

# ANALIZA INFORMATIZATĂ A CONSUMURILOR DE ENERGIE PENTRU ÎNCADRAREA ÎN NORMELE UE

George SERIȚAN\* Cornelia CEPIȘCĂ\*\* Valentin DOGARU-ULIERU\*\*\*

\*Universitatea POLITEHNICA București

\*\*Electronica Ind. Gr.Sc.Bucuresti

\*\*\*Universitatea Valahia Târgoviște

*Abstract:*

*In the paper a digital technique for improving the accuracy of electronic electricity meters is presented. An algorithm using to predict the resulting measurement error of a sampling operation in the sinusoidal and non-sinusoidal circumstances is presented.*

*Cuvinte cheie: contoare digitale, eșantionare, exactitate*

## 1. INTRODUCERE

Contoarele digitale se bazează pe utilizarea eșantionării semnalelor analogice și pe conversia analog-digitală (CAD) a semnalelor eșantionate. Metoda de multiplicare utilizată în construcția acestor aparate destinate măsurării puterii și energiei electrice este reprezentată de multiplicarea digitală a semnalelor de tensiune și de intensitate a curentului.

Pentru asigurarea exactității impuse de norme pentru măsurarea energiei electrice, o problemă importantă o constituie alegerea corectă a următorilor parametri:

- frecvența de eșantionare;
- intervalul de timp de măsurare;
- numărul de eșantioane.

Alegerea frecvenței de eșantionare se bazează pe teorema lui Shannon. Semnalele ce interesează în cazul energiei electrice sunt: tensiunea, intensitatea curentului și puterea instantanee. Puterea instantanee are o frecvență dublă; ea este cea care dictează frecvența de eșantionare. Pentru măsurarea corectă a energiei electrice în rețele cu mărimi electrice nesinusoidale, este necesar a măsura corect armonici cel puțin până la ordinul  $k = 30$ .

## 2. EȘANTIONAREA PENTRU OBTINEREA PUTERII ȘI ENERGIEI ACTIVE

Energia activă reală în intervalul de măsurare  $T'$  (mai mare sau egal cu perioada  $T$  a fundamentalei mărimilor de intrare) este obținută din expresia:

$$W_a = \int_0^{T'} p(t) dt = T' UI \cos \varphi - \frac{UI}{2\omega} [\sin(2\omega T' + \alpha + \beta) - \sin(\alpha + \beta)] \quad (1)$$

$$W_a = \frac{2\pi}{k\omega} NU k \cos \varphi - \frac{UI}{2\omega} \left[ \sin\left(\frac{2\pi}{k} N + \alpha + \beta\right) - \sin(\alpha + \beta) \right] \quad (2)$$

Energia activă măsurată prin eșantionare se determină prin însumarea energiilor elementare aferente unei secvențe de eșantionare. Energia activă elementară  $\Delta w_{ae}$  măsurată între două momente de eșantionare este:

$$\Delta w_{ae} = T_e \cdot u[n] \cdot i[n] = \frac{2\pi}{k\omega} \cdot u[n] \cdot i[n] \quad (3)$$

în care  $u[n]$  și  $i[n]$  reprezintă eșantioanele simultane de tensiune și de curent:

$$u[n] = u(t_0 + nT_e) \quad i[n] = i(t_0 + nT_e)$$

Rezultă pentru energia elementară valoarea:

$$\Delta W_{ae} = \frac{4\pi}{k\omega} UI \sin\left(\frac{2\pi i}{k} + \alpha\right) \sin\left(\frac{2\pi i}{k} + \beta\right) \quad (4)$$

În aceste condiții, energia activă obținută prin eșantionare rezultă din însumarea energiilor elementare aferente fiecărei operații de eșantionare:

$$\begin{aligned} W_{ae} &= \frac{4\pi}{k\omega} UI \sum_{i=0}^{N-1} \sin\left(\frac{2\pi i}{k} + \alpha\right) \sin\left(\frac{2\pi i}{k} + \beta\right) = \\ &= \frac{2\pi}{k\omega} UI \sum_{i=0}^{N-1} \left[ \cos\varphi - \cos\left(\frac{4\pi i}{k} + \alpha + \beta\right) \right] = \\ &= \frac{2\pi}{k\omega} UI \cos\varphi - \frac{2\pi}{k\omega} UI \sum_{i=0}^{N-1} \cos\left(\frac{4\pi i}{k} + \alpha + \beta\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Eroarea absolută de măsurare prin eșantionare a energiei active este de forma:

$$\Delta W_a = W_{ae} - W_a = A - B \quad (6)$$

unde:

$$\begin{aligned} A &= \frac{2\pi}{k\omega} UI \left\{ \frac{k}{4\pi} \left[ \sin\left(\frac{4\pi}{k} N + \alpha + \beta\right) - \sin(\alpha + \beta) \right] \right\} \\ B &= \frac{2\pi}{k\omega} UI \sum_{i=0}^{N-1} \cos\left(\frac{4\pi i}{k} + \alpha + \beta\right) = \frac{2\pi}{k\omega} UI \frac{\sin\left(\frac{2N}{k} \pi\right) \cos\left(\frac{2(N-1)}{k} \pi\right)}{\sin\left(\frac{2}{k} \pi\right)} \end{aligned} \quad (7)$$

Pentru anularea acestei erori, trebuie să se anuleze în parte fiecare dintre termenii  $A$  și  $B$ . Anularea lui  $A$  implică:

$$\frac{4\pi}{k} N = 2m\pi, \quad m \in Z \quad \Rightarrow \quad 2T' = mT \quad (8)$$

adică dublul perioadei de observație să fie multiplu întreg al perioadei mărimilor de intrare  $u(t)$  și  $i(t)$ .

Anularea lui  $B$  poate avea loc în două situații:

$$\sin\left(\frac{2N}{k} \pi\right) = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{2N}{k} \pi = m\pi \quad 2T' = mT, \quad m \in Z \quad (9)$$

$$\cos\left(\frac{2(N-1)}{k} \pi + \varphi\right) = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{2(N-1)}{k} \pi + \varphi = (2p+1) \frac{\pi}{2}, \quad p \in Z \quad (10)$$

Este necesar în plus ca:

$$\frac{4\pi}{k} i \neq 2\mu\pi \quad \Rightarrow \quad \frac{2}{k} i \neq \mu \quad \Rightarrow \quad T_e \neq \frac{\mu}{2i} T, \quad \mu \in Z \quad (11)$$

### 3. MODELAREA MĂSURĂRII PUTERII ACTIVE ȘI REACTIVE

Modelarea operației de eșantionare, a celei de multiplicare și de calcul a valorilor puterilor electrice a fost realizată cu ajutorul pachetului de programe MATLAB în cazul semnalelor sinusoidale și nesinusoidale.

În Fig.1 se prezintă rezultate ale modelării operației de eșantionare a semnalelor de tensiune și de curent:  $u(t) = 400\sin 314t$ ,  $i(t) = 10\sin 314t$  pentru câteva frecvențe de eșantionare. Pe baza acestui

program s-a studiat variația erorii la măsurarea puterii active, considerând perioada de calcul  $T$  egală cu perioada semnalului eșantionat.

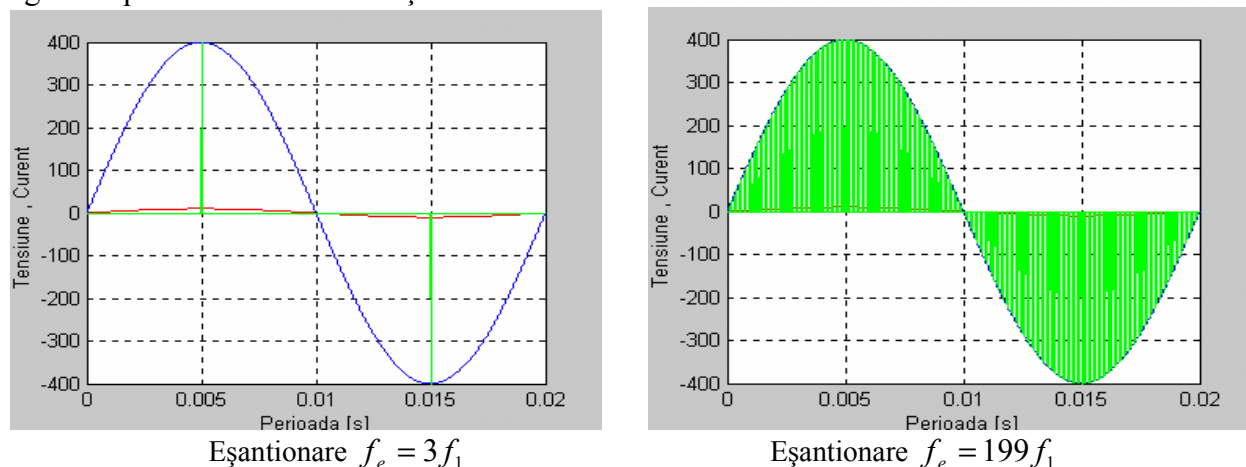


Fig.1. Operația de eșantionare,  $T=T_1$

În Fig.2 se prezintă rezultatele obținute în urma calculului. Diagrama prezintă eroarea la măsurarea puterii active în funcție de numărul de eșantioane.

Studiul a fost extins și cazul în care pentru considerând perioada de calcul  $T$  egală cu un multiplu ( $T=10T_1$ ) al perioadei semnalului eșantionat. Rezultatele obținute în acest caz sunt prezentate în Fig.3.

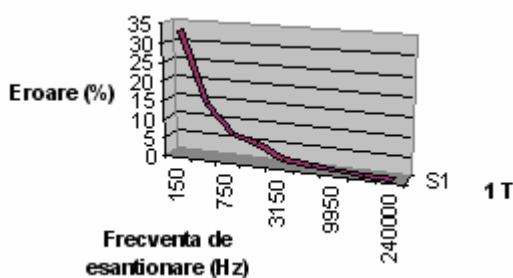


Fig.2. Diagrama erorii funcție de numărul de eșantioane pentru  $P$ ,  $T=T_1$

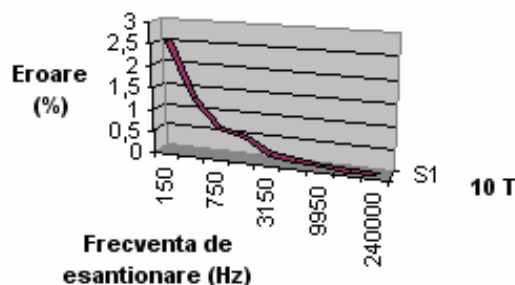


Fig.3. Diagrama erorii funcție de numărul de eșantioane pentru  $P$ ,  $T=10T_1$

#### 4. PROBE IMPUSE DE NORMELE METROLOGICE

Încercările la care sunt supuse contoarele conform normei metrologice în vigoare, prevăd determinarea erorilor de funcționare pentru :

- condiții de referință: tensiune și curent sinusoidal,  $\cos \varphi=1$ ;
- testare la conținut de armonici: condiții de referință + 10% armonica a-3-a pentru curent;
- testare în condiții de referință cu tensiune + 10% armonica a-3-a și curent + 20% armonica

$$a-3-a, \varphi_1 = \varphi_3 = \frac{\pi}{6};$$

- testare la existența componentei de curent continuu: condiții de referință, semnalul de curent fiind redresat monoalternanță.

**Tabelul 1**

Frecvența de eșantionare $f_e$ (Hz)	Eroarea (%) în condiții de referință, mărimi sinusoidale a)	Eroare (%) în condiții de referință, mărimi sinusoidale armonica 3 de curent - b)
150	33,33	20
250	20	20
350	14,29	14,29
750	6,67	6,67
950	5,26	5,26
4950	1,01	1,01
9950	0,50	0,50
60000	0,08	0,08
240000	0,02	0,02

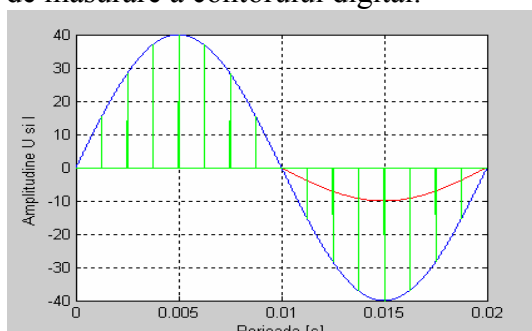
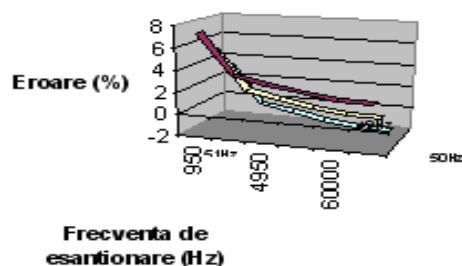
Pentru testele *a* și *b* rezultatele sunt prezentate în tabelul 1. Se observă că procesul de eșantionare desfășurat în condițiile prezentate de minimizare a erorii nu influențează suplimentar exactitatea măsurării în condițiile încercării contorului digital cu o formă de curent ce conține și armonica 3 cu amplitudine de 10% din fundamentală.

Pentru testarea cu un semnal de curent ce conține fundamentală și armonica 3 cu amplitudine de 20% din fundamentală și cu un semnal de tensiune ce conține armonica 3 cu o amplitudine de 10% din fundamentală, ambele armonici fiind decalate cu  $\pi/6$  față de fundamentalele respective, rezultatele sunt prezentate în tabelul 2.

**Tabelul 2**

Frecvența de eșantionare $f_e$ (Hz)	Eroarea (%) în condiții de referință, mărimi sinusoidale - a)	Eroare (%) în condițiile punctului c)
3150	1,59	0,26
4950	1,01	0,26
9950	0,50	0,26
60000	0,08	0,26
240000	0,02	0,26

Se observă o influență a prezenței armonicilor de ordin 3, ce se va reflecta în modificarea erorii totale de măsurare a contorului digital.

**Fig.4. Eșantionarea semnalelor la testarea d).****Fig.5. Studiul influenței frecvenței.**

Pentru studiul influenței formelor de semnal specificate la punctul *d*) s-a realizat eșantionarea semnalelor prezentate în Fig.4. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 3. Se observă că existența componentei de curent continuu pentru semnalul de curent nu afectează exactitatea.

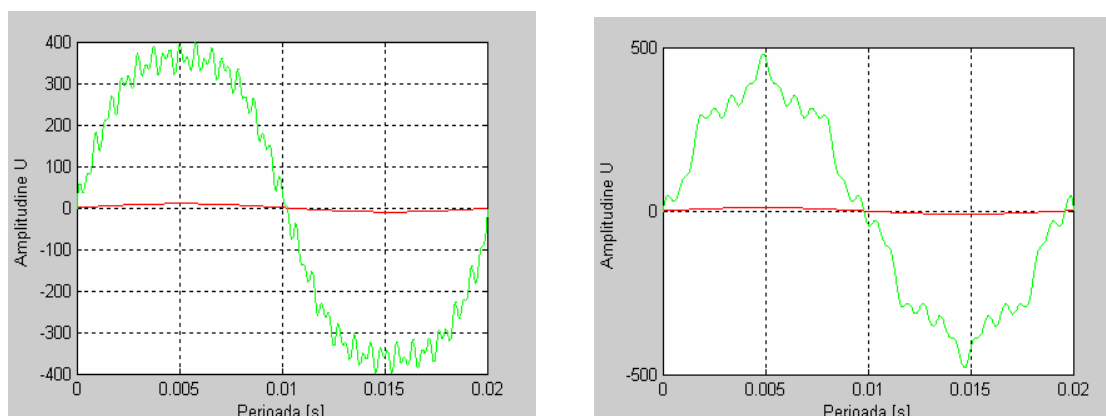
Tabelul 3

Frecvența de eșantionare $f_e$ (Hz)	Eroarea (%) în condiții de referință, mărimi sinusoidale a)	Eroare (%) în condiții d)
3150	1,59	1,59
4950	1,01	1,01
9950	0,50	0,50
60000	0,08	0,08
240000	0,02	0,02

Studiul influenței frecvenței asupra exactității de măsurare la o abatere de  $\pm 2\%$  față de frecvența nominală (50Hz) a permis obținerea rezultatelor prezentate în Fig.5 pentru regim sinusoidal, cu menținerea intervalului de măsurare de 20 ms.

Norma CEI 61000-4-30 "Calibrarea și testarea instrumentelor electrice pentru măsurarea energiei" publicată în data de 15.03.2003 constituie un nou standard pentru încercarea contoarelor digitale pentru energie electrică. Ea impune noi condiții pentru determinarea exactității acestor aparate. Una din aceste condiții este reprezentată de testarea aparatelor cu semnale nesinusoidale, la frecvența de 49 Hz (10% armonica 3, 5% armonica 5, 5% armonica 29 de tensiune,  $\varphi=0$ ) și la frecvența de 51 Hz (10% armonica 7 cu defazaj 180 grade, 5% armonica 13, 5% armonica 25 de tensiune). Cele două forme de semnal de tensiune sunt prezentate în Fig.6.

Studiind influența operației de eșantionare asupra acestor tipuri de semnale, pentru intervalul de măsurare 20 ms, s-au obținut rezultatele prezentate în Fig.7.



a) 49 Hz

b) 51 Hz

Fig.6. Forma tensiunii conform CEI 61000-4-30.

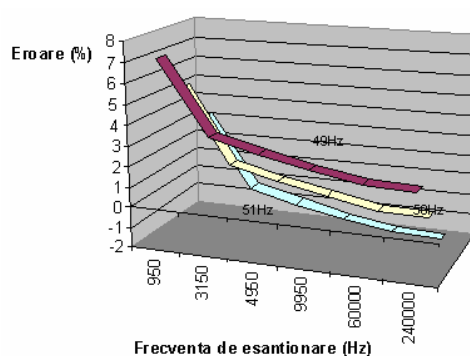


Fig.7. Eroarea datorată eșantionării pentru semnale conform normei CEI 61000-4-30.

Se observă aceeași afectare a exactității contorului din cauză că operația de eșantionare nu are loc pe perioada semnalului existând o abatere de 2 % față de aceasta.

Dacă aparatul respectă condiția de eșantionare pe un interval egal cu perioada sa, influența operației de eșantionare, în cazul acestor semnale, devine neglijabilă

## 5. CONCLUZII

Utilizarea tot mai accentuată a contoarelor digitale pentru măsurarea energiilor electrice impune un studiu sistematic al surselor de erori. Una din operațiile importante din lanțul de măsurare, eșantionarea semnalelor, este studiată și se determină condițiile de existență a unei influențări minime. Se aduc rezultate importante și în privința comportării aparatelor digitale la forme impuse de normele metrologice în vigoare.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Cepișcă, C. Seritan, G.C., *Evaluation of Accuracy of the Traditional Measurements in Electrical Networks*, Symposium on ATEE, Bucharest, 1998, pp.103-109
- [2] Cepișcă C., Cepișcă Cornelia, Seritan G.C., Horia, A., *Principles and Performances for Electronic Energy Meters*, ATEE2000- Symposium on Advanced Topics in Electrical Eng., Bucharest, 2000
- [3] Cepișcă, C., Seritan, G.C., Petre, V., Bănică, C., *The Influence of Superior harmonic at the Behavior of Analogic and Digital Energy – Meters*, ATEE2000- Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, 2000, Section Metrology, Instrumentation, Sensor and Transducers, pp. 111;
- [4] Rydler, K.-E., Svensson, S., *A Measuring System for the Calibration of Power Analyzers*, IEEE Transactions on Measurements and Instrumentation, vol. 44, No. 2, pp.316-317, April 95
- [5] Daigle, P., *The Latest on Electronic Meters*, India Power Magazine, Jan. 1999
- [6] Turgel, R. S., *Sampling Techniques for Electric Power Measurement*, Natl. Bur. Stand. (U.S.), Tech. Note 870 1975
- [7] Driesen, L., Craenenbroeck, T., Dommelen, D., *The Registration of harmonic Power by Analog and Digital Power Meters*, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.47, no.1, 1998, pp.195
- [8] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations: Effects on Meter Performance and Definitions of Power (conv. A. E. Emanuel), *Practical definitions for powers in systems with nonsinusoidal waveform and unbalanced loads: A discussion*, in 95 WM 040-6 PWRD, IEEE/PES Winter Meeting 1995
- [9] Sidhu, T. S., *Accurate Measurement of Power System Frequency Using a Digital Signal Processing Technique*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Febr. 1999, vol. 48, No.01, p75