

## PRYZRĄDY WIRTUALNE W DIAGNOSTYCE DRGANIOWEJ MASZYN ELEKTRYCZNYCH Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

### Streszczenie

W artykule przedstawiono i opisano podstawowe właściwości i możliwości wirtualnej aparatury pomiarowej stosowanej podczas pomiarów drgań maszyn z magnesami trwałymi oraz podczas analizy zarejestrowanych już przebiegów. Opisano system pomiarowy. Przytoczono definicje obliczenia wartości sygnałów. Przedstawiono wirtualny analizator drgań oraz przykład zarejestrowanego przebiegu wykonanego w trakcie realizacji projektu oraz jego analiza FFT.

### WSTĘP

Nazwa „Przyrządy wirtualne” istnieje i jest używana już od lat 70 ubiegłego wieku i oznacza ona urządzenie składające się z komputera oraz z dołączonego do niego sprzętu pomiarowego wykonującego określone funkcje przetwarzania określone przez zainstalowane na komputerze oprogramowanie, a do sterowania przyrządem służą: urządzenia wskazujące, klawiatury lub ekrany dotykowe a nawet telefony komórkowe i tablety.

Cyfrowe techniki pomiarowe również istnieją od kilkudziesięciu lat i ciągle są udoskonalane, a charakteryzują się m.in. bardzo dużą częstotliwością próbkowania, wysoką odpornością na zakłócenia, wysoką dokładnością odwzorowania itd. i w większości zastosowań i wyparły techniki analogowe. Współczesne, cyfrowe urządzenia rejestrujące proponowane są w szerokiej ofercie zaś ich cena jest uzależniona od częstotliwości próbkowania, ilości kanałów pomiarowych, jakości zastosowanych przetworników analogowo-cyfrowych, możliwości zapisu i prezentacji danych pomiarowych.

Do podstawowych zalet cyfrowej rejestracji sygnałów można zaliczyć m.in. [1, 2]:

- dużą rozdzielczość przetwarzania,
- uniwersalność,
- możliwość jednoczesnej rejestracji dużej ilości przebiegów,
- zdolność rejestracji przebiegów szybko i wolnozmiennych,
- możliwość jednoczesnej prezentacji wszystkich zarejestrowanych przebiegów,
- szybkość konwersji sygnału,
- możliwość automatycznej zmiany skali prezentowanych przebiegów,
- automatyzację wyznaczania parametrów charakterystycznych takich jak np.: wartość szczytowa, wartość minimalna, częstotliwość przebiegu.

Zaawansowane algorytmy obliczeniowe, wykorzystywane już do obróbki zarejestrowanych sygnałów przez przyrządy wirtualne umożliwiają m.in. [3]:

- wykonywanie złożonych obliczeń matematycznych,
- kondycjonowanie sygnału,
- filtrowanie,
- wyznaczenie parametrów przebiegów,
- analizę częstotliwościową sygnałów,
- transformaty.

### 1. WYBRANE DEFINICJE [4]

#### 1.1. Częstotliwość próbkowania

Częstotliwość próbkowania to wartość określająca liczbę próbek na jednostkę czasu pobranych z sygnału ciągłego w celu użycia sygnału dyskretnego.

#### 1.2. Twierdzenie o próbkowaniu

Odtworzenie sygnału jest możliwe, jeśli częstotliwość próbkowania sygnału jest większa niż dwukrotna największa częstotliwość składowych sygnału ciągłego, lub innymi słowy, kiedy częstotliwość Nyquista (połowa częstotliwości próbkowania) jest większa niż największa częstotliwość składowych sygnału ciągłego. Jeśli sygnał jest próbkowany z częstotliwością mniejszą to informacja zawarta w oryginalnym sygnale może nie być w całości odtworzona na podstawie sygnału dyskretnego.

#### 1.3. Częstotliwość Nyquista

Częstotliwość Nyquista jest to maksymalna częstotliwość składowych widmowych sygnału poddawanego procesowi próbkowania, które mogą zostać odtworzone z ciągu próbek bez zniekształceń. Składowe widmowe o częstotliwościach wyższych od częstotliwości Nyquista ulegają podczas próbkowania nałożeniu na składowe o innych częstotliwościach (zjawisko aliasingu), co powoduje, że nie można ich już poprawnie odtworzyć.

#### 1.4. Aliasing (w dziedzinie częstotliwości)

Aliasing jest to efekt nakładania się powielonych okresowo kopii widma sygnału w wyniku próbkowania sygnału z częstotliwością mniejszą od częstotliwości Nyquista.

#### 1.5. Wartość skuteczna przebiegu

$$I_{sk} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{k=0}^n i_k^2} \quad U_{sk} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{k=0}^n u_k^2} \quad (1)$$

Wzory (1) przedstawiają sposób wyznaczania wartości skutecznej prądu i napięcia, stosowany do obliczeń w cyfrowych systemach pomiarowych.

#### 1.6. Wartość średnia przebiegu

$$I_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n i_k \quad U_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n u_k \quad (2)$$

Wzory (2) przedstawiają sposób wyznaczania wartości średniej prądu i napięcia, stosowany do obliczeń w cyfrowych systemach pomiarowych.

## 1.7. Szybka transformata Fouriera

Jeżeli obwód zasilany jest napięciami lub prądami odkształconymi, lub w obwodzie istnieje choćby jeden element nieliniowy, przebiegi prądów i napięć stają się odkształcone i konieczne jest dysponowanie metodą umożliwiającą dokonywanie analizy takich przebiegów. Metodą taką jest rozwinięcie przebiegu  $u(t)$  lub  $i(t)$  w szereg Fouriera (3).

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=0}^{n-1} (a_n \cos(k \cdot \omega_0 \cdot t) + b_n \sin(k \cdot \omega_0 \cdot t)) \quad (3)$$

## 2. APARATURA POMIAROWA

Kartę pomiarową definiuje się jako urządzenie służące jedynie do wykonywania pomiarów za pomocą wejść analogowych (AI) lub cyfrowych (DI), nieposiadające wyjść analogowych (AO) lub cyfrowych (DO) służących np. do sterowania (oprócz komunikacji z komputerem). Sprzęt służący do przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy i transmisję wyniku przetwarzania do komputera w celu dalszej obróbki można spotkać w wielu różnych wykonaniach. Dokładność przetwornika analogowo cyfrowego (A/D), ilość wejść, częstotliwość próbkowania, ilość przetworników A/D w znaczący sposób wpływa na cenę karty pomiarowej. Do najtańszych należą karty z jednym przetwornikiem A/D obsługującym wiele wejść analogowych, niską rozdzielczością np. 8 bitów, niską częstotliwością próbkowania (rzędu kilku próbek na sekundę) i małą pamięcią. Najdroższe posiadają oddzielny przetwornik A/D dla każdego wejścia, wysoką rozdzielczość (np. 24 bity), dużą częstotliwość próbkowania (rzędu milionów próbek na sekundę dla każdego kanału pomiarowego), dużą pamięć. Karty pomiarowe przeznaczone do różnych zastosowań oferujące równoczesne próbkowanie, wykorzystują różne sposoby konwersji A/D. Istnieje kilka rodzajów przetworników A/D wykorzystywanych w systemach pomiarowych [5]:

- z wielokrotnym całkowaniem (INT) – zastosowanie w precyzyjnej aparaturze pomiarowej,
- delta sigma ( $\Delta\Sigma$ ) – zastosowanie w sprzęcie powszechnego użytku,
- z kolejnymi aproksymacjami (SAR) – zastosowanie w sprzęcie

miarowym i przemysłowym

- flash – zastosowanie w sprzęcie wideo.

Uniwersalna karta pomiarowa przystosowana jest do pomiaru standardowego sygnału w postaci prądu lub napięcia. Chcąc rejestrować inne wielkości, często nieelektryczne (np. przyspieszenie drgań) należy skorzystać z badaną maszyną elektryczną wyposażoną w odpowiednie przetworniki. Drgania maszyny przetwarzane są wówczas na sygnał napięciowy lub prądowy.

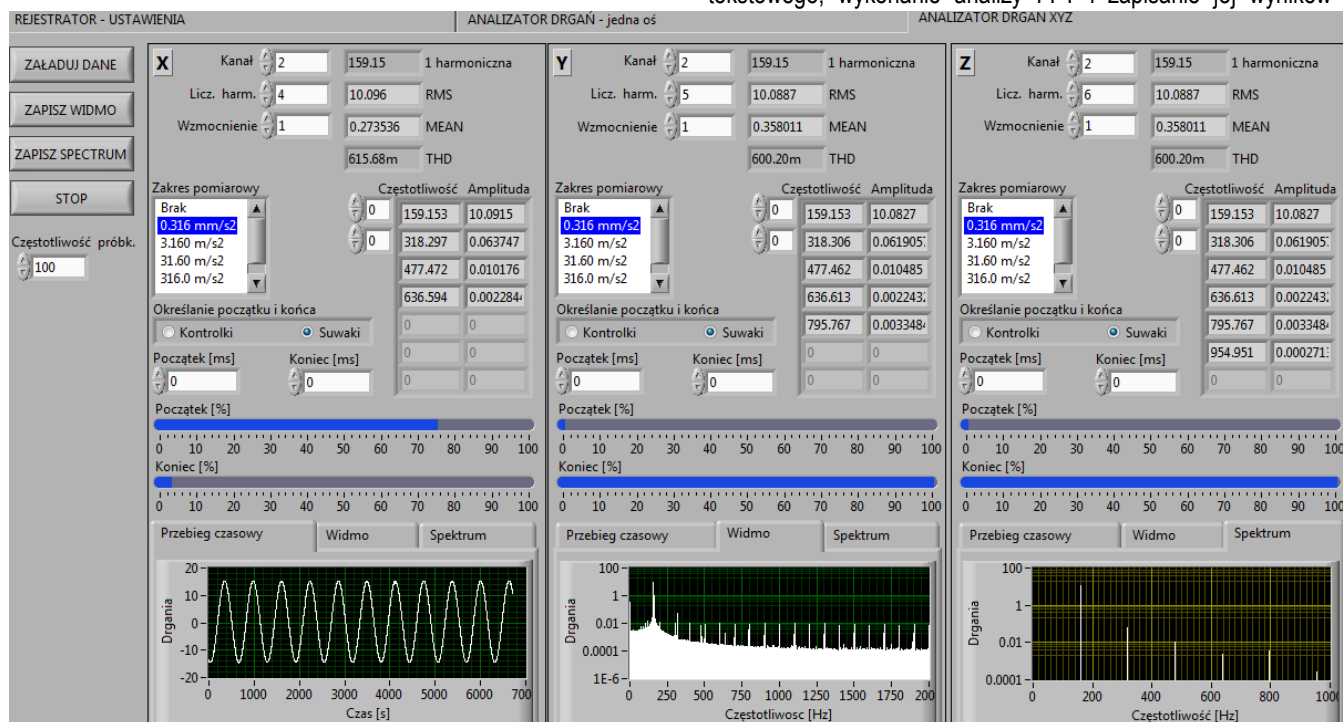
## 3. OPROGRAMOWANIE

Stworzenie przyrządu wirtualnego jest możliwe w wielu środowiskach programisty. Środowisko takie jest dobierane w zależności od potrzeb danej aplikacji. Środowisko oparte jest na języku G zostało wybrane i wdrożone do użytkowania w Laboratorium Instytutu Komel. Język G jest językiem programowania graficznego tzn. funkcje, rozkazy i polecenia programu opisane są za pomocą ikon graficznych. Środowisko to może być używane do wykonywania pomiarów, przeprowadzania testów, sterowania przyrządami pomiarowymi, sterowania procesami technologicznymi, wykonywania zaawansowanych obliczeń matematycznych. Najważniejsze cechy wybranego środowiska to m.in. obsługa wielu różnych urządzeń, komunikacja poprzez dostępne porty, intuicyjność, wielowątkowość, możliwość budowania plików wykonywalnych. Na rysunku 1 przedstawiono wygląd wirtualnego analizatora drgań.

## 4. WIRTUALNY ANALIZATOR

W Laboratorium Maszyn Elektrycznych Instytutu KOMEL wykonuje się przyrządy wirtualne służące do prowadzenia prac badawczych na bazie sprzętu pomiarowego jednego z czołowych producentów. Na rysunku 2 przedstawiono wygląd zestawu pomiarowego podczas wykonywania prób wyposażony m.in. w ekran dotykowy.

Do zaprogramowania wykorzystano procedury obliczenia wartości skutecznych i średnich oraz do analizy FFT, które zdefiniowano w pkt 1. Oprogramowanie sprawdza łączność i poprawne funkcjonowanie części sprzętowej, umożliwia wykonanie nastaw modułów pomiarowych (ich konfigurację), obliczenia wielkości elektrycznych i mechanicznych, zapisanie wyniku na dysku w postaci pliku tekstowego, wykonanie analizy FFT i zapisanie jej wyników na

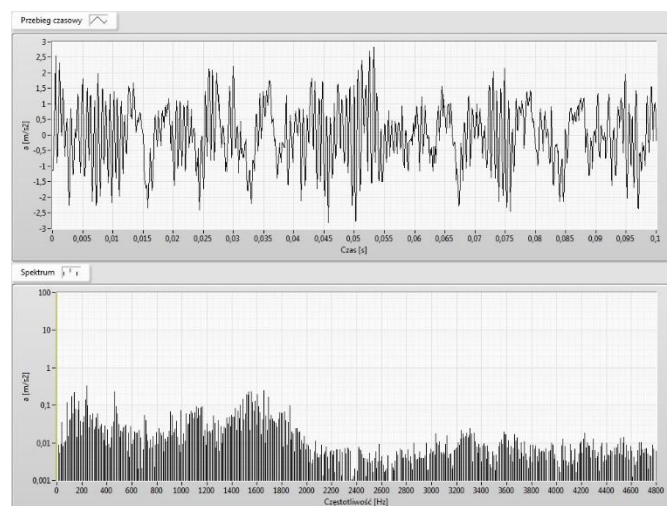


Rys. 1. Główne okno pomiarowe wirtualnego analizatora drgań

dysku w postaci pliku graficznego lub pliku tekstowego. Oprócz parametrów elektrycznych możliwy jest również pomiar parametrów mechanicznych, jakimi są np. drgania. Na rysunku 3a przedstawiono wynik rejestracji oraz na rysunku 3b analizy FFT sygnału drgań w osi X maszyny z magnesami trwałymi.



Rys. 2. Widok zestawu pomiarowego.



Rys. 3. Przebieg drgań oraz jego analiza FFT maszyny z magnesami trwałymi w osi X.

## PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono przykład wykorzystania wirtualnego przyrządu pomiarowego podczas badań drgań maszyn z magnesami trwałymi. Profesjonalnie przygotowane oprogramowanie i stanowisko pomiarowe wyposażone w zestaw przetworników wymagany dla danego zastosowania – pomiary drgań maszyny PM. Przyniesione przykłady aplikacji (rys. 1) pokazują możliwość zastosowania przyrządu wirtualnego w codziennej pracy laboratorium badawczego.

Szeroka gama możliwych do zastosowania przetworników i kart pomiarowych powoduje, że to użytkownik decyduje o parametrach swojego przyrządu, może więc osiągnąć kompromis pomiędzy dokładnością a ceną przyrządu wirtualnego. Wykorzystanie wysokiej klasy przetworników oraz karty pomiarowej zwiększa dokładność pomiarów i rejestracji, ale powoduje wzrost ceny przyrządu wirtualnego.

## BIBLIOGRAFIA

1. A. Decner, A. Polak: Wirtualne przyrządy pomiarowe – alternatywa wyposażenia pomiarowo-badawczego laboratoriów i stacji prób, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 62/2001, str. 77 - 80, 2001.
2. A. Decner, A. Polak: Wirtualne rejestratory sygnałów, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 62/2001, str. 107 - 112, 2001.
3. A. Biernat, W. Urbański: Wirtualna technika pomiarowa w laboratoriach maszyn elektrycznych, *Napędy i Sterowanie*, Nr 5/2012, str. 80 – 87, 2012.
4. J. Szabatin: Podstawy teorii sygnałów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ; wydanie 4, 2003.
5. F. Maloberti: Przetworniki danych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ; wydanie 1, 2010.
6. M. Barański: Wieloosiowy analizator drgań z wykorzystaniem modułu SV06A, karty pomiarowej PersonalDaq 3001 oraz graficznego środowiska programowania LabView, Praca Dyplomatyczna, Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Gliwice, 2010.

## INFORMACJA

Praca jest finansowana ze środków na naukę w latach 2013-2015 jako projekt badawczy nr 413/L-4/2012 realizowany w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL o nazwie „Wibroakustyczna metoda diagnostyczna silników trakcyjnych i generatorów z magnesami trwałymi na podstawie sygnałów własnych”.

## VIRTUAL INSTRUMENTS IN THE VIBRATION DIAGNOSIS OF ELECTRICAL MACHINES WITH PERMANENT MAGNETS

### Abstract

*The article presents and explains the basic features and capabilities of virtual measuring apparatus used during vibration measuring of permanent magnet machine and the analysis of already registered waveforms. Describes the measuring system. Definitions of calculation of the signals are quoted. Virtual vibration analyzer and waveform example taken during the realization of the project and its FFT analysis are presented also.*

Autorzy:

dr inż. **Adam Decner** – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, 40-203 Katowice, al. Roździeńskiego 188

mgr inż. **Tomasz Jarek** – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, 40-203 Katowice, al. Roździeńskiego 188