

Piezoelektryczne sensory rychu

Cel ćwiczenia

Poznanie podstawowych układów pracy sensorów piezoelektrycznych jako przetworników wielkości mechanicznych na elektryczne. Doświadczalne wyznaczenie i analiza charakterystyk przetwarzania, przetworników piezoelektrycznych w różnych układach pracy. Badanymi układami są akcelerometr piezoelektryczny oraz przetworniki energii udaru mechanicznego wykorzystujący kabel piezoelektryczny.

Wstęp

Zjawisko Piezoelektryczny polega na polaryzowaniu się kryształu w określonym kierunku na skutek dynamicznych odkształceń mechanicznych. Polaryzacja wytworzona w kryształach jest liniową funkcją naprężeń mechanicznych ją wywołujących.

$$P_i = d_{ijk} \cdot \sigma_{ik}$$

P_i - polaryzacja

d_{ijk} - ładunkowy moduł piezoelektryczny materiału

σ_{ik} - tensor naprężeń

Zjawisko Piezoelektryczne odwrotne polega na odkształcaniu się kryształu w określonym kierunku pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego. Odkształcenie kryształu jest wprost proporcjonalne do natężenia pola polaryzującego kryształ.

$$\eta_{ij} = d_{ijk} \cdot E_i$$

η_{ij} - odkształcenie kryształu

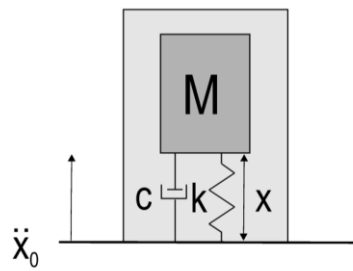
E_i - natężenie pola elektrycznego

Efekt piezoelektryczny wystąpi tylko w materiałach w których istnieje anizotropowa struktura krystaliczna (brak środka symetrii w cząsteczce). W materiałach izotropowych efekty piezoelektryczne nie wystąpią.

Akcelerometr piezoelektryczny

Jednym z najpopularniejszych czujników drgań jest akcelerometr. Konstrukcje akcelerometrów są zróżnicowane w zależności od technologii i zakresów pomiarowych, jednak można ją

zgeneralizować. Struktura typowego akcelerometru składa się z masy sejsmicznej zamocowanej na układzie sprężystym.



Rys. 1. Struktura akcelerometru

W celu wykonania pomiaru akcelerometr instaluje się na obiekcie badanym. Wtedy możemy napisać równanie

$$M\ddot{x} + k\dot{x} + cx = M\ddot{x}_0$$

M - masa sejsmiczna

\ddot{x}_0 - przyspieszenie elementu badanego

x - przesunięcie masy sejsmicznej

c - tłumienie

k - sprężystość

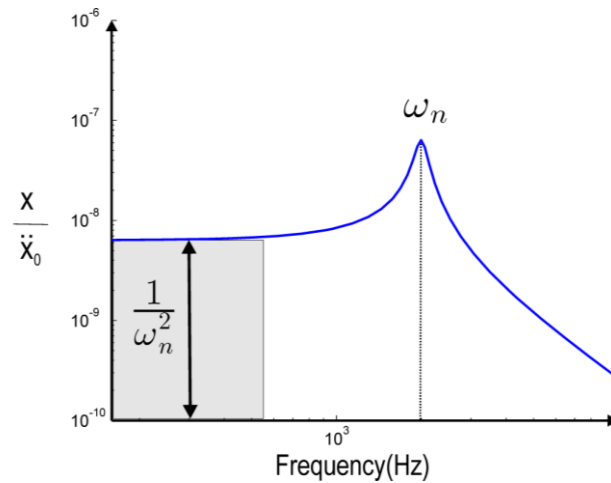
Wiedząc że pulsacja drgań własnych układu $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ oraz przyjmując uogólniony współczynnik tłumienia $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$ stosunek $\frac{x}{\ddot{x}_0}$ w dziedzinie pulsacji możemy zapisać następująco

$$\frac{x}{\ddot{x}_0} = \frac{-1}{-\omega^2 + \omega_n^2 + 2j\zeta\omega\omega_n}$$

Dla pulsacji pracy $\omega \ll \omega_n$ wyrażenie można uprościć i przybliżyć do następującej postaci

$$\frac{x}{\ddot{x}_0} \approx \frac{-1}{\omega_n^2}$$

Można zauważyć, że przy małych częstotliwościach w porównaniu z częstotliwością drgań własnych układu masa sejsmiczna-sprężyna-tłumik, Przesunięcie x masy sejsmicznej jest proporcjonalne do przyspieszenia układu badanego \ddot{x}_0 . Ponieważ współczynnik proporcjonalności wynosi $-1/\omega_n^2$, to wraz ze zmniejszeniem ω_n wzrasta czułość czujnika. Jednocześnie zmniejsza się pasmo częstotliwości, w którym odpowiedź akcelerometru jest proporcjonalna do \ddot{x}_0 .

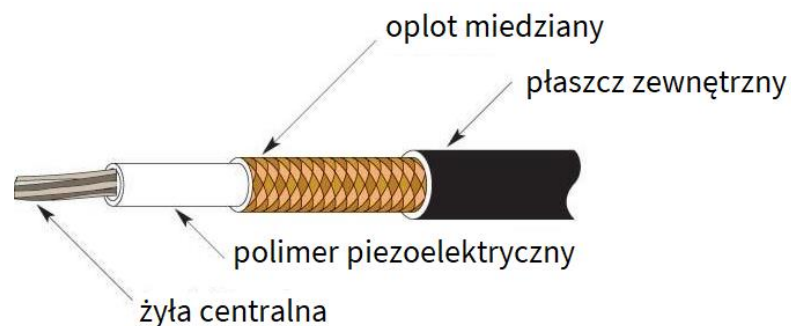


Rys. 2. Częstotliwościowe pasmo pracy akcelerometru piezoelektrycznego

Kabel Piezoelektryczny

Kabel piezoelektryczny jest kablem koncentrycznym w którym przewód centralny otoczony jest polimerem wykazującym właściwości piezoelektryczne. Najczęściej materiałem tym jest Polifluorek winylidenu $(C_2H_2F_2)_n$ o handlowej nazwie PVDF.

Wystąpienie udaru na dowolnej długości kabla powodują generację napięcia między żyłą centralną a oplotem kabla. Wartość napięcia jest proporcjonalna do energii udaru.



Rys. 3. Struktura piezoelektrycznego kabla koncentrycznego

2. Przebieg ćwiczenia

Zadaniem studentów jest samodzielne zestawieni układów pomiarowych oraz wykonanie pomiarów i zebranie charakterystyk zgodnie z programem ćwiczenia, jak również opracowanie sprawozdania końcowego z przygotowaniem odpowiedzi na pytania postawione w poniższej instrukcji.

Uwaga: Po zestawieniu układu pomiarowego, przed przystąpieniem do dalszej pracy konieczne jest sprawdzenie i akceptacja układu pomiarowego przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

W przypadku zastania połączonego układu pomiarowego koniecznym jest sprawdzenie poprawności połączeń oraz wartości początkowych obciążenia oraz napięć zasilających w obwodzie pomiarowym.

2.1 Stanowisko pracy

Do realizacji ćwiczenia przeznaczone jest stanowisko wyposażone w:

- Akcelerometr piezoelektrycznych ACH-01;
- Kabel piezoelektrycznych o długości 1,5m;
- Stół wibracyjny;
- Wzmacniacz niskoszumowy;
- Stabilizowany zasilacz laboratoryjny;
- Woltomierz laboratoryjny;
- Częstościomierz laboratoryjny;
- Komputer PC z oprogramowaniem pozwalającym na przedstawienie wyników pomiarów w sposób graficzny oraz wspomagającym wykonanie sprawozdania końcowego;
- Instrukcje wykonania ćwiczenia.

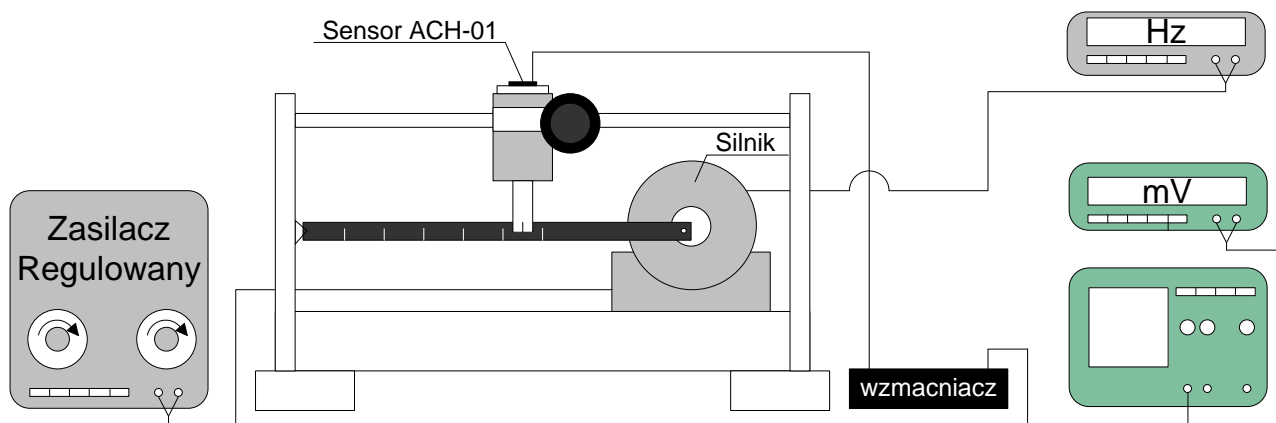
Ćwiczenie składa się z dwóch zasadniczych części. Przetworniki piezoelektryczny, którego zasada pracy bazuje na zjawiskach zachodzących w folii PVDF badany jest w układzie akcelerometru, oraz w układzie miernika energii udarów mechanicznych.

Oprogramowanie wspomagające wykonanie ćwiczenia ma postać arkusza kalkulacyjnego.

2.2 Badanie przetwornika w układzie akcelerometru

Badanym przetwornikiem jest akcelerometr ACH-01 zainstalowany na stole wibracyjnym sprzężonym z silnikiem prądu stałego. Rysunek nr 1, przedstawia w sposób poglądowy układ

pomiarowy. Zasada pracy stołu jest następująca: wraz ze wzrostem napięcia zasilającego silnik, zwiększą się częstość obrotów, co powoduje wzrost częstości drgań belki przymocowanej w sposób mimośrodkowy do wału silnika. Belka wprawia w ruch posuwisto zwrotny układ z akcelerometrem, powodując stałe przyspieszenie akcelerometru. Dodatkowo układ ma możliwość zmiany położenie wzdłuż belki co powodują zmianę amplitudy drgań akcelerometru. Dzięki temu w przedstawionym układzie pomiarowym możliwe są do osiągnięcia przyspieszenia z przedziału od 0 do 6g (gdzie g przyspieszenie ziemskie).



Rys. 4. Układ do badania akcelerometru

Charakterystyka przetwarzania $U_{wy} = f(a)$ metoda I

Charakterystykę przetwarzania badanego sensora, dysponując powyższym stanowiskiem badawczym, można wyznaczyć w dwojaki sposób. Pierwszy sposób polega na wyborze stałej częstotliwości drgań belki. Tą metodą zostaną wyznaczone dwie charakterystyki dla różnych przedziałów przyspieszenia.

O ile prowadzący nie zaleci inaczej, aby wyznaczyć, charakterystykę przetwarzania akcelerometru metodą I należy:

- Sprawdzić poprawność połączenia układu pomiarowego, włączyć wzmacniacz i inne urządzenia pomiarowe;
- Uruchomić oprogramowanie wspomagające, przejść do pierwszego punktu w ćwiczeniu „Charakterystyka przetwarzania czujnika ACH-01”;
- Ustawić na zasilaczu napięcie, powodujące częstotliwość drgań belki mniejszą od 15Hz;
- Wprowadzić częstotliwość do arkusza (tabela dla częstotliwości niskich) – spowoduje to automatyczne wyliczenie przyspieszenia w danym położeniu sensora;
- Ustawić karetkę z akcelerometrem w pozycji 0,1 i odczytać wartość skuteczną sygnały wyjściowego sensora za wzmacniaczem na woltomierzu, jednocześnie obserwując kształt sygnału na oscyloskopie;

- f) Wprowadzić pomiar do arkusza;
- g) Przesunąć karetkę o wymaganą odległość i ponownie odczytać wartość sygnału wyjściowego
- h) Pomiar wykonać dla wskazanych w arkuszu amplitud A;
- i) Po zakończeniu serii pomiarów, ustawić napięcie na zasilaczu wywołujące częstotliwość drgań belki większą od 25Hz. Wyznaczyć charakterystykę wykorzystując tabelę dla częstotliwości wyższych analogicznie jak poprzednią.

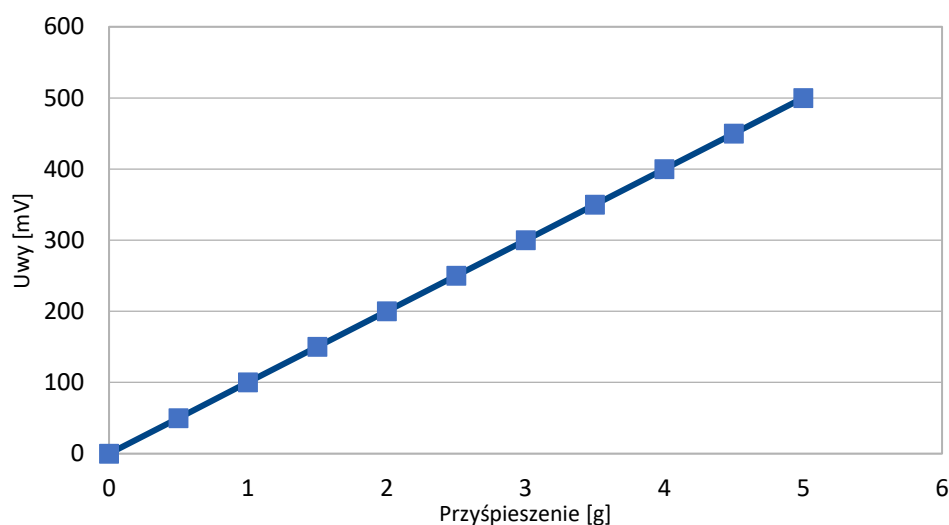
Charakterystyka przetwarzania $U_{wy} = f(a)$ metoda II

Podczas wyznaczania charakterystyki przetwarzania metodą drugą, stałą wartością jest amplituda drgań akcelerometru a zmienną częstotliwość.

O ile prowadzący nie zaleci inaczej, w celu wyznaczenia charakterystyki przetwarzania metodą II należy:

- a) Ustawić oprogramowanie wspomagające na panel „Charakterystyka przetwarzania czujnika ACH-01 metoda 2”,
- b) Ustawić karetkę z czujnikiem w położenie odpowiadające amplitudzie drgań z przedziału 0,1 ÷ 0,3mm. Wpisać wybraną wartość amplitudy do arkusza;
- c) Ustawić na zasilaczu napięcie wywołujące częstotliwość drgań, zgodnie z tabelą;
- d) Zapisać wartość sygnału wyjściowego dla danej częstotliwości drgań belki;
- e) Wykonać zalecaną liczbę punktów pomiarowych;
- f) Ustawić karetkę z czujnikiem w położenie odpowiadające amplitudzie drgań z przedziału 0,8 ÷ 1,1mm. Wpisać wybraną wartość amplitudy do arkusza. Korzystając z tabeli dla wyższych amplitud wyznaczyć charakterystyki analogicznie jak poprzednią

Wyidealizowana charakterystyka akcelerometru przedstawiona jest na rysunku 5



Rys. 5. Wyidealizowana charakterystyka akcelerometru piezoelektrycznego

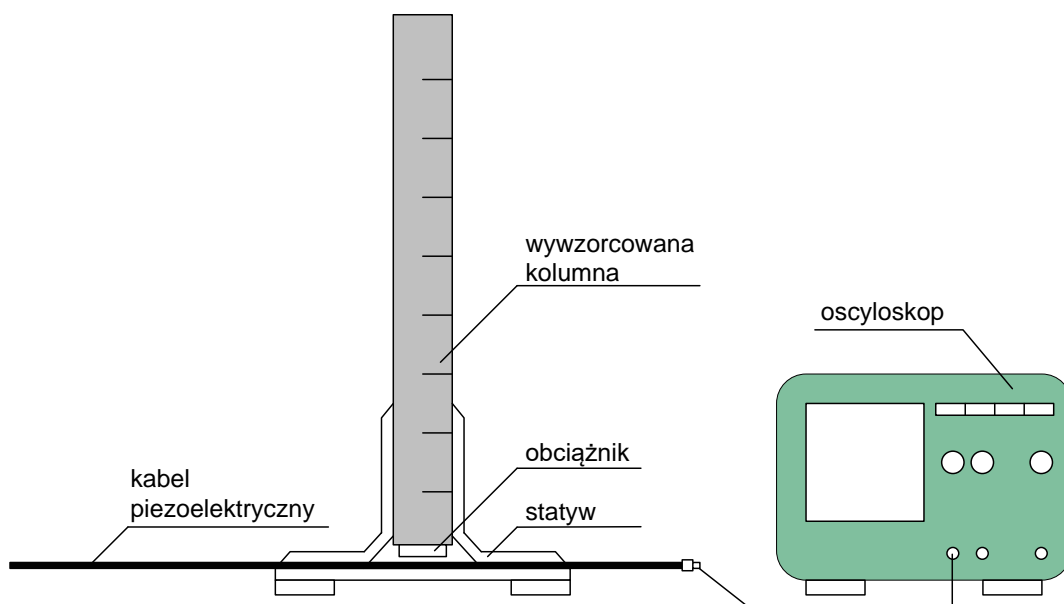
Po zebraniu charakterystyk wykres należy przeanalizować i omówić następujące problemy

1. Uzasadnić kształt otrzymanych charakterystyk;
2. Porównać charakterystyki z charakterystykami idealnym badanego sensora;
3. Czy istnieje korelacja między charakterystykami uzyskanymi dzięki pierwszej i drugiej metodzie?
4. Jakie parametry czujniki można wyznaczyć z otrzymanych charakterystyk
5. Porównać wyniki z dokumentacją sensora
6. Do jakich potencjalnych zastosowań można użyć powyższy sensor?

2.3 Badanie parametrów kabla piezoelektrycznego

Parametry kabla piezoelektrycznego badane są w układzie miernika energii uderzeń mechanicznych. Układ ten przedstawiony jest na rysunku 6.

Kabel piezoelektryczny pobudzany udarami, generuje impuls napięciowy o wartości maksymalnej proporcjonalnej do energii uderzenia. Przedstawiony na rysunku 6 układ pomiarowy pozwala na zdjęcie charakterystyki $U_{max} = f(E)$ gdzie U_{max} jest wartością maksymalną impulsu napięciowego natomiast E energią uderzenia. Energia uderzenia obliczana jest na podstawie energii potencjalnej obciążnika o stałej masie umieszczonego wewnątrz wywzorcowanej kolumny.

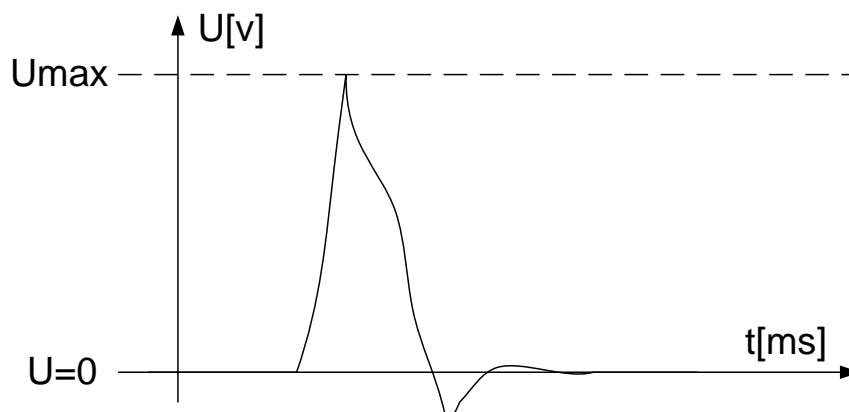


Rys. 6. Układ miernika energii uderzeń mechanicznych, bazujący na kablu piezoelektrycznym

O ile prowadzący nie zaleci inaczej, aby zebrać charakterystykę $U_{max}=f(E)$ należy:

- a) Zestawić układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 6;
- b) Zwrócić szczególną uwagę na stabilne przymocowanie kabla pod dnem kolumny;

- c) Ustawić oscyloskop w tryb pozwalający odczytać wartość maksymalną pojedynczego impulsu;
- d) Przetestować układ pojedynczym udarem, zmierzyć wartość napięcia – przykładowy impuls z zaznaczonymi wartościami napięcia przedstawia rysunek 7;



Rys. 7. Przykładowy impuls generowany podczas udaru

- e) W programowaniu wspomagającym przejść do panelu „Badanie kabla piezoelektrycznego”, przedstawionego na rysunku nr 8;
- f) Umieścić obciążnik wzorcowy w kolumnie na wysokości najniższej szczeliny, (co odpowiada energii impulsu równej 20mJ);
- g) Opuścić bezwładnie obciążniki, zapisać wartość maksymalną wygenerowanego impulsu;
- h) W celu uniknięcia błędu przypadkowego dla każdej ze szczelin wykonać minimum 5 pomiarów, wartości skrajne odrzucić pozostałe uśrednić i wstawić do oprogramowania (wszystkie wyniki notować w sprawozdaniu);
- i) Wykonać zalecaną liczbę punktów pomiarowych;

Po wykonaniu charakterystyki należy omówić następujące problemy

1. Wyjaśnić kształt uzyskanej charakterystyki.
2. Jakie parametry kabla mogą wpływać na taki a nie innych kształt charakterystyki?
3. Podać przykładowe możliwości zastosowania kabla piezoelektrycznego.

Po wykonaniu pomiarów należy wyłączyć przyrządy pomiarowe i rozłączyć układ oraz uporządkować stanowisko laboratoryjne.

3. Sprawozdanie

W sprawozdaniu powinny znaleźć się:

- Schematy układów pomiarowych;
- Wyniki pomiarów;
- Otrzymane charakterystyki;
- Odpowiedzi na pytania zawarte w instrukcji;
- Wnioski własne i spostrzeżenia dotyczące pracy badanych układów

Sprawozdanie przekazać prowadzącemu zajęcia laboratoryjne.