

MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU Z PODSTAW ZASTOSOWAŃ ULTRADŹWIĘKÓW W MEDYCYNIE

(wyłącznie do celów dydaktycznych – zakaz rozpowszechniania)

5b. Materiały elektromechanicznie aktywne, przetworniki piezoelektryczne i piezomagnetyczne, analiza pracy przetwornika piezoelektrycznego.

S3. Materiały elektromechanicznie aktywne

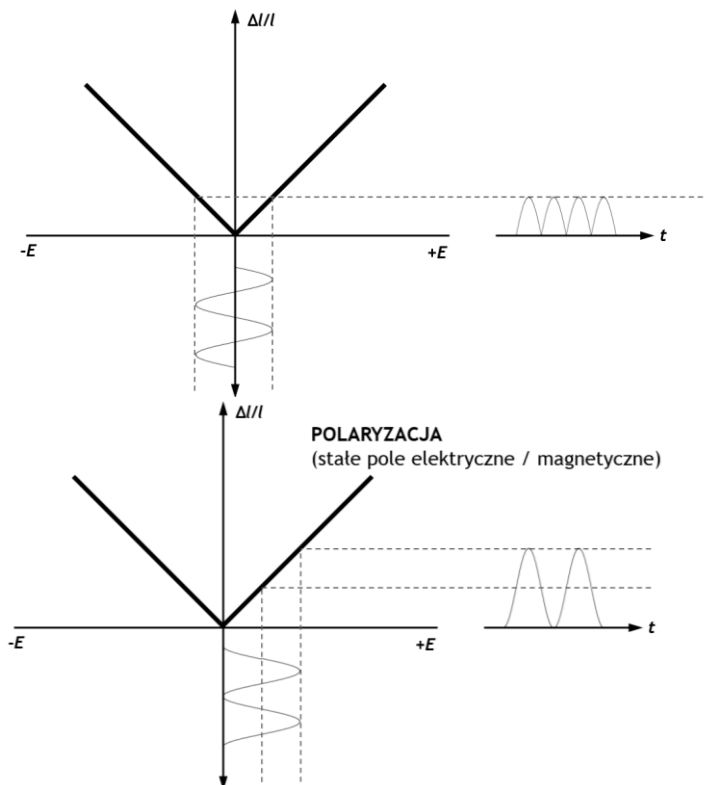
(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Energia elektryczna \leftrightarrow energia akustyczna

Zjawisko piezoelektryczne / piezomagnetyczne \rightarrow wywoływanie odkształceń i naprężeń pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego / magnetycznego

S4-5. Materiały elektromechanicznie aktywne

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)



S6. Materiały elektromechanicznie aktywne

(Matauschek, J., Technika ultradźwięków, WNT, Warszawa, 1961)

str 96

Wszystkie materiały o uporządkowanej wewnętrznie krystalicznej budowie (monokryształy) są spolaryzowane (trwale), natomiast materiały polikrystaliczne zbudowane z drobnych nieuporządkowanych kryształitów są elektrostrykcyjne lub magnetostrykcyjne.

S7. Przetworniki piezoelektryczne i piezomagnetyczne

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Różnią się zasadniczo: konstrukcją, częstotliwością pracy, zakresem zastosowań

S8-9. Podstawowe materiały piezoelektryczne

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

<p>Turmalin Występują naturalnie - borokrzemiany metali - obecnie nie wykorzystywane.</p> <p>Kwarc Niewielkie zastosowanie ze wzgl. na wyjątkowo małe straty i dużą stabilność parametrów; słabe zjawisko piezoelektryczne.</p>	<p>Siarczan litu Sól Seignetta</p> <p>Rzadko wykorzystywane, mają właściwości piezoelektryczne lepsze niż kwarc ale nie wyróżniają się w porównaniu z ceramiką polikrystaliczną. Sól Seignetta jest wrażliwa na wilgoć.</p>	<p>Szeroko stosowana (piezoceramika), składa się z drobnych krystalitów, które z kolei składają się z dużej liczby komórek krystalicznych.</p> <p>Podstawowe składniki piezoceramiki: Tytanian baru: BaTiO_3 tzw. BAT Tytanian-cyrkonian ołowiu: $\text{PbZr}_{0.54}\text{Ti}_{0.46}\text{O}_3$ tzw. PZT Tytanian ołowiu: PbTiO_3 Niobian ołowiu: PbNb_2O_6</p>
---	--	---

S10-11. Ceramika polikrystaliczna

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Składa się z drobnych krystalitów, a te składają się z komórek krystalicznych.

SPONTANICZNA POLARYZACJA

TRWAŁA POLARYZACJA

Ceramika tytanianowa → silne właściwości piezoelektryczne → duże odkształcenia przy małym napięciu

WADY:

Obecnie stosuje się powszechnie piezoceramikę o lepszych właściwościach energetycznych → 3 razy większy punkt Curie:

Tytanian-cyrkonian ołowiu

$\text{PbZr}_y\text{Ti}_{1-y}\text{O}_3$

PZT

Niobian ołowiu

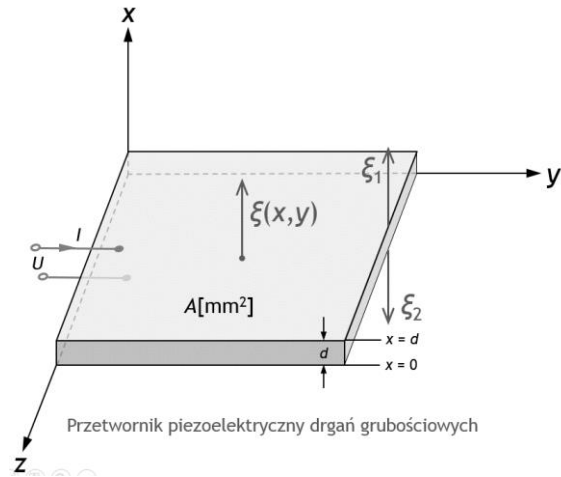
PbNb_2O_6

Szczegółowe właściwości materiałów piezoelektrycznych: E. Talarczyk, *Podstawy techniki Ultradźwięków*, str 150

S13. Analiza pracy przetwornika piezoelektrycznego – analiza ogólna

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Podstawą działania przetwornika piezoelektrycznego jest wzajemne oddz. naprężeń i odkształceń względnych materiału piezoelektrycznego na natężenie i indukcję pola elektrycznego.



$$D = f_1(E, S)$$

$$T = f_2(E, S)$$

Celem analizy pracy przetwornika jest wyznaczenie zależności między wielkościami na wyjściach mechanicznych przesunięć ξ_1 oraz ξ_2 oraz sił F_1 oraz F_2 a wielkościami na wejściu elektrycznym U oraz I .

S14-16. Równanie stanu

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

$$[E] = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad [D] = \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix} \quad [T] = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} \quad [S] = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = T_{xx} \\ T_2 = T_{yy} \\ T_3 = T_{zz} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} T_4 = T_{yz} = T_{zy} \\ T_5 = T_{xz} = T_{zx} \\ T_6 = T_{xy} = T_{yx} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} S_1 = \frac{\partial \xi_x}{\partial x} \\ S_2 = \frac{\partial \xi_y}{\partial y} \\ S_3 = \frac{\partial \xi_z}{\partial z} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} S_4 = \frac{\partial \xi_y}{\partial z} + \frac{\partial \xi_z}{\partial y} \\ S_5 = \frac{\partial \xi_z}{\partial x} + \frac{\partial \xi_x}{\partial z} \\ S_6 = \frac{\partial \xi_x}{\partial y} + \frac{\partial \xi_y}{\partial x} \end{array} \right\}$$

$$dD_j = \sum_{i=x,y,z} \frac{\partial D_j}{\partial E_i} dE_i + \sum_{k=1}^{k=6} \frac{\partial D_j}{\partial S_k} dS_k$$

$$dT_l = \sum_{i=x,y,z} \frac{\partial T_l}{\partial E_i} dE_i + \sum_{k=1}^{k=6} \frac{\partial T_l}{\partial S_k} dS_k$$

$$\left. \frac{\partial D_j}{\partial E_i} = \varepsilon_{ji} \right\} \quad [\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{bmatrix}$$

$$\left. \frac{\partial T_l}{\partial S_k} = c_{l,k}^E \right\} \quad [c^E] = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{16} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ c_{61} & \dots & c_{66} \end{bmatrix}$$

$$\left. \frac{\partial D_j}{\partial S_k} = e_{jk} \right\} \quad e_{j,k} = -e_{l,i}$$

$$\left. \frac{\partial T_l}{\partial E_i} = e_{li} \right\}$$

Równanie stanu

$$[D] = [\varepsilon] \cdot [E] + [e] \cdot [S]$$

$$[T] = -[e] \cdot [E] + [c^E] \cdot [S]$$

Równanie stanu dla drgań grubościowych

$$D_x = \varepsilon_x E_x + e_{x1} S_1$$

$$T_1 = c_{11} S_1 - e_{x1} E_x$$

$$D_x, E_x$$

$$T_1, S_1$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial D_x}{\partial E_x}$$

$$c_{11} = \frac{\partial T_1}{\partial S_1}$$

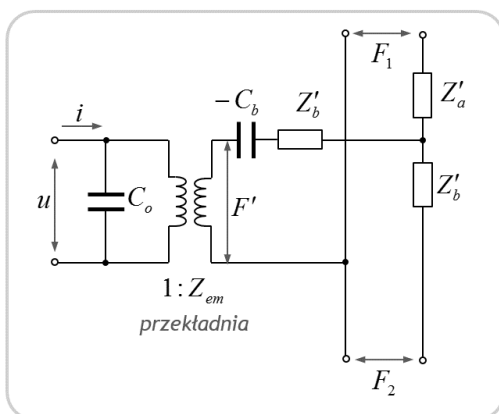
$$e_{x1} = \frac{\partial D_x}{\partial S_1} = -\frac{\partial T_1}{\partial E_x}$$

$$g_{ik} = \frac{U_p}{l \cdot P} \left[\frac{\text{V}}{\text{m} \cdot \text{Pa}} \right]$$

$$h_{ik} = \frac{U_p}{\Delta l} = c_{ik} \cdot g_{ik} = \frac{e_{ik}}{\varepsilon_{ik}} \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

S17. Przetwornik drgań grubościowych: układ zastępczy

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)



Rys.5.7 - skrypt Talarczyk

$$F_1 = Z_{em} u - \left(Z'_b - \frac{1}{j\omega C_b} \right) \left(\dot{\xi}_1 + \dot{\xi}_2 \right) - Z'_a \dot{\xi}_1$$

(5.40)

$$F_2 = Z_{em} u - \left(Z'_b - \frac{1}{j\omega C_b} \right) \left(\dot{\xi}_1 + \dot{\xi}_2 \right) - Z'_a \dot{\xi}_2$$

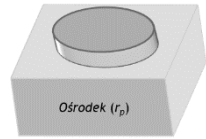
(5.43)

 u - napięcie $Z_{em} = e_{x1} \cdot \frac{A}{d}$ - impedancja elektromechaniczna (sprzęgająca) $Z_{em} \cdot u = F'$ - siła mechaniczna wywołana przez przetwornik $C_b = \frac{\varepsilon_x \cdot d}{e_{x1}^2 \cdot A} = \frac{C_o}{Z_{em}^2}$ - podatność (C_o - pojemność el. przetw.) $Z'_a = jZ'_o \cdot \text{tg} \left(\frac{\beta' \cdot d}{2} \right)$ - impedancja zespolona $Z'_b = Z'_o \frac{1}{j \sin(\beta' \cdot d)}$ - impedancja zespolona $Z'_o = A \cdot c' \cdot \rho$ - impedancja falowa przetwornika $\beta' = \frac{\omega}{c'}$ - liczba falowa przetwornika $c' = c \sqrt{1 + k_{1x}^2}$ - prędkość propagacji ultradźwięków w materiale przetwornika po polaryzacji $k_{1x} = \frac{e_{x1}}{\sqrt{\varepsilon_x \cdot c_{11}}} < 1$ - współczynnik sprzężenia el.-mech.

S18. Przetwornik drgań grubościowych: układ zastępczy z obciążeniem (Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

- 1) Po jednej stronie określony ośrodek obciążający o tzw. mechanicznej rezystancji promieniowania, po drugiej stronie powietrze (bardzo małe r_p)

$$r_p = \rho_o \cdot c_o \cdot A_p \quad d = (2n-1) \cdot \lambda / 2$$

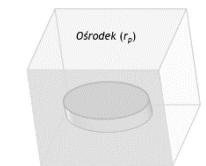


- 2) Po jednej stronie określony ośrodek obciążający o tzw. mechanicznej rezystancji promieniowania, po drugiej stronie materiał tłumiący drgania o rezystancji $r_1 = \rho_1 \cdot c_1 \cdot A_p$

$$d = (2n-1) \cdot \lambda / 2$$

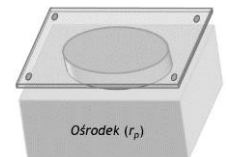


- 3) Dwie powierzchnie obciążone równymi impedancjami $d = (2n-1) \cdot \lambda / 2$



- 4) Jedna powierzchnia unieruchomiona (trudne do zrealizowania w rzeczywistości)

$$d = (2n-1) \cdot \lambda / 4$$

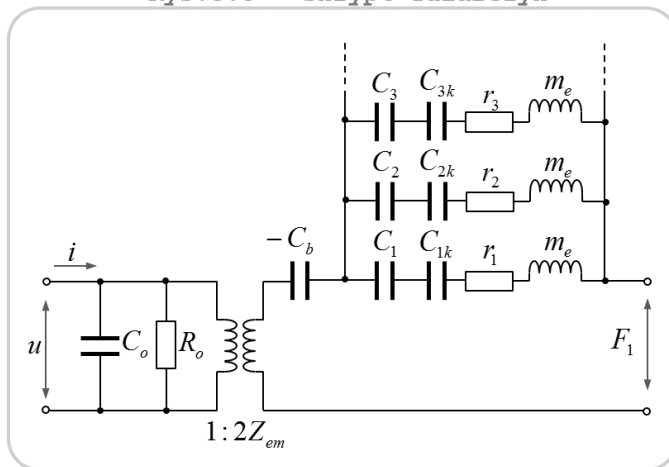


S19. Układ zastępczy przetwornika z jedną powierzchnią unieruchomioną (Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Strona elektryczna: do pojemności C_o przypięta jest rezystancja strat dielektrycznych R_o analogicznie jak w kondensatorze

Strona mechaniczna: nieskończona liczba szeregowych obwodów drgających – drgania harmoniczne (m_e – masa czynna przetwornika, C_n – podatność mechaniczna, r_n – rezystancja strat)

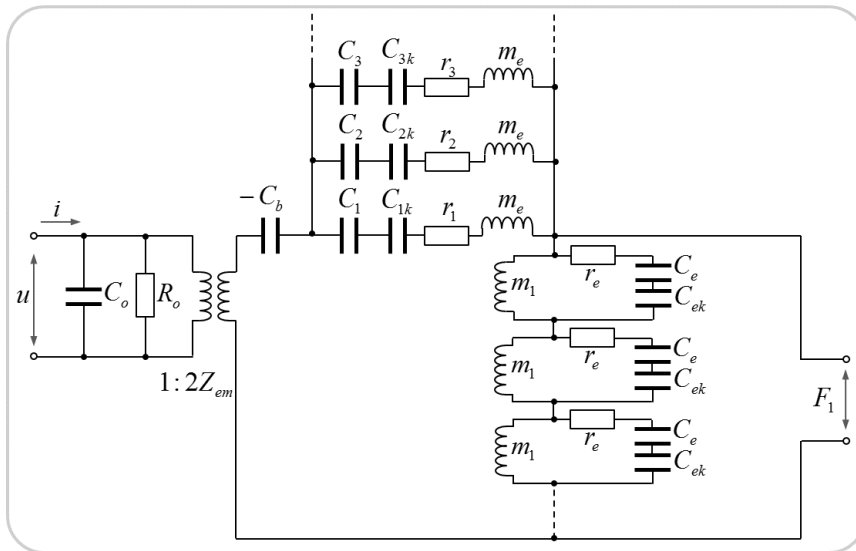
Rys.5.8 – skrypt Talarczyk



S20. Układ zastępczy przetwornika z jedną powierzchnią unieruchomioną
(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Strona elektryczna: do pojemności C_o przypięta jest rezystancja strat dielektrycznych R_o analogicznie jak w kondensatorze

Strona mechaniczna: nieskończona liczba szeregowych obwodów drgających – drgania harmoniczne (ośrodek) oraz równoległych obwodów drgających (powietrze – drgania swobodne)



Rys.5.9 – skrypt Talarczyk