



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2011 00239

(22) Data de depozit: 18.03.2011

(41) Data publicării cererii:  
30.10.2012 BOPI nr. 10/2012

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ  
BUCUREȘTI, BD. IULIU MANIU NR. 1-3,  
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• VIZIREANU DRAGOȘ NICOLAE,  
STR. CORVINILOR NR.15, SECTOR 6,  
BUCUREȘTI, B, RO;

• HALUNGA SIMONA VIORICA,  
STR. IVO ANDRIC NR.8, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• BABARADA FLORIN, STR. PÂNCOTA  
NR. 9, BL. 11, SC. 2, AP.40, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **METODĂ SIMPLĂ ȘI PRECISĂ PENTRU ESTIMAREA ÎN TIMP REAL A FRECVENȚEI INSTANTANEE A SEMNALELOR INDIVIDUALE SINUSOIDALE, UTILIZÂND PATRU PUNCTE TEMPORALE, CU POSIBILITATEA APLICĂRII LA PROCESAREA DIGITALĂ ÎN INSTRUMENTAȚIA PORTABILĂ**

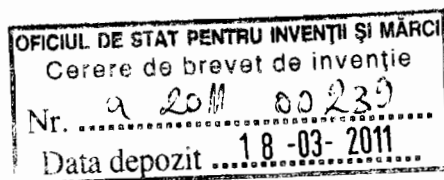
(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de estimare în timp real a frecvenței instantanee a semnalelor individuale sinusoidale, cu posibilitatea aplicării pentru procesarea digitală a semnalelor în domeniul instrumentației portabile. Metoda conform invenției constă în utilizarea unui convertor analog digital (ADC), care obține eșantioane ale unui semnal sinusoidal individual, cu o frecvență de patru ori mai mare decât o frecvență

instantanee a semnalului, acestea fiind apoi cuantizate și transmise la niște procesoare de semnal digital (DSP) care le prelucrează, folosind numai patru eșantioane temporale egal distanțate, care sunt suficiente pentru calculul frecvenței instantanee și amplitudinii semnalelor sinusoidale individuale.

Revendicări: 1





**METODĂ SIMPLĂ ȘI PRECISĂ PENTRU ESTIMAREA ÎN TIMP REAL A  
FRECVENȚEI INSTANTANEE A SEMNALELOR INDIVIDUALE SINUSOIDALE,  
UTILIZÂND PATRU PUNCTE TEMPORALE, CU POSIBILITATEA APLICĂRII  
LA PROCESAREA DIGITALĂ ÎN INSTRUMENTAȚIA PORTABILĂ**

Invenția se referă la o metodă de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, care este simplă, rapidă și precisă, folosind patru eșantioane egal distantate, cu posibilitatea utilizării pentru procesarea digitală a semnalelor (Digital Signals Processing-DSP) în domeniul instrumentației portabile, precum și a altor aplicații de prelucrare digitală de semnal.

În scopul estimării frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, sunt cunoscute mai multe metode de realizare a acestora precum: metoda celor mai mici pătrate, observatorii de stare adaptivi [1], bine-cunoscuta transformată Fourier rapidă (Fast Fourier Transform-FFT), sau algoritmi de estimare spectrală precum MUSIC, ESPRIT, matricea-creion, Kumaresan-Tufts, transformata Fourier discretă interpolată (IpDFT)) [2 ], [3], [4], [5], care pot fi utilizate pentru a estima atât frecvența instantanee a semnalelor sinusoidale individuale cât și amplitudinea acestora. Estimarea frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale este un aspect crucial în multe aplicații de măsurare și instrumentație. Standardele IEEE 1057 [6] și 1241 [7] prezintă două metode de estimare a trei parametri (amplitudine, fază, și componenta de curent continuu) sau patru parametri (inclusiv, de asemenea, frecvența instantanee) a unei sinusoidale care se potrivește cel mai bine unui set de eșantioane obținute. Aceste metode de calcul tind să fie intensive și costisitoare necesitând suport hardware de mare viteză pentru implementarea în timp real.

Costul de cuantizare este introducerea de erori în măsurători. Instrumentele portabile moderne includ achiziția de semnale, conversia la domeniul digital, urmată de tehnici de procesare digitală a semnalului, de obicei implementate pe procesoare de semnal digital (DSP) [8]. Instrumentele sintetice [9] sunt noi tipuri de instrumente dezvoltate de producătorii hardware, în care suportul hardware este foarte flexibil, și capacitățile instrumentelor sunt definite de algoritmi de procesare digitală a semnalului care prelucrează rezultatele măsurate. Această

caracteristică face instrumentele extrem de puternice și flexibile. Elementul central al instrumentului se bazează pe algoritmi digitali de procesare a semnalului, care sunt capabili să extragă multe caracteristici de la semnalele achiziționate.

Dezavantajele acestor metode constau în faptul că utilizează algoritmi complicați de calcul al frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, convergența algoritmului de calcul, timpul de convergență și de calcul al frecvenței instantanee precum și eroarea introdusă la aceste estimări.

Scopul invenției este găsirea unei metode de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, care este simplă, rapidă și precisă, folosind patru eșantioane egal distanțate, cu posibilitatea utilizării pentru procesarea digitală a semnalelor (Digital Signals Processing-DSP) în domeniul instrumentației portabile, precum și a altor aplicații de prelucrare digitală de semnal.

Metoda de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, folosind patru eșantioane temporale egal distanțate, conform invenției, înlătură dezavantajele anterior menționate prin aceea că este mai simplă, mai rapidă și precisă, cu posibilitatea utilizării pentru procesarea digitală a semnalelor DSP în domeniul instrumentației portabile, precum și a altor aplicații complexe de prelucrare digitală de semnal.

Procedeul conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- Implementarea hardware pentru realizarea măsurătorilor este relativ simplă fiind alcătuită dintr-un convertor analog digital (Analog Digital Converter-ADC) care obține eșantioane ale semnalului sinusoidal individual, acestea sunt cuantizate și transmise la DSP.
- Frecvența de eșantionare trebuie să fie de patru ori mai mare decât frecvența instantanee a semnalului.
- Metoda de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, folosește numai patru eșantioane temporale egal distanțate, care sunt suficiente și pentru calculul frecvenței instantanee și amplitudinii semnalelor sinusoidale individuale.
- Algoritmul de calcul este foarte simplu, necesitând resurse mici de calcul și precis, calculând în mod direct parametri de la un semnal de înaltă puritate, cu efort minim de calcul.

- Această metodă nu depinde de faza inițială, amplitudinea și ofsetul de curent continuu ale semnalului sinusoidal individual.
- Metoda de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale, folosește numai patru eșantioane egal distanțate și poate fi aplicată pentru dezvoltarea de instrumente portabile sau echipamente, precum multimetre, măsurarea frecvenței instantanee, sisteme complexe de tratare a semnalelor la nivel local sau la sursa acestora, etc.

Se dă în continuare un exemplu de verificare experimentală a metodei pentru care rata de eșantionare pentru estimatorul în patru puncte este critică. Eroarea maximă posibilă este aproximativ proporțională cu abaterea frecvenței de eșantionare față de valoarea ideală. Pentru a îmbunătăți precizia se poate utiliza preprocesarea astfel încât să se obțină cu erori mici  $x_1-x_4$ ,  $x_2-x_3$  și  $\delta$ .

Pentru a evalua efectul zgomotului alb, aditiv și Gaussian (Additive White Gaussian Noise-AWGN) privind performanța estimatorilor, eroarea medie pătratică (Root Mean Squared Error-RMSE) a amplitudinii estimate este calculată pentru mai multe valori ale raportului semnal/zgomot (Signal to Noise Ratio-SNR). Este cunoscut faptul că un estimator cu un număr mare de date eșantionate este avantajat de medierea la ieșire a zgomotului alb aditiv. Erorile de estimare vor fi mari pentru estimatorul în patru puncte atunci când raportul semnal/zgomot SNR este scăzut. Raportul semnal/zgomot SNR al semnalului de intrare este definit ca fiind raportul dintre semnal, în root mean square-RMS, peste devierea standard a zeroului-adică zgomotul alb, aditiv și Gaussian AWGN. Raportul semnal/zgomot SNR a semnalului de intrare variază de la 15dB la 80dB. Pentru fiecare raport semnal/zgomot a semnalului de intrare, un număr mare de estimări (12000) au fost luate pentru a calcula RMSE. Rezultatele au arătat că pentru  $SNR > 45dB$  estimatorul în patru puncte a avut rezultate bune. Efectul de cuantizare datorită unui număr finit de biți a fost, de asemenea, explorat. Dacă se folosește o reprezentare cu număr mare de biți, erorile de estimare a frecvenței instantanee sunt mai mici. Astfel frecvența instantanee estimată este mai puțin sensibilă la rata de eșantionare prin luarea de patru eșantioane. În ceea ce privește sensibilitatea la rata de eșantionare, metoda FFT fără ferestre sau interpolare poate da rezultate mai slabe decât estimatorul în patru puncte.

Metoda de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale poate utiliza numai patru eșantioane consecutive, care au fost luate mai rapid decât 1/4 din perioada semnalului instantaneu [10]. Această metodă nu depinde de faza inițială, amplitudinea și ofsetul de curent continuu ale semnalului sinusoidal individual.

Pornind de la sistemul neliniar:

$$x(t) = A_0 + A_1 \sin(\Omega t + \varphi) \quad (1)$$

pentru  $t_i, i = 1, 2, 3, 4$  având  $0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < \frac{\pi}{2\Omega} = \frac{T}{4}$  vom obține parametrul  $\Omega$ .

$$\text{Cu} \quad \alpha = A_1 \cos \varphi, \beta = A_1 \sin \varphi, \gamma = A_0 \quad (2)$$

și

$$x_i = x(t_i) \quad (3)$$

avem un sistem de patru ecuații cu patru parametri necunoscuți,  $\gamma, \alpha, \beta$  și  $\Omega$ .

$$x_i = \gamma + \alpha \sin \Omega t_i + \beta \cos \Omega t_i, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

din ecuațiile (4), cu:

$$\sin \Omega(t_1 - t_2) + \sin \Omega(t_2 - t_3) + \sin \Omega(t_3 - t_1) \neq 0 \quad (5)$$

obținem ecuația implicită pentru  $\Omega$ :

$$\begin{aligned} & (x_2 - x_1) \sin \Omega(t_4 - t_3) - (x_3 - x_1) \sin \Omega(t_4 - t_2) + (x_3 - x_2) \sin \Omega(t_4 - t_1) + \\ & + (x_4 - x_1) \sin \Omega(t_3 - t_2) - (x_4 - x_2) \sin \Omega(t_3 - t_1) + (x_4 - x_3) \sin \Omega(t_2 - t_1) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Dacă

$$t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = t_4 - t_3 = \delta \quad (7)$$

cu (5)  $\sin \Omega \delta \neq 0$  sau  $\cos \Omega \delta \neq 1$ , obținem din (6):

$$(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + 2\varepsilon_3) \sin \Omega \delta - (\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + \varepsilon_3) \sin 2\Omega \delta + (x_3 - x_2) \sin 3\Omega \delta = 0 \quad (8)$$

sau

$$\cos \Omega \delta = \frac{1}{2} \left( \frac{x_1 - x_4}{x_2 - x_3} - 1 \right) \quad (9)$$

și la final frecvența instantanee a semnalului sinusoidal individual (Instantaneous Frequency-

IF) pentru  $[0, t_4]$  este dată de:

$$\Omega = \frac{1}{\delta} \arccos \left( \frac{1}{2} \left( \frac{x_1 - x_4}{x_2 - x_3} - 1 \right) \right) \quad (10)$$

Frecvența instantanee este o funcție de  $x_1 - x_4$ ,  $x_2 - x_3$  și  $\delta$ .

## REVENDICĂRI

- Metodă de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale caracterizată prin aceea că, în scopul realizării măsurărilor implementarea hardware este relativ simplă fiind alcătuită dintr-un convertor analog digital (Analog Digital Converter-ADC) care obține eșantioane ale semnalului sinusoidal individual cu o frecvență de patru ori mai mare ca frecvența instantanee a semnalului, acestea fiind apoi cuantizate și transmise la DSP care le prelucrează, conform invenției folosind numai patru eșantioane temporal egal distanțate, care sunt suficiente pentru calculul frecvenței instantanee și amplitudinii semnalelor sinusoidale individuale.
- Metodă de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale caracterizată prin aceea că, pentru scopul propus se utilizează algoritmul de calcul prezentat care este foarte simplu, necesitând resurse mici de calcul și este precis, calculând în mod direct parametri de la un semnal de înaltă puritate, cu efort minim de calcul.
- Metodă de estimare a frecvenței instantanee a semnalelor sinusoidale individuale caracterizată prin aceea că, în scopul propus metoda nu depinde de faza inițială, amplitudinea și ofsetul de curent continuu ale semnalului sinusoidal individual și poate fi aplicată pentru dezvoltarea de instrumente portabile sau echipamente, precum multimetre, măsurarea frecvenței instantanee, sisteme complexe de tratare a semnalelor, inclusiv a zgomotelor, la nivel local sau la sursa acestora.