

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81
ZESPÓŁ AUTOMATYKI ELEKTRONICZNEJ

074
Główny wykonawca prof. dr inż. Tadeusz Missala *Missala* A

Wykonawcy

mgr inż. Wojciech Klimasara
mgr inż. Ryszard Mazurkiewicz

Konsultant

Nr zlecenia K-210

Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. Pkt kontr. 1.

Opracowanie i wykonanie prototypu zespołu napędowego piezoelektrycznego do zwierciadła uchylnego spawarek laserowych dla robotów i urządzenia sterująco-zasilającego.

1.1. Opracowanie założeń do budowy prototypów zespołu napędowego i zasilacza.

Zleceniodawca

Komitet Badań Naukowych

Prace rozpoczęto dnia 01.01.1991

zakończono dnia 28.02.1991
Kierownik Zespołu

Z-ca Dyrektora d/s
Badawczo-Rozwojowych

J. Korytkowski
doc.dr inż. J. Korytkowski

J. Jabłkowski
dr inż. J. Jabłkowski

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 13

Egz. 1 BOINTE

rysunków 10

Egz. 2 OAE

fotografii -

Egz. 3 OAR

tabel -

Egz. 4 ORC

tablic -

Egz. 5

załączników -

Egz. 6

Nr rejestr. 6610

Analiza deskryptorowa

ZJAWISKO^{KA} PIEZOELEKTRYCZNE^{KA} + PRZETWORNIKI WYKONAWCZE +
ROBOTY PRZEMYSŁOWE + SPAWARKI + LASERY

Analiza dokumentacyjna

Przedstawiono założenia dla zespołu napędowego lustra uchylnego (skanera) stosowanego w laserowych spawarkach używanych w zrobotyzowanych stanowiskach spawalniczych oraz w przyrządach optycznych np. mikroskopach i urządzeniach do nanoszenia napisów i oznaczeń, jak również w czytnikach kodu paskowego. Założenia zawierają krótką analizę literatury, założenia do budowy skanera, założenia do budowy urządzenia zasilająco-sterującego oraz informacje o cenach na rynkach zachodnich.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. P.K.1 Rozpoznanie stanu techniki na świecie na podstawie literatury i opisów patentowych. Rozpoznanie dostępności materiałów. Opracowanie założeń do budowy modelu laboratoryjnego mikroprzetwornika. Nr rej. 6417
2. Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. P.K.2 Opracowanie dokumentacji szkieletowej, wykonanie i badania wstępne modelu laboratoryjnego mikroprzetwornika i bloku sterowania. Określenie zakresu i harmonogramu dalszych prac.

621.3.082.75 Zjawisko piezoelektryczne

UKD

638.45:62/69].002.7/2 Roboty przemysłowe
PIAP-252/63-6000

2

SPIS TRESCI

1. WSTEP
2. PRZEGLAD LITERATURY
3. WYMAGANIA
 - 3.1. Wymagania funkcjonalne
 - 3.2. Wplyw temperatury
 - 3.3. Wplyw przylozonej sily
4. ZAŁOZENIA DLA NAPERDU LUSTRA
 - 4.1. Obliczenia wstepne
 - 4.2. Opis
5. STEROWNIK PRZETWORNIKA PIEZOELEKTRYCZNEGO. ZAŁOZENIA TECHNICZE
 - 5.1. Przeznaczenie
 - 5.2. Budowa i dzialanie
 - 5.3. Konstrukcja mechaniczna
6. CENY NA RYNKU EUROPEJSKIM
7. LITERATURA

1. WSTĘP

Według pierwotnego planu kolejną pracą w ramach opracowania mikroprzetwornika wykonawczego dla robotów przemysłowych miało być opracowanie głowicy x-y, napędzanej dwoma przesuwnikami piezoelektrycznymi a przeznaczonej do korygowania położenia przedmiotu manipulowanego przez robot w obszarze jego niedokładności pozycjonowania. Niezadowalający stan produkcji i zastosowań robotów w Polsce wskazuje, że perspektywa zastosowania takich głowic x-y wydaje się być odległa. Zgodnie z sugestiami Dyrektora Instytutu przeprowadzono rozeznanie, którego celem było znalezienie zastosowań, rokujących szybsze wdrożenie, które jednakże otwieralyby również perspektywy zastosowań w robotyce.

Z rozeznania literaturowego i patentowego [1] wynika, że przesuwniki piezoelektryczne są stosowane z powodzeniem w technice laserowej do deformowania lub przemieszczania zwierciadeł. Deformowanie zwierciadeł jest stosowane w urządzeniach laserowych dużych mocy, stosujących duże zwierciadła. Przemieszczanie zwierciadeł jest stosowane w urządzeniach małej mocy, n.p. używanych do odczytywania kodów paskowych. Przykładem piezoelektrycznych elementów wykonawczych stosowanych do tego ostatniego celu mogą być oprawy luster z wbudowanymi napędami piezoelektrycznymi firmy Physik-Instrumente [3]. Ponadto przemieszczanie zwierciadeł jest stosowane w przyrządach optycznych jak n.p. refraktometry. W Polsce ma miejsce produkcja tej klasy przyrządów optycznych, z tym że dotychczas nie są w nich wykorzystywane przesuwniki piezoelektryczne. Ten stan stwarza potencjalne możliwości wdrożenia do przemysłu opracowanych opraw luster; skądinąd takie miniaturowe przetworniki byłyby też przydatne w robotyce. Bazując na powyższych stwierdzeniach uzgodniono z kierownictwem Instytutu, że w ramach realizowanego zlecenia K-210 zostanie opracowany element wykonawczy, przeznaczony w pierwszym rzędzie do przemieszczania zwierciadeł przyrządów optycznych. Niniejsze założenia są początkiem realizacji tego uzgodnienia.

2 PRZEGLĄD LITERATURY

Pozycje do analizy literaturowej wybrano posługując się informacjami z międzynarodowych baz danych INSPEC i COMPEND oraz z Przeglądu Dokumentacyjnego wydawanego przez MERA-PIAP. Niestety w Polsce jest dostępna tylko ograniczona część literatury wykazanej w międzynarodowych bazach danych; nie są na przykład w zasadzie dostępne materiały z sympozjów i konferencji. Zebrane informacje są dość skąpe, tym niemniej dają pojęcie o kierunku w jakim należy zmierzać. Firma Physik-Instrumente [3] oferuje urządzenie (rys. 1) do realizacji szybkich wahań zwierciadła. Jest ono przeznaczone do zadań wymagających dużej dynamiki i jest dla nich zoptymalizowane. Przy kątach wahań do 5 mrad osiąga się okres drgań rzędu 0,1 ms, co odpowiada częstotliwości drgań 10 kHz, typowe amplitudy drgań są rzędu 1 μ rad. Jak wynika z rysunku, przy średnicy lustro 20 mm, całkowita długość silownika napędzającego lustro jest 20÷25 mm. Jak wynika z rozmów z przedstawicielem firmy SOLARIS, tego typu urządzenia lecz nieco wolniejsze (częstotliwość pracy ok. 1 kHz) znajdują zastosowanie w czytnikach kodu prążkowego i mogłyby być stosowane w Polsce. Lustra uchylne są również stosowane w laserowych urządzeniach spawalniczych [6]. Schemat przebiegu strumienia świetlnego w takim urządzeniu przedstawiono na rys.2. Są tu stosowane dwa lustra uchylne; każde z nich ma jeden stopień swobody ruchu. Tego typu urządzenia spawalnicze są przewidziane do stosowania w zrobotyzowanych gniazdach spawalniczych.

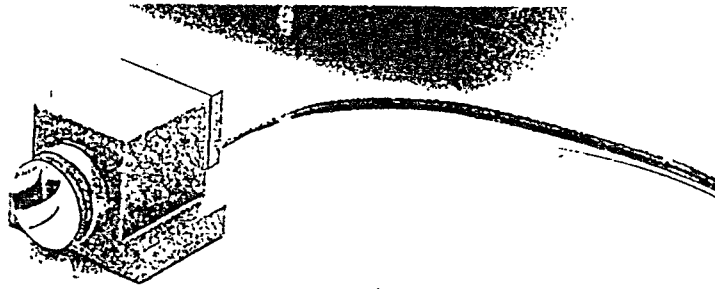
Podobny do powyższego układ dwóch luster uchylnych jest stosowany w mikroskopie skanującym jako jednostka skanująca x-y [5]. Schemat przebiegu strumienia świetlnego w tym mikroskopie przedstawiono na rys.3. Analogiczne układy dwuzwierciadłowe są stosowane w laserowych znacznikach i drukarkach, służących do nanoszenia różnego rodzaju napisów. W [8] opisano urządzenia sterujące m.in. do nanoszenia napisów na elementach elektronicznych z prędkością ok. 100 znaków na sekundę. Schemat optyczny urządzenia przedstawiono na rys.4. W [7] opisano urządzenie laserowe przeznaczone do opisywania klawiatur, nanoszenia napisów zastępujących tabliczki znamionowe urządzeń elektrycznych, do opisywania elementów sterowniczych i sygnalizacyjnych paneli

robotów i obrabiarek NC itp. Schemat optyczny urządzenia podano na rys.5. We wszystkich omówionych przypadkach podano, że wychylenia kątowe lusterek są rzędu mikroradianów, a więc nie przekraczają wymienionych w [3].

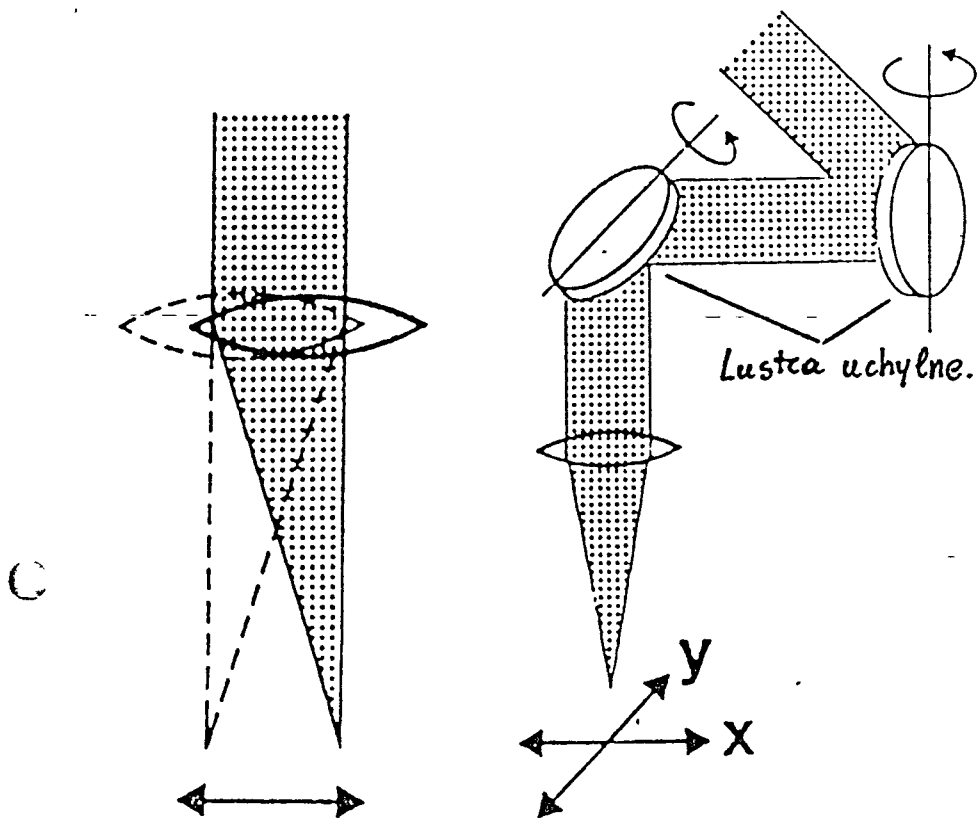
Jak wynika z tego krótkiego przeglądu lustera uchylne znajdują zastosowanie tak w przyrządach naukowych jak i produkcyjnych wykorzystujących technikę laserową. Niektóre z nich mogą być obsługiwane przez roboty. Wskazuje to na celowość podjęcia opracowania przedstawionego we wstępie (p.1). W [1] zwrócono uwagę na histerezę charakterystyki przesunięcia stosu piezoelektrycznego w funkcji napięcia sterowania. Jest to zjawisko niewątpliwie niekorzystne. Jedną z prostych możliwości ograniczenia zjawiska histerezy podano w [18]; zastosowano tu układ RC przedstawiony na rys.6. Otrzymało ok. 10-krotne zmniejszenie maksymalnej wartości strefy histerezy. Kolejnym przykładem zastosowania mikroprzesuwnika piezoelektrycznego jest stół $xy\ominus$ stosowany do produkcji obwodów scalonych [15]. Budowę tego stolika przedstawiono na rys.7. Zastosowano w nim 4 przesuwniki piezoelektryczne i 6 zatrzasków elektrostatycznych oraz mikroprocesorowy układ sterowania. Uzyskano następujące zakresy ruchów:

- w osiach x i y : $0,035 \mu\text{m}$
 - w osi \ominus : $6,4 \times 10^{-7} \text{rad}$
- } przy nieliniowości $\pm 0,15\%$
oraz maksymalna częstotliwość 150 Hz

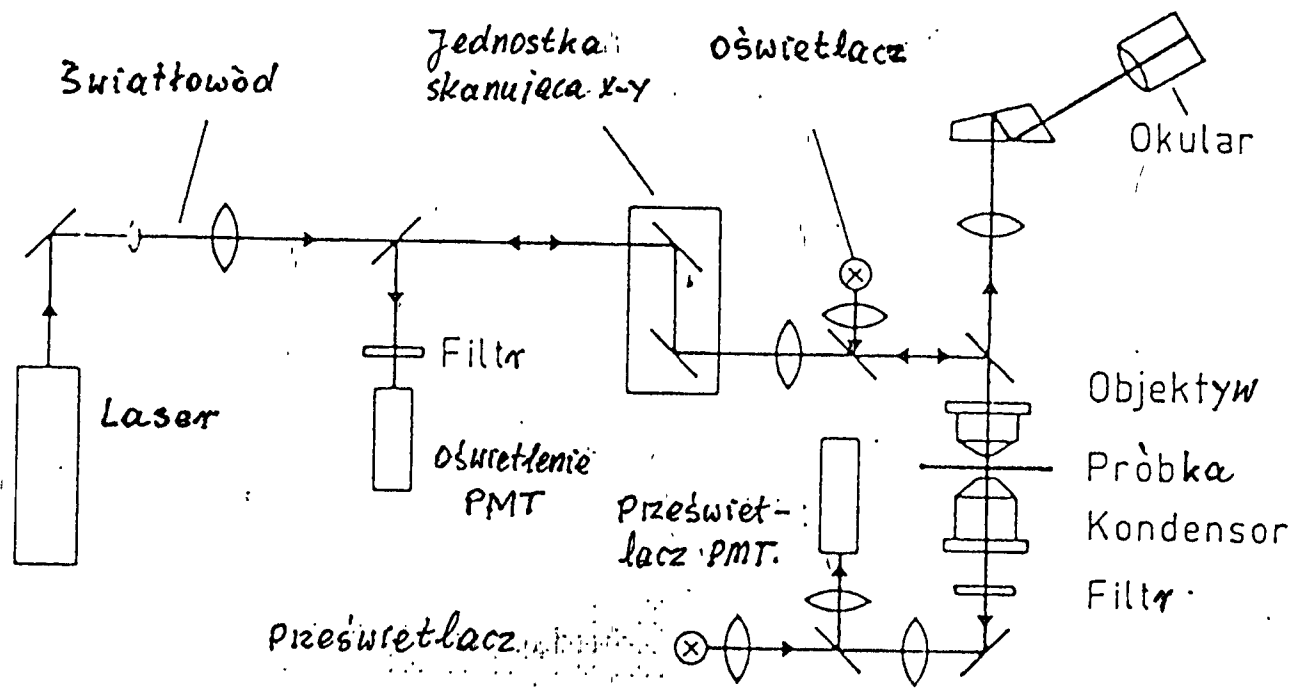
Analiza wyników pomiarów przesuwników PA firmy PHILIPS [13] prowadzi do wniosku, że ich maksymalna częstotliwość pracy leży w okolicy 800 HZ, przy maksymalnym wychyleniu $\sim 37 \mu\text{m}$. Wskazuje to, że osiągnięcie proponowanej przez odbiorców częstotliwości 1000 Hz, przy ograniczeniu zakresu ruchu jest całkowicie możliwe.



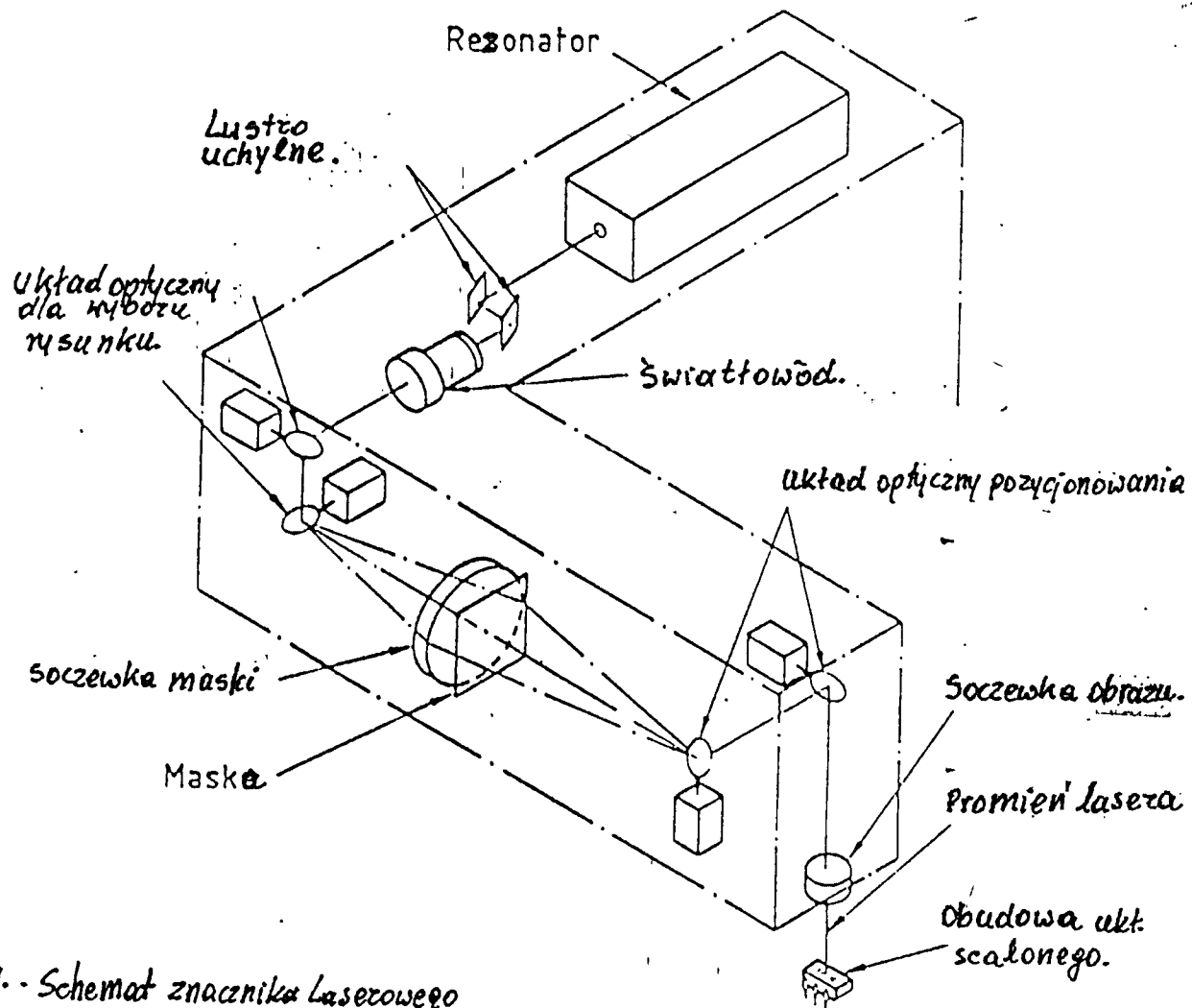
rys. 1 Trzymadło lustra produkcji Physik-Instrumente [3].



rys. 2. Przebieg strumienia w laserze spawalniczym [6]

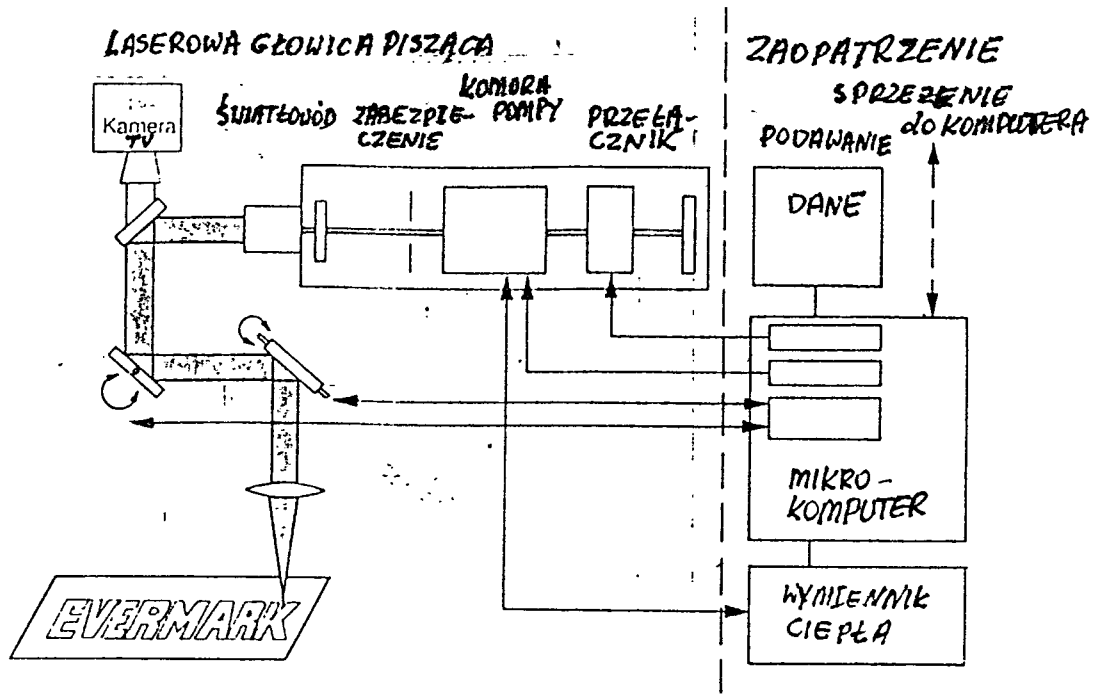


rys. 3. Schemat optyczny laserowego mikroskopu skanowego [5]

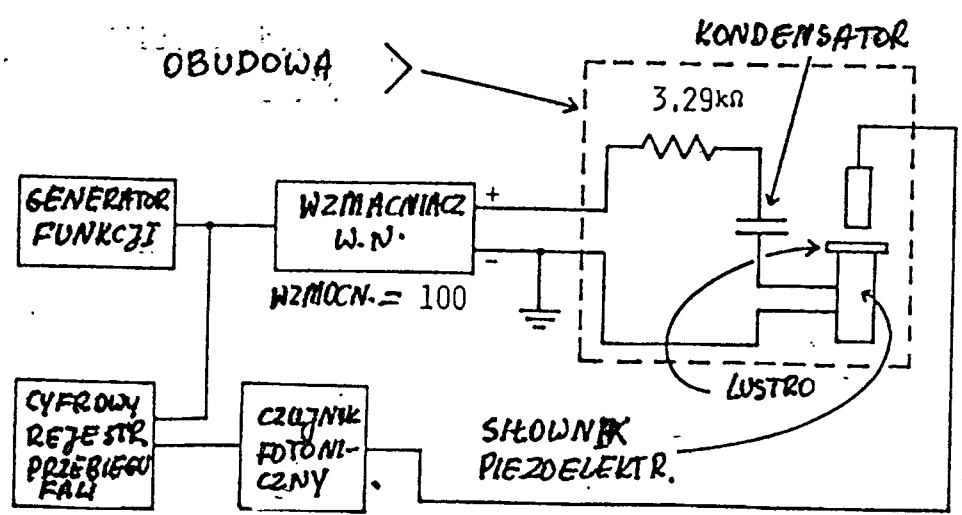


rys. 4. - Schemat znacznika laserowego
 NEC-IBB-Marker YL476A [87]

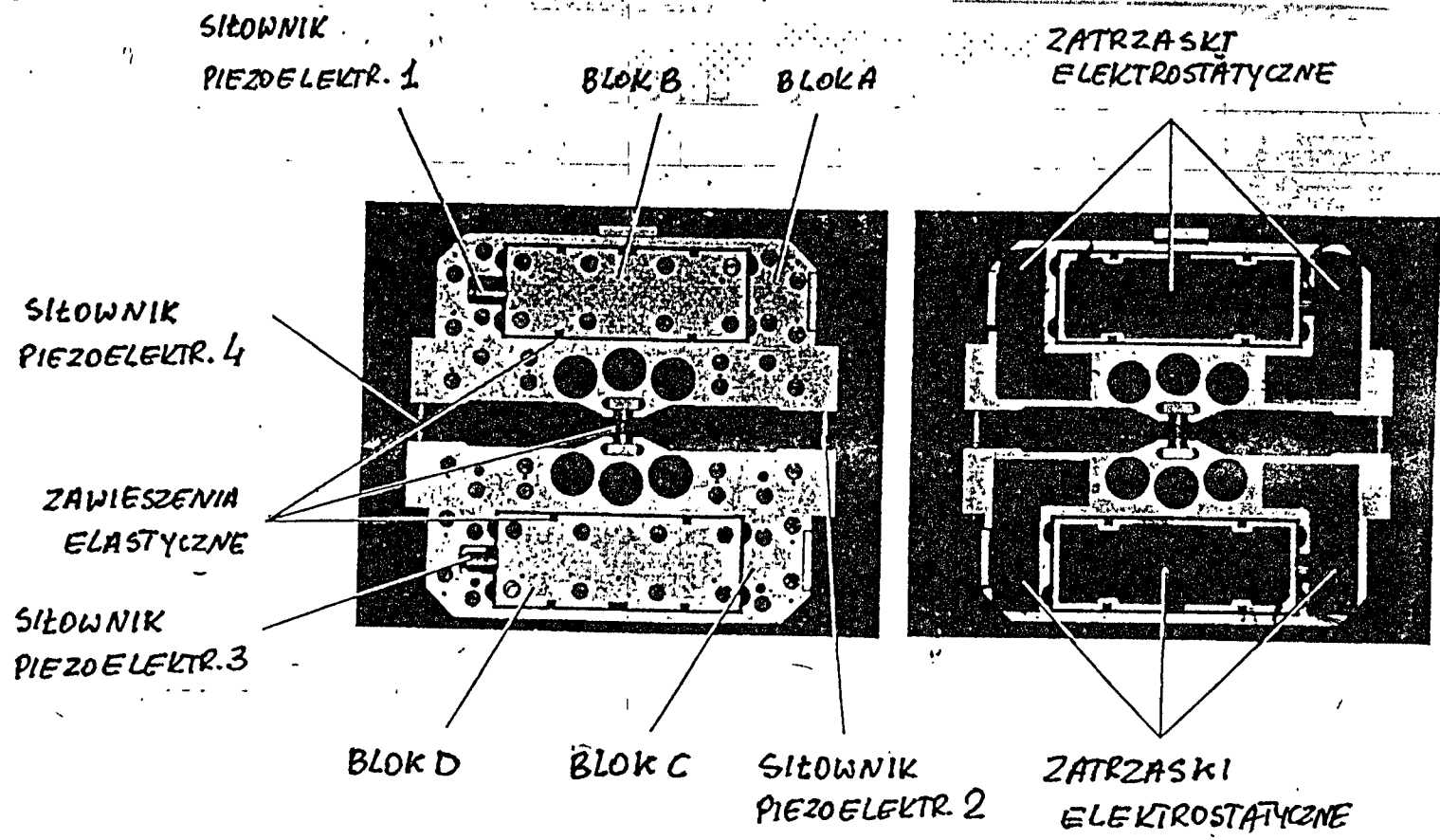
6



rys. 5. schemat drukarki laserowej [7]



rys. 6. schemat układu z kompensacją histerezy [18]



rys. 7. struktura głowicy współrzędnościowej xyθ [15].

11

3. WYMAGANIA

3.1. Wymagania funkcjonalne

Na podstawie przeglądu literatury i rozmów przeprowadzonych w firmie SOLARIS przyjęto następujące parametry techniczne dla realizowanego napędu lustra uchylnego:

- liczba stopni swobody ruchu - 1
- zakres przemieszczeń kątowych lustra - ± 5 mrad
- zakres przemieszczeń liniowych stosu - ± 10 μ m
- obciążenia zewnętrzne - brak
- częstotliwość graniczna - 1 kHz
- nastawy programowalne (dla napięcia):

częstotliwość

amplituda

czas trwania amplitudy i zera

- zakres napięć nastawianych - 400V \pm 300V
- rozdzielczość nastawy napięcia - 128 v 256
- rozdzielczość nastawy częstotliwości - 16 v 32

Przyjęta powyżej rozdzielczość nastawy napięcia wynika z następujących przesłanek:

Z charakterystyki elementów ceramicznych CERAD, podanej w [1] wynika, że maksymalna nieliniowość charakterystyki stosu piezoelektrycznego jest:

$$\max \delta L = \frac{26 \text{ mm}}{126 \text{ mm}} 100\% = 20,6 \%$$

Maksymalna histereza stosu jest:

$$\max \delta H = \frac{17 \text{ mm}}{126 \text{ mm}} 100\% = 13,5 \%$$

Postępując wg [18] można tę histerezę zmniejszyć do ok. 1,5 - 2%, i pominąć wobec nieliniowości.

Przy założeniu nastawiania amplitudy napięcia 8 bitowym DAC i wykorzystaniu $2^7=128$ nastaw cząstkowych otrzymuje się:

- przyrost elementarny napięcia:

$$\Delta U = \frac{800 \text{ V}}{128} = 6,25 \text{ V/bit}$$

12

- przyrost elementarny średni położenia (przy stosie jak w [1]):

$$\Delta L = \frac{48 \mu\text{m}}{128} = 0,375 \mu\text{m/bit}$$

- nieliniowość:

$$\Delta \delta L = \frac{20,6}{128} = 0,164 \%/\text{bit}$$

Ten błąd nieliniowości jest zbliżony do podanego w [3] i może być uznany za wystarczająco mały.

3.2. Wpływ temperatury

Wg danych PHILIPS'a [13] zmiana wydłużenia pod wpływem zmiany temperatury, w zakresie temperatury:

$$0 < \vartheta < 50^{\circ}$$

wynosi $5 \mu\text{m}$ przy skoku $28 \mu\text{m}$ w temperaturze 20° .

Błąd temperatury wynosi więc:

$$\delta L_{\vartheta} = \pm \frac{2,5 \mu\text{m}}{28 \mu\text{m}} 100\% = \pm 9\%$$

Ponieważ zależność długości skoku od temperatury jest w przybliżeniu liniowa, błąd ten odniesiony do 1°C będzie:

$$\delta L_{\vartheta} = \pm \frac{9}{50} = \pm 0,18\% / 1^{\circ}\text{C}$$

Dla zastosowań w pomieszczeniach typu biurowo-sklepowego i laboratoriów błąd wnoszony przez zmianę temperatury będzie więc niewielki. Dla zastosowań przemysłowych może być już znacząco duży. Sprawa kompensacji temperaturowej przez zmianę napięcia wyjściowego wzmacniacza w funkcji temperatury będzie rozważana przy budowie wzmacniacza. Wydaje się możliwe uzyskanie rozwiązania przez zastosowanie rezystora drutowego.

3.3. Wpływ przyłożonej siły

Wg PHILIPS'a [13] spadek wydłużenia stosu przy zmianie przyłożonej siły od 0 do 3000 N wynosi:

- dla napięcia sterowania 500V - ok. 20%
- dla napięcia sterowania 800V - ok. 10%

Odpowiednie charakterystyki są zbliżone do linii prostej, a więc na tej podstawie można przyjąć, że zmiana wydłużenia liczona na

10 N przyłożonej siły będzie:

- przy napięciu sterowania 500V - ok. 0,067% / 10N
- przy napięciu sterowania 800V - ok. 0,033% / 10N

Pomiary wykonane w [2] dla elementów CERAD-u wykazały dla napięcia sterowania 400V, że skok pod wpływem przyłożenia siły 50N zmienił się z 22,5 μm na 19,7 μm t.j. **2,8 μm**

$$\delta L_F = \frac{2,8}{22,5} \cdot 100\% \cdot \frac{1}{5} \cong 2,5\% / 10N$$

Różnica w porównaniu z danymi PHILIPS'a jest bardzo duża i trudno obecnie wyjaśnić dlaczego. Być może przyczyną jest sposób ustalania bazy przesuwnika, która w naszych pomiarach była ustalana sprzęgłem ciernym o docisku pneumatycznym i niewielkie błędy dotarcia mogły mieć istotny wpływ.

Biorąc pod uwagę, że napęd lustra będzie pracować przy stałym obciążeniu bliskim zera, wpływ przyłożonej siły może być pominięty.

4. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE NAPĘDU (SKANERA)

4.1. Obliczenia wstępne

1. Średnica zwierciadła \varnothing 20 [mm]
2. Zakres wychyleń zwierciadła \pm 5 mrad
3. Ruch roboczy trzpienia stosu piezoelektrycznego \pm 10 μm
4. Częstotliwość pracy \sim 1000 Hz

Oznaczenia:

- a, b, c - długość ramion dźwigni
- α - kąt wychylenia zwierciadła (rad)
- x - przesunięcie trzpienia stosu piezoelektrycznego odpowiadające napięciu U [V]

Położenie układu dźwigniowego:

1. $\alpha = \frac{x_1}{c}$

2. $x_1 = \frac{b}{a} \cdot x$

3 stąd $\frac{\alpha}{x} = \frac{b}{a \cdot c}$

164

Dla wychylenia maksymalnego:

$$\frac{\alpha_{\max}}{x_{\max}} = \frac{b}{a \cdot c} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^2 \left[\frac{1}{\text{m}} \right]$$

4. Przełożenie układu dźwigniowego:

$$i = \frac{\alpha_{\max}}{x_{\max}} = \frac{b}{a \cdot c} = 5 \cdot 10^2 \left[\frac{1}{\text{m}} \right]$$

Przy założeniu, że:

$$a = 5 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$b = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$$

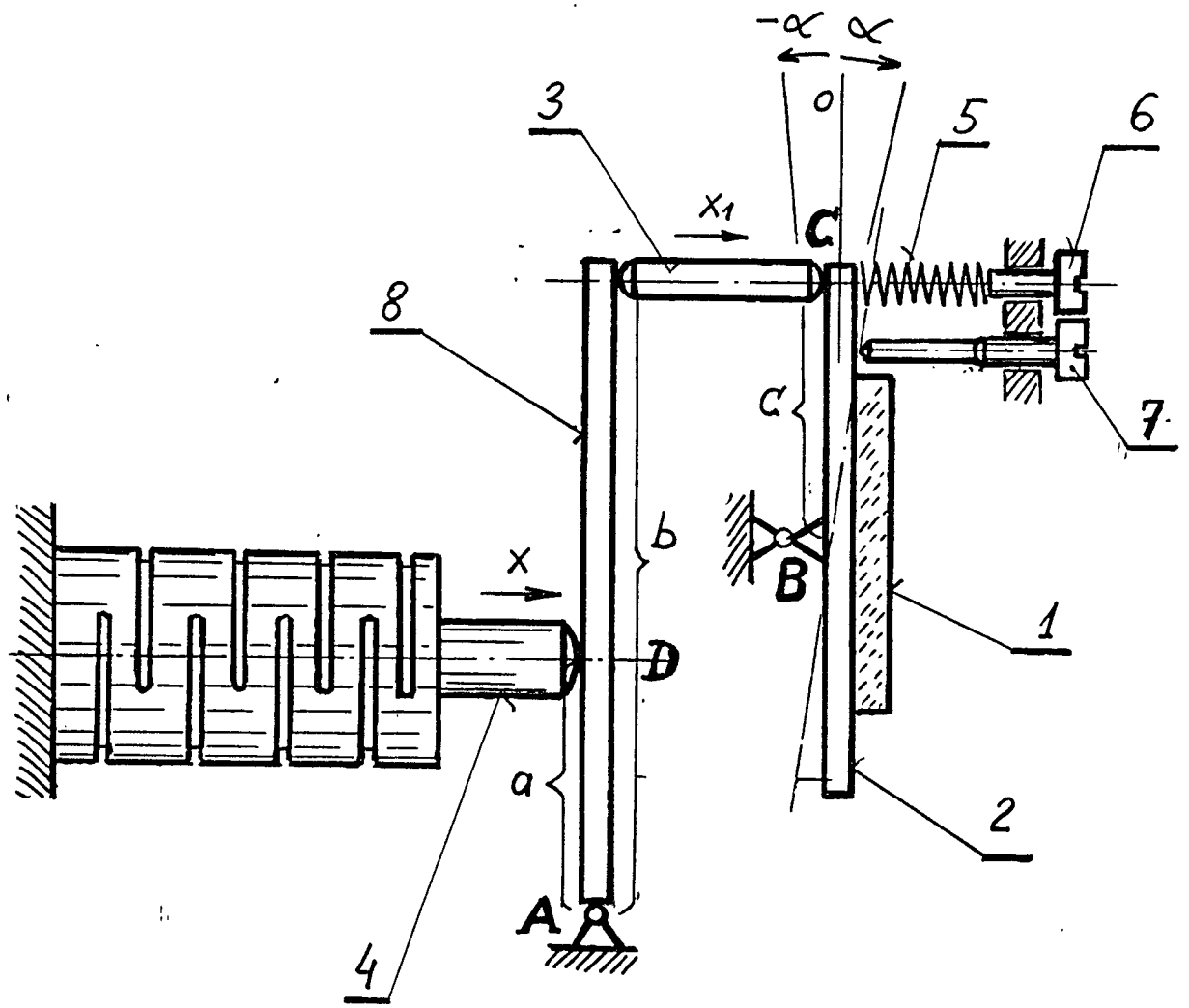
otrzymujemy:

$$c = \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{i} = \frac{12,5 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2} = 5 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{\text{m}} \right]$$

4.2. Opis

Schemat konstrukcyjny skanera pokazano na rys.8. Zwierciadło (1) zamocowane jest na dźwigni dwuramiennej (2) mającej punkt obrotu w B. Jeden koniec dźwigni połączony jest łącznikiem (3) w punkcie C z dźwignią jednoramienną mającą punkt obrotu w A. W punkcie D dźwignia współpracuje z trzpieniem stosu elektrycznego (4). Sprężyna zwrotna (5) działająca na dźwignię 2 w punkcie C służy do ustawienia zwierciadła w skrajne położenie ($-\alpha_{\max}$) odpowiadające zerowemu sygnałowi sterującemu. Napięcie sprężyny regulowane jest pokrętkiem 6. Śruba adiustacyjna 7 służy do ustalenia kąta obrotu lustra ($+\alpha_{\max}$) odpowiadającemu maksymalnemu sygnałowi sterującemu.

Ponieważ kąty obrotów dźwigni są małe przewiduje się, że przeguby A i B stanowiące punkty obrotu dźwigni zrealizowane będą przy wykorzystaniu sprężyn płaskich zapewniających brak histerezy. Zerowe położenie lustra ustalone zostaje po zrównoważeniu siły napięcia sprężyny z siłą pochodzącą od trzpienia stosu elektrycznego odpowiadającej sygnałowi $\frac{U_{\max}}{2}$. Ponieważ częstotliwość pracy skanera jest znaczna (~ 1000 Hz) należy zwrócić uwagę na to aby siły dynamiczne pochodzące od mas elementów mechanicznych były możliwe małe. Całość konstrukcji (z wyjątkiem zwierciadła) będzie umieszczona w obudowie prostopadłościowej.



Rys.8 Schemat konstrukcyjny skanera
(opisy w tekście)

5. STEROWNIK PRZETWORNIKA PIEZOELEKTRYCZNEGO - SPP. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE.

5.1. Przeznaczenie.

SPP służy do sterowania w sposób programowany wydłużeniem przetwornika piezoelektrycznego przez podawanie na jego zaciski napięcia stałego o przebiegu пилоzębnym o zadanej wartości amplitudy w granicach od 0V do 800V i zadany okresie T.

Przetwornik piezoelektryczny w rozpatrywanym przypadku obraca zwierciadłem o kąt $\pm\alpha_{max}$ odpowiadający ekstremalnym wartościom napięcia sterującego. Na rys.9 pokazano w sposób schematyczny trzy położenia zwierciadła i odpowiadające im wartości amplitudy napięcia sterującego U_{st} .

Napięciu sterującemu 400V odpowiada położenie spoczynkowe zwierciadła ($\alpha=0$, wydłużenie $PP=A_1$). Napięciu sterującemu 800V odpowiada obrót zwierciadła o kąt $\pm\alpha_{max}$ i wydłużenie $PP=2A_1$. Napięciu sterującemu 0V odpowiada obrót zwierciadła $-\alpha_{max}$ i zerowe wydłużenie PP. Pośrednim wartościom napięcia sterującego odpowiadają pośrednie wartości kąta obrotu zwierciadła. Przewiduje się możliwość wprowadzenia do przebiegu czasów trwania ekstremalnych wartości napięcia sterującego t_{pm} i t_{po} . Ponieważ przebieg jest symetryczny, o częstotliwości czyli o stromości zboczy decyduje okres T będący sumą czterech ćwiartek $T/4$, natomiast czas pełnego cyklu wychylenia zwierciadła jest sumą okresu T oraz t_{pm} i t_{po} .

5.2. Budowa i działanie

Schemat blokowy SPP pokazano na rys.10.

Dane wejściowe z komputera zawierające zakodowane informacje o żądanej amplitudzie napięcia sterującego U_{st} , okresie T i czasach t_{pm} i t_{po} są zapisywane w dwóch rejestrach UW: w jednym rejestrze 8 bitowym zostaje zapisana wartość amplitudy U_{st} (0÷400V) przy czym jeden bit odpowiada 5V; w drugim rejestrze zostaje zapisana wartość okresu T przy pomocy 3 bitów n.p. w następujący sposób:

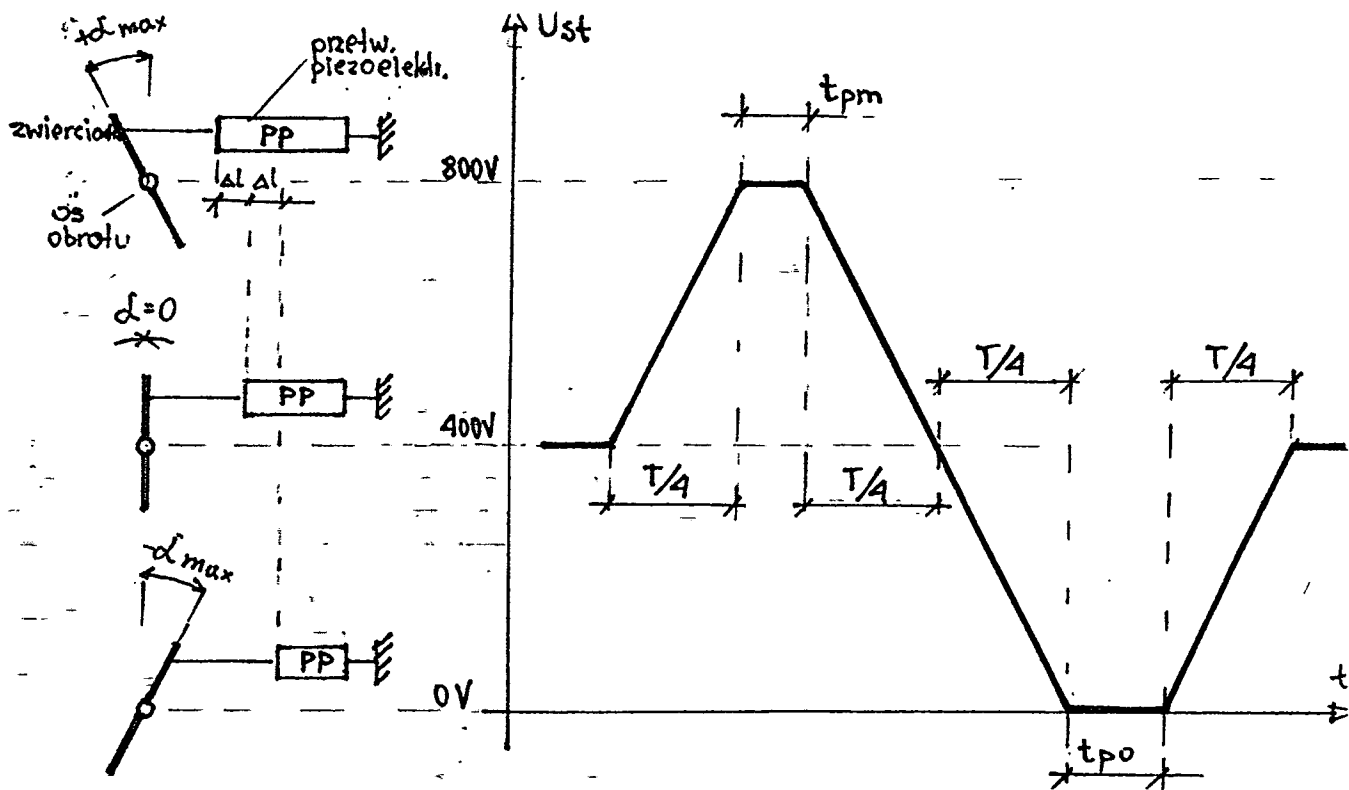
00I	-	10 ms	[100Hz]
010	-	20 ms	[50Hz]
01I	-	30 ms	[33Hz]
100	-	40 ms	[25Hz]
10I	-	50 ms	[20Hz]
110	-	60 ms	[16Hz]
11I	-	70 ms	[14Hz]

Następne 4 bity są zarezerwowane na zapamiętanie informacji o czasach t_{pm} i t_{po} ; każdy z tych czasów może wynosić 0, 10, 20 i 30 ms. Poza tym w drugim rejestrze może być zakodowana informacja o konieczności n-krotnego powtórzenia kroku o tych samych parametrach.

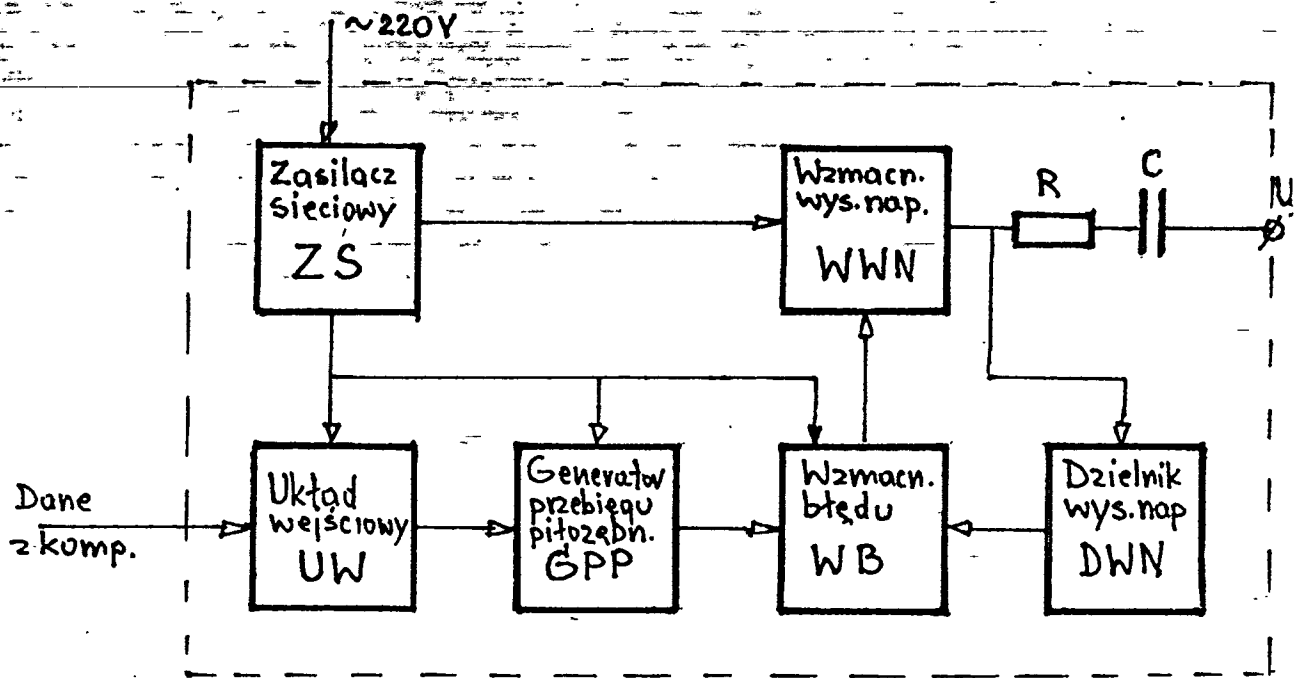
Na podstawie informacji zakodowanych w rejestrach UW, w GPP zostanie wygenerowany przebieg пилоzębny o żądanym okresie T, czasach t_{pm} i t_{po} i amplitudzie proporcjonalnej do żądanej, w zakresie wzorcowych napięć zasilających.

Wzmacniacz wysokiego napięcia WWN działa na zasadzie układu stabilizacji szeregowej. Wysokonapięciowy tranzystor mocy przewodzący prąd pobierany z zasilacza sieciowego ZS jest sterowany w WB. Sygnał ten jest doprowadzony do tranzystora mocy w takiej fazie, aby zmiana jego oporności wewnętrznej przeciwdziałała zmianie napięcia na wyjściu WWN. Sygnał błędu uzyskuje się z porównania odpowiednio podzielonego w DWN napięcia z WWN z napięciem odniesienia, którego źródłem jest GPP. Wierność odtwarzania na wyjściu WWN kształtu przebiegu z GPP zapewni odpowiednio duże wzmocnienie WB natomiast stabilność skali wzmocnienia WWN zapewni duża stabilność DWN.

Pomiędzy wyjściem WWN a wyjściem SPP wprowadzono dwa dodatkowe elementy, rezystor R i pojemność C. Zadaniem rezystora R o odpowiednio dobranej charakterystyce termicznej jest kompensacja wpływu temperatury na wydłużenie przetwornika piezoelektrycznego PP. Zadaniem odpowiednio dobranej wartości pojemności C w stosunku do pojemności przetwornika jest ograniczenie wartości histerezy funkcji wydłużenia przetwornika od wartości napięcia sterującego.



Rys. 9.



Rys.10. Schemat blokowy SPP

5.3. Konstrukcja mechaniczna

Sterownik przetwornika piezoelektrycznego SPP zostanie zamontowany w samodzielnej obudowie produkcji firmy MERATRONIK-Szczecin typ KI-70/ZD-002 o wymiarach 128x220x250.

6. CENY NA RYNKU EUROPEJSKIM

W [3] znajduje się cennik typowych wyrobów firmy Physik-Instrumente. Nie ma w nim wymienionego zespołu napędu lustra (Kippspiegelsystem).

Z podanych cen zespołów zbliżonych wynika:

a) pozycjoner kątowy	-	1530,- DM
b) wzmacniacz w.n. 10W	-	3570,- DM
c) sterownik urządzeń piezoelektrycznych jedniokanałowy	-	4860,- DM
d) kable koncentryczne	-	35 do 65,- DM
e) wspornik	-	105,- DM

Na tej podstawie można oszacować przybliżoną cenę zestawu: napęd lustra ze sterownikiem na:

$$1530+4860+50+105 = 6545,- DM$$

Przy aktualnym kursie marki daje to cenę ok. 39 mln zł.

Wydaje się, że przy produkcji w Polsce koszt powinien być znacznie mniejszy i produkcja zapewni zysk. Bliższa ocena będzie mogła być przeprowadzona po wykonaniu prototypu.

7. LITERATURA

1. Missala T. i inni: Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. P.K.1 Sprawozdanie nr rej. 6417. Warszawa, styczeń 1990 r.
2. Missala T. i inni: Piezoelektryczny przetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. P.K.2 Sprawozdanie nr rej. 6543. Warszawa, październik 1990 r.
3. Physik-Instrumente. Karty katalogowe. Karlsruhe RFN
4. Rushmayer K.: Fertigung und Anwendung piezoelektrischer keramischer Elemente. Feinwerktechnik u. Messtechnik 1982 z.2 s.361-364.
5. Wilke V.: Das Laser-Scan-Mikroskop und seine Anwendungsmöglichkeiten. Feinwerktechnik u. Messtechnik, 1986 z. 2 s.103-104.
6. Seiler P.: Schweißen mit YAG-Laser. Feinwerktechnik u. Messtechnik 1988 z. 7-8 s. 305-307.
7. Tuma F.: Beschriften mit Laserstrahlen. Feinwerktechnik und Messtechnik, 1988 z. 7-8 s. 308-310.
8. Stöckermann Th.: Laser im Aufwind. Feinwerktechnik u. Messtechnik, 1989 z. 10 s. 450-454.
9. Kurosawa M., Vehas.: High speed ultrasonic linear motor with high transmission efficiency. IEEE TRANS. on ultrasonics, 1989, January, s. 39-44.
10. Price R.H., Wood J.E., Jacobsen S.C.: Modelling Considerations for Electrostatic Forces in Electrostatic Microactuators. Sensors and Actuators, 1989 (20) s. 107-114.
11. Shi G., Atluri S.N.: Active control of nonlinear dynamic response of space - frames using piezo-electric actuators. Computers & Structures 1990 r. z.4 s. 549-564.
12. Marth H., Reinhold B.: Dimensionierung und Betriebsverhalten von Vibrationslinearantrieben für die Gerätetechnik. Feingerätetechnik 1982 z.10 s. 450-452.

13. PXE high-power actuator for electronic/mechanical interfacing. PHILIPS, druk 9398 048 80011, 1985 r.
14. Lee C.K.: Theory of laminated piezoelectric plates for the design of distributed sensors/actuators. I. Governing equations and reciprocal relationships. Journal of the Acoustical Society of America. 1990 r. z.3 s. 1144-1148.
15. Corp. Kawasaki: Piezoelectrically driven XY Theta table for submicron lithography systems. Review of Scientific Instruments (USA) 1989 z.9 s. 3024-9.
16. Stupian C.W., Leung M.S.: The use of a linear piezoelectric actuator for coarse motion in a Vacuum compatible Scanning tunneling microscope. J. of. Vacuum Sci. Technol. a. Vac. Surf. Films (USA) 1989 z. 4 s. 2895-97.
17. Komuro M., Kstamura O., Okayama S.: Ion beam fabrication using piezo-actuators and liquid metal source. Microelectronic Eng (NL) 1989 v.9 z. 1-4 s. 285-88.
18. Kaizuka H., Siu B.: A simple way to reduce hysteresis and creep when using piezoelectric actuators. Japanese Journal of Applied Physics vol. 27, 1988, part 2 Letters, z.5 s. 773-776
19. Sinsei Corporation. A new concept in motors: ultrasonic wave oscillation drive energy. Journal of Electronic Engineering. 1988 r. V. 25 nr 253 s.42-44.
20. Nikolckij A.A.: Metod powyszenia bystrodiejstwa slediaszczich i pozycyjnych elektroprivodov z sostavnymi piezoeletriczeskimi dvigatieliami. Elektrichestwo, 1988 z.3 s. 54-60.