

Rafał Mazur, Maciej Sułowicz, Ryszard Mielnik
Politechnika Krakowska, Kraków

WIELOZADANIOWY SYSTEM AKWIZYCJI DLA DIAGNOZOWANIA STANU SILNIKÓW INDUKCYJNYCH KLATKOWYCH

MULTITASK ACQUISITION SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF CAGE INDUCTION MOTORS

Streszczenie: W artykule przedstawione zostały zagadnienia dotyczące budowy komputerowego systemu akwizycji sygnałów diagnostycznych oraz ich przetwarzaniu dla potrzeb diagnostyki silników indukcyjnych klatkowych. Na podstawie obserwacji sposobu pomiarów sygnałów diagnostycznych tradycyjnymi metodami oraz procedur oceny typowych uszkodzeń maszyn indukcyjnych dokonano wyboru sposobu przeprowadzania pomiarów oraz ustalono ilość sygnałów diagnostycznych. Wybrano sygnały pomiarowo dostępne prądów, napięć, drgań i hałasu, przy analizie których będzie można rozróżnić każdą zmianę stanu technicznego badanej maszyny. W dalszej części przedstawiony został projekt wielozadaniowego systemu akwizycji danych. Oprócz typowej akwizycji danych opracowany system umożliwia również przeprowadzanie oceny stanu silników indukcyjnych, dzięki wykorzystaniu oprogramowania LabVIEW i jego bogatej funkcjonalności. Działanie opracowanego systemu zostało przetestowane w oparciu o dostępny silnik indukcyjny, a zarejestrowane dane poddane zostały odpowiednim analizom diagnostycznym. Na kilku przykładach zobrazowano wyniki tych analiz realizowanych w opracowanym systemie.

Abstract: This paper presents issues related to acquisition of diagnostic data used in squirrel cage induction machine diagnosis. Basing on observation of traditional methods of diagnostic signals measurement and procedure of typical fault detection of induction machines, method of performing the measurement and number of diagnostic signals were set. Available signals such as current, voltage, vibration and noise were chosen for analysis which allows for distinguishing each variation of technical condition of examined machine. Next, project of multitask data acquisition system was prepared. Apart from typical data acquisition, designed system allows for condition assessment of induction machines due to application of LabVIEW. Operation of designed system was tested using available induction motor and collected data has undergone diagnostic analyses. Some example results of those analyses have been presented.

Słowa kluczowe: akwizycja danych, system diagnostyczny, diagnostyka silnika indukcyjnego, wskaźniki oceny diagnostycznej

Keywords: data acquisition, diagnostic system, induction motor diagnostic, diagnostic evaluation indicators

1. Wstęp

Silniki indukcyjne stanowią najliczniejszą grupę maszyn elektrycznych stosowanych w układach napędowych. Ich uszkodzenia powodują znaczne przestoje w procesach technologicznych, generując ogromne straty ekonomiczne. Straty te są znacznie wyższe od kosztów wdrożenia i utrzymania systemów diagnostycznych, które są coraz częściej stosowane.

System akwizycji sygnałów to odpowiednio zorganizowany zestaw elementów objętych wspólnym sterowaniem i przepływem informacji, którego celem jest wykonanie pomiaru określonych wielkości fizycznych. Przetworzenie oraz zapamiętanie wyników i przekazanie operatorowi w odpowiedniej formie informacji to następne zadanie systemu pomiarowego [1-2].

Ciągły rozwój informatyki i technologii komputerowej umożliwia budowę coraz dokładniejszych przyrządów i systemów pomiarowych, które zmniejszają, a nawet niwelują udział człowieka w obsłudze systemu. Coraz częściej wykorzystywane są systemy akwizycji sygnałów bazujące na wirtualnych przyrządach pomiarowych [1]. Głównym elementem takiego przyrządu jest komputer z odpowiednią kartą pomiarową oraz oprogramowaniem, które zastępuje realizację sprzętową pewnych funkcji z rozwiązań tradycyjnych. Nieodzowną częścią takiego systemu jest część sprzętowa składająca się z odpowiednich modułów lub kart pomiarowych, układów kondycjonowania oraz czujników pomiarowych [1-2].

Wirtualne przyrządy pomiarowe oferują znacznie szersze możliwości analizy i prezentacji zarejestrowanych sygnałów pomiarowych. Przyrządy te umożliwiają także modyfikację i dopasowanie pracy urządzenia do indywidualnego życzenia klienta.

Przed rozpoczęciem projektowania systemu diagnostycznego dla silnika indukcyjnego należy określić najczęściej występujące uszkodzenia tego typu maszyn. Ze statystyki [3] wynika, że najczęstszą przyczyną są uszkodzenia łożysk – ok. 41%. Tylko kilka procent mniej stanowią uszkodzenia stojana – ok. 35%. Uszkodzenie wirnika to ok. 10% oraz inne uszkodzenia – ok. 12%. Łożyska w silnikach są najbardziej narażone na obciążenia, dlatego też tak często ulegają awariom. Konsekwencje uszkodzeń łożysk są różne, zależne od rodzaju ich awarii. Do najczęstszych objawów ich uszkodzenia należą:

- drgania mechaniczne i wzrost hałasu,
- wzrost temperatury łożyska i w jego okolicy, możliwość pożaru,
- uszkodzenie obudowy, wirnika maszyny,
- deformacja wału i uszkodzenie sprzęgła.

Uszkodzenia uzwojeń stojana są jednym z najczęściej występujących uszkodzeń elektrycznych w silnikach indukcyjnych. Przeważnie są to uszkodzenia izolacji postępujące z upływem czasu prowadzące do zwarć. Najczęstsze uszkodzenia wirników to przerwanie prętów klatki oraz pęknięcie pierścieni zwierających pręty. Uszkodzenia te objawiają się wydłużeniem czasu rozruchu, wzrostem prądu stojana i wirnika oraz zmniejszeniem maksymalnego momentu obrotowego silnika. Uszkodzenie jednego z prętów klatki pozostawione bez naprawy zawsze będzie się rozprzestrzeniać powodując wzrost poziomu drgań i hałasu.

Dostępnych jest bardzo wiele metod diagnozowania uszkodzeń silników indukcyjnych [3]-[10]. Opierają się one głównie na metodach statystycznych i analizie dostępnych pomiarowo sygnałów takich, jak prądy, napięcia, drgania, temperatura. Najczęściej mierzone sygnały poddawane są analizie częstotliwościowej, czasowo-częstotliwościowej, filtracji i innym analizom pozwalającym na wykrywanie uszkodzeń.

Jedną z metod stosowanych do diagnostyki stanu łożysk jest metoda oparta na ustaleniach normy PN-ISO 10816-1 [7].

Inną metodą oceny stanu łożysk jest metoda analizy częstotliwościowej prędkości lub przyspieszenia drgań mechanicznych węzła łożyskowego. Metoda ta pozwala sklasyfikować uszkodzenia łożyska do jednej z czterech grup. Każdy rodzaj uszkodzenia powoduje pojawienie się charakterystycznych składowych częstotliwości w widmie prędkości lub przyspieszeń drgań. Znajomość charakterystycznych cech konstrukcyjnych i prędkości obrotowej silnika pozwala na wyznaczenie charakterystycznych częstotliwości uszkodzeniowych według wzorów (1 – 4) [3].

$$f_k = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{d \cdot \cos(\vartheta)}{D} \right) \quad (1)$$

$$f_{bz} = \frac{n_k}{2} f_r \left(1 - \frac{d \cdot \cos(\vartheta)}{D} \right) \quad (2)$$

$$f_{bw} = \frac{n_k}{2} f_r \left(1 + \frac{d \cdot \cos(\vartheta)}{D} \right) \quad (3)$$

$$f_k = \frac{D}{2 \cdot d} f_r \left(1 - \left(\frac{d \cdot \cos(\vartheta)}{D} \right)^2 \right) \quad (4)$$

gdzie: $f_r = \frac{n}{60}$ Hz – częstotliwość obrotowa

(rotacyjna),

n – prędkość obrotowa silnika obr/min,

d – średnica elementu tocznego,

D – średnica podziałowa łożyska,

ϑ – kąt pracy łożyska (0° dla łożyska kulowego zwykłego),

n_k – liczba elementów tocznych łożyska,

f_k – częstotliwość związana z uszkodzeniem i luzami koszyka,

f_{bz} – częstotliwość związana z uszkodzeniem bieżni zewnętrznej,

f_{bw} – częstotliwość związana z uszkodzeniem bieżni wewnętrznej,

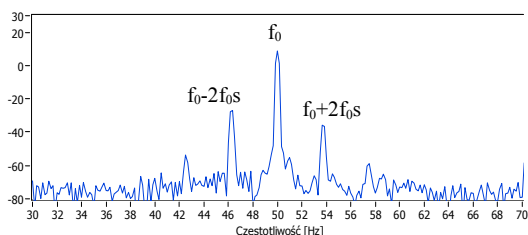
f_{et} – częstotliwość związana z uszkodzeniem elementu tocznego.

Do wykrywania uszkodzeń prętów klatki wirnika silnika indukcyjnego pracującego ze stałą prędkością można zastosować metodę opartą o składowe prądy stojana, których częstotliwość oblicza się według wzorów (5,6).

$$f = f_0(1 - 2s) \quad (5)$$

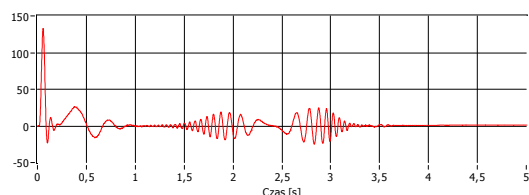
$$f = f_0(1 + 2s) \quad (6)$$

Skutkuje to pojawieniem się w widmie prądu charakterystycznych prążków rozłożonych symetrycznie względem podstawowej harmonicznej (rys. 1). Maksimum amplitudy tych składowych może być traktowane jako miara uszkodzenia klatki wirnika.



Rys. 1. Widmo prądu stojana silnika indukcyjnego z uszkodzoną kłatką wirnika

Inną metodą pozwalającą również na wykrywanie uszkodzenia kłatki wirnika jest metoda filtracji dolnoprzepustowej. Polega ona na określeniu maksimum amplitudy sygnału o częstotliwości danej wzorem (5). Zarejestrowany prąd rozruchowy poddaje się filtracji dolnoprzepustowej. W tak otrzymanym przebiegu, należy znaleźć maksimum lokalne przypadające mniej więcej pomiędzy $1/3$ a $2/3$ długości rozruchu i odczytać jego wartość. Poziom sygnału diagnostycznego zmierzony podczas badania określa aktualny stan asymetrii kłatki silnika. Ważniejszym jest jednak obserwacja zmian tego wskaźnika w czasie eksploatacji silnika. W przypadku krótkich rozruchów trwających poniżej 2 s wykrycie uszkodzenia tą metodą jest znacznie trudniejsze, ponieważ stan nieustalony nakłada się na sygnał diagnostyczny.



Rys. 2. Efekt filtracji dolnoprzepustowej prądu rozruchowego silnika uszkodzonego

2. Projekt wielozadaniowego systemu akwizycji sygnałów diagnostycznych

2.1. Założenia i dobór elementów

System akwizycji dla diagnozowania silników indukcyjnych powinien realizować kilka podstawowych zadań. Jednym z nich jest rejestracja sygnałów diagnostycznych. System powinien umożliwić podpięcie wielu różnych czujników rejestrujących parametry pracy silnika. Kolejnym zadaniem jest przechowywanie zarejestrowanych danych w odpowiedniej bazie, dzięki czemu uzyskuje się możliwość porównywania otrzymanych wyników pomiarów z danymi archiwalnymi. Ostatnim z podstawowych zadań jest możliwość wykonywania różnych

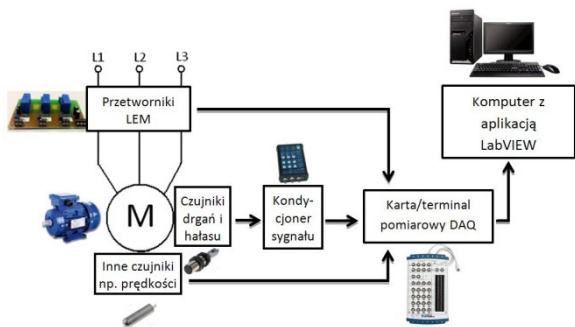
typów analiz zarejestrowanych sygnałów diagnostycznych, celem oceny stanu technicznego badanego silnika. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie wirtualnego przyrządu składającego się z komputera kompatybilnego z PC z odpowiednim oprogramowaniem opracowanym w środowisku LabVIEW oraz dołączoną kartą pomiarową. Rozwiązanie to umożliwia dowolną konfigurację urządzeń pomiarowych. Przy opracowaniu projektu w części sprzętowej przyjęto następujące założenia:

- możliwość pomiaru wartości chwilowych trzech napięć fazowych w zakresie do $500 V_{RMS}$,
- pomiar wartości chwilowych trzech prądów fazowych w zakresie $0 - 30 A_{RMS}$,
- pomiar drgań oraz ciśnienia akustycznego,
- pomiar prędkości obrotowej silnika w zakresie $0 - 3500$ obr/min,
- próbkowanie sygnałów z częstotliwością co najmniej 100 kHz przy rozdzielczości 16 bitów,
- umożliwienie podłączenia w zależności od wymagań użytkownika 4 dodatkowych przetworników pomiarowych o zakresie pomiarowym ± 10 V,
- rejestracja mierzonych wartości do pliku oraz ich archiwizacja,
- przeprowadzanie wybranych analiz diagnostycznych dla zarejestrowanych danych,
- prosta obsługa i kontrola systemu pomiarowego.

Do pomiaru napięć i prądów wykorzystano przystawkę pomiarową wraz z zasilaczem, w których głównym elementem są przetworniki pomiarowe LEM. Do pomiaru napięć użyto przetworniki napięciowe LEM LV-25. Do pomiarów prądu użyto przetworniki LEM HY 15-P. W celu pomiaru i rejestracji drgań użyto akcelerometr piezoelektryczny 603C01 firmy IMI SENSORS.

Do pomiaru ciśnienia akustycznego użyto mikrofonu RG-50 firmy ROGA Instruments. Do kondycjonowania sygnału z akcelerometru i mikrofonu zastosowano 3-kanalowy układ kondycjonowania PA-3000.

Do pomiaru sygnałów z przetworników pomiarowych użyto wielofunkcyjnej karty pomiarowej NI USB-6259 BNC firmy National Instruments [11]. Schemat ideowy systemu akwizycji przedstawiono na rys. 3.

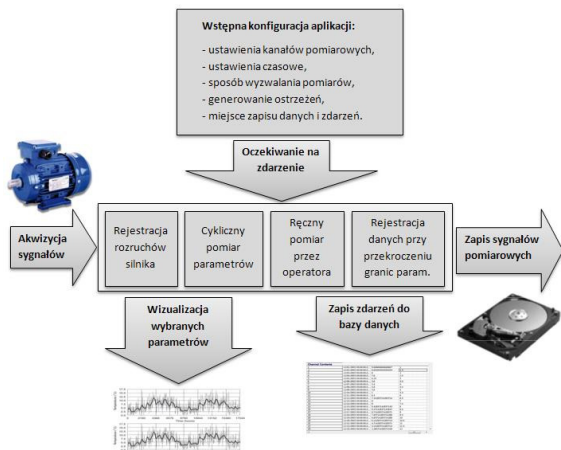


Rys. 3. Schemat układu akwizycji sygnałów diagnostycznych

Dodatkowo rejestrowano prędkość obrotową za pomocą układu DATAFLEX 22/20, zamontowanego na wale pomiędzy silnikiem i prądnicą obciążającą.

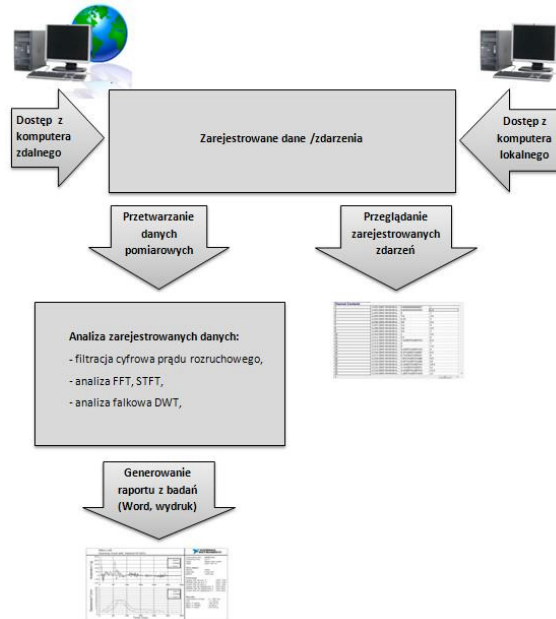
2.2. Oprogramowanie systemu

Drugim równie ważnym elementem, na którym należy się skupić, oprócz części sprzętowej, przy projektowaniu systemu akwizycji danych jest zaprojektowanie w środowisku LabVIEW odpowiedniego oprogramowania i przyjaznego interfejsu użytkownika. Program podzielono na dwie części. Koncepcja działania tych programów została przedstawiona na rys. 4 i 5.



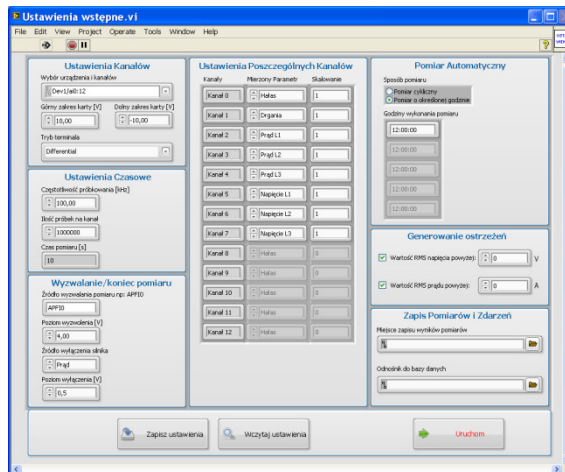
Rys. 4. Schemat ideowy działania aplikacji rejestrującej dane

Zadaniem pierwszego z programów jest kontrola systemu i wykonywanie pomiarów. Zarejestrowane dane są zapisywane do pliku, a zdarzenia do bazy danych. Uruchomienie programu powoduje pojawienie się okna rys. 6, w którym użytkownik dokonuje ustawień wstępnych. Istnieje możliwość wyboru konkretnego urządzenia fizycznego podłączonego do komputera, w przypadku gdy jest ich kilka, określenie zakresu pomiarowego oraz typu i zakresu wejść czujników.



Rys. 5. Schemat ideowy działania aplikacji do analizy danych

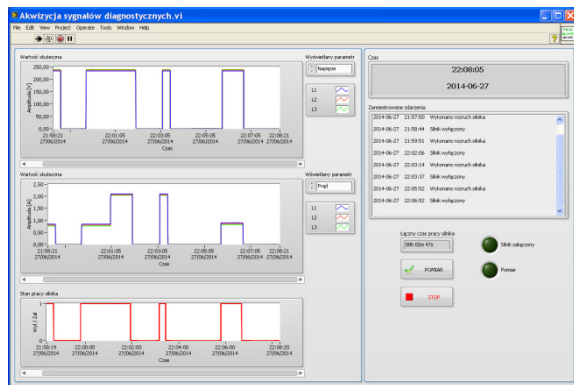
Ustawienia czasowe umożliwiają określenie częstotliwości i ilości rejestrowanych próbek. Należy również określić parametry wejścia odpowiedzialnego za wyzwalanie pomiaru. W zależności od ilości wybranych kanałów należy dokonać wyboru mierzonych przez nie parametrów i je odpowiednio przeskalować, jeżeli istnieje taka potrzeba.



Rys. 6. Okno ustawień wstępnych

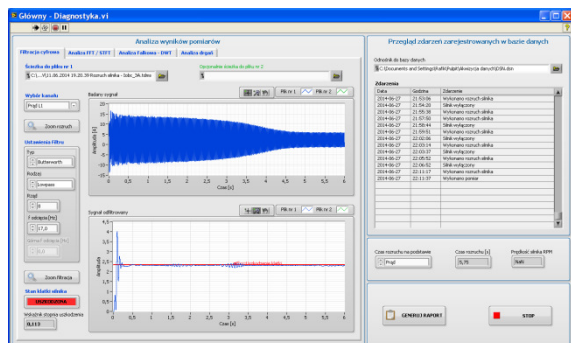
Pomiar może odbywać się o określonych przez użytkownika godzinach lub cyklicznie co określonej ilości minut. Program ma również możliwość zapisu parametrów prądu i napięcia w przypadku przekroczenia przez nie określonej wartości. Wszystkie ustawienia wstępne można zapisać do pliku celem przyspieszenia konfiguracji i przy kolejnym uruchamianiu

programu, zamiast wpisywania od nowa, wczytać zapisane ustawienia parametrów. Następnie po wciśnięciu przycisku *Uruchom* program przechodzi do stanu oczekiwania na rozruch silnika. Pojawia się okno (rys. 7), w którym istnieje możliwość podglądu wartości poszczególnych parametrów oraz zarejestrowanych zdarzeń.



Rys. 7. Główne okno aplikacji

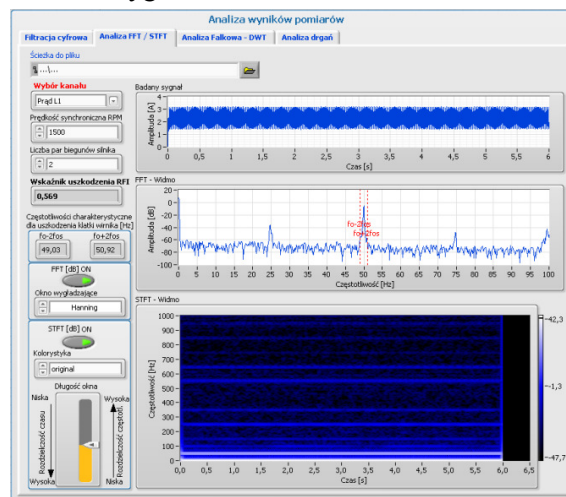
Program do analizy zarejestrowanych danych stanowi drugą część oprogramowania, która służy do określania stanu silnika na podstawie przeprowadzonych analiz (rys. 8). Umożliwia on przeprowadzenie analiz zarejestrowanych sygnałów pod kątem wykrycia uszkodzenia silnika indukcyjnego.



Rys. 8. Główne okno aplikacji - filtracja

W lewej części tego okna dostępne są cztery zakładki umożliwiające wybór odpowiedniej analizy zarejestrowanych danych. Natomiast w prawej jego części dostępny jest podgląd zarejestrowanych zdarzeń z bazy danych oraz możliwość wygenerowania raportu z przeprowadzonych analiz do pliku MS Word lub wydrukowania. Jedną z zaimplementowanych w programie analiz jest filtracja cyfrowa prądu rozruchowego, umożliwiająca wykrycie uszkodzenia prętów klatki wirnika – rys. 8. Na podstawie maksymalnej amplitudy odfiltrowanego sygnału powyżej wartości średniej, program

określa stan klatki silnika. Wartość graniczną amplitudy sygnału, powyżej której klatkę można uważać za uszkodzoną przyjęto na poziomie 0,04. Poziom ten został zaznaczony również czerwoną linią. Dodatkowo obliczany i wyświetlany jest czas rozruchu silnika (poniżej listy zdarzeń). Użytkownik może opcjonalnie wczytać drugi plik w celu porównania wartości sygnałów.



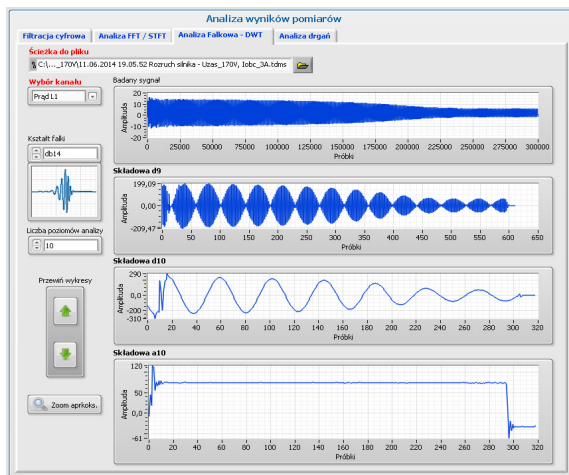
Rys. 9. Zakładka do analiz FFT i STFT

Druga zakładka (rys. 9) umożliwia przeprowadzenie szybkiej transformacji Fouriera FFT i krótkookresowej transformacji Fouriera STFT. Analizowany może być praktycznie każdy z dostępnych parametrów. W programie obliczany jest również wskaźnik stopnia uszkodzenia klatki RFI (ang. *Rotor Fault Index*) [7]. Obliczany jest on następująco:

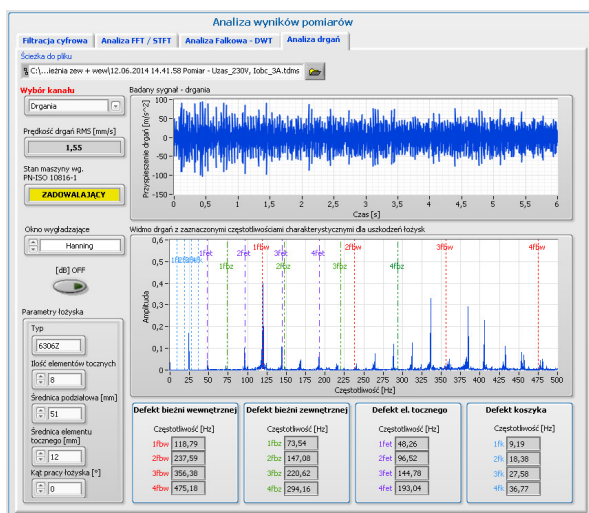
$$RFI = \frac{\max(A_{r1}, A_{r2})}{A_g} \cdot p \quad (7)$$

Trzecia z dostępnych zakładek umożliwia przeprowadzenie dyskretnej transformaty falkowej DWT. Na rys. 10 przedstawiono panel zakładki do tejże analizy.

Ostatnia z dostępnych zakładek umożliwia przeprowadzenie oceny stanu maszyny pod względem drganiowym (rys. 11). Program na podstawie zarejestrowanego sygnału określa automatycznie stan maszyny wg. normy PN-ISO 10816-1. Podając parametry łożyska program obliczy i zaznaczy charakterystyczne częstotliwości sygnału, którego duża wartość amplitudy może świadczyć o jednym z czterech rodzajów uszkodzeń łożyska.



Rys. 10. Zakładka do analizy falkowej



Rys. 11. Zakładka do analizy drgań

Dokonując odpowiedniej konfiguracji programu istnieje możliwość zdalnego dostępu do tego oprogramowania za pomocą przeglądarki internetowej. Wyklucza to konieczność obecności użytkownika w miejscu zainstalowania takiego systemu.

3. Testy pomiarowe oraz analiza zarejestrowanych danych

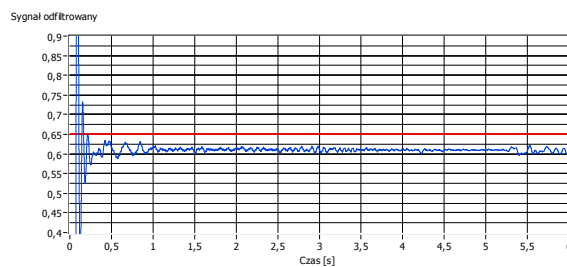
Testy pomiarowe stworzonego systemu zostały przeprowadzone w Laboratorium Maszyn Elektrycznych Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej. Obiektem badań był silnik indukcyjny Sg112M-4 sprzężony z prądnicą prądu stałego, stanowiącą jego obciążenie. Podstawowe parametry badanego silnika to: $P_N = 4,0\text{kW}$, $U_N = 380\text{V}$, $I_N = 2,87\text{A}$, $n_N = 1445\text{ obr/min}$. Za pomocą systemu akwizycji zostały zarejestrowane sygnały dla różnych uszkodzeń silnika indukcyjnego. Były to uszkodzenia prętów

klatki wirnika i różne uszkodzenia łożysk tocznych silnika. Uszkodzenia te uzyskano poprzez wymianę nieuszkodzonych elementów silnika na elementy zawierające określone rodzaje defektów. Rejestracji sygnału dokonywano z częstotliwością 50 kHz, przez czas 6 s. W każdym przypadku rejestrowano w tym samym czasie 8 sygnałów:

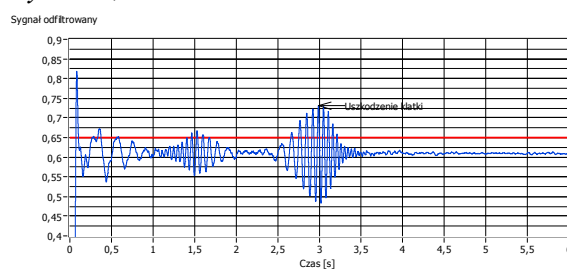
- trzy prądy fazowe,
- dwa napięcia fazowe,
- przyspieszenie drgań,
- poziom hałasu,
- prędkość obrotową.

Zarejestrowane dane poddano następnie analizom mającym na celu określenie stanu technicznego silnika.

Rysunki 12a i 12b przedstawiają wynik filtracji dolnoprzepustowej prądu rozruchowego silnika zdrowego i z uszkodzonymi 2 prętami klatki dla $U_f = 170\text{ V}$, $I_{obc} = 3,0\text{ A}$, filtr Butterwortha 8 rzędu – $f_{odc} = 17\text{ Hz}$.



Rys. 12a. Filtracja dolnoprzepustowa – klatka nieuszkodzona, wskaźnik stopnia uszkodzenia wynosi 0,009

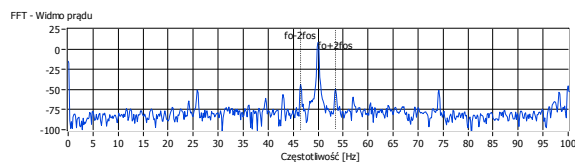


Rys. 12b. Filtracja dolnoprzepustowa – uszkodzone 2 pręty klatki, wskaźnik stopnia uszkodzenia wynosi 0,121

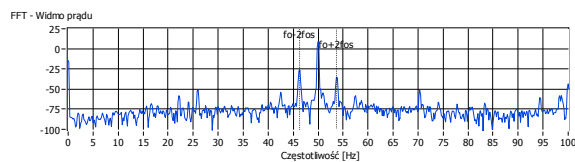
Rozruchy silnika wykonywano przy obniżonym napięciu w celu wydłużenia czasu trwania rozruchu, który wynosił ok. 5 s. W przypadku silnika nieuszkodzonego sygnał odfiltrowany oprócz początkowego stanu nieustalonego utrzymuje się na stałym poziomie. Natomiast w przypadku uszkodzonych prętów klatki wirnika pojawia się charakterystyczny dla tego

uszkodzenia wzrost amplitudy sygnału. Wskaźnik stopnia uszkodzenia osiąga wartości znacznie powyżej wartości 0,04, przyjętej na podstawie szeregu przeprowadzonych analiz jako granicę, powyżej której występuje uszkodzenie klatki wirnika.

Najpowszechniejszą metodą wykrywania uszkodzeń wirnika silnika indukcyjnego jest analiza częstotliwościowa prądu stojana przy wykorzystaniu szybkiej transformaty Fouriera FFT. Na rysunkach 13a i 13b przedstawiono widmo prądu zasilania silnika przy $U_f = 230\text{ V}$, $I_{obc} = 3,0\text{ A}$ dla dwóch przypadków.



Rys. 13a. Widmo prądu zasilania silnika nieuszkodzonego, wskaźnik stopnia uszkodzenia RFI: 0,859

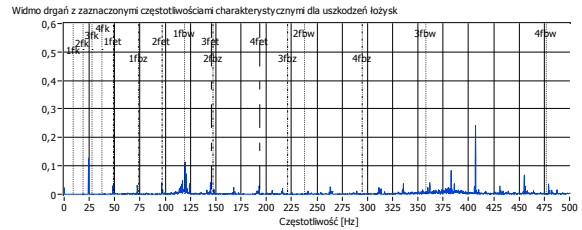


Rys. 13b. Widmo prądu zasilania silnika z uszkodzonymi 2 prętami klatki wirnika, wskaźnik stopnia uszkodzenia RFI: 1,262

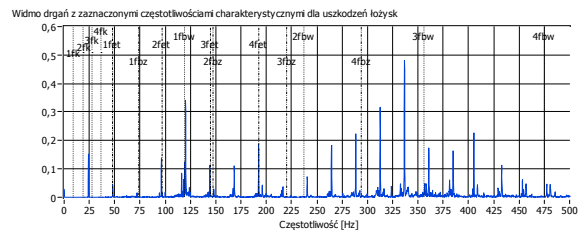
W przypadku silnika zdrowego prążki dla charakterystycznych częstotliwości mają małe amplitudy, a wskaźnik RFI nie przekracza wartości 1. Wraz ze wzrostem stopnia uszkodzenia wirnika następuje zwiększenie się amplitudy charakterystycznych harmonicznnych oraz rośnie wskaźnika RFI.

W celu dokonania oceny skuteczności wykrywania uszkodzeń elementów łożysk tocznych przeprowadzono pomiary dla silnika zdrowego i łożyska z uszkodzoną bieżnią wewnętrzną. Pomiarów przyspieszenia drgań dokonywano przy $U_f = 230\text{ V}$, $I_{obc} = 3,0\text{ A}$. Dla silnika bez uszkodzeń wszystkie charakterystyczne harmoniczne są na poziomie bliskim zeru, natomiast dla silnika z uszkodzoną bieżnią pojawia się wzrost harmonicznnej I_{fbw} o częstotliwości 118,76 Hz świadczącej o tymże uszkodzeniu (rys. 14a i 14b).

W widmie prądu występują również prążki o innych częstotliwościach, które mogą pochodzić od napędzanej maszyny lub układu sprzęgła.

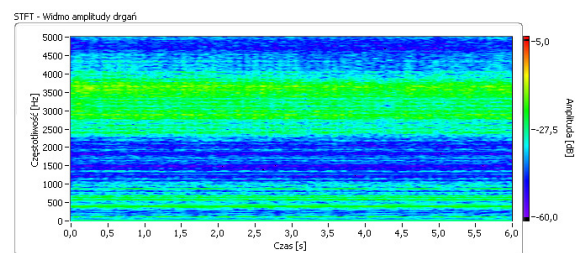


Rys. 14a. Widmo prądu zasilania silnika nieuszkodzonego, wskaźnik stopnia uszkodzenia RFI: 0,859

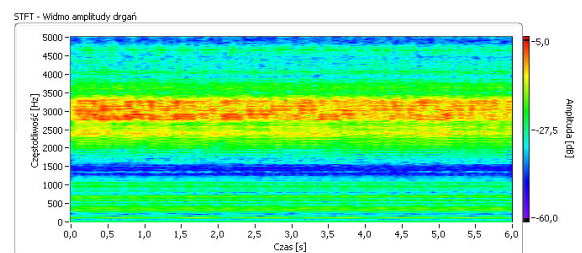


Rys. 14b. Widmo prądu zasilania silnika z uszkodzonymi 2 prętami klatki wirnika, wskaźnik stopnia uszkodzenia RFI: 1,262

Sygnał przyspieszenia drgań został również poddany analizie STFT. Na rys. 15a i 15b przedstawiono widma czasowo-częstotliwościowe STFT sygnału przyspieszenia drgań mechanicznych silnika.



Rys. 15a. Widmo drgań silnika nieuszkodzonego



Rys. 15b. Widmo drgań silnika z uszkodzoną bieżnią łożyska

W przypadku uszkodzenia bieżni łożyska, w widmie przyspieszenia drgań zauważalny jest wzrost amplitudy w zakresie częstotliwości 2,7 – 3,4 kHz. Analiza STFT umożliwia określenie w jakim czasie i jak długo występuje zmiana amplitudy mierzonego parametru, co nie jest możliwe w przypadku analizy FFT.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z systemami akwizycji danych stosowanymi do diagnostyki maszyn elektrycznych. Na podstawie najczęściej występujących uszkodzeń silników indukcyjnych określono konieczne do rejestracji parametry wykorzystywane w diagnostyce, z których najważniejszym jest prąd stojana silnika. W dalszej części zaproponowano uniwersalne rozwiązanie systemu akwizycji oparte na wirtualnym przyrządzie, w którego skład wchodzi komputer spełniający kilka funkcji. Dzięki temu obniża się koszt takiego systemu i możliwa jest jego dowolna konfiguracja. Modyfikując odpowiednio oprogramowanie można rozszerzyć system o bardziej zaawansowane funkcje analizy danych. Użytkownik systemu ma możliwość zastosowania dowolnej karty pomiarowej spełniającej odpowiednie wymagania co do rejestracji i parametrów przetwarzania danych. Dodatkową zaletą aplikacji jest automatyczne wykonywanie pomiarów i możliwość wykonywania analiz z poziomu przeglądarki internetowej. Przeprowadzone testy systemu akwizycji danych pokazały, że opracowany system spełnia wszystkie założenia przyjęte na etapie projektowania. Przeprowadzone analizy zarejestrowanych danych dla silnika zdrowego i z uszkodzeniami, pokazały jednoznacznie charakterystyczne zmiany pojawiające się w sygnale diagnostycznym w przypadku wystąpienia uszkodzenia, dające możliwość jego wykrycia. Przedstawiony w artykule system akwizycji danych stanowi jedno z wielu możliwych rozwiązań dla diagnostyki silników indukcyjnych klatkowych.

5. Literatura

- [1]. Winiecki W.: *Organizacja komputerowych systemów pomiarowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
- [2]. Zarębski K.: *Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich, Akwizycja danych pomiarowych*. Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, Kraków 2007.
- [3]. Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Politechnika Opolska, Opole 2006.
- [4]. Antal M., Kowalski Cz. T.: *Wykrywanie uszkodzeń elementów łożysk tocznych silników indukcyjnych na podstawie analizy widmowej przyspieszenia drgań*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn,

Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej Nr 54, Wrocław 2003.

- [5]. Sułowicz M., Petryna J., Weinreb K., Guziec K.: *Porównawcze pomiary defektów klatek rozruchowych silników indukcyjnych pod kątem wykorzystania w diagnostyce*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, Nr 2/2013 (99).
- [6]. Wolkiewicz M., Kowalski Cz. T.: *Nieinwazyjne metody wczesnego wykrywania zwarć zwojowych w silniku indukcyjnym zasilanym z przemiennika częstotliwości, cz. I*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe KOMEL, Nr 87/2010.
- [7]. PN-ISO 10816-1 Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyn na podstawie pomiarów na częściach niewirujących.
- [8]. Petryna J., Sułowicz M., Duda A., Guziec K.: *Diagnozowanie silników indukcyjnych w oparciu o pomiar strumienia poosiowego*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, Nr 1/2014 (101).
- [9]. Mazur R.: *Wielozadaniowy system akwizycji dla diagnozowania silników indukcyjnych*. Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, 2014.
- [10]. Swędrowski L.: *Pomiary w diagnostyce silników indukcyjnych klatkowych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013.
- [11]. www.ni.com

Autorzy

mgr inż. R. Mazur, rafal_mazur1@op.pl
 dr inż. M. Sułowicz, msulowicz@pk.edu.pl
 dr inż. R. Mielnik, rmiel@pk.edu.pl
 Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Instytut Elektromechanicznych Przemian Energii
 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24

Informacje dodatkowe

Artykuł powstał w wyniku realizacji pracy dyplomowej magisterskiej pt. *Wielozadaniowy system akwizycji dla diagnozowania silników indukcyjnych* na Wydziale Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej.