

07/1
A
PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Automatyki Elektrycznej

Główny wykonawca

prof. dr inż. Tadeusz Missala *Missala*

Wykonawcy

mgr inż. Witold Biskup
mgr inż. Wojciech Bobiński

Konsultant

Nr zlecenia RP-210

Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych

Punkt kontr. 1 - Rozpoznanie stanu techniki na świecie na podstawie literatury i opisów patentowych. Rozpoznanie dostępności potrzebnych materiałów. Opracowanie założeń do budowy modelu lab. mikroprzetwornika.

Zleceniodawca CPBR 7.1.

Pracę rozpoczęto dnia

01.06.89

zakończono dnia 31.01.90

Kierownik Ośrodka

Z-ca Dyrektora d/s
Automat. i Pomiar.

B. Kontrymowicz
dr inż. B. Kontrymowicz

T. Gałązka
doc. dr inż. T. Gałązka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 31

Egz. 1 BOINTE

rysunków 60

Egz. 2 OAE-1

fotografii -

Egz. 3 OAE

tabel -

Egz. 4

tablic 12

Egz. 5

załączników Arkusz badań pat.

Egz. 6

Nr rejestr.

6417

Analiza deskrytorowa

ZJAWISKO PIEZOELEKTRYCZNE + PRZETWOR-
NIKI WYKONAWCZE + ROBOTY PRZEMYSŁOWE

ROBOT PRZEMYSŁOWY, PIEZOELEKTRYKA, PRZETWORNICZ

Analiza dokumentacyjna

Omówiono równania matematyczne opisujące zjawisko piezoelektryczne proste i odwrotne. Zestawiono właściwości materiałów piezoelektrycznych. Przedstawiono zasadę budowy oraz podstawowe właściwości charakteryzujące elementy wykonawcze piezoelektryczne: warstwowe, rurkowe i ze stosem płytek oraz konstrukcje urządzeń (silników obrotowych i liniowych, przekaźników, pomp i zaworów) wykorzystujących te elementy. Załączono wyniki analizy stanu techniki na podstawie opisów patentowych dostępnych w U-Pat. RP.

Tytuły poprzednich sprawozdań

621.3.082.75 zjawisko piezoelektryczny

33845:62/69]002.1/2 Roboty przemysłowe

UKD

SPIS TRESCI:

1. WSTEP
2. ZJAWISKO PIEZOELEKTRYCZNE I FERROELEKTRYKI
 - 2.1. ZJAWISKO PIEZOELEKTRYCZNE
 - 2.1.1. Podstawowe określenia
 - 2.1.2. Podstawowe zależności matematyczne
 - 2.2. MATERIAŁY PIEZOELEKTRYCZNE
3. PRZEGLĄD KONSTRUKCJI
 - 3.1. ELEMENTY PODSTAWOWE
 - 3.1.1. Elementy warstwowe
 - 3.1.2. Element rurkowy
 - 3.1.3. Stos płytek
 - 3.1.4. Właściwości wspólne
 - 3.1.5. Porównanie
 - 3.2. KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE ELEMENTY WARSTWOWE
 - 3.2.1. Silniki obrotowe
 - 3.2.2. Silniki liniowe
 - 3.2.3. Inne zastosowania
 - 3.3. KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE ELEMENTY RURKOWE
 - 3.4. KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE STOSY PŁYTEK
4. ZAŁOŻENIA
 - 4.1. DANE PODSTAWOWE
 - 4.2. OBLICZENIA
 - 4.3. WNIOSKI DO KONSTRUKCJI.
 - 4.4. ZASILACZ
5. LITERATURA
6. PATENTY

1. WSTĘP.

Elektromechaniczne przetwarzanie energii t.j. zamiana energii mechanicznej na elektryczną i odwrotnie było, od początku rozwoju nauki o elektryczności, jednym z jej ważniejszych zagadnień. Najszerzej była i jest wykorzystywana zasada elektrodynamicznego przetwarzania energii t.j. wykorzystanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej oraz dynamicznego oddziaływania pól magnetycznych i przewodników z prądem. Te zjawiska pozwoliły na zbudowanie zarówno przemysłowych źródeł energii elektrycznej (generatory), jak i podstawowych odbiorników energii elektrycznej, przetwarzających ją na energię mechaniczną (silniki, elektromagnesy).

W wielu zastosowaniach przetworniki energii bazujące na wykorzystaniu zjawisk elektrodynamicznych okazały się niedogodne, bądź to z powodu zakresu ruchu, bądź to z powodu pasma przenoszenia sygnałów. Niejednokrotnie wpływ miała i ich cena oraz niezawodność.

Naturalnym dążeniem było wykorzystywanie każdego zjawiska fizycznego umożliwiającego realizację elektromechanicznego przetwarzania energii. Jednym z takich zjawisk jest zjawisko piezoelektryczne oraz zjawisko piezoelektryczne odwrotne, zwane elektrostrykcją, występujące w materiałach nazwanych ferroelektrykami.

Najwcześniej poznanym materiałem o właściwościach piezoelektrycznych był kwarc, lecz stosowanie go było trudne i drogie. Kolejno właściwości te wykryto w 1921 r. w soli Seignette'a (inaczej soli Rochelle'a $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) zsyntetyzowanej w 1655 r. W czasie I Wojny Światowej była ona stosowana do wytwarzania i pomiaru fal akustycznych. Jest ona jednak niedogodna w stosowaniu, wysoka higroskopijność oraz niski punkt Curie powodujący, że właściwości ferroelektryczne zachowuje w temperaturze od -15°C do $+22^\circ\text{C}$, ograniczają stosowanie soli Seignett'a.

W 1940 r. Busch i Scherrer wykryli właściwości ferroelektryczne w fosforanie potasu (KDP), zaś w 1945 zespół badaczy Vul i inni znaleźli ferroelektryczny kryształ tytanu baru, co zapoczątkowało badania nad materiałami piezoelektrycznymi ceramicznymi, obecnie najbardziej rozpowszechnionymi.

2. ZJAWISKO PIEZOELEKTRYCZNE I FERROELEKTRYKI.

2.1. ZJAWISKO PIEZOELEKTRYCZNE [42, 43, 44, 45].

2.1.1. Podstawowe określenia.

Piezoelektrycznością lub zjawiskiem piezoelektrycznym nazywamy polaryzację elektryczną materiału pod wpływem działania sił zewnętrznych lub odkształceń. Właściwość tę mają m.in. kryształy należące do klas krystalograficznych bez środka symetrii. Płytką wyciętą z kryształu prostopadle do kierunku polaryzacji pokryta elektrodami z metalu wytwarza na swej powierzchni ładunki elektryczne pod wpływem sił odkształcających odpowiednio skierowanych. Jest to zjawisko piezoelektryczne proste.

Zjawiskiem piezoelektrycznym odwrotnym nazywa się zjawisko odkształcania się kryształu pod wpływem przyłożonego do niego pola elektrycznego.

Zjawisko piezoelektryczne jest wynikiem zmiany położenia ładunków elektrycznych w sieci krystalicznej kryształu. Zjawisko piezoelektryczne jest wykorzystywane głównie do przetwarzania sygnałów elektrycznych na sygnał mechaniczny i odwrotnie. Umożliwia to m.in.:

- współpracę elementów rezonansowych i fal sprężystych z układami i falami pomiarowymi,
- budowę przetworników pomiarowych dla wielkości mechanicznych,
- budowę mikrosiłowników liniowych i obrotowych.

Materiałami piezoelektrycznymi nazywa się materiały o dostatecznie silnych właściwościach piezoelektrycznych i odpowiedniej odporności na inne czynniki fizyczne i chemi-

czne umożliwiające stosowanie tych materiałów w urządzeniach technicznych (rezonatory, przetworniki pomiarowe, przetworniki wykonawcze). Są to głównie niektóre kryształy nieorganiczne (kryształy piezoelektryczne) wzmiankowane wyżej, niektóre materiały ceramiczne (ceramika piezoelektryczna), niektóre naturalne materiały organiczne (np. drewno) oraz niektóre tworzywa sztuczne. Obecnie w technice bardzo dużą rolę odgrywają materiały ceramiczne.

Piezoelektryczne materiały ceramiczne, ze względu na swą naturę, są normalnie materiałami izotropowymi, niepiezoelektrycznymi, a ich właściwości piezoelektryczne są formowane w czasie procesu produkcyjnego, poprzez polaryzację w polu elektrycznym. Pozwala to na uzyskanie t.zw. polaryzacji trwałej (poling), przy czym pozwala to na wybranie kierunku polaryzacji; zgodnie z Publikacją IEC [40] tę oś przyjmuje się jako oś Z. Spolaryzowane materiały ceramiczne dają odpowiedź liniową na małe sygnały wejściowe. Ceramika piezoelektryczna są to materiały o ogólnym wzorze chemicznym ABO_3 , przy czym jako pierwiastek A występuje ołów (Pb) lub bar (Ba), zaś jako pierwiastek B - tytan (Ti) lub cyrkon (Zr), i o siatce krystalicznej typu Perowskiego (rys. 2.1). W trakcie polaryzacji następuje wychylenie centralnie położonego atomu Ti lub Zr, co powoduje wystąpienie polaryzacji trwałej (trwałego momentu dipolowego). Objawia się to wystąpieniem przestrzennego wektora polaryzacji P lub równoważnego mu wektora indukcji elektrycznej D na powierzchni elementu ceramicznego. Oba te wektory mogą być pomierzone.

Materiały ceramiczne zachowują nabytą polaryzację w temperaturach niższych od temperatury zwanej punktem Curie (przez analogię do ferromagnetyków): powyżej tej temperatury tracą swoją polaryzację. Ze względu na zachowanie analogiczne do zachowania ferromagnetyków są również zwane ferroelektrykami.

2.1.2. Podstawowe zależności matematyczne.

Ogólnym równaniem fizyki opisującym zjawisko piezoelektryczne jest [44]:

$$(2.1) \quad E_i = \sum_{jk} P_{ijk} S_{jk} \quad i, j = x, y, z$$

gdzie:

- E_i - składowa wektora natężenia pola elektrycznego w kierunku osi i w V/m
- S_{jk} - tensor odkształceń względem m/m
- P - trójwymiarowy tensor współczynników piezoelektrycznych

Jeżeli kryształ ma symetrię osiową to $P_{ijk} = 0$.

Wygodniejszą i obecnie powszechnie stosowaną formą zapisu równań stanu dla elementów piezoelektrycznych jest forma macierzowa [42]:

$$(2.2) \quad \begin{cases} S = s^E T + d_t E \\ D = d T + \epsilon^T E \end{cases}$$

gdzie:

- T - tensor naprężeń Pa
- S - tensor odkształceń względnych m/m
- E - wektor natężenia pola elektrycznego $\frac{V}{m}$
- D - wektor indukcji elektrycznej $\frac{C}{m^2}$
- s^E - macierz podatności mechan. w stałym polu elektr. m^2/N
- d - macierz stałych piezoelektr. dla odkształcenia i pola elektrycznego C/N
- ϵ^T - macierz przenikalności elektr. przy stałym odkształceniu
- d_t - macierz transponowana względem macierzy d

Pomiędzy wektorami natężenia pola elektrycznego, indukcji elektrycznej i polaryzacji zachodzi znana zależność [44]

$$(2.3) \quad D = \epsilon_0 E + P$$

gdzie: P - wektor polaryzacji elektrycznej

Dla kryształu anizotropowego składowe wektora P , są:

$$(2.4) \quad P_i = \sum_j a_{ij} E_j \quad i, j = x, y, z$$

Współczynniki występujące w równaniu (2.2) określa się następująco [31]:

- jeżeli element jest w stanie zwarcia ($E=0$) otrzymuje się:

$$(2.5) \quad \begin{cases} D = dT & \text{stąd} \\ d = \frac{D}{T} & \frac{C}{m^2 \cdot Pa} \end{cases}$$

- jeżeli element nie jest obciążony mechanicznie ($T=0$), to:

$$(2.6) \quad \begin{cases} S = d_t E & \text{stąd} \\ d_t = \frac{S}{E} & \frac{m/m}{V/m} \end{cases}$$

[UWAGA: jednostki występujące we wzorach (5) i (6) są równoważne, gdyż:

$$\frac{C}{m^2 Pa} = \frac{C m^2}{m^2 N} = \frac{C}{N} ;$$

$$\frac{m/m}{V/m} = \frac{m}{V} = \frac{Asm}{AsV} = \frac{Cm}{Nm} = \frac{C}{N}$$

w katalogach współczynnik macierzy d i d_t są podawane w $\frac{C}{N}$]

- jeżeli element jest w stanie jałowym ($D=0$) otrzymuje się:

$$E = - \frac{d}{\epsilon^T} T$$

a jeżeli oznaczyć $\frac{d}{\epsilon^T} = g$ to jest:

$$(2.7) \quad E = - gT$$

gdzie:

g - jest piezoelektryczną stałą napięciową $\left[\frac{V}{mPa} \right]$

Z kombinacji równań (2.2) przy założeniu braku obciążenia mechanicznego ($T=0$) otrzymuje się:

$$(2.8) \quad S = \frac{dt}{\epsilon^T} D = gD$$

teraz g jest wyrażone w $\frac{m^2}{C}$

[UWAGA: jednostki występujące we wzorach (7) i (8) są równoważne, gdyż:

$$\frac{V}{mPa} = \frac{Vm^2}{mN} = \frac{Vm}{N}$$

$$\frac{\frac{m^2}{C}}{As} = \frac{m^2}{VAs} = \frac{Vm^2}{Nm} = \frac{Vm}{N}$$

w katalogach współczynniki macierzy g są podawane w $\frac{Vm}{N}$]

Szczególnie wygodnym zapisem równań (2) jest macierz elektropiezospężystości [42], stanowiąca zbiór współczynników materiałowych występujących w równaniach stanu. Układ współczynników w macierzy elektropiezospężystości umożliwia łatwe zestawienie równań stanu dla kryształu piezoelektrycznego o danej symetrii. Najbardziej skomplikowana jest macierz układu trójskośnego (tabl. 2.1). W układach o wyższej symetrii niektóre współczynniki zanikają. Podstawowe układy symetrii kryształów podano na rys. 2.1. Dla układu heksagonalnego macierz elektropiezospężystości podano w tabl. 2.2.

Z niej wynikają następujące przykładowe równania stanu:

- odkształcenie względne wzdłuż osi X jest:

$$(2.9) \quad S_1 = s_{11} T_1 + s_{12} T_2 + s_{13} T_3 + d_{31} E_3$$

- naprężenie wzdłuż osi X jest natomiast:

$$(2.10) \quad T_1 = s_{11} S_1 + s_{12} S_2 + s_{13} S_3 + d_{31} D_3$$

Podobnie można odczytać równania dla innych osi i innych zmiennych.

Oprócz zmiennych i współczynników występujących w równaniach (2.2), z punktu widzenia przydatności materiału piezoelektrycznego do przetwarzania energii mechanicznej na elektryczną ważną rolę odgrywa statyczny współczynnik sprzężenia elektromechanicznego. Współczynnik ten jest określony wzorem:

$$(2.11) \quad k = \sqrt{\frac{W_{12}^2}{W_1 W_2}}$$

w którym: W_{12} - gęstość energii piezoelektrycznej dana jako:

$$(2.12) \quad W_{12} = \frac{1}{2} \sum_{i,q} d_{iq} E_i T_q$$

W_1 - gęstość energii mechanicznej:

$$(2.13) \quad W_1 = \frac{1}{2} \sum_{p,q} s_{pq}^E T_p T_q$$

W_2 - gęstość energii elektrycznej:

$$(2.14) \quad W_2 = \frac{1}{2} \sum_{i,j} \epsilon_{ij}^T E_i E_j$$

przy czym: p, q zmieniają się od 1 do 6, a i, j od 1 do 3. Definiuje się również współczynniki sprzężenia cząstkowe k_{ip} określające sprzężenia pomiędzy energią piezoelektryczną a energiami elektryczną występującą w osi i i mechaniczną występującą w osi p .

Macierz elektropiezospężystości materiałów ceramicznych podano w tabl. 2.3 [28, 40]. Definiuje się również dla nich współczynniki sprzężenia elektromechanicznego:

- poprzeczny (transwersalny):

$$k_{31} = \sqrt{\frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T s_{11}^E}}$$

- planarny:

$$k_p = \sqrt{\frac{2}{1 + s_{12}^E / s_{11}^E}} k_{31} = \sqrt{\frac{2 d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T (s_{11}^E + s_{12}^E)}}$$

2.2. MATERIAŁY PIEZOELEKTRYCZNE.

W tablicach 2.4, 2.5, 2.6 przytoczono właściwości niektórych materiałów piezoelektrycznych wg [42]. W tablicy 2.7 podano właściwości materiałów piezoelektrycznych produkowanych przez firmę MULLARD [31]. W tablicy 2.8 zestawiono dane materiałów ceramicznych PIEZOLAN produkcji NRD [27], zaś w tablicy 2.9 dane płytek produkcji CERAD w Polsce.

3. PRZEGLĄD KONSTRUKCJI.

3.1. ELEMENTY PODSTAWOWE.

Tensorowa struktura równań (2.1) i (2.2) daje możliwość kilku wykonania podstawowych elementów piezoelektrycznych wykonawczych. Stosuje się trzy główne wykonania:

- elementy warstwowe: belka (rys. 3.1) lub płytka,
- rurka (rys. 3.2),
- stos płytek (rys. 3.3)

3.2. ELEMENTY WARSTWOWE.

Elementy warstwowe są wykonywane najczęściej jako dwuwarstwowe belki prostokątne lub płyty okrągłe. Warstwy mają przeciwną polaryzację (rys. 3.4). Poszczególne warstwy mogą być połączone szeregowo lub równoległe. Wykorzystywane jest zjawisko zmiany wymiaru poprzecznego do kierunku pola elektrycznego. Właściwości tych elementów jako elementów wykonawczych są opisane następującymi zależnościami [27]:

a) belka warstwowa jednostronnie umocowana (rys. 3.4.a)

$$(3.1) \quad \xi_{\max} \cong 3 d_{31} \left(\frac{l}{d}\right)^2 U$$

$$(3.2) \quad F_{\max} \cong \frac{3}{4} \frac{d_{31}}{S_{11}^E} \cdot \frac{d}{l} b U \quad ; \quad l \geq 20d; \quad l \geq 10b$$

$$(3.3) \quad f_{\text{rez}} \cong 0,16 \frac{d}{l} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma S_{11}^E}}$$

przy czym:

ξ, F, d, l, b - wg oznaczeń na rysunku

f_{rez} - częstotliwość rezonansu mechanicznego

γ - gęstość materiału

U - napięcie dla układu równoległego połączeń

Przy przyłożeniu napięcia U do elementu z warstwami połączonymi szeregowo, otrzymuje się o połowę mniejsze wartości ξ i F .

b) belka warstwowa swobodna podparta na końcach (rys. 3.4b)

$$(3.4) \quad \xi_{\max} \approx \frac{3}{4} d_{31} \left(\frac{l}{d}\right)^2 U$$

$$(3.5) \quad F_{\max} \cong 3 \frac{d_{31}}{S_{11}^E} \cdot \frac{db}{l} U$$

$$(3.6) \quad f_{\text{rez}} \cong \frac{d}{l} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma S_{11}^E}}$$

Oznaczenia jak poprzednio.

c) płyta okrągła swobodnie podparta (rys. 3.4c)

$$(3.7) \quad \xi_{\text{max}} \cong 3d_{31} \left(\frac{R}{d}\right)^2 U$$

$$(3.8) \quad F_{\text{max}} \cong 4\pi \frac{d_{31}}{S_{11}^E} dU$$

Wypierana objętość cieczy:

$$(3.9) \quad V_{\text{max}} \cong \frac{3}{2} \pi d_{31} \frac{R \cdot 4}{d^2} U \quad \text{dla} \quad R \geq 20d$$

$$(3.10) \quad f_{\text{rez}} \cong 0,255 \frac{d}{R^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma S_{31}^E}}$$

3.1.2. Element rurkowy.

Element jest wykonany w postaci rurki cienkościennej, której obie powierzchnie walcowe są pokryte elektrodami (rys. 3.5). Tu również wykorzystuje się zjawisko zmiany wymiaru poprzecznego (długość rurki) względem kierunku przyłożonego pola elektrycznego. Właściwości tego elementu jako elementu wykonawczego podane są następującymi zależnościami [27]:

$$(3.11) \quad \frac{\Delta l_3}{l_3} = d_{31} \frac{U}{R_a - R_i} + S_{11}^E \cdot \frac{F_3}{\pi (R_a^2 - R_i^2)} ;$$

$$(3.12) \quad \frac{\Delta W}{W} \cong d_{33} \frac{U}{R\alpha - Ri} + \frac{S_{11}^E}{3} \cdot \frac{F_a}{\pi(R\alpha^2 - Ri^2)} ;$$

$$(3.13) \quad \frac{\Delta W}{W} \cong d_{31} \frac{U}{R\alpha - Ri} + S_{33}^E \Delta p_r$$

Częstotliwości rezonansowe:

- dla drgań grubości ścianki, przy stałej średnicy wewnętrznej

$$(3.14) \quad f_D \cong \frac{1}{2(R\alpha - Ri)} \sqrt{\frac{C_{33}^2}{\gamma}}$$

- dla drgań ścianki wewnętrznej i długości

$$(3.15) \quad f_T = \frac{1}{\pi(R\alpha - Ri)} \cdot \frac{1}{\sqrt{S_{13}^E \gamma}}$$

przy czym:

grubość ścianki $W = R\alpha - Ri$

ciśnienie hydrostatyczne Pr działa promieniowo

różnica ciśnień $pr = (p_\alpha - p_i)$

indeks α dla ścianki zewnętrznej

indeks i dla ścianki wewnętrznej

3.1.3. Stos płytek.

Stos płytek jest złożony z płytek okrągłych lub prostokątnych dwustronnie pokrytych elektrodami (rys. 3.6). Wykorzystuje się deformację w kierunku działającego pola elektrycznego.

Deformacja ta wynosi [7]:

$$(3.16) \quad \Delta L_x = \frac{d_{33} U L_E}{L_E} = d_{33} U$$

gdzie:

ΔL - deformacja w kierunku osi x (przyłożonego pola elektrycznego)

L_E - grubość płytki

Deformacja ΔL_x ma kierunek przyłożonego pola t.j. następuje powiększenie rozmiaru płytki. Ponieważ ΔL_x jest małe, dla uzyskania przesunięcia porównywalnego z przesunięciami jakie dają elementy warstwowe i rurkowe, należy zestawić stos płytek wg schematu jak na rys. 3.7.

Wówczas całkowite przesunięcie końca stosu będzie:

$$(3.17) \quad \Delta L = n\Delta L_x$$

gdzie: n - liczba płytek w stosie

Należy tu zwrócić uwagę na występujące zjawisko brzegowe. Zostanie ono rozpatrzone na podstawie schematu stosu podanego na rys. 3.3. Elektrody płytek dochodzą tylko do jednego brzegu, którym łączą się z elektrodami zewnętrznymi. Jak wynika z obliczeń modelowych [41] wykonanych dla układu jak na rys. 3.9a deformacja płytki wygląda jak na rys. 3.9b t.j. brzeg płytki nie pokryty elektrodą się nie deformuje. Wpływ tego zjawiska na ostateczne wydłużenie stosu będzie musiał być zbadany.

Stos zbiera się w obudowy, których przykłady podano na rys. 3.10. Płytki są umieszczone wewnątrz sprężyny rurowej, która stanowi obudowę stosu a jednocześnie daje wstępne naprężenia, konieczne do prawidłowego działania elementu.

3.1.4. Właściwości wspólne.

Model matematyczny liniowy przedstawiony w p. 2.1.2 jest ważny jedynie w obszarze sygnałów małych [40].

Dla przypadku stanu zwarcia t.j. przy $E=0$ z wzoru (2.2) otrzymuje się:

$$(3.18) \quad S = \Delta L/L = s^E T$$

Jest to nic innego jak prawo Hooke'a i zależność liniowa jest ważna w obszarze odkształceń sprężystych oraz niezależna od wartości sygnałów elektrycznych. Inna natomiast jest sytuacja w przypadku pracy bez obciążenia mechanicznego ($T=0$).

Wówczas ze wzorów (2.2) wynika:

$$(3.19) \quad S = d_t E = \frac{\Delta L}{L}$$

Ta liniowa zależność jest już ważna tylko dla sygnałów elektrycznych o małej amplitudzie; dla sygnałów dużych ujawnia się nieliniowość i niejednoznaczność charakterystyki (rys. 3.11), które mogą się znacznie różnić dla poszczególnych materiałów (rys. 3.12).

Podobnie wygląda sytuacja dla pracy przy stałym obciążeniu mechanicznym ($T=\text{const}$); odpowiednie charakterystyki dla dużych sygnałów elektrycznych podano na rys. 3.13. Kolejnym ważnym przypadkiem pracy jest gdy nacisk działający na element piezoelektryczny jest zależny od drogi; np.: niech będzie to zależność liniowa:

$$(3.20) \quad T = -\alpha \Delta L$$

wówczas z równania (2.2) otrzymuje się:

$$(3.21) \quad S = \frac{\Delta L}{L} = -s^E \alpha \Delta L + d_E E$$

a to oznacza, że część wydłużenia względnego wywołanego zjawiskiem piezoelektrycznym będzie kompensowana elastycznością elementu i obserwowane z zewnątrz wydłużenie będzie mniejsze. Nieliniowość charakterystyk jednak pozostanie. Jeżeli natomiast element piezoelektryczny byłby umocowany sztywno, tak że jego wydłużenie nie byłoby możliwe ($\Delta L=0$ tj. $S=0$) wówczas z równania (2.2) otrzymuje się:

$$(3.22) \quad 0 = s^E T + d E$$

z czego można wyliczyć maksymalną wartość siły jaką może on wyrzucić; będzie ona:

$$(3.23) \quad T_{\max} = \frac{d_t E}{S}$$

Tę siłę zwie się siłą blokującą.

Reasumując powyższe rozważania można jeszcze stwierdzić, że jeżeli element piezoelektryczny pracuje przeciw sile zewnętrznej zależnej od drogi, wydłużenie będzie zależne od tej siły; odpowiednie wykresy podano na rys. 3.15. Punkty przecięcia prostych przedstawionych na tym rysunku z osiami współrzędnych, są wyżej omówionymi punktami $T=0$ i $\Delta L=0$. W punktach tych nie ma wydawania energii mechanicznej na zewnątrz, nie uzyskuje się pracy użytecznej.

Punktem optymalnym, w którym otrzymuje się maksimum użytecznej energii mechanicznej jest punkt:

$$(3.24) \quad T = \frac{1}{2} T_{\max} \quad ; \quad T_{\max} \text{ wg (3.23)}$$

Ta zależność jest ważna tylko dla obciążenia o charakterystyce (3.20) i przy stałej wartości natężenia pola elektrycznego ($E=\text{const}$). Naogół te warunki nie są spełnione w realnych zastosowaniach.

Często natomiast spotyka się przypadek pracy przy stałym obciążeniu ($T=\text{const}$). Charakterystyka podana na rys. 3.13 wskazuje iż wystąpi przesunięcie zera oraz że wydłużenie będzie niezależne ^{od} przyłożonej siły.

3.1.5. Porównanie.

Stała dielektryczna d_{33} jest zawsze większa niż stała d_{31} ; naogół jest ona dwukrotnie większa. Oznacza to, że stos płytek daje, przy samej długości, prawie dwukrotnie większe wydłużenia niż belka warstwowa, lub przy tych samych wymaganych wydłużeniach stos może być dwukrotnie krótszy. Ponadto wydłużenie jest dla stosu niezależne od powierzchni poprzecznej płytek. Zastosowanie płytek o większej średnicy

daje się elementy stabilniejsze i zdolne do przenoszenia większych sił. To powiększenie sił przenoszonych jest również możliwe w przypadku belek warstwowych, nie jest możliwe zaś w przypadku rurek.

Elementy rurkowe umożliwiają uzyskanie znaczniejszych wydłużeń tylko w przypadku zastosowania rurek długich i cienkościennych, gdyż wydłużenie dla nich wynosi [7] (ze wzoru 3.11 przy $F_s=0$):

$$(3.25) \quad \Delta L_{st} = \frac{d_{31} UL}{L_E}$$

gdzie: d_{31} - stała piezoelektryczna
 U - przyłożone napięcie
 L - długość rurki
 L_E - grubość rurki

Ponieważ L_E powinno być małe, to siły przenoszone będą niewielkie oraz element będzie podatny na wyboczenia (mało stabilny). Zaletą natomiast elementu rurkowego jest jego łatwość w wykonaniu oraz taniać. Tym nie mniej możliwości stosowania elementów rurkowych są ograniczone. Poza stosami płytek znaczne zastosowania znalazły belki warstwowe. Ponieważ nie występuje tu klejenie w kierunku działającej siły, stała sprężystości jest tu mniejsza niż w przypadku stosu płytek, co w wielu przypadkach daje korzyści.

3.2. KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE ELEMENTY WARSTWOWE.

3.2.1. Silniki obrotowe.

a) Jednostka o ruchu obrotowym z 4-ma mostkami piezoelektrycznymi (rys. 3.16). Mostek składa się z dwu belek warstwowych z ceramiki piezoelektrycznej "a" i dwóch elastycznych belek pomocniczych "b". Gdy belki zginają się w tym samym kierunku końcówki "d" stykające się z wirnikiem "c" poruszają się poziomo, powodując obrót wirnika. Odpowiednia sekwencja włączania napięcia sterującego powoduje kolejne oddziaływanie końcówek mostków na wirnik i uzyskuje się płynny ruch obrotowy.

b) Piezoceramiczne urządzenie obrotowe (rys. 3.17).

Składa się ono z oscylatora i wirnika. Oscylator jest zbudowany z dwóch elementów piezoelektrycznych S1 i S2 oraz elementu sprzęgającego K. Wprowadzenie w drgania wzdluzne elementów S1 i S2, poprzez zasilanie ich napięciami przemiennymi o częstotliwości 20 kHz i przesunięciami w fazie o kąt χ , nadaje elementowi sprzęgającemu ruch po trajektorii eliptycznej w płaszczyźnie pionowej. Uderzając w wirnik nadaje on mu ruch wirujący.

c) Warianty urządzenia z rys.3.17 (rys. 3.18; 3.19; 3.20).

Te napędy różnią się w istocie tylko szczegółami konstrukcyjnymi przy zachowaniu istoty zasady działania. Rys. 3.18 przedstawia silnik piezoelektryczny o wirniku zewnętrznym napędzanym 4. oscylatorami różniącymi się od oscylatora z rys. 3.17 tym, że elementem dociskającym jest tu element o bliżej nie sprecyzowanej budowie typu masa - sprężyna. Badania wykazały, że optymalną wartością kąta natarcia oscylatora na wirnik jest 57° . Rys. 3.19 przedstawia odmianę konstrukcji z rys. 3.17, w której element piezoelektryczny dający siłę pionową zastąpiono elementem dociskowym mechanicznym. Rys.3.20 przedstawia kolejny wariant konstrukcyjny zastosowany w modelu badawczym. Pomierzone jego charakterystyki podano na rys. 3.21 a-c. Tutaj optymalna wartość kąta natarcia jest ok. 45° .

d) Silnik piezoelektryczny z rezonatorem kwarcowym (rys. 3.22).

Rezonator tarczowy 2 wprowadzony jest w drgania przez zasilenie go napięciem o częstotliwości 30 do 120 kHz; przez popychacze 4 powoduje obracanie się wirnika 5. Dla zmniejszenia szkodliwych sił tarcia zastosowano szczotki smarujące 9. Silnik ten jest wdrażany do produkcji w ZSEMM SILMA w Sosnowcu.

Ma on następujące dane techniczne:

Moc wydawana	$P = 0,5 - 5W$
Prędkość obrotowa	$n = 0...600 \text{ min}^{-1}$
Moment obciążenia	$M = 0,1...1,0 \text{ Nm}$
Sprawność	$\eta = 20...60\%$
Skok (minimalny)	$0,1 \mu\text{m}$

e) Silnik piezoelektryczny (rys. 3.23).

Oscylator drgań promieniowych 6 jest umieszczony na obudowie 7; zawiera on element piezoelektryczny 9 z umocowanymi doń popychaczami 10, które drugimi końcami opierają się o wirnik 3. Wprowadzenie elementu piezoelektrycznego w drgania powoduje obracanie się wirnika.

f) Piezoceramiczny napęd elektrohydrauliczny (rys. 3.24).

Elementy piezoceramiczne 1 powodują drgania cieczy 3, które z kolei przenoszą się na koło łopatkowe 2 powodując jego wirowanie.

3.2.2. Napędy liniowe.

a) Zespół napędowy mostkowy (rys. 3.25).

Mostek złożony z 2. elementów piezoelektrycznych a i 2. belek sprężystych b, wprowadzony w drgania powoduje ruch poziomy końcówki o. Ta z kolei przesuwając taśmę magnetyczną c, dociskaną rolką d. Poza precyzyjnym napędem od oscylatora mostkowego przewidziano napęd zgrubny przewijaka 7 od silnika przez przekładnię m. Zespół napędowy dwufazowy z dwoma mostkami (rys. 3.26) stanowi modyfikację napędu z rys. 3.25: dołożono drugi mostek, zasilany napięciem przesuniętym w fazie, przez co uzyskano płynniejszy ruch taśmy magnetycznej.

b) Piezoelektryczny prosty napęd liniowy (rys. 3.27).

Budowa napędu jest bardzo zbliżona do budowy napędu z rys. 3.17, z tym że element sprzęgający porusza linor a nie wirnik i nadaje mu ruch liniowy.

c) Piezoelektryczny liniowy silnik skokowy (rys. 3.28).

Silnik ma dwa zespoły elementów piezoelektrycznych belkowych (oscylatory) 2 i 3. Elementy 2 przesuwają taśmę 1 o pewien skok, po czym elementy 3 ją blokują. Po powrocie elementów 2 (odłączonych już mechanicznie od taśmy) do położenia pierwotnego, chwytają one taśmę, następuje odblokowanie elementów 3 a następnie ruch elementów 2 i dalej cykl się powtarza.

d) Piezoelektryczny liniowy silnik skokowy w układzie T (rys. 3.29).

Silnik ma dwa zespoły elementów belkowych: napędzające 1 i sterujące 2, zasilane ze źródła impulsów prostokątnych. W wyniku podania napięcia elementy sterujące 2 wyginają się do wewnątrz i zaciskają taśmę magnetyczną ML pomiędzy elementami napędowymi 1. Wygięcie tych ostatnich powoduje przesunięcie taśmy. To jest cykl roboczy. Następnie występuje cykl jałowy: elementy sterujące 2 odginają się na zewnątrz, zwalniając taśmę po czym elementy napędowe 1 wracają do położenia wyjściowego. Następuje kolejny cykl roboczy.

e) Silnik piezoelektryczny liniowy (rys. 3.30).

Do napędu służą dwa elementy piezoelektryczne belkowe 1 i 2. Jeden z końców tych elementów jest sztywno umocowany do korpusu za pomocą przepustów izolacyjnych 3. Taśma magnetyczna 5 jest umieszczona pomiędzy ruchomymi końcami elementów piezoelektrycznych, których ustawienie względem taśmy ustalają ograniczniki 6. Taśma jest podtrzymywana przez podtrzymywacze 7.

Pod wpływem przyłożonych napięć U_1 i U_2 elementy piezoelektryczne się wyginają, a ich wydłużenie powoduje przesunięcie taśmy (rys. b, krok II). Po dostatecznie dużym wygięciu elementów piezoelektrycznych ich nacisk na taśmę staje się zerowy i może nastąpić ich wycofanie. Cykliczność przeciągania taśmy uzyskuje się przez odpowiedni dobór czasów przelączania napięć.

- f) Silownik piezoelektryczny do deformowania zwierciadła lasera (rys. 3.31).

Belka warstwowa piezoelektryczna 1 jest umocowana na jednym końcu za pomocą zacisku 4. Po podaniu napięcia na zaciski 3 wygina się ona i poprzez dociskacz 9 oddziałuje na płytkę przednią 2 ze zwierciadłem, powodując jej pożądaną deformację.

- g) Silnik piezoelektryczny liniowy o dużym przesuwie linora (rys. 3.32 i 3.33).

Silnik składa się z dwóch piezoelektrycznych elementów dociskowych 1 i 3 i elementu przesuwającego 2. Dzięki cyklicznemu włączaniu napięcia na poszczególne elementy uzyskuje się ruch kroczący linora 4. Schemat działania podano na rys. 3.33, z którego bezpośrednio wynika sekwencja podawania napięcia na poszczególne elementy.

- h) Piezoelektryczny silnik liniowy z zębatką (rys. 3.34).

Element piezoelektryczny 1, wydłużając się pod wpływem przyłożonego napięcia, za pomocą zapadki 2 przesuwa zębatkę 3 o jeden ząbek. Teraz następuje wycofanie zapadki (element 1 się kurczy) o kolejny ząbek i cykl się powtarza.

- i) Przekaznik piezoelektryczny (rys. 3.35).

Piezoelektryczny element warstwowy 1 jest umocowany sztywno jednym końcem w obudowie. Na końcu swobodnym umieszczono styk przelączający 4. Po przyłożeniu napięcia do zacisków 3 następuje wygięcie elementu 1 i zwarcie styku 4 z jednym ze styków roboczych 2.

UWAGA: na rys. 3.36 pokazano wygląd zewnętrzny elementów (silników) piezoelektrycznych liniowych (przykładowo) zaś na rys. 3.37 pokazano przykłady kilku konstrukcji końcówek sprzęgających stosowanych w dotychczas omówionych silnikach.

- j) Elementy o ruchu liniowym (przesuwniki):
- z jedną belką piezoelektryczną (rys. 3.38)
 - z dwiema belkami piezoelektrycznymi (rys. 3.39)

Przesuwniki te służą do równoległego przesuwania elementów przyrządów np. zwierciadeł interferometrów. Dwa walce współosiowe są od strony czołowej połączone sprężynami płaskimi lub membranami w taki sposób, by mogły się przesuwać osiowo względem siebie, w kierunku promieniowym są one zablokowane. W przesuwniku pokazanym na rys. 3.38 belka piezoelektryczna jest sztywno zamocowana jednym końcem do walca zewnętrznego z drugim do wewnętrznego, przy czym jest izolowana od obu walców. Po podaniu napięcia następuje wydłużenie belki piezoelektrycznej i przesunięcie walca, przy zachowaniu równoległości ich powierzchni czołowych. Przesuwnik pokazany na rys. 3.39 różni się tym, że zamiast jednej belki zastosowano dwie, połączone w meander, tak że gdy jedna się wydłuża to druga kurczy, co dwukrotnie zwiększa przesunięcie walcy.

- k) Pompy sterowane piezoelektrycznie (rys. 3.40 i rys. 3.41)

Pompa pokazana na rys. 3.40 ma silowniki wykonane jako belki z ryglami piezoelektrycznymi poruszające membranę. W pompie przedstawionej na rys. 3.41 membrany zostały zastąpione dyskami warstwowymi piezoelektrycznymi.

3.3. KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE ELEMENTY RURKOWE.

Ze względu na małą stabilność mechaniczną konstrukcje, z rurką z ceramiki piezoelektrycznej nie znalazły rozpowszechnienia. Przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rys. 3.42. Jest to przesuwnik umożliwiający realizację przesunięć liniowych w zakresie od nanometrów do centymetrów. Na obu końcach walca ceramicznego umieszczono zatrzaski aretujące (pneumatyczne lub piezoelektryczne). Zatrzask 1 jest sprzężony z pryzmatem 7 i przesuwają go, przesuwając się po kolumnie 4. Ruch skokowy jest zrealizowany w sposób przedstawiony na rys. 3.33.

3.4. KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE STOSY PŁYTEK.

a) Przesuwnik prosty (rys. 3.43 i 3.44).

Przesuwnik prosty HPA zbudowany jest następująco: w sprężynie walcowej wydrążonej umieszczono stos płytek, zebranych wg schematu podanego na rys. 3.7. Sprężyna daje naciąg wstępny 1000N. Płytki są przedzielone elektrodami z folii miedzianej. Na jednym końcu stos jest podparty końcówką skręconą ze sprężyną, na drugim zaś płytką z trzpieniem wyjściowym, przesuwającym się przy ruchu płytek wywołanym przyłożeniem napięcia. Parametry przesuwników zestawiono w tabl. 3.1, a ich charakterystyki podano na rys. 3.45 do 3.49. Stała czasowa odpowiedzi, jak to wynika z rys. 3.48 jest rzędu 150 μ s.

b) Zespół przesuwników do deformowania zwierciadła (rys. 3.50).

Zespół składa się z 3. siłowników po dwa stosy każdy. Każdy siłownik jest przymocowany do tylnej powierzchni zwierciadła, blisko jego brzegu zewnętrznego. Ruch osiowy siłownika wywołuje równe i przeciwnie skierowane momenty gnące na brzegach lustro, powodujące jego zamierzoną deformację.

- c) Przesuwnik piezoelektryczny w silowniku o ruchu złożonym (rys. 3.51).

Silownik ten, służący do deformacji zwierciadła składa się z silownika liniowego z przekładnią toczną, dającego deformację zgrubną przy zakresie ruchu $\pm 20 \mu\text{m}$ oraz przesuwników piezoelektrycznych dających przesunięcie dokładne w przedziale $\pm 5 \mu\text{m}$. Jedno zwierciadło jest wyposażone w 19 takich zespołów.

- d) Przesuwnik jako napęd zaworu wtryskowego (rys. 3.52 i 3.53).

Przesuwnik jest napędem grzybka zaworu. Dzięki małej stałej czasowej stosu piezoelektrycznego, zawory mają bardzo dobre właściwości dynamiczne. Przy pracy z częstotliwością 100 Hz przepływ paliwa może być zmieniany w proporcji 1:10 impulsami o czasie trwania od 1 do 8 ms. Przy zasilaniu napięciem 400V uzyskuje się skok grzybka ok. $22 \mu\text{m}$.

- e) Silnik liniowy o znacznym przesuwie (rys. 3.54).

Silnik ten różni się od silników przedstawionych na rys. 3.32 i 3.42, tym że elementem piezoceramicznym powodującym przesuwanie się jest stos piezoelektryczny, a zatrzaski są magnetyczne. Zasada pracy jest identyczna jak podana na rys. 3.33.

4. ZAŁOŻENIA.

4.1. DANE PODSTAWOWE.

4.1.1. Budowa i zadania do realizacji.

Z analizy właściwości podstawowych elementów piezoelektrycznych i konstrukcji opisanych w literaturze oraz materiałów dostępnych w Polsce wynika, że konstrukcja przetwornika wykonawczego powinna wykorzystywać stos płytek.

Wzorcem dla konstrukcji będą elementy HPA firmy PHILIPS. Pierwszym modelem będzie stos piezoceramiczny umieszczony w zewnętrznej sprężynie walcowej. Po przeprowadzeniu szczegółowych badań tego elementu powinien zostać wykonany, w następnym etapie pracy, model silnika liniowego o budowie realizującej ideę podaną na rys. 3.54. Do realizacji modeli pozyskano współpracę inż. Roguskiego z CERAD-u, który opracował polskie płytki ceramiczne, których dane zamieszczono w tabl. 2.9.

Kolejnym etapem pracy będzie konstrukcja głowicy do zamontowania razem z chwytakiem robota. Możliwe będą również inne zastosowania zbadanego elementu; rozeznanie możliwości tych zastosowań będzie prowadzone równoległe z innymi pracami.

Głównym zadaniem etapu 2 będzie budowa wzmacniacza zasilającego stos płytek piezoceramicznych, gdyż dzięki nawiązaniu współpracy z CERAD jestem w posiadaniu gotowego stosu. Drugim zadaniem będzie zbudowanie stanowiska badawczego oraz wykonanie szczegółowych pomiarów.

4.1.2. Przewidywane dane techniczne.

skok przesuwnika	40 ÷ 50 μ m
siła przenoszona	ok. 2000 N
napięcie zasilania	ok. 800 V

4.2. OBLICZENIA.

Z wzoru (3.19) i tabl. 2.9 wynika:

$$\frac{\Delta L}{L} = 350 \cdot 10^{-12} \cdot E$$

lecz $E = \frac{U}{L_E}$; $L_E = 0,5 \text{ mm}$

bo płytki produkcji CERAD-u mają grubość 0,5 mm.
Stąd przy stosie n płytek:

$$\Delta L = n \Delta L_E = n \cdot 350 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{U}{L_E} \cdot L_E = n \cdot 350 \cdot 10^{-12} U$$

przyjmując:

$U = 800\text{V}$ i $\Delta L = 50\mu$ otrzymuje się:

$$n = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{350 \cdot 800 \cdot 10^{-12}} = 178,6$$

przyjmując $n = 170$, wówczas:

$$\Delta L = 170 \cdot 350 \cdot 10^{-12} \cdot 800 = 47,6 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 47,6 \mu\text{m}$$

co można uznać za zgodne z założeniami

Długość stosu będzie:

$$L = nL_E = 0,5 \cdot 170 = 85 \text{ mm}$$

Pojemność płytki:

$$C_E = \epsilon \frac{\pi D^2}{4L_E} = 2200 \cdot \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\pi \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 3,055 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

Pojemność całkowita (n kondensatorów połączonych równolegle) będzie:

$$C = 170 \cdot 3,055 \cdot 10^{-9} \cong 520 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 0,52 \mu\text{F}$$

Energia ładowania będzie (dla 1 płytki):

$$W_{EE} = \frac{1}{2} C_E U_E^2 = 3,055 \cdot 10^{-9} \cdot 800^2 \cdot \frac{1}{2} = 97,76 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

stąd energia całkowita:

$$W_E = nW_{EE} = 170 \cdot 97,76 \cdot 10^{-5} \text{ J} = 16,6 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

Prąd ładowania będzie określony rezystancją wyjściową wzmacniacza; przy $R_{we} = 10^6 \Omega$, będzie to:

$$I_E = \frac{800}{10^9} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 0,8 \text{ mA}$$

Stała czasowa obwodu będzie:

$$T = RC = 10^6 \cdot 0,52 \cdot 10^{-6} \cong 0,52 \text{ s}$$

Czas naładowania do 0,95 będzie:

$$t_L = 5T = 2,6 \text{ s}$$

4.3. WNIOSKI DO KONSTRUKCJI.

Do budowy modelu zostanie użyty przesuwnik, otrzymany z CERAD-u, którego charakterystykę przedstawiono na rys. 4.1.

4.4. ZASILACZ.

Przewiduje się wykonanie zasilacza sieciowego z trzema wyjściami na magnetyczne zatrzaski aretujące M1 i M2 i jedno do zasilania stosu piezoelektrycznego (s).

- Wyjście "S" o napięciu narastającym liniowo od 0 do 800 V w czasie jednego kroku z możliwością zmiany polaryzacji;
- Wyjścia M1 i M2 o napięciu 12V włączym skokowo.

Załączanie i wyłączenie wyjść będzie się odbywać według sekwencji podanych w tablicach 4.1 i 4.2. Zasilacz będzie mieć nastawy umożliwiające generowanie sekwencji dla ruchu "do przodu" i "do tyłu" oraz umożliwiające nastawianie różnych czasów trwania poszczególnych czasów kroków w sekwencjach.

5. LITERATURA.

1. N.Nagy, F.L.: Solid State Electrostatic Control Elements operating on Piezoelectric Principles. IFAC-69 Preprints t 36 s. 59-75, 1969 Warszawa
2. Schmeißer, F.: Kräftig und schnell. Elektronik 1984 z.8 s. 92-96
3. Ultrasonic motors use new piezoelectronic vibrator. Ulotka firmy Honda Electronics, 1989r
4. Anger, H-H.: Piezokeramische Vibromotoren. Feingerätetechnik 1983 z.10 s. 470-473
5. Marth H., Reinhold B.: Dimensionierung und Betriebsverhalten von Vibrationslinearantrieben für die Gerätetechnik. Feingerätetechnik 1982 r z.10 s. 450-542
6. Habiger E., Kunze M.: Elektrische Antriebe in der Feingerätetechnik. Feingerätetechnik 1977 z.6 s.271-276
7. Reimann W.: Aufbau und Wirkungsweise elektrostriktiver Translationselemente. Feingerätetechnik 1979 z.12 s.537-540
8. Piezoantriebe für feinste Positionierungen. Technisches Messen (TM) 1979 z.4 s.173
9. Kahng S.K.: Piezoelectric Skin-Friction-Force Transducer. IEEE Trans. t. IECI 1970 z.2 s.105-111
10. Gurbanov T.B., Guseinov A.M.: Piezoelektricheskiy szagorvj dvigatel dla diskretnogo pieremieszczenia lentocznykh nositeliej informacii. IVUZ Priborostrojenie 1979 r z.8 s.30-33
11. Džagunov P.G., Kuzniecov B.A.: Piezoelektricheskiy dvigatel s cifrovym upravlieniem. IVUZ Priborostrojenie 1986 z.2 s.54-58
12. Budig P.K. i inni: Piezoelektrischer linearer Schrittmotor. Elektrik 1973 z.8 s.423-427
13. Spanner K., Dietrich L.: Piezotranslatoren. Elektronik 1982 r z.6 s.91-94
14. Ferroxcube-Drosseln mit und ohne Luftspalt. Elektronik 1982 r z.24 s.99-101

15. Wolf A.: Elektromechanische Linearmotoren für die Gerätetechnik - eine Übersicht für Anwender. Feingerätetechnik 1975 z.3 s.100-104
16. Thrum F., Mettke R.: Untersuchung zu trilaminaren Piezo-Biegestreifen. Feingerätetechnik 1976 z.9 s.402-406
17. Pfeifer G., Magerl R.: Piezoeletrische Biegeelemente mit passiver Trägerplatte als Stellelemente. Feingerätetechnik 1977 z.5 s.207-210
18. Lavrinenko V.V., Kartaszev J.A., Višnievskij V.S.: Piezo-elektriceskije elektrodvigateli. Wyd. Energia 1980 r, Moskva
19. Bloch o.I., Chvalov Ju.G.: Dinamiczeskije parametry magnitostrikcjonogo privoda malych pieremieszczenji. Elektromechanika (I.V.U.Z.) 1970 z.12 s.1309-1312
20. Kunath P., Roscher H-J.: Einsatz piezoelektrischer Bauelemente in elektromechanischen Stellgliedern. Nachrichtentechnik. Elektronik 1977 z.9 s.381-383
21. Krjukov i inni: Piezoelektriceskij szagovyj privod dla justirovki sostavnogo zerkala teleskopa. Optiko-mechaniceskaja promyslennost (OMP) 1982 z.1 s.59-60
22. Iljiev I., Ivanov Z.: Anwendung des piezoelektrisches Vibroantriebes in der Feinmechanik. Feingerätetechnik 1987 z.2 s.65-66
23. Kadymov Ja.B. i inni: Piezoelektriceskij dvigatel dlja protažki magnitnoj lenty. IVUZ. Priborostrojenie 1973 z.5 s.45-48
24. Kadymov Ja.B. i inni: O vozmožnosti konstruirovania bezindukcionnych szagovyh dvigatielej. IVUZ. Priborostrojenie 1975 z.7 s.46-49
25. Sadayuki Takahashi: Longitudinal Mode Multilayer Piezoceramics Actuators. Am. Ceramic Soc. Bulletin 1986 z.8 s.1156-1157
26. Magerl R., Kunath P.: Kraft und Durchbiegung piezoelektrischer Biegescheiben mit passiver Zwischenschicht. Feingerätetechnik 1976 z.12 s.546-550
27. Magerl R., Kunath P.: Praktische Dimensionierung piezoelektrischer Wandler. Elektrik 1975 z.12 s.665-667

28. Voltz H.: Piezoelektrische Keramiken mit ferroelektrischen Eigenschaften. Elektronik 1982 z.6 s.72-76
29. Sygnalizatory akustyczne. Przetworniki piezoelektryczne metalowo-ceramiczne do urządzeń akustycznych, typ PCA. Karta katalogowa Z-du UNITRA-CERAD
30. Badania porównawcze parametrów przetworników piezocerami produkcji rumuńskiej w odniesieniu do parametrów przetworników produkcji krajowej wykonanych z materiału o symbolu PT-1. Ekspertyza Izby Rzecznawców SEP Nr 12/16/87/AS
31. PXE Piezoelectrics ceramics. MULLARD. Data Sheets 1974r
32. Bryant M.D., Keltie R.F.: A characterisation of the linear and non - linear dynamic performance of a practical piezoelectric actuators.
Part 1: Measurements. Sensors and Actuators 9 (1986) s.95-103
Part 2: Theory. Sensors and Actuators 9 (1986) s.105-114
33. Smits J.G.: Equivalent circuit for end - loaded piezoelectric bimorph actuators. Ferroelectrics 1984, vol 40 s.141-148
34. Tanuma Ch., Suda Y., Yoshida S., Yokoyama K.: A highly displacing device using piezoelectric bimorph with double - support structure. Procc. of the 4th Meeting on Ferroelectric Materials and Their Applications. Kyoto 1983. J.J. of App Phys. vol 22 (1983) Supplement 22-2 p.154-156
35. Henderson W.D., Gunn S.V.: System performance of a large deformable mirror using differential ball screw actuators. SPIE vol 179 Adaptative Optical Components II (1979) s.51-60
36. Newcomb C.V.: Piezoelectric fuel metering valves. Second International Conference on automative electronics, London 1979, s.135-139
37. Albertinetti N.P., Aldrich R.E., Everson J.H.: Discrete actuator deformable mirror. SPIE vol. 179 Adaptive Optical Components II (1979) s.11-16

38. Albertinelli N.P., Aldrich R.E., Everson J.H.: Deformable mirrors with bimorph actuators. SPIE vol 179, Adaptive Optical Components II (1979) s.28-31
39. Fuschetto A.: Three - actuators deformable water-cooled mirror. SPIE vol 179. Adaptive Optical Components II (1979) s.17-27
40. IEC Publ. 483 Guide to dynamic measurements of piezoelectric ceramics with high electromechanical coupling. wyd. 1976
41. Takahashi i inni: Internal Electrode Piezoelectric Ceramics Actuator. Procc. of the 4th Meeting on Ferroelectric Materials and Their Applications, Kyoto 1983. J.J. of Appl. Physics vol 22, 1983 Supplement 22-2 s.157-159
42. Encyklopedia techniki. Elektronika 1983 r. WNT
43. Poradnik Inżyniera. Elektronika 1971 WNT
44. Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M.: Feynmana Wykłady z Fizyki. T.2. cz.2 Warszawa 1970 r., PWN
45. Missalowa J., Missala T.: Elektryczne pomiary wielkości mechanicznych. Warszawa 1971 r., PWN
46. PXE fluid valves with fast response time. PHILIPS. Technical note 036. October 1976
47. PXE High- Power Actuator for electronic/mechanical interfacing. PHILIPS. Technical publication 074. May 1982
48. PXE high - power actuator for electronic/mechanical interfacing. PHILIPS. Technical publication 165. June 1985

6. PATENTY.

P 1	Patent ZSRR	775792	HO1 L 41/08, HO2 N 11/00
P 2	Patent ZSRR	625273	HO1 L 41/08, 6 11 B 15/26
P 3	Patent NRD	144210	B 06 B1/06
P 4	Patent ZSRR	765910	HO1 L 41/00, HO2 N 11/00
P 5	Patent ZSRR	858151	HO1 L 41/00, HO2 N 11/00
P 6	Patent RFN	1488698	HO2 K 33/00
P 7	Patent ZSRR	830600	HO1 L 41/00, HO2 N 11/00
P 8	Patent ZSRR	632014	HO1 L 41/00, HO2 N 11/00
P 9	Patent ZSRR	760247	HO1 L 41/08, HO2 N 11/00
P10	Patent UK	925-603	(1963r)
P11	Patent F.	1.309.568;	PV 882552
P12	Patent ZSRR	Nr 584333	
P13	Patent USA	Nr 4019073	
P14	Patent ZSRR	Nr 353273	
P15	Patent J.	0180226 SP,	kl.B25J13/08 i 01L 1/16 (w zbiorach Europejskiego Urzędu Patentowego)
P16	Patent PL	265004	HO2K
P17	Patent PL	266640	HO2K
P18	Patent PL	133074	HO4R 17/00
P19	Patent PL	263031	HO1S, GO2B
P20	Patent PL	263032	HO1S, GO2B

TABLICA 2.1

Macierz elektropiezoprzężystości układu trójskośnego

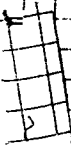
	E_1	E_2	E_3	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
D_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}
D_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}	d_{25}	d_{26}
D_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	d_{31}	d_{32}	d_{33}	d_{34}	d_{35}	d_{36}
S_1	d_{11}	d_{21}	d_{31}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	s_{16}
S_2	d_{12}	d_{22}	d_{32}	s_{21}	s_{22}	s_{23}	s_{24}	s_{25}	s_{26}
S_3	d_{13}	d_{23}	d_{33}	s_{31}	s_{32}	s_{33}	s_{34}	s_{35}	s_{36}
S_4	d_{14}	d_{24}	d_{34}	s_{41}	s_{42}	s_{43}	s_{44}	s_{45}	s_{46}
S_5	d_{15}	d_{25}	d_{35}	s_{51}	s_{52}	s_{53}	s_{54}	s_{55}	s_{56}
S_6	d_{16}	d_{26}	d_{36}	s_{61}	s_{62}	s_{63}	s_{64}	s_{65}	s_{66}

TABLICA 2.2

Macierz elektropiezoprzężystości układu heksagonalnego

	E_1	E_2	E_3	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
D_1	e_{11}						d_{14}	d_{15}	
D_2		e_{22}					d_{24}	d_{25}	
D_3			e_{33}	d_{31}	d_{32}	d_{33}			
S_1			d_{31}	s_{11}	s_{12}	s_{13}			
S_2			d_{32}	s_{12}	s_{22}	s_{23}			
S_3			d_{33}	s_{13}	s_{23}	s_{33}			
S_4	d_{14}	d_{24}					s_{44}		
S_5	d_{15}	d_{25}						s_{55}	
S_6									s_{66}

$d_{15} = d_{24}$ $d_{14} = -d_{25}$ $s_{11} = s_{22}$ $s_{12} = s_{23}$ $s_{13} = s_{23}$
 $s_{66} = 2(s_{11} - s_{12})$



TABLICA 2.3.

Macierz elektropiezorezystywności materiałów ceramicznych.

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	E_1	E_2	E_3
S_1	S_{11}	S_{12}	S_{13}						d_{31}
S_2	S_{12}	S_{11}	S_{13}						d_{31}
S_3	S_{13}	S_{13}	S_{33}						d_{33}
S_4				S_{44}				d_{15}	
S_5					S_{44}				d_{15}
S_6						S_{66}			
D_1					d_{15}		E_{11}		
D_2				d_{15}				E_{11}	
D_3	d_{31}	d_{31}	d_{33}						E_{33}

$$S_{66} = 2(S_{11} - S_{12})$$

układ macierzy wg [40].

TABLICA 2.4 Własności niektórych materiałów piezoelektrycznych. [42]

Wielkość	Wymiar	Turmalin kl. 3 m	LiNbO ₃ kl. 3 m	LiTaO ₃ kl. 3 m	LiGaO ₂ kl. 2 mm	Kwarc SiO ₂ l.l. 32
d_{11}	10^{-12} C/N	0	0	0	0	2,31
d_{14}		0	0	0	0	4,6
d_{15}		-3,63	68	26	-6,1	0
d_{22}		-0,33	21	21	0	0
d_{31}		-0,34	-1	-2	-2,9	0
d_{32}		-1,83	-1	-2	-4,0	0
d_{33}		-1,84	6	8	7,6	0
k_{11}		0	0	0	0	0,10
k_{14}		0	0	0	0	0,14
k_{15}		—	0,68	0,41	-0,17	0
k_{31}		—	-0,03	-0,05	-0,12	0
k_{32}		—	-0,03	-0,05	—	0
k_{33}		—	0,16	0,18	0,28	0
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$			8,2	84	51	7,2
$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$		7,5	29	45	9,2	4,64
s_{11}^E	10^{-12} m ² /N	3,85	5,78	4,87		9,05
s_{12}^E		0,48	-1,01	-0,58		-0,81
s_{13}^E		0,71	-1,47	-1,25		-2,76
s_{14}^E		0,45	-1,02	0,64		
s_{33}^E		6,36	5,02	4,36		10,55
s_{44}^E		15,4	17,0	10,8		27,59
s_{66}^E		—	13,6	10,9		19,72
v_d	m/s	9180(x)	7320(z)	6080(z)	6260(z)	5700(x)
v_s		4540(y)	4800(x)	4200(x)	5100(z)	3850(y)
gęstość ρ	10^3 kg/m ³	3,1	4,7	5,3	4,19	2,65

TABLICA 2.5 Własowości niektórych kryształów przekaźnikowych [42]

Wielkość	Wymiar	Układ trygonalny kwarc $D_3 = 32$			Układ heksagonalny wurecyt kl. 6 mm			Układ regularny sfaleryt (ZnS) kl. 43 m				
		SiO ₂	Se	Te	CdS	CdSe	ZnO	GaAs	CdTe	ZnS	ZnSe	ZnTe
d_{11} d_{14}	$10^{-12}C/N$	2,31 0,727	65,0					2,6	1,6	3,18	1,10	0,91
k_{11} k_{14}		0,10 0,14	0,25	0,33				0,065	0,026			
$\epsilon_{r11}/\epsilon_0$ $\epsilon_{r33}/\epsilon_0$		4,52 4,68			9,35 10,33	9,7 10,2	9,26 11,2	11,1	9,65	8,37	9,12	10,1
d_{31}	$10^{-12}C/N$				-5,8	-3,9	-5,2					
k_{31}					-0,119	-0,084	-0,189					
d_{33}	$10^{-12}C/N$				10,32	7,8	10,6					
k_{33}					0,26	0,194	0,408					
d_{15}	$10^{-12}C/N$				-13,98	-10,5	-13,9					
k_{15}					-0,138	-0,15	-0,316					
ρ	$10^3 kg/m^3$	2,649		6,2	4,82	5,68	5,68	5,13	5,84	4,08	5,26	5,636
v	m/s	5400		2400	4500	3850	6400	3400				

TABLICA 2.6. Własności ceramicznych materiałów piezoelektrycznych.

	PZT 4	PZT 8	PZT 5A	PXE 3	PXE 4	PXE 5			Jednostki
Gęstość	7,5	7,6	7,75	7,8	7,45	7,65	6,0	4,46	10^3kg/m^3
Temp. Curie	328°C	300°C	365°C	385°C	260°C	280°C	570	420	°C
N_f N_r	1650 2000	1698 2067	1400 1890	1650 —	1620 —	1760 —	— —	2570 2660	Hz · m Hz · m
Dobroć mech.	500	1000	75	300	500	50	11	240	
s_{11}^E	12,3	11,5	16,4	11,8	13,0	15,4	—	8,2	—
s_{33}^E	15,5	13,5	18,8	13,3	12,7	16,9	25,4	10,1	—
s_{24}^E	39,0	31,9	47,5	34,5	—	38,4	—	27,1	—
s_{12}^E	-4,05	-3,38	-5,74	—	—	—	—	—	—
s_{13}^E	-5,31	4,65	—	—	—	—	—	—	—
s_{66}^E	32,7	27,8	44,3	—	—	—	—	—	—
s_{11}^D	10,9	10,42	14,4	—	—	—	—	7,6	$10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$
s_{33}^D	7,9	7,96	9,46	—	—	—	21,8	6,4	
s_{44}^D	19,3	22,2	25,2	—	—	—	—	15,5	
s_{12}^D	-5,42	-4,43	-7,71	—	—	—	—	—	
s_{13}^D	-2,10	-2,27	-2,98	—	—	—	—	—	
$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	1300	1700	1020	570	1500	1750	225	496	
$\epsilon_{33}^S/\epsilon_0$	635	582	830	900	—	1800	—	306	
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$	1475	1291	1730	—	—	—	—	938	
$\epsilon_{11}^S/\epsilon_0$	730	898	916	—	—	—	—	545	
k_p	-0,58	-0,51	0,60	0,48	0,55	0,62	-0,07	-0,46	
k_{31}	-0,334	-0,302	-0,344	-0,28	-0,32	0,36	-0,045	-0,27	
k_{33}	0,70	0,64	0,70	0,62	0,65	0,70	0,38	0,60	
k_{15}	0,71	0,55	0,68	0,70	—	0,66	—	0,64	
k_t	0,51	0,48	0,48	—	—	—	0,37	0,46	
d_{31}	-123	-97,4	-171	-69	-141	-178	-9	-51	10^{-12}C/N
d_{33}	289	225	374	159	255	356	85	127	

Tablica 2.7. Dane materiałów piezoelektrycznych
firmy Mullard [31].

	PXE4	PXE5	PXE6	PXE7	PXE11	PXE21	PXE22	PXE41	PXE51†	Unit
MECHANICAL DATA										
Specific mass density	7.50	7.60	7.70	7.75	4.5	7.75	7.75	7.90	7.70	10^3 kg/m^3
Elastic compliance s_{11}^E	11.8	15.4	10.2	12.5	8.1	15.1	15.1	12.2	14.5	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$
s_{33}^E	13.5	18.9	-	15.8	9.5	18.6	18.6	14.6	17.8	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$
s_{55}^E	-	38.5	-	35.8	24.4	-	-	32.0	-	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$
Specific heat capacity	420	420	420	420	420	420	420	420	420	J/kg. degC
Thermal conductivity	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	W/m. degC
Compressive strength	>600	>600	>600	>600	>600	>600	>600	>600	>600	10^6 Pa (1)
Tensile strength (approx.)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	10^6 Pa (1)
Flexural strength (approx.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10^6 Pa (1)
Poisson constant (approx.)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
ELECTRICAL DATA										
Curie point (2)	265	285	370	320	180, 400(3)	270	270	315	220	$^{\circ}\text{C}$
Relative permittivity $\epsilon_{33}^{33T}/\epsilon_0$	1750	1800	600	700	400	1750	2250	1200	2800	
$\epsilon_{11}^{11T}/\epsilon_0$	-	1800	-	1000	600	-	-	1130	-	
($\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$)										
Volume resistivity ρ_{el} at 25°C	0.1	1	0.1	1	100	0.1	0.1	0.05	0.1	$10^{12} \Omega\text{m}$
Time constant $\tau = RC = \rho_{el} \cdot \epsilon_{33}^{33T}$ at 25°C	>25	>250	>9	>100	>6000	>25	>30	>7	>40	min
Dielectric dissipation factor $\tan \delta$	6×10^{-3}	16×10^{-3}	8×10^{-3}	20×10^{-3}	25×10^{-3}	16×10^{-3}	16×10^{-3}	2.5×10^{-3}	16×10^{-3}	

	PXE4	PXE5	PXE6	PXE7	PXE11	PXE21	PXE22	PXE41	PXE51†	Unit
ELECTRO-MECHANICAL DATA										
Coupling coefficients k_p	0.55	0.58	0.32	0.52	0.43	0.62	0.62	0.56	0.66	
k_{31}	0.32	0.34	0.19	0.31	0.25	0.37	0.37	0.33	0.39	
k_{33}	0.64	0.70	-	0.70	0.55	0.72	0.72	0.68	0.72	
k_{15}	-	0.66	-	0.66	0.65	-	-	0.60	-	
Piezoelectric charge constants										
d_{31}	-138	-169	-44	-86	-47.5	-180	-202	-119	-234	10^{-12} C/N
d_{33}	292	384	-	220	100	385	438	268	480	10^{-12} C/N
d_{15}	-	515	-	370	235	-	-	335	-	10^{-12} C/N
Piezoelectric voltage constants										
g_{31}	-8.9	-10.7	-8.0	-14.0	-13.4	-11.6	-10.1	-11.2	-9.5	10^{-3} Vm/N
g_{33}	18.8	24.2	-	35.4	28.2	25	22.0	25.2	19.3	10^{-3} Vm/N
g_{15}	-	32.5	-	42.0	44.0	-	-	33.5	-	10^{-3} Vm/N
Mechanical quality on radial mode (approx.) Q_M^E	500	80	1000	80	270	80	80	1000	50	
Frequency constants N_p^E	2300	2000	2460 (4)	2200	3600	2000	2000	2200	2050	Hz. m or m/s
$N_1^E = \frac{1}{2} v_1^E$	1620	1460	1800	1640	2650	-	-	1620	-	Hz. m or m/s
$N_3^D = \frac{1}{2} v_3^D$	2050	1850	-	2000	2900	1900	1900	2000	1950	Hz. m or m/s
$N_5^E = \frac{1}{2} v_5^E$	-	930	-	970	1500	-	-	1020	-	Hz. m or m/s
TMB STABILITY										
Coupling coefficient k_p	-2.5	-0.5	-1.6	-0.5	-0.1	-1.5	-1.2	-1.5	-1.0	%
Relative permittivity $\epsilon_{33}^{33T}/\epsilon_0$	-6	-1	-0.95	-0.5	-1.6	-2	-2	+1	-1	%
Frequency constant N_p	+1.5	+0.5	+0.06	+1.0	+0.16	+0.5	+0.5	+0.5	+1	%
Quality factor Q_M^E (5)	+5	-	+1.5	-	-	-	-	+10	-	%
Tan δ	-5	-	-	-	-	-	-	-10	-	%

TABLICA 2.8 Dane techniczne materiałów piezoelektrycznego Piezolan, NRD [27]

Konstante	Symbol	Einheit	Piezolan J	Piezolan S	Piezolan S ₂	Quarz (0°C)
Youngscher Modul	s_{33}^E	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	14,0	17,6	15,8	
Youngscher Modul	s_{11}^E	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	8,7	15,0	13,7	
Youngscher Modul	s_{13}^E	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	7,7	6,0		
Elastische Konstante	c_{33}^D	10^{10} N/m^2	13,5	13,2		
Piezomodul	d_{33}	10^{-12} m/V	200,0	215,0	350,0	2,3
Piezomodul	d_{31}	10^{-12} m/V	-60,0	-90,0	-150,0	
Relative Dielektrizitätskonstante	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$		800,0	800,0	1800,0	4,5
Druckkonstante	g_{33}	10^{-2} Vm/N	27,5	31,0	20,0	56,0
Druckkonstante	g_{31}	10^{-2} Vm/N	-8,5	-14,9	-50,0	
Spezifische Masse	γ	g/cm^3	7,5	7,5	7,9	2,7
Maximale Einsatztemperatur	θ_{max}	°C	150,0	200,0	100,0	
Spezifischer Widerstand (25°C)	ρ	Ωm	10^{10}	10^{11}	$5 \cdot 10^{10}$	10^{14}
Dipolarisationsfeldstärke (50-Hz-Wechselfeld)	E_c	V/mm	850,0	600,0	(500)	
Druckfestigkeit (statisch)	T_{max}	10^5 N/m^2	2500,0	2500,0	(2000)	

OH

Tablica 2.9

DANE CERAMIKI PIEZOELEKTRYCZNEJ "CERAD" (PL)

T Y P	K2
współczynniki piezoelektryczne	$d_{31} = -170 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$ $d_{33} = 350 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$
stała dielektryczna	$\epsilon_{33}/\epsilon_0 = 2100 \div 2200$
współczynnik sprzężenia	$k_{33} = 0,52$
rezystywność	$\rho = \sim 10^{10} \Omega\text{m}$
GRUPA materiałowa	PZT
Skład chemiczny	$\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_9$
Grubość płytki	$L_E = 0,5 \text{ mm}$
Średnica płytki	$D = 10 \text{ mm}$
Napięcie koercji	$E_c = 1500 \text{ V/mm}$

TABLICA 3.1. Dane techniczne przetwozników HPA [48]

	HPA 1	HPA 2	HPA 3	
diameter x length	16 x 50	22 x 75	32 x 100	mm
stroke				
0 - 500 V	20	30	50	μm
0 - 800 V	35	50	90	μm
actuator rod				
diameter (D) and fit	5/-8 (5h6)	8/-9 (8h6)	10/-9 (10h6)	mm/ μm
length (l_1)	22 \pm 2	22 \pm 2	22 \pm 2	mm
square mounting stud				
width (S) across flats	8	12	17	mm
length (l_2)	7	8	10	mm
screw thread type and size (T)	M6 x 0,75	M8 x 1,0	M12 x 1,0	metric
capacitance @ 25 °C	100	250	800	nF
stiffness (K_A)	30	50	80	N/ μm
average extension per unit drive voltage (C)				
400 - 800 V	0,04	0,06	0,1	$\mu\text{m}/\text{V}$
maximum applied force	2000	3000	5000	N

Tablica 4.1. Sekwencja łączyń dla ruchu "do przodu"

Nr	M1	S	M2	t_k
1	1	0	0	t_1
2	1	1	0	t_2
3	1	1	1	t_3
4	0	1	1	t_4
5	0	0	1	t_5
6	0	-1	1	t_6
7	1	-1	1	t_7
8	1	-1	0	t_8
1	1	0	0	t_1

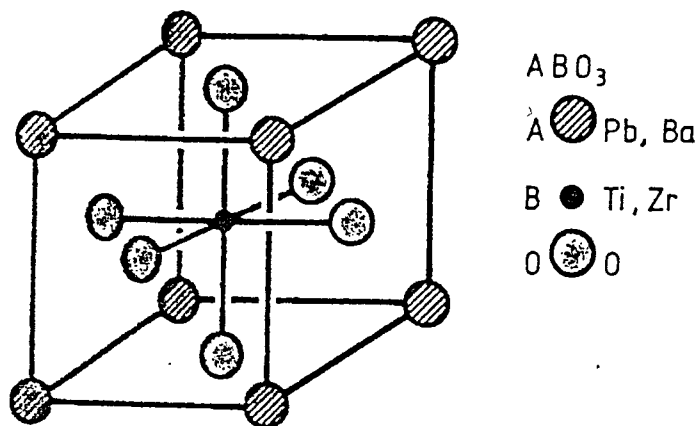
t_k - czas trwania kroku

Tablica 4.2. Sekwencja łączeń dla ruchu "do tyłu"

Nr	M1	S	M2	t_k
1	0	0	1	t_1
2	0	1	1	t_2
3	1	1	1	t_3
4	1	1	0	t_4
5	1	0	0	t_5
6	1	-1	0	t_6
7	1	-1	1	t_7
8	0	-1	1	t_8
1	0	0	1	t_1

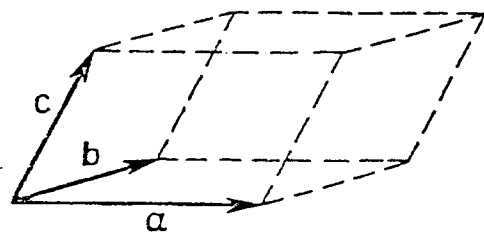
t_k - czas trwania kroku

44

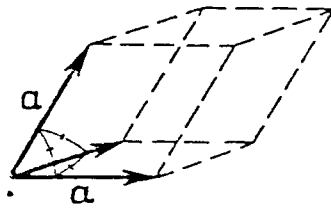


rys.2.1.Siatka przestrzenna Pierowskiego kryształu

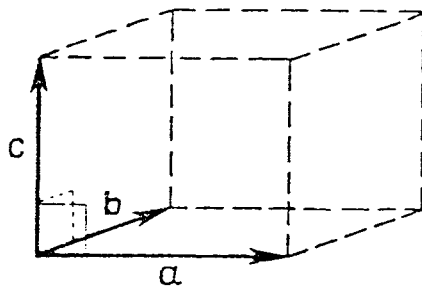
ABO₃ /BaTiO₃/ [28]



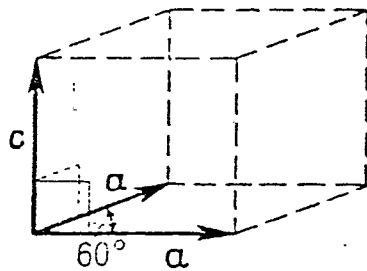
trójskośna



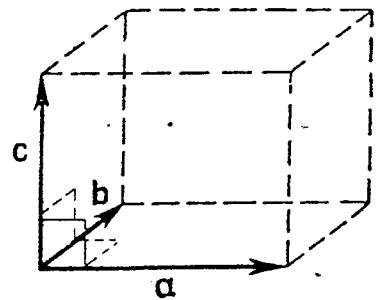
trygonalna



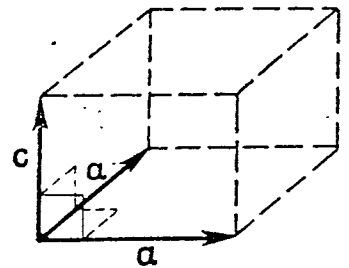
jednoskośna



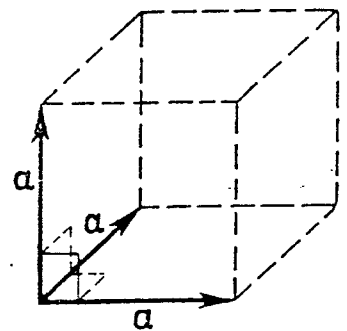
heksagonalna



rombowa

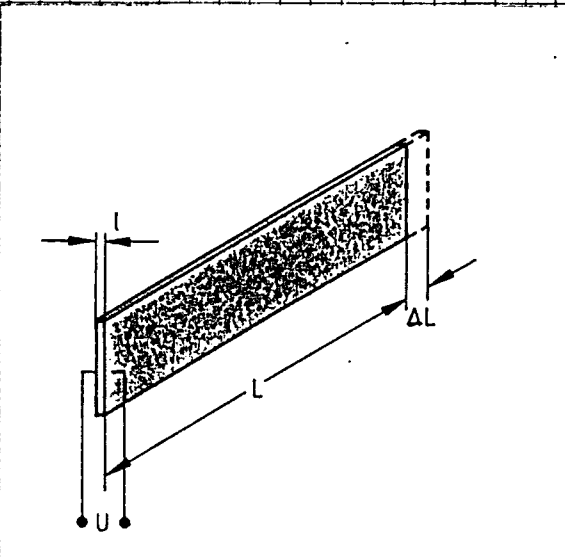


tetragonalna

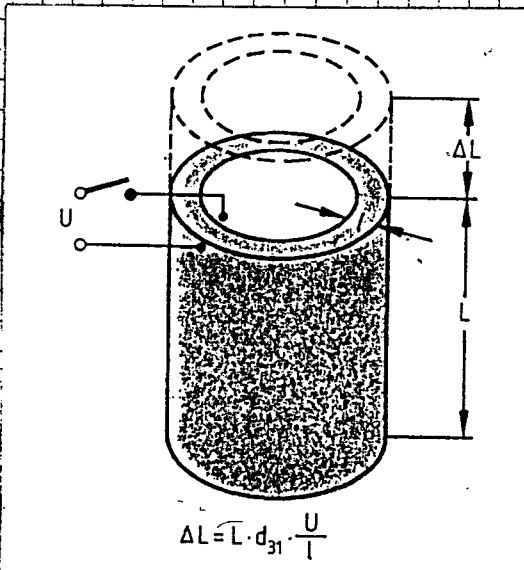


regularna

rys.2.2. Siedem klas sieci krystalicznej [44] .

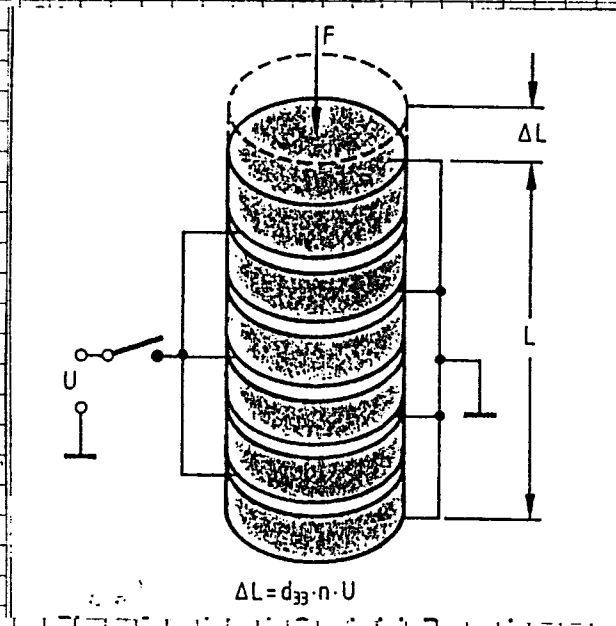


rys. 3.1. Belka ważstwowa.

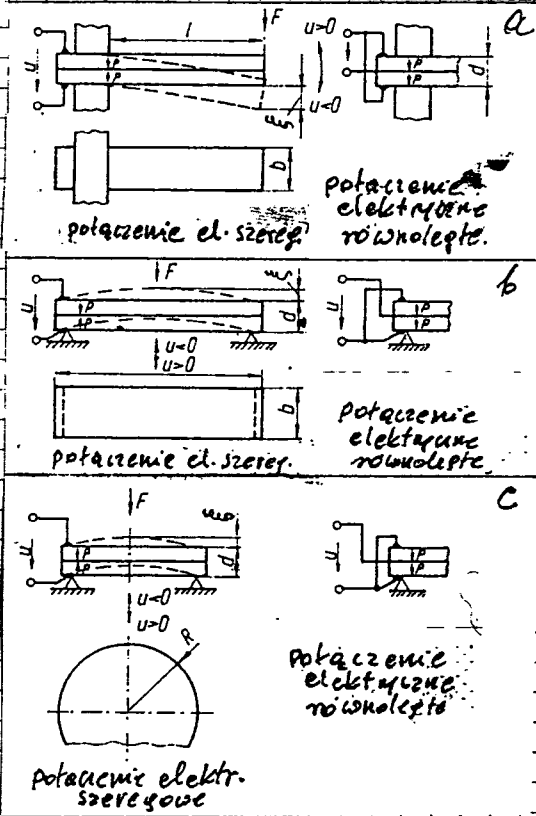


$$\Delta L = L \cdot d_{31} \cdot \frac{U}{l}$$

rys. 3.2. Element cylindrowy.

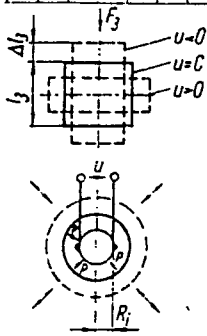


rys. 3.3. Stos płytek

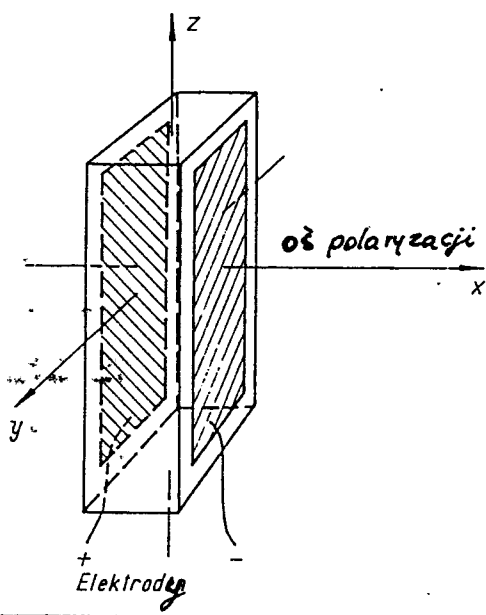


rys. 3.4. Elementy warstwowe

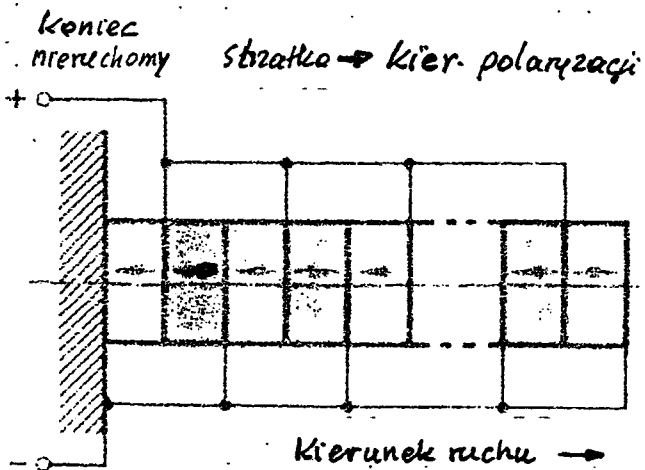
- a) belka umocowana jednostronnie
- b) belka podparta swobodnie
- c) płyta okrągła podparta swobodnie



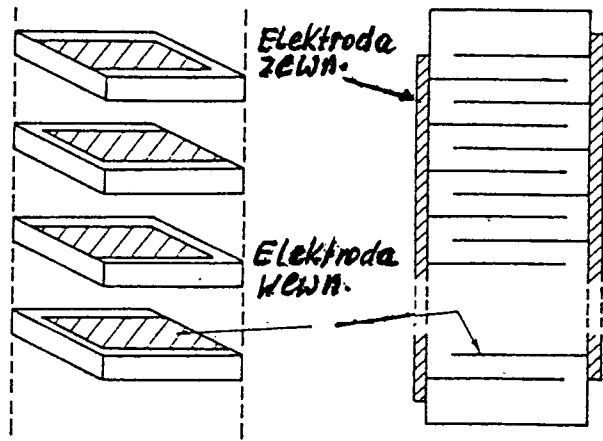
rys. 3.5. Element cylindrowy.



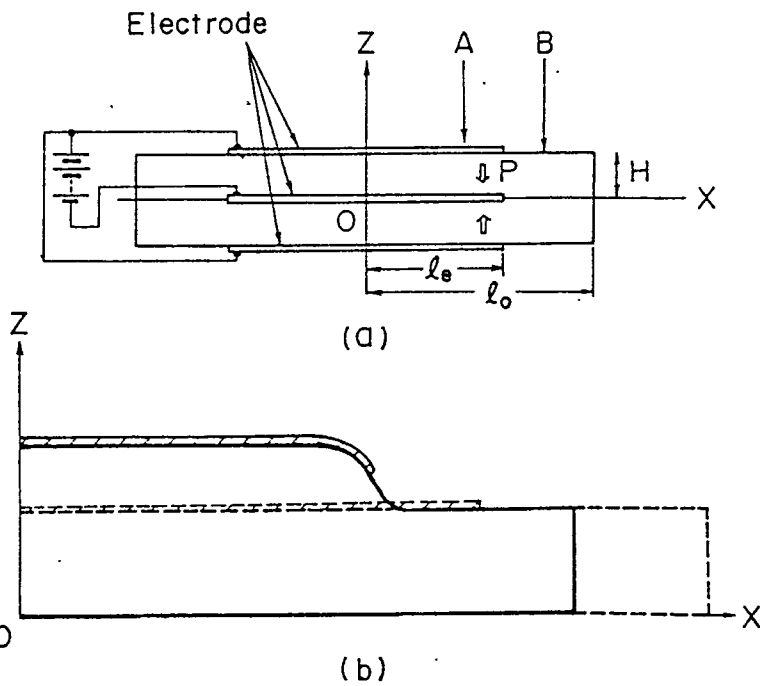
rys. 3.6. Płytka polaryzacyjna



rys. 3.7. Schemat stosu płytek.

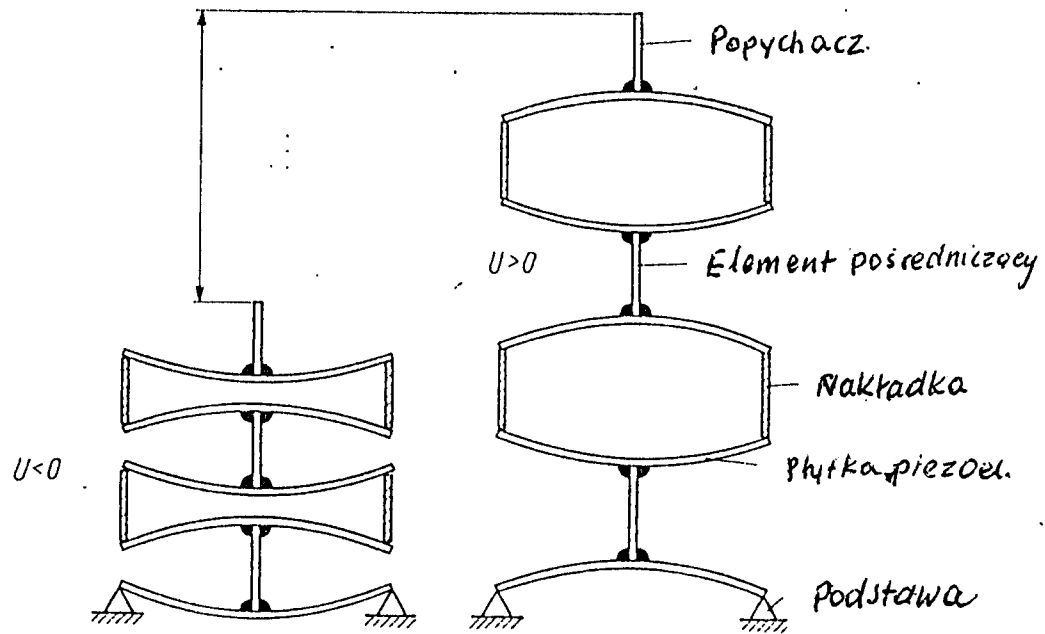


rys. 3.8a schemat budowy stosu płytek

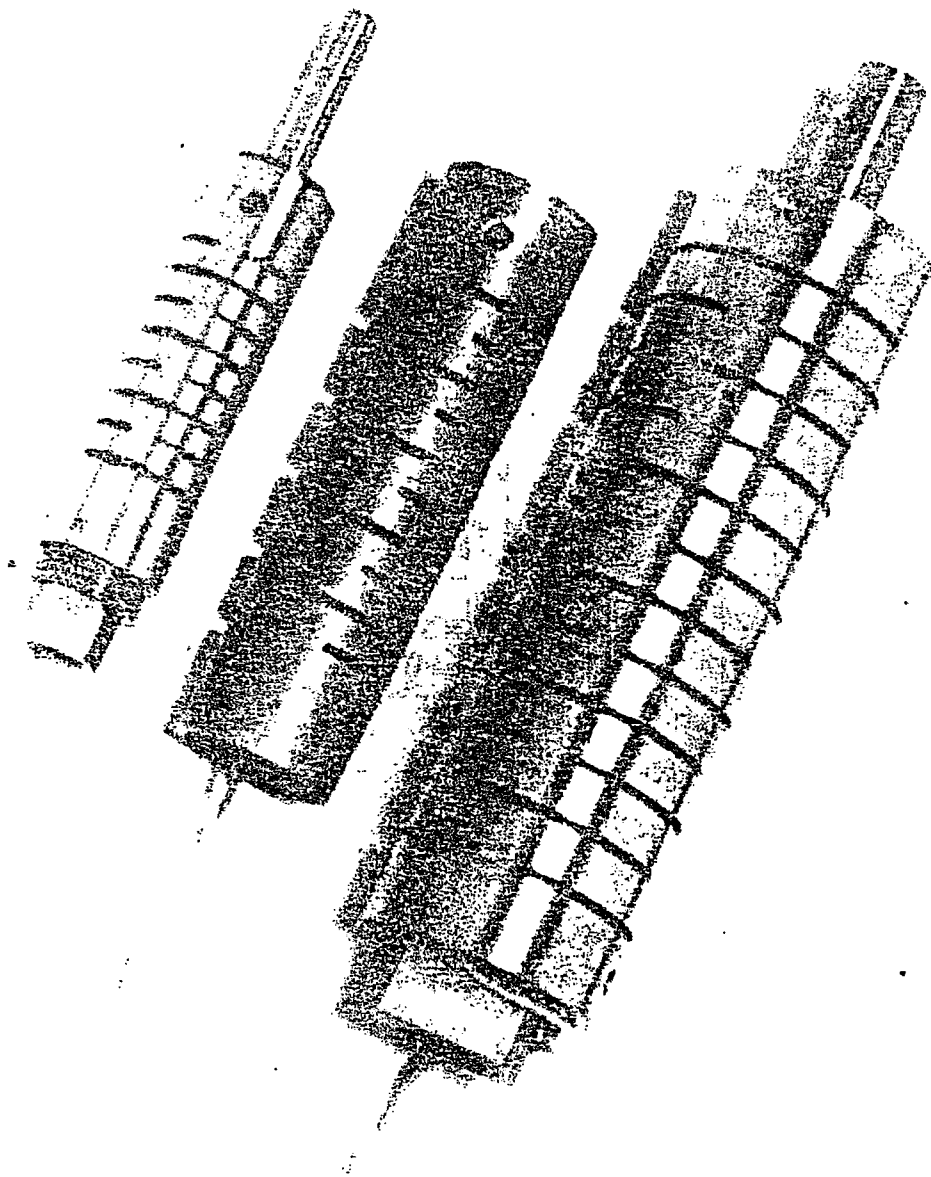


rys. 3.9.

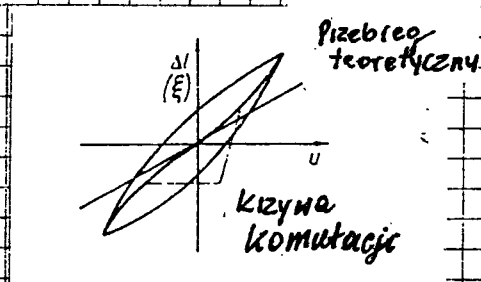
- a) schemat stosu płytek do modelowania
- b) wyniki obliczeń symulacyjnych



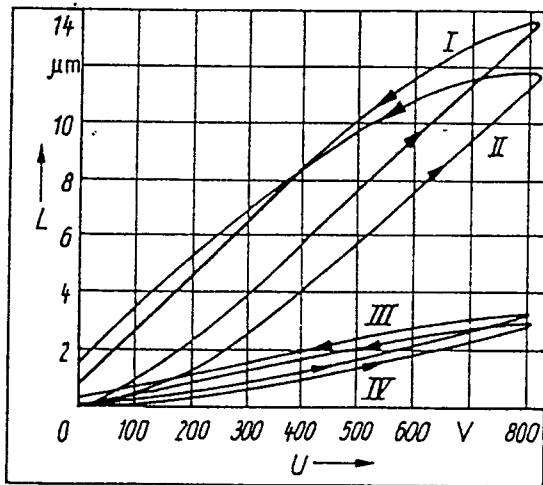
3.86. Schemat działania stosu



rys.3.10.Wygląd zewnętrzny stosu obudowanego.



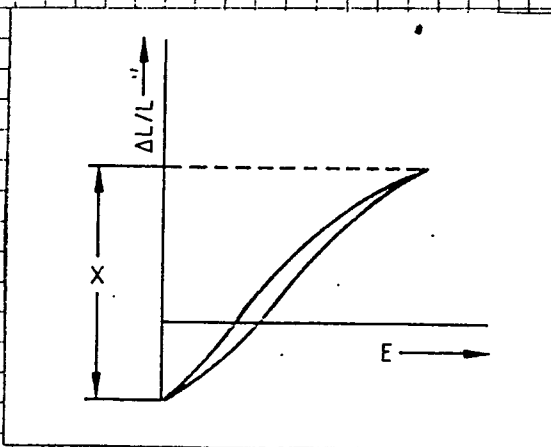
rys. 3.11. Wydłużenie względne jako funkcja natężenia pola elektrycznego przy braku obciążenia mechanicznego



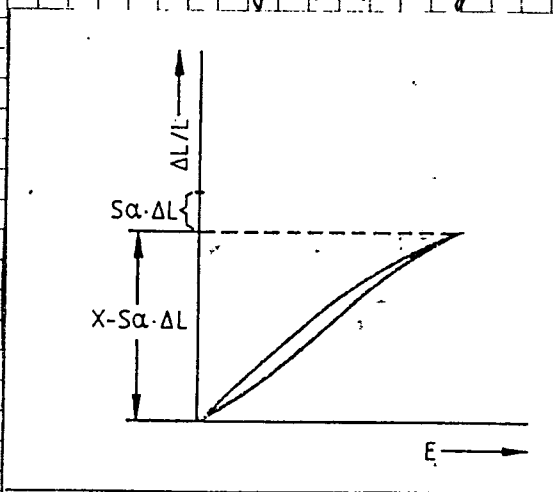
rys. 3.12. Zależność wydłużenia od napięcia przyłożonego między elektrodami dla próbki o wymiarach: $L = 53 \text{ mm}$

$t_E = 1 \text{ mm}$ dla materiałów w tabelicy 2.8

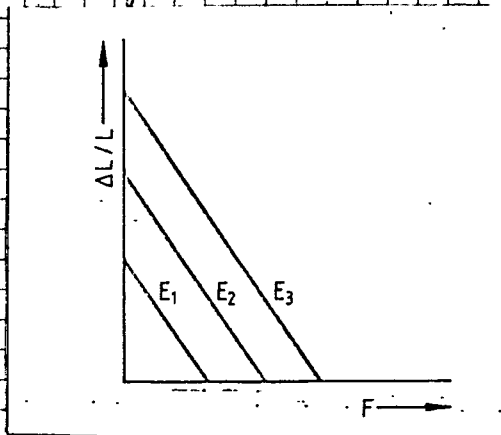
I - Piezolan S2; II - Piezolan S lub M,
 III - Piezolan A; IV - Piezolan L.



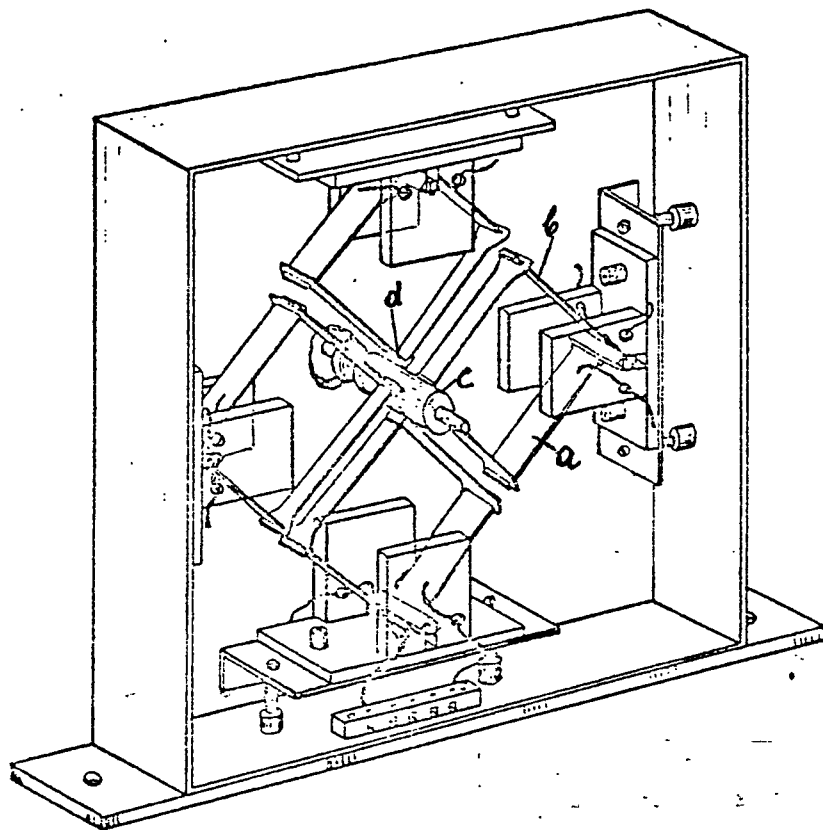
rys. 3.13 Wydłużenie względne jako funkcja natężenia pola elektrycznego przy statycznym obciążeniu mechanicznym.



rys. 3.14 Wydłużenie względne jako funkcja natężenia pola elektrycznego przy obciążeniu mechanicznym od drgań.

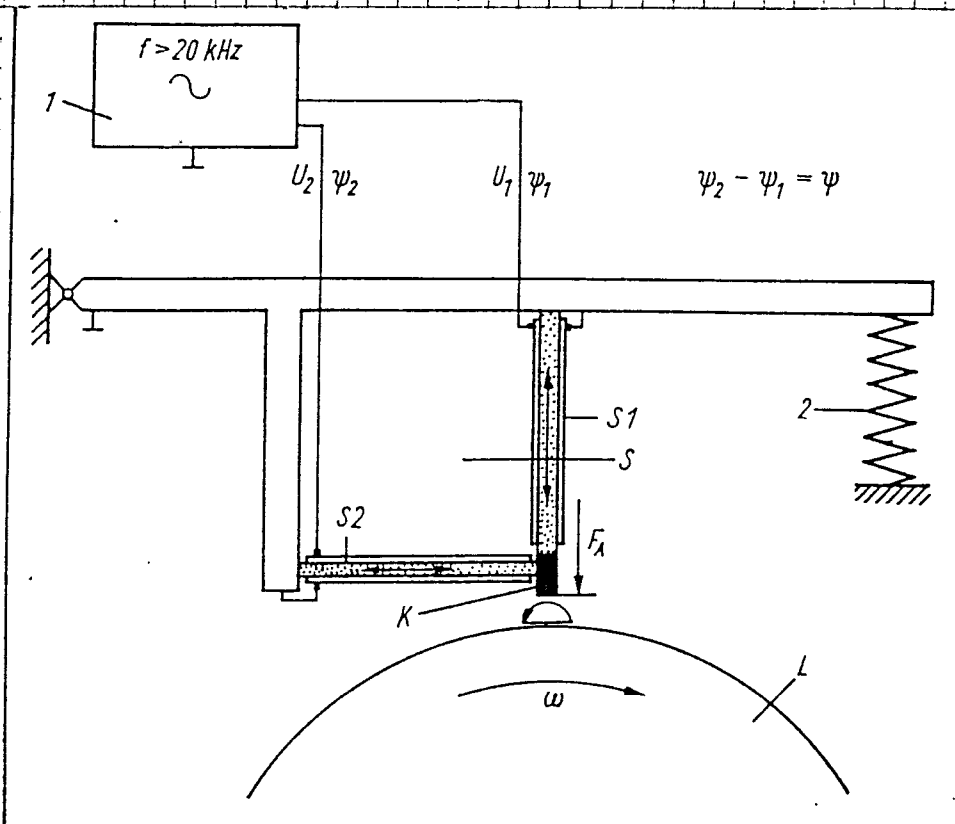


rys. 3.15 Wydłużenie względne jako funkcja siły obciążającej



rys. 3.16. Jednostka o zęchu obrotowym z 4. mostkami piezoelektrycznymi [1]

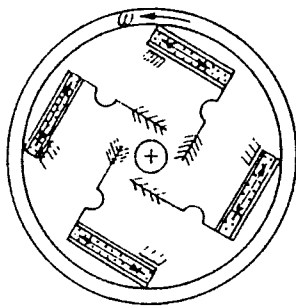
- a - element piezoelektryczny
- b - belki pomocnicze
- c - wirnik
- d - końcówka mostka



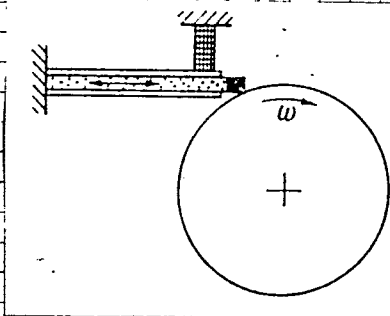
rys. 3.17. Prezoceramiczne urządzenie obrotowe [4]

S1, S2 - elementy piezoelektryczne; L - wirnik.

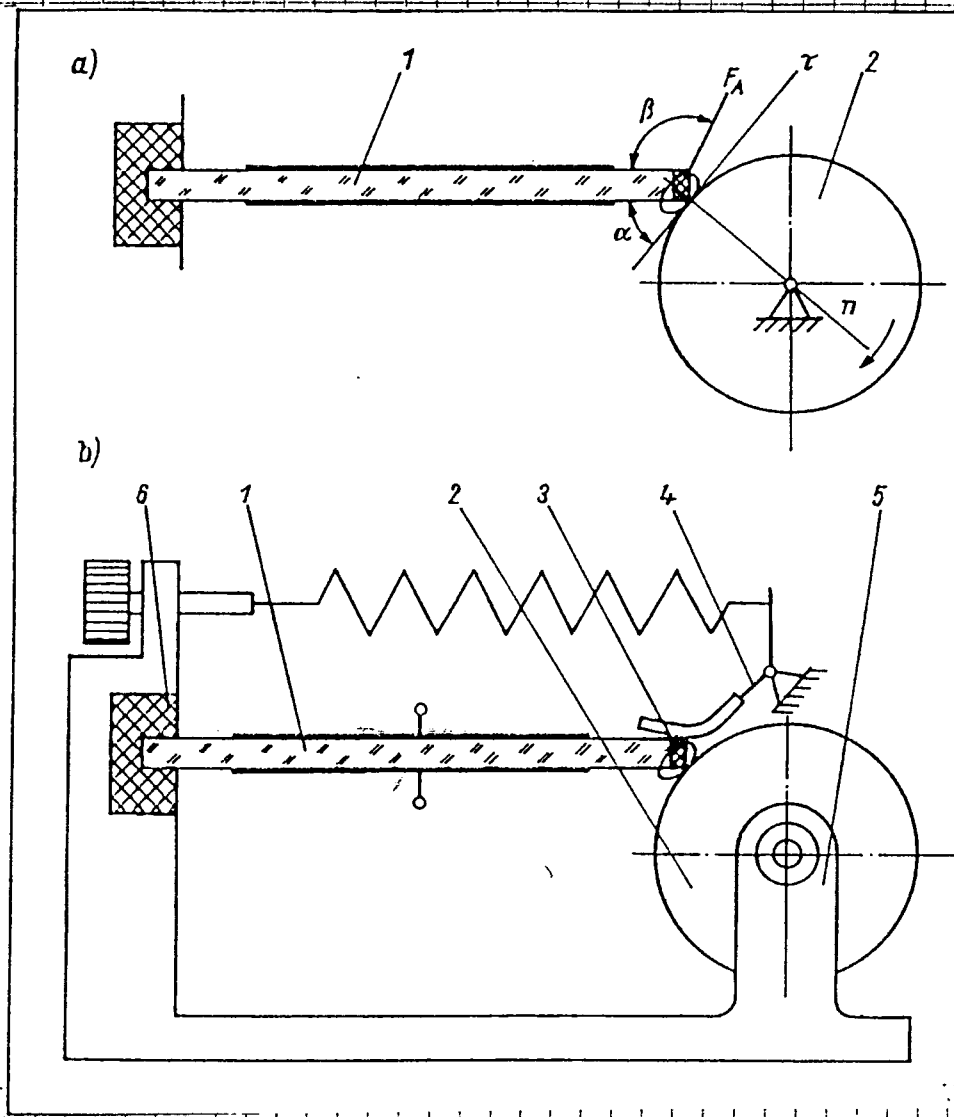
K - element sprzęgający, 1 - generator; 2 - sprężyna



rys. 3.18 Element o ruchu wirnikowym z 4. elementami piezoelektrycznymi [4]



rys. 3.19 Element obrotowy z jednym elementem piezoelektrycznym [4]



MS. 3.20. Napęd o ruchu obrotowym [22]

a) schemat kinematyczny

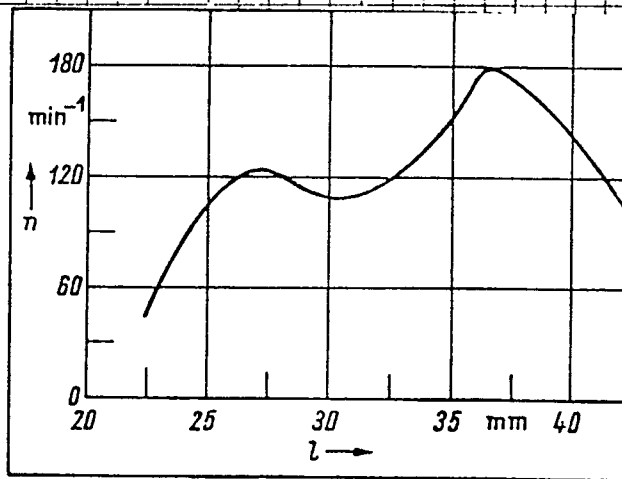
b) Zasada budowy modelu laboratoryjnego

α - kąt natarcia

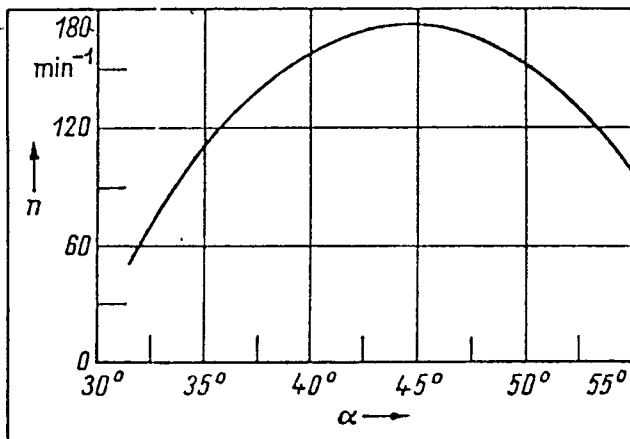
β - kąt reakcji

1 - element piezoelektryczny; 2 - szczotki; 3 - element sprężysty.

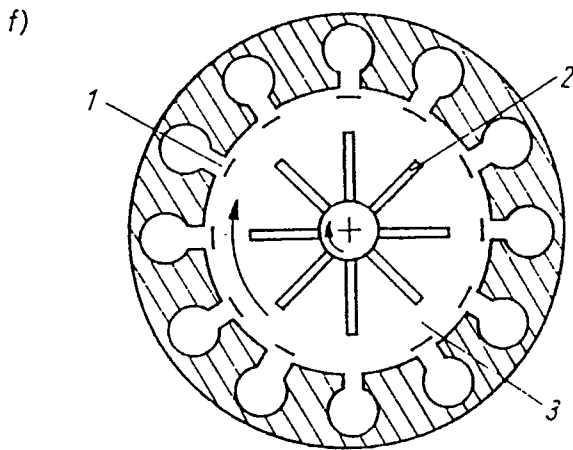
4 - mechanizm dociskowy; 5 - postument; 6 - umocowanie elastyczne.



rys. 3.21a. Zależność prędkości obrotowej n od długości elementu piezoelektrycznego l dla napędu z rys. 3.20.

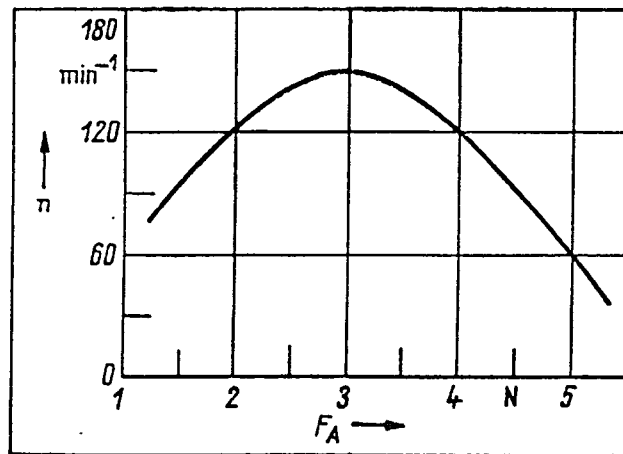


rys. 3.21b. Zależność prędkości obrotowej n od kąta materiału α dla napędu z rys. 3.20.

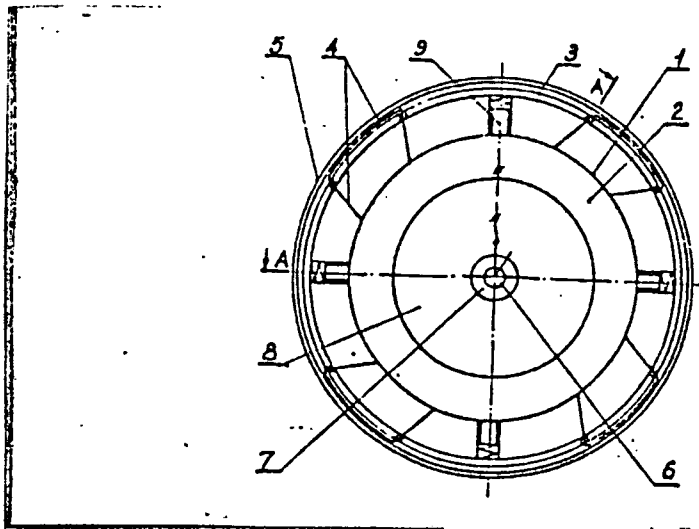


rys. 3.24. Piezoceramiczny napęd elektrohydrauliczny. [4]

1- elementy działające niesymetrycznie; 2- pierścień;
3- ciecz.

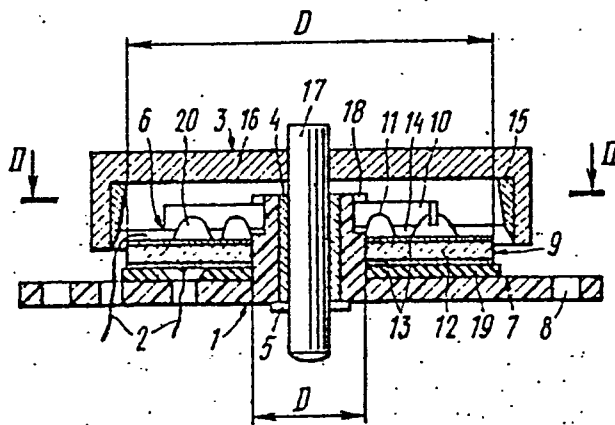


rys. 3.24c. Zależność prędkości obrotowej n od siły nacięgu
wstępnego F_A dla napędu z rys. 3.20.



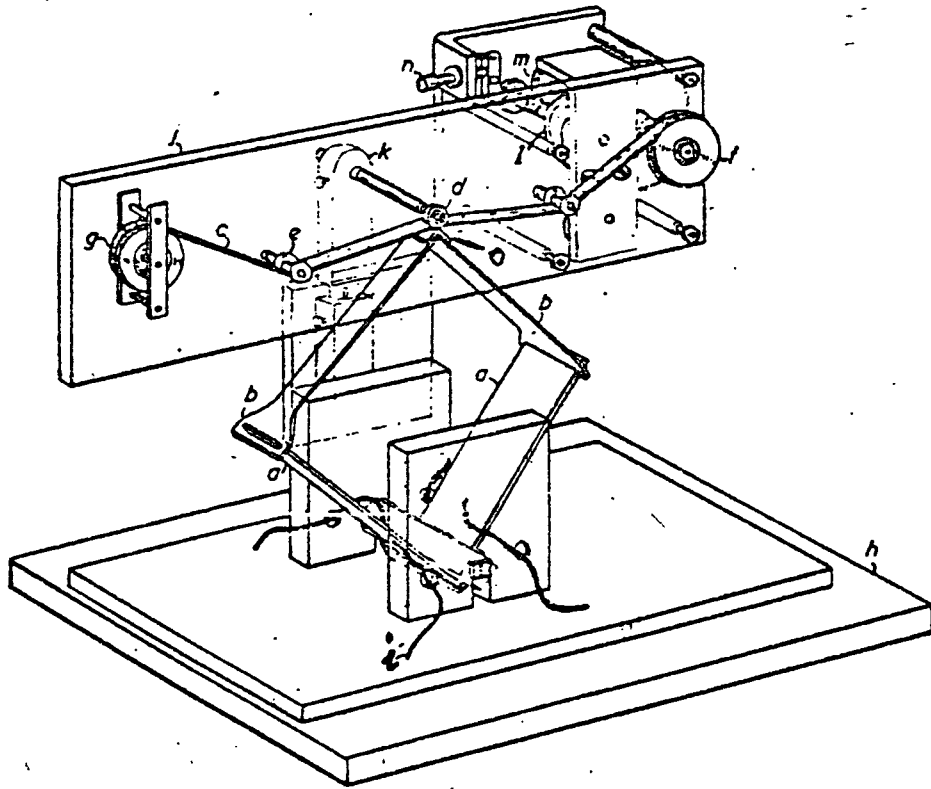
rys. 3.22. Silnik piezoelektryczny z rezonatorem tarczowym [P16]

1-pow. rezonatora; 2-rezonator; 3-uszczelnienie; 4-popychacze
5-pierścieni dystansowy; 6-uszczelnienie; 7-tulejka;
9-szczotki smarujące.



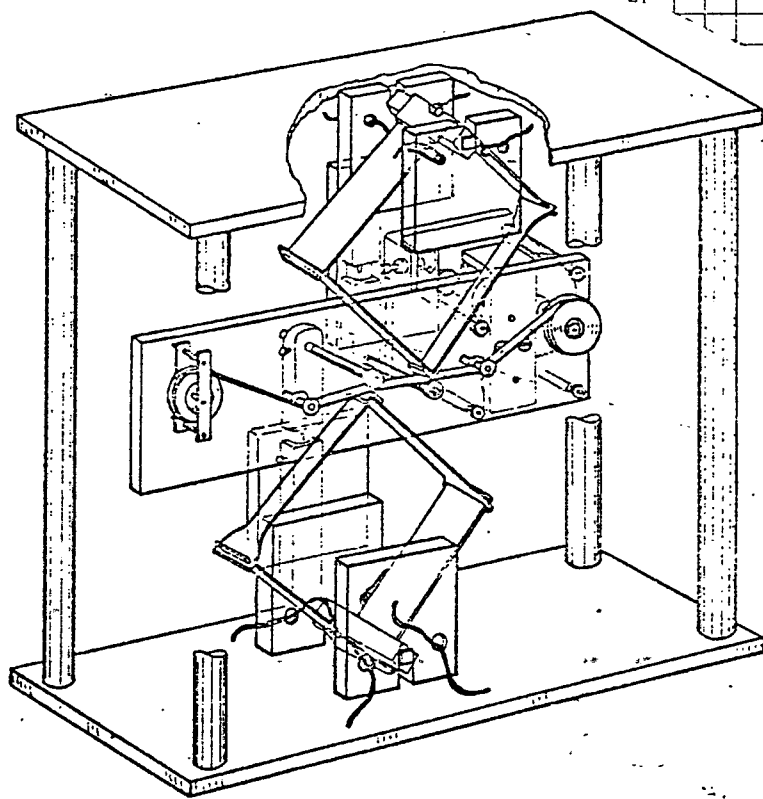
rys. 3.23. Silnik piezoelektryczny [P17]

1-stojan; 2-przewody; 3-uszczelnienie; 4-tulejka; 5-podkładka
6-oscylator piezoelektryczny; 7-obudowa;
8-otwór montażowy; 9-piezoelement; 10-popychacz

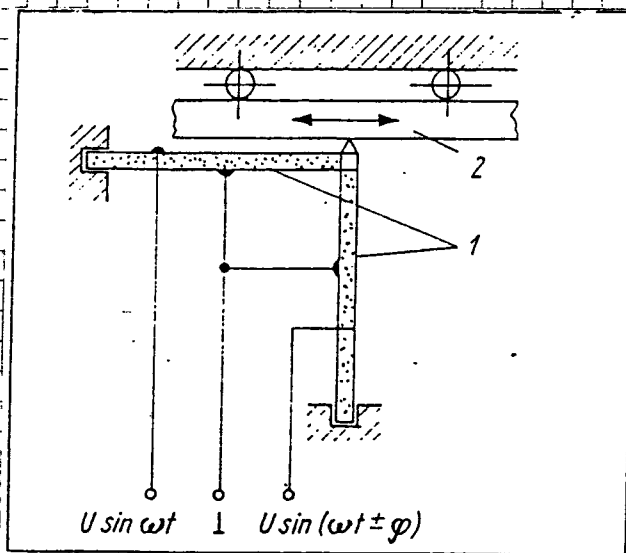


rys. 3.25 Piezoelektryczny zespół napędowy mostkowy [1]

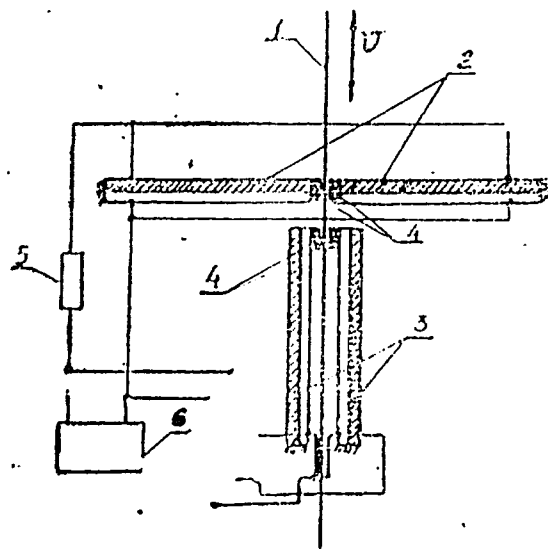
- a - element piezoelektryczny; b - belka potęgowana
 c - taśma magnetyczna; d - koło luzne z łożyskiem kulkowym
 e - kotka luzna; f, g - przewijaki taśmy; h - podstawa
 i - końcówki przewodów; j - płyta tylna; k - urządzenie
 kalibrujące; l - silnik przewijaka; m - przekładnia
 n - przycisk zwalniający zapadkę; o - końcówka



rys. 3.26 Zespół napędowy dwufazowy z dwoma mostkami.
(modyfikacja zespołu z rys. 3.24) [1]

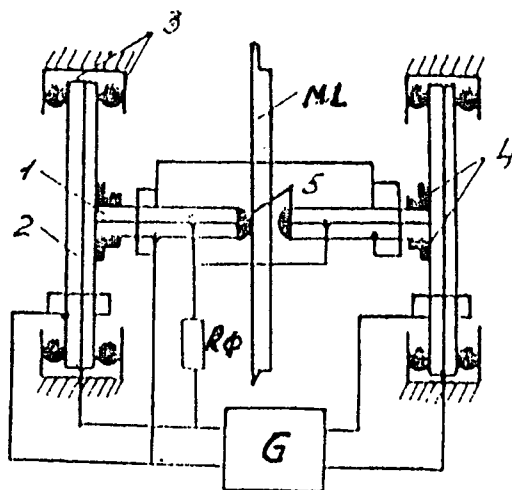


rys. 3.27 Przekształtelnicy prosty maped liniowy [5]
1- oscylatory; 2- linos



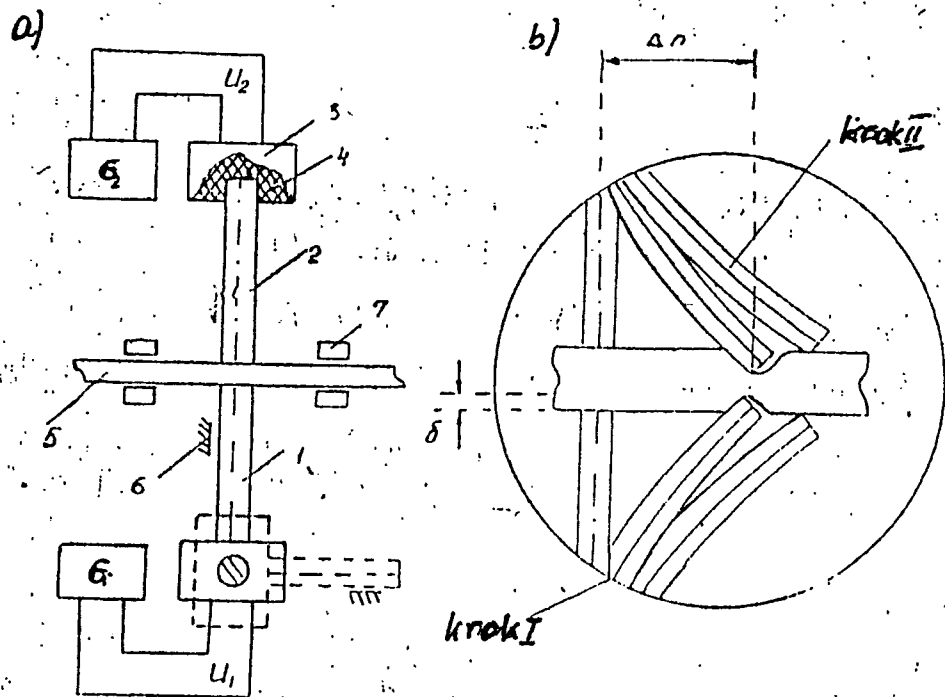
rys. 3.28. Piezoelektryczny liniowy silnik szokowy [10]

- 1- taśma magnetyczna; 2- elementy piezoelektryczne warstwowe
- 3- elementy piezoelektryczne warstwowe; 4- nakładki cieżkie;
- 5- opornik; 6- źródło zasilania.



rys. 3.29. Piezoelektryczny liniowy silnik szokowy w układzie T [24]

- 1, 2 - elementy piezoelektryczne warstwowe; 3- amortyzator gumowy;
- 4 - przepust elastyczny; 5- końcówki z twardej gumy.
- ML - taśma magnetyczna; G- generator; Rp - opornik



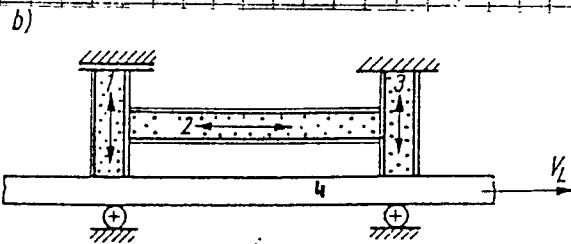
rys. 3.30 Silnik piezoelektryczny liniowy [23]

a) Schemat budowy; b) schemat działania.

1, 2 - elementy piezoelektryczne warstwowe; 3 - przepust dielektryczny.

4 - żywica epoksydowa; 5 - taśma magnetyczna; G - ograniczniki;

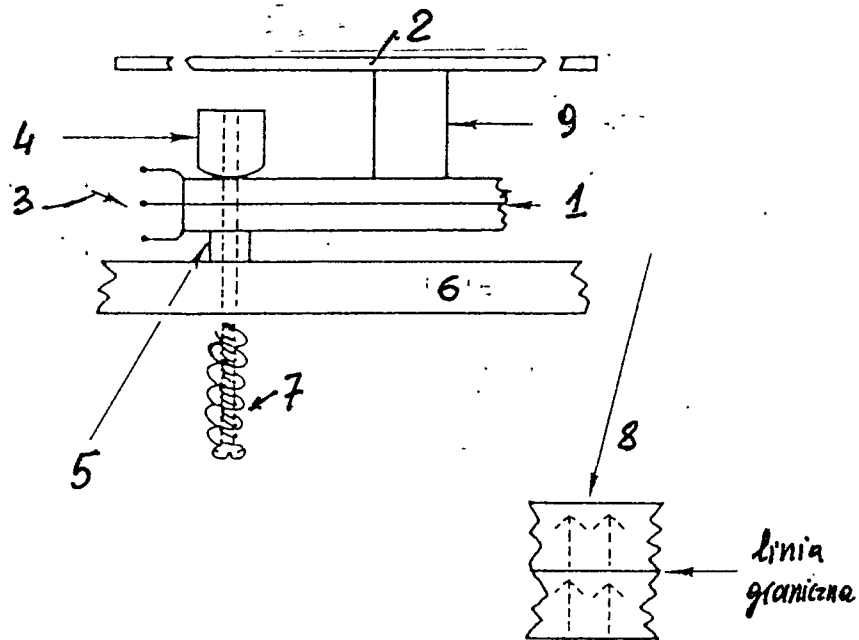
7 - podtrzymywane taśmy; U_1, U_2 - napięcia zasil.; G₁, G₂ - generatory.



rys. 3.32 Schemat budowy silnika piezoelektrycznego liniowego o dużym przesuwie linora [4]

1, 3 - elementy zaciskowe; 2 - element przesuwający.

4 - linor



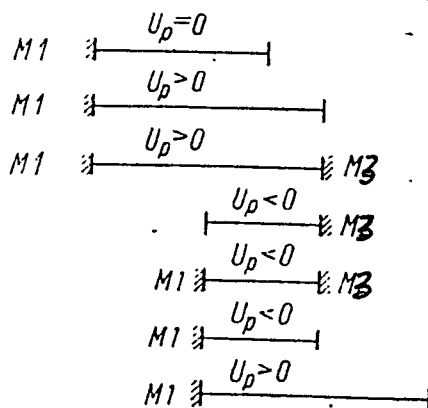
rys. 3.31 Siłownik piezoelektryczny do deformowania zwierciadła lasera. [38].

1 - Piezoelektryczny element warstwowy; 2 - płytka przednia

3 - Zaciśki el.; 4 - zaciśk; 5 - element montażowy

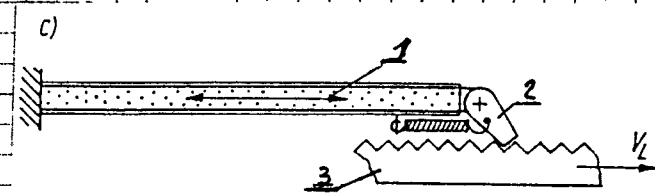
6 - płyta podstawy; 7 - Sprężyna spiralna; 8 - stany polaryzacji

9 - dociskacz;



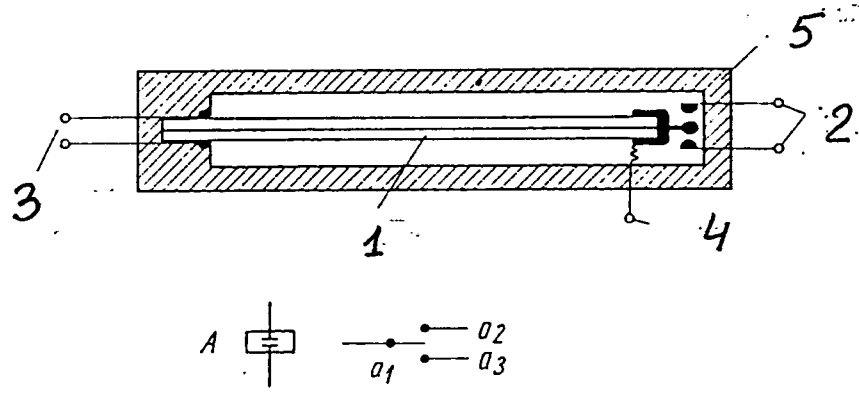
rys. 3.33. Schemat działania siłnika z rys. 3.32 [20].

M1, M3 - elementy zaciskowe



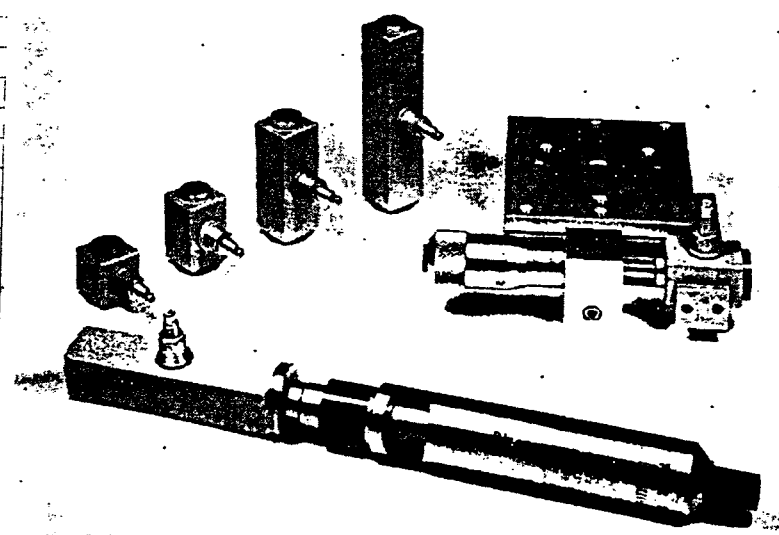
- 48
- 1 - element piezoelektryczny
 - 2 - zapadka
 - 3 - linar

rys. 3.34 Piezoelektryczny silnik liniowy z zapadką dla dużych przesunięć [4]

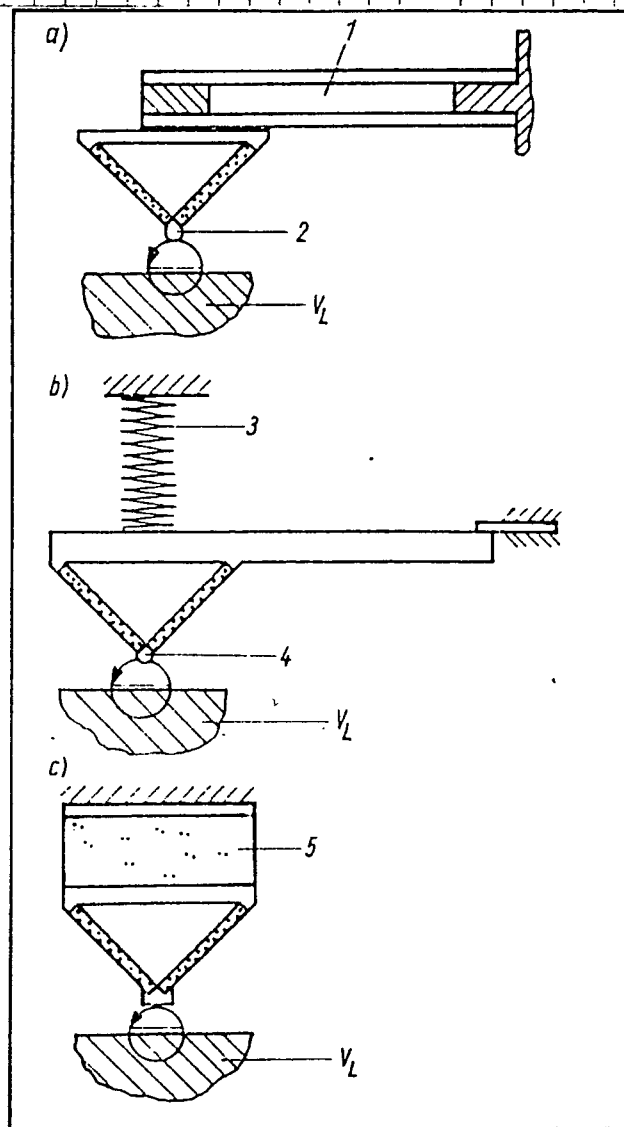


rys. 3.35. Przekaznik piezoelektryczny [20]

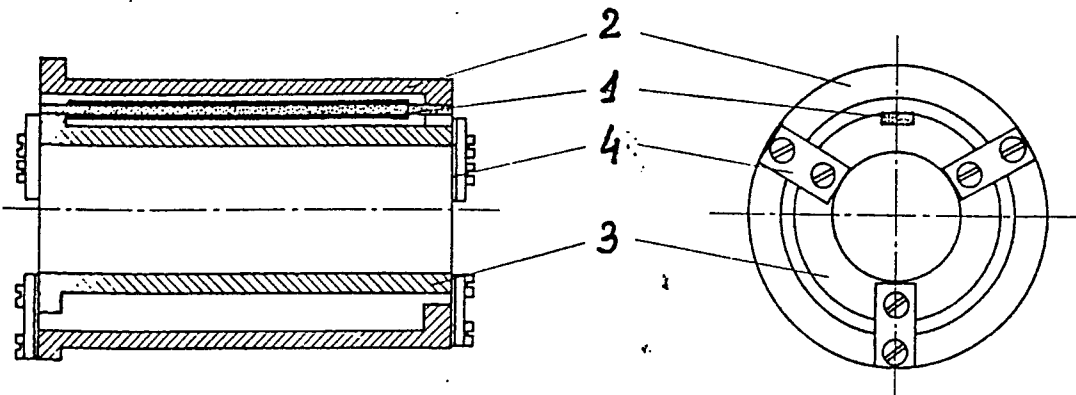
- 1 - piezoelektryczny element warstwowy;
- 2 - styki robocze;
- 3 - zaciski zasilania;
- 4 - styk przekaźniczy;
- 5 - obudowa



rys. 3.36 Wygląd zewnętrzny różnych linowych formy
PHYSIK INSTRUMENT G (RFM) [8]

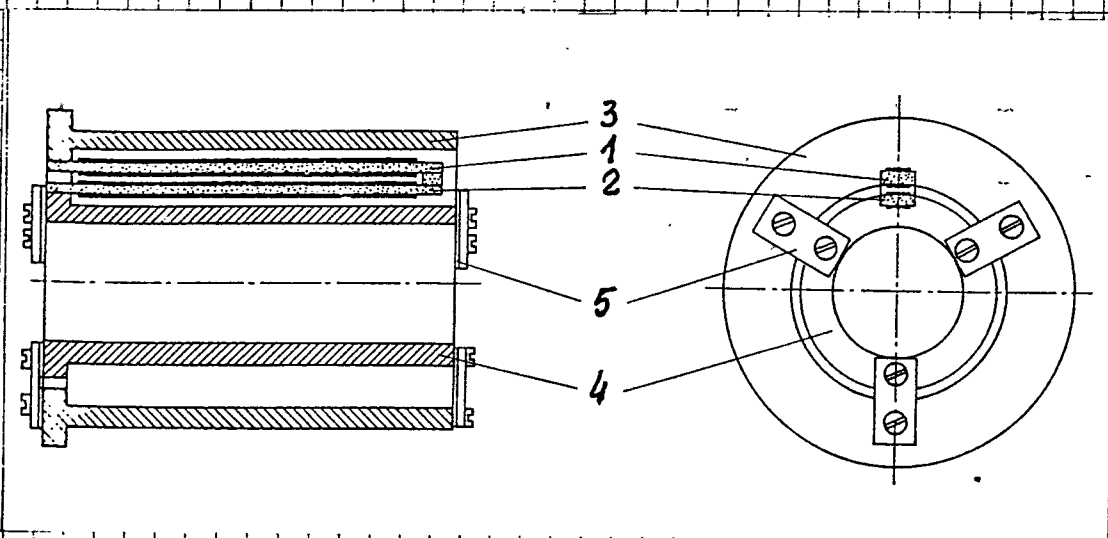


rys 3. 37. Przykładowe wykonania elementów przepajających [4]
 1 - sprężyna płaskie; 2 - kulka; 3 - sprężyna spiralna
 4 - półwałec; 5 - elastomer; V_L - prędkość liniowa.



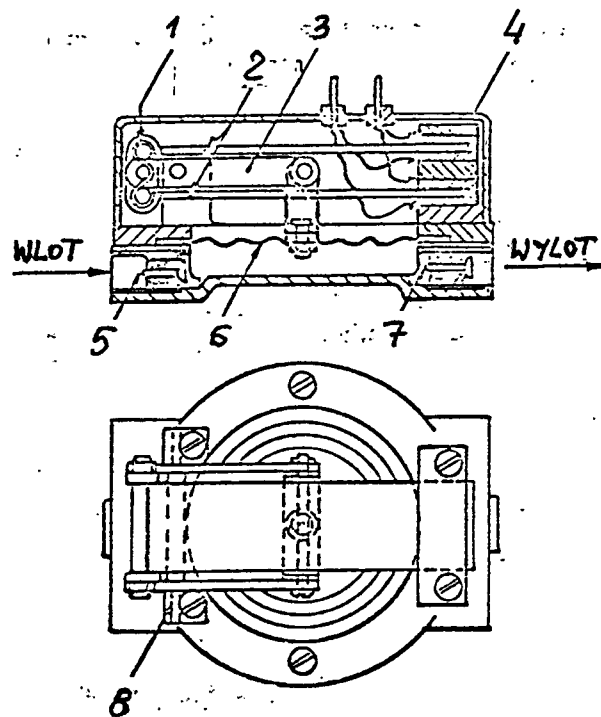
rys. 3.38. Element o kształcie liniowym z jedną belką piezoelektryczną [7]

- 1 - belka piezoelektryczna; 2 - wałek zewnętrzny;
3 - wałek wewnętrzny; 4 - sprężyna płaska.



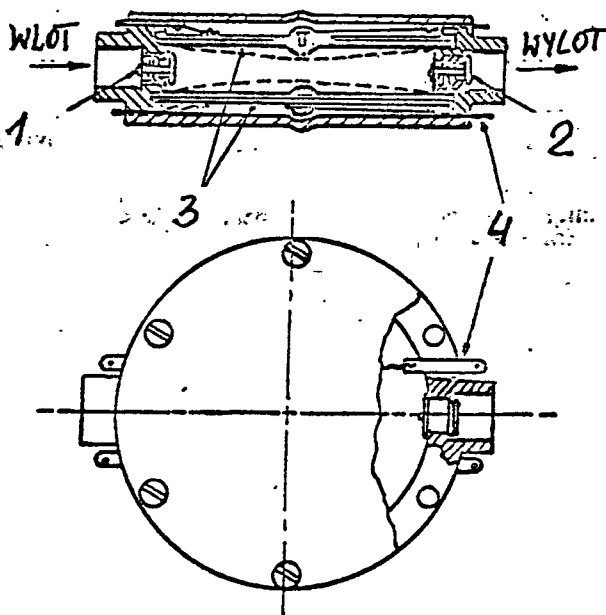
rys. 3.39. Element o kształcie liniowym z dwiema belkami piezoelektrycznymi ułożonymi w meander [7]

- 1, 2 - belki piezoelektryczne; 3 - wałek zewnętrzny; 4 - wałek wewnętrzny; 5 - sprężyna płaska.



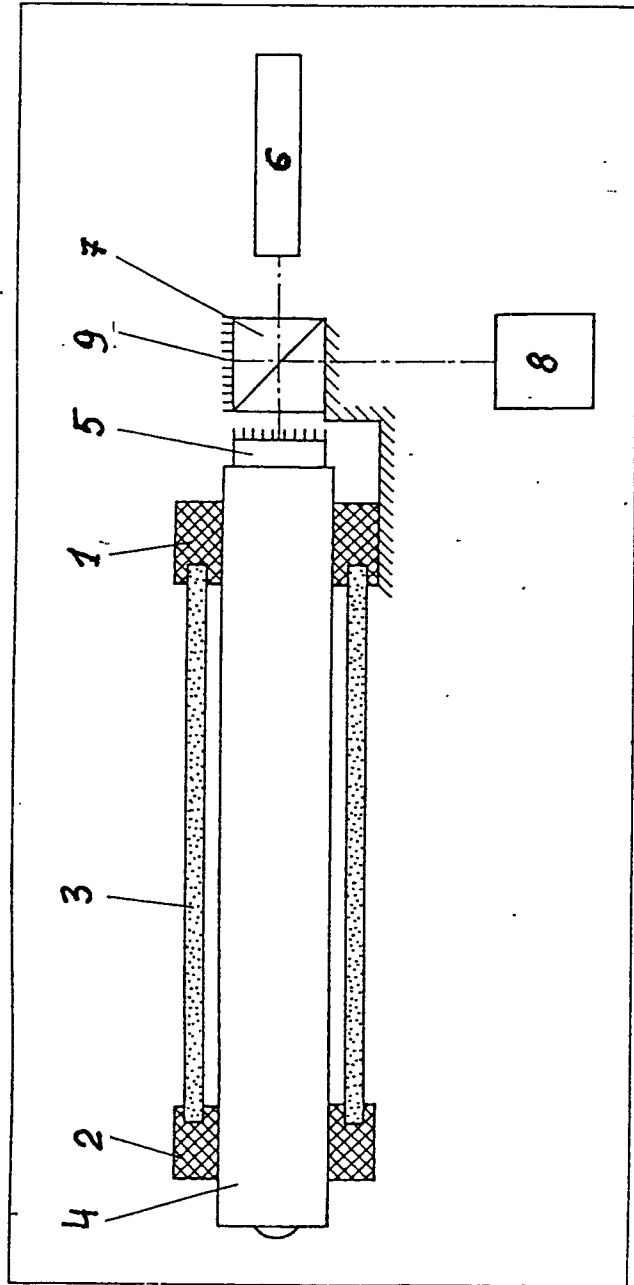
rys. 3.40 Pompa sterowana dwoma cyklami belkowymi [1]

1 - zaciski el.; 2 - belka piezoelektryczna; 3 - belka;
4 - klamra; 5 - zawór wlotowy; 6 - membrana;
7 - zawór wylotowy; 8 - podstawa belki.

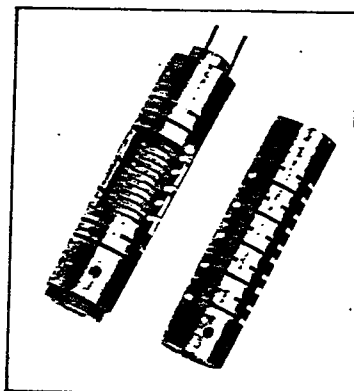


rys. 3.41. Pompa sterowana z dwiema membranami piezoelektrycznymi [1]

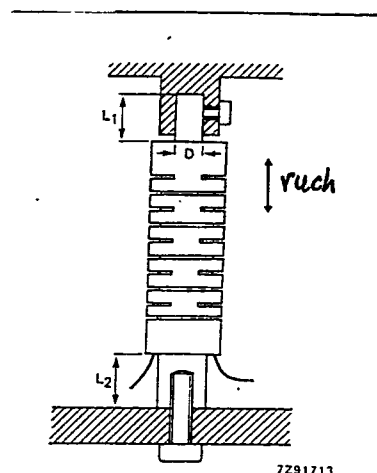
1 - zawór wlotowy; 2 - zawór wylotowy; 3 - membrany piezo.
4 - zaciski zasilania



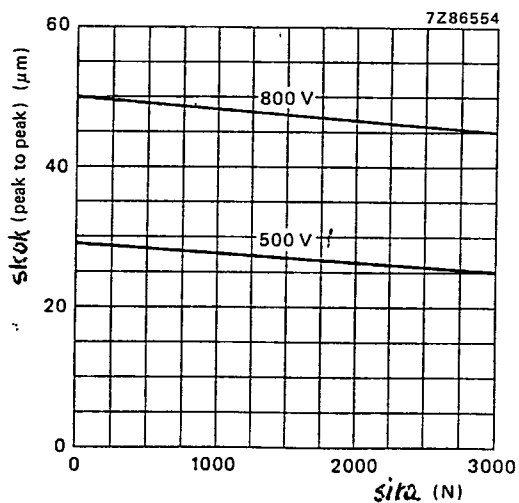
rys. 3.42. Schemat budowy przesuwnika piezoelektrycznego z elementem ruchowym [7]. zastowanego w interferometrze.
 1,2 - elementy blokujące; 3 - wałek piezoelektryczny (czujka); 4 - kolumna przesuw-
 nika; 5 - lustro; 6 - źródło światła; 7 - pryzmat; 8 - reżestator; 9 - powrota-
 chnia odbicia światła w pryzmacie



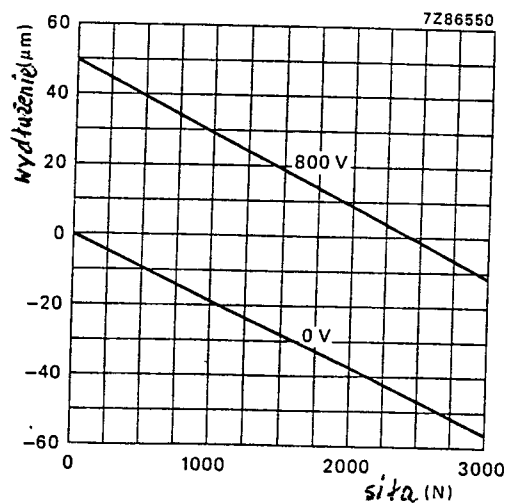
rys. 3.43. Wygląd zewn. przetwornika HPA firmy PHILIPS [47, 48]



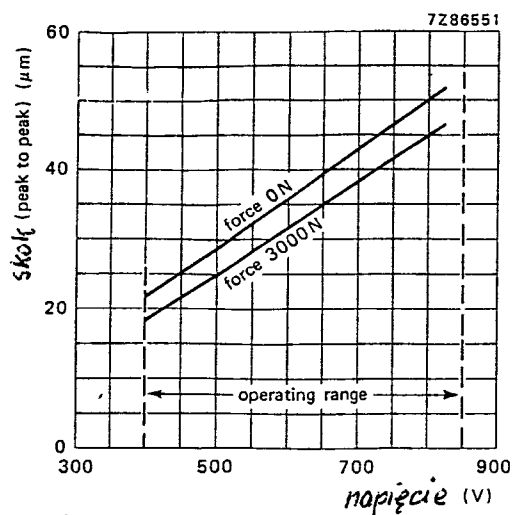
rys. 3.44. Schemat zastosowania przetwornika HPA [48]



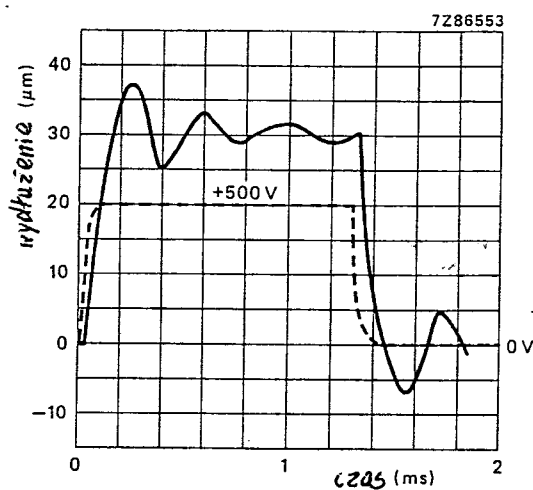
rys. 3.45. Zależność skoku przetwornika HPA od przyłożonej siły [47]



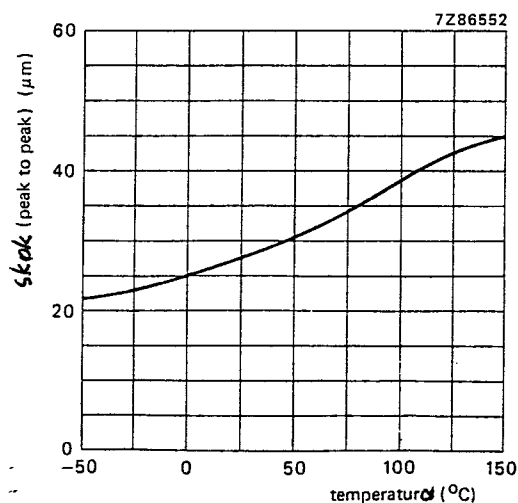
rys. 3.46. Zależność wydłużenia statycznego przetwornika HPA od przyłożonej siły [47]



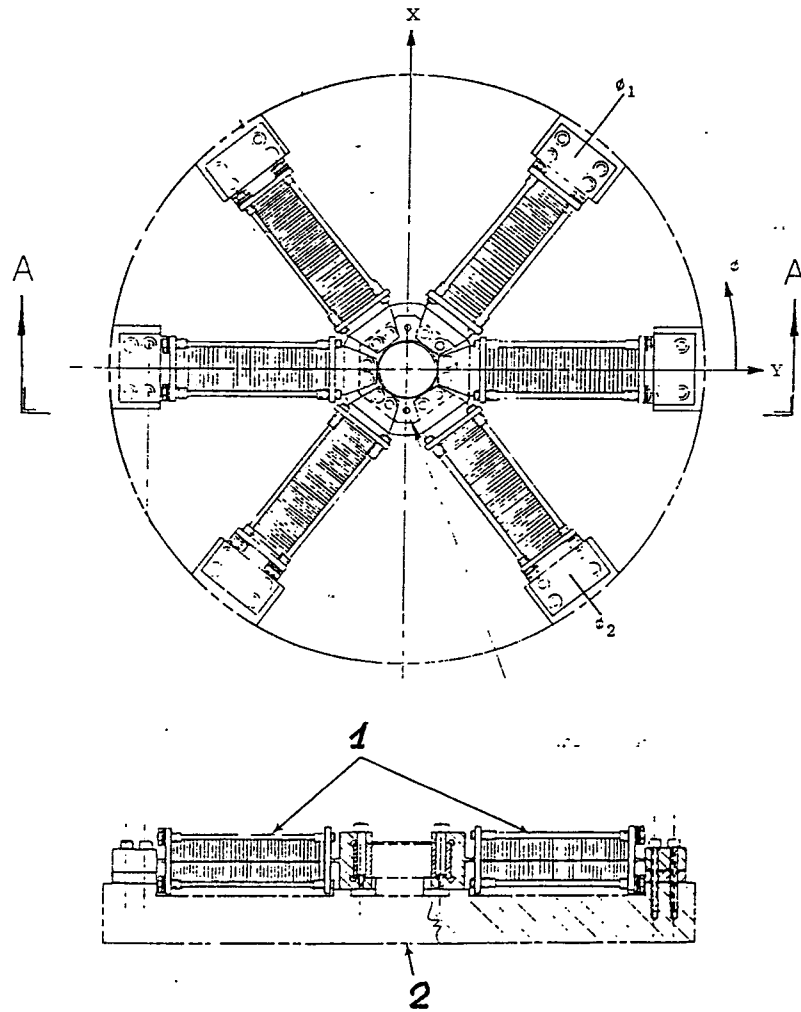
rys. 3.47. Zależność skoku przesuwnika HPA od napięcia zasilania [47].



rys. 3.48. Odpowiedź skokowa przesuwnika HPA [47].

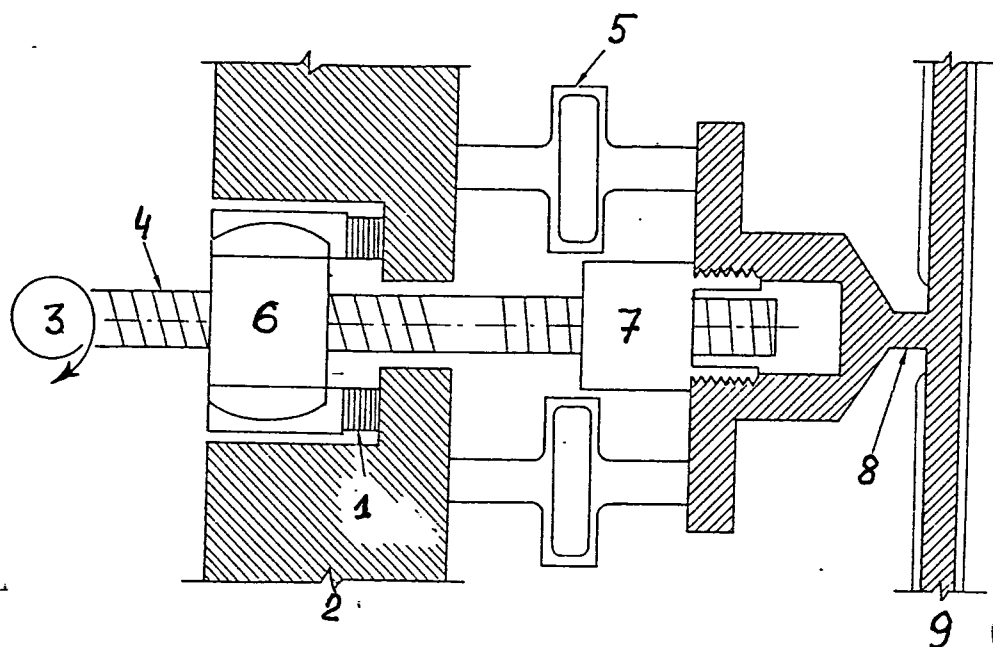


rys. 3.49. Zależność skoku przesuwnika HPA od temperatury [47].



rys. 3.50 Zastosowanie przesuwników prezoceramicznych
do deformowania zwierciadła. [39]

- 1- dwa stosy prezoceramiczne tworzące jeden przesuwnik
2- powierzchnia zwierciadła.

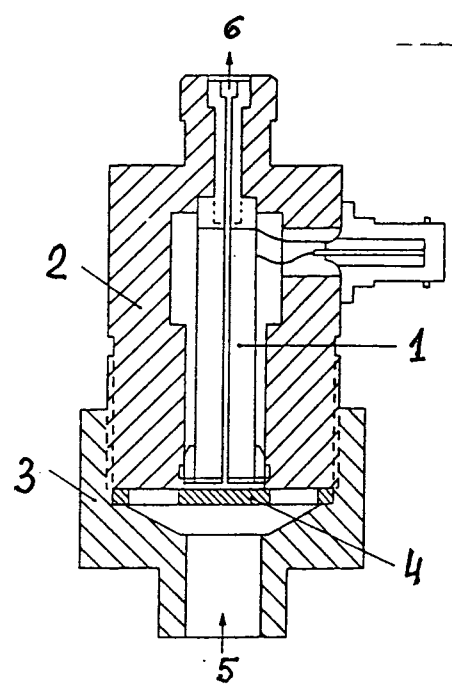


3.51 Zastosowanie przesuwnika piezoceramicznego w zwierciadle znacznie deformowanym [35]

1 - stos piezoceramiczny; 2 - podstawa lustra;

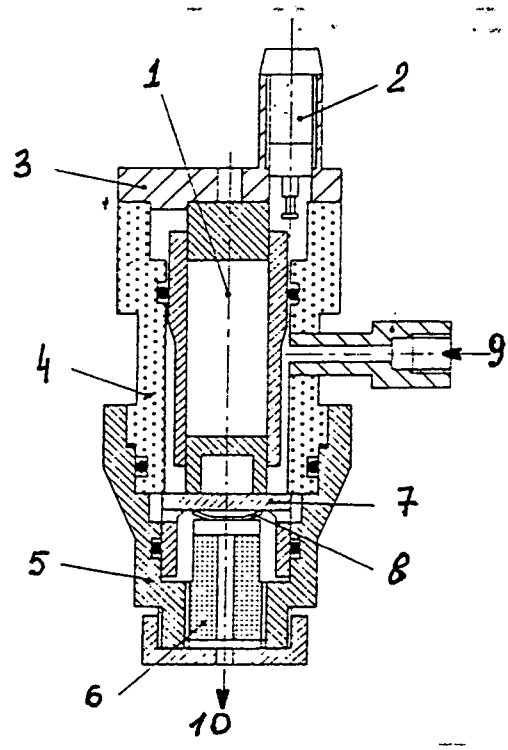
3 - końcówka napędu silnikiem skokowym

4 - przekładnia kulkowa różnicowa; 5 - sprężyna dla naciągu wstępnego; 6, 7 - nakrętki; 8 - zastnat elastyczny; 9 - powierzchnia zwierciadła.



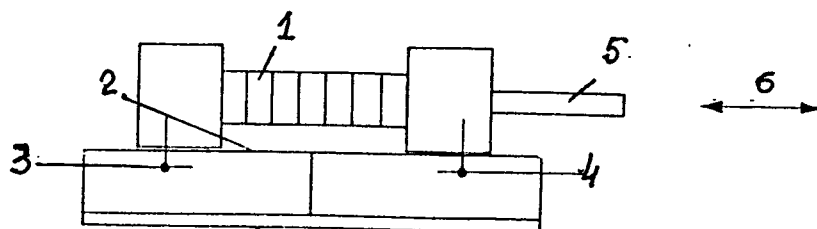
rys. 3.52. Zastosowanie stosu piezo-ceramicznego w zawoie wtryskowym [36]

- 1- stos ; 2- korpus;
- 3- nakretka;
- 4- membrana.
- 5- wlot ; 6- wylot



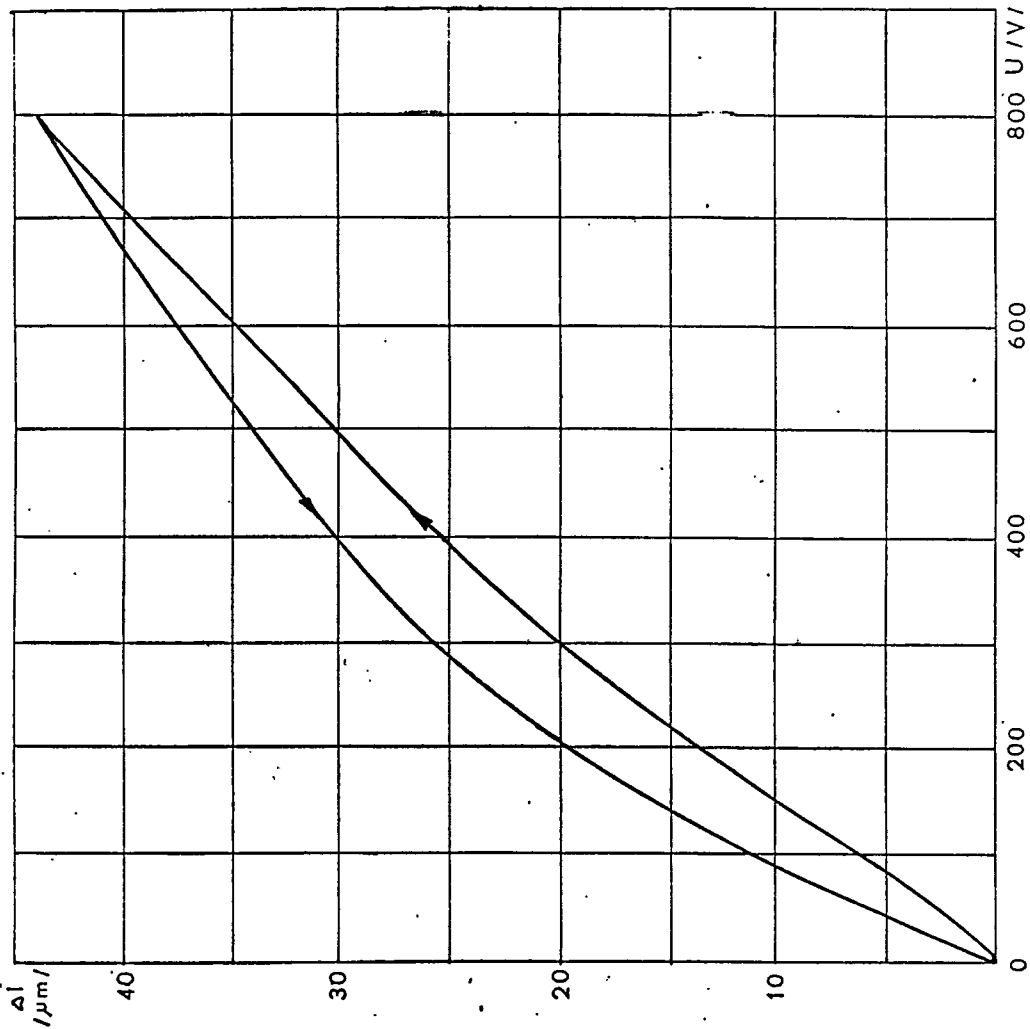
rys. 3.53 Zastosowanie stosu piezoceramicznego w zawoie wtryskowym [36]

- 1- stos ; 2- wtyczka el.
- 3- płyta końcowa
- 4- korpus zaworu
- 5- głowica zaworu
- 6- śruba regulacyjna
- 7- tarcza zaworu
- 8- sprężyna tarczowa
- 9- wlot paliwa
- 10- wylot paliwa



rys. 3.54. Zasada działania silnika piezoceramicznego liniowego [20]

- 1 - stos piezoceramiczny; 2 - jezdnia
- 3, 4 - głowice magnetyczne dociskowe
- 5 - włt. wysiębiowy; 6 - kierunek ruchu.



rys. 4.1 Charakterystyka przesuwника (modelu)
otrzymanego z CERAD-u.

1:2

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT
AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA - PIAP

ARKUSZ BADAŃ PATENTOWYCH

Nr.ewid.

Cel badań:
Stan techniki

Strona 1

Stron 11

1. Techniczny przedmiot badań:
Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy do robotów przemysłowych

2. Klasa patentowa dotycząca przedmiotu badań wg. MKP
H01L

3. Podstawa badań /dokumentacja, wyrób, itp./

Arkusze
A, B, C, D^{x/}

4. Analogiczne wyroby zagraniczne /nazwa, producent/

5. Data rozpoczęcia	badań 15.12.1989	założeń	dokumentacji	prototypu
6. Data zakończenia	badań 31.01.1990	założeń	dokumentacji	prototypu

7. Okres badań patentowych 7+ 10 lat

8. Teren badań /kraj/	EP pat. europ.	USA	ZSRR	Polska	
9. Nr. patentu pierwszego	0050791	4562373	752560	115914	
10. Data pierwszeństwa	13.10.81	21.10.83	3.02.78	31.05.78	
11. Nr. patentu ostatniego	0160707	4814660	1278993	146613	
12. Przewidywany termin wygaśnięcia	3.05.2002	11.02.2006	11.05.98	25.10.99	

13. Techniczny przedmiot badań w rozbiciu na podzespoły

14. Ustalone klasy patentowe wg. klasyfikacji narodowych dla poszczególnych krajów

	EP	USA	ZSRR	Polska	
Przyrządy i urządzenia piezoelektryczne	H01L 41/00	H01L 41/00	H01L 41/00	H01L 41/00	
Przetworniki piezoelektryczne				H04R 17/00	

x/ Arkusz A-dla założeń, B-dla prototypu, C-dla serii próbnej, D-dla wyrobu

STR	KRAJ Polska	MKP	H01L ; H04R	NKP	
-----	----------------	-----	-------------	-----	--

REJESTR OPISÓW PATENTOWYCH WEDŁUG KLASYFIKACJI

Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi	Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi
1	146 613		H01L43/06				
2	140 861		H01L 39/00				
3	115 914		41/08				
4	119 661		41/18				
5	135 573		41/22				
6	130 356		-.-				
7	130 731		-.-				
8	119 080		-.-				
9	116 774		-.-				
10	133 074		H04R 17/00				
11	123 505		-.-				

MKP - międzynarodowa klasyfikacja patentowa
 NKP - narodowa klasyfikacja patentowa

STR	KRAJ USA	MKP	H01L 41/00	NKP	
-----	-------------	-----	------------	-----	--

REJESTR OPISÓW PATENTOWYCH WEDŁUG KLASYFIKACJI

Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi	Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi
1	4 814 660		H01L 41/08	31	4 714 855		H01L 41/08
2	4 814 659		---	32	4 709 183		---
3	4 812 698		---	33	4 703 218		---
4	4 803 763		---	34	4 703 215		---
5	4 803 393		---	35	4 697 118		---
6	4 803 392		---	36	4 692 649		---
7	4 801 838		---	37	4 678 957		---
8	4 801 837		---	38	4 678 955		---
9	4 792 715		---	39	4 658 155		---
10	4 789 804		---	40	4 651 046		---
11	4 788 466		---	41	4 649 313		---
12	4 786 836		---	42	4 647 808		---
13	4 783 610		---	43	4 642 508		---
14	4 782 262		---	44	4 641 052		---
15	4 782 261		---	45	4 639 630		---
16	4 777 398		---	46	4 638 206		---
17	4 769 570		---	47	4 629 928		---
18	4 769 569		---	48	4 622 483		---
19	4 759 107		---	49	4 620 122		---
20	4 755 706		---	50	4 600 854		---
21	4 755 705		---	51	4 585 969		---
22	4 752 712		---	52	4 577 131		---
23	4 749 897		---	53	4 562 373		---
24	4 743 792		---	54	4 775 815		H01L 41/04
25	4 742 260		---	55	4 580 073		H01L 41/00
26	4 742 264		---				
27	4 737 676		---				
28	4 736 131		---				
29	4 727 279		---				
30	4 727 278		---				

MKP - międzynarodowa klasyfikacja patentowa
 NKP - narodowa klasyfikacja patentowa

PIAP 296/88 1500

STR	KRAJ EP patent europejski	MKP	H01L 41/00	NKP	
-----	---------------------------------	-----	------------	-----	--

REJESTR OPISÓW PATENTOWYCH WEDŁUG KLASYFIKACJI

Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi	Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi
1	0160707		H01L 41/08				
2	0144655		--				
3	0129020		--				
4	0117437		--				
5	0105483		--				
6	0050791		--				
7	0088435		H01L 41/04				
8	0126325		H01L 41/08				
9	0101999		--				
10	0094712		--				
11	0094635		--				
12	0094078		--				

MKP - międzynarodowa klasyfikacja patentowa
 NKP - narodowa klasyfikacja patentowa

STR	KRAJ Z SRR	MKP	H 01 L 41/00	NKP	
-----	---------------	-----	--------------	-----	--

REJESTR OPISÓW PATENTOWYCH WEDŁUG KLASYFIKACJI

Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi	Lp.	Nr pat.	Kraj zgłasz.	Uwagi
1	1278 993		H01L 41/08				
2	1262 598		-"-				
3	1123 070		-"-				
4	1070 628		-"-				
5	1062 807		-"-				
6	1023 455		-"-				
7	995 161		-"-				
8	957 323		-"-				
9	949 742		-"-				
10	947 934		-"-				
11	947 933		-"-				
12	928 470		-"-				
13	913 486		-"-				
14	913 485		-"-				
15	873 312		-"-				
16	864 386		-"-				
17	843 032		-"-				
18	819 864		-"-				
19	819 863		-"-				
20	775 792		-"-				
21	769 665		-"-				
22	765 911		-"-				
23	752 560		-"-				

MKP - międzynarodowa klasyfikacja patentowa
 NKP - narodowa klasyfikacja patentowa

Techniczny przedmiot badań	Kraj	Nr. patentu, wzoru użytkowego; Klasa	Data pierwszeństwa	Tytuł patentu, wzoru użytkowego
Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych	Polska	133074	81.02.25	Sposób napięciowego sterowania elementu bimorficznego piezoelektrycznego
		H04R, 17/00		
	US	4 752 712	86.11.25	Piezoelectric laminare stock.
		H01L, 41/08		
	US	4 783 610	87.04.20	Piezoelectric actuator
		H01L, 41/08	JP	
	US	4 703 215	86.03.13	Stacked piezoelectric ceramics displacement magnifying device.
		H01L, 41/08	JP	
	US	4 803 393	86.07.31	Piezoelektric actuator .
		H01L, 41/08	86.08.19	
		87.04.24	JP	
US	4 577 131	83.12.29	Piezoelectric micromotion actuator.	
	H01L, 41/08			
US	4 649 313	83.08.22	Piezoelektric displacement element	
	H01L, 41/08	JP		
US	4 639 630	84.03.31	Piezoceramic servo- drive for producing translational motion, especially for aplication to ring laser mirrors.	
	H01L, 41/08	DE		
EP	0 144 655	83.10.19	Electrostriction transducer comprising electrostriction layers of axially varied thicknesses.	
	H01L, 41/08	JP		
EP	0 094 635	82.05.17	Piezoelektrisches stellglied	
	H01L, 41/08	DE		

Techniczny przedmiot badań	Kraj	Nr. patentu, wzoru użytkowego; Klasa	Data pierwszeństwa	Tytuł patentu, wzoru użytkowego
	EP	0 050 791 H01L, 41/08	80.10.28 DE	Elektrisch zu betätigendes stellglied.
	SU	752 560 H01L, 41/08	78.02.03	Piezoelektriceskij liniejnyj šagowyj dvigatel.
	SU	819 864 H01L, 41/08	79.06.19	Liniejnyj vibrogvigatel.
	SU	947 934 H01L, 41/08	78.03.07	Piezoelektriceskij preobrazovatel peremeščenij diskretnovo geistvija.
	SU	949 742 H01L, 41/08	79.03.12	Liniejnyj vibracionnyj dvigatel.
	PL	P-263031	86.12.15	Przesuwnik piezoelektryczny.
	PL	P-263032	86.12.15	Sposób sterowania przesuwника piezoelektrycznego.

Patent PL nr. 133074

Dotyczy sposobu sterowania napięciowego elementu piezoelektrycznego bimorficznego znamienny tym, że na elektrody każdej płytki składowej przykłada się impulsy napięcia sterującego o biegunowości zgodnej z kierunkiem wektora jej polaryzacji i tak przesunięte między sobą w czasie, że obie płytki są pobudzone.

Patent USA nr. 4 752 712

Dotyczy stosu piezoceramicznego w którym zastosowano elektrody o specjalnych kształtach, co jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent USA nr. 4 783 610

Dotyczy dalszych wariantów przesuwника wg patentu 4 703 215 (USA) między innymi ze sprężyną spiralną dociskającą stos. Te warianty konstrukcyjne są przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent USA nr. 4 703 215

Dotyczy przesuwника liniowego ze stosem piezoceramicznym w obudowie wydłużonej. Stos jest luźno usytuowany w obudowie, która ma fragment ienkościenny, odkształcany. Docisk wspólny daje sprężyna typu membrany zamykająca obudowę. Ta obudowa jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent USA nr. 4 803 393

Dotyczy przesuwника liniowego ze stosem piezoceramicznym, zawierający mieszki i wypełniący cieczą, i to jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent USA nr. 4 649 313

Dotyczy przesuwника liniowego ze stosem piezoceramicznym, którego płytki są łączone w grupy równoległe. To jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent USA nr. 4 577 131

Dotyczy przesuwnika liniowego ze stosem piezoceramicznym umieszczonego luźno w sprężystej obudowie i wypośrodkowanego układem stożkowych podpór; po przyłożeniu napięcia stos powoduje wydłużenie obudowy, której ruch jest żądanym przesunięciem. To jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent USA nr. 4 639 630

Dotyczy przesuwnika liniowego ze stosem piezoceramicznym, w którym płytki podzielone tak, że mają kilka powierzchni styku z elektrodami. To jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent EU nr. 0 144 655

Dotyczy przesuwnika liniowego ze stosem piezoceramicznym, w którym co najmniej 2 płytki są o innej grubości niż reszta przyczym są one o grubości co najmniej 1,1 grubości pozostałych płytek. Ponadto są dwie zewnętrzne płyty ochronne.

To jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent EU nr. 0 094 635

Dotyczy przesuwnika liniowego ze stosem piezoceramicznym luźno umieszczonego w obudowie, z luźno umieszczonymi elektrodami, ściśniętego między dwiema sprężynami płaskimi z których jedna stanowi dno obudowy.

Ta konstrukcja jest przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent EU nr. 0 050 791

Dotyczy silnika skokowego liniowego którego elementem napędowym jest stos piezoceramiczny o płytkach usytuowanych poprzecznie do kierunku ruchu linora i przedzielonych przekładkami dystansowymi.

Ta konstrukcja jak również różne kształty płytek dystansowych są przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

Patent SU nr. 752 560

Dotyczy silnika skokowego złożonego z przesuwnika zbudowanego ze stosu płytek piezoceramicznych i dwóch zatrząsków zbudowanych z takichże stosów
Zastrzezenie patentowe dotyczy:

- sterowania za pomocą dodatkowych impulsów w.cz.
- zastosowania zatrząsków w postaci stosów zaciśniętych membranami.

Patent SU nr. 819 864

Dotyczy silnika liniowego złożonego z przesuwnika w postaci rurki piezoceramicznej oraz dwóch zatrząsków w postaci tarcz piezoceramicznych. Pomiędzy prowadnicą zatrząsków a obudową umieszczono tulejkę deformowalną - wprowadzenie tej tulejki jest przedmiotem zastrzeżenia patentowego.

Patent SU nr. 947 934

Dotyczy przesuwnika wykonanego w postaci stosu płytek piezoceramicznych, przy czym płytki są pogrupowane w grupy, a liczba płytek w grupach jest obliczana wg. pewnego kodu, to jest objęte zastrzeżeniem patentowym.

Patent SU nr. 949 742

Dotyczy silnika skokowego w którym jako zatrząski zastosowano rolki z materiału ferromagnetycznego (ewentualnie inne elementy toczne) dociskane do piezoelektrycznego linora za pomocą elektromagnesów. Ta konstrukcja jest przedmiotem zastrzeżenia.

Patent PL nr. 263 031

Dotyczy przesuwnika zbudowanego w postaci stosu pierścieni piezoceramicznych o średnicach większej i mniejszej ułożonych na przemian. Zastrzeżenia patentowe dotyczy tego właśnie szczegółu budowy.

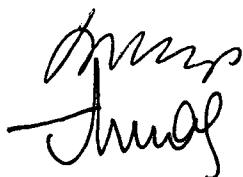
Stwierdzenie naruszenia /nienaruszenia/ obcych praw wyłącznych.
Stwierdzenie możliwości produkcji i eksportu przedmiotu badań.
Uwagi dotyczące nieuczciwej konkurencji.

Jak wykazała analiza opisów patentowych rejestrowany stan techniki
jest identyczny jak stan techniki określony na podstawie literatury
i przedstawiony w pierwszej części sprawozdania.

Podpis rzecznika
patentowego



Podpisy prowadzących
badania



Podpis kierownika
Ośrodka lub ZNB

