

Marek Kacperak
Cementownia Odra S.A., Opole

EKSPLOATACJA I DIAGNOSTYKA MASZYN ELEKTRYCZNYCH W PRZEMYŚLE CEMENTOWYM - ZAGADNIENIA WYBRANE

MAINTENANCE AND DIAGNOSTIC OF ELECTRIC MACHINES IN CEMENT INDUSTRY

Abstract : This short document describes represents question about maintenance and diagnostic of electric drive system . Preventive working are important element in work of plant. Qualification of technical state of machines lies out the directions of repairs and observation Industrial plant which they work in continuous system they require different way of repairs. 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

Diagnostyka kontrolna oraz monitoring pozwala na określenie stanu technicznego instalacji. Mając do dyspozycji szereg technicznych sposobów określania czasu bezpiecznej pracy maszyny musimy zdecydować z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego o rodzaju i ilości stosowanej diagnostyki. Dobór efektywnych sposobów diagnostyki wcześniej wykrywających uszkodzenia .

Do efektywnych sposobów diagnostyki należą techniki on-line. Pomiar drgań względnych dla napędów o łożyskach ślizgowych wolny jest od negatywnego wpływu filmu olejowego na selektywność pomiaru.

Pomiary wyładowań niepełnych monitorują w sposób ciągły izolacją główną , zwojową maszyn elektrycznych. Pokazują powstałe defekty izolacji . Układ wykryje pogorszenie środowiska pracy maszyny ,przez co możemy podjąć działania naprawcze i poprawić warunki niekorzystne degenerujące układ izolacyjny. W artykule pokazane będą wybrane możliwości systemów diagnostycznych.

2. Monitoring układów napędowych

Systemy monitoringu wspomagają identyfikację poszczególnych stanów maszyny z uwzględnieniem uwarunkowań technologicznych. Poprawne zakwalifikowanie sygnałów diagnostycznych jest kluczowym momentem analizy występowania anomalii układów. W urządzeniach technologicznych pracujących w trudnych warunkach otoczenia bardzo istotnym elementem są zewnętrzne czynniki środowiska. Niejednokrotnie brak korelacji czynników zewnętrznych z parametrami diagnostycznymi może

doprowadzić do błędnej analizy przyczyn powstawania przekroczeń poziomów. Obserwacja poszczególnych parametrów technologicznych obok sygnałów pomiarowych, pomaga analizować przyczyny występowania alarmów w systemie monitoringu. Remontowane jak i nowe silniki należy wyposażać w odpowiednio skonfigurowaną aparaturę kontrolno pomiarową. Pomiar temperatury uzwojeń, temperatura łożysk, pomiary drgań. W Cementowni ODRA S.A. w układach napędowych dane zbierane i analizowane są w systemie CEMAT PCS7 Siemens.

Monitorowanie i zabiegi eksploatacyjne układów napędowych podzielone jest na zadania:

- Śledzenie trendów sygnałów z programowanymi 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).

Krytycznymi urządzeniami dla łożysk ślizgowych maszyn są stacje olejowe. Obserwacja i prawidłowe ustawienie parametrów oleju (temperatura, przepływ) bezpośrednio wpływają na żywotność panewek.

W nowoczesnych rozwiązaniach stosowana oprócz kontroli i regulacja przepływu oleju jest kontrola zabrudzenia filtrów.



Rys. 1. Stacja olejowa

- Rejestracja parametrów pracy:
 - Wartości temperatur uzwojeń.
 - Poziomy drgań.
 - Stan układów smarowania (przepływ oleju, temperatura).
 - Pomiar zużycia energii elektrycznej.

Kontrola poszczególnych parametrów pozwoli na wykrycie zmieniających się warunków zewnętrznych zainstalowanego silnika napędzającego układ technologiczny. Drastyczna zmiana środowiska może doprowadzić do nadmiernego zużycia poszczególnych elementów układu napędowego.

- Rejestracja zakłóceń maszyny:
 - Przekroczenia parametrów rozruchu.
 - Przeciżenia maszyny.
 - Rejestracja przyczyny wyłączenia.

3. Aspekty poprawnej pracy maszyny elektrycznej

Z długoletniej obserwacji i doświadczenia zawodowego autora najistotniejsze aspekty to:

- Poprawne zamocowanie silnika (rama, osiowanie laserowe)

Rodzaj ramy, fundamentu w znaczący sposób wpływa na stabilność pracy silnika. Lekkie ramy powodują powstanie dodatkowego źródła wibracji . Mając ramy izolowane tłumikami od fundamentu należy dbać o ich sprawność , nie dopuszczać do powstawania mostków z zanieczyszczeń.

- Prawidłowy rozruch, czas blokady, stałość parametrów (opory fechlarowe schemat)

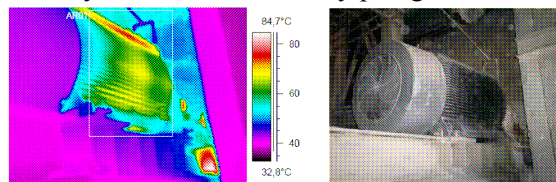
Każdy rodzaj rozrusznika można w poprawny sposób eksploatować. Układy oparte o opory

fechlarowe charakteryzują się dobrą wytrzymałością, stabilnymi parametrami pracy. Nowe układy sterowania pozwalają zabezpieczyć trwałość tych elementów, kontrolując poziom temperatury, skuteczność chłodzenia.

- Zmienne parametryzowane charakterystyki zabezpieczeń termicznych. Model ciepły maszyny.
- Stan techniczny chłodzenia, przewietrzania maszyny (w trudnych warunkach pracy jakie są w cementowni czystość czół uzwojeń, czyszczenie z osadów olejowo - pyłowych). Stosowanie metod technicznych mycia izolacji.

Okresowa kontrola środowiska pracy przeprowadzana w okresach deszczowych, upałów, mrozów pozwala na sprawdzenie czy poprawnie jest eksploatowany silnik. W procesach technologicznych produkcji cementu występuje silne oddziaływanie termiczne obiektu. Dla poprawy warunków musimy stosować ekrany termiczne, wentylacje miejscowo dostarczające zimne powietrze.

Dobrym sprawdzeniem podjętych działań naprawczych jest przeprowadzanie pomiarów termowizyjnych . W obrazie termowizyjnym możemy zaobserwować strefy przegrzewania.



Rys. 2. Pomiar termowizyjny wentylatora ciągu pieca wypału klinkieru ,o silnym oddziaływaniu termicznym układu wypału

W przypadku napędu głównego młyna cementu silnik Sf 500Y8Ds 1200 kW 690V zastosowano chłodnicę wodną zewnętrzną.



Rys. 3. Zewnętrzna chłodnica wodna silnika Sf 500Y8Ds 1200 kW 690V

- Kontrola stanu izolacji głównej metodami technicznymi na postoju.

W okresie remontowym mamy możliwości pełnej kontroli stanu izolacji. Badania w zależności od stanu uzwojeń i mechaniki przeprowadzamy na stanowisku lub dla maszyn w których planujemy poprawę powłoki izolacyjnej, regeneracja bandaży czoła, wymiany klinów i innych regeneracji preferujemy demontaż, pomiary na specjalnych stanowiskach diagnostycznych.

- Poprawa izolacji stojana i wirnika

Przed wykonaniem czynności regeneracyjnych należy wykonać badania a następnie sprawdzić efekt regeneracji. Zdarzają się uzwojenia silników będących pod koniec żywotności, które po regeneracji nie dają zadowalającego poziomu sprawności. Takie silniki są kierowane do wymiany uzwojenia lub zastosowania innego silnika.

4. Diagnostyka off-line i on-line

Mając do nadzorowania wiele urządzeń technologicznych musimy w procesie tworzenia systemów diagnostycznych zdecydować jakie wyposażenie, a co za tym idzie jaki rodzaj pomiaru będzie ekonomicznie i technicznie uzasadnione na danym stanowisku.

- Małe napędy oraz napędy których zatrzymanie jest możliwe bez strat produkcyjnych obejmujemy cyklicznymi badaniami drgań podczas pracy. Utworzone są ścieżki pomiarowe realizowane o ustalone harmonogramy (w okresach 3 miesięcznych). Pomiary izolacji wykonywane są podczas rocznych przeglądów.
- Napędy na których występowały problemy z drganiami mierzone są co miesiąc.
- Napędy strategiczne lub napędy zagrożone drganiami powstałymi w wyniku oklejania się wirników wentylatorów materiałem z procesu technologicznego wyposażane są w system stałego monitoringu on-line.

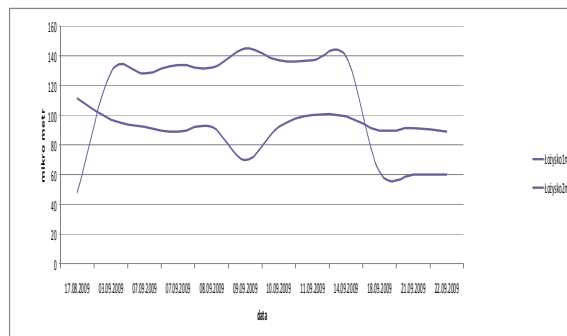
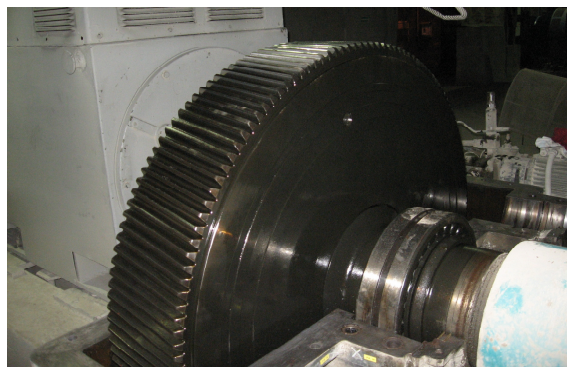
Aby uniknąć częstego zatrzymywanie procesu technologicznego wentylatora ciągu młyna surowca zastosowano pomiar ciągły z wyważarką dynamiczną wentylatora.



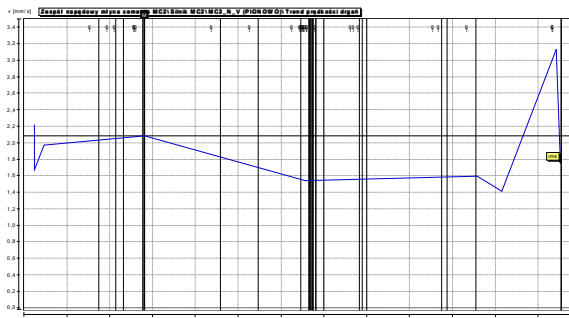
Rys. 4. Wyważarka dynamiczna dla wentylatora obiegowego silnik DKK 560-6/063, 630 kW

Analizując awarie powstałe na silnikach o łożyskach ślizgowych zauważamy lepsze wykrywanie uszkodzeń przy pomiarze drgań względnych.

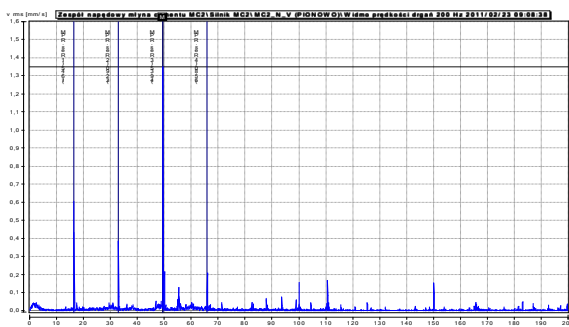
Analizując przykład: wartości drgań bezwzględnych na stojakach łożyskowych silnika SYUe-148r/01 1000kW 6 kV były do zaakceptowania. Pomiar drgań względnych wskazywał na przekroczenie wartości alarmowej 150 mikrometrów. Po pomiarach kontrolnych drgań bezwzględnych węzłów łożyskowych przekładni maszynę zatrzymano do rewizji wewnętrznej przekładni.



Rys. 6. Wykres trendu drgań względnych węzła łożyskowego silnika SYUe-148r/01 1000kW 6 kV (obniżenie wartości nastąpiło po naprawie przekładni)

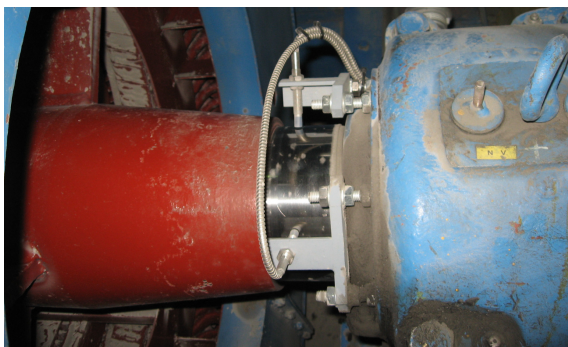


Rys. 7. Trend Drgania bezwzględne stojaka łożyskowego od strony napędowej, kierunek V, V_{RMS} , przykładowego silnika, 740 obr/min. Wzrost wartości do poziomu 3,4 mm/s



Rys. 8. Drgania bezwzględne stojaka łożyskowego od strony napędowej, kierunek V, V_{RMS} , przykładowego silnika, 740 obr/min

Na rysunku przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów diagnostycznych trendu prędkości drgań 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. Stwierdzono w łożysku przekładni wałka szybkiego od strony napędowej nieprawidłowy luz gniazda łożyskowego, co mogło doprowadzić do wybicia obudowy łożyska. Przekładnię naprawiono przez wymianę łożysk i skasowanie luzu montażowego.



Rys. 9. System pomiaru drgań względnych silnika SYUe-148r/01 1000kW 6 kV

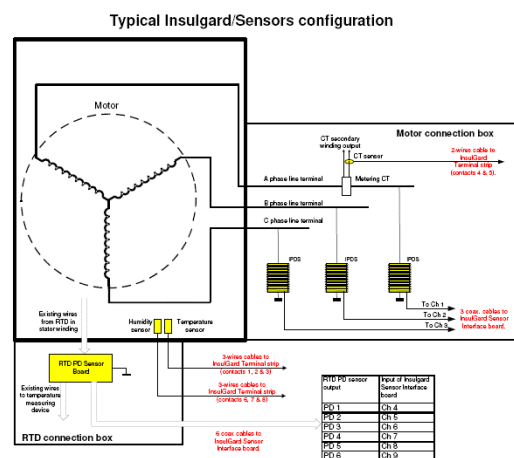
Szybko rozwijające się uszkodzenia układu napędowego można wykryć posiadając monitoring on-line. Pomiar drgań względnych jest dokładniejszy, umożliwia szybsze zatrzymanie maszyny, przez co zmniejsza skutki i koszty awarii. Utrudnieniem stosowania układu jest konieczność przygotowania ścieżek pomiarowych na wałach (niski runout wału np. 5 μ m). Przygotowanie wirnika przeprowadza się w wyspecjalizowanych firmach.

Prowadząc proces ciągły nie mamy możliwości wykonywania pomiarów off-line izolacji silników (poza okresem remontowym).

W Centowni ODRA S.A. wprowadzono dla napędów strategicznych **systemy pomiaru wyładowań niepełnych**

Dla przykładu napęd główny młyna surowca silnik FH 710 K12 1400 kW 6 kV

W uzwojeniu zabudowano 18 czujników RTD: 12 szt. rozmieszczonych w żłobkach między bokami cewek po obu stronach pakietu (po 2 na fazę z każdej strony pakietu) oraz po 3 na czołach uzwojeń (liczba żłobków stojana $z=108$). Czujnikami wzn będą 3 kondensatory sprzęgające 1000 pF (zdjęcie 5) oraz cewka Rogowskiego. Centralna jednostka monitorująca wykrywa i analizuje częstotliwości radiowe emitowane przez wyładowania niepełne. Wyładowanie te zbierane są przez czujniki zabudowane w silniku. InsulGard pracuje w zakresie od 1 MHz do 20 MHz. Na podstawie danych pomiarowych wyładowań niepełnych można wyznaczać przebiegi tych zmiennych. Poprzez monitoring on-line można określić zmiany w stanie układu izolacyjnego.



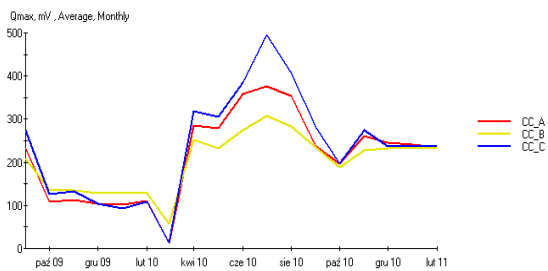
Rys. 10. System pomiaru wyładowań niepełnych Insulgard silnika FH 710 K12 1400 kW 6 kV

Analiza wylądowań niezupełnych może dostarczyć informacji o początkowych stadiach degradacji izolacji. Dokładne wskazanie miejsca potencjalnego uszkodzenia ułatwi proces naprawy. Poniżej przedstawiono schemat główny pomiaru wzn silnika.



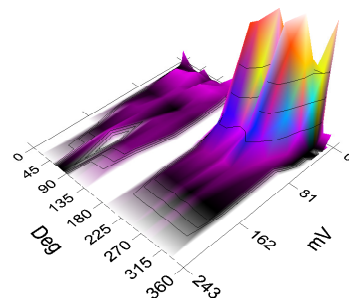
Rys. 11. Zabudowane kondensatory sprzęgające 1000 pF Silnik FH 710 K12 1400 kW 6 kV

Prowadząc eksploatację systemów pomiaru online wzn zaobserwowano zmiany intensywności wzn w przekroju rocznym. Okresy dużych opadów i wilgotności powietrza powodują znaczne wzrosty poziomów. Tendencje w tym samym czasie równocześnie zaobserwowano na różnych silnikach. Pokazuje to duży wpływ warunków zewnętrznych na wzn.

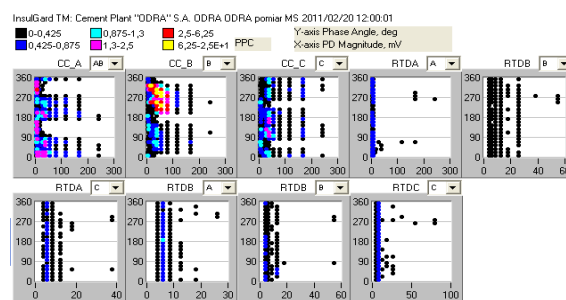


Rys. 12. Wykres Q_{max} (Mv) wylądowań niezupełnych, pomiar wzn przy użyciu kondensatorów dla silnika FH 710 K12 1400 kW 6 kV

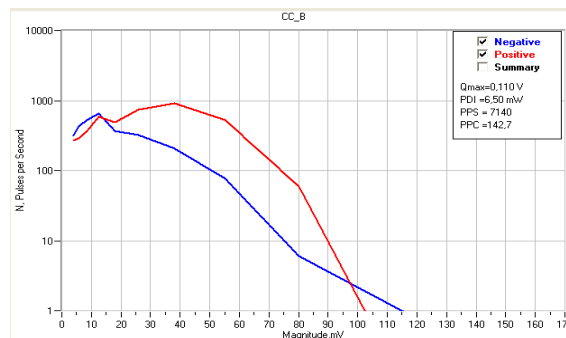
Przykładowa analiza danych pomiarowych silnika FH 710 K12 1400 kW 6 kV.



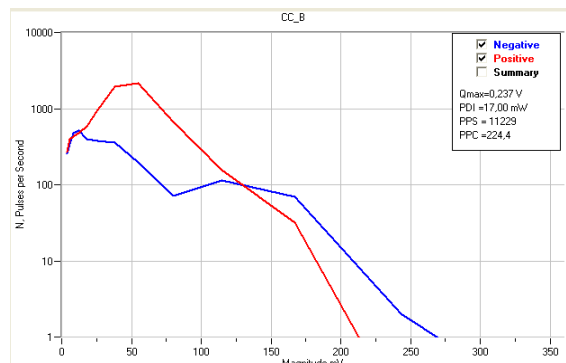
Rys. 13. Wykres fazowy jak wyżej 3D dla fazy B przy pomiarze wzn kondensatorem silnik FH 710 K12 1400 kW 6 kV



Rys. 14. Pomiar wzn przy użyciu kondensatorów oraz czujników RTD wykresy fazowo-rozdzielcze Silnik FH 710 K12 1400 kW 6 kV, zależność amplitudy, częstotliwości wzn od fazy



Pomiar a 24.10.2009



Pomiar b 20.02.2011

Rys. 15. Wykres dla fazy B przy pomiarze wzn kondensatorem, częstotliwość wzn w zależności od wielkości wzn dla polaryzacji ujemnej, dodatniej impulsów- pomiar a 24.10.2009, pomiar b 20.02.2011 Silnik FH 710 K12 1400 kW 6 kV

Faza B na czole uzwojenia silnika FH 710 K12 1400 kW 6 kV wykazuje wzrost polaryzacji dodatniej wzn, co świadczy o postępującym osłabianiu powłoki przeciwjarzeniowej czola izolacji w rejonie fazy B. Charakterystyczną cechą dla takiego defektu jest większa intensywność wzn w ujemnej połowce napięcia probiecznego. [1]

Przedstawione poziomy nie zagrażają awarią silnika, zdiagnozowaną zmianę należy obserwować w następnych okresach. Przy znacznym podniesieniu poziomów wzn konieczna będzie podczas planowanego postoju rewizja czola uzwojenia, szczególnie fazy B. Krytycznym momentem przy intensywnych wyładowaniach niezupełnych jest występowanie na izolacji uzwojenia białego nalotu. W takim przypadku należy podjąć natychmiastową decyzję o regeneracji izolacji silnika.

5. Podsumowanie

Autor na bazie wieloletniej praktyki w eksploatacji maszyn elektrycznych przedstawił systemy pomiarowe i diagnostyczne jakie występują podczas eksploatacji układów napędowych w przemyśle cementowym. Stosowanie systemów monitoringu ciągłego on-line jest drogie w implementacji, ale w większy sposób zabezpiecza chroniony silnik. Koszty przygotowania ścieżek pomiarowych wałów dla pomiaru drgań względnych zwracają się po pierwszej wykrytej awarii (wczesna sygnalizacja uszkodzenia). Przygotowanie silników do pomiaru drgań względnych należy zaplanować podczas produkcji silnika lub przy przewajaniu (koszt około 1% wartości). Stały monitoring sprawności technicznej układów napędowych wpływa na zmniejszenie liczby awarii oraz powoduje zmniejszenie skutków awarii przez wykrywanie ich w początkowej fazie. Pieniądze wydane na monitoring zwracają się wielokrotnie.

6. 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.

Autor

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