



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2016

## METODE DE EVIDENȚIERE A FRECVENȚELOR APROPIATE

Nicoleta GILLICH, Cristian Paul CHIONCEL, Gilbert-Rainer GILLICH

### METHODS TO HIGHLIGHT CLOSE FREQUENCY

This paper offers an overview of simpler methods to accurately estimate frequencies. In standard signal processing, the precision of frequency estimation increases once the frequency resolution is improved. A finer resolution is achieved by increasing the observation time interval. If this cannot be done, the signal length can be artificially extended through the so-called “zero-padding” method, by adding a number of samples with null amplitude. The methods have been tested for concrete cases, using the signal processing tool offered by the open source software, Scilab.

Keywords: signal processing, spectral analyze, “zero-padding” method, Scilab environment

Cuvinte cheie: procesarea semnalelor, analiza spectrală, metoda “zero-padding”, mediul Scilab

### 1. Introducere

Modelarea semnalelor în domeniul frecvență, prin faptul că toate formele de semnale pot fi privite ca o suprapunere (însurare) a semnalelor armonice având frecvențe, amplitudini și faze diferite, constă în reprezentarea parametrilor fiecărei oscilații, amplitudine  $u$  și faza  $\varphi$  în funcție de frecvență  $f$ . Această reprezentare, cunoscută ca analiză spectrală a unui semnal este formată din spectrul de amplitudine - reprezentarea amplitudinii în funcție de frecvență și spectrul de fază - reprezentarea fazei în funcție de frecvență [1].

## 2. Legătura dintre parametrii unui semnal eșantionat în domeniul temporal și frecvențial

Între durata timpului de eșantionare și perioada de observație a semnalului în domeniul timp (figura 1) și rezoluția în frecvență (figura 2) există o legătură strânsă [2].

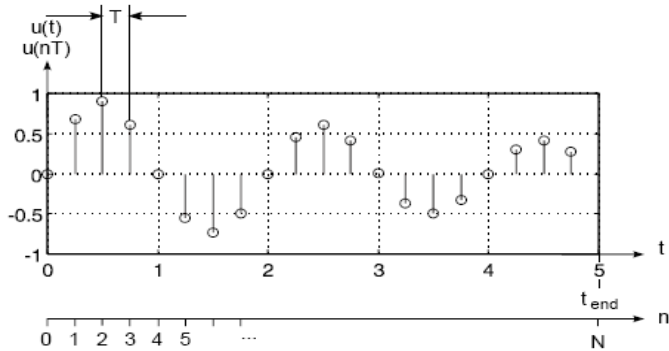


Fig. 1 Semnal eșantionat

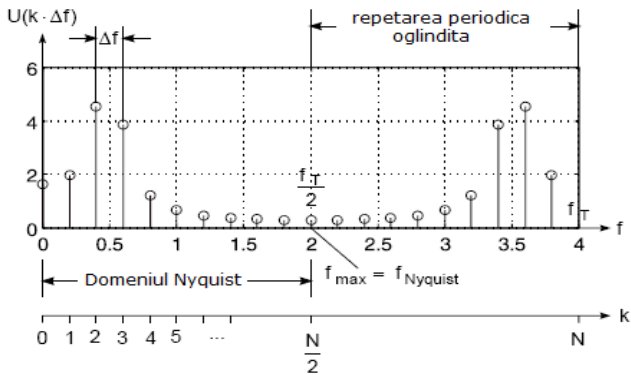


Fig. 2 Spectrul de amplitudine al unui semnal eșantionat

Semnalul eșantionat în domeniul timp se caracterizează prin [2]: perioada de eșantionare  $T$ , frecvența de eșantionare  $f_T = 1/T$ , perioada de analiză a semnalului,  $t_{end} = N \cdot T$ , numărul maxim al valorilor eșantionate  $N$  și variabila în domeniul timp  $n$ .

Conform spectrului de amplitudine al semnalului eșantionat, figura 2, Transformata Fourier Discretă (TFD) [3] furnizează un spectru cu o repetiție periodică oglindită de  $N/2$  puncte de frecvență. Repetiția

nu conține informații noi, astfel analiza TFD este suficientă până la  $N/2$ , frecvența corespunzătoare acestui punct este numită și  $f_{max}$ , aici oprindu-se domeniul maxim de analiză a TFD. Parametrii care definesc analiza spectrală a semnalului achiziționat [4], sunt: domeniul de frecvență maxim analizabil  $f_{max} = \Delta f \cdot N/2 = 1/2T$ , numărul de puncte de frecvență până la  $f_{max}$ ,  $N/2$ , rezoluția frecvenței  $\Delta f = 1/NT = 1/t_{end} = f_T/N$ , frecvențele de analiză,  $k \cdot \Delta f$ , variabila în domeniul frecvenței,  $k$ . [5].

### 3. Metode de creștere a preciziei evaluării frecvențelor

Cea mai simplă metodă de îmbunătățire a identificării precise a frecvenței semnalelor constă în creșterea timpului de observare,  $t_{end}$ . Lungimea mărită a semnalului are drept consecință scăderea lățimii între liniile spectrale consecutive, deci o rezoluție mai fină a frecvenței  $\Delta f$ . Figura 3 prezintă spectrul de putere [6] pentru o sinusoidă având frecvența  $f = 4$  Hz și durata de observare  $t_{end\_1} = 1,1$  s. Semnalul a fost generat în mediul Scilab [7], [10], utilizând  $N = 110$  eșantioane și o frecvență de eșantionare  $f_T = 100$  Hz. Spectrul de putere indică o frecvență falsă,  $f_1 = 3,6036$  Hz, abaterea rezultată fiind de  $\varepsilon_1 = 0,3964$  Hz.

Pentru semnale cu un timp de observare mărit,  $t_{end\_2} = 2,2$  s și  $t_{end\_3} = 3,1$  s, rezoluția frecvenței  $\Delta f$  devine mai fină, așa cum s-a arătat în paragraful anterior. Semnalele prezentate în figura 4, a sunt generate la  $N_2 = 221$  respectiv  $N_3 = 311$  eșantioane. În figura 3 se poate identifica frecvența  $f_2 = 4,0724$  Hz respectiv  $f_3 = 3,8585$  Hz, ambele fiind mai exacte decât valorile găsite în cazul  $t_{end\_1}$ . Erorile au fost reduse la  $\varepsilon_2 = 0,0724$  Hz respectiv  $\varepsilon_3 = 0,1415$  Hz. Această simulare dovedește că o rezoluție mai fină de frecvență conduce la o diminuare a erorii maxim posibilă, dar nu garantează o îmbunătățire în estimarea frecvenței.

Dacă creșterea timpului de observare nu poate fi realizată, spre exemplu în cazul unor semnale ce reprezintă vibrații apărute într-un interval scurt de timp [8], [9], lungimea semnalului poate fi extinsă artificial prin adăugarea unui număr de eșantioane pentru care amplitudinea este zero [1], procedură ilustrată în figura 4, b [6].

Tabelul 2 (Setări pentru evaluarea frecvenței și rezultatele obținute) sintetizează setările realizate pentru evaluarea frecvenței în cazul celor trei semnale simulate și rezultatul obținut prin calcularea spectrului de putere din perspectiva frecvenței și al amplitudinii [6].

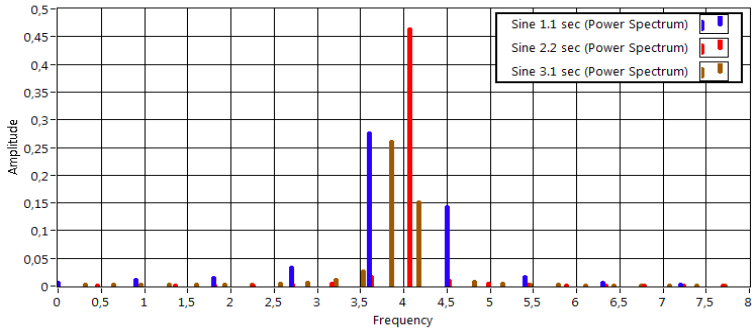


Fig. 3 Efect de distorsiune (scurgere spectrală)

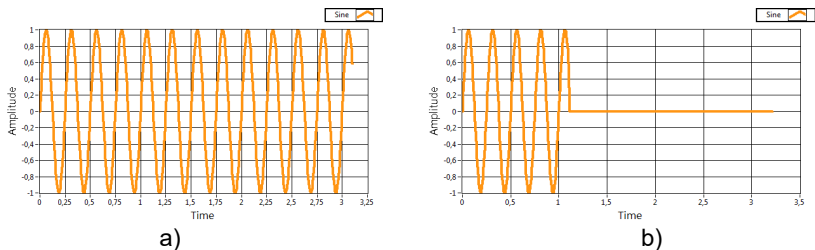


Fig. 4 Semnalul cu lungimea mărită prin extinderea timpului de observare (a) și zero-padding (b)

Tabelul 2

Semnal	Culoare	Setarea semnalului				Rezultate PS		
		$T$ [s]	$N$	$f_T$	$\Delta f$ [Hz]	$f$ [Hz]	$A$	$\varepsilon$ [Hz]
Sin 1	Albastru	1,1	111	100	0,909091	3,6036	0,2748	0,3964
Sin 2	Roșu	2,2	221	100	0,454545	4,0724	0,4674	-0,0724
Sin 3	Maro	3,1	311	100	0,322851	3,8585	0,26	0,1415
Zero-padded	Maro	1,1 + 2	111 + 200	100	0,322851	3,8585	0,0625	0,1415

Filtrarea semnalelor, *windowing*, este considerată o metodă alternativă care îmbunătățește lizibilitatea frecvenței. La efectuarea transformatei Fourier sau analiză spectrală pe seturi de date având lungimi finite care conțin numere ne-întregi de cicluri, aplicarea unor *ferestre* netezește capetele de semnal ceea ce face ca amplitudinea să tindă spre zero. Aceasta are ca efect o reducere a discontinuităților de la extremele semnalului de lungime finită, reducând scurgerile spectrale [2].

Efectul aplicării ferestrelor, *windowing*, este analizat pentru un semnal în două tonuri, compus din două sinusoides cu frecvențele  $f_1 = 4$

Hz respectiv  $f_2 = 7$  Hz și amplitudinile  $A_1 = 1$  respectiv  $A_2 = 0,0025$ . Semnalele au fost generate folosind  $N = 325$  eșantionare, cu o frecvență de eșantionare  $f_r = 100$  Hz, rezultând un semnal de durata  $t_{end} \approx 3,2$  s. Spectrul de putere (PS), în reprezentare liniară, figura 5, nu este în măsură să indice ambele frecvențe. În schimb, reprezentarea rezultatelor în dB, figura 6, evidențiază existența celei de-a doua frecvențe la 7 Hz, chiar dacă această componentă de frecvență are o amplitudine foarte scăzută [6]. Cu toate acestea, valorile exacte ale frecvențelor nu pot fi extrase.

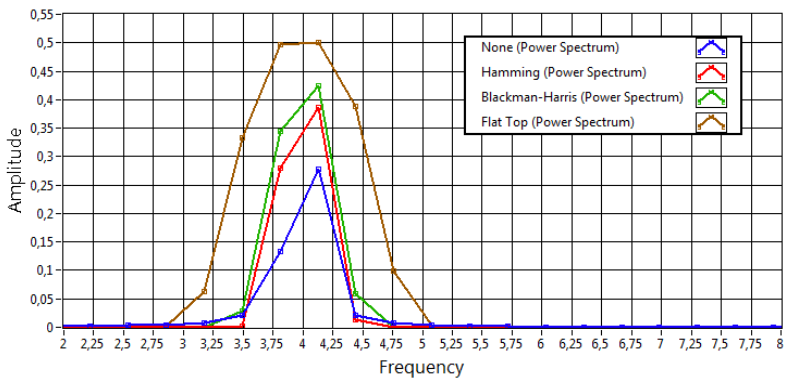


Fig. 5 Reprezentarea liniară a PS pentru un semnal compus, în absența și în prezența filtrării - windowing

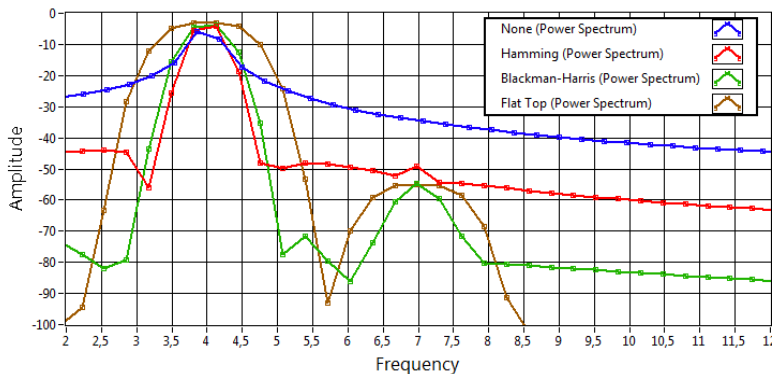


Fig. 6 Reprezentarea în dB a PS pentru un semnal compus, în absența și în prezența filtrării - windowing

## 4. Concluzii

- Metodele prezentate anterior, implementate în mediul Scilab, pot fi utilizate pentru a reduce eroarea prin micșorarea distanței dintre liniile spectrale sau pentru a indica existența unor frecvențe apropiate.
- Dar, pentru semnalele de scurtă durată cum sunt vibrațiile libere amortizate utilizate la detectarea defectelor de material, precizia obținută este insuficientă, impunându-se utilizarea altor metode.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Chioncel, C.P., Gillich, Nicoleta, Tirian, G.O., Ntakpe, J.L., *Limits of the Discrete Fourier Transform in Exact Identifying of the Vibrations Frequency*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Vol.12(1), pp. 16-19, 2015.
- [2] Chioncel, C.P., *Prelucrarea numerică a semnalelor*, Editura Eftimie Murgu, Reșița, 2009.
- [3] Berinde, F.C., Gillich G.-R., et al., *Considerations regarding the use of Time-Frequency Representations in analysis of vibrations*, Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita, Anul XIII, Nr. 1, ISSN 1453-7394, pp. 81-86, 2006.
- [4] Chioncel, C.P., Chioncel, C., Gillich, Nicoleta, Gillich, G.-R., *CMS solutions in monitoring and real time data transfer of photovoltaic plants*, XVth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA, Plovdiv, Bulgaria, pp. 14 – 17, 2007.
- [5] Berinde, F.C., Gillich, G.-R., Chioncel, C.P., *Structure Monitoring and Evaluation using Vibro-acoustic Method supported by the Wigner-Ville Distribution*, RJA V, Vol. VII., pp. 61–65, 2006.
- [6] Gillich, G.R., Mituleti, I.C., *Signal post-processing for an accurate evaluation of the natural frequencies*, în curs de apariție.
- [7] Chioncel, C.P., *Modelare, identificare și simulare*, Editura Eftimie Murgu, Reșița, 2015.
- [8] Iancu, V., Gillich, G.R., Iancu, A., Chioncel, C.P., *Consideration regarding the use of time-frequency representations in analysis of vibration*, 3<sup>rd</sup> WSEAS International Conference EMESSEG, pp. 492-495, 2010.
- [9] Chioncel, C.P., Gillich, G.-R., et al, *Visual Method to Recognize Breathing Cracks from Frequency Change*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Vol.12(2), pp. 151-154, 2015.
- [10] \* \* \* www.scilab.org (open source), INRIA, Franța, 2016.

Prof. Univ. Dr. Ing. Nicoleta GILLICH

Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița, membru AGIR, email n.gillich@uem.ro

Conf. Dr. Ing. Cristian P. CHIONCEL

Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița, email c.chioncel@uem.ro

Prof. Univ. Dr. Ing. Gilbert-Rainer GILLICH

Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița, membru AGIR email gr.gillich@uem.ro