

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

INSTYTUT FIZYKI

LABORATORIUM
FIZYKI CIAŁA STAŁEGO

ĆWICZENIE Nr 9

**Pomiary zależności temperaturowej
częstości drgań własnych kwarcu
metodą zdudnień i metodą krzywych Lissajous**

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem piezoelektrycznym oraz zapoznanie się z techniką eksperymentalną wykorzystującą efekt zdudniania dwóch sygnałów..

Wstęp

Własności piezoelektryczne są cechą bardzo często spotykaną wśród kryształów (około 10000 kryształów posiada własności piezoelektryczne). Do najbardziej znanych i wykorzystywanych piezoelektryków należą: kwarc, turmalin, KH_2PO_3 (KDP) oraz BaTiO_3 .

Piezoelektryki wykorzystuje się w technice do stabilizacji częstości drgań generatorów w zegarach czy radiostacjach. Używa się ich także do wytwarzania i odbioru fal mechanicznych, co ma zastosowanie w mikrofonach, adapterach, generatorach i odbiornikach ultradźwiękowych, zgrzewarkach i precyzyjnych urządzeniach czyszczących. Zależność częstości od temperatury wykorzystuje się w precyzyjnych termometrach. Również współczesne tensometry oparte są na zjawisku piezoelektrycznym.

Zewnętrznie piezoelektryczność pojawia się w ten sposób, że pod wpływem pewnych naprężeń mechanicznych pojawiają się ładunki w określonych miejscach kryształu. Określając stan naprężenia kryształu przy pomocy tensora drugiego rzędu σ_{ik} , a jego polaryzację elektryczną, przy pomocy wektora P_i równania efektu piezoelektrycznego, możemy zapisać w postaci:

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

gdzie: $i, j, k = 1, 2, 3$ zaś współczynniki d_{ijk} nazywamy modułami piezoelektrycznymi. Współczynniki d_{ijk} określają własności piezoelektryczne kryształu.

Analogicznie, zjawisko piezoelektryczne odwrotne, które polega na deformowaniu kryształu pod wpływem przyłożonego do niego pola elektrycznego, można opisać przy pomocy równania:

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

gdzie: $i, j, k = 1, 2, 3$

E_k - składowa natężenia pola elektrycznego, oddziaływującego na kryształ
 d_{ijk} - składowa tensora modułów piezoelektrycznych
 η_{ij} - składowa tensora odkształcenia kryształu.

Fizycznie, fakt powstawania wektora polaryzacji w kryształach piezoelektrycznym spowodowany jest przemieszczeniem jonów w sieci krystalicznej. Przez wektor polaryzacji rozumie się moment elektryczny na jednostkę objętości, który równy jest ładunkowi elektrycznemu, indukowanemu na jednostce powierzchni prostopadłej do kierunku wektora polaryzacji.

Częstość drgań płytki piezoelektrycznej zależy od rodzaju materiału, wymiarów, typu cięcia i gęstości. Dla przykładu, częstość drgań własnych ω przetwornika grubościowego dla danego materiału określona jest tylko przez grubość d o ile wymiary poprzeczne są duże w porównaniu z tą grubością

$$\omega = \frac{n}{4\pi \cdot d} \sqrt{\frac{C_{nn}}{\rho_1}} = \frac{nC_1}{4\pi \cdot d}$$

Gdzie: n - liczba porządkowa drgania własnego (rzęd harmonicznej)

C_{nn} - moduł sprężystości w kierunku grubości

ρ_1 - gęstość

Starzenie się kryształu oraz zmiany temperatury to główne przyczyny zmiany częstości drgań własnych kryształu. Starzenie się kryształu prowadzące do zmiany jego własności sprężystych jest wywołane powstawaniem oraz ruchem defektów sieci krystalicznej. Zależność temperaturowa częstości drgań własnych kryształu piezoelektrycznego jest wynikiem zależności od temperatury modułów sprężystości kryształu, współczynników jego rozszerzalności cieplnej oraz gęstości.

W większości zastosowań technicznych ważna jest stabilność drgań, a zmiany temperaturowe częstości są nieporządane.

Jednak odpowiednio wybrane cięcie kryształu może zminimalizować lub wprost doprowadzić do zera temperaturowy współczynnik częstości drgań.

W tym przypadku zależność temperaturową częstości drgań można opisać wzorem:

$$\omega(T) = \omega_0 [1 + \alpha_1 (T - T_0) + \alpha_2 (T - T_0)^2 + \dots]$$

gdzie: ω_0 i T_0 – odpowiednio częstość drga i temperatura kryształu, przy której współczynnik temperaturowy częstości drgań jest równy zeru.

Większość znanych kryształów o zerowym współczynniku temperaturowym wykazuje paraboliczną zależność względnych zmian częstości $(\omega - \omega_0)/\omega_0$ od temperatury.

Opis metody pomiaru

W ćwiczeniu wyznaczamy częstość drgań płytki kwarcowej w funkcji temperatury poprzez jej porównanie z częstością drgań płytki odniesienia pozostającej w stałej temperaturze.

W tym celu drgania obu płytek są ze sobą zdudniane, a powstały zdudniony przebieg podawany jest na płytce odchylenia pionowego oscyloskopu. Ponieważ jednocześnie na płytce odchylenia poziomego podawany jest sygnał z generatora wzorcowego, to na ekranie oscyloskopu obserwujemy tzw. figury Lissajous – dla przykładu, jeśli na ekranie zaobserwujemy elipsę, to stosunek porównywanych częstości jest jak 1:1, jeśli ósemkę, to jak 1:2 itp.

Założmy, że płytka odniesienia drga z częstością ω_0 , a płytka badana z częstością ω_1 . Niech A oznacza amplitudę obydwu tych drgań. Wówczas drgania płytek, z dokładnością do fazy, opisane są równaniami:

$$\begin{aligned} & \text{- płytka odniesienia} & y_0 &= A \cos(\omega_0 t) \\ & \text{- płytka badana} & y_1 &= A \cos(\omega_1 t) \end{aligned}$$

przyjmując oznaczenia:

$$\omega = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega_1) \approx \omega_0 \quad \omega_{dud} = \frac{1}{2}(\omega_0 - \omega_1)$$

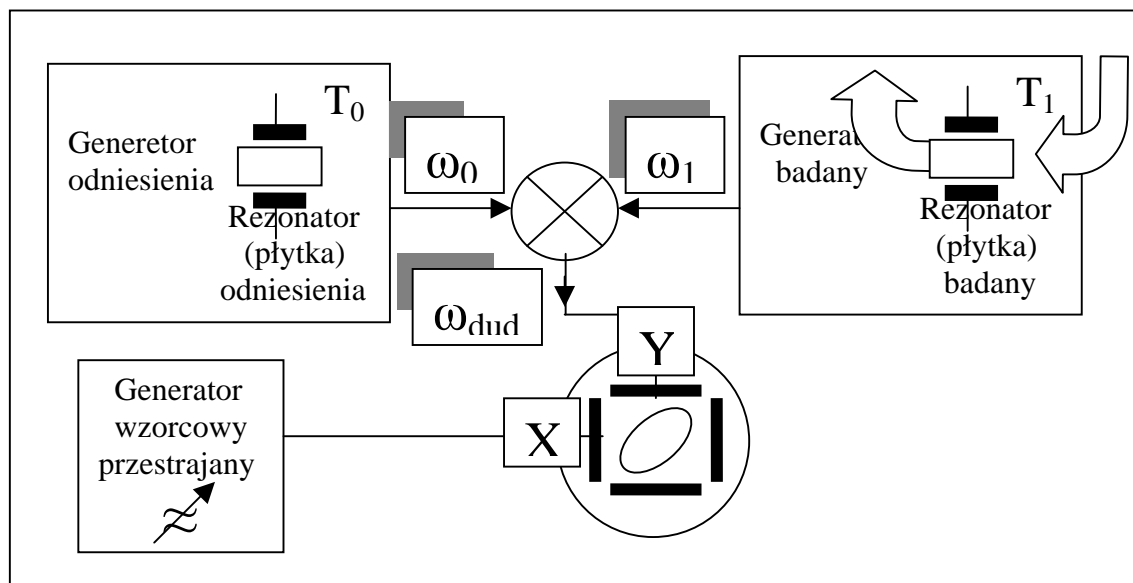
możemy zapisać równanie: $y = y_0 + y_1 = A \cos(\omega_0 t) + A \cos(\omega_1 t) = 2A \cos(\omega_{dud} t) \cdot \cos(\omega t)$ jeśli tylko $\omega_0 \gg \omega_{dud}$, a ω_0 i ω_1 są dostatecznie bliskie, wówczas $2A \cos(\omega_{dud} t)$ możemy potraktować jako amplitudę drgań zmieniających się z częstością ω_{dud} . Mierzac częstość zdudnień oraz znając częstość drgań płytki odniesienia możemy wyznaczyć częstość płytki badanej ω_1 .

Kolejność wykonywanych czynności

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem połączeń na Rys.1. Sygnał z generatora kwarcowego dostępny jest poprzez gniazdo BNC, zaś sygnał zdudniony poprzez gniazda banankowe.

Temperaturę badanego rezonatora kwarcowego ustalamy przy pomocy ultratermostatu, wykorzystując system zewnętrznego obiegu wody o zadanej temperaturze. Pomiarów dokonujemy co około 10°C , w przedziale temperatur $15 \div 85^{\circ}\text{C}$.

Dla każdej z tych temperatur należy zmierzyć częstość zdudnień – po pierwsze, poprzez obserwację przebiegu na oscyloskopie z włączoną podstawą czasu i po drugie, z wyłączoną podstawą czasu, w trybie X-Y obserwując figury Lissajous.



Rys.1. Schemat metody pomiaru częstości drgań płytki rezonatora kwarcowego metodą zdudnień sygnałów ω_0 i ω_1 .

Opracowanie wyników pomiarów

Wykonać wykresy zmian częstości drgań badanego rezonatora kwarcowego w funkcji temperatury, wykorzystując obydwie metody pomiaru ω_{dud} . Porównać dokładności tych pomiarów. Narysować wykresy $(\omega - \omega_0)/\omega_0$ w funkcji różnicy temperatur $(T - T_0)$ i kwadratu różnicy temperatur $(T - T_0)^2$. Określić współczynniki α_1 i α_2 . Przyjąć T_0 jako temperaturę pokojową dla której pomierzona jest częstość ω_0 .

Zakres obowiązującego materiału

1. Zjawiska piezoelektryczne i elektrostrykcyjne
2. Zastosowanie praktyczne piezoelektryków. Rezonator kwarcowy. Rezonator piezoelektryczny
3. Metody pomiaru częstości drgań. Dudnienia. Krzywe Lissajous. Oscyloskop

Literatura

1. B. Gniewska, Cz. Klimek : *Rezonatory i generatory kwarcowe*. W-wa : WKŁ, 1980
2. T. Krajewski : *Zagadnienia fizyki dielektryków*. W-wa : WKŁ, 1970
3. I. F. Nye : *Własności fizyczne kryształów*. W-wa : PWN, 1962
4. W. A. Wooster : *Doświadczalna fizyka kryształów*. W-wa : PWN, 1961
5. N. Lurch : *Podstawy techniki elektronowej*. W-wa : PWN, 1976
6. *Encyklopedia Fizyki PWN*
7. J. Rydzewski : *Oscyloskop elektroniczny*. W-wa : WKŁ, 1980