MW, 1480 obr/min, przypadek zbyt dużego luzu pomiędzy panewką, a czopem wału

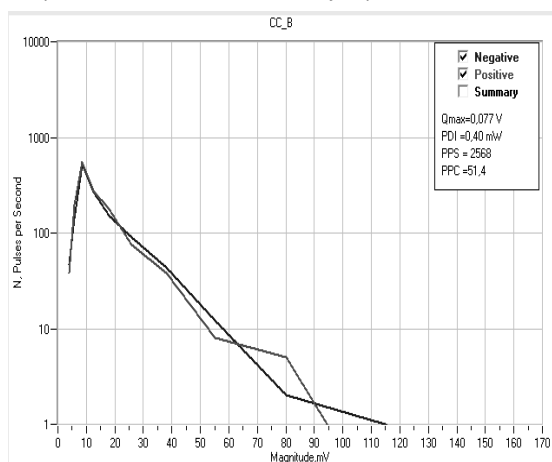
trakcie eksploatacji rozważeniu na wskutek oblepiania się materiałem technologicznym. Jest to ruchowo bardzo dokuczliwe. Można temu zapobiec stosując układy do automatycznego doważania w trakcie eksploatacji. Przykład takiej wyważarki przedstawiono na rys. 14. Na rys.10 ÷ 13 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów on-line wyładowań niepełnych układem z rys. 7. Na dzień dzisiejszy nie widać zagrożeń dla stanu izolacji badanego silnika.



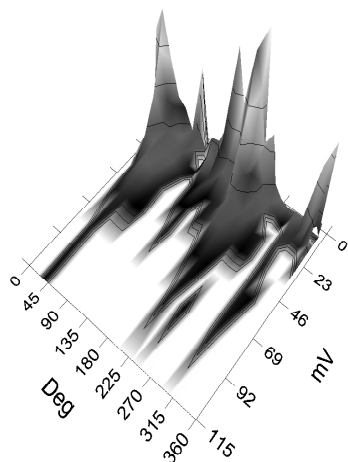
Rys. 10. Silnik o mocy 1 MW, 6 kV, pomiar wnz przy użyciu kondensatorów i czujników RTD, wykresy Q_{max} dla tryb, miesięcznego



Rys. 11. Silnik o mocy 1 MW, 6 kV, pomiar wnz przy użyciu kondensatorów oraz czujników RTD wykresy fazowo-rozdzielcze, zależność amplitudy, częstotliwości wnz od fazy,



Rys. 12. Silnik o mocy 1 MW, 6 kV, wykres dla fazy B przy pomiarze wnz kondensatorem, częstotliwość wnz w zależności od wielkości wnz dla polaryzacji ujemne, dodatniej impulsów



Rys. 13. Silnik o mocy 1 MW, 6 kV, wykres fazowy jak wyżej 3D dla fazy B przy pomiarze wnz kondensatorem

6. Wpływ zapisów diagnostycznych i ruchowych na zakres remontów maszyn elektrycznych

Analizując parametry pracy oraz zapisy diagnostyczne możemy diagnozować przyczyny występowania uszkodzeń. Według autorów podstawowe przyczyny uszkodzeń silników elektrycznych to [1]:

- Wadliwe zainstalowanie silnika. Uszkodzenia ram, fundamentów, zły stan sprzęgieł.

- Wysoki poziom drgań układu.

Wyniki pomiarów i analizy drgań w poszczególnych węzłach ukierunkują pracę służb mechanicznych podczas remontu. Dla optymalizacji pracy niektórych wentylatorów pracujących w trudnych warunkach powodujących oblepianie wirników konieczne jest instalowanie wyważarki dynamicznej on-line (rys. 14). Zapisy poziomów drgań w korelacji z parametrami technologicznymi pomogą podjąć taką decyzję.



Rys. 14. Wyważarka dynamiczna dla wentylatora obiegowego silnik DKK 560-6/063, 630 kW

- Zbyt ciężki rozruch.

Dostosowanie technologiczne do procesu rozruchu oraz instalowanie nowych sterowanych cyfrowo rozruszników zmniejszy ryzyko uszkodzeń.

- Źle dobrane silniki do układu technologicznego.

- Złe środowisko pracy silnika.

W procesach technologicznych agregaty produkcyjne często wpływają negatywnie na pracę silników. Promieniowanie termiczne można zmniejszyć przez stosowanie ekranów. W niektórych przypadkach należy stosować dodatkowe chłodnice zewnętrzne.

- o Eksploatacja silników z obniżonymi parametrami izolacji.



Rys. 15. Rewizja silnika 1000 kW 6 kV DSE 1318-6

Przeprowadzenie szczegółowych badań kontrolnych podczas remontów rocznych określi zakres czynności do wykonania dla zapewnienia bezawaryjnej pracy maszyny. Potwierdzeniem poprawnie wykonanych remontów jest diagnostyka off-line silnika.

Tablica 1. Wyniki pomiarów napięciem schodkowym przed i po remoncie stojana silnika 1000 kW 6 kV DSE 1318-6

Przed remontem			Po remoncie		
Temp [st. C]	Upom [V]	R _{zoi} [MΩ]	Temp [st. C]	Upom [V]	R _{zoi} [MΩ]
20	1012	2010,0	17	1011	2637,0
	2025	1651,0		2024	2745,0
	3031	1575,0		3030	2739,0
	4041	1535,0		4039	2686,0
	5054	1497,0		5051	2574,0

Tablica 2. Wyniki pomiarów izolacji przed i po remoncie stojana silnika 1000 kW 6 kV DSE 1318-6

Data pomiaru	Temp [°C]	Uzwojenie stojana					PI	R ₆₀ /R ₁₅
		Upom [V]	R ₁₅ [MΩ]	R ₆₀ [MΩ]	R ₆₀₀ [MΩ]			
27.11.2006 Przed renowacją	20	5000	519,9	1056,0	1979,0	1,87	2,03	
11.12.2006 Po renowacji	17	5000	1114	2245,0	4035,0	1,80	2,02	

Przeprowadzenie przeglądu silnika poprawiającego stan techniczny w opinii autorów powinno obejmować (rys.15):

- usunięcie zanieczyszczeń z uzwojeń z ewentualnym myciem,
- klinowanie i lakierowanie uzwojeń,
- naprawy uszkodzeń mechanicznych, pokryw łożyskowych i wentylatorów,
- konserwacja układu szczotkowego z częściową wymianą.

Istotną czynnością podczas remontu jest sprawdzanie zamocowania uzwojeń. Wzmocnienie bandaży czoł uzwojeń oraz poprawa klinowania

cewek zmniejsza prawdopodobieństwo przetarć mechanicznych.

7. Podsumowanie

Autorzy na bazie wieloletniej praktyki w eksploatacji maszyn elektrycznych przedstawili sposoby integracji systemów pomiarowych i diagnostycznych, wpływ danych diagnostycznych na prace remontowe jakie występują podczas eksploatacji układów napędowych w przemyśle cementowym. Rozbudowane systemy sterowania dają możliwości scalenia informacji diagnostycznych w jednym obszarze. Stały monitoring sprawności technicznej układów napędowych wpływa na zmniejszenie liczby awarii oraz powoduje zmniejszenie skutków awarii przez wykrywanie ich w początkowej fazie. Stosowanie systemów diagnostycznych staje się opłacalne dla przedsiębiorstw.

8. Literatura

[1]. Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wyd. Politech. Opolskiej, Opole 2006.

Autorzy

Mgr inż. Marek Kacperak
Cementownia Odra S.A.
mkacperak@odrasa.com.pl

Dr hab.inż Sławomir Szymaniec prof. PO
- Politechnika Opolska
s.szymaniec@po.opole.pl