

Maciej Wnek, Michał Orkisz, Jarosław Nowak, ABB Corporate Research Center Kraków
Leon Majdak, Magdalena Bedlińska, ABB Sp. z o.o. Biuro Regionalne Katowice

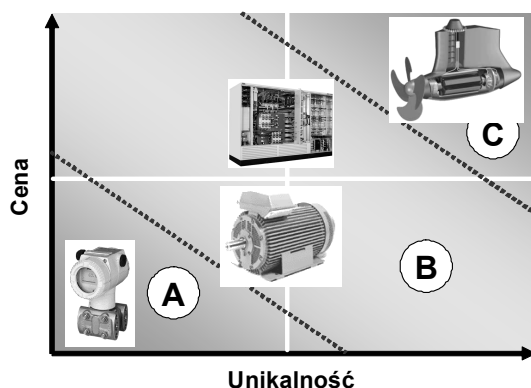
KOMPLEKSOWE PODEJŚCIE DO DIAGNOSTYKI NAPĘDÓW

INTEGRATED SHAFT – LINE MONITORING SYSTEM

Abstract: In modern plants one encounters a combination of various kinds of assets, requiring different level of service attention, as well as different level of diagnostics. Practical approach to this problem should allow to minimize the investments in the condition monitoring while maximizing the diagnostic output. We demonstrate how the drive monitoring information can be utilized also in a process context and discuss three aspects of scalability requirements of the condition monitoring systems: number of assets, data sources, and diagnostic capability.

1. Wstęp

W nowoczesnych systemach monitorowania stanu urządzeń wiele uwagi zwraca się na kompleksowość diagnozy. System powinien służyć bezpośredniemu wsparciu akcji serwisowych/utrzymania ruchu, a więc dostarczać jednoznacznych informacji odnośnie przyczyn i czasu awarii.



Rys. 1. Przykładowa klasyfikacja urządzeń i maszyn z uwagi na potrzeby diagnostyczne. A) oznacza produkty standardowe z dobrze zdefiniowanym cyklem życia. W stronę C zarządzanie cyklem życia jest coraz bardziej zależne od konkretnej aplikacji i procesu.

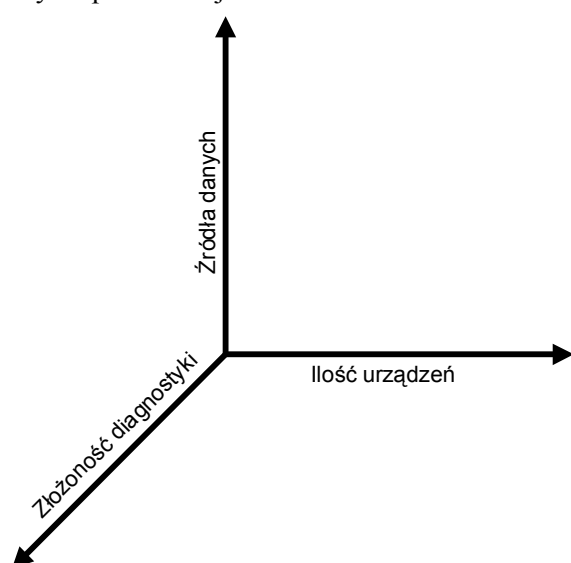
Oczywiście tak dokładna diagnoza wymaga analizy wielu danych z wielu źródeł (elektrycznych, mechanicznych, procesowych), oparcia w przebiegach historycznych i metodach prognozowania. W naszej pracy przedstawiono bardziej kompleksowe podejście do zagadnień monitorowania stanu na podstawie doświadczeń z monitorowania układów napędowych średniego napięcia w aplikacjach metalurgicznych i maszyn wyciągowych.

Z pragmatycznego punktu widzenia monitorowanie stanu powinno obejmować urządzenia najważniejsze dla procesu produkcji. Wybór urządzeń podyktowany jest często kompromisem pomiędzy dopuszczalnym poziomem inwestycji, a skalą ryzyka wystąpienia awarii. Kolejnym istotnym elementem jest dobór monitorowanych parametrów – w przypadku maszyn wirujących analiza często opiera się wyłącznie na pomiarach wibracji. Rzadko mamy do czynienia z rozwiązaniami na polu elektrycznym, a jeszcze rzadziej dotyczącymi stanu izolacji, który w przypadku większych maszyn może mieć krytyczne znaczenie jako jeden z czynników ryzyka. Z drugiej strony koszty systemu obejmującego całość trybów awaryjnych byłyby w większości przypadków trudne do zaakceptowania. Podobnie z systemami eksperckimi – o ile pozwalają diagnozować układ w oparciu o znikomą ilość pomiarów, to koszt ich implementacji, konfiguracja, oraz użycie wymaga także pokaźnych inwestycji [1,2].

2. Problemy skalowalności systemów diagnostycznych

Na podstawie naszych doświadczeń stwierdziliśmy, że istnieją przynajmniej trzy niezależne wymiary skalowalności, które zdefiniowaliśmy jako istotne przy projektowaniu systemu diagnostycznego. Pierwszy, dość naturalny kierunek obejmuje skalowalność systemu wraz z ilością urządzeń objętych monitorowaniem stanu – od pojedynczego urządzenia do całej linii produkcyjnej. Przy czym skalowalność oznacza nie tylko możliwości techniczne, ale również ekonomiczne. Drugi wymiar skalowalności dotyczy dostępności danych pomiarowych – od wykorzystania “wszystkiego, co już jest mie-

rzony”, aż do rozszerzeń o dedykowane systemy pomiarowe np. wibracji, oporu izolacji, czy stopnia korozji.



Rys. 2. Kierunki skalowalności systemu diagnostycznego.

Trzeci wymiar to poziom wiedzy diagnostycznej zaimplementowanej w systemie, stopień komplikacji reguł i obliczeń – od prostych poziomów alarmowych po skomplikowane algorytmy estymacji czasu życia [3].

Aby utrzymać niski poziom inwestycji należy zapewnić wysoką konfigurowalność systemu diagnostycznego. Urządzenia powinny być rozpatrywane podobnie z uwagi na swój rodzaj, lecz indywidualnie uwzględniając ich rolę w procesie.

Na przykład rozpatrzmy identyczne silniki elektryczne, z których jeden napędza wentylator, mało istotny w procesie, a drugi krytyczny wentylator wydmuchu spalin. W obu przypadkach diagnostyka wspomagająca jest użyteczna lecz dopuszczalny poziom inwestycji bardzo różny, wynikający z planu utrzymania ruchu. W przypadku pierwszym możemy ją oprzeć na danych operacyjnych z systemu sterowania, a w przypadku drugim możemy na przykład, zainwestować w ciągły monitoring wibracji.

Efektywny system diagnostyczny powinien pozwolić na dowolną konfigurację zgodnie ze wskazanymi kierunkami skalowalności, przy czym konfiguracja powinna być łatwo modyfikowalna w miarę rozwoju potrzeb.

Trzeba również podkreślić różnicę pomiędzy skalowalnością systemu diagnostycznego, a złożeniem kilku niezależnych systemów odpo-

wiadających za różne aspekty monitoringu (mechaniczny, elektryczny).



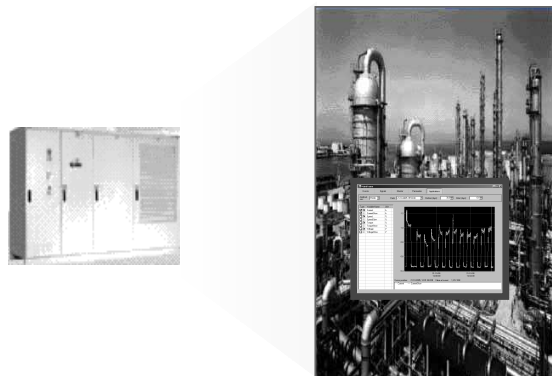
Rys. 3. Przykład źródeł danych wspomagających diagnostykę silnika elektrycznego

Aby rozwiązanie było efektywne musi zapewnić pełny dostęp do wszystkich danych pomiarowych (mieszane reguły diagnostyczne), miejsce wspólne dla wprowadzania i przechowywania danych, oraz zgodne interfejsy użytkownika, raportowanie itp. W przypadku zastosowania wielu systemów, problemy są raczej na poziomie integracji oprogramowania – w przypadku skalowalnego systemu dotyczą optymalizacji utrzymania ruchu. W celu minimalizacji kosztów budowę systemu diagnostycznego można zacząć od niskokosztowego rozwiązania bazującego na danych już dostępnych w przedsiębiorstwie, a pochodzących np. z systemów automatyki i sterowania lub innych urządzeń („inteligentnych”). System powinien objąć urządzenia krytyczne, obciążone największą odpowiedzialnością za przebieg procesu. Należy rozpocząć z prostymi i dobrze zdefiniowanymi regułami diagnostycznymi i stopniowo je rozbudowywać w miarę gromadzonej wiedzy statystycznej, czy procesowej. Ostatecznie, bazując na analizie kosztów system może być rozbudowywany we wszystkich trzech kierunkach, w sposób dopasowany do aktualnych potrzeb konkretnego przedsiębiorstwa.

3. Napędy jako źródło wiedzy o systemie

Zapewnienie optymalnej pracy całego systemu napędowego wymaga pewnej uwagi i nie może zostać pozostawione samo sobie. To zadanie może zostać wydatnie wspomóżone poprzez wykorzystanie parametrów pracy napędu, a w szczególności z konwertera (lub z jego kontrolera). Konwerter średniego napięcia to „zasobnik wiedzy” przetwarzający i zapisujący dane dotyczące pracy samego konwertera, napędzanej maszyny, jak i całego procesu produkcyjnego. Wykorzystanie tych danych

w celach diagnostycznych może być bardzo przydatne i stanowi pierwszy krok w stronę „taniej” diagnostyki – w pierwszym etapie odnośnie napędu, później także napędzanego procesu.



Rys. 4. Konwerter pozwala mierzyć „puls” procesu, zwłaszcza w przypadku procesów cyklicznych

Pragmatyczne podejście do diagnostyki wskazuje na dwa podstawowe pytania:

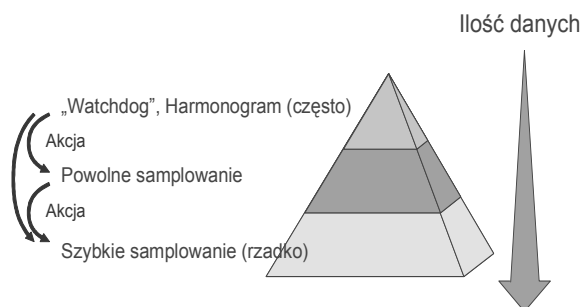
- 1) co powinno zostać wykonane przy serwisie danego urządzenia
- 2) kiedy jest najoptymalniej podjąć działania serwisowe (kosztowo i z uwagi na przebieg produkcji)

W idealnym przypadku, gdy urządzenie/maszyna jest na tyle „inteligentna”, że sama może odpowiedzieć na te pytania i przesłać informacje do operatora lub jako alternatywę można wprowadzić analizę danych uzyskanych z innych urządzeń – np. konwertera.

System monitorowania napędu powinien odpowiadać na powyższe wymagania - z jednej strony prowadzić ciągłą analizę stanu i pracy napędu, wspomagać analizę przyczynową przerw w pracy, umożliwiać działania prewencyjne w utrzymaniu ruchu, a z drugiej służyć jako platforma to analizy całej linii oraz wizualizacji wskaźników wydajności procesu (KPI).

Faktyczna implementacja skalowalnego monitoringu napędów stawia wysokie wymagania również na płaszczyźnie oprogramowania. Konieczne jest uwzględnienie różnych skali czasu z jakimi działa napęd – zdarzenia w kontrolerze, sterowanie procesem to skala milisekund podczas gdy monitorowanie stanu to rząd lat. Tak duża rozpiętość skali czasu wymaga bardzo selektywnego podejścia do zbierania danych –

nie można przechowywać danych z rozdzielczością milisekundową przez lata w relatywnie tanim systemie. Musimy ograniczyć więc ilość danych zbieranych przez system, zapewniając jednocześnie, że w przypadku określonych zdarzeń (*akcji*) będą one zbierane dostatecznie często. Przykładową ilustrację rozwiązania tego problemu przedstawia Rys. 5



Rys. 5. Skalowanie poboru danych

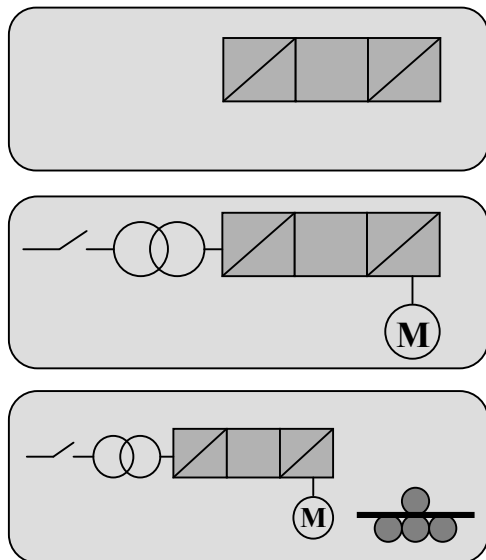
Skalowalność względem ilości danych jest także istotnym wyznacznikiem systemu diagnostycznego. Układ napędowy jest śledzony przez zespół „watchdogów” – obserwujących zmiany kluczowych parametrów (zmiany bitów statusowych, przejścia poziomów alarmowych), lecz nie zapisujących danych, analizy porównawcze stanu urządzeń są też prowadzone w oparciu o harmonogramy – np. raz na godzinę (minutę). W razie stwierdzenia zmian alarmowych wykonywane akcje uruchamiają właściwy monitoring określonych wartości, w razie dalszych zmian próbkowanie może być dalej zagęszczane, aż do rozdzielczości kontrolerów, czy zjawisk w procesie. W implementowanym systemie ponadto diagnostyka ujęta jest w całościowych pakietach, stanowiących kompletny zestaw definicji danych wejściowych, formuł diagnostycznych, oraz definicji stanów alarmowych. Takie podejście do monitorowania stanu zapewnia dużą elastyczność względem reguł, zakresu, urządzeń diagnozowanych, oraz zarządzania alarmami i raportowania.

Dzięki kompatybilności z wybranymi systemami automatyki monitoring napędów jest bardzo łatwy do zastosowania na poziomie przedsiębiorstwa.

4. Rozszerzony zakres monitoringu

Konwerter może zostać wykorzystany jako doskonałe źródło informacji o całym układzie napędowym – zarówno „downstream” – obejmując zasilany silnik i napędzane urządzenie jak i „upstream” dostarczając danych elektrycznych z transformatora czy wyłącznika (Fig.5)

Dobrym przykładem monitoringu wielkości wejściowych jest tzw. jakość zasilania, wyrażająca się w zawartości harmonicznych napięcia, częstości wejściowej – zgodnie z obowiązującymi standardami. Dane dotyczące prądów i napięć wejściowych często są dostępne w sterownikach konwerterów średniego napięcia niejako „za darmo”. Podobnie możemy zbierać dane dotyczące temperatur oraz obciążeń transformatora, budując stosunkowo prosty lecz tani i efektywny system diagnostyki tego urządzenia – w oparciu o dane dostępne w konwerterze wsparte przez kilka pomiarów temperatur, podłączonych do kontrolera konwertera przez moduły We/Wyj (często standardowe wyposażenie konwertera). Istnieje też wiele możliwości podobnego potraktowania danych od strony procesowej. Konwerter jak układ kontroli momentu (bądź prędkości) dostarcza bardzo dokładnych wielkości momentu napędowego (lub pobieranego prądu) bazując bądź to na wewnętrznych modelach bądź na bezpośrednich pomiarach. Oscylacje i zmiany tych kluczowych parametrów pozwalają wnioskować o przebiegu samego procesu. Podobną wartość mają pomiary prędkości czy czas pracy urządzeń, pozwalające na ekstrapolację zużycia czy prognozowanie awarii.



Rys. 5. Trzy scenariusze monitorowania stanu – konwerter, układ wału napędowego, oraz z uwzględnieniem procesu.

Prostym przykładem takiego podejścia może być omawiana wcześniej formuła predykcji

czasu życia łożyska tocznego w oparciu o czas pracy, prędkość i korekcję temperaturową [5,6]. W oparciu o dane konwertera można też wnioskować o stanie maszyny elektrycznej z użyciem bardziej zaawansowanych modeli czy technik diagnostycznych, analizując na przykład zapisy startów (e.g., [4]). I wreszcie w przypadku cyklicznych procesów łatwo można poprowadzić analizę porównawczą w oparciu o cykle bądź to momentu napędowego, bądź prędkości.

5. Podsumowanie

W budowie efektywnego systemu diagnostycznego istotne jest wykorzystanie wszystkich dostępnych danych na poziomie przedsiębiorstwa i już pracujących urządzeń. Pozwala to na redukcję kosztów takiego systemu i jego skalowalność w zależności od wymagań. Oparcie projektu systemu diagnostycznego o przynajmniej 3 zasady skalowalności gwarantuje uzyskanie efektu odpowiadającego potrzebom i efektywnego kosztowo, a jednocześnie pozwalającego na późniejsze modyfikacje w miarę rosnących potrzeb i zdobytej wiedzy procesowej.

6. Literatura

- [1]. J. L. Coetzee, Maintenance, Maintenance Publishers Pty, Republic of South Africa, 1997.
- [3]. P-J. Vlok, M. Wnek, M. Zygmunt, Utilising statistical residual life estimates of bearings to quantify the influence of preventive maintenance actions, Mechanical Systems and Signal Processing, 18 (2004), 833-847.
- [2]. J. S. Mitchell, Physical Asset Management Handbook, Clarion Technical Publishers, USA, 2002.
- [4]. Mo-Yuen Chow, Methodologies of using neural network and fuzzy logic technologies for motor incipient fault detection, World Scientific, Singapore, 1997.
- [5]. Patent DE 4210612, Lubrication state determining apparatus eg. of an electric motor, 1993.
- [6]. E. Ioannides, T.A. Harris, A new fatigue life model for rolling bearings, ASME Journal of Tribology, 107 (1985), 367-378.