

INSTRUMENT WIRTUALNY WSPOMAGAJĄCY DIAGNOSTYKĘ WYBRANYCH MASZYN ELEKTRYCZNYCH STOSOWANYCH W ROLNICTWIE

Jacek Kapica

Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Publikacja przedstawia zastosowanie analizy częstotliwościowej sygnału napięciowego lub prądowego maszyny elektrycznej do wspomaganie diagnostyki uszkodzeń elektrycznych. Jako narzędzie zostało wykorzystane środowisko LabView umożliwiające tworzenie instrumentów wirtualnych. Stworzona aplikacja umożliwia analizę częstotliwościową sygnału przy zastosowaniu funkcji filtrujących i uśredniających. Jest wygodnym narzędziem umożliwiającym sprawdzenie zależności pomiędzy uszkodzeniami danej maszyny elektrycznej a zawartością wyższych harmonicznych w napięciu wyjściowym lub natężeniu prądu danego urządzenia.

Słowa kluczowe: diagnostyka, FFT, analiza częstotliwościowa, transformata Fouriera

Wstęp

Przebieg napięcia lub prądu maszyny elektrycznej może być wygodnym sygnałem niosącym informację na temat jej stanu technicznego [Kowalski 1996, Jae-Eung i in. 2006]. Analiza przebiegu w dziedzinie czasu jest trudna do zautomatyzowania ze względu na konieczność rozpoznania kształtu wykresu i wychwycenia różnic pomiędzy przebiegiem standardowym a przebiegiem przy określonym uszkodzeniu, co w praktyce jest wykonywane przez człowieka. Możliwość zautomatyzowania diagnostyki uszkodzeń daje analiza sygnału w dziedzinie częstotliwości. W tym celu najczęściej wykorzystuje się szybką transformatę Fouriera (FFT). Jako wynik otrzymuje się zestaw częstotliwości składowych o określonej amplitudzie i fazie, których przetwarzanie za pomocą techniki cyfrowej jest dużo łatwiejsze niż przebiegu w dziedzinie czasu.

Wykorzystanie napięcia lub prądu maszyny elektrycznej jako sygnału służącego diagnostyce uszkodzeń daje możliwość wczesnego wykrywania defektów, jeszcze zanim dane urządzenie ulegnie uszkodzeniu w stopniu uniemożliwiającym pracę. Daje to szansę na wcześniejsze zaplanowanie naprawy lub wymiany danej maszyny i uniknięcie niespodziewanych awarii, które często przydarzają się w najmniej korzystnym czasie.

Celem niniejszej publikacji jest opracowanie aplikacji (instrumentu wirtualnego) wspomagającego prace zmierzające w kierunku ustalenia zależności pomiędzy uszkodzeniami wybranych maszyn elektrycznych a zawartością harmonicznych w sygnale napięciowym lub prądowym. Jako założenie przyjęto uniwersalność oprogramowania tak, aby było ono przydatne do wspomaganie diagnostyki różnych maszyn elektrycznych. Środowisko LabView zostało wybrane ze względu na jego elastyczność i łatwość tworzenia aplikacji.

Aplikacja może znaleźć zastosowanie przy badaniu różnorodnych maszyn elektrycznych stosowanych w rolnictwie i przemyśle spożywczym, jak na przykład: silniki indukcyjne stosowane zarówno w gospodarstwach rolnych jak i zakładach przemysłu spożywczego, alternatory stosowane w pojazdach rolniczych itp.

Praktyczne aspekty analizy częstotliwościowej

Analizie częstotliwościowej poddaje się sygnały uzyskane w drodze przetwarzania analogowo-cyfrowego. Częstotliwość próbkowania oraz liczba pobranych próbek ma istotne znaczenie dla rozdzielczości, z jaką będzie można określić częstotliwość poszczególnych składowych. Rozdzielczość ta jest określona równaniem:

$$f = \frac{f_s}{N} \quad (1)$$

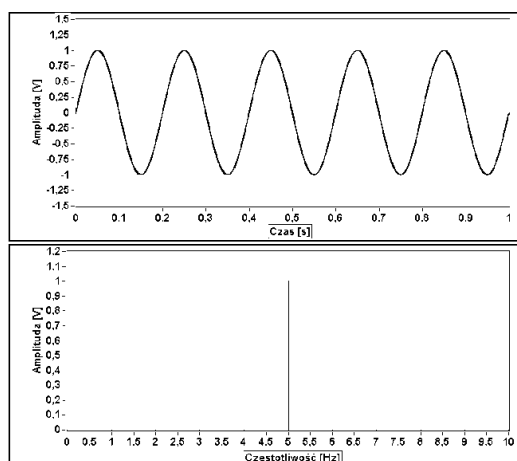
gdzie:

f_s – częstotliwość próbkowania,
 N – liczba pobranych próbek.

Graniczna (maksymalna) częstotliwość, którą można wyróżnić w widmie określa wzór:

$$f_G = \frac{f_s}{2} \quad (2)$$

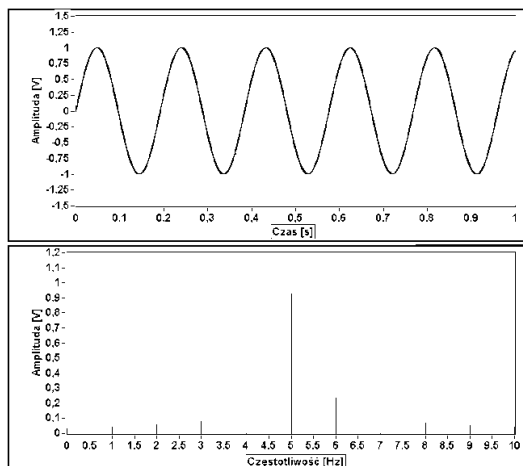
Rezultat przeprowadzenia FFT dla danego sygnału zależy nie tylko od jego kształtu, ale również od tego, czy zostanie pobrana całkowita jego wielokrotność czy też nie [Bach, Meigen1999]. Zjawisko to ilustrują rysunki 1 oraz 2.



Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 1. Ilustracja wpływu czasu pobierania próbki sygnału na wynik analizy częstotliwościowej: czas pobierania próbki jest całkowitą wielokrotnością okresu sygnału

Fig. 1. Illustration of the influence of the acquisition time on the result of spectral analysis: acquisition time is an integer multiple of the signal's period



Źródło: opracowanie własne autora

- Rys. 2. Ilustracja wpływu czasu pobierania próbek sygnału na wynik analizy częstotliwościowej: czas pobierania próbek nie jest całkowitą wielokrotnością okresu sygnału
- Fig. 2. Illustration of the influence of the acquisition time on the result of spectral analysis: acquisition time is not an integer multiple of the signal's period

W celu ograniczenia wpływu wspomnianego wyżej zjawiska często stosuje się tzw. okienkowanie (ang. windowing), które polega na wytlumieniu w odpowiedni sposób początku oraz końca próbki sygnału [Breintbach 1999]. Zastosowanie filtra okienkowego pozwala uwypuklić dominujące częstotliwości, jednak wnosi nieistniejące w rzeczywistości częstotliwości poboczne. Nie ma okienka, które nadaje się do wszystkich zastosowań, wybór filtra jest zawsze kompromisem. W przypadku pomiarów, w których istotne jest dokładne wyznaczenie częstotliwości zwykle stosuje się filtr typu „hann”, jeżeli ważne jest dokładne wyznaczenie amplitudy a mniej istotne określenie częstotliwości, można zastosować filtr typu „flat top”.

Przy pomiarach szumów zazwyczaj nie stosuje się filtra. Z filtra można także zrezygnować wtedy, kiedy długość pobranej próbki wielokrotnie (co najmniej kilkadziesiąt razy) jest większa od podstawowego okresu mierzonego sygnału.

W analizowanym przebiegu mogą pojawiać się zakłócenia nie związane bezpośrednio z pracą danego urządzenia, mające charakter przejściowy i przemijający. Aby je wyeliminować a uwypuklić istotne częstotliwości można zastosować uśrednianie. W najprostszym przypadku polega ono na pobieraniu i poddawaniu rozkładowi Fouriera sygnału n - razy, a następnie obliczanie średniej amplitudy każdej częstotliwości składowej według równania:

$$A_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n A_i \quad (3)$$

gdzie:

- A_{sr} – amplituda dla danej częstotliwości,
 n – liczba powtórzeń.

W wyniku zastosowania analizy Fouriera, otrzymuje się dwa komponenty: amplitudę oraz fazę. Współczesne pakiety oprogramowania pomiarowo - analitycznego umożliwiają też wyznaczenie rozkładu widmowego mocy oraz widmowej gęstości mocy.

Funkcje wytworzonej aplikacji

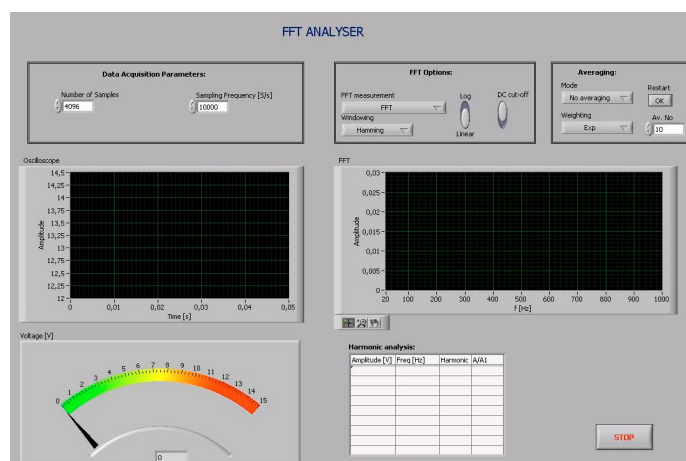
Omawiany instrument wirtualny został zaprogramowany przez autora niniejszej publikacji w graficznym środowisku programistycznym LabView. Z założenia aplikacja jest uniwersalnym narzędziem wspomagającym diagnostykę przy wykorzystaniu analizy częstotliwościowej sygnału napięciowego lub prądowego. Układ pomiarowy systemu składa się z:

- przetwornika napięcia, który ma na celu dopasowanie napięcia maszyny elektrycznej do zakresu napięć przetwornika analogowo-cyfrowego lub przetwornika prądu na napięcie o wartości odpowiedniej dla przetwornika analogowo-cyfrowego,
- przetwornika analogowo-cyfrowego,
- komputera PC z zainstalowaną aplikacją - instrumentem wirtualnym.

Możliwości programu obejmują:

- określenie liczby pobranych próbek oraz częstotliwości próbkowania, (program wylicza na tej podstawie rozdzielczość Δf oraz częstotliwość graniczną f_G),
- graficzne przedstawienie przebiegu sygnału w czasie,
- analizę częstotliwościową i graficzne przedstawienie amplitudy oraz rozkładu widmowego mocy i widmowej gęstości mocy w funkcji częstotliwości,
- tabelaryczne przedstawienie zawartości dominujących harmonicznych: częstotliwość danej harmonicznej, jej amplitudę, stosunek danej częstotliwości do częstotliwości podstawowej oraz stosunek amplitudy danej składowej do amplitudy składowej podstawowej,
- zastosowanie filtrów okienkowych oraz uśredniania.

Rysunek 3 przedstawia panel czołowy omawianego instrumentu wirtualnego.



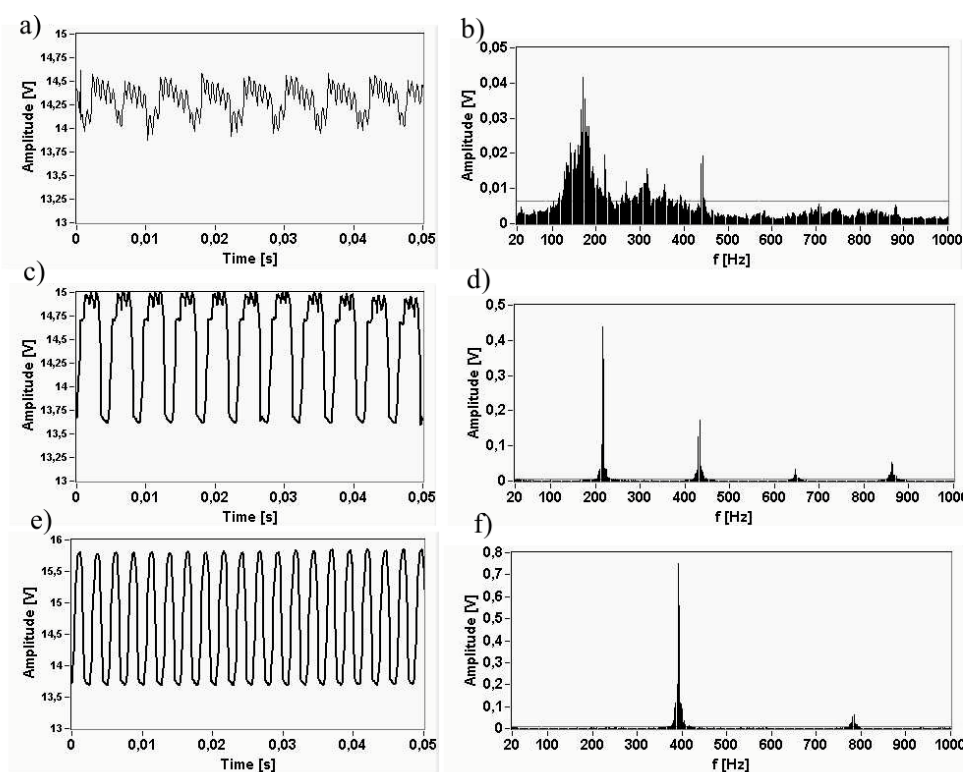
Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 3. Panel czołowy instrumentu wirtualnego

Fig. 3. Front panel of the virtual instrument

Praktyczne zastosowanie instrumentu wirtualnego

W celu przetestowania przydatności omawianej aplikacji wykonano wstępne próby analizy napięcia wytwarzanego przez alternator stosowany w pojazdach rolniczych. Pomiar przeprowadzono dla alternatora nieuszkodzonego i z dwoma typowymi uszkodzeniami elektrycznymi: przerwie w jednej z diod prostownika oraz przerwie w uzwojeniu jednej fazy alternatora. Uszkodzenia te były symulowane poprzez odłączenie odpowiednich przewodów w specjalnie przygotowanym stanowisku laboratoryjnym. Otrzymane przebiegi prezentuje rysunek 4. Na prezentowanych wykresach w dziedzinie częstotliwości usunięto składową stałą napięcia.



Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 4. Przykładowe przebiegi w dziedzinie czasu i częstotliwości dla alternatora: a) i b) bez uszkodzeń, c) i d) z przerwą w jednej diodzie prostownika, e) i f) z przerwą w jednej fazie uzwojenia.

Fig. 4. Examples of plots in time and frequency domains for an alternator: a) and b) no failure, c) and d) break in one diode of the rectifier, e) and f) break in one phase of the winding

Przeprowadzone próby analizy napięcia wytwarzanego przez alternator wykazują wyraźną zależność przebiegu w dziedzinie częstotliwości od typowych uszkodzeń alternatora.

Sygnal przy braku uszkodzeń składa się z przebiegu typowego dla prostownika sześciopulsowego, na który nałożony jest przebieg związany z pracą regulatora napięcia. W widmie widać jedną dominującą częstotliwość (ok. 180 Hz). Wartość tej składowej jest stosunkowo niewielka, w prezentowanym przykładzie ok. 0,04 V, występują też inne składowe o mniejszych amplitudach.

W przypadku symulowanego uszkodzenia jednej diody dominuje częstotliwość ok. 210 Hz (wartość 0,45 V). Występuje także składowa ok. 420 Hz - druga harmoniczna (0,18 V) oraz dalsze harmoniczne o wartości poniżej 0,1 V. Wartość pozostałych składowych jest wielokrotnie niższa.

Przy przerwie w uzwojeniu jednej fazy alternatora można zaobserwować podstawową składową ok. 390 Hz (0,76 V) oraz drugą harmoniczną o wartości poniżej 0,1 V. Także w tym przypadku amplitudy pozostałych częstotliwości są dużo niższe.

Warta uwagi jest wyraźna różnica pomiędzy zawartością harmonicznymi w urządzeniu nieuszkodzonym w stosunku do urządzenia uszkodzonego. Także rodzaj uszkodzenia ma bezpośredni wpływ na widmo sygnału napięciowego, co jest podstawą do opracowania systemu diagnostycznego.

Wspomniane różnice widać także na wykresie w dziedzinie czasu. Są one stosunkowo łatwe do wychwycenia przez człowieka, jednak zautomatyzowanie procesu diagnostycznego jest o wiele wygodniejsze w przypadku przedstawienia przebiegu w dziedzinie częstotliwości.

Podsumowanie

Pomiary, których wyniki przedstawiono w niniejszej publikacji mają za zadanie pokazać przydatność omawianego instrumentu wirtualnego do wspomagania pomiarów zmierzających do ustalenia zależności pomiędzy typowymi uszkodzeniami maszyn elektrycznych a zawartością składowych harmonicznymi. Nie są to na obecnym etapie pełne badania alternatora, które powinny uwzględniać dodatkowe okoliczności i parametry, jak np. prąd obciążenia, prędkość obrotową itp.

Przedstawiona aplikacja umożliwia wygodne przedstawienie wyników analizy sygnału w dziedzinie częstotliwości, co znacznie skraca i ułatwia badania wykorzystujące szybką transformatę Fouriera.

Bibliografia

- Bach M., Meigen T.** 1999. Do's and don'ts in Fourier analysis of steady-state potentials. *Documenta Ophthalmologica* 99. s. 73.
- Breintbach A.** 1999. Against Spectral Leakage. *Measurement* 25. s. 140.
- Jae-Eung O., Woo-Taek K., Hyoun-Jin S., Jung-Yoon Lee.** 2006. Advanced multidimensional spectral analysis and its application for early fault detection. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*; Apr 2006; 220, D4; ProQuest Science Journals. s. 435.
- Kowalski Cz.** 1996. Mikrokomputerowy system monitorowania i diagnostyki napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi. *Prace Naukowe Instytutu Maszyn i Napędów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej*. Nr 44. s. 69-70.

A VIRTUAL INSTRUMENT ASSISTING IN DIAGNOSTICS OF SELECTED ELECTRICAL MACHINES USED IN AGRICULTURE

Summary. This paper presents application of spectrum analysis of a voltage or current signal for diagnosing faults of electrical machines. LabView programming environment has been used as a tool for creating virtual instruments. The application supports signal analysis in the frequency domain with a possibility to use windowing and averaging functions. It is a convenient tool for investigating relationships between certain faults and the harmonic content of the voltage or current for a given electric device.

Key words: diagnostics, FFT, frequency analysis, Fourier transform

Adres do korespondencji:

Jacek Kapica; e-mail: jacek.kapica@ar.lublin.pl

Katedra Podstaw Techniki

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ul. Doświadczalna 50A

20-280 Lublin