

Kręcenie bez bicia – System wyważania VibroDAQ2

Od jakości wyważenia elementów wirujących maszyn i urządzeń zależy poziom emitowanego hałasu, zużycie energii i trwałość łożysk. Niewykryte w porę wibracje mogą być przyczyną groźnych i kosztownych w naprawie uszkodzeń. Stan maszyn, tak jak nasze własne zdrowie, musi być systematycznie kontrolowany, a do tego są potrzebne specjalizowane przyrządy. Jednym z nich jest VibroDAQ2.

W EP 4/2010 przedstawiliśmy Czytelnikom teorię wyważania elementów obrotowych maszyn, pojazdów itp. Wiedza ta została umiejętnie wykorzystana przez konstruktorów firmy RK-System do budowy uniwersalnego urządzenia VibroDAQ2, służącego do jedno- i dwupłaszczyznowego wyważania elementów wirujących. Zanim zaznajomimy się z samym przyrządem, przypomnijmy sobie najważniejsze zagadnienia i wnioski wynikające z teorii.

Resume

O danym elemencie wirującym mówimy w największym uproszczeniu, że jest niewyważony, jeżeli jego środek masy nie jest usytuowany w osi obrotu. Niewyważenie jest spowodowane najczęściej niejednorodnością materiału, z którego jest zbudowany element wirujący, może również wynikać z nieprawidłowego zawieszenia tego elementu. Niewyważenie może być kompensowane przez dokładanie lub zdejmowanie odpowiednio dobranych mas w ściśle określonych punktach wału zależnych od tzw. wektora niewyważenia. W wielu przypadkach zadowalające wyniki można osiągnąć, dokładając lub ujmując tylko jedną masę. Jest to na przykład powszechna praktyka w warsztatach

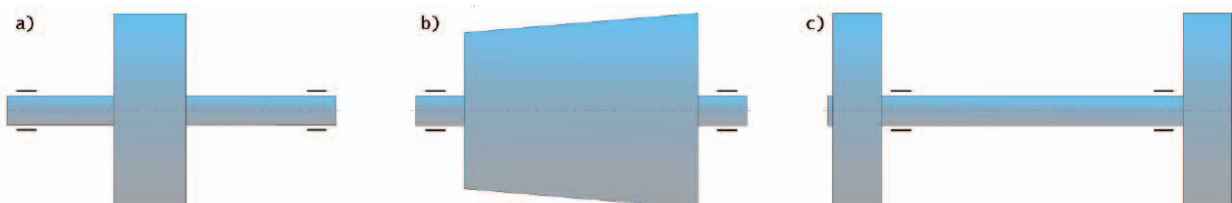


samochodowych podczas wyważania kół. Pamiętajmy jednak, że rozkład masy elementu wirującego powinien być w jak największym stopniu jednorodny. Kompensacja niewyważenia za pomocą jednej masy może oznaczać, że układ będzie charakteryzował się równowagą chwijną, a więc w pewnym sensie nadal pozostanie niewyważony. Znacznie lepsze wyniki uzyskuje się, przeprowadzając tzw. doważanie, czyli dokładanie (zdejmowanie) kolejnych mas korekcyjnych, stopniowo przybliżających efekt końcowy do ideału. Nie łudźmy się jednak - ideał nie istnieje, a o zakończeniu pomiarów decyduje uzyskanie wyników mieszczących się w założonej granicy błędu.

Z praktycznego punktu widzenia istotne jest to, że wyważanie może być prowadzone na specjalnie skonstruowanym stanowisku albo bezpośrednio w pracującym urządzeniu. Przeniesienie elementu wirującego na

stanowisko pomiarowe wymaga wymontowania go z urządzenia, co może być źródłem błędów nieuwzględnianego w pomiarze. Dodatkowo, ten błąd może być zwiększony przez inne, niż oryginalne, łożyskowanie. Zdecydowanie lepsze wyniki uzyskuje się więc, gdy wyważanie jest przeprowadzane bezpośrednio w urządzeniu, nie zawsze jest to jednak możliwe.

Wyróżniamy wyważanie jednopłaszczyznowe, dwupłaszczyznowe i wielopłaszczyznowe. W największym skrócie można powiedzieć, że wyważanie jednopłaszczyznowe występuje wtedy, gdy mamy do czynienia na przykład z pojedynczą tarczą o regularnych kształtach. Gdy przekrój tarczy w płaszczyźnie przechodzącej przez oś obrotu jest znacząco inny niż prostokątny lub gdy występują dwie tarcze umieszczone na wspólnej osi obrotu, mówimy o wyważaniu dwupłaszczyznowym (rys. 1). Wyważanie



Rys. 1. Przykładowy kształt elementów wirujących do wyważania a) jednopłaszczyznowego, b) dwupłaszczyznowego, c) wielopłaszczyznowego



Fot. 2. Czujnik laserowy na statywie

wielopłaszczyznowe jest natomiast stosowane dla wałów giętkich.

Jeszcze jednym, istotnym z praktycznego punktu widzenia pojęciem jest rodzaj niewyważenia. Wyróżniamy tu m.in. niewyważenie statyczne, gdy centralna oś bezwładności jest przesunięta równoległe do osi wału i niewyważenie dynamiczne, w którym centralna oś bezwładności jest przesunięta nierównoległe do osi wału i jej nie przecina (w obszarze ograniczonym rozmiarami wału).

VibroDAQ2 w praktyce

System pomiarowo-diagnostyczny VibroDAQ2 umożliwia wykonywanie dynamicznego wyważania jedno- i dwupłaszczyznowego wirników sztywnych, zarówno na stanowisku pomiarowym, jak i w łożyskach własnych. Stanowisko pomiarowe jest wykorzystywane najczęściej na etapie produkcji urządzeń. Później, w trakcie ich eksploatacji raczej nie wymontowuje się z nich wirników, gdyż generowałoby to dodatkowe koszty przy jednoczesnym zmniejszeniu dokładności pomiaru. Wykonując badania w urządze-

Tab. 1. Oferta czujników współpracujących z systemem VibroDAQ2

Model	Czułość	Zakres częstotliwości pracy	Położenie gniazda	Temperatura max.	Waga
Czujniki drgań ogólnego zastosowania					
101.01-6-3	100 mV/g $\pm 5\%$	0,5 Hz...14 kHz	górze	120°C	85 g
101.21-6-3	100 mV/g $\pm 10\%$	0,5 Hz...14 kHz	górze	120°C	85 g
103.02-6-2	100 mV/g $\pm 5\%$	0,5 Hz...10 kHz	bok	120°C	130 g
103.22-6-2	100 mV/g $\pm 10\%$	0,5 Hz...12 kHz	bok	120°C	130 g
Czujniki drgań o niskich częstotliwościach					
101.01-9-3	500 mV/g $\pm 5\%$	0,2 Hz...3,7 kHz	górze	90°C	90 g
103.02-9-2	500 mV/g $\pm 5\%$	0,2 Hz...3,7 kHz	bok	90°C	140 g
Czujniki drgań o wysokich częstotliwościach					
101.01-3-3	10 mV/g $\pm 5\%$	0,5 Hz...16 kHz	górze	120°C	80 g
101.21-3-3	10 mV/g $\pm 10\%$	0,5 Hz...16 kHz	górze	120°C	75 g
103.02-3-2	10 mV/g $\pm 5\%$	0,5 Hz...13 kHz	bok	120°C	130 g
103.22-3-2	10 mV/g $\pm 10\%$	0,5 Hz...13 kHz	bok	120°C	125 g
Czujniki prędkości					
111.01-6-3	100 mV/in/s $\pm 5\%$	1,9 Hz...7 kHz	górze	120°C	90 g
113.01-6-2	100 mV/in/s $\pm 5\%$	1,9 Hz...7 kHz	bok	120°C	140 g
4-20 mA (brak opcji pomiaru temperatury)					
125.01-VR10-3	10 mm/s RMS	3...1000 Hz	górze	90°C	85 g
125.01-AR20-3	20 g RMS	3...1000 Hz	górze	90°C	85 g

niu, należy jednak liczyć się z nieco bardziej skomplikowanym cyklem pomiarowym.

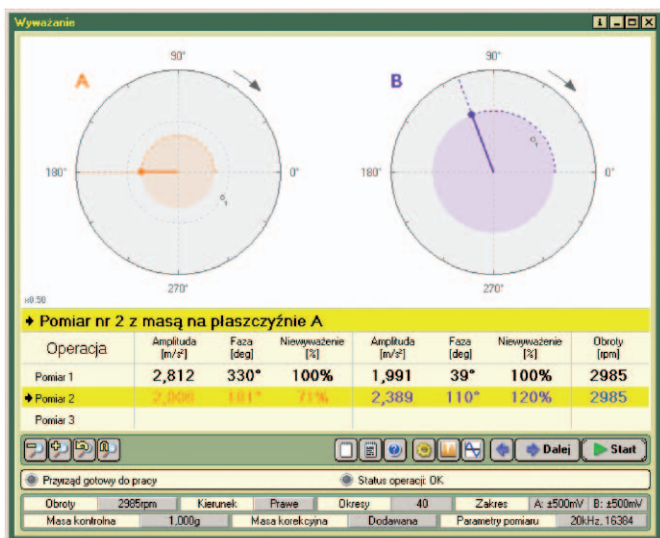
Zasada działania systemu VibroDAQ2 jest oparta na pomiarze drgań. Wykorzystywane są do tego czujniki przyspieszeń, prędkości lub przesunięcia. W razie potrzeby mogą być uzupełnione o opcjonalne akcesoria dostępne w ofercie producenta. Przyrząd pozwala na zastosowanie praktycznie dowolnych czujników drgań, również takich, które są zabudowane fabrycznie na istniejącym stanowisku pomiarowym. W standardowym zestawie systemu VibroDAQ2 znajdują się czujniki drgań 100 mV/g sprawdzające się w przypadku 95% klientów. W stałej ofercie jest natomiast szeroka gama czujników, nawet 500 mV/g. Na zamówienie użytkownika mogą być dostarczone czujniki o jeszcze wyższych czułościach. Pełną ofertę przedstawiono w **tab. 1**.

Fabryczna konfiguracja systemu obejmuje komponenty niezbędne do przeprowadze-

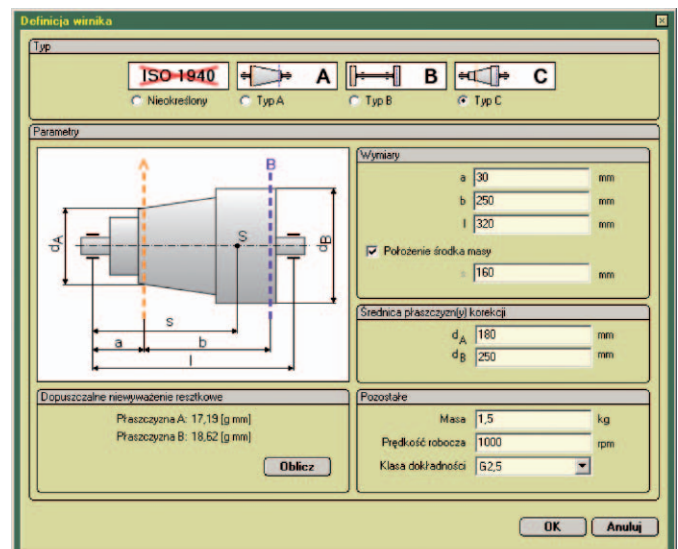
nia podstawowych pomiarów. Umieszczono je w aluminiowej walizce gwarantującej bezpieczny transport zestawu. Znajdujemy w niej:

- przystawkę VibroDAQ2,
- dwa czujniki akcelerometryczne z gwintem M5 służącym do umocowania na stanowisku pomiarowym,
- dwa adaptory z końcówką magnetyczną umożliwiającą montaż czujników w dogodnym miejscu, bez konieczności stosowania połączenia śrubowego,
- czujnik laserowy z detektorem,
- statyw do mocowania czujnika laserowego,
- folię refleksyjną dla czujnika laserowego,
- kable czujników i kabel USB służący do połączenia przystawki z komputerem.

Czujnik laserowy jest niezbędny do pomiaru prędkości obrotowej wału podczas wyważania. Nie jest on używany w badaniach wibracji. Aby z niego skorzystać, należy go umieścić na statywie (**fot. 2**) w okoli-



Rys. 3. Podstawowe okno programu aktywne w trakcie wyważania



Rys. 4. Okno definiowania wirników

Raport z procesu wyważania

Właściciel maszyny: xyz
 Typ maszyny: Nierównowaga wyważonego elementu
 Typ: Jednopłaszczyznowe

Przebieg procesu

Pomiar nr 1 bez masy kontrolnej		Pomiar nr 2 z masą kontrolną	
Amplituda [m/s²]	Faza [deg]	Amplituda [m/s²]	Faza [deg]
0	182°	0	303°
Niewyważenie [%]	100%	Niewyważenie [%]	30%
Obrotowy [rpm]	166.3	Obrotowy [rpm]	154.2

Wynik pomiarów

Masa [g]	Kąt [deg]	Niewyważenie [%]	Obrotowy [rpm]
+1.03	547°	100%	

Dowozarki 1

Masa [g]	Kąt [deg]	Niewyważenie [%]	Obrotowy [rpm]
+2.18	221°	14%	151

Dowozarki 2

Masa [g]	Kąt [deg]	Niewyważenie [%]	Obrotowy [rpm]
+5.45	285°	36%	169.5

Dowozarki 3

Masa [g]	Kąt [deg]	Niewyważenie [%]	Obrotowy [rpm]
+5.75	52°	44%	153.5

Dowozarki 4

Masa [g]	Kąt [deg]	Niewyważenie [%]	Obrotowy [rpm]
+3.74	14°	34%	150.7

Dowozarki 5

Masa [g]	Kąt [deg]	Niewyważenie [%]	Obrotowy [rpm]
+3.52	232°	34%	168.9

Wynik wyważania Płaszczyzna A

Współczynnik redukcji niewyważenia: 66%

PK-SYSTEM VIBRODAQ - Universal vibration system

Parametry

Częstotliwość próbowania	5kHz
Rozmiar bufora próbek	16384
Masa kontrolna	13.9kg
Czynnik drgań	101.2146330
Typ	A - Przyłożenie
Całkow. Zakres	100.0 (prędkość) 0.5Hz - 144Hz
	A - Przyłożenie 100.0 (prędkość) 0.5Hz - 144Hz

Data: 2010-04-03

Jednostka przeprowadzająca wyważenie

Operator: JD

Podpis:

PK-SYSTEM VIBRODAQ - Universal vibration system

jest proporcjonalna do niewyważenia (rys. 3). Niewyważenie wstępne jest przyjmowane jako punkt odniesienia do kolejnych pomiarów, stąd jego wartość zawsze jest równa 100%. Na ekranie są podane również inne parametry, takie jak amplituda i faza drgań oraz prędkość obrotowa wirnika.

Kolejne cykle wyważania są uruchamiane/wstrzymywane przyciskami ekranowymi *Dalej*, *Start*. Po wstępnym oszacowaniu niewyważenia można przystąpić do zasadniczej fazy pomiaru, którą rozpoczyna pomiar z masą kontrolną. W tym celu należy zatrzymać obroty wału i umieścić na nim dokładnie znaną masę w dowolnym położeniu, które będzie stanowiło punkt odniesienia w kolejnych cyklach. Jest to bardzo istotne ze względu na charakter czynności wykonywanych w dalszej części pomiarów. Następnie ponownie uruchamiamy obroty wału i przechodzimy do kolejnego cyklu, naciskając przycisk *Dalej*. Po ustabilizowaniu się warunków, na ekranie uzyskujemy parametry obciążenia korygującego: jego masę wyrażoną w jednostkach bezwzględnych lub odniesioną do masy kontrolnej i położenie względem punktu referencyjnego. Nie zawsze jednak umieszczenie masy korygującej w określonym położeniu jest możliwe. Może to wynikać z budowy mechanicznej wyważanego elementu. Co zrobić na przykład, gdy program nakaze umieszczenie masy korygującej w miejscu, w którym znajduje się przerwa między łopatkami wentylatora? Rozwiązaniem jest rozłożenie masy korygującej na kilka, umieszczonych we wskazanych położeniach. W programie obsługi VibroDAQ2 przewidziano taki przypadek i w razie potrzeby można korzystać z odpowiedniej opcji. Obliczenie i wprowadzanie masy korygującej może być realizowane poprzez jej dodawanie lub zdejmowanie. Zależy to od odpowiednio zdefiniowanego parametru programu. Po zaaplikowaniu masy korygującej, jeśli rezultat wyważania uznajemy za niewystarczający (np. niewyważenie przekracza założenia norm), można wykonać doważanie. Postępowanie w tym wypadku sprowadza się do wykonania dodatkowego po-

Rys. 5. Raport z pomiarów

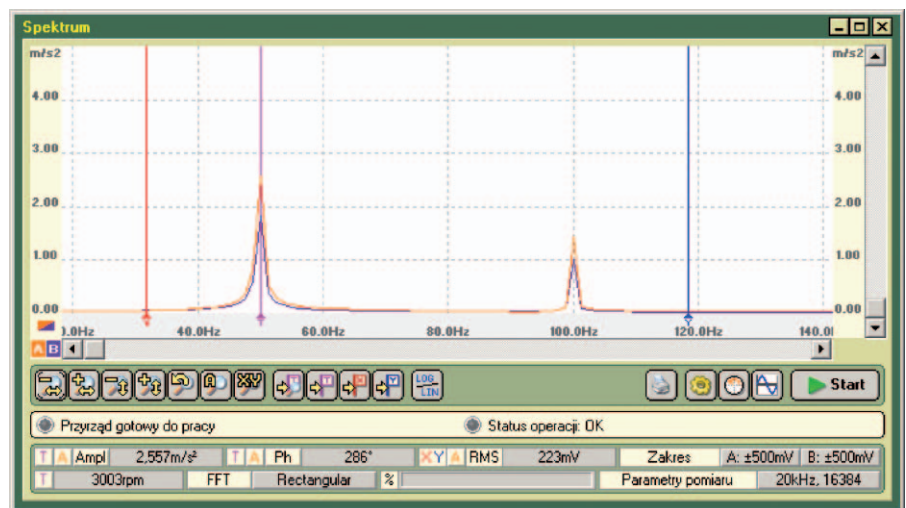
ciach wirującego elementu. Pomiar polega na analizie wiązki odbitej od tarczy refleksyjnej przyklejonej do wału. Przed rozpoczęciem pomiarów elementy te należy skalibrować, co polega na takim ustawieniu czujnika, aby odbity od tarczy sygnał był prawidłowo rozpoznawany. Dla ułatwienia wykonania tej operacji, na płycie czołowej urządzenia umieszczono diodę informującą o odebraniu sygnału z czujnika.

System VibroDAQ2 składa się z przystawki i komputera, na którym jest zainstalowany specjalny program. Obsługa przyrządu, mimo wielu czynności, które trzeba wykonać w trakcie wyważania, jest dość prosta i intuicyjna. Zachowano charakterystyczny dla programów firmy RK-System interfejs graficzny (rys. 3), który odbiega nieco od większości programów okienkowych, ale też nie stanowi utrudnienia w pracy.

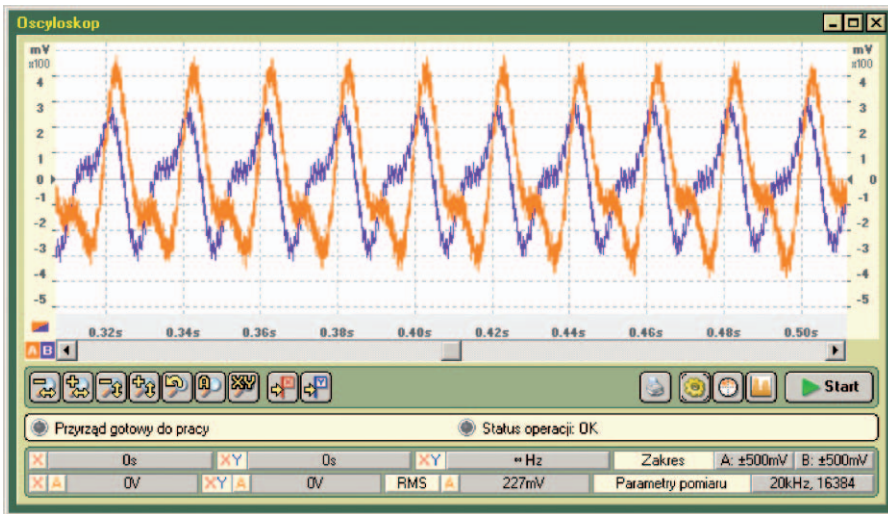
Procedura wyważania składa się z dwóch lub trzech kroków pomiarowych. Dwa kroki są stosowane dla obiektów jednopłaszczyznowych, trzy kroki dla obiektów dwupłaszczyznowych. W większości przypadków kompensacja niewyważenia wykonana zgodnie z otrzymanymi wskazaniem przyrządu, skutkuje właściwym wyważeniem detalu. W sytuacji, gdy rezultaty z jakichś względów okażą się niewystarczające, w kolejnym kroku pomiarowym można dokonać tzw. doważenia. Nie jest przy tym konieczne przeprowadzenie całej procedury od początku. Podczas doważenia wykonuje się jeden dodatkowy pomiar (niezależnie od tego czy detal jest jedno- czy dwupłaszczyznowy). W zależności od potrzeb doważanie można odcenić ogólny stan techniczny urządzenia. Doskonale nadaje się do tego analiza widmowa – odpowiednia opcja jest dostępna w programie systemu VibroDAQ2. Pomiar taki pozwala dość precyzyjnie wskazać elementy wymagające wyważenia oraz zdiagnozować ewentualne

inne usterki. W zależności od przyjętej metody wyważania (jedno- lub dwupłaszczyznowej) do przystawki należy dołączyć jeden lub dwa czujniki vibracji. W przypadku wyważania dwupłaszczyznowego konieczne są dwa pomiary. Istotne jest optymalne dobranie parametrów pracy przystawki, takich jak częstotliwość próbkowania i rozmiar bufora próbek. Będą one wpływały na dokładność pomiarów oraz na czas ich wykonywania. Błędy przypadkowe są skutecznie eliminowane przez włączenie uśredniania, ale opcja ta również wpływa znacząco na czas pomiaru.

Mając zebrane informacje o ogólnym stanie urządzenia, rozpoczynamy od oszacowania niewyważenia wstępnego badanego elementu wirującego. W każdym etapie wyniki są prezentowane na ekranie komputera w postaci tabelarycznej oraz graficznej. Stopień niewyważenia jest przedstawiony w postaci wektora niewyważenia wysywanego w okrąg symbolizujący element wirujący. Parametr ten można łatwo zinterpretować „wzrokowo”, gdyż długość wektora



Rys. 6. Okno analizy widmowej



Rys. 7. Okno oscyloskopu

miaru drgań, w wyniku którego otrzymujemy odpowiednio skorygowane wartości masy kompensującej oraz kąta jej umieszczenia (dodania lub odjęcia). Doważanie może być powtarzane. Pojawia się zatem pytanie – kiedy zakończyć procedurę wyważania? Pierwsza odpowiedź, dość oczywista, jest taka, że wyważanie kończymy wtedy, gdy stopień niewyważenia mieści się w granicach stosowanej w danym przypadku normy. Powróćmy jednak do istoty przeprowadzanej operacji. Wyważanie stosujemy po to, by w jak największym stopniu zminimalizować wszelkie „bicia” i wibracje. Jeśli więc cała procedura przebiega pomyślnie, to w kolejnych cyklach uzyskujemy coraz mniejsze sygnały z czujników. Może się więc okazać, że od pewnego momentu wyniki pomiarów, szczególnie kąta, stają się niestabilne, charakteryzują się dużą przypadkowością. Jest to zjawisko normalne i świadczy o tym, że detale jest już właściwie wyważony. Kontynuowanie takich pomiarów nie ma więc większego sensu.

Normy, przepisy

System VibroDAQ2 jest dostosowany do przepisów i norm przemysłowych obowiązujących w tym zakresie. Przed rozpoczęciem wyważania zgodnego z normą ISO 1940 ko-

nieczne jest odpowiednie zdefiniowanie parametrów wirnika, co jest możliwe w oknach ustawień. Prezentowane są w nich rysunki poglądowe ułatwiające tę czynność. Przykład przedstawiono na rys. 4. Poszczególne typy wirników są pogrupowane według klasy jakości wyważania: od wolnoobrotowych silników okrętowych do wrzecion, tarcz i tworników precyzyjnych szlifierek. Sama procedura wyważania przebiega analogicznie, jak to opisano wyżej. Ułatwieniem jest wyświetlenie wyniku końcowego w kolorze zielonym, jeśli spełnia on wymagania normy i w kolorze czerwonym, jeśli norma nie jest spełniona.

Wyważane elementy, szczególnie te, które są wykorzystywane w przemyśle, energetyce itp., mają często atesty potwierdzające ich przydatność w konkretnych zastosowaniach. Musi być ona zachowana również po wykonaniu wszelkich napraw i rutynowych przeglądów. W tym kontekście procedura wyważania nie jest więc zwykłą czynnością serwisową, a po jej zakończeniu powinien powstać stosowny dokument. System VibroDAQ2 umożliwia automatyczne generowanie raportu potwierdzającego uzyskanie określonych wyników. Są na nim dodatkowo umieszczone wszystkie parametry pomiarów (rys. 5).

Rozszerzenie możliwości VibroDAQ2

System VibroDAQ2 został skonstruowany do wyważania elementów wirujących. Zastosowano w nim nowoczesne rozwiązania elektroniczne oparte na układach FPGA, 16-bitowym przetworniku A/C i technice DSP. Uzyskano dzięki temu bardzo dobre parametry pomiarowe: zakres mierzonych prędkości obrotowych 0,1...10000 obr/s, zakres częstotliwości próbkowania 10 Hz...200 kHz. Interfejs USB pracujący w trybach *High Speed* i *Full Speed* zapewnia szybki transfer danych do komputera. Dwie opcje oprogramowania umożliwiają wykorzystanie przystawki jako analizatora widma i oscyloskopu. Tryby te mogą być stosowane do badania maszyn mechanicznych, w których nie muszą znajdować się elementy wirujące. Na podstawie poziomu i kształtu wibracji daje się dużo powiedzieć o stanie poszczególnych mechanizmów. Szczególnie przydatna jest tu analiza widmowa, którą jak w większości cyfrowych przyrządów pomiarowych wykonuje się w oparciu o szybką transformatę Fouriera (FFT). Można też opcjonalnie wykorzystać algorytm DFT (dyskretna transformata Fouriera), jednak czas obliczeń w tym przypadku drastycznie się wydłuża. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy oscylogram uzyskany z czujników drgań, a na rys. 7 widmo tego sygnału. Oscyloskop ponadto jest przydatny we wstępnej fazie pomiarów do oceny sygnału otrzymywanego z czujnika wibracji.

Pośród wielu zastosowań systemu VibroDAQ2 jednym z częściej używanych jest wyważanie tarcz szlifierskich. Jest to możliwe po zastosowaniu specjalnej głowicy z jedną lub z dwoma przesuwanymi masami. Sama procedura pomiarowa jest bardzo podobna do standardowej.

VibroDAQ2 jest doskonałym przykładem umiejętnego zastosowania wiedzy teoretycznej (mechaniki ciała stałego) w praktyce. Dzięki niemu Polak nie zawsze musi być mądry dopiero po szkodziu.

Jarosław Doliński, EP
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl

R E K L A M M A

RK-SYSTEM
www.rk-system.com.pl

Profesjonalne narzędzia dla elektroników i programistów

- uniwersalne programatory układów scalonych
- analizatory stanów logicznych
- oscyloskopy cyfrowe
- systemy do wyważania i pomiaru drgań
- oprogramowanie CAD, CAM, CAE
- emulatory, symulatory, debugery dla różnych rodzin procesorów
- kompilatory C/C++ dla różnych rodzin procesorów
- szkolenia w zakresie FPGA, VHDL
- narzędzia na procesory sygnałowe DSP

- projektujemy, produkujemy, szkolimy, dystrybuujemy

05-825 Grodzisk Maz., ul. Chałubińskiego 30, tel. (022) 724 30 39, 792 05 18, fax (022) 724 30 37