MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
1-M/2011
ZESZYT 2
ROK 108
ISSUE 2
YEAR 108

MICHAŁ PRĄCIK*

ZASTOSOWANIE MODUŁU GMA3A W UKŁADACH BEZPRZEWODOWEGO POMIARU PRZYSPIESZEŃ DRGAŃ

APPLICATION OF GMA3A MODULE IN WIRELESS SYSTEMS FOR VIBRATION ACCELERATION MEASUREMENTS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych modułu bezprzewodowego joysticka MOBOT AJOY (GMA3A), produkcji poznańskiej firmy WOBIT, zawierającego w swojej strukturze trójosiowy akcelerometr. Celem badań było określenie zakresu możliwości wykorzystania modułu do pomiarów przyspieszeń drgań. Analizowano wpływ warunków przeprowadzania pomiarów drgań na jakość uzyskiwanych rezultatów i ograniczenia, jakie są związane z transmisją radiową sygnału pomiarowego oraz wynikające z oprogramowania dedykowanego modułowi.

Słowa kluczowe: *bezprzewodowy pomiar przyspieszeń drgań*

Abstract

Some results of experiments carried out on a module of MOBOT AJOY (GMA3A) joystick, including in its structure three-dimensional accelerometer are presented in the paper. The aim of investigations was determination of application range of the tested module for vibration acceleration measurements. There was analysed influence of measurement conditions on quality of results and limitations which were connected with wireless signal transmission and resulting from software dedicated to the module.

Keywords: *wireless measurements, vibration acceleration*

* Dr inż. Michał Prącik, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Oznaczenia

y_i – wartość wielkości zmierzonej w *i*-tym punkcie pomiarowym
f_i – wartość funkcji aproksymującej wyniki pomiarów w *i*-tym punkcie pomiaru
k – współczynnik korelacji
g – przyspieszenie ziemskie

1. Wstęp

Pomiar bezprzewodowy różnych wielkości fizycznych, szczególnie w zastosowaniach przemysłowych, staje się dominującą tendencją w monitorowaniu i diagnostyce maszyn. Znacząca liczba znanych producentów aparatury pomiarowej oferuje elementy i zestawy realizujące zadania metrologiczne w zakresie bezprzewodowego miernictwa dynamicznego [3, 5, 10]. Eliminacja połączeń przewodowych w torach pomiarowych przyczynia się do redukcji kosztów instalacji, skraca czas wdrażania systemu, poszerza zakres zastosowań.

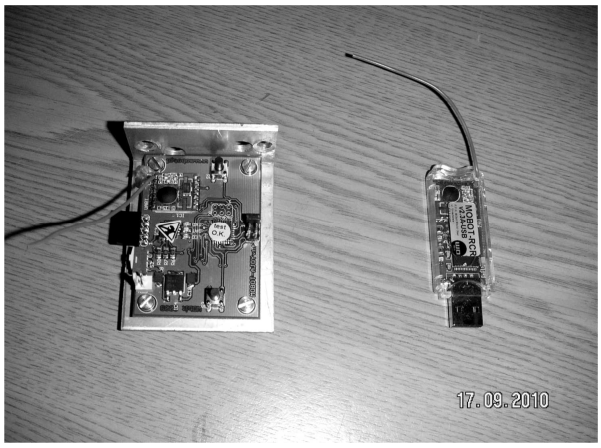
Czynnikiem decydującym o ograniczonym zastosowaniu w systemie pomiarowym komunikacji radiowej jest występowanie w danym obszarze silnych zakłóceń elektromagnetycznych albo obiektów ekranujących. Często jednak przy dokonywaniu wyboru pomiędzy pomiarem bezprzewodowym a tradycyjnym podnoszony jest problem całkowitych kosztów toru pomiarowego, zwłaszcza wielokanałowego. Rzeczywiście przy wysokich wymaganiach dotyczących separacji poszczególnych kanałów i równocześnie żądaniu zajęcia możliwie wąskiego dostępnego pasma częstotliwości przesyłu, przy zadanych pasmach częstotliwości pomiarowych czujników, zagadnienia ekonomiczne są ważkie. W wielu zastosowaniach przemysłowych [4] możliwe jest jednak rozwiązanie kompromisowe [5, 10] – znalezienie optimum uwzględniającego jakość i ekonomię. Niekonwencjonalne wykorzystanie środków i elementów przeznaczonych w zasadzie do innych celów niż metrologiczne, ale opierających się na czujnikach pomiarowych, stanowi właśnie przykład takiego rozwiązania. Dobrym, obrazowym przykładem jest postęp w konstrukcji i zastosowaniach tanich akcelerometrów scalonych [2], które wywodzą się z prostych czujników przyspieszeń stosowanych w układach „wyzwalania" poduszek powietrznych w pojazdach samochodowych.

2. Przedmiot, cel i zakres badań

W aspekcie wyżej przedstawionych problemów doboru czujników pomiarowych bezprzewodowych [6, 7] do niskonakładowej realizacji zadań w diagnostyce maszyn [1], wybrany został jako przedmiot badań doświadczalnych wirtualny joystick MOBOT-AJOY, produkowany przez firmę WOBIT z Poznania [8].

Moduł joysticka oznaczony GMA3A zawiera w swojej strukturze trójosiowy akcelerometr MMA 7260, mikrokontroler ATmega8 oraz moduł radiowy. Z modułem tym wymienia dane moduł MOBOT – CRC-USBv2, dołączany do portu USB, komputera klasy PC. Dwa moduły tworzące komplet współpracujący w paśmie częstotliwości radiowych 868 do 868,8 MHz, na dostępnych do komunikacji dziesięciu kanałach przedstawiono na rys. 1.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 1. Przedmiot badań doświadczalnych: po lewej moduł joysticka GMA3A, po prawej moduł radiowy CRC – USB v2

Fig. 1. Subject of experimental tests: on the left – joystick module GMA3A, on the right – RF module CRC – USB v2

Podstawowym celem zaplanowanych badań było określenie przydatności modułu bezprzewodowego joysticka GMA3A do pomiarów przyspieszeń drgań w układach mechanicznych.

Zakres przeprowadzonych testów i analiz obejmował:

– określenie jakości transmitowanego sygnału pomiarowego (dynamiki, rozdzielczości, kształtu, przesunięcia fazowego),
– ustalenie rzeczywistych ograniczeń częstotliwościowych – odnoszących się do częstotliwości mierzonych drgań,
– ustalenie ograniczeń zasięgu komunikacji oraz wpływu anten, otoczenia, warunków zabudowy – ewentualnego ekranowania,
– określenie wpływu sprzętu: interfejsu – USB 1.1 czy USB 2.0, procesora, karty grafiki,
– poznanie ograniczeń oprogramowania,
– zbadanie możliwości modyfikacji sprzętu i oprogramowania – zmiana zakresów i czułości samego akcelerometru

Podczas realizacji wymienionych celów i zakresu badań doświadczalnych dysponowano trzema takimi samymi kompletami modułów, co umożliwiało wyciąganie wiarygodnych wniosków.

3. Stanowisko i procedury badań

Stanowisko badań doświadczalnych przedstawiono na rys. 2, a szczegóły mocowania akcelerometru do rdzenia wzbudnika elektrodynamicznego – rys. 3. Wzbudnik był sterowany napięciowym sygnałem harmonicznym albo prostokątnym, podawanym z generatora arbitralnego, podlegającym wzmocnieniu we wzmacniaczu mocy typu PA-138. Sygnał pomiarowy przemieszczeń drgań rdzenia wzbudnika był mierzony za pomocą laserowego czujnika przemieszczeń typu NCDT LD1605 – 20. Rejestracji cyfrowej do-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

konywano, wykorzystując kartę przetwornika A/C typu NI-USB 6009 oraz komputer pomiarowy ARISTO Vega FX.



Rys. 2. Widok całego stanowiska wymuszania drgań modułu GMA3A zawierającego akcelerometr

Fig. 2. View of the whole stand for vibration excitation of GMA3A module



Rys. 3. Moduł GMA3A zamocowany na rdzeniu wzbudnika elektrodynamicznego oraz głowica laserowa do pomiarów referencyjnych, przemieszczeń drgań, umieszczona na statywie

Fig. 3. GMA3A module assembled to the core of electro-dynamic exciter and a laser head for the reference measurements of vibration displacement, that is situated on the tripod

Podstawowe dane techniczne podawane przez producenta badanych modułów – firmę WOBIT z Poznania to:

dla modułu GMA3A

– układ akcelerometru	MMA7260
– mikrokontroler	ATmega8
– pasmo komunikacji	868 MHz
– napięcie zasilania	3.7–9 V
– pobór prądu	30 mA
– zakres czujnika przyspieszenia	±1,5 · g
– czułość czujnika przyspieszenia	800 mV/g
– wymiary modułu	65 · 45 mm
– zasięg max	100 m

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Współpraca z modułami MOBOT-RCR-USB-V2 oraz MOBOT-RCR-V2

dla modułu MOBOT-RCR-USBv2 (A) [9]**:**

– zasilanie: z USB,
– interfejs wyjściowy: USB (wirtualny port COM, 57600bps, bity danych: 8, 1 bit stop),
– kontrola przepływu: CTS,
– 10 kanałów do wyboru,
– tryb pracy: modem lub radio,
– przepustowość: do 57 000 bps w obu kierunkach,
– diody sygnalizujące nadawanie i odbieranie.

Analiza danych technicznych samego akcelerometru MMA7260QT podawanych przez producenta Freescale Semiconductor pozwoliła ustalić, że istnieje możliwość wyboru zakresu pomiaru przyspieszeń <1,5 · *g*; 2 · *g*; 4 · *g*; 6 · g> i odpowiadającej danej opcji czułości <800 mV/g; 600 mV/g; 300 mV/g; 200 mV/g>. Wybór dokonywany jest przez podanie na piny sterujące układu akcelerometru dwubitowej sekwencji napięć. W module GMA3A oba piny są przyłączone na poziomie LO, zatem zakres pomiarowy czujnika jest ograniczony do ±1,5 · g. Niewielka modyfikacja na PCB pozwala poszerzyć wybór.

Procedura badań obejmowała stopniowaną zmianę częstotliwości sygnału sterującego wzbudnik elektrodynamiczny w zakresie 1–15 Hz, przy utrzymaniu stałego poziomu amplitudy napięcia wymuszającego, podawanego ze wzmacniacza mocy. Dokonywano także zmian komputera pomiarowego – był to komputer ARISTO Vega FX albo porównawczo DELL Vostro 1510. W celu określenia zasięgu zmieniano również odległość w komunikacji między modułami oraz ustawienie czujnika i anten.

Kalibrację toru do bezprzewodowego pomiaru przyspieszeń prowadzono w sposób następujący: generowano na wzbudniku drgania harmoniczne, przy których wartość skuteczna przemieszczeń drgań rdzenia wzbudnika była mierzona czujnikiem laserowym. Następnie obliczono odpowiadającą jej wartość skuteczną przyspieszeń drgań harmonicznych. Tę wartość porównano do wartości skutecznej przyspieszeń drgań zarejestrowanych akcelerometrem znajdującym się na module GMA3A. Procedura ta pozwoliła określić wartość współczynników kalibracji.

Jako miarę jakości rejestrowanego sygnału w komputerze pomiarowym przyjęto wartość współczynnika korelacji przebiegów w dziedzinie czasu, określaną między sygnałem przyspieszenia zarejestrowanym z modułu GMA3A przy komunikacji bezprzewodowej a jego aproksymacją dokonaną z wykorzystaniem przetworzonego sygnału referencyjnego – z głowicy laserowej LD 1605-20.

Współczynnik korelacji obliczano z zależności

$$k = \frac{\sum_{i=0}^{p-1} f_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^{p-1} f_i^2 \sum_{i=0}^{p-1} y_i^2}} \tag{1}$$

4. Wyniki badań doświadczalnych

Na kolejnych rysunkach zaprezentowano wybrane wyniki badań. Zarejestrowane dwoma różnymi komputerami (ARISTO i DELL) wyniki pomiarów przyspieszeń drgań, uka-

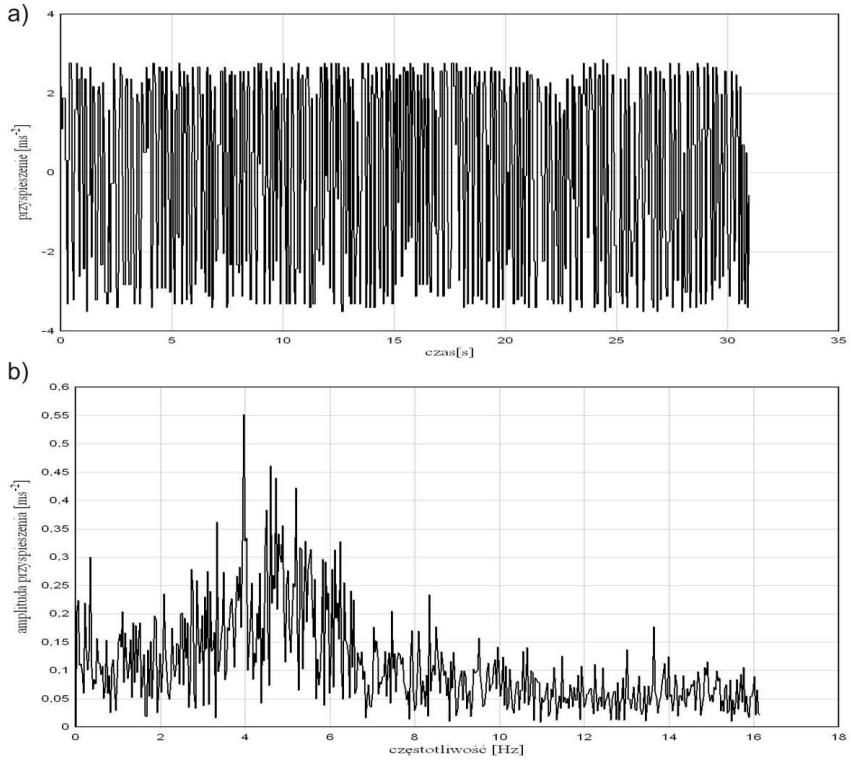
BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

zane w dziedzinach: czasu i częstotliwości (rys. 4–6) pozwalają ocenić wpływ sprzętu na jakość pomiaru, jego dynamikę. Do przetwarzania danych w obu przypadkach wykorzystano ten sam program (DPlot) do estymacji widm FFT.

Obliczony z wykorzystaniem wzoru (1) współczynnik korelacji dla krzywych ukazanych na rys. 7 wynosił około $k = 0{,}96$, ale jego wartość obniżała się do $k = 0{,}84$, przy wydłużaniu przedziału czasu analizy sygnału i jego aproksymacji.

Niekorzystnemu efektowi nierównomiernego zapisu próbek sygnału przyspieszenia, pokazanemu na rys. 8, towarzyszyło zjawisko zrywania ciągłości rejestracji, które przedstawiono na widoku ekranu (rys. 9).

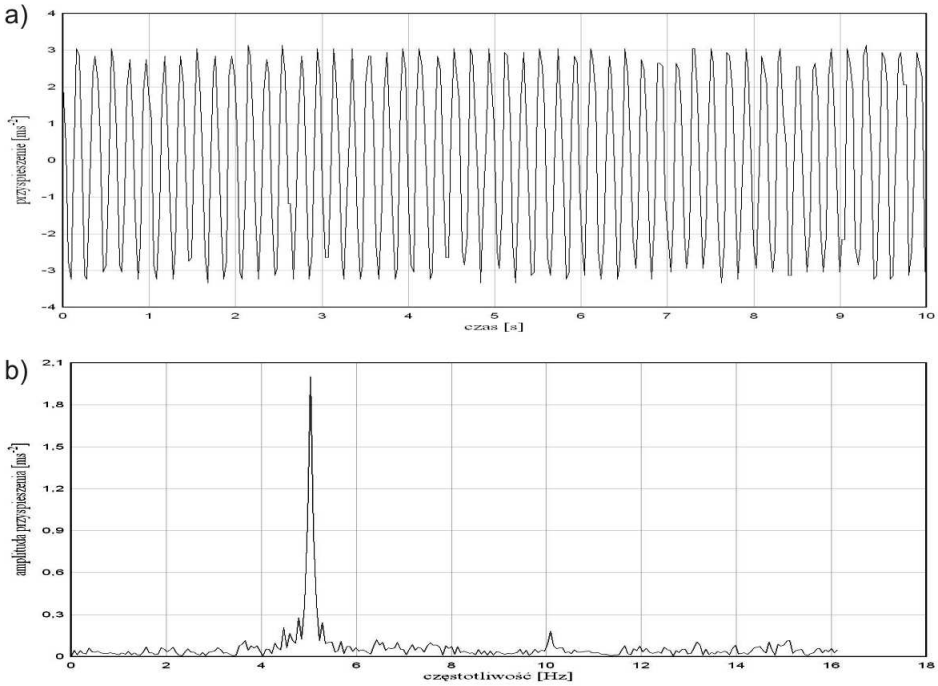
Wyłączenie programowe obsługi zapisu graficznego wyników pomiaru przyspieszeń w programie MOBOT-G-ANALIZER i ograniczenie się tylko do zapisu liczbowego na zbiór danych (rys. 10) pozwoliło poszerzyć zakres rejestrowanych częstotliwości drgań.



Rys. 4a) Przebieg zmian w czasie przyspieszenia drgań zarejestrowany modułem GMA3A, w komputerze pomiarowym ARISTO, przy wymuszeniu harmonicznym o częstotliwości 5 Hz; b) widmo FFT przebiegu z wykresu a)

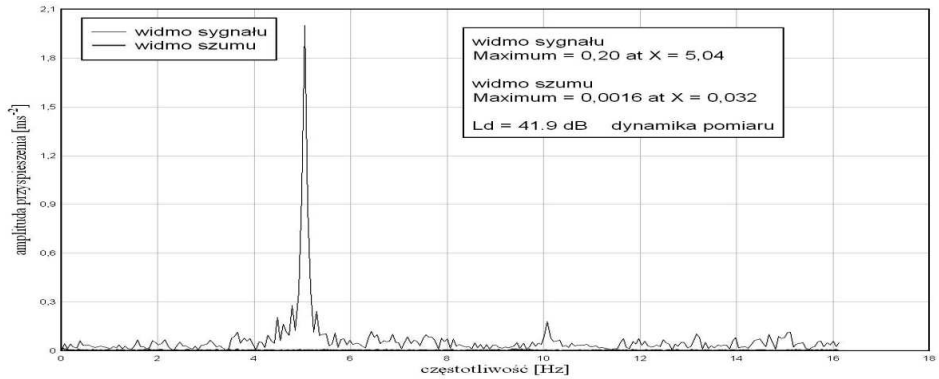
Fig. 4a) Time history of vibration acceleration recorded by GMA3A module on the ARISTO computer at harmonic excitation of 5 Hz frequency; b) FFT spectrum of signal presented in the diagram a)

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 5a) Przebieg zmian w czasie przyspieszenia drgań zarejestrowany modułem GMA3A, w komputerze pomiarowym DELL, przy wymuszeniu harmonicznym o częstotliwości 5 Hz; b) widmo FFT przebiegu z wykresu a)

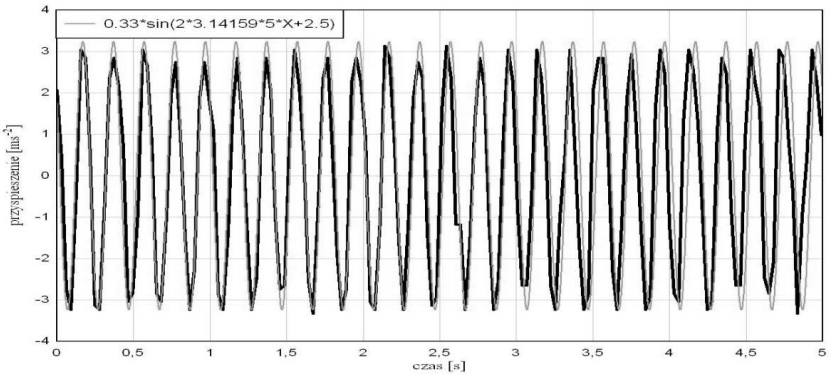
Fig. 5a) Time history of vibration acceleration recorded by GMA3A module on the DELL computer at harmonic excitation of 5 Hz frequency; b) FFT spectrum of signal presented in the diagram a)



Rys. 6. Widma sygnału i szumu przyspieszenia drgań zarejestrowane modułem GMA3A, w komputerze pomiarowym DELL, przy wymuszeniu harmonicznym o częstotliwości 5 Hz

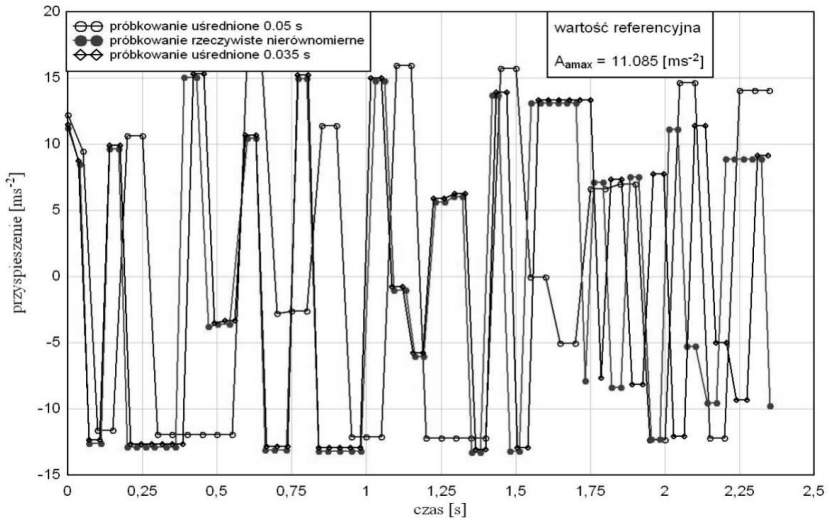
Fig. 6. Spectra of the signal and noise of vibration acceleration recorded by GMA3A module on the DELL computer; at harmonic excitation of 5 Hz frequency

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 7. Sygnał przyspieszenia drgań zarejestrowany modułem GMA3A w komputerze pomiarowym DELL, przy wymuszeniu harmonicznym o częstotliwości 5 Hz oraz jego aproksymacja

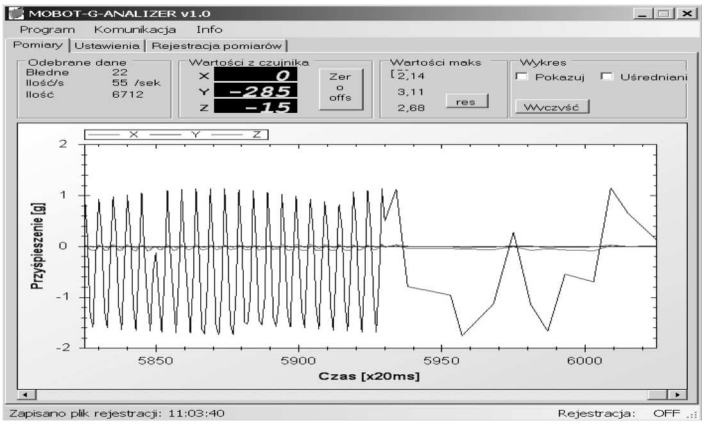
Fig. 7. Signal of vibration acceleration recorded by GMA3A module on the DELL computer; at harmonic excitation of 5 Hz frequency and its approximation



Rys. 8. Efekt nierównomiernego próbkowania, jaki pojawił się przy pomiarze sygnału przyspieszenia drgań modułem GMA3A z wykorzystaniem komputera ARISTO, przy wymuszeniu harmonicznym o częstotliwości 10 Hz

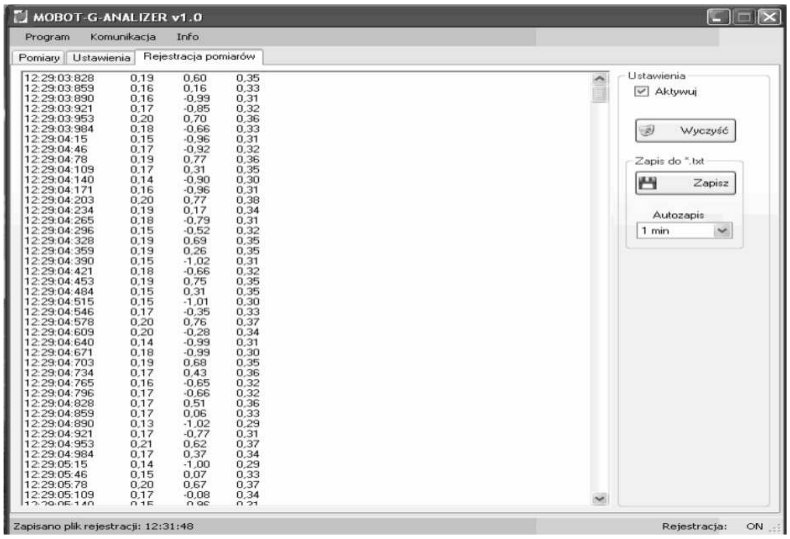
Fig. 8. Non-homogeneous sampling phenomenon which appears during acquisition of vibration acceleration signal recorded by GMA3A module on the ARISTO computer; at harmonic excitation of 10 Hz frequency

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 9. Widok ekranu programu MOBOT-G-ANALIZER z zapisem graficznym wyniku pomiaru sygnału przyspieszenia drgań, dokonywanych modułem GMA3A; zauważalne przerywanie procesu rejestracji przy częstotliwości drgań rzędu 10 Hz

Fig. 9. View of the screen of the MOBOT-G-ANALIZER program shows in graphic form results of vibration acceleration signal measurements carried out with GMA3A module; one can notice breaking of recording process; at about 10 Hz vibration frequency



Rys. 10. Widok ekranu programu MOBOT-G-ANALIZER tylko z zapisem liczbowym wyniku pomiaru sygnału przyspieszenia drgań, dokonywanych modułem GMA3A; wyłączenie obsługi grafiki poszerza zakres rejestrowanych częstotliwości drgań

Fig. 10. View of the screen of the MOBOT-G-ANALIZER program shows only in text form results of vibration acceleration signal measurements carried out with GMA3A module; switching off chart drawing on screen lets increase the range of recorded vibration frequency

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

5. Wnioski

1. Stwierdzono, że rzeczywisty zasięg komunikacji radiowej między testowanymi modułami, w budynku, w którym przeprowadzano testy, wynosił ok. 17 m (przy oryginalnych antenach i nowych bateriach zasilających).
2. Określono zakres częstotliwości transmitowanego sygnału pomiarowego harmonicznego, przy którym jakość rejestrowanego sygnału w komputerze pomiarowym odpowiada wartości założonej miary (współczynnik korelacji w dziedzinie czasu między sygnałem przyspieszenia zarejestrowanym z modułu GMA3A przy komunikacji bezprzewodowej a przetworzonym sygnałem referencyjnym – z głowicy laserowej). Uzyskano następujące wyniki, przy wykorzystaniu dwóch typów komputerów: ARISTO Vega f = od 3 do 8 Hz; DELL Vostro f = od 3 do 12 Hz.
3. Określono wartości poprawek czułości kierunkowej i wrażliwości poprzecznej w stosunku do wartości podanej przez producenta (współczynnik poprawkowy, mnożnik $C_k = 0{,}78$ oraz $d_p = 4{,}5\%$).
4. Zbadano wpływ na uzyskiwane wyniki pomiarowe czynników, takich jak: sposoby aplikacji dedykowanego oprogramowania, stan zasilania modułów, ekranowanie. Okazało się, że wykorzystanie interfejsu USB 2.0 oraz wyłączenie w oprogramowaniu MOBOT-G-ANALIZER v.1.0 obsługi grafiki skutkuje poszerzeniem zakresu częstotliwości rejestrowanych czujnikiem przyspieszeń.
5. Analizowano i rozwiązano w praktyce problem kalibracji badanych modułów w zakresie niskich częstotliwości $f < 20$ Hz. Oprócz kalibracji z wykorzystaniem przyspieszenia ziemskiego g, kalibracja metodą pośrednią z zastosowaniem pomiarów referencyjnego sygnału dynamicznych przemieszczeń, z użyciem głowicy laserowej LD 1605-20, również zapewnia dobrą dokładność i wiarygodność.

Literatura

[1] Ayars E., *Using XBee Radios for Wireless Acceleration Measurements*, http://phys.csuchico.edu/ayars/xbee, 2009.
[2] Babby S.P., Ensel G., Kraft M., *MEMS Mechanical Sensors*, Artech House Pub., 2004.
[3] *G – Link Wireless Accelerometer Node*, MicroStrain, http://www.microstrain.com/g-link.aspx.
[4] Holger K.,Willig A.,Wolisz A., *Wireless Sensor Networks*, Springer, Berlin 2004.
[5] Jackson R., *Cut the wire, cut the cost*, www.ni.com, 2010.
[6] Labrador M.A., Wightman P.M., *Topology Control in Wireless Sensor Networks*, Springer 2009.
[7] *MICA2DOT Wireless Microsensor Mote*, Crossbow, www.xbow.com.
[8] *MOBOT-AJOY instrukcja obsługi*, WOBIT, Poznań 2009.
[9] *MOBOT-RCR(USB)v2 – instrukcja obsługi*, WOBIT, Poznań 2009.
[10] *Wireless Torque, Rotary Torque and Reaction Torque Sensing at Honeywell Sensotec*, Honeywell Test & Measurement, Wireless 2010.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ