

Grzegorz OKRZESZOWSKI¹, Jacek KŁOSIŃSKI², Marcin SIDZINA², Jarosław JANUSZ²

¹ RAPID LIGHTNET, ul. Fabryczna 8D, 32-650 Kęty

² AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA W BIELSKU-BIAŁEJ, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

Wibrometr mikroprocesorowy do pomiaru drgań maszyn

Mgr inż. Grzegorz OKRZESZOWSKI

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Stopień magistra w specjalności Automatyka Przemysłowa uzyskał w 2012 r. Zatrudniony w Lightnet Rapid na stanowisku Kierownika Działu Elektroniki. Zajmuje się projektami elektroniki źródeł światła realizowanych technologii odpowiedzialny jest za wykonywanie projektów elektroniki, pomiary fotometryczne i produkcję źródeł światła realizowanych w technologii LED.

e-mail: g.okrzeszowski@lightnet.eu



Dr inż. Marcin SIDZINA

Absolwent Wydziału Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od 2004 roku zatrudniony w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn na stanowisku naukowo-dydaktycznym. Pracę doktorską obronił na Wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach w 2008 r. W pracy zawodowej zajmuje się analizą rozproszonych systemów sterowania czasu rzeczywistego.

e-mail: msidzina@ath.bielsko.pl



Dr hab. inż. Jacek KŁOSIŃSKI

Ukończył studia na Wydziale Maszyn Górniczych i Hutniczych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obronił pracę doktorską na tym samym wydziale a kolokwium habilitacyjne złożył przed Radą Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku Białej. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki i sterowaniem maszyn oraz automatyką procesów przemysłowych.

e-mail: jklosinski@ath.bielsko.pl



Dr inż. Jarosław JANUSZ

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej. Pracownik naukowo-dydaktyczny Katedry Podstaw Budowy Maszyn. Obronił pracę doktorską na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z dynamiką i sterowaniem maszyn roboczych.

e-mail: jjanusz@ath.bielsko.pl



Streszczenie

W ramach niniejszej pracy przedstawiono projekt wibrometru mikroprocesorowego do pomiaru drgań maszyn. Zadaniem urządzenia jest pomiar i rejestracja przyspieszeń z możliwością odczytania zdalnego lub z karty SD. Urządzenie powstało na bazie układów ATmega oraz modułu pomiarowego, opartego o scalony układ elektroniczny firmy Analog Devices – ADXL001. Przedstawiono podstawowe dane dotyczące projektu elektrycznego urządzenia. Wykonano porównanie prototypowego systemu pomiarowego z komercyjnym systemem pomiarowym Spider 8.

Słowa kluczowe: wibrometr, mikroprocesor, pomiary, drgania.

A microprocessor vibrometer for measurement of machine vibrations

Abstract

This paper presents the design of a microprocessor based vibrometer for measuring machine vibrations. The task of the device is to take measurements and record accelerations with the ability to read the data remotely or from the SD card. The device was designed based on ATmega systems and a measuring module based on the integrated circuit electronics Analog Devices - ADXL001. The project was realized on the basis of surface elements (SMD), using the keypad backlit capacitive buttons and a large graphic display. A vibration sensor, developed on the basis of the ADXL001, is characterized by similar parameters to those of transmitters available on the market. The communication protocol (SPI) between the microcontroller and the sensor - after using a suitable converter - allows you to use other types of sensors that can be adjusted through the access to calibration parameters of the vibrometer. The basic data for the design elements of the device are described. A comparison of a prototype measurement system with a commercial measuring system Spider 8 is presented. Preliminary studies were carried out using a vibration exciter, further measurements were made for the acceleration of a body single-piston compressor. The experiments were conducted in a room designed for the operation of the compressor, under real conditions.

Keywords: vibrometer, a microprocessor, measurements, vibration.

1. Wstęp

Drgania mają bardzo negatywny wpływ na działanie maszyn i urządzeń, a także pracujących przy nich ludzi [1-5]. Aktualnie

przy bardzo zaawansowanych liniach technologicznych wyposażonych w skomplikowane sterowanie wrażliwe na działanie wibracji, niezwykle istotnym czynnikiem jest pomiar i monitorowanie wielkości mających wpływ na funkcjonalność maszyn [7]. Zwykle drgania obserwowane są w dziedzinie czasu lub w dziedzinie częstotliwości. Opisy drgań w dziedzinie czasu i częstotliwości są powiązane matematycznie transformacją Fouriera [6]. Do pomiaru przyspieszeń drgań wybranego punktu badanego obiektu, stosuje się wiele różnych typów przetworników, które dobiera się według określonych zasad. Systemy pomiarowe drgań używa się obecnie do różnych zastosowań np. od badania stanu maszyn – wykrywania symptomów uszkodzenia, określenia warunków pracy, jak i oddziaływania urządzeń na otoczenie, w którym funkcjonują. W szczególności należy tutaj wymienić urządzenia, których charakter pracy jest udarowy, co w efekcie powoduje drgania korpusów oraz ich przeniesienie na fundamenty i podłoże. Często błędy w procesach produkcyjnych wynikają z pojawiających się ciągle lub okresowo drgań urządzeń. Jednym z podstawowych rozwiązań jest prowadzenie monitoringu maszyn [8]. Szeroko rozpowszechnione są dwie metody pomiaru: okresowa i ciągła. Okresowy pomiar drgań jest w pewnym sensie problematyczny ze względu na konieczność uwzględniania w obliczeniach odstępów czasu pomiędzy wykonanymi pomiarami oraz konieczność dokładnego ustawienia punktu pomiarowego (montażu czujnika). Rozwiązaniem pozbawionym tych wad jest ciągle dokonywanie pomiarów umożliwiające dodatkowo integrację systemu pomiarowego z systemem sterowania urządzenia, stanowiska pracy czy hali produkcyjnej. Metoda ta pozwala na monitorowanie stanu maszyn, ich pracy i oddziaływania na stanowisko pracy. Obecnie na rynku jest dostępnych szereg urządzeń specjalizowanych dedykowanych do okresowego lub ciągłego pomiaru stanu maszyn, posiadających różne możliwości analizy danych. Zadanie jakie zostało postawione przed autorami poniższego artykułu, dotyczyło opracowania rozproszonego systemu zbierania danych pochodzących z czujników drgań.

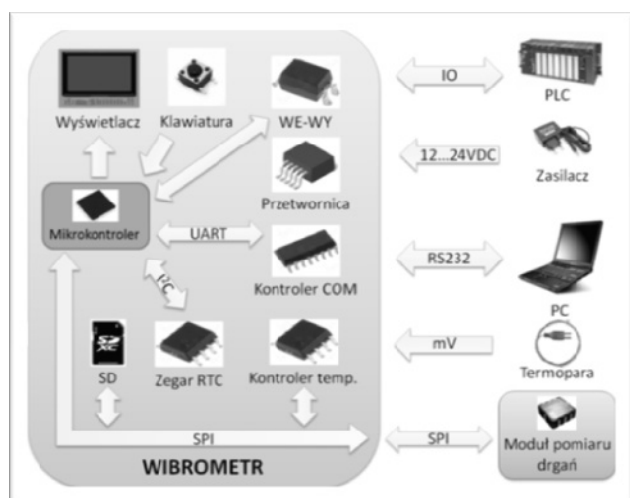
2. Założenia systemu oraz projekt

Wg normy ISO 10816 przy pomiarze drgań mogą być stosowane niższe wymienione wielkości:

- przemieszczenie drgań, mierzone w mikrometrach,
- prędkość drgań; mierzona w milimetrach na sekundę,
- przyspieszenie drgań mierzone w metrach na sekundę do kwadratu.

Zalecane jest, aby pomiary były przeprowadzane na obudowie łożysk i ich podpór lub innych elementach konstrukcyjnych przenoszących siły dynamiczne i charakteryzujących stan drganiowy maszyny [9].

Po przeanalizowaniu rozwiązań rynkowych i wymogów normy przystąpiono do realizacji projektu i konstrukcji wibrometru według własnej koncepcji. Realizacja zadania miała na celu wskazanie możliwości skonstruowania i wykonania urządzenia spełniającego podstawowe cechy diagnostyki drgań przy minimalizacji kosztów, umożliwiające jego powszechne stosowanie w celu zbierania informacji o stanie maszyn jak i w celu wykrywania szkodliwej ekspozycji człowieka na drgania mechaniczne. Najistotniejszym zadaniem opracowanego urządzenia jest możliwość pomiaru, analizy a także rejestracji drgań, najwięcej uwagi poświęcono sensorowi pomiarowemu drgań oraz toru transmisyjnego danych do mikrokontrolera. Ze względu na zalety pomiaru przyspieszenia właśnie ten parametr przyjęto jako pomiarowy. Zgodnie z założeniami opracowano możliwość wyświetlania pomiarów w formie wykresu oraz opcję transmisji do komputera *PC* lub innego urządzenia (np. *PLC*). Mimo, iż pomiar temperatury nie należał do zakresu funkcjonalności przyrządu, ze względu na dużą wagę tego parametru w kontekście inspekcji stanu maszyn zdecydowano się na wyposażenie wibrometru właśnie w możliwość pomiaru, rejestracji oraz transferu danych o wartościach temperatury odczytanej z termopary typu *K*. Urządzenie posiada także wbudowany zegar czasu rzeczywistego. Jako interfejs użytkownika użyto graficzny wyświetlacz ciekłokrystaliczny oraz klawiaturę dotykową (działającą w oparciu o pomiar pojemności sensorów dotyku). Obrazowy schemat blokowy przedstawiono na rys. 1, a widok 3D projektu elektroniki płyty głównej obrazuje rys. 2.



Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia
Fig. 1. Block diagram of the device

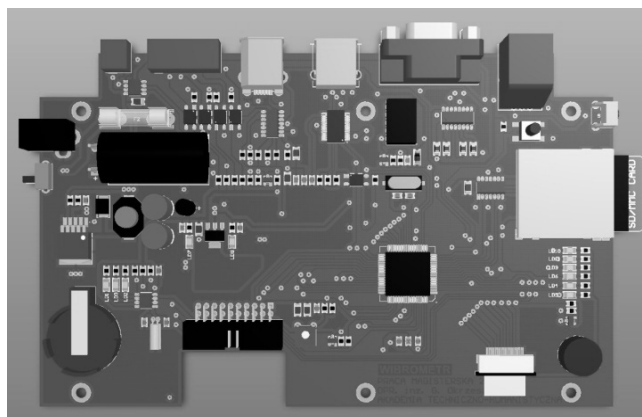
Wibrometr składa się z płyty głównej, stanowiącej nadrzędny zespół urządzenia.

Za pomocą złączy podłączone są pozostałe komponenty: wyświetlacz graficzny, klawiatura dotykowa, karta pamięci *SD*, programator *ISP* do programowania pamięci *FLASH* mikrokontrolera, komputer *PC* lub sterownik *PLC* (poprzez złącze *DB9* lub *USB* typ *A*), sensor drgań, sterownik *PLC*, termopara, zasilacz.

Na płycie głównej znajdują się następujące układy peryferyjne komunikujące się z mikrokontrolerem:

- dwa kontrolery transmisji szeregowej (*COM* i *USB*),
- kontroler pomiaru temperatury za pomocą termopary (komunikacja z mikrokontrolerem za pomocą interfejsu *SPI*),

- zegar czasu rzeczywistego (komunikacja z *uP* przez *I2C*),
- karta pamięci *SD*.



Rys. 2. Projektu układu elektroniki płyty głównej wibrometru
Fig. 2. Design of the Vibrometer mainboard electronics system

3. Sensor

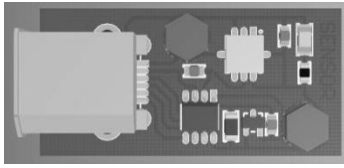
Zastosowany czujnik drgań oparty jest o scalony układ elektroniczny firmy *Analog Devices* – *ADXL001*. Jest to jednoosiowy sensor przyspieszenia. Wybrane parametry układu zebrano w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry układu ADXL001 [10]
Tab. 1. Parameters of the ADXL001 system [10]

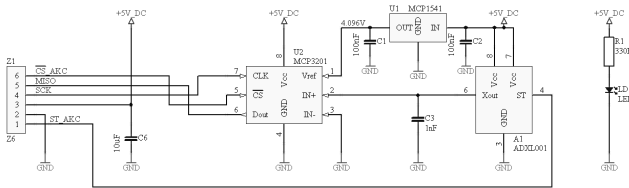
Parametr	Wartość	Jednostka
Napięcie zasilające	3,3 lub 5	V
Zakres pomiarowy	-70...+70	g
Czułość	16 (3,3 V)/24,2 (5 V)	mV
Przenoszona częstotliwość	0...22	kHz

Układ cechuje się bardzo szerokim zakresem przenoszonych częstotliwości (do 22 kHz), jak i wartości pomiarowych przyspieszenia. Jest to czujnik analogowy, w którym zmiana przyspieszenia powoduje zmianę pojemności. Układ posiada wewnętrzne przetworniki dzięki czemu sygnałem wyjściowym układu jest analogowy sygnał napięciowy. Gdy układ zasilany jest napięciem 5 V (tak jak ma to miejsce w wibrometrze), w przypadku braku zmiany przyspieszenia na wyjściu *Xout* występuje napięcie równe połowie napięcia zasilającego, czyli 2,5 V.

Zmiana wartości przyspieszenia o 1 g powoduje wzrost lub spadek (w zależności od kierunku) napięcia na wyjściu analogowym o 24,2 mV, zatem pomiar przyspieszenia polega na bezpośrednim mierzeniu wartości napięcia wyjściowego układu. *ADXL001* posiada dodatkowo cyfrowe wejście *ST*, będące wejściem testowym. Podanie aktywnego stanu na to wejście powoduje aktywowanie potencjału powodującego przemieszczenie wewnętrznej struktury czujnika w skrajne położenie i zmianę wartości napięcia wyjścia analogowego na maksymalną. Wejście testowe umożliwia sprawdzenie poprawności działania sensora oraz układu pomiarowego. Czujnik umieszczony jest na badanym obiekcie i połączony jest z wibrometrem za pomocą przewodu. Pomiar badanego napięcia za pomocą wejścia analogowego mikrokontrolera nie byłby dobrym rozwiązaniem ze względu na możliwość występowania dużych zakłóceń w przypadku mierzenia zmian napięcia rzędu mV. Z tego powodu zdecydowano się na zaopatrzenie czujnika przyspieszenia w dodatkowe układy tworząc w ten sposób moduł pomiarowy. Schemat zobrazowano na rys. 4 a model 3D układu elektroniki na rys. 3.



Rys. 3. Projekt układu elektroniki sensora przyspieszeń
Fig. 3. Design of the acceleration sensor electronics system



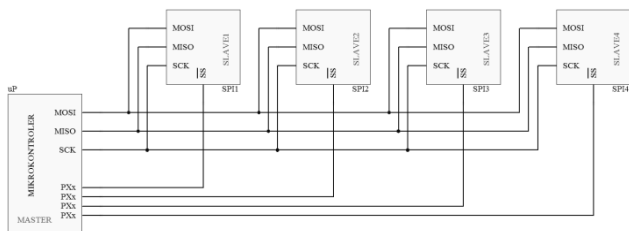
Rys. 4. Schemat modułu pomiaru drgań
Fig. 4. Diagram of the vibration measurement module

Napięcie z wyjścia analogowego czujnika przyspieszenia *ADXL001* podawane jest na wejście 12 bitowego przetwornika analogowo – cyfrowego *MCP3201*. Jako źródło napięcia odniesienia zastosowano układ *MCP1541* o wartości 4,096 V. Wartość ta nie jest przypadkowa. Przetwornik konwertuje mierzone napięcie na 12-bitowe słowo, co przedstawiono we wzorze (1):

$$12 \text{ bitowy kod cyfrowy} = \frac{2^{12} \cdot V_{in}}{V_{ref}} = \frac{4096 \cdot V_{in}}{V_{rev}} \quad (1)$$

Zatem zastosowanie źródła napięcia odniesienia (V_{ref}) o wartości 4,096V znakomicie upraszcza obliczenia, a odczytany 12-bitowy kod cyfrowy zawiera cyfrowo zapisane dane o wartości mierzonego napięcia analogowego z dokładności do 1 mV.

Komunikacja pomiędzy mikrokontrolerem a przetwornikiem A/D odbywa się za pomocą interfejsu *SPI*. Dane przez interfejs przesyłane są w trybie *full-duplex*, to znaczy, że jednocześnie można nadawać i odbierać dane. Jest to interfejs synchroniczny, czyli przesył kolejnych bitów synchronizowany jest sygnałem zegarowym. W przypadku wymiany komunikatów z kilkoma urządzeniami (rys. 5) *slave*, każde musi posiadać własną linię *SS (ang. Slave Select)*. Całą transmisję kontroluje urządzenie Master, jest ono także odpowiedzialne za generację zegara synchronizującego transmisję. Ponieważ sygnał *SCK (ang. Serial Clock)* jest generowany tylko w sytuacji, w której master coś nadaje, wynika z tego, że w celu odbioru danych z urządzenia *slave*, stacja Master jednocześnie musi coś nadawać.



Rys. 5. Schemat podłączenia kilku urządzeń do magistrali SPI
Fig. 5. Diagram of connecting several devices to the SPI bus

Aby urządzenie było bardziej przyjazne w obsłudze zastosowano klawiaturę pojemnościową. Zasady funkcjonowania klawiatury jest bardzo ciekawa. Cały układ klawiatury obsługiwany jest przez *AT42QT1060*, element ten ładuje czujnik (płytkę stanowiącą okładzinę kondensatora) o nieznaną pojemności do znanego potencjału, następnie zgromadzony ładunek jest mierzony. Zbliżenie palca do elektrody powoduje zmianę pojemności czujnika, co zmienia gromadzony w nim ładunek i umożliwia wykrycie „wci-

nięcia” przycisku”. Wibrometr został wyposażony w duży wyświetlacz, łącze kart SD, RS-232, USB oraz łącze do zmiany firmware.

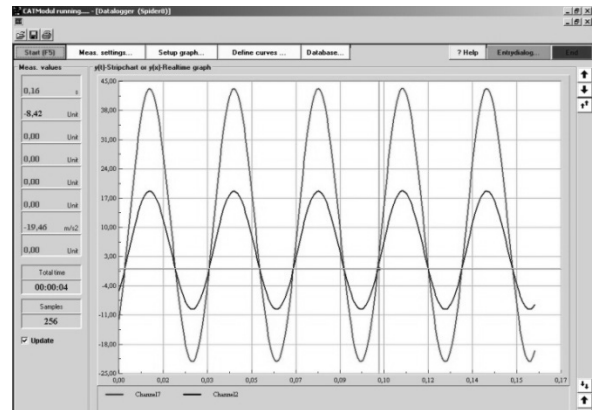


Rys. 6. Wibrometr wersja 1.0
Fig. 6. Vibrometer version 1.0

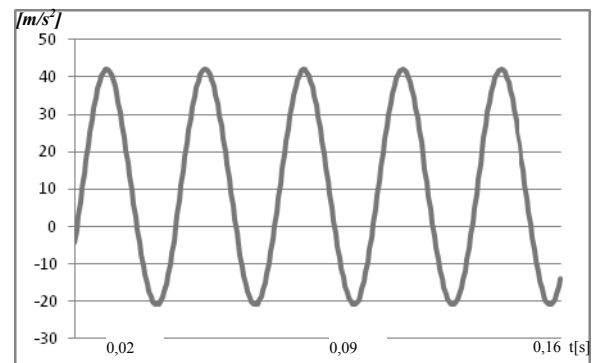
4. Wyniki testów

Wykonane urządzenie przetestowano i porównano wyniki badań z urządzeniem Hottinger Baldwin Messtechnik, Bedienungsleitung PC Meßelektronik Spider 8. Na wzbudniku drgań zamontowano dwa sensory – moduł pomiarowy wibrometru oraz indukcyjny czujnik drgań *B12/200 HBM* (sprzężony ze Spider 8). Pierwsze testy dotyczyły wymuszenia sinusoidalnego.

Wykonany zapis pomiaru dla urządzenia *Spider 8* skonfrontowano z pomiarami z wibrometru.



Rys. 7. Przebieg drgań (parametr pomiarowy – przyspieszenie) otrzymany z urządzenia pomiarowego Spider 8. Channel7 – $a(t)$, m/s^2 ; Channel2 – $V(t)$, mV
Fig. 7. Vibrations (measurement parameter - acceleration) obtained from the measuring device Spider 8 Channel 7 - $a(t)$, m/s^2 ; Channel2 - $V(t)$, mV

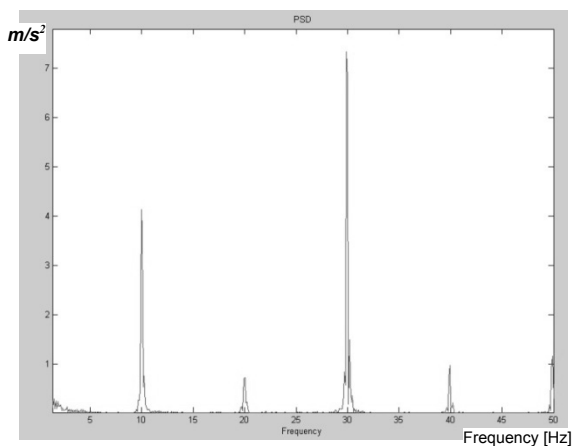


Rys. 8. Drgania zarejestrowane przez wibrometr
Fig. 8. Vibrations recorded by the vibrometer

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, iż urządzenie cechuje się parametrami zbliżonymi do urządzeń komercyjnych. Wartości minimalnego i maksymalnego zmierzonego przyspieszenia zanotowanego na obu przyrządach różniły się jedynie o $2,4 \text{ m/s}^2$.

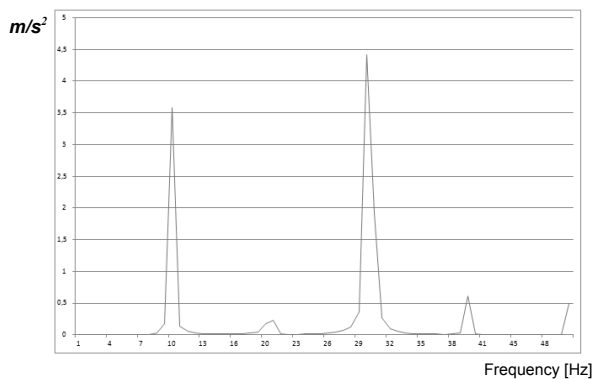
Przebieg jest niesymetryczny względem osi X, ponieważ badany obiekt poruszał się zgodnie z kierunkiem oddziaływania przyspieszenia ziemskiego. Symetryczność wykresu można uzyskać poprzez odjęcie wartości $9,81 \text{ m/s}^2$ dla każdej z próbek.

Kolejne pomiary wykonano dla wymuszenia z generatora fali prostokątnej. Przeprowadzona analiza Fouriera wykazuje zbieżność dla obydwu urządzeń.



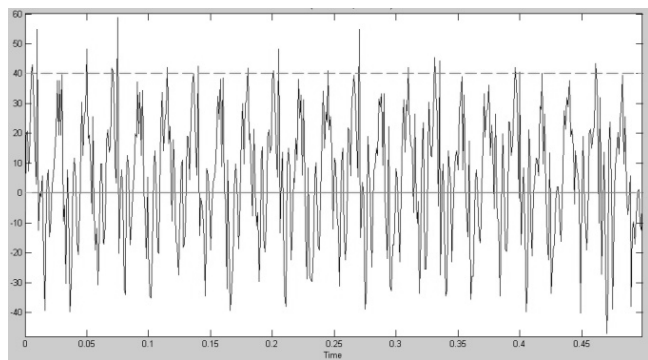
Rys. 9. Przebieg wartości skutecznych przyspieszeń zarejestrowany przez wibrometr

Fig. 9. Frequency diagram of the effective acceleration recorded by the vibrometer



Rys. 10. Przebieg wartości skutecznych przyspieszeń zarejestrowany przez Spider 8

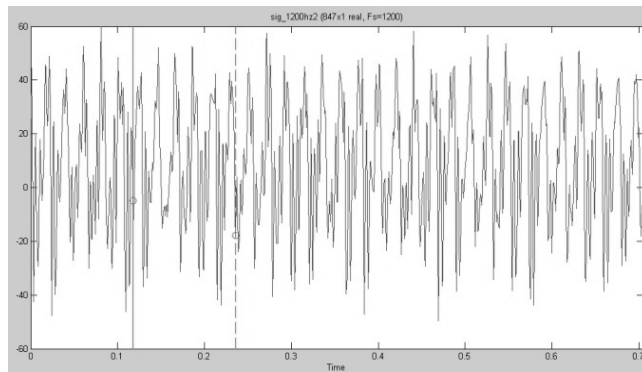
Fig. 10. Frequency diagram of effective acceleration recorded by the Spider 8



Rys. 11. Przebieg drgań (parametr pomiarowy – przyspieszenie) rejestrowany przez wibrometr. Oś X, m/s^2 ; Oś Y – Czas, s

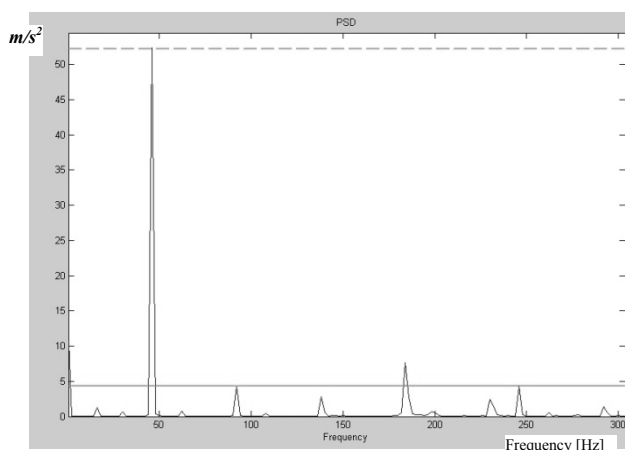
Fig. 11. Vibrations (measurement parameter - acceleration) recorded by the vibrometer. Axis X, m/s^2 ; Axis Y – Time, s

Kolejne pomiary wykonano dla przyspieszeń korpusu sprężarki jednostłokowej przeprowadzone w pomieszczeniu przeznaczonym do pracy sprężarki, w warunkach rzeczywistych. Dane techniczne sprężarki: moc znamionowa $1,2 \text{ kW}$, znamionowe obroty silnika 2850 obr/min , wydajność znamionowa 210 l/min , max ciśnienie powietrza 8 bar .



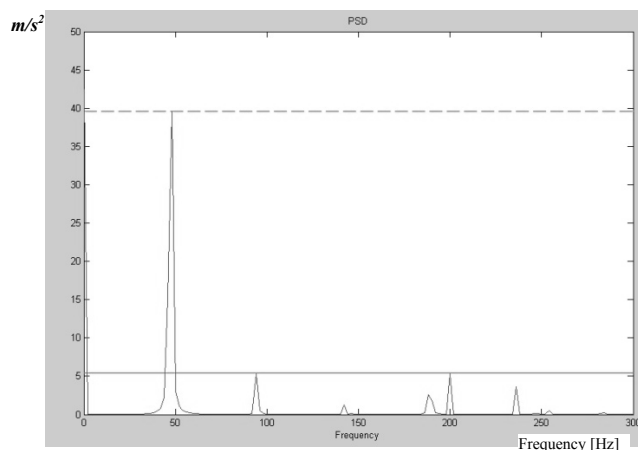
Rys. 12. Przebieg drgań (parametr pomiarowy – przyspieszenie) otrzymany z urządzenia pomiarowego Spider 8. Oś X, m/s^2 ; Oś Y – Czas, s

Fig. 12. Vibrations (measurement parameter - acceleration) recorded by the vibrometer. Axis X, m/s^2 ; Axis Y – Time, s



Rys. 13. Przebieg wartości skutecznych przyspieszeń zarejestrowany przez wibrometr dla pomiaru drgań korpusu sprężarki

Fig. 13. Frequency diagram of the effective acceleration of the compressor recorded by the vibrometer



Rys. 14. Przebieg wartości skutecznych przyspieszeń korpusu sprężarki zarejestrowany przez Spider 8

Fig. 14. Frequency diagram of the effective acceleration of the compressor recorded by the Spider 8

Zmierzona różnica pomiaru pomiędzy urządzeniem Spider 8 a wibrometrem wynosiła:

$$\delta_{RMS_48Hz} = 12,7\%; \delta_{RMS_96Hz} = 37,5\%$$

Zmierzony (zweryfikowany) stały błąd toru pomiarowego w zakresie pracy od -100 m/s^2 do 100 m/s^2 mieści się w przedziale $\pm 3 \text{ m/s}$. Stały szum (błąd) pomiaru dla wibrometu w wyizolowanym środowisku (fundament korkowy) wynosi $0,54 \text{ g}$.

Układ pomiaru temperatury został przetestowany na przenośnym piecu kalibracyjnym Limatherm P-300 w zakresie temperatury od $40 \text{ }^\circ\text{C}$ do $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Jako czujnik pomiarowy zastosowano termoelement typu K klasy B. Wynik pomiaru po wstępnej kalibracji przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Pomiar kalibracyjny układu pomiaru temperatury w $^\circ\text{C}$ oraz błąd bezwzględny pomiaru Δ_x oraz błąd względny δ_x w %

Tab. 2. Calibration measurement of the temperature measuring system in $^\circ\text{C}$ as well as the absolute Δ_x and relative δ_x error of the measurement in %

T _{piec - wzorcowy}	T _{wibrometr}					
	T _{zmierzona}		Δ_x dla		δ_x w % dla	
	min	max	min	max	min	max
40	39,75	41,00	-0,25	1	0,6	2,5
60	59,75	60,50	-0,25	0,5	0,4	0,8
80	79,50	81,25	-0,5	1,25	0,6	1,6
100	100,50	101,250	0,5	1,25	0,5	1,3
120	121,25	122,00	1,25	2	1,0	1,7
140	141,00	142,00	1	2	0,7	1,4
160	161,25	161,75	1,25	1,75	0,8	1,1
180	181,00	181,75	1	1,75	0,6	1,0
200	201,00	202,00	1	2	0,5	1,0

5. Wnioski

Zgodnie z założeniami opracowane urządzenie pozwala w rzetelny i wiarygodny sposób dokonywać pomiarów wibracji maszyn i urządzeń w formie przyspieszeń dla szerokiego zakresu częstotliwości. Niestety przyrząd nie spełnia wszystkich wymogów normy *ISO 10816*, ponieważ z parametrów opisujących ruch drgający, tj. przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia wyznacza tylko ten ostatni. Nie oblicza także parametrów pośrednich, jak np. wartość skuteczną. Stało się tak ze względu na złożoność problemu oraz liczby koniecznych obliczeń, jakie musiałby wykonywać mikrokontroler. Uznano, że ważniejszym zabiegiem jest sam pomiar i rejestracja danych, niż obliczenia, które można dokonać w sposób numeryczny np. za pomocą komputera *PC* i tą drogą wyznaczyć brakujące parametry.

Zaprojektowane i wykonane układy elektroniki cechują się ciekawymi rozwiązaniami. Zastosowanie elementów powierzchniowych (*SMD*), pozwoliło na minimalizację wielkości obwodów drukowanych, dzięki czemu uzyskano małe, kompaktowe gabaryty urządzenia. Opracowana klawiatura pojemnościowa charakteryzuje urządzenie jako innowacyjne nawet wśród rozwiązań komercyjnych, a zastosowane podświetlenie przycisków w postaci diod LED pozwoliło uzyskać interaktywne menu użytkownika. Duży i czytelny wyświetlacz graficzny zapewnia wyświetlanie uzyskiwanych pomiarów w czasie, czym charakteryzują się tylko najdroższe przyrządy komercyjne. Opracowany od podstaw sensor drgań charakteryzuje się zbliżonymi parametrami do przetworników rynkowych. Zastosowany protokół komunikacyjny (*SPI*) między mikrokontrolerem a sensorem, po zastosowaniu odpowiedniego konwertera, umożliwia wykorzystanie innych rodzajów przetworników, które można wycechować poprzez dostęp do parametrów kalibracyjnych wibrometru.

Sposób archiwizacji danych w postaci komunikacji zgodnej ze standardem *RS232* daje możliwość transferu danych zarówno do komputera *PC*, jak i urządzeń przemysłowych, np. sterowników *PLC*. Dzięki zastosowaniu wejść – wyjść logicznych możliwe jest również zdalne zarządzanie przyrządem, przez co można uzyskać rejestrację drgań maszyn w wybranych chwilach czasu. Z kolei możliwość zapisu mierzonych wielkości przyspieszeń na kartę pamięci *SD* umożliwia dokonanie pomiarów bez konieczności stosowania dodatkowych urządzeń, a zarejestrowane dane mogą być analizowane w późniejszym czasie.

Należy również wspomnieć o dodatkowej funkcji urządzenia, tj. pomiar temperatury wybranych elementów maszyn, który jest istotnym parametrem opisującym stan techniczny urządzeń, z tego powodu zdecydowano się na dołożenie funkcji pomiaru i rejestracji temperatury. Użytkownik jest w stanie za pomocą jednego przyrządu dokonać bardzo dokładnej inspekcji badanego urządzenia, poprzez pomiar drgań w wybranych punktach (opisanych w normie) oraz badanie temperatury strategicznych elementów urządzenia. Zastosowanie programowego, ustawianego przez operatora kroku próbkowania odczytu pomiaru temperatury umożliwia uzyskanie długoterminowej charakterystyki, a możliwość ustawienia zdarzeń daje szansę zdiagnozowania nieprawidłowości pracy badanego urządzenia bez konieczności stosowania dodatkowych przyrządów.

W tym miejscu należy dodać, że urządzenie w obecnej formie posiada minimum funkcji przydatnych w diagnostyce maszyn. W efekcie końcowym jest to urządzenie pomiarowe zbierające dane dla systemów analizy tych informacji, jednak budowa modułowa, możliwość łączenia wielu urządzeń, lub możliwość stałego zabudowywania układu pomiarowego w maszynach ukazuje, że współczesne rozwiązania elektroniki pozwalają na zwiększenie bezpieczeństwa jak i komfortu pracy poprzez stały monitoring maszyn.

6. Literatura

- [1] EN ISO 5349-1:2001 Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration – Part 1: General requirements.
- [2] EN ISO 5349-2:2001 Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.
- [3] ISO 2361-1:1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole – body vibration. Part 1: General requirements.
- [4] Pr. EN 14253:2002 Mechanical vibration – Measurement and calculation of occupational exposure to whole – body vibration with reference to health – Practical guidance.
- [5] Koton J.: Ocena zawodowej ekspozycji na drgania mechaniczne w Polsce i w krajach Unii Europejskiej. *Bezpieczeństwo Pracy*, vol. 6, s. 021-024, 2003.
- [6] Praca zbiorowa pod redakcją Sylwestra Kaliskiego: *Drgania i fale w ciałach stałych*, PWN Warszawa 1966.
- [7] Mirola K., Tomaszewski J., Rysiński J.: *Diagnostics of Scoring In Gears. Solid State Phenomena*, vol. 144, s. 118-123, 2009.
- [8] Kwiecień A., Rysiński J., Sidzina M.: Application of distributed system in control and diagnostic toothed gears. *Communications in Compute and Information Science*, Springer-Verlag, vol. 39, 2009.
- [9] ISO 10816-1:1995 Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts -- Part 1: General guidelines.
- [10] Analog Devices, High Performance, Wide Bandwidth Accelerometer ADXL001, Rev A. 12 08 2012.

otrzymano / received: 04.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.07.2014

artykuł recenzowany / revised paper