

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA



WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA



KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

***FIZYKA***

Kod przedmiotu: IS01137; IN01137

**Ćwiczenie Nr 5**

**POMIARY TENSOMETRYCZNE  
PARAMETRÓW RUCHU DRGAJĄCEGO**

Autor:

*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.*

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z istotą i zastosowaniem pomiarów tensometrycznych do wyznaczania podstawowych parametrów ruchu drgającego oraz nauczenie (na przykładzie *LabVIEW* – program *National Instruments*) podstawowych zasad wykorzystywania w praktyce komputerowych systemów pomiarowych.

## 1. Podstawowe zależności charakteryzujące ruch drgający

Drganiami nazywamy procesy, w trakcie których pewne wielkości fizyczne na przemian rosną i maleją w czasie.

Drgania dzielimy:

- ze względu na cykliczność na okresowe i nieokresowe;
- ze względu na działanie sił zewnętrznych na układ drgający na swobodne i nieswobodne;
- ze względu na liniowość na liniowe i nieliniowe;
- ze względu na występowanie tłumienia na nietłumione i tłumione.

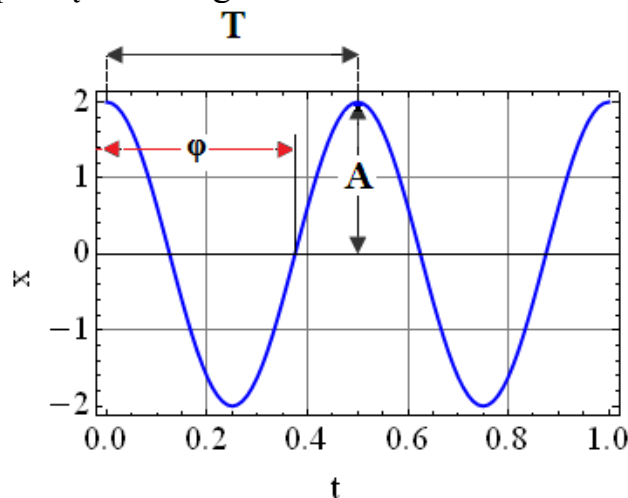
Przebieg czasowy drgań swobodnych nietłumionych przedstawiony na rys. 1 jest opisany zależnością (1):

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi), \quad (1)$$

gdzie:  $\omega_0 = 2\pi/T$  – częstotliwość drgań nietłumionych;

$A$  – amplituda drgań;

$\varphi$  – faza początkowa drgań.



Rys. 1. Wykres drgań nietłumionych.

Prędkość  $v(t)$  tych drgań możemy wyznaczyć ze wzoru (2):

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = A\omega_o \cos(\omega_o t + \varphi), \quad (2)$$

a przyspieszenie drgań  $a(t)$  wg zależności (3):

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = -A\omega_o^2 \sin(\omega_o t + \varphi). \quad (3)$$

Przebieg czasowy drgań swobodnych tłumionych (rys. 2) można zapisać w postaci (4):

$$x(t) = A_0 e^{-\rho t} \sin(\omega_1 t + \varphi), \quad (4)$$

gdzie:

$$A_0 = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{\rho x_0 + v_o}{\omega_1}\right)^2}, \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_0 \omega_1}{\rho x_0 + \dot{x}_o}, \quad \rho = \frac{\alpha}{2m_b}, \quad \omega_1 = \sqrt{\omega_o^2 - \rho^2}, \quad (6)$$

$A_0$  – amplituda drgania w chwili  $t=0$ ;

$v_o$  – prędkość początkowa drgań belki;

$\omega_1 = 2\pi/T_1$  – częstotliwość drgań tłumionych;

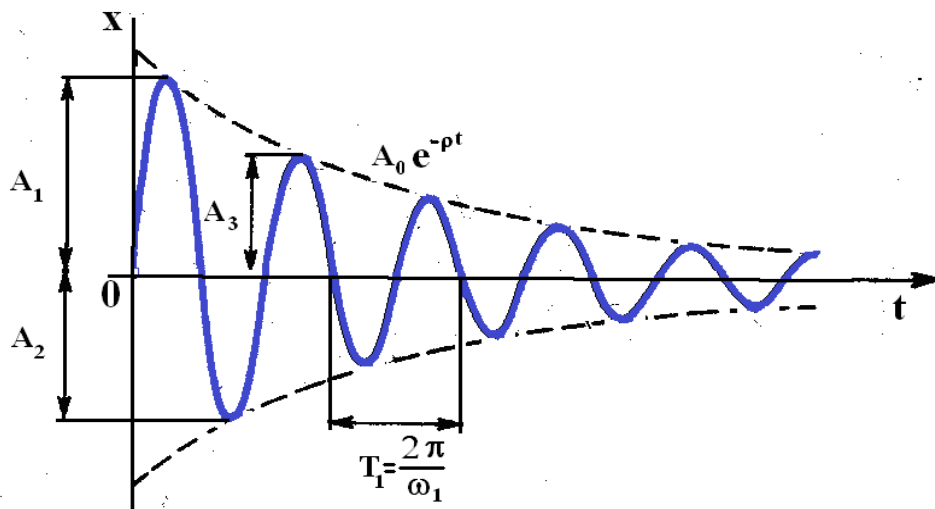
$\omega_o^2 = k/m$  – częstotliwość drgań nietłumionych;

$k$  – sztywność drgającego układu;

$m_b$  – masa drgającego układu;

$\alpha$  – opór wiskotyczny w Ns/m;

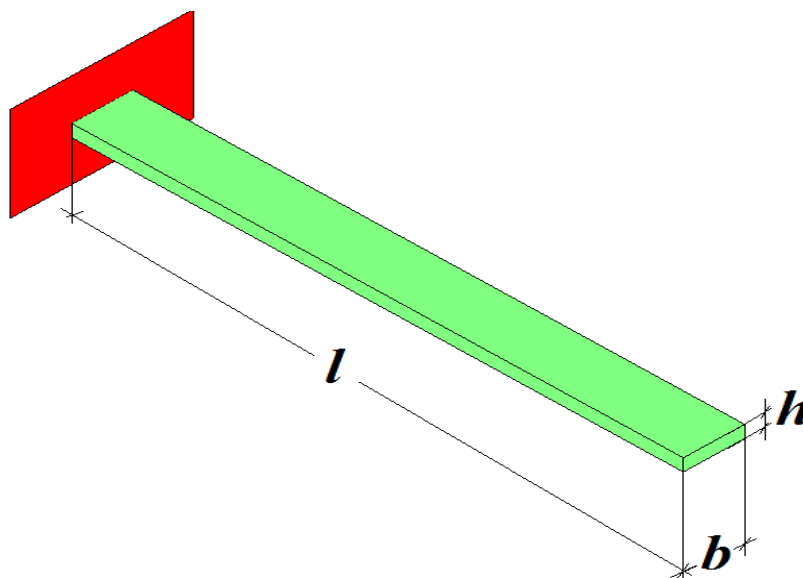
$x_o$  – wychylenie początkowe belki.



Rys. 2. Wykres drgań tłumionych.

Sztywność belki zamocowanej jednostronnie o długości  $l$ , szerokości  $b$  i wysokości  $h$  wynosi (rys. 3):

$$k = \frac{Ebh^3}{4l^3} . \quad (7)$$



Rys. 3. Belka zamocowana jednostronnie.

Częstotliwość drgań nietłumionych belki swobodnie drgającej obliczamy ze wzoru:

$$\omega_o = 2,036 \sqrt{\frac{k}{m_b}} , \quad (8)$$

natomiast dla belki obciążonej:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m_a + 0,236m_b}} , \quad (9)$$

gdzie:  $m_a = m_t + m_d$  – suma mas tłumika i obciążenia.

Częstotliwość  $\omega_{op}$  drgań nietłumionych belki możemy też obliczyć na podstawie danych pomiarowych (zarejestrowanego przebiegu drgań), a mianowicie mierząc okres drgań tłumionych i na podstawie wartości kolejnych dodatnich amplitud wyznaczając dekrement drgań  $D$ :

$$\omega_{op} = \frac{1}{T_1} \sqrt{4\pi^2 + D^2} . \quad (10)$$

Iloraz dwóch kolejnych amplitud  $A_n / A_{n+1}$  równy jest:

$$\frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{x(t)}{x(t + T_1)} = \frac{e^{-\rho t} \sin(\omega_1 t + \varphi)}{e^{-\rho(t+T_1)} \sin[\omega_1(t + T_1) + \varphi]} = e^{\rho T_1}. \quad (11)$$

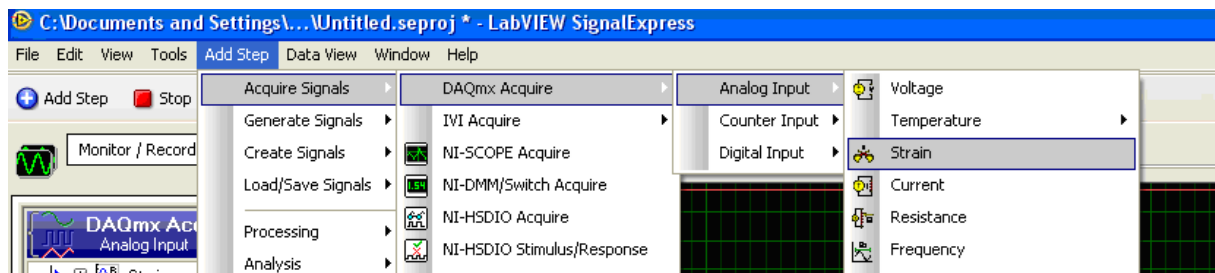
Wielkość

$$D = \ln \frac{x(t)}{x(t + T_1)} = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \rho T_1 \quad (12)$$

nazywa się logarytmicznym dekrementem tłumienia (miara tłumienia drgań), używany przy eksperymentalnym określaniu współczynnika tłumienia.

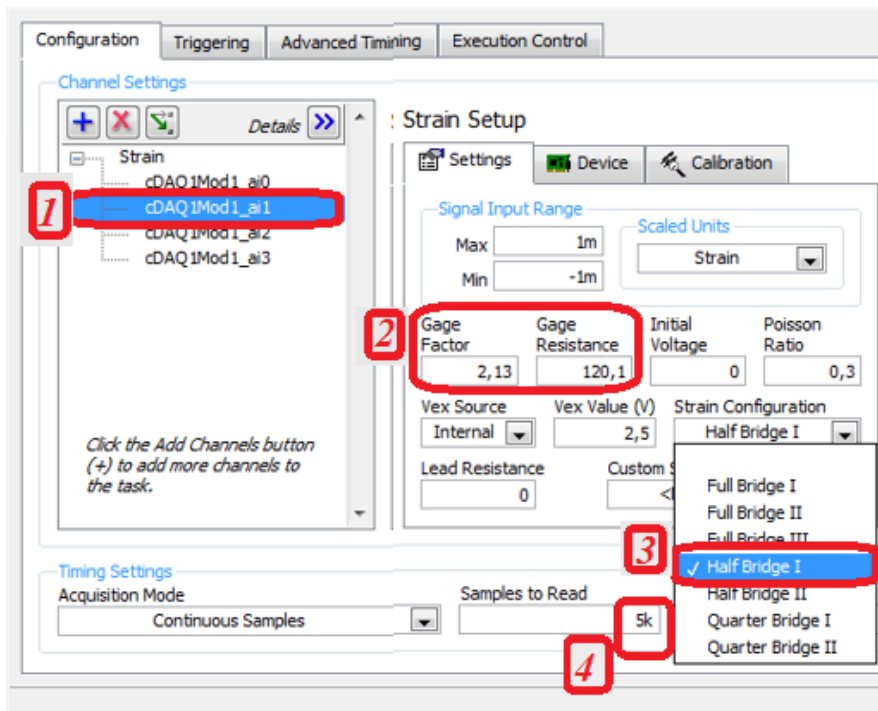
## 2. Przygotowanie do pomiarów drgań mostkiem tensometrycznym NI USB-9162

W celu dokonania pomiarów drgań przy pomocy mostka tensometrycznego National Instruments NI USB-9162 należy uruchomić program LabVIEW SignalExpress. Następnie wybrać rodzaj mierzonej wielkości w następującej kolejności: **Add Step** → **Acquire Signals** → **DAQmx Acquire** → **Analog Input** → **Strain** (rys. 4).



Rys. 4. Wybór rodzaju mierzonej wielkości.

Następnie należy przeprowadzić wybór modułu i konfigurację odpowiednich kanałów mostka (rys. 5). W tym celu należy zaznaczyć kursorem kanał **cDAQ1Mod1\_ai1** i potwierdzić „OK”



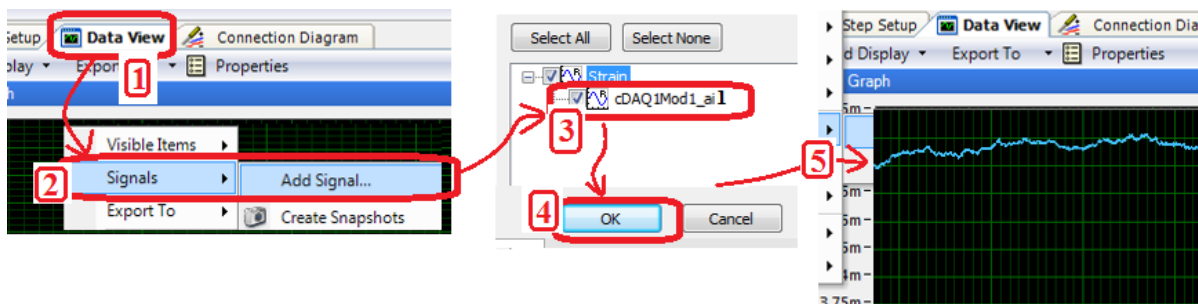
Rys. 5. Proces konfiguracji systemu NI do pomiaru drgań.

Po pojawieniu się okna jak na rys. 5 należy przeprowadzić ustawienia danego kanału, a mianowicie:

- wprowadzić wartość rezystancji tensometru (Gage Resistance -  $R=120,1$  - rys. 5 p.2);
- wprowadzić wartość stałej tensometru (Gage Factor -  $k=2,13$ -rys. 5 p.2);
- wybrać konfigurację mostka (**Half Bridge I** – pomiary w układzie półmostka - rys. 5 p.3);
- wpisać rozmiar bloku próbek (**Samples to Read** – 5k) i częstotliwość próbkowania (**Rate** – 5k) - rys. 5 p.4.

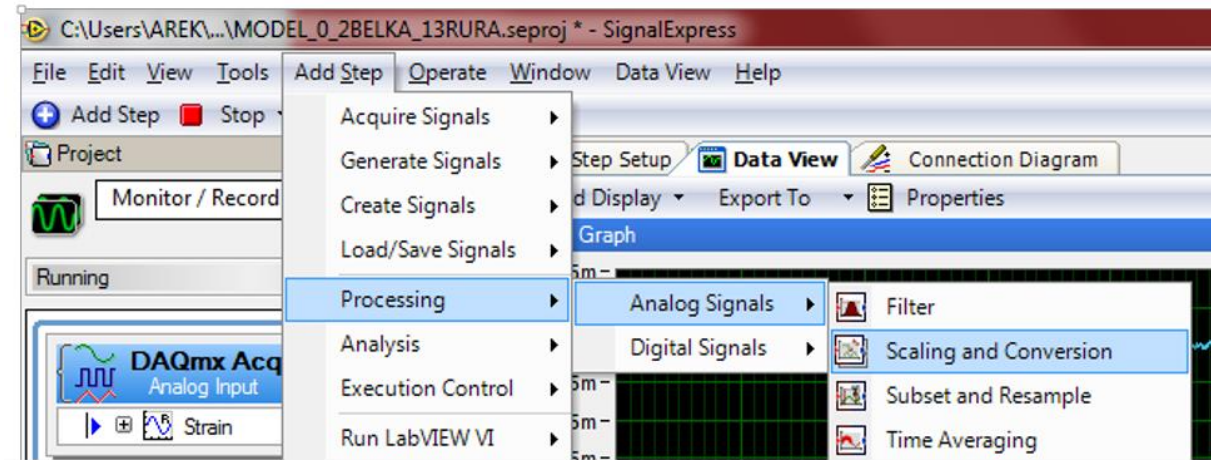
Po wykonaniu tych czynności należy uaktywnić opcję **Run** i obserwować przebieg odkształceń w wybranym kanale mostka.

W tym celu należy otworzyć okno wizualizacji wyników pomiaru **Data View** (rys. 6) i wybrać potrzebny do wyświetlania numer kanału (opcje: **Signals** → **Add Signal** → nr kanału). Usuwanie niepotrzebnych do prezentacji kanałów odbywa się przy pomocy opcji **Remove Signals**.



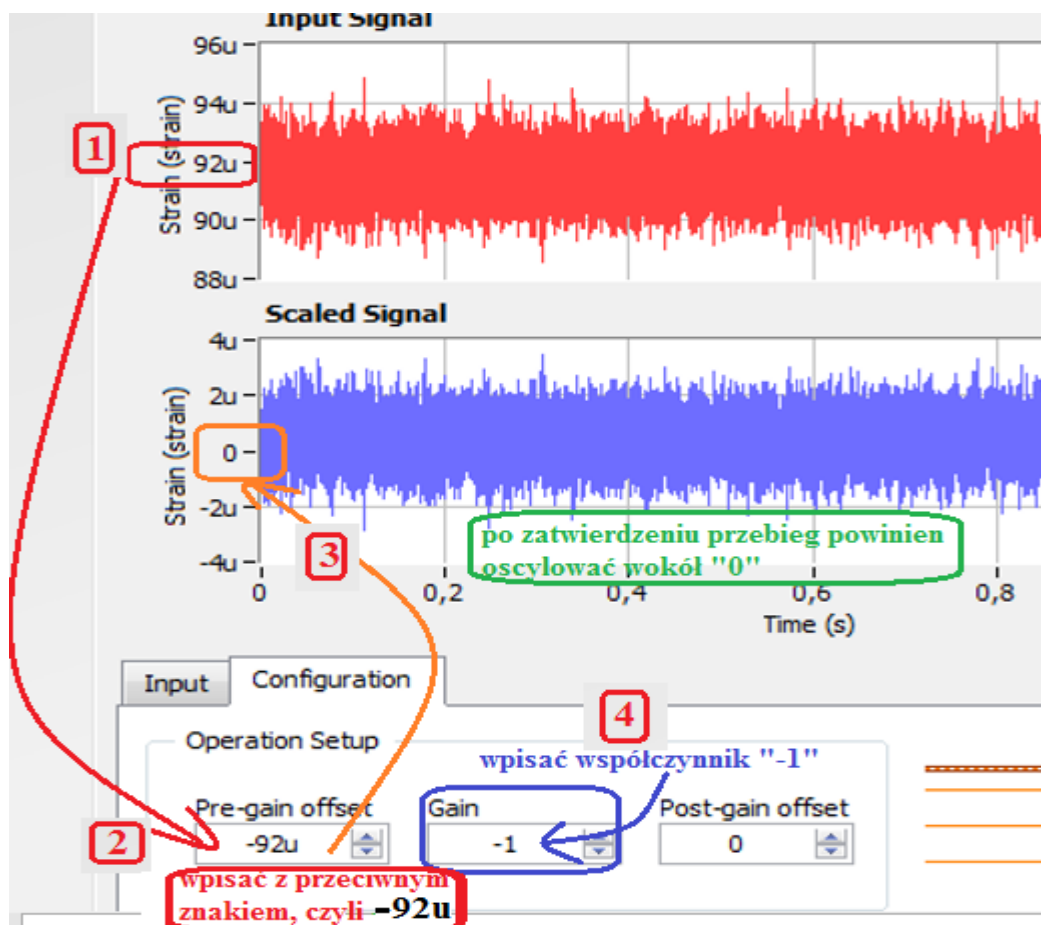
Rys.6. Etapy uaktywniania wizualizacji przebiegu.

Z obserwowanego przebiegu należy usunąć składową stałą, czyli wyzerować (rys. 7 - **Add Step** → **Processing** → **Analog Signals** → **Scaling and Conversion**).



Rys.7. Uaktywnienie opcji „Scaling and Conversion”.

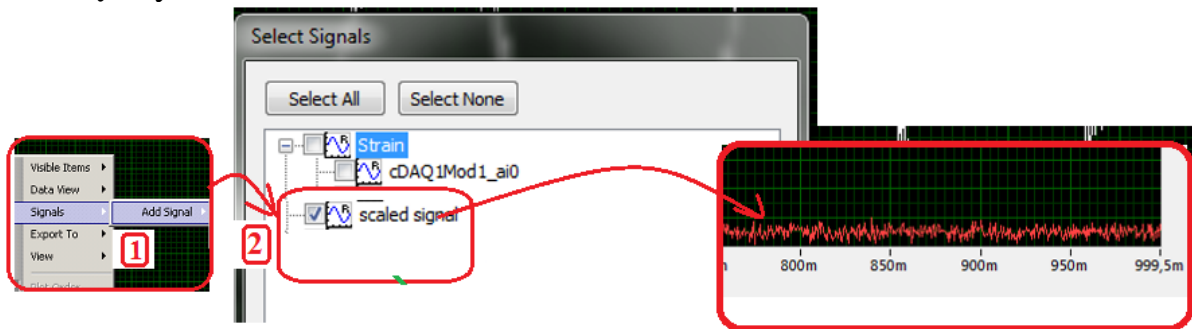
Po uaktywnieniu okna **Scaling and Conversion** kliknąć okno **Configuration** i wpisać w oknie **Pre-gain offset** wartość sygnału z górnego przebiegu (kolor czerwony) z uwzględnieniem litery oznaczającej rząd wielkości odkształceń (np.: **m** - mili, **u** – mikro - rys.8).



Rys.8. Skalowanie wybranych przebiegów.



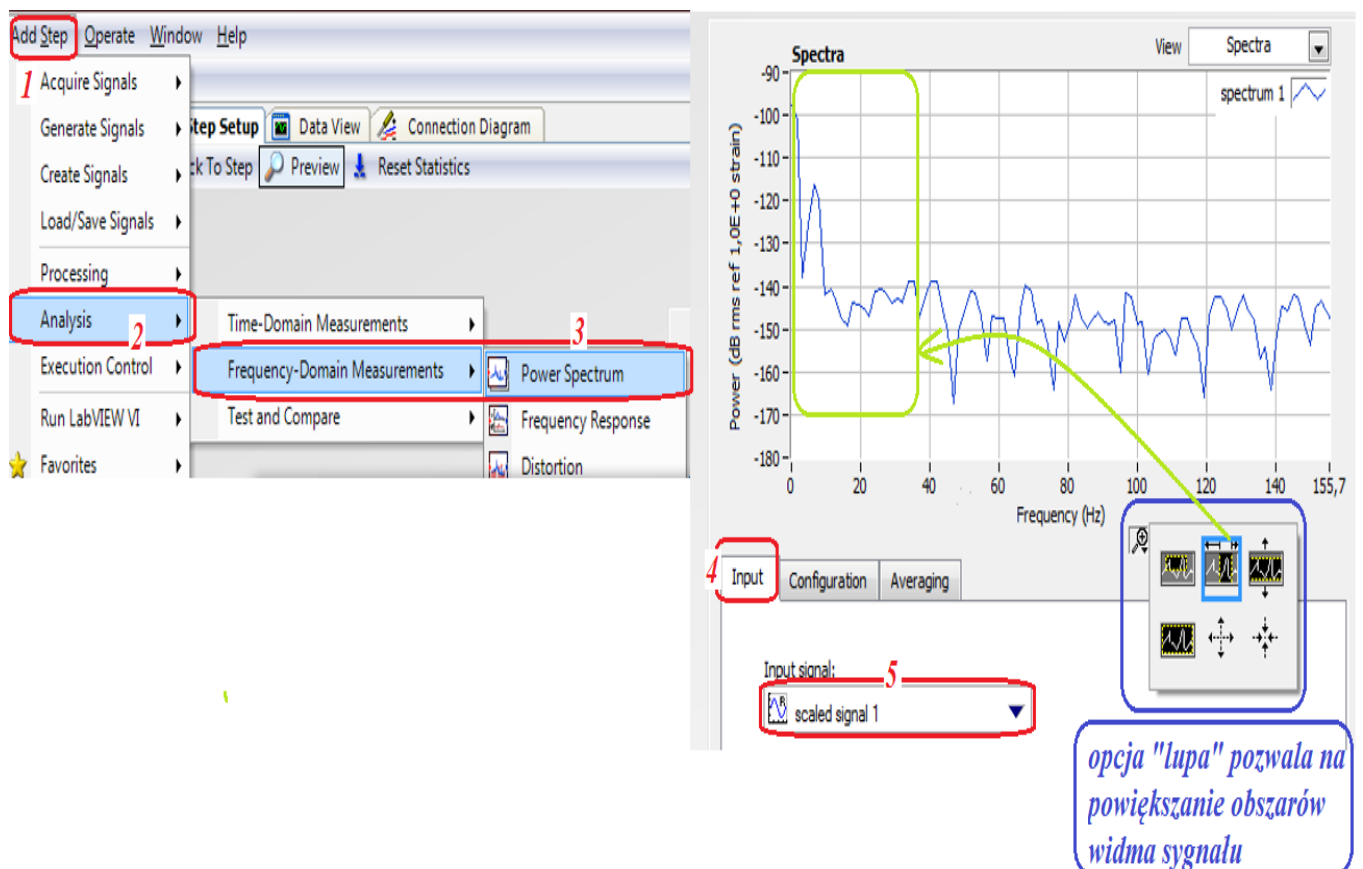
Następnie otworzyć okno wizualizacji wyników pomiaru **Data View** i usunąć kanał ai0 (opcje: **Signals** → **Remove Signals** → **cDAQ1Mod1\_ai1** – odznaczyć), a następnie dodać kanały sygnału wyzerowanego i z wartością średnią – rys.9.



Rys.9. Włączenie wizualizacji kanału: **scaled signal**.

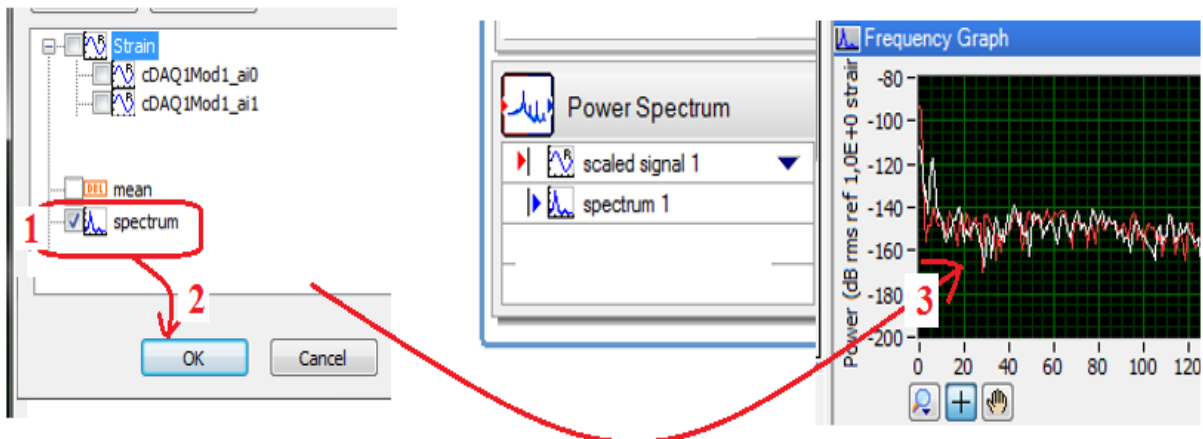
Tak skonfigurowany program jest gotowy do pomiaru parametrów drgań belki.

Kolejnym krokiem jest aktywacja opcji do analizy widma drgań, a tym samym umożliwienia pomiaru częstotliwości drgań tłumionych. Kolejność operacji jest przedstawiona na rysunku 10.



Rys. 10. Etapy aktywacji opcji analizy widmowej sygnału drgań.

Następnym krokiem jest dezaktywacja wizualizacji przebiegu **scaled signal** i aktywacja opcji „**spectrum**” (zgodnie z instrukcją na rys. 11).

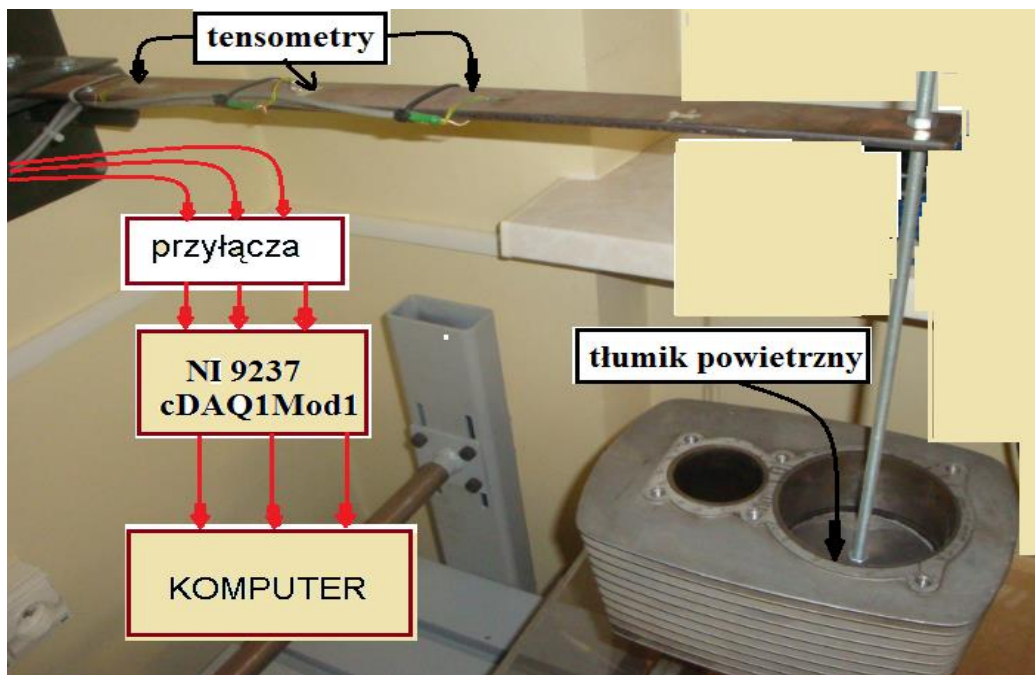


Rys. 11. Etapy aktywacji wizualizacji analizy widmowej sygnału drgań.

Po wykonaniu tych czynności program jest gotowy do pomiarów.

### 3. Przeprowadzenie pomiarów drgań mostkiem tensometrycznym NI USB-9162

1. Pomiar można rozpocząć po poprawnym wykonaniu wszystkich poleceń podanych w poprzednim rozdziale.
2. Zmierzyć wymiary belki i zanotować je w tabeli 1.
3. Zważyć wskazany przez prowadzącego ćwiczenia tłumik i ciężarki.
4. Wygasić ewentualne drgania belki (rys. 12).



Rys.12. Schemat ideowy układu do pomiaru parametrów ruchu drgającego.

5. Sprawdzić zerowanie badanego przebiegu i w razie istnienia składowej zerowej przeprowadzić ponownie operację skalowania.
6. Odchylić belkę nieobciążoną i bez tłumika od położenia równowagi i puścić.
7. Wyeksportować uzyskane przebiegi drgań belki do arkusza Excel i zapisać do pliku z nazwą np.: *drgania\_swobodne\_belki\_bez\_obciążenia*.

Tabela 1. Rezultaty pomiarów i obliczeń

Numer pomiaru	Masa dodatkowa	Rodzaj tłumika i masa	Obliczenia z przebiegów czasowych: wzory 10 i 12			Obliczenia: wzory 8 i 9	Odczytane z widma mocy	Błąd względny wyznaczenia częstotliwości drgań nietłumionych	
			$T_1$	D	$\omega_{op}$	$\omega_o$		$f_{NI}$	$\delta_{op}$
	kg		s		rad/s		Hz	%	
1	0	brak							
2	0,5	brak							
3	1,0	brak							
4	1,5	brak							
5	0	.....							
6	0,5	.....							
7	1,0	.....							
8	1,5	.....							
9	0	.....							
10	0,5	.....							
11	1,0	.....							
12	1,5	.....							

8. Wykonać pomiar częstotliwości drgań tłumionych belki (znajdowania częstotliwości, przy której jest maksimum widma mocy – rys.11 posługując się lupą powiększać odpowiednio fragment widma). W przypadku wygaśnięcia drgań ponownie wychylić belkę z położenia równowagi. **Pomiary wykonać dwukrotnie dla każdego wariantu.**

9. Powtórzyć punkty 4-8 przy sposobach tłumienia belki i dodatkowych masach wskazanych przez prowadzącego.
10. Wykorzystując zarejestrowane w arkuszu Excel przebiegi badanych drgań wyznaczyć okres drgań tłumionych  $T_1$  oraz obliczyć wartości dekrementu tłumienia i częstotliwości drgań nietłumionych (wykorzystując zależności 12 i 10). Rezultaty zamieścić w tabeli 1.
11. Obliczyć wartości błędu względnego wyznaczenia częstotliwości drgań nietłumionych z zależności:

$$\delta_{op} = \frac{\omega_o - \omega_{op}}{\omega_o} \cdot 100\%, \quad \delta_{NI} = \frac{\omega_o - \omega_{oNI}}{\omega_o} \cdot 100\%.$$

12. Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów.

**Sprawozdanie powinno zawierać:**

1. Uzupełnioną tabelę 1.
2. Wybrane przebiegi drgań uzyskane z danych wyeksportowanych do arkusza Excel.
3. Zapisane równania prędkości i przyspieszenia drgań dla wariantów wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia.
4. Analizę uzyskanych rezultatów z uwzględnieniem czynników wpływających na błąd pomiaru parametrów drgań.

## 4. Pytania kontrolne

1. Drgania, klasyfikacja, wielkości, jednostki.
2. Zdefiniuj i zilustruj ruch drgający nietłumiony.
3. Zdefiniuj i zilustruj ruch drgający tłumiony.
4. Wymień i zdefiniuj wielkości występujące w ruchu drgającym. Podaj ich jednostki.
5. Wyjaśnij zasadę działania tensometru oporowego. Jakie parametry drutu oporowego zmieniają się w wyniku rozciągania?
6. Wymień i narysuj rodzaje tensometrów, podaj ich wady i zalety.
7. Podaj definicję pulsacji własnej i tłumienia względnego, podaj ich jednostki.
8. Opisz metodykę obliczania podstawowych parametrów ruchu drgającego.
9. Opisz procedurę pomiaru podstawowych parametrów ruchu drgającego za pomocą NI.
10. Przyczyny błędów pomiaru parametrów drgań i sposoby zmniejszania tych błędów.

## 5. Literatura

1. Miłek Marian: *Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi*. Zielona Góra. Politechnika Zielonogórska, 1998.
2. Zakrzewski Jan: *Czujniki i przetworniki pomiarowe*. Gliwice. Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2004.
3. Chwaleba A. i inni: *Metrologia elektryczna*. WNT, Warszawa 2003
4. Osiński Zb.: *Tłumienie drgań*, PWN, 1997.
5. Osiński Zb.: *Teoria drgań* PWN Warszawa 1980.
6. Chwaleba Augustyn, Czajewski Jacek: *Przetworniki pomiarowe wielkości fizycznych*. Oficyna Wydawnicza PW, 1993.

### 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.