

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA



WYDZIAŁ



INŻYNIERII
ZARZĄDZANIA

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

Podstawy diagnostyki technicznej

Kod przedmiotu: KS05513, KN05513

Ćwiczenie Nr 4

POMIAR PARAMETRÓW DRGAŃ MECHANICZNYCH PRZY POMOCY SYSTEMU *KSD-400*

Opracował:

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2022

Wszystkie prawa zastrzeżone

Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.

CEL ĆWICZENIA: celem ćwiczenia jest zapoznanie się i opanowanie przez studentów umiejętności pracy z systemem KSD-400 oraz pomiar parametrów drgań korpusu szlifierki i ocena (na podstawie wykonanych pomiarów drgań) jej stanu technicznego.

1. WPROWADZENIE

Ruchem drgającym nazywamy powtarzające się w regularnych odstępach czasu przemieszczanie ciała (np. wahadła) lub jego cząsteczek (np. struny gitarowej) po tej samej drodze. Charakter ruchu drgającego różni się od charakteru ruchu postępowego i obrotowego. Istotą tego ruchu jest bowiem przemieszczanie się zaburzenia ośrodka a nie masy. Cząstki położone w pobliżu źródła zaburzenia (źródła drgań) oddziałują z dalej położonymi cząstkami i przekazują im uzyskaną ze źródła energię. Te z kolei przekazują energię jeszcze dalszym cząstkom i zaburzenie rozprzestrzenia się coraz dalej.

Tak więc ruch drgający wiąże się z dwoma procesami: z transportem energii przez ośrodek od cząstki do cząstki i z ruchem drgającym poszczególnych cząstek. Nie jest natomiast związany z ruchem materii jako całości, czyli przepływowi energii nie towarzyszy przepływ masy.

Zjawisko drgań mechanicznych powszechnie występuje w przyrodzie i technice. W wielu przypadkach jest ono zjawiskiem zdecydowanie niepożądanym, powodującym przyspieszone zużycie maszyn i konstrukcji lub nawet trwałe ich uszkodzenie. Bardzo niekorzystny wpływ mają drgania na organizmy żywe.

W niektórych jednak przypadkach konstruowane są urządzenia, które celowo generują drgania, np. młoty pneumatyczne (ułatwiają rozbijanie powłok betonowych), wiertarki pracujące z udarem (ułatwiają wiercenie w twardych materiałach), stoły wibracyjne (ulepszają odlewy betonowe), itp..

Najprostszym przypadkiem ruchu drgającego jest *ruch harmoniczny prosty* zilustrowany rysunkiem 1. Ruch ten opisuje następujące równanie:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_o), \quad (1)$$

gdzie:

$x(t)$ – współrzędna punktu drgającego (chwilowe położenie punktu);

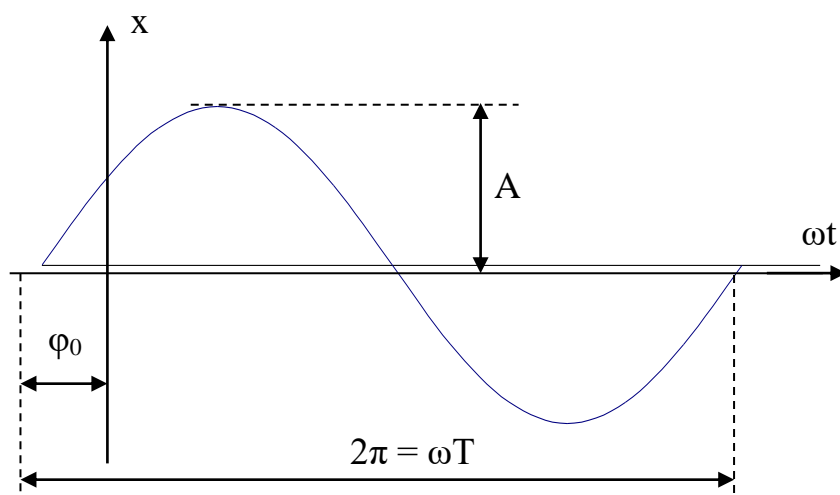
A – amplituda drgań punktu;

$\omega = 2\pi f$ – pulsacja;

φ_o – faza początkowa (faza ruchu w chwili $t = 0$);

t – czas;

$f=1/T$ – częstotliwość drgań;
 T – okres drgań.



Rys.1. Obraz ruchu harmonicznego prostego

Z zależności (1) wynika, że położenie x punktu drgającego (droga przebywana przez ten punkt w kierunku osi x) nie jest liniową funkcją czasu. Ruch punktu w kierunku osi x charakteryzuje jego prędkość chwilowa v :

$$v = \frac{dx(t)}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad (2)$$

oraz przyśpieszenie chwilowe:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0) \cdot \quad (3)$$

Uwzględniając w ostatniej zależności równanie (1), otrzymuje się:

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 \cdot x \cdot \quad (4)$$

Siłę wywołującą omawiany ruch harmoniczny punktu materialnego wyznacza się ze znanej zależności opisującej II zasadę dynamiki Newtona:

$$F = m \cdot a. \quad (5)$$

Podstawiając w równaniu (5) wyrażenie (4) otrzymamy:

$$F = -m \cdot \omega^2 x. \quad (6)$$

Pomiar wielkości występujących w równaniach opisujących ruch drgający (tzw. parametrów ruchu drgającego) dostarcza cennych informacji o stanie fizycznym drgających obiektów.

Amplituda – jej pomiar określa maksymalne odkształcenie materiału, co pozwala wyznaczyć maksymalne naprężenia jakim jest on poddawany (chodzi tu o odkształcenia w granicach sprężystości, dla których spełnione jest prawo Hooke’a).

Przyśpieszenie - pomiar tej wielkości pozwala na określenie siły wywołującej drgania, co jest istotne zarówno dla badania wytrzymałości maszyn i konstrukcji (od przyśpieszenia zależy wytrzymałość zmęczeniowa materiału), jak również oddziaływania drgań na organizmy żywe (przyśpieszenia podczas lotu samolotem).

Droga – pomiar drogi jest istotny, gdy chodzi o zbadanie odkształceń części ruchomych maszyny ze względu na możliwość ich stykania się z innymi jej częściami, np. w szlifierkach.

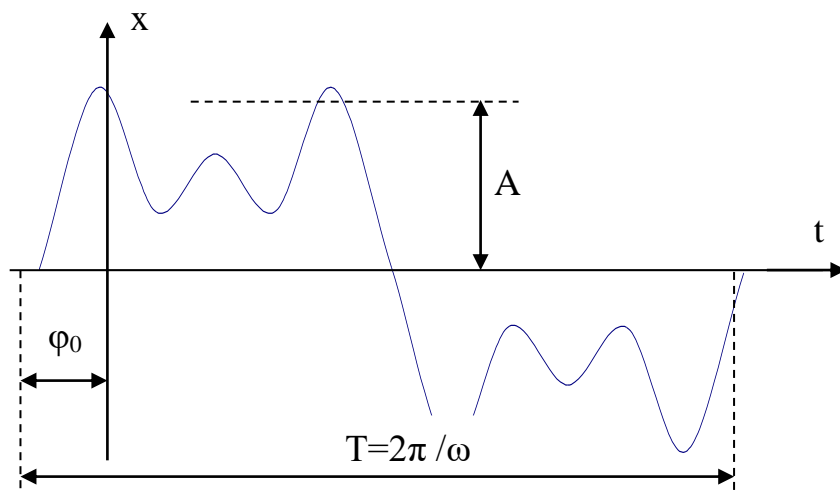
Amplituda prędkości – pomiar tego parametru jest ważny dla zbadania prędkości poruszania się cząsteczek jakiegoś elementu, co ma znaczenie przy pomiarze szmerów i hałasu.

Częstotliwość – pomiar tej wielkości jest ważny w związku z badaniem możliwości powstania rezonansu mechanicznego wewnątrz obiektu poddanego drganiom.

Wielkości charakteryzujące ruch drgający są wielkościami zmiennymi w czasie. Dla oceny lub pomiaru ich wartości chwilowych konieczna jest na ogół rejestracja ich przebiegów czasowych, np. przy pomocy rejestratorów elektromechanicznych czy oscyloskopu cyfrowego. Przy pomocy najczęściej spotykanych przyrządów pomiarowych mierzy się średnie lub skuteczne wartości tych wielkości, przy czym odbywa się to zgodnie z definicjami wartości średniej x_{sr} , czy skutecznej x_{sk} stosowanymi do wielkości elektrycznych, a mianowicie:

$$x_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot dt, \quad x_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) \cdot dt} \cdot \quad (7)$$

Przebiegi czasowe drgań obiektów fizycznych (nieliniowych) przy wymuszeniu okresowym mogą mieć bardzo złożoną postać. Są to też drgania okresowe o tym samym okresie, ale zawierające w sobie składowe drgania o częstotliwościach nad- i podkrotnych częstotliwości wymuszenia. Przykład takiego drgania jest przedstawiony na rys. 2.



Rys.2. Obraz ruchu harmonicznego złożonego

Analizowany przebieg $x(t)$ jest okresowym o okresie T i spełnia warunki Dirichletta, więc możemy go rozwinąć w trygonometryczny szereg Fouriera:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k\omega t = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} F_k \sin(k\omega t + \psi_k), \quad (8)$$

gdzie:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) dt; \quad (9)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \cos k\omega t dt; \quad (10)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \sin k\omega t dt; \quad (11)$$

$$F_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad (12)$$

$$\psi_k = \operatorname{arctg} \frac{a_k}{b_k}. \quad (13)$$

Sens fizyczny współczynnika a_0 - jest to składowa stała przebiegu. Inną postacią szeregu Fouriera jest szereg wykładniczy.

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \underline{C}_k e^{jk\omega t}, \quad (14)$$

gdzie:

$$\underline{C}_k = C_k e^{j\varphi_k} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) e^{-jk\omega t} dt \quad (15)$$

Zbiór wartości C_k nazywamy widmem amplitudowym przebiegu $x(t)$ (moduł \underline{C}_k), a φ_k - widmem fazowym funkcji $x(t)$, które jest definiowane:

$$\varphi_k = \begin{cases} \arg \underline{C}_k & \text{gdy } \operatorname{Im} \underline{C}_k \neq 0 \\ 0 & \text{gdy } C_k \geq 0 \\ \pi \operatorname{sgn} k & \text{gdy } C_k < 0 \end{cases} \quad (16)$$

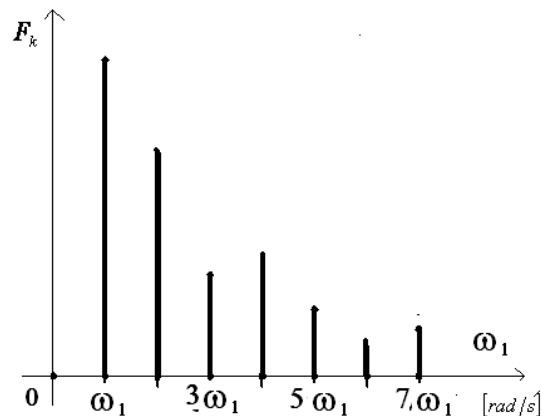
Istnieją związki pomiędzy wielkościami występującymi w trygonometrycznym i wykładniczym szeregach Fouriera:

$$C_k = \frac{\sqrt{a_k^2 + b_k^2}}{2}, \quad (17)$$

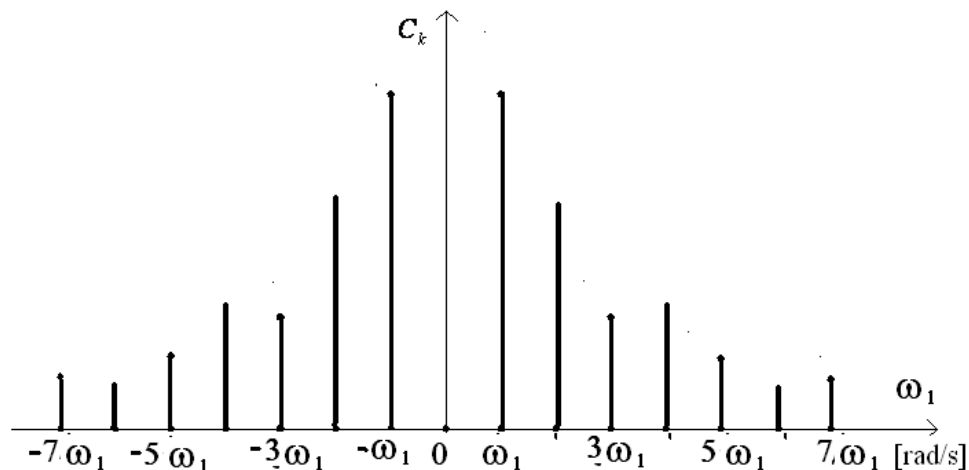
$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{b_k}{a_k}, \quad (18)$$

$$\underline{C}_k = \begin{cases} \frac{a_k - jb_k}{2} & \text{dla } k > 0 \\ \frac{a_k + jb_k}{2} & \text{dla } k < 0 \\ \frac{a_0}{2} & \text{dla } k = 0 \end{cases} \quad (19)$$

Na rys. 3 przedstawiony jest widmo amplitudowe uzyskane w wyniku rozłożenia w trygonometryczny szereg Fouriera sygnału $x(t)$. Widmo amplitudowe uzyskane przy rozłożeniu w wykładniczy szereg Fouriera sygnału $x(t)$ przedstawia rys.4.



Rys.3. Widmo amplitudowe sygnału (widmo prawostronne)



Rys.4. Widmo amplitudowe sygnału (widmo obustronne – wykładniczy szereg Fouriera)

Wartość skuteczną przebiegów odkształconych x_{sk} (a takimi przebiegami są drgania układu analizowanego w tym ćwiczeniu) obliczamy za pomocą następującej zależności:

$$x_{sk} = \sqrt{\sum_{k=0}^N F_k^2}, \quad (20)$$

gdzie: F_k – wartość skuteczna k -tej harmonicznej sygnału, k – numer harmonicznej, N – liczba harmonicznych w analizowanym przebiegu.

Pomiary przedstawionych wyżej parametrów ruchu drgającego metodami elektrycznymi wymagają przetworzenia ich (są to wielkości mechaniczne) na proporcjonalne wielkości elektryczne (prąd lub napięcie elektryczne).

Operacja ta odbywa się przy użyciu następujących przetworników:

- przetworników piezoelektrycznych;
- przetworników indukcyjnych;
- przetworników pojemnościowych.

Zasada działania przetwornika piezoelektrycznego

W przetwornikach tych wykorzystuje się odkryte przez Piotra Curie właściwości niektórych kryształów poddawanych ścisaniu lub rozciąganiu. Siły deformujące kryształ powodują powstawanie na jego ściankach ładunków elektrycznych i związanej z nimi różnicy potencjałów (napięcia elektrycznego) między ściankami. Ładunki te zanikają po ustąpieniu sił deformujących kryształ, co oznacza, że zjawisko ma charakter odwracalny. Opisane zjawisko nosi nazwę *zjawiska piezoelektrycznego*.

Znane jest także zjawisko odwrotne, zwane *zjawiskiem elektrostrykcji*. Polega ono na zmianie wymiarów geometrycznych kryształu w wyniku przyłożenia do jego ścianek napięcia elektrycznego. Obydwa zjawiska występują w stanach statycznych i dynamicznych.

Najpowszechniej wykorzystywanym do budowy przetworników pomiarowych materiałem jest kwarc. Kwarc (SiO_2) krystalizuje w układzie heksagonalnym. Po ścięciu górnej i dolnej części kryształu, otrzymuje się prostopadłościan regularny o podstawie sześciokątnej [3]. W prostopadłościanie wyróżnić można szereg osi symetrii o charakterystycznych właściwościach (trzy osie elektryczne - x, trzy osie mechaniczne - y oraz oś optyczną - z).

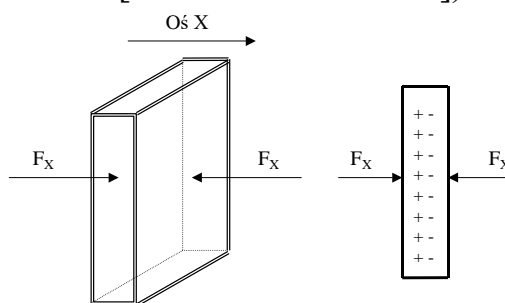
Z kryształu wycina się płytkę o ściankach prostopadłych do osi x,y,z. Gdy płytkę taką poddamy siłom ściskającym, działającym w kierunku osi x (rys.5), wówczas na ściankach prostopadłych do tej osi powstaje ładunek elektryczny proporcjonalny do działającej siły F_x ,

$$Q = k \cdot F_x \quad (21)$$

Współczynnik k – (moduł) piezoelektryczności charakteryzuje intensywność zjawiska piezoelektrycznego. Jest to iloraz ładunku elektrycznego Q (mierzonego w kulombach) i siły F_x działającej na kryształ (mierzonej w niutonach), pod wpływem której ten ładunek powstaje:

$$k = \frac{Q}{F_x} \left[\frac{C}{N} \right],$$

(dla kwarcu $k = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$ – [kulombów na niuton]).



Rys. 5. Płytkę kwarcu poddana działaniu sił ściskających

Przy przejściu ze ściskania na rozciąganie, zmieniają się znaki ładunków. Wartości ładunków w obu przypadkach nie zależą od wymiarów płytki. Opisane zjawisko nazywane jest efektem piezoelektrycznym wzłużnym.

Gdy siła działa F działa w kierunku osi mechanicznej, ładunki pojawiają się na ściankach prostopadłych do osi elektrycznej x, ale o znakach przeciwnych aniżeli w poprzednim przypadku. Teraz powstające ładunki określa wzór:

$$Q = k \cdot F_x \frac{b}{a},$$

w którym występuje stosunek wymiarów płytki a, b. Dla otrzymania dużej wartości ładunku, zwiększa się wartość tego stosunku.

W czujnikach piezoelektrycznych na które działają duże siły, te ostatnie kieruje się w kierunku równoległym do osi elektrycznej x, gdy działające siły są niewielkie, kieruje się równoległe do osi mechanicznej y.

Przy produkcji czujników piezoelektrycznych, stosuje się wycinanie płytki tylko w wymienionych kierunkach głównych.

Płytki wycinane pod innymi kątami w stosunku do osi głównych stosowane są w generatorach kwarcowych w celu stabilizacji wytwarzanych przez nie drgań elektrycznych.

W celu wykorzystania efektu piezoelektrycznego, nakłada się na płytki elektrody metalowe lub metalizuje ich powierzchnię, otrzymując kondensator, którego pojemność oblicza się ze wzoru,

$$C = 0,0885 \cdot \frac{\varepsilon \cdot A}{a} [pF], \quad (22)$$

gdzie: A – pole powierzchni elektrod metalowych wyrażone w cm^2 ;

a – odległość między ich wewnętrznymi powierzchniami wyrażona w cm;

ε – stała dielektryczna materiału płytki (np. kwarcowej).

W poddanej działaniu siły F płytce, powstaną na jej powierzchniach równe co wartości lecz przeciwnego znaku ładunki elektryczne. Ładunki te wywołają między okładkami płytki kwarcowej o pojemności C napięcie elektryczne o wartości:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{kF}{C} \quad (23)$$

Napięcie to należy zmierzyć przyrządem wyposażonym w układ o dużej rezystancji wejściowej, by zapobiec rozładowaniu się kondensatora.

W praktyce omawiane napięcie mierzyć można tylko w stanie dynamicznym pracy czujnika, to znaczy gdy działająca nań siła zmienia swoją wartość w czasie. Przy stałej sile, powstający pod jej działaniem ładunek spłynąłby do masy poprzez rezystancję nieidealnej przecież izolacji użytych do budowy czujnika materiałów. Tak więc czujniki piezoelektryczne nadają się głównie do pomiaru drgań. Zauważmy, że wartość powstającego ładunku elektrycznego i związanego z nim napięcia nie zależy od pola powierzchni płytki, stąd czujnik mierzy siłę a nie ciśnienie (siłę działającą na powierzchnię jednostkową).

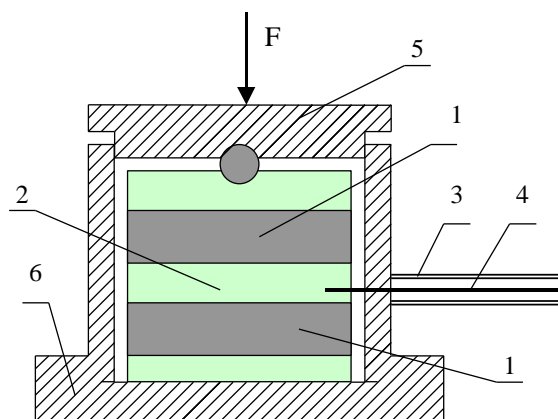
Od piezoelektryków wymaga się dużego współczynnika piezoelektryczności k , dużej stałej dielektrycznej ϵ i dużej wytrzymałości mechanicznej, gdy na czujnik działać muszą duże siły. Duża stała dielektryczna zmniejsza wprawdzie czułość czujnika, obniżając jego napięcie wyjściowe przez zwiększenie pojemności C (patrz zależności 22, 23), ale jest korzystna dla czujników z innych powodów. Duży stosunek pojemności C czujnika i pojemności C_0 (pojemności zastępczej kabla i pojemności wejściowej wzmacniacza) zmniejsza wpływ na wyniki pomiarów kapryśnej pojemności C_0 , zależnej od zmian temperatury, wilgotności, przesunięć mechanicznych oraz parametrów wzmacniacza.

Kwarc nie ma największego współczynnika piezoelektryczności (większą ma np. tzw. sól Seignette'a), ale stosowany jest najczęściej do budowy czujników ze względu przede wszystkim na nadzwyczaj dużą wytrzymałość mechaniczną wynoszącą 800 kG/cm^2 . Jest to istotna cecha w przypadku pomiaru drgań przy dużych (rzędu wielu ton) naciskach na czujnik, np. wagonu kolejowego lub lokomotywy. Moduł sprężystości E kwarcu wynosi ok. $0,8 \cdot 10^6 \text{ kG/cm}^2$. Duża wartość modułu jest korzystna z punktu widzenia konstrukcji przetwornika, oznacza bowiem występowanie niewielkich zmian liniowych kwarcu pod wpływem działających sił.

Przetworniki piezoelektryczne mogą pracować w bardzo dużym zakresie częstotliwości, od kilku Hz do kilku MHz. Także zakres przyśpieszeń jest imponujący, od ułamka przyśpieszenia ziemskiego g do tysięcy g .

Budowa przetwornika piezoelektrycznego

Studentom pozostawiam analizę budowy przetwornika piezoelektrycznego, którego szkic przedstawia rysunek 6.

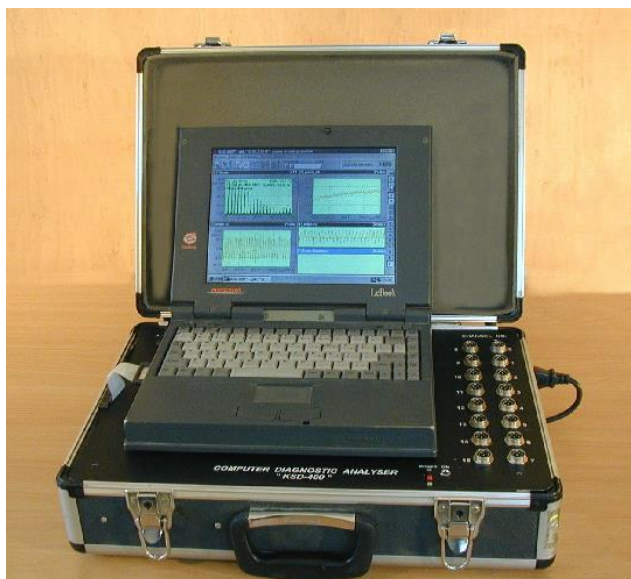


Rys. 6. Budowa przetwornika piezoelektrycznego: 1 – płytki kwarcowe, 2 – elektroda środkowa, 3 – ekran kabla koncentrycznego, 4 – przewód sygnałowy (gorący) kabla, 5 – ruchome jarzmo przetwornika, 6 – obudowa przetwornika, F – siła nacisku.

2. KOMPUTEROWY SYSTEM DIAGNOSTYCZNY *KSD-400*

2.1. WPROWADZENIE

Komputerowy analizator drgań KSD-400 [6] jest wszechstronnym wielokanałowym urządzeniem pomiarowym przeznaczonym do badania drgań maszyn wirujących oraz ich diagnostyki, regulacji turbin, badania silników spalinowych itp. Na rys. 7 przedstawiony jest widok analizatora diagnostycznego KSD-400.



Rys. 7. Widok analizatora diagnostycznego KSD-400.

Podstawowymi elementami analizatora są:

- ❖ czujniki przekształcające wielkości mechaniczne na elektryczne sygnały;
- ❖ wzmacniacze pomiarowe dopasowujące sygnały z czujników do współpracy z kartą przetwornika AC (są to wymienne panele pozwalające dopasować poszczególne tory pomiarowe do potrzeb użytkownika);
- ❖ 16-kanałowa karta przetwornika AC o standardzie PCMCIA typu NIDAQ-700 lub 6024E;
- ❖ komputer klasy IBM typu "notebook" z wejściem typu USB (wraz z oprogramowaniem), jest on niezależnym urządzeniem zestawu z możliwością wykorzystania do obsługi dowolnych programów.

Zestaw może współpracować między innymi z czujnikami drgań bezwzględnych (akcelerometrami lub przetwornikami elektrodynamicznymi), bezkontaktowymi czujnikami drgań względnych, przesunięć liniowych oraz

ciśnien. Analizator KSD-400 jest urządzeniem 16-kanalowym umożliwiającym multipleksowaną rejestrację szesnastu sygnałów pomiarowych. Jednym z kanałów analizatora jest tor „strobowania” sygnałów pomiarowych przez fotoelektryczny czujnik refleksyjny. Sygnał z tego czujnika umożliwia synchroniczne wyzwalanie pomiaru, określanie prędkości obrotowej oraz rejestrację zmian poziomu drgań w funkcji obrotów maszyny.

Akumulatorowe zasilanie zestawu umożliwia ok. 3-godzinną pracę w terenie bez konieczności doładowywania urządzenia. Możliwa jest też praca z wykorzystaniem zasilania z sieci 220V.

2.2. PARAMETRY TECHNICZNE.

2.2.1. Parametry cyfrowej obróbki sygnałów:

- Ilość kanałów pomiarowych: 16;
- Ilość próbek na kanał: 4 – 262144;
- Częstotliwość próbkowania: 16 – 100000 lub 200000;
- Odstępy pomiarów czasowych: 0.1 - 3600 s;
- Odstęp pomiaru w funkcji obrotów: 10 - 500 obr/min;
- Tryb zapisu na dysk: binarny oraz tekstowy.

2.2.2. Karty pomiarowe:

- Karty synchronizujące: czujnik fotoelektryczny laserowy typu CFL-10;
- Karty drganiowe: czujniki piezoelektryczne z transmisją prądową typu CP-03 lub elektrodynamiczne typu CS-110;
- Karty przemieszczeń względnych: wiropądowe czujniki bezkontaktowe typu CW;
- Karty ciśnień: czujniki "PELLTRON" ze wzmacniaczem;
- Karty przesunięć liniowych: czujniki "MEGATRON";
- Karty napięciowe: +/- 10V;
- Karty prądowe: 4-20 mA;
- Inne karty: na życzenie użytkownika.

2. 2.3. Zakresy pomiarowe.

- Zakres pomiarowy częstotliwości:
 - drgania bezwzględne: 4 - 15.000 Hz (przy czujnikach CP-03) (-3 dB);
 - drgania względne: 0 - 10.000 Hz (-3dB);
- Zakres pomiarowy przyspieszeń: 0 - 70 m/s² (RMS);
- Zakres pomiarowy prędkości drgań: 0 - 70 mm/s (RMS);
- Zakres pomiarowy amplitudy drgań: 0 - 700 μm (RMS);
- Zakres przesunięć względnych: 0,5 - 3,2 mm;
- Zakresy innych czujników wg życzeń użytkownika.

2.2.4. Tryby wyzwalania pomiarów:

- synchroniczny - sterowany impulsem z czujnika fotoelektrycznego;
- asynchroniczny (natychmiastowy) - wyzwalany klawiszem;
- w funkcji czasu;
- w funkcji zmian prędkości obrotowej maszyny.

2.2.5. Zasilanie zestawu pomiarowego:

- Komputer: z wbudowanych akumulatorów (czas pracy ok. 2 godz. - możliwa praca ciągła z zasilaniem z sieci 220 V);
- Walizka pomiarowa: z wbudowanych akumulatorów (czas pracy ok. 3 godz. - możliwa praca ciągła z zasilaniem z sieci 220V);
- Czas ładowania akumulatorów: komputer - ok .1,5 godz., walizka - ok. 8 godz.

2.2.6. Wymagania sprzętowe.

Komputer: „notebook” min. Pentium mono lub kolor.

2.2.7 Instalowanie programu w komputerze.

W komputerze dla obsługi programu KSD-400 niezbędne jest zainstalowanie programu NIDAQ do obsługi karty przetwornika PCMCIA. Instalację przeprowadza się z dostarczonej płyty CD.

Po zainstalowaniu sterowników karty PCMCIA, należy skopiować na dysk twardy program KSD-400.

Uwaga! Po skopiowaniu programu należy dokonać zmiany atrybutów dwóch plików programowych: *sensor.ini* oraz *ksd400.exe*. W obydwóch plikach należy odznaczyć „tylko do odczytu”, a zaznaczyć „archiwalny”.

2.3. PRZYGOTOWANIE ANALIZATORA DO PRACY

Uruchomienie programu:

- a) połączyć kablem USB walizkę pomiarową z komputerem;
- b) podłączyć czujniki pomiarowe do gniazd wejściowych analizatora;
- c) włączyć zasilanie walizki pomiarowej;
- d) sprawdzić stan naładowania akumulatorów komputera;
- e) sprawdzić stan naładowania akumulatorów walizki pomiarowej (powinna się świecić się zielona dioda LED);
- f) uruchomić komputer w środowisku Windows;
- g) uruchomić program pomiarowy plikiem *KSD400.exe*.

2.4. OBSŁUGA PROGRAMU KOMPUTEROWEGO.

- ✓ Uruchomienie programu następuje po uruchomieniu pliku *KSD400.exe*;
- ✓ Program zgłasza się zawsze konfiguracją zatwierdzoną w ostatnio wykonywanym pomiarze;

- ✓ W celu obsługi programu najlepiej posługiwać się kursorem "myszki";
- ✓ Ustawień rodzaju pomiaru, widoku ekranu oraz konfiguracji systemu dokonuje się poprzez użycie górnej linii obsługi programu;
- ✓ Rozwijając okno " **Konfiguracja**" można zaprogramować wymagane interfejsy pomiarowe, które dopasowują parametry wzmacniaczy w poszczególnych kanałach do potrzeb programu (ustawienie minimalnego i maksymalnego mierzonego napięcia, wybór jednostki miary i zakresu pomiarowego). Wraz z dostarczonymi wzmacniaczami użytkownik otrzymuje już skonfigurowane interfejsy.

W oknie "**Konfiguracja**" można także dokonywać przyporządkowania kanałom poszczególnych interfejsów oraz ustawiać parametry pomiarów. W tym celu należy rozwinąć okno "Parametry pomiarów". Można w ten sposób ustawić ilość aktywnych kanałów pomiarowych, częstotliwość próbkowania i liczbę pobranych do pamięci próbek.

Częstotliwość próbkowania i liczba próbek podawana jest w odniesieniu do jednego kanału. Wynikają stąd następujące zależności:

- a) czas pobierania próbek $T = n/f_p$, gdzie: n - ilość próbek na kanał, f_p - częstotliwość próbkowania na jeden kanał;
- b) zakres częstotliwości analizy FFT sygnału mierzonego $f_{gr} = f_p/2$ (dla tej częstotliwości włączane są automatycznie filtry antyaliasingowe);
- c) rozdzielczość analizy FFT $R = f_p/n$.

Parametry pomiarów należy ustawić oddzielnie dla poszczególnych rodzajów pomiarów:

- *natychmiastowego, w funkcji czasu* (dodatkowe parametry to odstęp czasowy i maksymalna liczba pomiarów);
- *w funkcji obrotów* (dodatkowe parametry to różnica obrotów między kolejnymi pomiarami i maksymalna ich liczba) - w tym trybie pracy konieczne jest użycie czujnika fotoelektrycznego.

W oknie "**Konfiguracja**" dokonuje się też następujących ustawień systemu:

- ✓ ilość cyfr po przecinku wyświetlanych liczb;
- ✓ częstotliwość filtra dolno-przepustowego przy analizie FFT;
- ✓ numeru urządzenia (tylko dla celów serwisowych);
- ✓ numeru wyzwającego bitu (tylko dla celów serwisowych).

Również w oknie "**Konfiguracja**" można wpisać krótki opis dokonywanego pomiaru w danym kanale ("**Opis okna...**") i dokonać zerowania karty przetwornika AC.

Rozwijając okno "**Pomiary**" można uruchomić określony rodzaj pomiaru:

- ✓ natychmiastowy wg znacznika (synchroniczny) **F2**;
- ✓ natychmiastowy - **F3**;
- ✓ w funkcji czasu - **F4**;

- ✓ w funkcji obrotów - **F5**;
- ✓ wyważanie - **F8**.

W oknie "**Pomiary**" dokonywany jest też zapis i odczyt wyników pomiarów oraz zakończenie pracy programu.

W oknie "**Widok**" można dokonywać wyboru rodzaju zobrazowania wyników pomiarów:

- włączenia wartości RMS - uaktywnienia tej opcji można też dokonać za pomocą strzałki znajdującej się na górze paska z numerami kanałów (pasek ten służy do przywołania na ekran lub też schowania poszczególnych kanałów pomiarowych);
- włączenia zobrazowania na ekranie wartości minimum i maksimum zarejestrowanego sygnału;
- włączenia pomiaru fazy (konieczne jest w tym celu podłączenie czujnika fotoelektrycznego);
- całkowania sygnału (jedno- lub dwukrotnego - w zależności od zdefiniowania interfejsu) - scałkowany sygnał jest zawsze zobrazowany na transformacie Fouriera FFT
- włączenia sygnału chwilowego (przejsie do próbek sygnału);
- wyboru trybu XY (zobrazowanie jednego kanału w funkcji innego);
- włączenia transformaty Fouriera FFT;
- powiększenia obrazu danego kanału (efekt ten można także uzyskać poprzez szybkie dwukrotne kliknięcie "myszką" na wybrany rysunek (zmniejszenie – analogicznie);
- schowania wybranego wykresu;
- pokazania wszystkich szesnastu wykresów;
- schowania wszystkich wykresów. Trzy ostatnie czynności można także wykonać posługując się paskiem z numerami kanałów z prawej strony ekranu);
- uzyskania informacji o nastawionych parametrach pomiarów;
- wydruku ekranu pomiarowego.

Dodatkowe możliwości zobrazowania wyników pomiarów:

- włączenie lub wyłączenie dwóch kursorów na danym rysunku kanału pomiarowego poprzez kliknięcie "myszką" okna "**Analiza**" w lewym górnym rogu ekranu (pierwszy kursor zatwierdzany jest lewym przyciskiem "myszy", a drugi - prawym);
- włączenie "**zoomu**" (tzw. "lupy", czyli powiększenia - rozciągnięcia osi poziomej wykresu) - można to osiągnąć poprzez wielokrotne naciśnięcie klawisza "+" komputera, wielokrotne naciśnięcie klawisza "-" zmniejsza wykres;

- uruchomienie przemieszczania się po osi "x" - poprzez jednoczesne wciśnięcie klawiszy **Alt i strzałki** (prawej lub lewej);
- zobrazowanie obrotów maszyny w prawym górnym rogu ekranu - poprzez podłączenie czujnika fotoelektrycznego.

2.5. ZAPIS I ODCZYT WYNIKÓW POMIARÓW.

Zapisu wyników pomiarów można dokonać w dwóch formatach:

- w postaci pliku binarnego – rozszerzenie: ***.sen**;
- w postaci pliku tekstowego- rozszerzenie: ***.txt**.

Pliki binarne są bezpośrednio odczytywane przez program KSD400, natomiast pliki tekstowe można przenosić do programów przetwarzających dane pomiarowe, np. do programu Excel.

Ponieważ pliki tekstowe są niezrozumiałe dla programu KSD400, zalecany jest zapis wyników w formacie binarnym. W razie potrzeby wykorzystania pliku tekstowego można po pomiarach dokonać odczytu danego pliku binarnego, a następnie powtórnie zapisać go w pliku tekstowym.

Podczas zapisu wyników pomiarów w funkcji czasu lub obrotów w formacie tekstowym można zapamiętać wszystkie serie pomiarowe lub tylko wybrane albo też same wartości RMS.

2.6. UWAGI

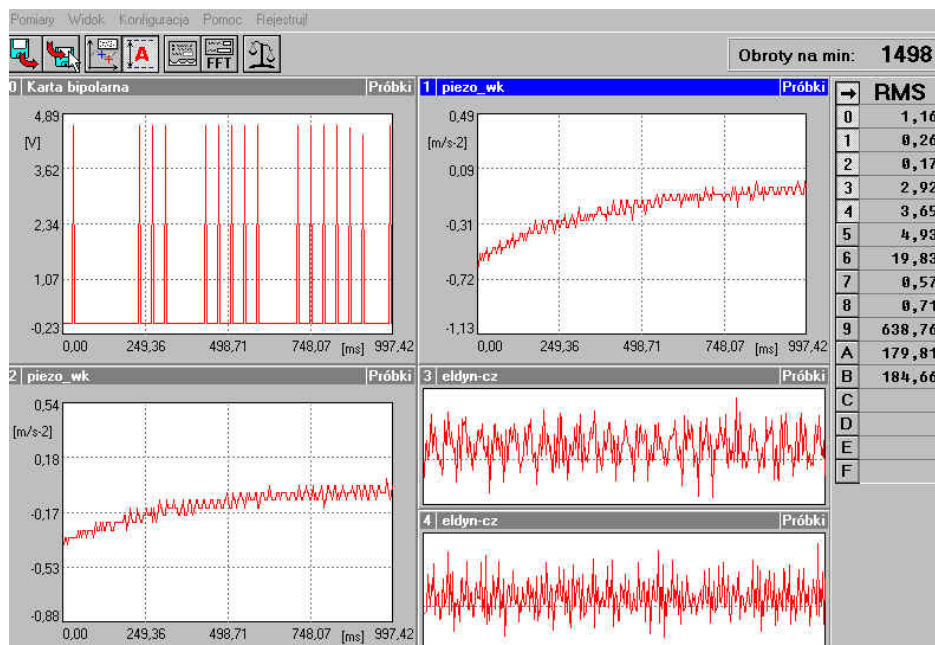
Przedstawione w instrukcji parametry dotyczą oprogramowania bazowego dostarczanego standardowo. Istnieje możliwość modyfikacji niektórych parametrów w postaci opcji, wymagających osobnych ustaleń technicznych i handlowych. Wzmacniacze wejściowe poszczególnych kanałów pomiarowych posiadają budowę panelową co pozwala to na sukcesywną rozbudowę systemu.

2.7. SKRÓTY KLAWISZOWE DO OBSŁUGI PROGRAMU

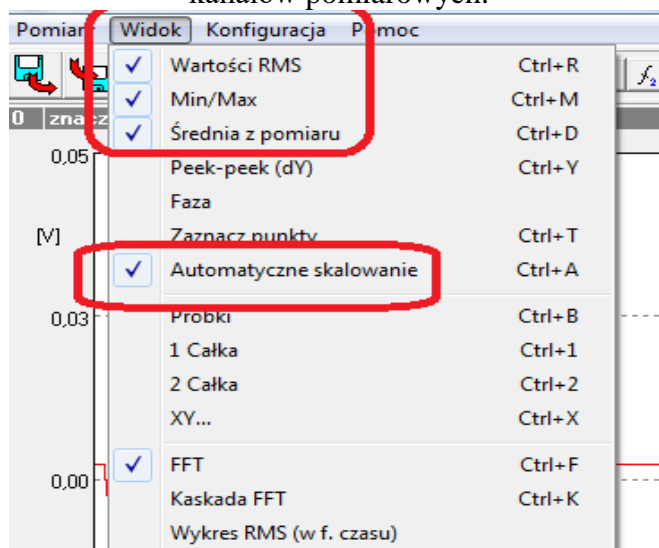
- Odczytaj wyniki pomiarów: **Ctrl+O**.
- Zapisz wyniki pomiarów: **Ctrl+S**.
- Włącz wyświetlanie wartości RMS **Ctrl+R**.
- Drukuj: **Ctrl+P**.
- Analiza Fouriera: **Ctrl+F**.
- Powiększanie wykresu: **Ctrl+Z**.
- Włączenie automatycznego skalowania: **Ctrl+A**.
- Zaznacz punkty pomiaru: **Ctrl+T**.
- Próbki: **Ctrl+B**.
- Tryb pracy X_Y: **Ctrl+X**.
- Parametry analizy FFT: **F 10**.
- Parametry pomiarów: **F 12**.

2.8. WYGLĄD EKRANU KOMPUTERA W RÓŻNYCH TRYBACH PRACY

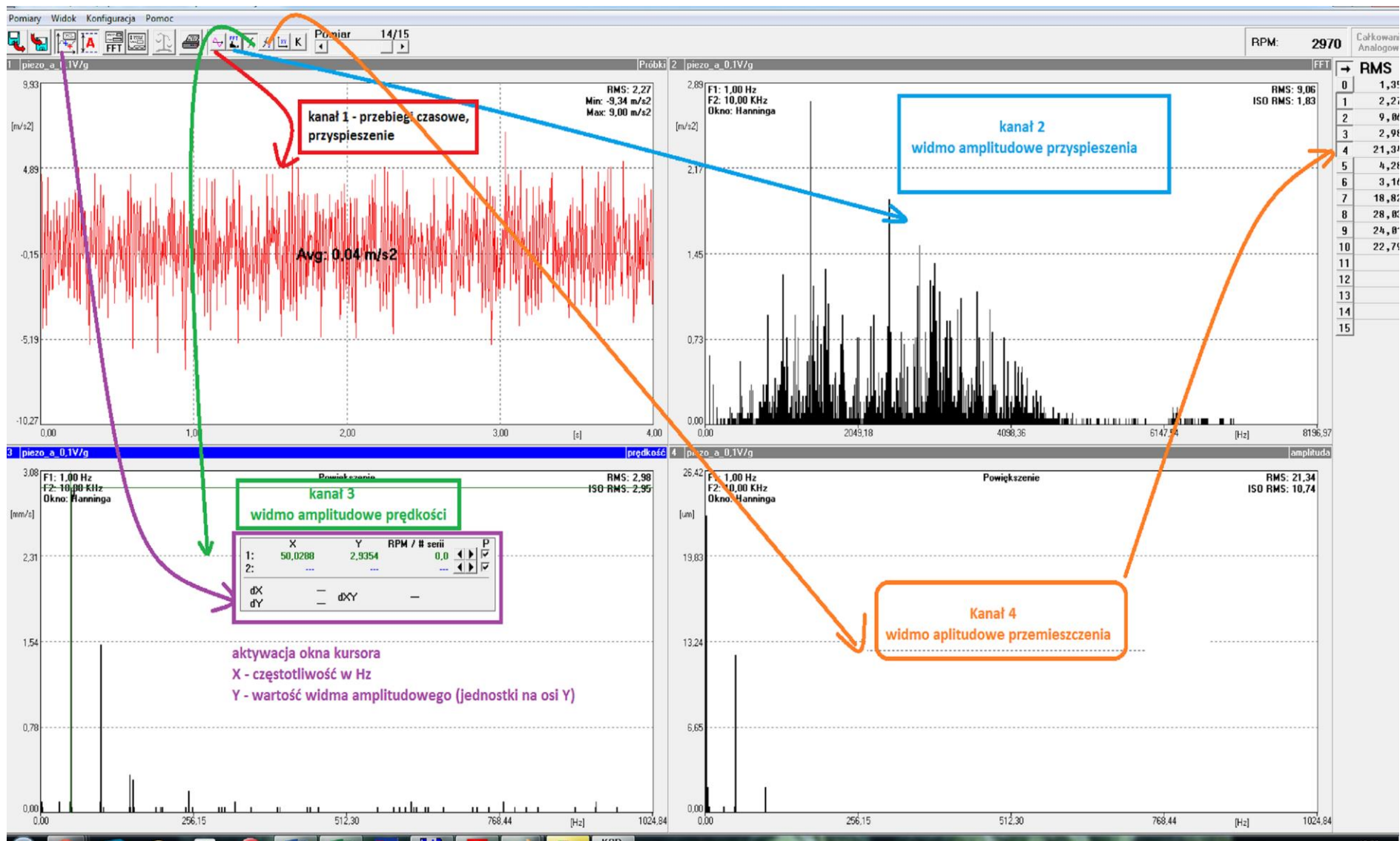
Na rys. 8-11 przedstawione zostały wybrane okna w różnych trybach pracy KSD-400 pozwalające na lepsze zrozumienie obsługi tego analizatora.



Rys.8. Podstawowy tryb pracy: widok sygnałów chwilowych (próbki) - aktywnych 5 kanałów pomiarowych.



Rys. 9. Aktywacja wyświetlania wartości Min/max, RMS, średniej i autoskalowan

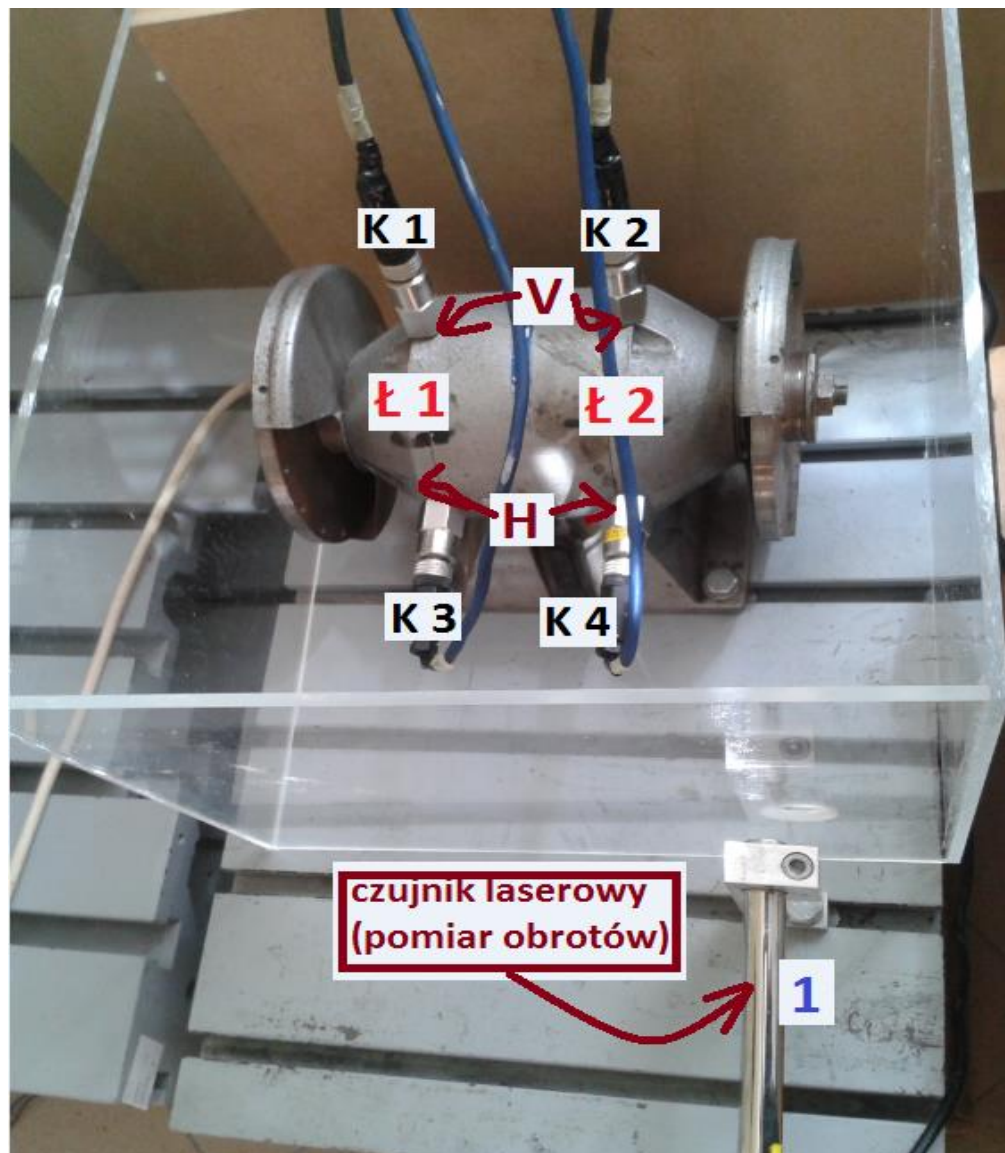


Rys. 10. Aktywacja wizualizacji przebiegu czasowego, widma amplitudowego przyspieszenia, prędkości i przemieszczenia oraz okna kursora pomiarowego.

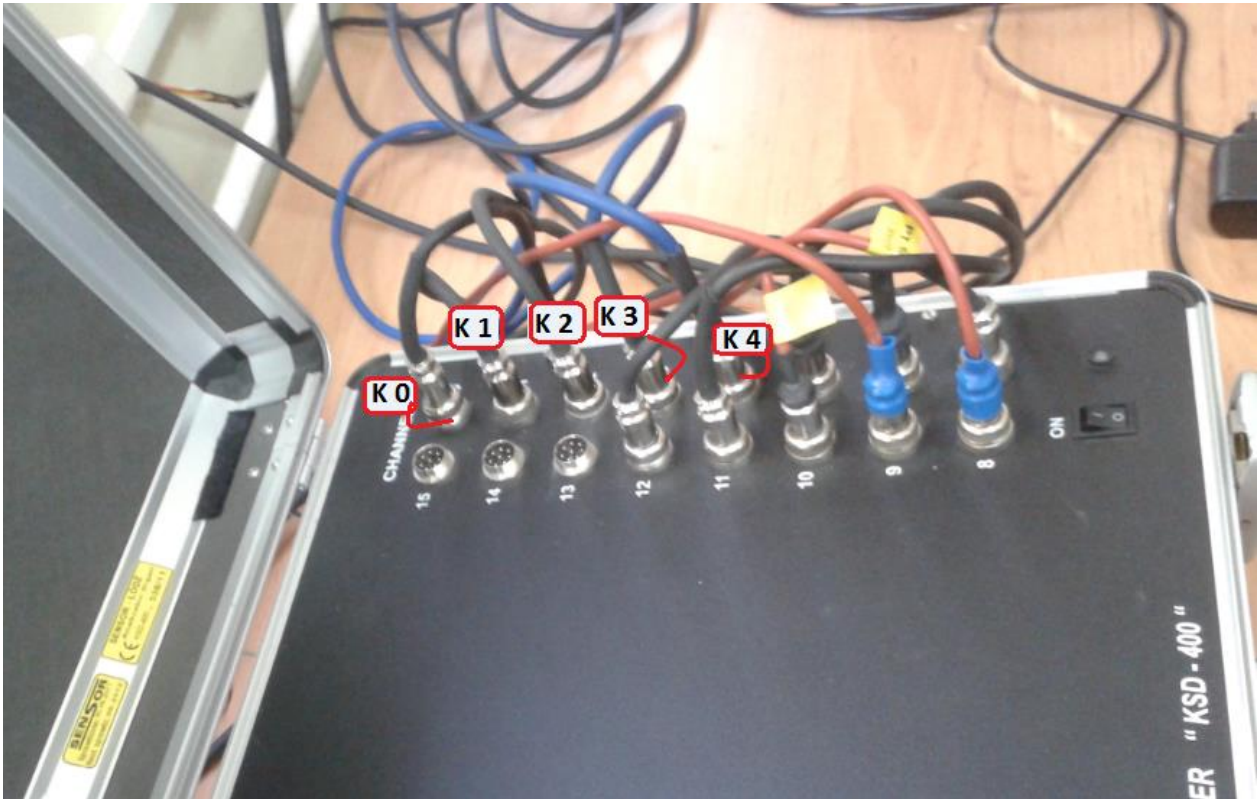
3. PRZEBIEG POMIARÓW

Kolejność operacji przy wykonywaniu ćwiczenia:

- a) przeprowadzić konfigurację stanowiska pomiarowego zgodnie z rys. 11 i 12;



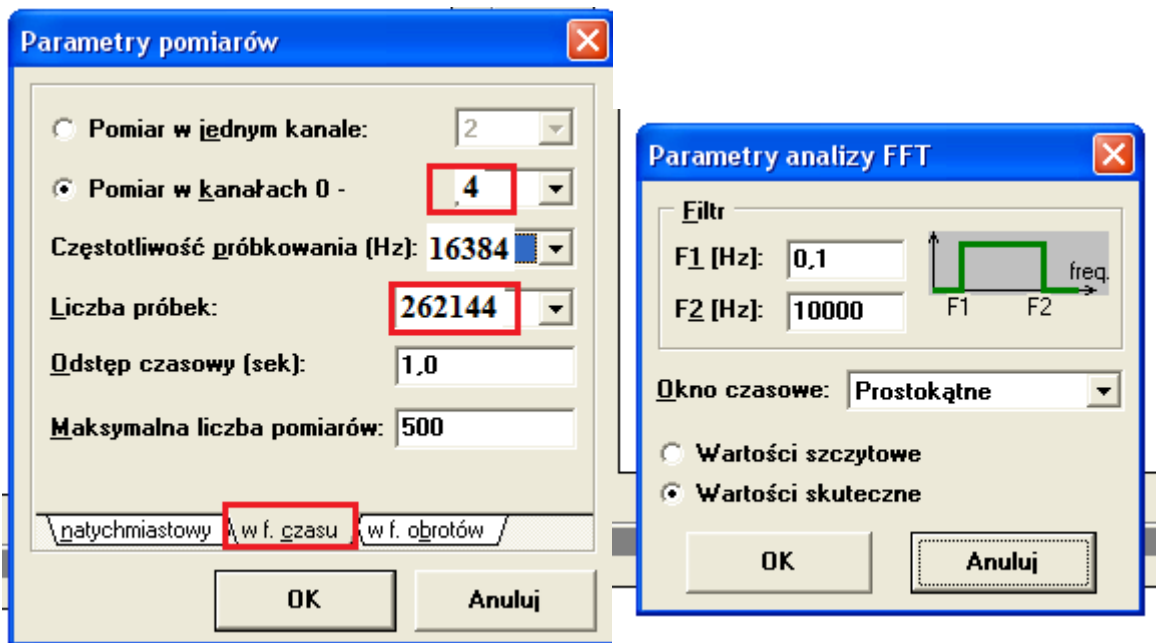
Rys.11. Konfiguracja połączeń stanowiska pomiarowego: 1- czujnik laserowy (pomiar prędkości obrotowej); K1 – czujnik piezoelektryczny Nr1 (pomiar parametrów drgań w obszarze łożyska pierwszego - płaszczyzna pionowa); K2 - czujnik piezoelektryczny Nr2 (pomiar parametrów drgań w obszarze łożyska drugiego - płaszczyzna pionowa); K3 – czujnik piezoelektryczny Nr3 (pomiar parametrów drgań w obszarze łożyska pierwszego - płaszczyzna pozioma); K4 - czujnik piezoelektryczny Nr4 (pomiar parametrów drgań w obszarze łożyska drugiego - płaszczyzna pozioma);



Rys.12. Miejsca podłączeń czujników do analizatora diagnostycznego KSD-400: K0 –czujnik laserowy obrotów; K1, K2, K3, K4 – czujniki piezoelektryczne.

b) włączyć analizator KSD i przeprowadzić konfigurację systemu:

- uruchomić program KSD_400.exe;
- wybrać: konfiguracja→parametry pomiarów (klawisz **F12**);
- ustawić częstotliwość próbkowania, liczbę próbek – rys. 13a;
- pomiar w 5 kanałach (0,1,2,3,4);
- tryb pomiaru – w funkcji czasu;
- zatwierdzić **OK**;
- wybrać: Widok→wartości RMS;
- wybrać: Widok→/min /max;
- wybrać: Widok→średnia z pomiaru;
- włączyć autoskalowanie –**Ctrl-A**;
- klawisz F10 - ustawić w parametrach analizy FFT – (rys. 13b) częstotliwość filtra F2 równą połowie częstotliwości próbkowania $f_p/2$;
- pozostałe parametry FFT – jak na rys. 13b i zatwierdzić **OK**;

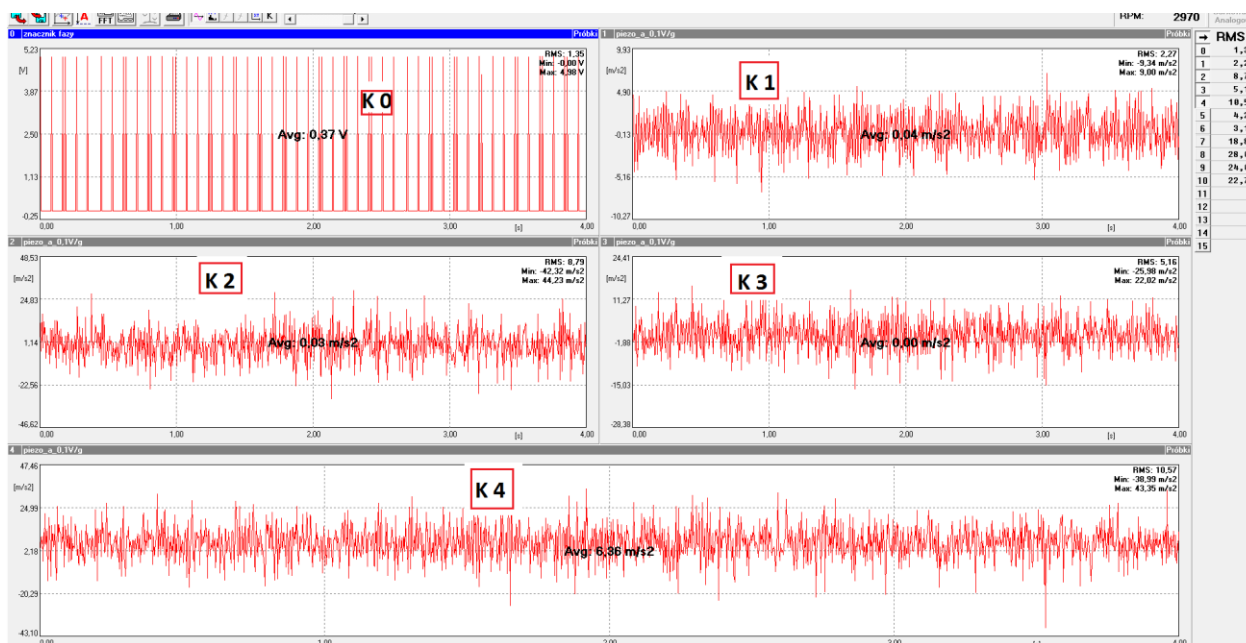


a)

b)

Rys. 13. Konfiguracja okien pomiarowych: a) ustawianie częstotliwości próbkowania, liczby próbek, kanałów pomiarowych i trybu pomiaru; b) ustawianie parametrów analizy FFT.

- c) włączyć szlifierkę (operację wykonać pod nadzorem prowadzącego);
- d) przystąpić do pomiarów; pomiary → pomiar w funkcji czasu (lub F4) i na ekranie powinny pojawić się przebiegi jak na rysunku 14;



Rys. 14. Przebiegi na ekranie komputera po uruchomieniu analizatora KSD-400.

- e) po wykonaniu serii 10 pomiarów (liczba widoczna w pasku pomiar obok menu w górnej części ekranu) wybrać: pomiary→zapisz wyniki pomiarów (Ctrl+S), wpisać nazwę pliku i zapisać;
- f) wybrać: pomiary→koniec;
- g) wyłączyć szlifierkę;
- h) włączyć program KSD-400.exe i wybrać: pomiary→odczytaj wyniki pomiarów (Ctrl+O), wczytać plik z zapisanymi pomiarami i dla wskazanych przez prowadzącego czterech numerów serii pomiarów spisać do tabeli 1 wartości RMS, max, min i średniej przyspieszenia odczytane z przebiegów czasowych;
- i) dla tych samych numerów serii pomiarów odczytać niezbędne (do uzupełnienia tabeli 1) wartości przyspieszenia, prędkości i przemieszczenia z analizy FFT – niezbędne przyciski znajdują się w pasku menu przed paskiem z Nr pomiaru;

Tabela 1. Wyniki pomiaru parametrów drgań szlifierki

Płaszczyzna pomiaru drgań		Nr pomiaru w danej serii (wskazuje prowadzący ćwiczenia)	Wartości przyspieszenia drgań „a” (odczytane z przebiegów czasowych)				Wartości RMS odczytane z przebiegów widmowych (FFT)			
							a	v		s
			m/s ²				mm/s		μm	
			średnia	max	min	RMS	RMS	RMS	ISO RMS	RMS
Łożysko Nr 1	H									
	Nr kan.									
									
	V									
	Nr kan.									
									
Łożysko Nr 2	H									
	Nr kan.									
									
	V									
	Nr kan.									
									
Wartość dopuszczalna prędkości drgań wg. PN-90/N-01358 (ISO RMS) rys. 15									-----	

j) zarejestrować przebiegi widma przyspieszenia i prędkości drgań w płaszczyźnie pionowej dla wskazanej serii pomiarowej i uzupełnić tabelę 2 oraz przeprowadzić analizę zmierzonych wartości widm.

Tabela 2. Wyniki pomiarów widma przyspieszenia i prędkości

Łożysko	Parametr	Wartości harmoniczných sygnału					
		Jedn.	1	2	3	4	5
Nr1	Częstotl.	Hz					
	Przysp.	m/s ²					
	Prędk.	m/s					
Nr2	Częstotl.	Hz					
	Przysp.	m/s ²					
	Prędk.	m/s					

W sprawozdaniu należy:

- zamieścić wybrane (wskazane przez prowadzącego ćwiczenia) przebiegi zarejestrowanych charakterystyk amplitudowych przyspieszenia, prędkości i przemieszczenia w funkcji częstotliwości;
- przeprowadzić analizę zarejestrowanych przebiegów;
- przeprowadzić ocenę stanu badanego urządzenia posługując się danymi zamieszczonymi na rys. 15 (szlifierka należy do klasy maszyn K/I);
- określić częstotliwości, przy których zaobserwowano maksymalne wartości przyspieszenia, prędkości i amplitudy rejestrowanych drgań (szczegółowych informacji udzieli prowadzący ćwiczenia).

**OCENA STANU TECHNICZNEGO MASZYN
WIRUJĄCYCH W ZALEŻNOŚCI OD WIELKOŚCI
MASZYNY I POZIOMU DRGAŃ BEZWZGLEDNYCH**

KATEGORIA MASZYNY				
mm/s	K / I	M / II	G / III	T / IV
28				
18		niedopuszczalny		
11				
7				
4,5		jeszcze dopuszczalny		
2,8				
1,8		dopuszczalny		
1,1				
0,7				
0,45		dobry		
0,28				

K - Małe maszyny, agregaty, silniki do 15 KW,
M - Średnie maszyny, silniki do 75 KW,
G - Duże maszyny z "wysokostrojonymi" fundamentami,
T - Turbozespoły na "niskostrojonych" fundamentach.

Rys. 15. Dane do oceny stanu technicznego maszyn wirujących.

4. PYTANIA KONTROLNE

1. Omówić podstawowe wielkości charakteryzujące ruch drgający i związki występujące między nimi.
2. Wymienić i zdefiniować jednostki występujące w równaniach ruchu drgającego.
3. Omówić zasady działania podstawowych przetworników stosowanych do pomiaru parametrów ruchu drgającego.
4. Omówić oddziaływanie drgań mechanicznych na organizmy żywe.
5. Omówić wpływ drgań na konstrukcje mechaniczne.
6. Wymienić przykłady urządzeń, w których drgania mechaniczne lub elektryczne stanowią istotę ich działania.
7. Omów procedurę pomiaru parametrów ruchu drgającego przy pomocy analizatora KSD-400.

5. LITERATURA

1. Osiński Zb.: *Teoria drgań.*, PWN, Warszawa 1980.
2. Łączkowski Ryszard *Wibroakustyka maszyn i urządzeń.* WNT Warszawa 1983
3. Chwaleba A., Czajewski J.: *Przetworniki pomiarowe wielkości fizycznych.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1993.
4. Polskie Normy:

PN-82/N-01350	PN-91/N-01355
PN-82/N-01351	PN-91/N-01356
PN-91/N-01352	PN-90/N-01357
PN-91/N-01353	PN-90/N-01358
PN-91/N-01354	PN-93/N-01359

5. Chwaleba A. i inni: *Metrologia elektryczna.* WNT, Warszawa 2003.
6. *Analizator diagnostyczny KSD-400. Instrukcja obsługi.* PUP "SENSOR" sc. Łódź. 2010.

WYMAGANIA BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.