



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2015 00687

(22) Data de depozit: 24/09/2015

(41) Data publicării cererii:  
30/05/2017 BOPI nr. 5/2017

(71) Solicitant:  
• S.C.NANOPRO START MC S.R.L.,  
STR. MITROPOLIT ANTIM IVIREANU  
NR. 40, PITEȘTI, AG, RO

(72) Inventatori:  
• LIVEDE CRISTIAN, STR. ION GHICA,  
RĂCARI, DB, RO;

• JDERU ALEXANDRU-ALIN,  
STR. TINERETULUI NR. 2, ET. 8, AP. 74,  
SAT DUDU, CHIAJNA, IF, RO;  
• POPA ILIE, STR. LIVEZILOR NR. 41,  
PITEȘTI, AG, RO;  
• ENĂCHESCU MARIAN, STR. URANUS  
NR. 98, BL. U8, SC. D, ET. 4, AP. 79,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ ȘI DISPOZITIV DE LINIARIZARE A MIȘCĂRII  
ACTUATOARELOR PIEZOELECTRICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv de liniarizare a deplasării actuatorilor piezoelectrice, destinate a fi utilizate în dispozitive de comandă și control. Metoda conform invenției cuprinde etapele de setare a unui model de histerezis invers, pentru tipul specific de actuator piezoelectric, setare a nivelurilor tensiunilor de comandă a actuatorului, în funcție de distanța maximă de deplasare a acestuia, de rezoluție și de fluaj, impuse de aplicație, generare de către calculatorul de comandă, către un convertor digital-analogic de intrare al dispozitivului de liniarizare, a 16 intrări de date și a unei intrări de selecție, prin care se stabilește unitatea de treaptă minimă a nivelului tensiunii de ieșire la a  $2^{16}-1$  parte din nivelul maxim al tensiunii de ieșire a convertorului, ceea ce corespunde unei rezoluții maxime oferite de schemă pentru un domeniu maxim de deplasare a actuatorului piezoelectric. Dispozitivul conform invenției este format dintr-un modul (1) de conversie digital-analogic, ce primește de la calculatorul de comandă 16 intrări de date și o intrare de selecție, un modul (3) de control al deplasării actuatorului piezoelectric, și un modul (2) cu funcție de amplificator

de înaltă tensiune, cu factor de amplificare în trepte, în care selectarea factorului de amplificare, făcută prin aplicarea metodei de liniarizare menționate, conduce la fixarea valorii maxime a plajei de deplasare a actuatorului piezoelectric, și la minimizarea fluajului.

Revendicări: 3  
Figuri: 2

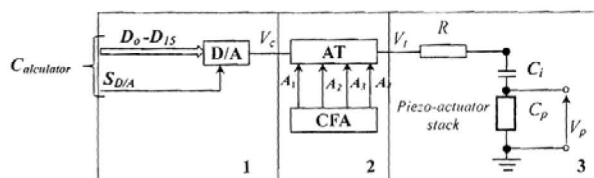


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



## Metoda si dispozitiv de liniarizare a miscarii actuatorilor piezoelectrice

### DESCRIERE

**Inventia se refera la o metoda si dispozitiv de liniarizare a miscarii actuatorilor piezoelectrice destinate liniarizarii histerezisului si eliminarii fluajului in vederea comenzii performante in conditi de rezolutii nanometrice si sub-nanometrice specifice miscarii actuatorilor de acest tip.**

Este cunoscuta realizarea de capete de măsură pentru microscopie cu forțe atomice (AFM-Atomic Force Microscope) sau pentru microscopie cu tunelare (STM-Scanning Tunneling Microscope) în modul contact sau non-contact (tehnica „Scanning Polarization Force Microscopy” - SPFM) pentru straturi moi (ex. probe biologice) și/sau a suprafețe fluidelor (ex. nano-picături), combinând chiar și tehnicile STM-AFM-FIM(Field Ion Microscopy), capabile să realizeze rezoluții atomice (sub-nanometrice), adică imagini de dimensiuni de câțiva nm (de exemplu de 5nm x 5nm) și în același timp imagini pe suprafețe largi (de exemplu de peste 50μm x 50μm), care impune utilizarea de sisteme de control piezo-actuator de foarte înaltă performanță.

Dar este cunoscut faptul că piezo-actuatorii prezintă două mari deficiențe: o caracteristică pronunțat neliniară datorită efectului de histerezis prezent atât în condiții dinamice cât și statice; așa numitul efect de fluaj (creep) sau curgere (drift).

Forma curbei histerezis dintre semnalul de comandă aplicat și deplasarea actuatorului arată că, pe lângă neliniaritate, la aceeași valoare a semnalului de comandă, valorile deplasărilor actuatorului sunt complet diferite la sensul direct și invers. Histerezisul este dependent atât de valoarea tensiunii de intrare cât și de frecvență. Acest efect deosebit de supărător, este datorat efectelor de polarizare cristalină și efectelor la nivel molecular în interiorul materialului piezoelectric sau pierderilor de energie internă în materialele dielectrice piezo.

Fluajul reprezintă o continuare a deplasării actuatorului, lentă în timp, fără o schimbare a nivelului tensiunii de control, datorită deplasării purtătorilor de sarcină din structura cristalină a materialului piezo.

Pentru a putea realiza rezoluții sub-nanometrice dar mai ales pentru a baleia suprafețe largi unde astfel de efecte ale piezo ar fi foarte vizibile, caracteristica de histerezis trebuie să devină liniară, practic un segment de dreaptă, iar fluajul trebuie să nu afecteze rezoluția și precizia de scanare în domeniul frecvențelor de lucru, practic, să fie minimizat dacă nu eliminat. Aceste cerințe se pot realiza prin sistemul de control al poziției deplasării piezo-actuatorilor, temă care a constituit preocuparea unor cercetători din domeniu la nivel mondial în ultimele decenii.

Este cunoscuta de asemenea implementarea unor metode analogice și digitale de control în buclă deschisă (îndeosebi prin utilizarea modelului invers al piezo-actuatorului) și în buclă închisă, control bipolar sau unipolar.

Sistemele de control în buclă deschisă nu oferă performanțele corespunzătoare rezoluțiilor nanometrice sau sub-nanometrice. și nu sunt discutate aici.

Sistemele de control automat în buclă închisă al poziției deplasărilor piezo-actuatorilor care utilizează senzori de măsurare a poziției piezo-actuatorilor, pot elimina practic histerezisul și fluajul, asigurând rezoluții nanometrice și sub-nanometrice. Acest tip de sisteme de control în bucla închisă oferă unele avantaje între care menționăm o liniaritate, stabilitate, repetabilitate și precizie foarte ridicate, compensarea automată la sarcini sau forțe variabile, o rigiditate practic infinită (în limitele de sarcină) precum și eliminarea efectelor de histerezis și de fluaj.

Sistemele de control automat în buclă închisă și deschisă existente sunt analogice cu comandă în tensiune, în sarcină/curent de intrare, cu condensator serie sau digitale.

Comanda în tensiune este o comandă mai ușor de implementat și deși nu reduce domeniul de

funcționare și lățimea de bandă a unui piezo-actuator, nu oferă o reducere suficientă a histerezisului și creep-ului pentru a asigura rezoluții și precizii de poziționare nanometrice și sub-nanometrice. Histerezisul poate conduce la erori mari de poziționare mai ales în domenii de deplasare relativ mari. În unele cazuri, eroarea maximă de poziționare poate fi de circa 10-15% din domeniul de deplasare iar fluajul afectează poziționarea absolută în aplicații lente sau statice.

**In brevetul US 20070043451 Metoda si dispozitiv pentru regalarea numerica dinamica precisa a actuatorilor piezoelectrice speciale pentru sisteme cu micropoziționare, se prezinta un sistem automat de control in bucla inchisa cu un regulator la care pentru a minimiza abaterea de la comanda de pozitie, se estimeaza comportarea viitoare a sistemului si se obtin semnale de corectie curente. Semnalul de comanda variabila este trecut printr-un bypass comutabil catre un convertor D/A care functioneaza la rata de conectare a sistemului cu esantionare.**

**Sistemul propus, are performante superioare, insa este dificil de implementat si in plus, nu are in vedere minimizarea fluajului.**

O modalitate simplă îmbunătățită de control în tensiune în circuit deschis este *metoda de inserare condensator* propusă în 1988 de Kaizuka și Siu pentru a reduce valoarea de histerezis și fluaj.

Această metodă a fost implementată în controlul unui echipament de măsurare la scară nano și rezultatele au arătat că liniaritatea piezo-actuatoarei crește invers proporțional cu creșterea capacității condensatorului inserat, deci, direct proporțional cu creșterea amplitudinii tensiunii de alimentare.

Prin această metodă simplă, pentru valori ale capacității condensatorului inserat în plaja a  $1/4 \div 1/2$  din capacitatea piezo-actuatoarei, se poate asigura o neliniaritate de circa 1% din intervalul de scanare, iar creep-ul este eliminat total.

O altă modalitate de a reduce fenomenele de histerezis și fluaj este aceea de a comanda un actuator piezoelectric folosind un curent de intrare în loc de tensiunea de intrare. Când este conectat electric, actuatorul piezoelectric acționează ca un condensator neliniar care modifică capacitatea acestuia chiar și atunci când tensiunea de intrare este menținută constantă, conducând la o modificarea valorii sarcinii care acționează în actuator și generând histerezis non-liniar și fluaj. Reglarea curentului și, prin urmare, sarcina, împiedică schimbarea capacității actuatoarei, conducând astfel la o reducere semnificativă a histerezisului și fluajului.

Prin urmare, o sarcină de intrare conduce la o funcționare aproximativ liniară a actuatoarei.

S-a demonstrat că utilizarea unor circuite de comandă speciale poate reduce eroarea de histerezis la mai puțin de 1% din intervalul de scanare. Când poziționarea a fost comandată cu ajutorul unui amplificator de tensiune, eroarea cauzată de histerezis a fost de 7% din gama de scanare.

Bucula de reacție este utilizată pentru a urmări și opera în așa fel încât valoarea tensiunii măsurate pe elementul sensibil,  $C_s$ , cu rol de senzor, să fie egală cu valoarea tensiunii de referință dorite,  $V_{Ref}$ . Capacitorul cu rol de senzor este utilizat să integreze curentul lui de încărcare, tensiunea la terminalele lui fiind proporțională cu sarcina

Prin ajustarea cât mai precisă a unor raporturi de impedante, amplificatorul poate avea un factor de amplificare constant  $C_s$ , în regim staționar la fel ca și în regim dinamic.

Cu toate acestea, circuitul de sarcină are unele dezavantaje. Astfel, aplicarea unei tensiuni foarte mici pe circuitul de sarcină reduce tensiunea aplicată actuatoarei piezoelectric care, la rândul său, reduce deplasarea, ceea ce impune o tensiune de alimentare mai mare a circuitului. Rezistențele trebuie să fie de valoare mare,  $M_\Omega$  sau zeci de  $M_\Omega$ , raportul de impedante fiind critic și trebuie personalizat pe tub, experimental. Și în acest caz se obține o scădere a domeniului de deplasare a tubului, ceva mai mică, totuși, deoarece condensatorul serie poate avea o capacitate mai mare decât cea a piezo-actuatoarei. Pe de altă parte, complexitatea un circuit de control sarcină conduce la dificultăți în punerea în aplicare. Factorul de amplificare al circuitului trebuie să fie adaptat și calibrat la valoarea capacității de deplasare a actuatoarei piezoelectric. Utilizarea unui amplificator de sarcină poate, de asemenea, conduce la creșterea derivei, la saturație și reducerea lățimii de bandă a frecvenței de operare a actuatoarei piezoelectric.

Utilizarea unui amplificator de sarcină/curent, chiar dacă oferă performanțe mai ridicate de liniaritate, poate fi scumpă în comparație cu amplificatoarele de tensiune mai frecvent utilizate.

În schema unui amplificator digital propus de Mohsen Bazghaleh, Steven Grainger, Ben Cazzolato, Tien-fu Lu (*An innovative digital charge amplifier to reduce hysteresis in piezoelectric actuators*, School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, SA, 5005, Australia), se prevede un amplificator analogic de putere, un convertor digital-analogic (D/A), un convertor analog-digital (A/D) și un dispozitiv de prelucrare semnale (DSP). Circuitul utilizează o rezistență conectată în serie cu piezo-actuatorul stivă și un circuit de protecție al DSP la înaltă tensiune.

Circuitul măsoară sarcina actuatorului piezoelectric și, prin utilizarea unui sistem de control în buclă închisă, el egalizează valoarea semnalului de sarcină de intrare cu sarcina măsurată a actuatorului,  $q_p$ . Pentru măsurarea sarcinii, sistemul integrează curentul care trece prin piezo-actuator. Liniaritatea la comanda digitală în sarcină, a fost de 0,6% din domeniul de scanare și histerezisul a fost redus cu 90%.

Deoarece convertorul analog-digital nu este ideal, el este însoțit de scurgeri de curent. Acestea impun o tensiune de polarizare  $V_p$  pe intrare. Această tensiune este importantă pentru driftul în sarcină deoarece poate provoca erori de calcul al sarcinii reale a piezo-actuatorului și astfel tensiunea aplicată la piezo-actuator va avea abateri și în cele din urmă se va satura. Pentru a-l face utilizabil în parametri optimi, trebuie eliminat driftul, ceea ce implică circuite suplimentare mai costisitor de implementat.

Dezavantajele soluțiilor evidențiate constau în faptul că pentru creșterea comenzii performante a actuatorului bazată pe liniarizarea histerezisului și eliminarea fluajului, se utilizează circuite suplimentare complexe, care presupun o implementare dificilă și cu costuri semnificative.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în optimizarea parametrilor funcționali ai actuatorului piezoelectric și în principal creșterea liniarității și minimizarea fluajului prin utilizarea unei metode și dispozitiv de liniarizare simple și eficient de implementat, cu obținerea de rezoluții superioare.

Metoda și dispozitivul de liniarizare a deplasării actuatorilor piezoelectrice conform invenției, îmbină avantajele simplității, implementării fără dificultăți și cu rezoluții superioare oferite de amplificatoarele de tensiune cu *condensator inserat* în buclă deschisă, cu avantajele oferite de flexibilitatea implementării prin software a modelelor histerezis invers ale diverselor tipuri de piezo-actuatori pentru generarea tensiunilor de control adaptate la domenii de deplasare, liniarități histerezis, fluaj și rezoluții impuse de diverse aplicații.

Metoda de liniarizare a deplasării actuatorilor piezoelectrice, conform invenției, elimină dezavantajele de mai sus prin aceea că presupune comanda procesului de liniarizare prin intermediul unui calculator de comanda, prin parcurgerea următorilor pași:

- setarea prin intermediul calculatorului a modelelor de histerezis invers pentru tipul specific de actuator piezoelectric care să conducă la neliniarități ale histerezisului de cel mult 0,1 % din domeniul de deplasare și fluaj de valoare practică zero;
- setarea prin intermediul calculatorului a nivelelor tensiunilor de comanda a actuatorului piezoelectric specific, în funcție de distanța maximă de deplasare a actuatorului piezoelectric, de rezoluție și de fluaj impuse de aplicație;
- generarea decalculatorului de comanda către un convertor digital-analogic de intrare al dispozitivului de liniarizare, a 16 intrări de date și a unei intrări de selecție prin care se stabilește unitatea de treaptă minimă a nivelului tensiunii de ieșire la a  $2^{16} - 1$  parte din nivelul maxim al tensiunii de ieșire al convertorului, ceea ce corespunde unei rezoluții maxime oferite de schemă pentru un domeniu maxim de deplasare a piezo-actuatorului

Dispozitivul de liniarizare a deplasării actuatorilor piezoelectrice conform invenției, elimină dezavantajele de mai sus, prin aceea că este format dintr-un modul de conversie digital-analogic **D/A**, la rândul său constituit dintr-un circuit integrat convertor digital-analogic cu 16 intrări de date

24

și o intrare de selecție, ambele furnizate de calculatorul de comanda, oferind o unitate de treaptă minimă a nivelului tensiunii de ieșire corespunzătoare unei rezoluții maxime pentru un domeniu maxim de deplasare a piezo-actuatoarei, un **modul** amplificator de înaltă tensiune cu factor de amplificare variabil în trepte, pentru implementarea a maxim 15 factori de amplificare diferiți. **in care treptele factorului de amplificare sunt realizate printr-un microswitch cu patru segmente, prin care se pot conecta componente separate sau combinații ale acestora la amplificator, și prin care se poate fixa în maniera asistată de calculator rezoluția și valoarea maximă a plajei de deplasare a piezo-actuatoarei.** Modul prin intermediul căruia se generează tensiunea de alimentare cu nivel variabil pentru un modul de control al deplasării actuatoarei.

Prin aplicarea invenției, se obțin următoarele avantaje:

- simplitatea dispozitivelor și circuitelor electronice utilizate;
- implementarea fără dificultate și în timp scurt a schemelor aferente;
- realizarea unor rezoluții de deplasare la nivel de *nm* și diviziuni de *nm* precum și domenii de deplasare la nivel de *μm* și zeci de *μm*;
- posibilitatea implementării unor factori de amplificare variabili în trepte ai amplificatorului de tensiune în funcție de domeniul de deplasare și de rezoluție cerute de aplicații diverse;
- flexibilitatea implementării prin software a diferitelor modele de histerezis invers pentru diverse tipuri de piezo-actuatoari care să ofere neliniarități histerezis de cel mult 0,1% din domeniul de deplasare și fluaj practic de valoare zero;
- flexibilitatea implementării prin software a nivelelor tensiunilor de comandă a piezo-actuatoarelor în funcție de valoarea distanțelor maxime de deplasare ale piezo-actuatoarelor, de rezoluție, liniaritate și fluaj impuse de aplicație;
- adaptabilitatea modelului la o gamă largă de actuatoari piezo și aplicații ale piezo-actuatoarelor.

Se dă, în continuare, un exemplu de utilizare a circuitului conform invenției în legătură cu fig.

1 și fig.2 care reprezintă:

- fig. 1, schema bloc a dispozitivului de control piezo-actuatoari;
- fig. 2, schema electrică a amplificatorului de înaltă tensiune cu factor de amplificare variabil în trepte, utilizat în cadrul circuitului.

Dispozitivul conform invenției este constituit din trei module distincte (fig. 1).

**Modulul 1** de conversie digital-analogică **D/A** este constituit dintr-un circuit integrat convertor digital-analogic cu 16 intrări de date **D<sub>0</sub>–D<sub>15</sub>**, și o intrare de selecție **S<sub>D/A</sub>**, ambele furnizate de calculatorul de comanda, oferind o unitate de treaptă minimă a nivelului tensiunii de ieșire egală cu a  $2^{16}$ -l parte din nivelul maxim al tensiunii de ieșire al convertorului, ceea ce corespunde unei rezoluții maxime oferită de schemă pentru un domeniu maxim de deplasare a piezo-actuatoarei. Tensiunea de ieșire a convertorului reprezintă tensiunea de intrare, **V<sub>e</sub>**, pentru controlul nivelului tensiunii de ieșire, **V<sub>t</sub>**, a amplificatorului de tensiune, **AT**.

**Modulul 2**, amplificator de înaltă tensiune cu factor de amplificare variabil în trepte, **AT** (fig. 2), generează tensiunea de alimentare cu nivel variabil pentru modulul 3. Treptele factorului de amplificare sunt realizate printr-un microswitch cu patru segmente, **CFA**, prin care se pot conecta componente separate **A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>** sau combinații ale acestor componente la amplificatorul **AT**, pentru implementarea a maxim 15 factori de amplificare diferiți. Prin selectarea factorului de amplificare se poate fixa valoarea maximă a plajei de deplasare a piezo-actuatoarei.

Prin alegerea factorului de amplificare și a pasului minim de discreditare al nivelului tensiunii de ieșire al convertorului digital-analogic, **D/A**, fixat prin calculatorul de comandă al sistemului, se poate alege rezoluția maximă a sistemului în funcție de tipul actuatoarei piezo și de plaja domeniului de deplasare, adaptându-se astfel sistemul la o aplicație concretă impusă.

Amplificatorul, conform invenției, are o structură prezentată în fig. 2.

Amplificatorul propus este un amplificator de înaltă tensiune ce permite o excursie de tensiune la ieșire de minim  $\pm 450V$ . Alimentarea amplificatorului se realizează prin 2 tensiuni, una

de valoare mare,  $\pm 500V$ , la bornele HV+ și HV- și una de valoare mică  $\pm 50V$ , la bornele +LV respectiv -LV. S-a optat pentru un amplificator construit în jurul unui amplificator operațional, **A1**, normal folosit în etajul de intrare, care atacă un etaj final ce are rolul de a mări puterea furnizată sarcinii, prin creșterea capabilității de furnizare a tensiunii și curentului la ieșire. Amplificatorul operațional oferă amplificarea în tensiune a semnalului de intrare și o cale de a genera un semnal de eroare la intrările sale pentru asigurarea reacției negative. Etajul de amplificare de putere este introdus în bucla de reacție negativă a amplificatorului operațional pentru a menține criteriile de stabilitate ale acestuia. Întrucât acest etaj final oferă și el un factor de amplificare, caracteristicile sale dinamice nu pot fi ignorate dacă se dorește o bună funcționare a tandemului făcut de acesta cu amplificatorul operațional din etajul de intrare.

Amplificatorul operațional de la intrare este un amplificator operațional cunoscut in sine, monolitic, ce se poate alimenta la o tensiune relativ ridicată ( $\pm 50V$ ), putând asigura o excursie de tensiune de min.  $\pm 40V$  la ieșire și un curent de minim 10mA, necesare comenzii etajului ridicător de putere.

Etajul final ridicător de putere este format din două trepte. Prima treapta formată din tranzistoarele **M1, M2, M3, M4** și **M9** este un etaj amplificator de tensiune și de polarizare al treptei a doua formată din tranzistoarele **M5, M6, M7** și **M8**. Pentru ambele trepte ale etajului final a fost aleasă configurația cascadă, pentru a nu depăși tensiunile maxime suportate de tranzistoarele componente. Câștigul în tensiune în curent continuu este determinat de raportul **R1/(R3+R4)** respectiv **R2/(R5+R6)**. Treapta a doua este o treaptă tampon, ce asigură un câștig suficient în curent pentru a putea avea o variație maximă a tensiunii de ieșire pe sarcină. Acest etaj final este realizat cu tranzistoare MOSFET ce au capabilitatea de a suporta tensiuni mari între Sursă și Drenă și de asemenea au o capabilitate mare de furnizare de curent. Etajul final lucrează în clasă AB, curentul de polarizare fiind reglat prin raportul rezistorilor **R21/R22**. Tranzistorul **M9** ajută la liniarizarea etajului de ieșire și la limitarea curentului în cazul ambalării termice a tranzistorilor finali. **M5, M6, M7** și **M8**, între acesta și tranzistorii finali trebuind să existe o bună conducție termică. Câștigul total al amplificatorului este determinat de raportul rezistorilor **R23/R24**. Treptele de amplificare sunt stabilite prin modificarea valorii rezistorului **R23** cu ajutorul unui microswitch.

**Modulul 3**, de control al deplasării actuatorului prin metoda de inserare condensator-cunoscuta in sine-, este constituit dintr-o rezistență, **R**, de limitare curent prin piezo-actuator, condensatorul inserat, **C<sub>i</sub>** și piezo-actuatorul stack cu capacitatea proprie, **C<sub>p</sub>**. Condensatorul **C<sub>i</sub>** poate fi detașabil pentru selectarea valorii lui în funcție de domeniul maxim de deplasare a piezo-actuatorului impus de aplicația concretă. De asemenea, și piezo-actuatorul poate fi detașabil. Schema conduce la

diminuarea histerezisului și a fluajului cu factorul  $\gamma = \frac{C_i}{C_p + C_i}$ , dar și tensiunea aplicată piezo-actuatorului se reduce cu  $V_{pe} = \gamma \cdot V_i$ , deci și domeniul lui de acționare (alungirea) și pentru a se păstra domeniul, trebuie multiplicată tensiunea de alimentare cu factorul  $1/\gamma$ .

## REVENDICARI

1. Metodade liniarizare a deplasării actuatorilor piezoelectrice, caracterizata prin aceea ca pentru comanda procesului de linearizare prin intermediul unui calculator de comanda pe baza modelului de histerezis invers, se parcurg urmatorii pasi:

-setarea prin intermediul unui calculator de comanda modelului de histerezis invers pentru tipul specific de actuator piezoelectric, care sa conduca la neliniaritati ale histerezisului de cel mult 0,1 % din domeniul de deplasare si fluaj de valoare practic zero;

-setarea prin intermediul calculatorului, a nivelelor tensiunilor de comanda a actuatorului piezoelectric specific, in functie de distanta maxima de deplasare a actuatorului piezoelectric, de rezolutie si de fluaj, impuse de aplicatie;

- generarea de catre calculatorul de comanda catre un convertor digital-analogic de intrare al dispozitivului de linearizare, a 16 intrari de date si a unei intrari de selectie prin care se stabileste unitatea de treapta minima a nivelului tensiunii de iesire la a  $2^{16} - 1$  parte din nivelul maxim al tensiunii de iesire al convertorului, ceea ce corespunde unei rezoluții maxime oferită de schemă pentru un domeniu maxim de deplasare a piezo-actuatorului

2. Dispozitiv de liniarizare a deplasării a actuatorilor piezoelectrice, format dintr-un modul 1 de conversie digital-analogic care primeste de la calculatorul de comanda 16 intrari de date si o intrare de selectie, un modul 3 de control al deplasarii actuatorului piezoelectric prin metoda de inserare condensator, cunoscute in sine, caracterizat prin aceea ca un modul 2 cu functie de amplificator de inalta tensiune cu factor de amplificare in trepte iarselectarea factorului de amplificare facuta prin aplicarea metodei de liniarizare de la revendicarea 1, conduce la fixarea valorii maxime a plajei de deplasare a piezo-actuatorului si la minimizarea fluajului.

3. Dispozitiv de liniarizare a deplasării a actuatorilor piezoelectrice conform revendicarii 2, caracterizat prin aceea ca modulul 2 este alcatuit din:

-un amplificator de înaltă tensiune ce permite o excursie de tensiune la ieșire de minim  $\pm 450V$ , **AT**, **avand** un factor de amplificare variabil în maxim 15 trepte realizate printr-un microswitch, **CFA**, cu patru segmente prin care se pot conecta componente separate **A<sub>1</sub>**, **A<sub>2</sub>**, **A<sub>3</sub>**, **A<sub>4</sub>** sau combinații ale acestora la amplificatorul **AT** pentru alegerea domeniului maxim de deplasare al piezo-actuatorului care, în combinație cu treapta minimă a nivelului tensiunii de ieșire realizează rezoluția maximă oferită de dispozitiv, alimentarea amplificatorului realizandu-se prin 2 tensiuni, una de valoare mare,  $\pm 500V$ , la bornele HV+ și HV- și una de valoare mică  $\pm 50V$ , la bornele +LV respectiv -LV iar solutia amplificatorului este realizata în jurul unui amplificator operațional, **A1**, normal folosit în etajul de intrare, care atacă un etaj final ce are rolul de a mări puterea furnizată sarcinii, prin creșterea capabilității de furnizare a tensiunii și curentului la ieșire;

-un amplificatorul operațional cunoscut in sine, monolitic, ce se poate alimenta la o tensiune relativ ridicată ( $\pm 50V$ ), putând asigura o excursie de tensiune de min.  $\pm 40V$  la ieșire și un curent de minim 10mA, necesare comenzii etajului ridicător de putere care oferă amplificarea în tensiune a semnalului de intrare și o cale de a genera un semnal de eroare la intrările sale pentru asigurarea reacției negative si care pentru a menține criteriile de stabilitate ale acestuia are introdus în bucla sa de reacție negativă etajul de amplificare de putere, tinandu-se cont de faptul ca deoarece acest etaj final oferă și el un factor de amplificare, caracteristicile sale dinamice nu pot fi ingnorate dacă se

21

dorește o bună funcționare a tandemului făcut de acesta cu amplificatorul operațional din etajul de intrare;

-etajul final ridicător de putere, format din două trepte în configurație cascadă pentru a nu depăși tensiunile maxime suportate de tranzistoarele componente și având câștigul în tensiune în curent continuu determinat de raportul  $R1/(R3+R4)$  respectiv  $R2/(R5+R6)$ , în care prima treaptă formată din tranzistoarele **M1**, **M2**, **M3**, **M4** și **M9** este un etaj amplificator de tensiune și de polarizare al treptei a doua cu rol de treaptă tampon formată din tranzistoarele **M5**, **M6**, **M7** și **M8**, care asigură un câștig suficient în curent pentru a putea avea o variație maximă a tensiunii de ieșire pe sarcină, alte caracteristici ale etajului final fiind aceea că este realizat cu tranzistoare MOSFET ce au capacitatea de a suporta tensiuni mari între Sursă și Drenă și de asemenea au o capacitate mare de furnizare de curent, ca lucrează în clasă AB, curentul de polarizare fiind reglat prin raportul rezistorilor **R21/R22** și în care tranzistorul **M9** ajută la liniarizarea etajului de ieșire și la limitarea curentului în cazul ambalării termice a tranzistorilor finali, **M5**, **M6**, **M7** și **M8**, între acesta și tranzistorii finali trebuind să existe o bună conducție termică, astfel încât câștigul total al amplificatorului este determinat de raportul rezistorilor **R23/R24** iar treptele de amplificare sunt stabilite prin modificarea valorii rezistorului **R23** cu ajutorul unui microswitch.



**DESENE**

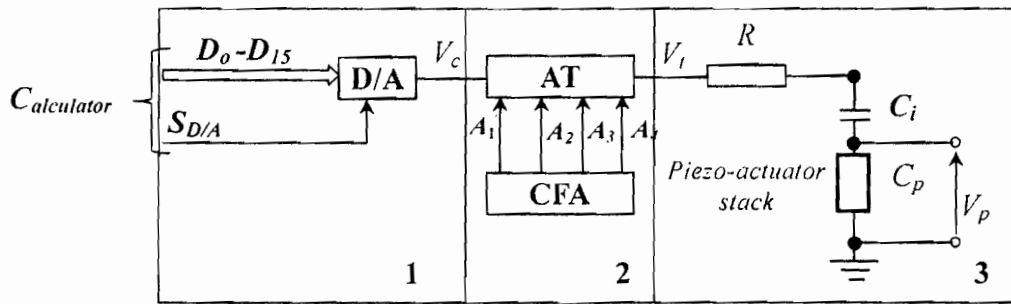


Fig. 1.

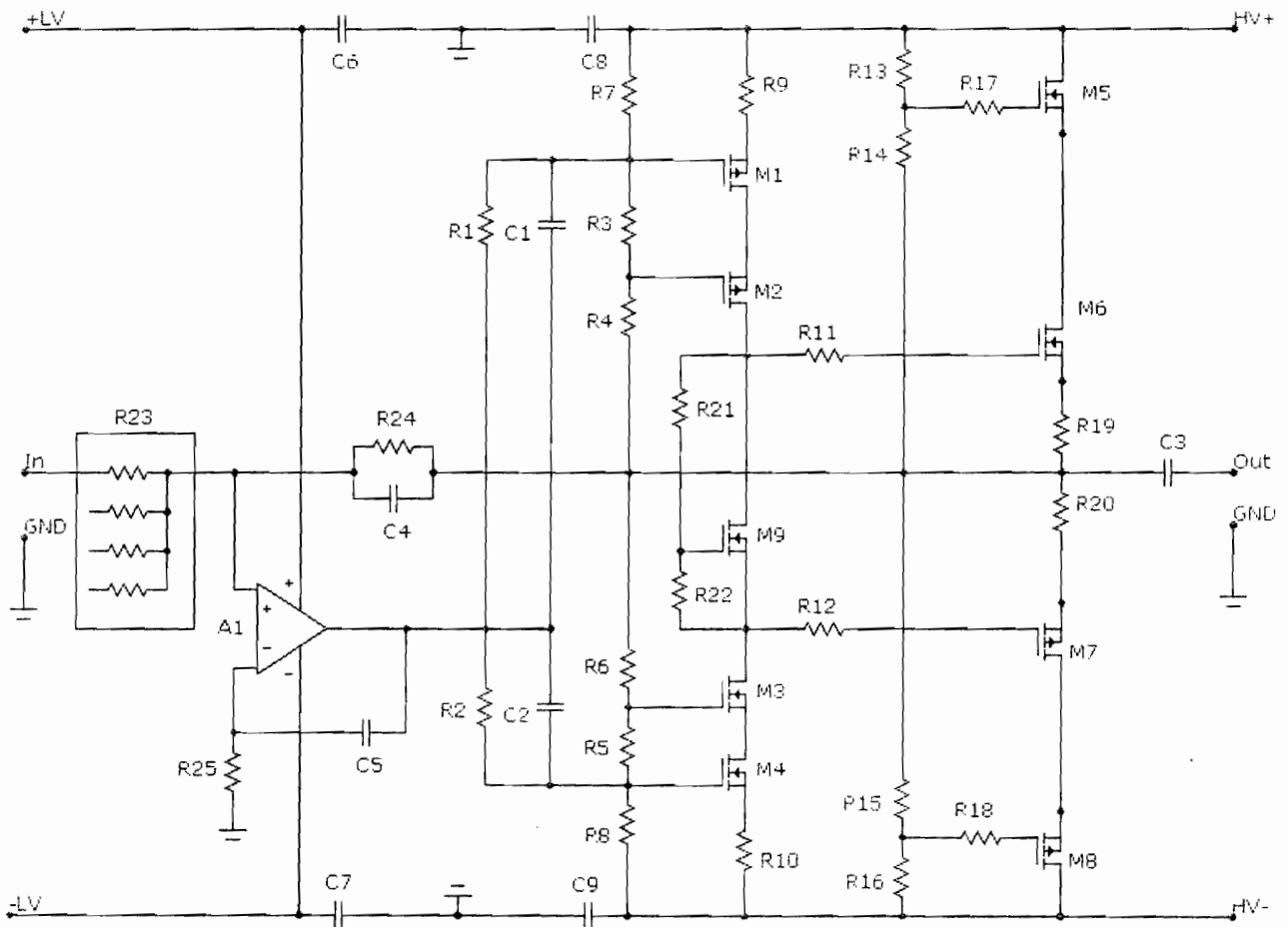


Fig. 2.