

XVIII Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2008

Oddział Gdański PTETiS

Referat nr 6

**STANOWISKO LABORATORYJNE DO DIAGNOSTYKI
ŁOŻYSK SILNIKÓW INDUKCYJNYCH**

Ariel DZWONKOWSKI

Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel: 058 347 1778 fax: 058 347 1726

e-mail: a.dzwonkowski@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono stanowisko laboratoryjne do diagnostyki łożysk silników indukcyjnych, znajdujące się w Katedrze Metrologii i Systemów Informacyjnych Politechniki Gdańskiej. Stanowisko przeznaczone jest do pomiarów diagnostycznych silników asynchronicznych o mocach do 5,0 kW, przy wykorzystaniu różnych metod i przyrządów pomiarowych. Konstrukcja wszystkich elementów stanowiska została podporządkowana głównemu celowi, jakim jest izolacja badanego silnika od drgań otoczenia. Część pomiarowa stanowiska oparta jest na wysokiej klasy systemie produkcji National Instruments.

Opis i działanie stanowiska zilustrowano przykładowymi wynikami pomiarów wykonanymi z wykorzystaniem kilku przyrządów pomiarowych o różnych zasadach działania.

Słowa kluczowe: stanowisko laboratoryjne, diagnostyka łożysk, silnik indukcyjny.

1. WSTĘP

W silniku indukcyjnym mogą wystąpić uszkodzenia elementów mechanicznych, takich jak łożyska, wirnik, wał lub uszkodzenia elementów układu elektromagnetycznego, np. uzwojeń stojana, wirnika, czy obwodu magnetycznego.

Z danych statystycznych wynika, że w większości awariom w silniku ulegają łożyska (różne źródła podają, iż jest to od 40% do 90% uszkodzeń), dlatego też problematyka związana z diagnostyką łożysk silników indukcyjnych jest ważna i aktualna [1, 2, 3].

W artykule przedstawiono stanowisko laboratoryjne do diagnostyki łożysk silników indukcyjnych, znajdujące się w Katedrze Metrologii i Systemów Informacyjnych Politechniki Gdańskiej. Konstrukcja prezentowanego stanowiska pozwala na dobrą izolację badanych silników od zakłóceń pochodzących z otoczenia. Stanowisko wyposażone jest w system laserowego osiowania wałów, co pozwala na zmniejszenie drgań, wynikających z nieprawidłowego połączenia badanej maszyny z obciążeniem. Ze stanowiskiem współpracuje wysokiej klasy system pomiarowy, umożliwiający rejestrację sygnałów o dużej dynamice zmian wartości wielkości mierzonych.

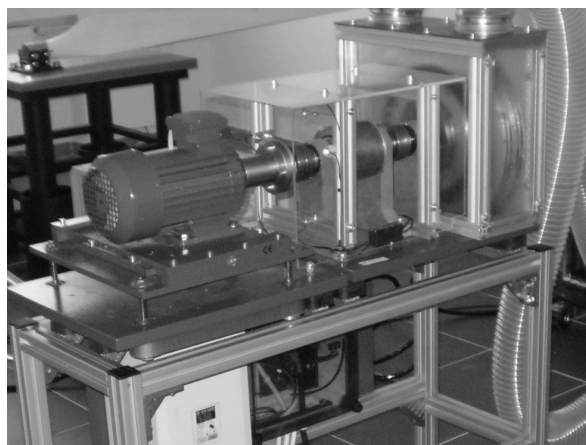
Na stanowisku laboratoryjnym przeprowadzono szereg pomiarów przy wykorzystaniu metod wibracyjnych. Do badań użyto skanującego wibrometru laserowego PSV - 400 Polytec i systemu diagnostyki wibracyjnej DREAM. Dodatkowo przeprowadzono pomiary termograficzne,

z użyciem kamery termowizyjnej FLIR ThermoCAM E25. Badanymi maszynami były silniki asynchroniczne, w których zamontowane zostały łożyska o symbolu 6204. Badano zarówno łożyska nieuszkodzone, jak i łożyska ze sztucznie wprowadzonymi uszkodzeniami. Pomiary zostały wykonane przy różnych wartościach obciążenia badanych maszyn, zarówno przy zasilaniu z sieci jak i z falownika.

Prezentowane stanowisko umożliwia prezentację różnych problemów związanych z diagnostyką łożysk silników indukcyjnych, uatrakcyjniając tym samym proces dydaktyczny.

2. STANOWISKO DO DIAGNOSTYKI ŁOŻYSK SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

Prezentowane stanowisko laboratoryjne przeznaczone jest do pomiarów diagnostycznych łożysk w silnikach indukcyjnych, przy wykorzystaniu różnych metod i przyrządów pomiarowych. Na stanowisku możliwe jest badanie silników o mocach do 5,0 kW.



Rys. 1. Widok stanowiska do diagnostyki łożysk silników indukcyjnych

Konstrukcja wszystkich elementów tego stanowiska została podporządkowana głównemu celowi, jakim jest izolacja badanego silnika od drgań otoczenia.

Stanowisko składa się z: silnika badanego, tłumików wibroakustycznych, umożliwiających odizolowanie

badanych maszyn od podstawy, na której zamontowane jest obciążenie, sprzęgła magnetycznego oraz laserowego układu do dokładnego osiowania wałów. Widok stanowiska przedstawiony jest na rysunku 1.

Tłumiki wibroakustyczne zapobiegają przenoszeniu drgań z otoczenia na podstawę, na której umieszczony jest silnik. Podobne tłumiki umieszczone są pod podstawą, na której zamontowane jest obciążenie.

Obciążeniem dla badanych silników jest hamulec elektromagnetyczny. Rozwiązanie takie podyktowane jest faktem, iż hamulec ten generuje drgania o częstotliwościach innych niż częstotliwości generowane przez uszkodzone łożyska. Regulacja wartości momentu obciążenia dokonywana jest za pomocą potencjometru, umieszczonego na skrzynce zasilającej. Ze względu na wydzielanie się dużych ilości ciepła podczas pracy konieczne stało się zastosowanie obwodu chłodzenia hamulca. Obwód ten oparty jest na wymuszonym przepływie powietrza, wytwarzanym przez dmuchawę.

Kolejnym elementem, który służy do ograniczenia wpływu drgań zewnętrznych na badaną maszynę jest sprzęgło magnetyczne. Konstrukcja sprzęgła oparta jest na magnesach trwałych. Rozwiązanie takie umożliwia bezstykowe przenoszenie momentu obrotowego dzięki siłom magnetycznym pomiędzy piastą zewnętrzną i wewnętrzną.

Aby w znacznym stopniu wyeliminować drgania, wynikające ze złego wyosiowania wałów, na stanowisku zamontowano system laserowego osiowania wałów, który opiera się na bezdotykowych pomiarach przemieszczenia z wykorzystaniem promienia laserowego. Nie jest więc potrzebne mechaniczne połączenie między punktami pomiarowymi na obu połówkach sprzęgła. Na stanowisku znajdują się dwa czujniki laserowe – jeden umieszczony jest w osi pionowej a drugi w poziomej. Precyzyjne centrowanie przyrządami laserowo-optycznymi nie tylko minimalizuje drgania, wynikające z niedokładnego sprzęgnięcia maszyny badanej z hamulcem, ale również skraca czas wykonywania tej operacji.

Badane maszyny mogą być zasilane bezpośrednio z sieci trójfazowej lub z falownika. Wybór dokonywany jest za pomocą przełącznika, umieszczonego na panelu zasilającym. W przypadku zasilania maszyn z falownika, regulacji prędkości obrotowej dokonuje się pokrętelem umieszczonym na panelu przednim falownika.

Ze stanowiskiem laboratoryjnym może współpracować wysokiej klasy system pomiarowy produkcji National Instruments. System ten stanowi kasetę NI PXI 1031, w której zainstalowano dwie karty pomiarowe: PXI 6122 i PXI 4462. Na uwagę zasługuje tu karta PXI 4462, która przeznaczona jest do pomiarów dynamicznych. Zakres dynamiki tej karty to 118 dB a rozdzielczość 24 bity. Planowane jest wykorzystanie tego systemu do dokładnych pomiarów wibracji pochodzących od uszkodzonych łożysk. Ponadto wykonywane będą pomiary wartości chwilowych prądów i napięć zasilających badane maszyny. Badania związane będą z opracowaniem i analizą własności metrologicznych innej, dotychczas niewykorzystywanej metody diagnostycznej do wykrywania uszkodzeń łożysk w silnikach indukcyjnych, opartej na analizie iloczynu wartości chwilowych prądu i napięcia zasilającego silnik.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Na stanowisku laboratoryjnym przeprowadzono szereg pomiarów. Badania przeprowadzane były na silnikach

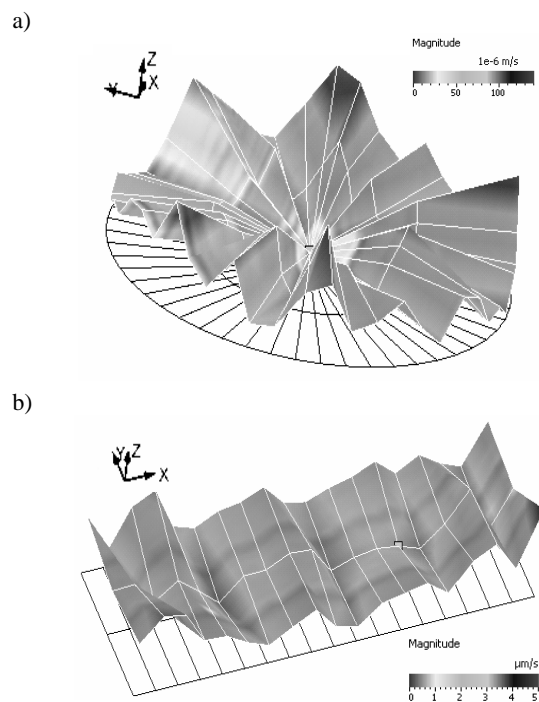
indukcyjnych typu STg80X-4C o parametrach: $P_n = 1,1 \text{ kW}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $n_n = 1400 \text{ obr/min}$, $I_n = 2,9 \text{ A}$.

We wszystkich maszynach zamontowane były łożyska o symbolu 6204. Badano zarówno łożyska nieuszkodzone, jak i łożyska z celowo wprowadzonymi uszkodzeniami. Uszkodzenia były wprowadzane osobno do trzech elementów łożyska: pierścienia zewnętrznego, wewnętrznego i elementu tocznego.

2.1. Pomiary wibrometrem laserowym

Pierwszym rodzajem badań, jakie wykonano na stanowisku laboratoryjnym były pomiary drgań maszyn, wykonane wibrometrem laserowym. Ze względu na wysokie koszty sprzętu badawczego urządzenie to nie jest powszechnie stosowane. Skanujący wibrometr laserowy PSV-400 firmy Polytec umożliwia pomiar drgań maszyn i urządzeń oraz ich elementów konstrukcyjnych w wielu punktach jednocześnie. Możliwe jest wyznaczenie do pięciuset dwunastu punktów pomiarowych. Skanujący wibrometr laserowy zapewnia pomiar bezstykowy, dzięki czemu obraz wibracyjny badanej konstrukcji nie zostaje zakłócony masą czujników pomiarowych. Poza tym pomiar może być realizowany z dużej odległości dochodzącej do około 50 m, co pozwala na zabezpieczenie urządzenia przed wpływem szkodliwych czynników [4].

Proces pomiaru polegał na ustaleniu siatki punktów, obejmującej badany obszar i uruchomieniu skanera. Dane pomiarowe przesyłane były do karty akwizycji sygnałów pomiarowych a następnie do komputera. W dalszej części badania dane poddane zostały analizie przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania, umożliwiającego analizę widmową, generowanie wykresów i map oraz eksport danych w różnych formatach.



Rys. 2. Mapa drgań zarejestrowanych a) na czole b) na powierzchni bocznej silnika STg80x-4C

Na rysunku 2a przedstawiono mapę drgań zmierzonych na czole badanej maszyny, pracującej w stanie jałowym. Jest to zarejestrowany obraz prędkości drgań dla częstotliwości 500 Hz. Częstotliwość ta została dobrana automatycznie

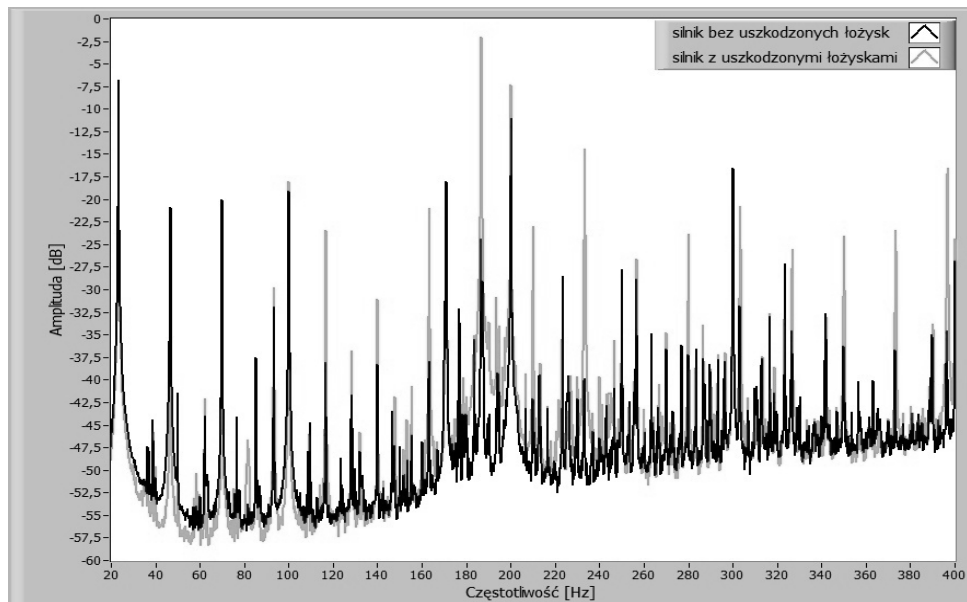
przez algorytm zaimplementowany w aplikacji sterującej pracą skanera.

Pomiary wykonano również na powierzchni bocznej silnika. Uzyskana mapa drgań dla silnika z uszkodzoną bieżnią wewnętrzną łożyska przedstawiona jest na rysunku 2b. W tym przypadku siatka składała się z 75 punktów pomiarowych. Częstotliwość, dla której wykonano analizę drgań jest taka sama, jak w przypadku badań wykonanych na czole maszyny.

2.2. Pomiary systemem DREAM

System diagnostyki wibracyjnej DREAM umożliwia diagnostykę szeregu maszyn wirujących (w tym: łożysk tocznych, łożysk ślizgowych, wentylatorów, pomp, przekładni zębatych, systemów elektromechanicznych maszyn elektrycznych).

Jest to komercyjny system, sprawdzony w wielu zastosowaniach w przemyśle, oraz w laboratorium Katedry Metrologii i Systemów Informacyjnych Politechniki



Rys. 3. Widmo drgań dla silnika nieuszkodzonego i silnika z uszkodzoną bieżnią wewnętrzną łożyska

Ponieważ dostarczone przez producenta oprogramowanie, umożliwiające odczyt, analizę i prezentację wyników pomiarów dostępne jest tylko na komputerze przemysłowym, sterującym pracą wibrometru, konieczne stało się opracowanie przyrządu wirtualnego w środowisku LabVIEW, który umożliwi pracę z uzyskanymi danymi pomiarowymi. Na rysunku 3 przedstawione zostały widma przyspieszenia drgań, dla silnika nieuszkodzonego oraz silnika z łożyskiem, w którym uszkodzeniu uległa bieżnia wewnętrzna. Do badań przyjęto zakres analizy widmowej 20 ÷ 400 Hz.

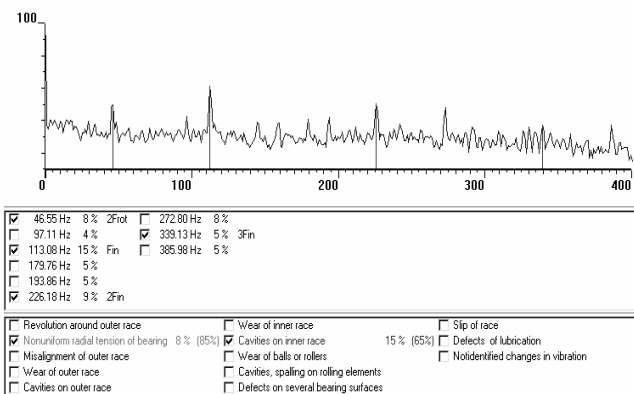
Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że dla łożyska bez uszkodzeń liczba składowych w widmie jest mniejsza niż w przypadku łożyska z wprowadzonym uszkodzeniem pierścienia wewnętrznego. W silniku uszkodzonym zwiększeniu ulegają również amplitudy składowych, które występują zarówno w widmie drgań silnika bez uszkodzeń, jak i z uszkodzonymi łożyskami.

Przeprowadzono szereg badań łożysk z różnymi typami uszkodzeń. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że w widmie drgań nie występują składowe o częstotliwościach charakterystycznych (rozumianych jako częstotliwości drgań mechanicznych, wywołane przez uszkodzone łożyska, które zależą od konstrukcji łożyska oraz prędkości obrotowej i wskazują na uszkodzenia poszczególnych elementów łożyska), znanych z literatury [1, 3].

Otrzymane wyniki pomiarów poddane zostaną dalszej analizie, celem wyznaczenia składowych widma do zastosowania w diagnostyce łożysk silników indukcyjnych.

Gdańskiej. System ten składa się z analizatora – kolektora danych DC11 wraz z czujnikiem drgań oraz z oprogramowania DREAM do komputera PC [1, 3].

Proces pomiaru polegał na zainstalowaniu czujnika drgań na obiekcie badanym, dołączeniu wyjścia czujnika do wejścia kolektora danych, pomiarze i rejestracji widma wibracji w kolektorze.

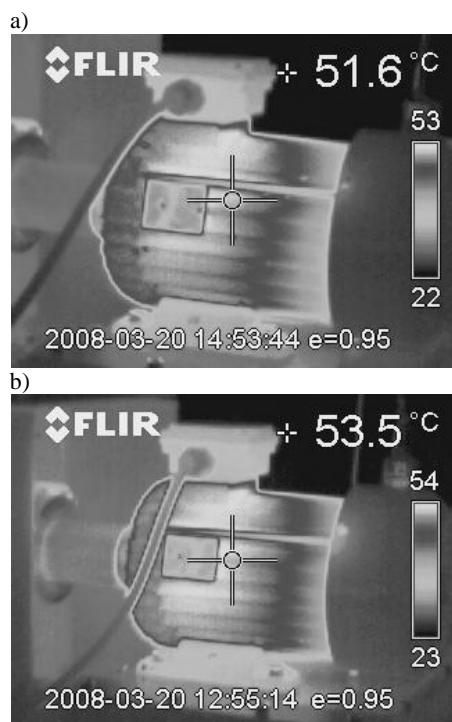


Rys. 4. Wynik badania silnika z uszkodzonym łożyskiem systemem DREAM

Na rysunku 4 przedstawiony jest przykładowy wynik badania uszkodzonego łożyska systemem DREAM. System diagnostyki wibracyjnej raportował uszkodzenie pierścienia wewnętrznego podając częstotliwość charakterystyczną dla tego typu uszkodzenia 113,08 Hz. Diagnoza podana przez system była zgodna z rzeczywistym stanem technicznym badanego łożyska.

2.3. Pomiary kamerą termowizyjną

Oprócz badań wibracyjnych, na stanowisku laboratoryjnym wykonano badania kamerą termowizyjną. Badano rozkład temperatur na powierzchni silników bez uszkodzeń jak również z uszkodzonymi łożyskami.



Rys. 5. Wyniki badań kamerą termowizyjną FLIR E25: a) dla silnika nieuszkodzonego, b) dla silnika z uszkodzonym pierścieniem wewnętrznym łożyska

Przykładowe wyniki badań termograficznych zaprezentowane zostały na rysunku 5.

Uzyskane wyniki pomiarów, wykonanych kamerą termowizyjną, nie pozwalają na diagnozę stanu technicznego łożyska. Różnica temperatur pomiędzy silnikiem nieuszkodzonym a silnikiem z uszkodzonym łożyskiem wynosi od 2°C do 6°C. Ponadto uzyskany na termogramie rozkład temperatury nie pozwala na precyzyjne określenie miejsca uszkodzenia. Do celów dokładnej diagnostyki należałoby użyć kamery o większej czułości termicznej i dokładności pomiarowej (dla kamery wykorzystanej do badań parametry te wynoszą odpowiednio: 0,2°C, ±2°C [5]).

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione stanowisko pozwala na szybkie i wygodne wykonywanie pomiarów przy wykorzystaniu

różnych metod diagnostycznych i przyrządów pomiarowych.

Dzięki specjalnej konstrukcji stanowiska badane silniki izolowane są od drgań otoczenia, wobec czego wyniki pomiarów obciążone są mniejszymi błędami.

Stanowisko umożliwia badania silników pracujących w stanie jałowym oraz pod obciążeniem, przy zasilaniu z sieci elektroenergetycznej lub z falownika.

Zaprezentowane wyniki badań miały na celu przetestowanie właściwości stanowiska laboratoryjnego w pomiarach diagnostycznych, realizowanych przy użyciu przyrządów pomiarowych o różnych zasadach działania.

Uzyskane wyniki poddane zostaną dalszym analizom, celem określenia parametrów, które pozwolą na ocenę stanu technicznego łożysk silników indukcyjnych.

Głównym celem budowy stanowiska jest sprawdzenie nowej metody diagnostyki łożysk, opartej na analizie iloczynu wartości chwilowych prądów i napięć zasilających maszynę indukcyjną.

Opracowywany jest przyrząd wirtualny, który umożliwi archiwizację, analizę i wizualizację danych uzyskanych z pomiarów, wykonanych z wykorzystaniem kasyety NI PXI 6122.

W przyszłości stanowisko laboratoryjne może zostać wykorzystane do celów dydaktycznych, gdyż pozwoli zapoznać studentów z różnymi metodami diagnostyki łożysk silników indukcyjnych.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Swędrowski L.: Nowa metoda diagnostyki łożysk silnika indukcyjnego, oparta na pomiarze i analizie widmowej prądu zasilającego. Wydawnictwo PG, Gdańsk 2005, s. 14-24, ISBN 83-7348-111-7.
2. Antal, M., Kowalski, C.T.: Wykrywanie uszkodzeń elementów łożysk tocznych silników indukcyjnych na podstawie analizy widmowej przyspieszenia drgań, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych PWr, Vol. 54, nr 23 (2003), s. 249-260, ISSN: 0084-294X.
3. Swędrowski L., Dzwonkowski A.: Wzorcowanie systemu dla diagnostyki łożysk silnika indukcyjnego z wykorzystaniem metod wibracyjnych, Pomiary Automatyka Kontrola nr 9 bis (2006), s. 186-188, ISSN 0032-4110.
4. PSV-400 Technical specifications, Polytec GmbH, 2007 (<http://www.polytepci.com/PDF/PSV-400DataSheet1003.pdf>).
5. Broszura informacyjna ThermaCAM E 25, FLIR Systems Inc., 2004 (<http://www.flir.com.pl/pdf/broszury/kamery/TCAM%20E25%20pl.pdf>).

THE LABORATORY STAND FOR BEARINGS DIAGNOSTICS OF INDUCTION MACHINES

Keywords: laboratory stand, bearings diagnostics, induction machines

The paper presents the laboratory stand for bearings diagnostic of induction motors. The stand is intended for diagnostic measurements of the asynchronous machines to 5,0 kW, using different methods and measuring instruments. The principal objective of the construction elements of the stand is the isolation of tested machines from environment vibrations. The measuring part of the laboratory stand is based on a system produced by National Instruments.

Examples of the measurement results, made using several instruments with different rules of engagement are shown.