



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2011 01024**

(22) Data de depozit: **14.10.2011**

(41) Data publicării cererii:  
**30.05.2013** BOPI nr. **5/2013**

(71) Solicitant:  
• **VOLOȘENCU CONSTANTIN,**  
*STR. RANETTI NR. 52, AP. 7, TIMIȘOARA,*  
*TM, RO*

(72) Inventatori:  
• **VOLOȘENCU CONSTANTIN,**  
*STR. RANETTI NR. 52, AP. 7, TIMIȘOARA,*  
*TM, RO*

(54) **METODĂ ȘI SISTEM DE REGLARE A FRECVENȚEI  
TENSIUNII DE ALIMENTARE A TRANSDUCTOARELOR  
PIEZOELECTRICE, ULTRASONICE, DE PUTERE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un sistem de reglare a frecvenței tensiunii de alimentare a transductoarelor piezoelectrice, ultrasonice, de putere. Metoda conform invenției se bazează pe estimarea derivatei curentului de mișcare și utilizarea estimatului într-o buclă de reglare după eroare, astfel se asigură puterea mecanică maximă, dezvoltată de transductor, pe baza măsurării tensiunii și a curentului transductorului, controlând frecvența tensiunii de alimentare, pentru a menține nulă derivata curentului de mișcare. Sistemul conform invenției este alcătuit dintr-un amplificator de putere (AP) ce funcționează în comutație la înaltă frecvență, care alimentează, cu tensiune electrică periodică, un transductor (E) piezoelectric, direct sau prin intermediul unui transformator (T) ridicător de tensiune, tensiunea și curentul transductorului (E) sunt măsurate cu ajutorul unui traductor de tensiune (Tu), respectiv, un traductor de curent (Ti); un circuit estimator (CC\_DCM) utilizează valorile măsurate ale tensiunii și curentului, pentru estimarea derivatei curentului de mișcare, ieșirea acestuia se conectează la intrarea inversoare a unui circuit regulator de frecvență (RG-f) de tip PI, care lucrează după eroarea dintre estimatul curentului de mișcare și

zero, ieșirea regulatorului de frecvență (RG-f) se conectează la intrarea de comandă în tensiune a unui circuit oscilator (GF\_CT), comandat în tensiune, care generează un tren de impulsuri cu frecvența proporțională cu tensiunea de comandă furnizată de regulator (RG-f), iar ieșirea generatorului de frecvență (GF\_CT), comandat în tensiune, se conectează la un circuit de comandă (CC) a amplificatorului de putere (AP).

Revendicări: 2  
Figuri: 6

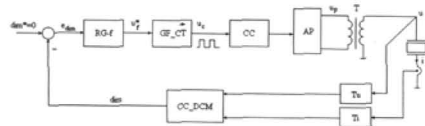


Fig. 6



## Metodă și sistem de reglare a frecvenței tensiunii de alimentare a transductoarelor piezoelectrice ultrasonore de putere

Invenția se referă la o metodă și un sistem de reglare a frecvenței tensiunii de alimentare a transductoarelor piezoelectrice ultrasonore de putere.

Transductoarele piezoelectrice și-au demonstrat viabilitatea în domeniul aplicațiilor bazate pe ultrasunete de putere, cum ar fi: curățirea în solvenți organici, sudura materialelor plastice și metalice, activarea proceselor biologice fizice și chimice în ultimii zeci de ani. Aceste aplicații continuă să fie de o mare necesitate. Transductoarele piezoelectrice de putere sunt alimentate cu invertoare de putere, realizate cu tranzistoare funcționând în comutație, la înaltă frecvență. Diverse echipamente electronice numerice și analogice sunt utilizate pentru comanda acestor invertoare în aplicațiile practice. Asigurarea unui randament ridicat pentru conversia de energie electrică în energie mecanică de frecvență ultrasonoră este deosebit de important. Diverse metode de comandă și reglare sunt utilizate pentru asigurarea acestui deziderat.

Pentru reglarea frecvenței de alimentare a transductoarelor piezoelectrice ultrasonore de putere sunt cunoscute mai multe metode și dispozitive, după cum urmează.

Pentru activarea ultrasonoră a diferitelor procese se utilizează generatoare electronice de putere funcționând în comutație. Aceste generatoare au diverse sisteme de reglare a frecvenței, pentru modificarea oscilațiilor ultrasonore transmise procesului. O soluție de comandă a generațiilor se bazează pe circuite cu calare pe fază, sau circuite PLL, cu căutarea automată a frecvenței într-o bandă de frecvențe dată.

În brevetul american *U.S. Patent 4271371* un sistem de ultrasonare alcătuit dintr-un transductor piezoelectric care convertește energia electrică de frecvență ultrasonoră în vibrații mecanice de aceeași frecvență conține: un oscilator comandat în tensiune, care produce un semnal de ieșire a cărui frecvență este proporțională cu o tensiune de intrare, un amplificator de putere având intrarea conectată la ieșirea oscilatorului, amplificatorul conținând un transformator de ieșire care cuplează ieșirea amplificatorului la transductor, acționând în același timp și ca izolator, un transformator de comandă, pentru circuitul de comandă al oscilatorului, amplasat în reacție conectat la secundarul transformatorului de la ieșirea amplificatorului de putere, prin care circulă un curent proporțional cu curentul transductorului, un comparator de fază care detectează diferența de fază dintre două semnale aplicate lui, cele două intrări fiind cuplate la ieșirea oscilatorului și la înfășurarea secundară a transformatorului de reactive și un filtru trece jos care blochează frecvențele înalte, amplasat între comparator și oscilator.

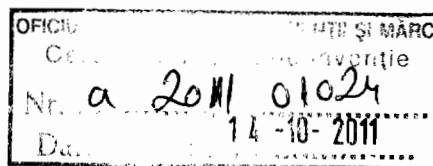
În brevetul american *U. S. Patent 6571088* se utilizează un circuit de reglare automată a frecvenței bazat pe estimarea offsetului de frecvență și care produce un semnal de blocare dacă eroarea de frecvență devine mai mică decât o valoare predeterminată. În acest caz o unitate centrală produce un semnal de comandă care oprește operarea circuitului de estimare. Un circuit de temporizare calculează o eroare de frecvență raportat la o durată de temporizare de corecție, dată de un circuit de întârziere și produce un semnal de deblocare, dacă eroarea de frecvență devine egală sau mai mare decât valoarea predeterminată. În acest caz unitatea centrală dă un semnal de pornire a operației de estimare a offsetului.

În brevetul american *U. S. Patent 4389601* o sursă de putere este utilizată pentru alimentarea unui transductor ultrasonic piezoelectric. Un circuit de reglare automată a frecvenței variază frecvența de ieșire a sursei de putere până când un raport între amplitudinea maximă și minimă a unei staționare produsă în dispozitivul electromecanic coboară sub un maxim prestabilit. Frecvența sursei de putere este stabilită de un oscilator comandat în tensiune variabilă. Un generator de baleiaj produce o frecvență mai mică decât frecvența ultrasonică. Ieșirea generatorului de baleiaj este cuplată la intrarea de comandă în tensiune a oscilatorului de comandă, până când unda staționară atinge o valoare prestabilită. Astfel, frecvența de alimentare va fi automat variată pentru menținerea unei staționare la o valoare acceptabilă a coeficientului de transfer a puterii.

Metodele și dispozitivele cunoscute au dezavantajul că nu asigură menținerea precisă a frecvenței la o valoare care să ducă la un randament maxim.

Această invenție se referă la o metodă și la un sistem de reglare a frecvenței tensiunii de alimentare a transductoarelor piezoelectrice de putere. Un amplificator de putere funcționând în comutație generează tensiunea de alimentare. Sistemul de reglare se bazează pe un regulator PI, care menține la zero derivata curentului de mișcare. Curentul de mișcare este determinat cu ajutorul unui estimator. Acest sistem de reglare asigură furnizarea puterii mecanice maxime generate de transductor.

Scopul acestei invenții este creșterea randamentului conversiei energiei electrice în energie mecanică defrecvență ultrasonoră, ceea ce duce la creșterea productivității proceselor de prelucrare cu ultrasunete de putere.



Problema pe care o rezolvă invenția este crearea unei metode și a unui sistem corespunzător pentru reglarea frecvenței tensiunii generatoarelor electronice de alimentare cu energie electrică a transducoarelor piezoelectrice de putere.

Astfel că, se poate dezvolta un sistem de reglare a frecvenței, care să funcționeze după eroarea derivatei curentului de mișcare, care să utilizeze un regulator PI de frecvență, care să asigure valoarea zero pentru această eroare în regim permanent.

Metoda, conform invenției, elimină dezavantajele metodelor cunoscute prin aceea că se realizează culegerea tensiunii de alimentare a transductorului  $u$  și a curentului prin el  $i$ , pe baza cărora se estimează derivata curentului de mișcare  $di_m$ , după care se realizează o reactive negative, cu care se calcează eroarea dintre ea și zero, eroare care se aplică unui regulator de frecvență de tip PI, cu ieșirea regulatorului se comandă un generator de frecvență comandat în tensiune, care generează un semnal de frecvență ultrasonoră proporțională cu tensiunea de comandă frunizată de regulator, semnal amplificat în putere și aplicat transductorului piezoelectric.

Sistemul, conform invenției, este alcătuit dintr-un amplificator de putere, funcționând în comutație la înaltă frecvență, care alimentează cu tensiune electrică periodică un transductor piezoelectric, direct sau prin intermediul unui transformator ridicător de tensiune. Tensiunea și curentul transductorului sunt măsurate cu ajutorul a unui traductor de tensiune, respective de curent. Un circuit estimator utilizează valorile măsurate ale tensiunii și curentului pentru estimarea derivatei curentului de mișcare. Ieșirea estimatorului se conectează la intrarea inversoare a unui circuit regulator de frecvență de tip PI, care lucrează după eroarea dintre estimatul curentului de mișcare și zero. Ieșirea regulatorului de frecvență se conectează la intrarea de comandă în tensiune a unui circuit oscilator comandat în tensiune, care generează un tren de impulsuri cu frecvența proporțională cu tensiunea de comandă furnizată de regulator. Ieșirea generatorului de frecvență se conectează la un circuit de comandă a amplificatorului de putere.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, cu referire la fig. 1, 2, 3, 4, 5 și 6, care reprezintă:

- fig. 1, un exemplu de transductor piezoelectric;
- fig. 2, un exemplu de concentrator de energie mecanică ultrasonoră;
- fig. 3, circuitul electric echivalent al ansamblului electracustic;
- fig. 4, caracteristica de frecvență a impedanței transductorului piezoelectric;
- fig. 5, caracteristica de frecvență a curentului de mișcare;
- fig. 6, diagrama bloc a sistemului de reglare a frecvenței.

Energia electrică de frecvență ultrasonoră mai mare de 20 KHz este convertită în energie mecanică utilizând transducoare piezoelectrice. Un astfel de transductor se prezintă în Fig. 1.

În aplicațiile practice transductorul se cuplează cu un concentrator de energie mecanică, prezentat în Fig. 2.

Transductorul piezoelectric are un circuit electric echivalent ca în Fig. 3.

În acest circuit se scoate în evidență așa numitul circuit electric echivalent al părții mecanice, care este un circuit RLC serie, cu parametri echivalenți  $R_m$ ,  $L_m$  și  $C_m$ , care sunt neliniari, depinzând de sarcina mecanică a transductorului, alcătuită din concentrator și procesul activat ultrasonic. Curentul prin circuitul mecanic echivalent  $i_m$  este curentul de mișcare. Capacitatea de la intrare  $C_0$  a transductorului seste considerată un parametru constant, care poate fi determinat prin măsurare la bornele transductorului. Ecuațiile care descriu varia. lia în timp a mărimilor circuitului sunt:

$$\begin{aligned}
 u_{L_m} &= \frac{d\varphi_{L_m}}{dt} = \frac{dL_m}{dt} i_m + L_m \frac{di_m}{dt} \\
 i_{C_m} &= \frac{dq_{C_m}}{dt} = \frac{dC_m}{dt} u_{C_m} + C_m \frac{du_{C_m}}{dt} \\
 R_m &= \frac{du_{R_m}}{di_m} \\
 i &= i_0 + i_m \\
 u &= u_{L_m} + u_{C_m} + u_{R_m} \\
 C_0 \frac{du}{dt} &= i_{C_0}
 \end{aligned} \tag{1}$$

unde  $\varphi$  este fluxul magnetic prin inductanța mecanică  $L_m$  și  $q$  este sarcina electrică a condensatorului mecanic  $C_m$ .

Transductorul piezoelectric are o caracteristică de frecvență a impedanței sale  $Z$  cu o frecvență de rezonanță serie și una paralel, ca în fig. 4.

Curentul de mișcare  $i_m$  are caracteristica de frecvență ca în Fig. 5.

Puterea mecanică maximă dezvoltată de transductor se obține atunci când acesta este alimentat la frecvența  $f_m$ , unde se absoarbe curentul de mișcare maxim  $i_m = I_{mM}$ . Desigur, maximul curentului de mișcare se obține când derivate valorii absolute  $dim$  este zero:

$$\dim(t) = \frac{d|i_m|}{dt} = 0 \quad (2)$$

Metoda pentru reglarea frecvenței realizează culegerea tensiunii de alimentare  $u$  a transductorului piezoelectric  $E$  și a curentului  $i$  a acestuia, cu ajutorul cărora estimează derivata curentului de mișcare  $dim$  pe baza relației

$$\dim(t) = \frac{d|i_m|}{dt} = \frac{d|i - i_0|}{dt} = \frac{d|i - C_0 \frac{d}{dt} u|}{dt} \quad (3)$$

Adică, se derivează tensiunea măsurată  $u$ , se înmulțește cu valoarea capacității de la bornele transductorului  $C_0$ , prestabilită, se scade din valoarea măsurată a curentului  $i$  și se derivează diferența rezultată. Valoarea estimată a derivatei curentului de mișcare este eroarea după care lucrează regulatorul de frecvență, de tip PI, care furnizează mărimea de comandă a generatorului de frecvență comandat în tensiune pentru generarea semnalului amplificat în putere de către amplificator și furnizat transductorului.

Sistemul de reglare a frecvenței este alcătuit conform fig. 6 dintr-un amplificator electronic de putere AP, funcționând în comutație, la înaltă frecvență, care alimentează un transductor piezoelectric  $E$ , cu o tensiune de înaltă frecvență  $u$ , de forma unor trenuri de impulsuri dreptunghiulare de frecvență ultrasonoră  $f$ . Un transformator  $T$  amplasat la ieșirea amplificatorului AP crește tensiunea de alimentare pentru transductorul  $E$ . Un circuit de comandă CC asigură semnal de comandă necesar amplificatorului de putere AP. Semnalul de comandă  $u_c$  este un semnal dreptunghiular, generat de un generator de frecvență comandat în tensiune GF\_CT. Semnalul de comandă  $u_c$  are frecvența  $f$  și durate egale ale impulsurilor. Frecvența semnalului  $u_c$  este controlată cu tensiunea  $u_f^*$ . Semnalul  $u_f^*$  de control al frecvenței  $f$  a transductorului este furnizat de regulatorul de frecvență RG-f. Sistemul de reglare a frecvenței din fig. 6 se bazează pe eroarea derivatei curentului de mișcare  $e_{dim}$ :

$$e_{dim} = dim^* - dim \quad (3)$$

obținută ca diferență dintre valoarea de referință a derivatei curentului de mișcare, care se impune zero,  $dim^* = 0$  și valoarea calculată a derivatei  $dim$ . Un regulator PI se utilizează pentru reglarea frecvenței, având funcția de transfer:

$$u_f^*(s) = K_R \left( 1 + \frac{1}{T_R s} \right) e_{dim}(s) \quad (4)$$

Regulatorul de frecvență lucrează după eroarea derivatei curentului de mișcare  $e_{dim}$ . Derivata curentului de mișcare  $dim$  se calculează cu un circuit estimator CC\_DCM, unde  $C_0$  este o valoare cunoscută a capacității de la intrarea transductorului,  $u$  și  $i$  sunt măsurate. Tensiunea  $u$  și curentul  $i$  a transductorului  $E$  sunt măsurate cu un traductor de tensiune  $T_u$  și respectiv un traductor de curent  $T_i$ . Tensiunea și curentul măsurat se aplică intrărilor unui circuit CC\_DCM de estimare a derivatei curentului de mișcare  $dim$ . Ieșirea circuitului de estimare se conectează la intrarea inversoare a unui regulator RG-f de tip PI de frecvență, care comandă un generator de frecvență GF\_CT. Acesta comandă la rândul lui circuitul CC de intrare al amplificatorului de putere AP. Intrarea de referință a regulatorului de frecvență se pune la zero.

Metoda și sistemul, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

-Permite realizarea unui reglaj în regim uzinal;

- Are o construcție simplă și robustă;
- Face posibilă reglarea frecvenței într-o bandă largă;
- Asigură un randament sporit procesului de conversie a energiei electrice de frecvență ultrasonoră în energie mecanică;
- Asigură un randament sporit al procesului de activare ultrasonică;
- Poate fi utilizată pentru transductoare într-o gamă largă de soluții constructive, puteri și frecvențe;
- Poate fi realizată utilizând componente de uz general, la un preț scăzut;
- Asigură valori bune ale indicatorilor de calitate ai reglării.

#### ***Bibliografie***

- \*\*\* Driving system for an ultrasonic piezoelectric transducer, *U.S. patent 4271371*.
- \*\*\* Automatic frequency control circuit, *U. S. Patent 6571088*.
- \*\*\* Power supply having automatic frequency control for ultrasonic bonding, *U. S. Patent 4389601*.

### **Revendicări**

1. Metodă de reglare a frecvenței tensiunii de alimentare a transductoarelor piezoelectrice ultrasonore de putere, caracterizată prin aceea că pentru asigurarea unui randament maxim al transferului de energie de la un generator electronic de putere ultrasonoră către un transductor piezoelectric de putere, se realizează comanda generatorului în comutație, cu un tren de impulsuri a cărui frecvență este acordată pe baza unei reglări după eroarea dintre valoarea estimată a derivatei curentului de mișcare și zero, derivata curentului de mișcare fiind estimată pe baza măsurării tensiunii și curentului momentan la transductor.

2. Sistem de reglare a frecvenței tensiunii de alimentare a transductoarelor piezoelectrice ultrasonore de putere, caracterizat prin aceea că pentru asigurarea unui randament maxim al transferului de energie de la un generator electronic de putere ultrasonoră către un transductor piezoelectric de putere este alcătuit dintr-un amplificator electronic de putere AP, funcționând în comutație, la înaltă frecvență, care alimentează un transductor piezoelectric E, cu o tensiune de înaltă frecvență  $u$ , de forma unor trenuri de impulsuri dreptunghiulare de frecvență ultrasonoră  $f$ . Un transformator T amplasat la ieșirea amplificatorului AP crește tensiunea de alimentare pentru transductorul E. Un circuit de comandă CC asigură semnal de comandă necesar amplificatorului de putere AP. Semnalul de comandă  $u_c$  este un semnal dreptunghiular, generat de un generator de frecvență comandat în tensiune GF\_CT. Semnalul de comandă  $u_c$  are frecvența  $f$  și durate egale ale impulsurilor. Semnalul de control al frecvenței  $f$  a transductorului este furnizat de regulatorul de frecvență RG-f. Sistemul de reglare a frecvenței se bazează pe eroarea derivatei curentului de mișcare  $e_{dim}$ . Regulatorul de frecvență lucrează după eroarea derivatei curentului de mișcare. Derivata curentului de mișcare se calculează cu un circuit estimator CC\_DCM, utilizând valoarea capacității de la intrarea transductorului, care se presupune cunoscută, și tensiunea și curentul transductorului, măsurate cu un traductor de tensiune  $T_u$  și respectiv un traductor de curent  $T_i$  și aplicate intrărilor circuitului CC\_DCM de estimare a derivatei curentului de mișcare. Ieșirea circuitului de estimare se conectează la intrarea inversoare a unui regulator RG-f de tip PI de frecvență, care comandă un generator de frecvență GF\_CT. Acesta comandă la rândul lui circuitul CC de intrare al amplificatorului de putere AP. Intrarea de referință a regulatorului de frecvență se pune la zero.

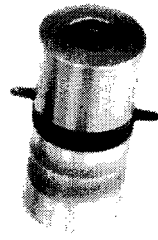


Fig. 1

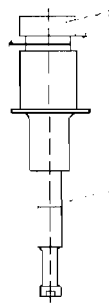


Fig. 2

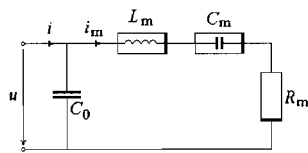


Fig. 3

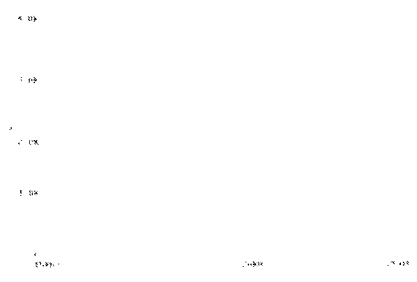


Fig. 4

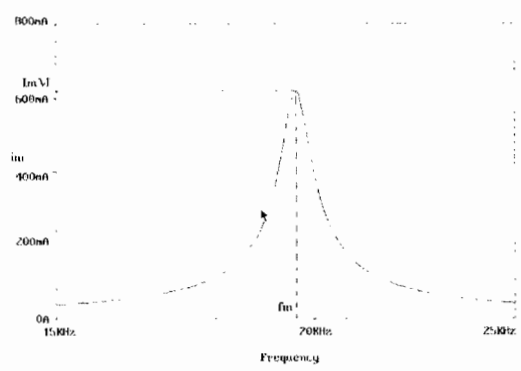


Fig. 5

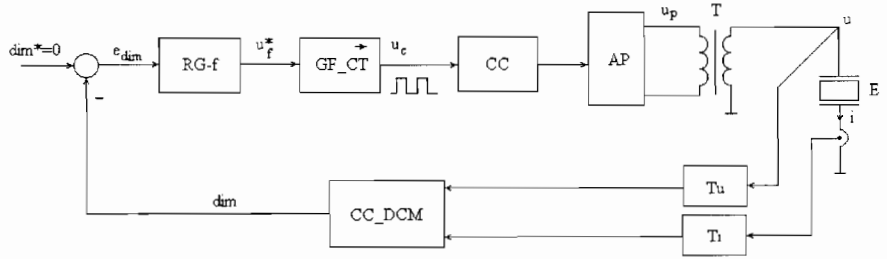


Fig. 6