

Andrzej LEBIEDZKI

CZTEROKANAŁOWY AKCELEROMETR DO BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH ŁOŻYSK TOCZNYCH WENTYLATORÓW KOPALNIANYCH

Streszczenie. W artykule opisano układ pomiarowy czterokanałowego akcelerometru do badań diagnostycznych łożysk tocznych dwóch wentylatorów głównego przewietrzania kopalni. Umieszczenie na stałe piezoelektrycznych przetworników drgań na obudowach łożysk tocznych wentylatora w połączeniu z czterokanałowym akcelerometrem pozwala na bieżącą kontrolę wibroakustyczną łożysk.

FOUR-CHANNELS ACCELEROMETER FOR MINE DIAGNOSTIC TESTING OF EXHAUSTERS ROLLING BEARINGS

Summary. In the paper, measurement system of four-channels accelerometer for mine diagnostic testing of two exhausters rolling bearings in the main ventilation system is described. On the casing of the exhauster rolling bearings piezoelectric vibration converter is mounted; which, together with four channels accelerometer, makes possible current vibroacoustic control of the bearings.

ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЙ АКЦЕЛЕРОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГОРНЫХ ЭКСКАУСТЕРОВ.

Резюме. В статье изображено измерительную систему до диагностических испытаний подшипников качения для двух эксгаустеров основной вентиляции шахты. Прикрепление пьезоэлектрических преобразователей колебаний на корпусах подшипников качения эксгаустера в связи четырёхканальным акселерометром позволяет на текущий виброакустический контроль подшипников качения.

1. Wstęp

Łożyska toczne współczesnych maszyn jako precyzyjne elementy konstrukcyjne urządzeń są bardzo wrażliwe na przeciążenia mechaniczne, warunki smarowania i temperaturę pracy. Działanie zwłaszcza sił dynamicznych na łożysko [1] wynikających z niewyważenia dynamicznego dużych mas wirujących

w przypadku wentylatorów głównego przewietrzenia kopalni jest przyczyną przyspieszonego zużycia łożysk, konieczności kosztownych przyspieszonych napraw i przestoju w pracy wentylatora.

Umieszczenie na stałe przetworników drgań na obudowach łożysk wentylatora w połączeniu z kilkukanałowym akcelerometrem pozwala na bieżącą kontrolę wibroakustyczną łożysk i ostrzeganie dozoru technicznego szybu wentylacyjnego o przekroczeniu ustalonych poziomów drgań.

Poniżej opisany został układ czterokanałowego akcelerometru, przeznaczonego do badań diagnostycznych łożysk dwóch wentylatorów szybu wentylacyjnego kopalni napędzanych silnikami synchronicznymi o mocy 1 MW i prędkości obrotowej 500 obrotów na minutę.

Do pomiaru drgań zastosowane zostały przetworniki piezoelektryczne przyspieszeń typu PPWa-22PN, produkcji Przedsiębiorstwa Wdrażania Postępu Naukowo-Technicznego EKCEL w Katowicach. Przetwornik tego typu posiada wbudowany przedwzmacniacz napięciowy, co umożliwia stosowanie kabli pomiarowych o długości do 100 metrów łączących przetwornik z układem pomiarowym przyrządu umieszczonego na stanowisku kontrolno-pomiarowym. Charakterystyka częstotliwościowa przetworników jest płaska w zakresie częstotliwości od 0,5 Hz do 5 kHz, a częstotliwość rezonansowa wynosi około 12 kHz. Stała napięciowa przetwornika z przedwzmacniaczem wynosi około $10^{-2} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2$ i jest podawana przez producenta z dokładnością do $\pm 1\%$ dla każdego egzemplarza.

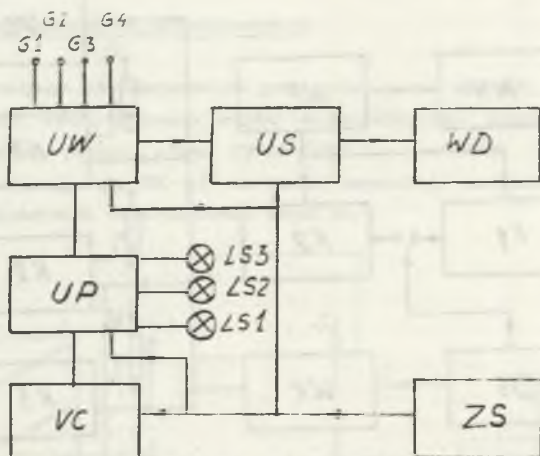
2. Układ pomiarowy akcelerometru

Schemat blokowy akcelerometru przedstawia rys. 1. Sygnały pomiarowe z czterech przetworników zamocowanych na obiektach drgających przesyłane są ekranowanymi kablami do gniazd wejściowych G1 do G4 układu wejściowego UW przyrządu. W akcelerometrze zastosowano cyfrowy układ sterujący US automatycznego przełączania czterech kanałów, pracujący w cyklu zamkniętym, który włącza kolejne kanały od 1 do 4 do układu pomiarowego UP. Czas włączania każdego kanału w cyklu normalnym wynosi 70 sekund, a w cyklu przyspieszonym 4 sekundy. Do zmiany czasu przełączania kanałów z 70 s na 4 s służy przełącznik na płycie czołowej przyrządu (rys. 2). Numer włączonego kanału do układu pomiarowego UP wyświetlany jest na diodowym wyświetlaczu siedmiosegmentowym na stronie lewej płyty czołowej przyrządu. W razie konieczności istnieje możliwość zatrzymania automatycznego przełączania kanałów na wybranym numerze wyświetlanym na wyświetlaczu. W tym celu należy włączyć przełącznik "STOP".

W układzie wejściowym UW zastosowano cztery klucze elektroniczne CMOS do przesyłania zmiennych sygnałów pomiarowych z przetworników do układu pomiarowego, sterowanych układem sterującym US. Rezystancja w stanie

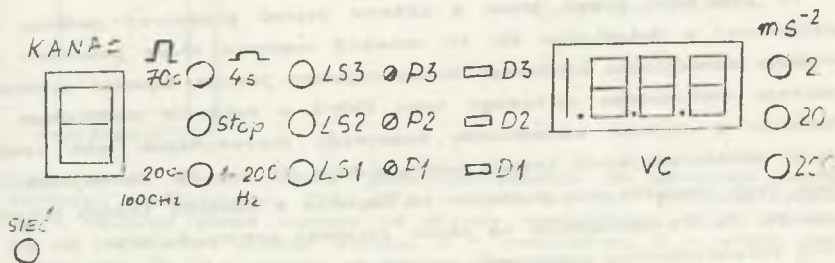
włączonym dla każdego klucza CMOS wynosi $10^9 \Omega$, a w stanie włączonym około 150Ω . Układ wejściowy dostarcza również stabilizowanych prądów o wartości 3 mA do zasilania każdego przetwornika piezoelektrycznego.

Zmienny sygnał pomiarowy z danego przetwornika przez włączony klucz elektroniczny CMOS podawany jest do układu pomiarowego UP, którego schemat blokowy przedstawia rys. 3. W układzie pomiarowym zastosowano na wejściu wtórnik napięciowy WN o rezystancji wejściowej $10^7 \Omega$, a następnie wzmacniacz pomiarowy WP o wzmocnieniach napięciowych $k = 100; 10; 1$ przełączanych przełącznikiem na płycie czołowej przyrządu, odpowiednio dla trzech zakresów pomiaru amplitud przyspieszeń, tj. $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$



Rys.1. Schemat blokowy akcelerometru; UW - układ wejściowy, UP - układ pomiarowy, US - układ sterujący, WD - wyświetlacz diodowy, VC - woltomierz cyfrowy, ZS - zasilacze stabilizowane

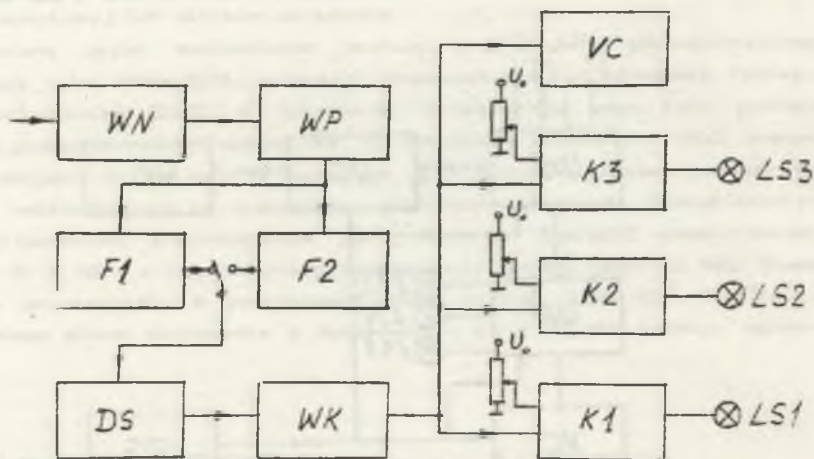
Fig.1. Block accelerometer diagram; UW- entry system, UP - measurement system, US - steering system, WD diode display, VC - digital voltmeter, ZS - stabilized feeder



Rys.2. Płyta czołowa przyrządu

Fig.2. Accelerometer cup plate

Przyrząd został zaprojektowany jako akcelerometr uniwersalny do badania różnych obiektów drgających. Wzmocniony sygnał pomiarowy podawany jest na wejścia dwóch filtrów pasmowych o zakresach częstotliwości 1-200 Hz dla filtru F1 i 200-1000 Hz dla filtru F2. Filtry zostały wykonane z wykorzystaniem wzmacniaczy operacyjnych [2] i posiadają wzmocnienie napięciowe $k_{uf} = 1$. Wyboru rodzaju filtru dokonuje użytkownik przyrządu za pomocą przełącznika na płycie czołowej. Wzmocniony zmienny sygnał napięciowy ze wzmacniacza pomiarowego WP został wyprowadzony również do gniazda wyjściowego przyrządu i może być rejestrowany za pomocą zewnętrznego rejestratora analogowego lub cyfrowego.



Rys.3. Schemat układu pomiarowego UP; WN - wtornik napięciowy, WP - wzmacniacz pomiarowy, DS - detektor szczytowy, WK - wzmacniacz końcowy, K1...K3 - komparatory, P1...P3 - potencjometry

Fig.3. UP measuring system diagram; WN - loaded amplifier, WP - measuring amplifier, DS - peak detector, WK - final amplifier, K1...K3 - comparators, P1...P3 - potentiometers

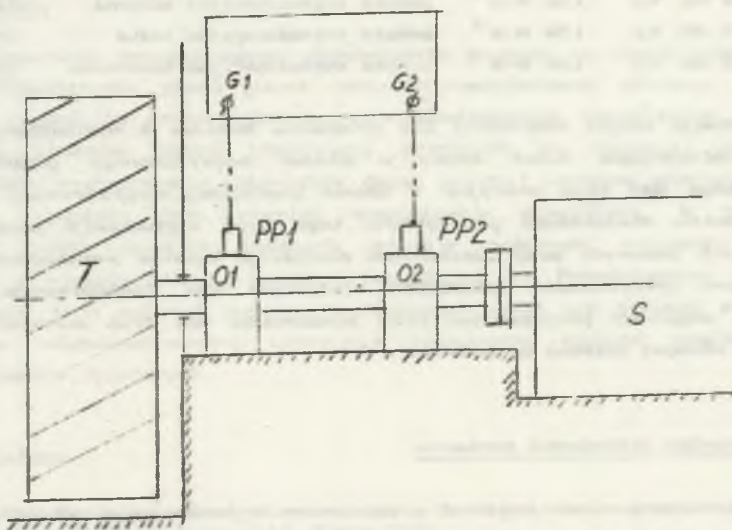
Po przejściu przez jeden z filtrów sygnał pomiarowy podlega detekcji szczytowej w detektorze DS. Po detekcji napięcie stałe podawane jest na wejście wzmacniacza końcowego dopasowującego poziom napięcia mierzonego do zakresu woltomierza cyfrowego typu CWN-2 o zakresie nominalnym 1,999 V. Napięcie z wyjścia wzmacniacza końcowego doprowadzane jest również do wejść nieodwracających trzech komparatorów K1, K2, K3. Na wejścia odwracające tych komparatorów podawane są napięcia z suwaków trzech potencjometrów P1, P2, P3 dostępnych na płycie czołowej przyrządu (rys. 2). Za pomocą tych potencjometrów użytkownik przyrządu może dobrać trzy poziomy wartości przyspieszeń, których przekroczenie będzie sygnalizowane optycznie za pomocą lampki sygnalizacyjnych LS1 do LS3 na płycie czołowej przyrządu w trzech kolorach (zielonym, żółtym i czerwonym).

Regulacji wartości napięć progowych komparatorów można dokonać w przypadku, gdy wyświetlana jest cyfra zero na wyświetlaczu numeru kanału w cyklu 70-sekundowym przełączania kanałów, gdy przy danym potencjometrze zaświeci się dioda świecąca w kolorze lampki sygnalizacyjnej. W tym czasie wartość progowa napięcia wyświetlana jest na wyświetlaczu woltomierza cyfrowego CWN-2. Czas regulacji wartości progowej każdego komparatora wynosi około 15 sekund.

Zastosowanie lampek sygnalizacyjnych LS w przyrządzie pozwala na obserwację przyrządu przez obsługę techniczną z odległości 20-30 metrów od miejsca zainstalowania przyrządu.

3. Badania eksploatacyjne akceleratoru

Badania wykonanego akceleratoru przeprowadzone zostały w warunkach ruchowych na dwóch wentylatorach szybu wentylacyjnego kopalni. Cztery przetworniki piezoelektryczne typu PPWa-22PN, o stałych napięciowych nie różniących się więcej niż 5% od wartości średniej, umieszczone zostały po dwie sztuki na każdym z wentylatorów (rys. 4).



Rys. 4. Zamocowanie przetworników piezoelektrycznych na obudowie łożysk tocznych wentylatora; PP1, PP2 - przetworniki piezoelektryczne. O1 - obudowa górna łożyska od strony wentylatora, O2 - obudowa górna łożyska od strony silnika, T - wentylator, S - silnik synchroniczny, G1...G3 - gniazda wejściowe akceleratoru

Fig. 4. Mounting piezoelectric converters on casing of exhauster rolling bearings; PP1, PP2 - piezoelectric converters O1 - top casing of the bearing exhauster side, O2 - top casing of the bearing motor side. T - exhauster, S - synchronous motor, G1...G3 - accelerometer plug in socket.

Każdy z przetworników został zamocowany za pomocą śruby M5 do górnej połowy obudowy łożyska tocznego w miejsce mocowania ucha montażowego obudowy. W ten sposób uniknięto wiercenia dodatkowych otworów w obudowie łożyska mogących osłabić jej wytrzymałość mechaniczną. Długość ekranowanych kabli pomiarowych od przetworników do stanowiska kontrolno-pomiarowego dozoru szybu nie przekracza 80 metrów. Kable pomiarowe poprowadzono w znacznej odległości od kabli wysokiego napięcia zasilających silniki napędowe wentylatorów. Po zainstalowaniu przyrządu stwierdzono, że wartości mierzonych przyspieszeń na obudowie łożyska od strony wentylatora wynoszą 1,4 - 1,6 $m \cdot s^{-2}$, podczas gdy od strony silnika napędzającego wentylator wartości przyspieszeń są mniejsze i wynoszą 0,8 - 1,0 $m \cdot s^{-2}$. Wartości tych przyspieszeń pomierzono przy włączonym filtrze F-2 o poziomie częstotliwości 200-1000 Hz. Aby ułatwić obserwację akcelerometru przez dozór, dobrane zostały 3 poziomy sygnalizacji optycznej przekroczenia amplitudy przyspieszeń w skali wyrażonej w decybelach. Dla wartości 0 dB przyjęto wartość amplitudy przyspieszeń 1 ms^{-2} , a sygnalizowane są przyrosty drgań:

o 2 dB, t.j.	1,26 $m \cdot s^{-2}$	lampka sygnalizacyjna zielona	LS1,
o 4 dB, t.j.	1,58 $m \cdot s^{-2}$	lampka sygnalizacyjna żółta	LS2,
o 6 dB, t.j.	1,99 $m \cdot s^{-2}$	lampka sygnalizacyjna czerwona	LS3.

Sygnalizacja lampki czerwonej LS3 połączona została z sygnalizacją akustyczną informującą dozór szybu o stanie podwyższonego poziomu drgań przyjętego jako stan awaryjny. W czasie półrocznej nieprzerwanej pracy akcelerometru stwierdzono przydatność tego typu sygnalizacji szczególnie w warunkach zimowych przy zaistniałym oblodzeniu łopatek wentylatora dającym dodatkowe niewyważenie dynamiczne wirujących mas. Zaobserwowano również wzrost amplitudy przyspieszeń przy poluzowaniu się śrub mocujących górną połowę obudowy łożyska do podstawy.

4. Analiza dokładności pomiarów

Dokładność pomiaru amplitud przyspieszeń wykonanego akcelerometru zależy od stabilności prądu zasilającego przetworniki piezoelektryczne [3], długoczasowej niestabilności stałej napięciowej stosowanych przetworników, niestabilności długoczasowej współczynnika wzmocnienia zastosowanych wzmacniaczy pomiarowych i niedokładności woltomierza cyfrowego. Długoczasowa niestabilność prądu zasilającego przetworniki piezoelektryczne nie przekracza $\pm 0,2\%$, a sumaryczna niestabilność współczynnika wzmocnienia zastosowanych scalonych wzmacniaczy pomiarowych nie przekracza $\pm 0,5\%$. Niedokładność pomiarów napięcia stałego przez zastosowany woltomierz cyfrowy

CWN-2, 3,5 cyfry nie przekracza $\pm 0,1\%$ zakresu pomiarowego. Wypadkowa niedokładność wykonanego przyrządu nie przekracza $\pm 1\%$ wartości nominalnej każdego zakresu pomiarowego. Różnice wartości stałych napięciowych zastosowanych przetworników piezoelektrycznych są uwzględnione przez dobór odpowiednich dzielników wejściowych napięcia dla trzech przetworników, których wartości stałych są większe od najmniejszej stałej napięciowej czwartego przetwornika. Po zastosowaniu dzielników napięcia zredukowane stałe wszystkich przetworników są równe wartości stałej o najmniejszej wartości z niedokładnością $\pm 1\%$.

Producent przetworników przyspieszeń zakłada, że istnieje możliwość zmiany wartości stałych napięciowych, produkowanych przez siebie przetworników w ciągu roku o $\pm 5\%$ wartości stałej wyznaczonej dla przetwornika nowego. Stąd występuje konieczność przeprowadzenia u producenta kontroli stałych użytych przetworników po okresie rocznej eksploatacji. Uwzględniając błąd wyznaczania stałej napięciowej i błędy układu pomiarowego, pomiaru amplitudy przyspieszeń można dokonać z dokładnością $\pm 2\%$ wartości nominalnej dla każdego zakresu przyrządu.

5. Wniosku

Przedstawiony czterokanałowy akcelerometr pozwala na ciągłe monitorowanie wibroakustyczne stanu łożysk tocznych wentylatorów głównego przewietrzania kopalni na szybie wentylacyjnym. Zastosowana sygnalizacja optyczna umożliwia obsłudze szybu obserwację przyrządu ze znacznej odległości. W przypadku występowania przyrostów drgań powyżej wartości przyjętych jako awaryjne włączana jest również sygnalizacja akustyczna. W przypadku większej liczby obiektów badanych istnieje możliwość wykonania akcelerometru o większej liczbie kanałów (np. 6 lub 8). Przedstawiony przyrząd posiadający trzy zakresy pomiaru przyspieszeń może być również stosowany do badań wibroakustycznych kombajnów górniczych, silników spalinowych i innych układów drgających.

LITERATURA

- [1] Gieroń S.: Kontrolna diagnostyka wibroakustyczna łożysk tocznych. Materiały Konferencyjne DIAG, Kielce 1986.
- [2] Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.
- [3] Hagel R., Zakrzewski J.: Miernictwo dynamiczne. WNT, Warszawa 1984.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Danuta Turzeniecka

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 grudnia 1991 r.

FOUR-CHANNELS ACCELEROMETER FOR MINE DIAGNOSTIC TESTING OF EXHAUSTERS ROLLING BEARINGS

Abstract

In the paper measurement system of four-channels accelerometer for mine diagnostic testing of two exhausters rolling bearings in the main ventilation system is described. On the casing of the exhauster rolling bearings piezoelectric vibration converter is mounted (fig.4); which together with four channels accelerometer, makes possible current vibroacoustic control of the bearings. Technical inspectors are signalled that permissible vibration levels have been exceeded when 3 lamps placed on the device are switched on (fig.2). The accelerometer measures acceleration amplitude in three measuring ranges 0-2, 0-20, 0-200 m.s^{-2} . Values of the measured acceleration are displayed on 3 1/2 digital voltmeter. In the article an analysis of the accelerometer measurement precision was performed using type PPWa-22PN piezoelectric converters. Acceleration amplitude can be measured with the accuracy $\pm 2\%$ of nominal value of every measurement range, taking into account errors while determining voltage constant of piezoelectric converters and measuring system error. The designed accelerometer may also be applied for vibroacoustic testing of mine heading machines, I. C. engines and other vibrating systems.