

## STUDIUL DE CAZ PENTRU COMPORTAREA LA VIBRAȚII A UNUI CONDENSATOR<sup>i</sup>

### CASE STUDY CONCERNING RADIATOR UNITS VIBRATION BEHAVIOR

Tone IONESCU<sup>1</sup>, Laurențiu RECE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică de Construcții București, România  
*e-mail: itone@utcb.ro*

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică de Construcții București, România  
*e-mail: rece@utcb.ro*

**Rezumat:** *In aceasta lucrare sunt prezentate anumite aspecte privind lanțurile de aparate de măsură cu și fără plăci de achiziție de date.*

**Cuvinte cheie:** *condensator, placă de achiziție, vibrații*

**Abstract :** *In the paper there are presented certain aspects regarding measuring chain with and without data acquisition modules.*

**Keywords:** *capacitor, data acquisition system, vibration*

## 1. INTRODUCERE

Acest studiu a avut ca obiectiv supunerea la un test de vibrații a unui condensator (radiator auto), testul fiind efectuat conform recomandărilor Cap. 4.7 ("Verificarea la vibrații") din standardul de firmă S.F. 003-1999 (Condensator paralel CDP 1526G-0).

Testul prevede ca solicitările să se execute pe direcție verticală, pe direcție orizontală longitudinală și pe direcție orizontală laterală. Aceste tipuri de teste au fost concepute astfel încât să se simuleze vibrațiile la care este supus un radiator auto în timpul în care automobilul rulează cu viteză constantă pe drumurile publice.

Pentru studiul nivelului de vibrații implicate de prezenta lucrare au fost folosite lanțurile de aparate de măsură aflate în dotarea Laboratorului de Măsurare a Mărimilor Mecanice.

Schema de principiu a lanțului de aparate de măsură utilizate pentru testarea la vibrații a fost realizată cu ajutorul următoarelor componente (Fig.1) :

1. Generator de semnal sinusoidal de tipul **GF22** produs de VEB Dresden-Germania, cu următoarele caracteristici principale:

- domenii parțiale de frecvență: 2...20 Hz, 20...200 Hz, 200Hz...2 kHz și 2...20 kHz;
- amplitudinea semnalului de ieșire: 0 ... 10 V (reglaj în treptat și continuu);
- impedanța de ieșire: 1000 Ω;
- stabilitatea în frecvență: 1.5%;

---

<sup>i</sup> Comunicare prezentată la cel de-al XXI-lea Simpozion National de Utilaje pentru Construcții (SINUC), București, 10-11 decembrie 2015

2. Amplificator de semnal de putere de tipul **LV102** produs de VEB METRA-Germania, aparat cu următoarele caracteristici:

- Puterea maximă de ieșire:  $P_{max} = 50 \text{ w}$ ;
- Domeniul liniar de frecvență:  $\Delta_f = 0.1 \dots 14500 \text{ Hz}$ ;
- Impedanța de intrare:  $80 \text{ k}\Omega$  și impedanța de ieșire (la  $1 \text{ kHz}$ ):  $Z = 3 \Omega$

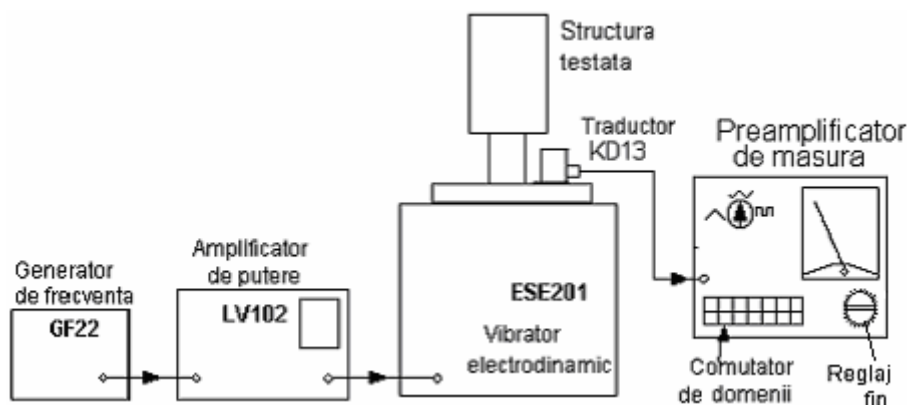


Fig. 1

3. Vibrator electrodinamic de tip **ESE 201** produs de firma VEB RFT-Germania, cu următoarele caracteristici:

- elongația de vibrație  $x_{max} = \pm 4.5 \text{ mm}$
- domeniul liniar de frecvență  $\Delta_f = 5 \dots 2000 \text{ Hz}$ ;
- forța maximă dezvoltată  $F_{max} = 75 \text{ N}$  și accelerația maximă de vibrație  $a_{max} = 115 \text{ ms}^{-2}$ ;

4. Traductoarele piezoelectrice de tip **KD-13** produse de firmele VEB METRA-Germania, cu următoarele caracteristici (Tabelul 1):

Tabelul 1

Caracteristica	Simbol	UM	KD - 13
Sensibilitatea în tensiune	Sv	$\text{mV/ms}^{-2}$	4,41
Sensibilitatea în sarcină	Sq	$\text{pC/ms}^{-2}$	4,80
Capacitatea internă	Ci	pF	1080
Frecvența limită inferioară	$f_{inf}$	Hz	5
Frecvența limită superioară	$f_{sup}$	kHz	$\cong 20$
Masa	m	g	30
Accelerația minimă	$a_{min}$	$\text{ms}^{-2}$	0,1
Accelerația maximă	$a_{max}$	$\text{ms}^{-2}$	1000

Conectarea traductoarelor în circuit s-a realizat doar cu ajutorul cablurilor de legătură ale fiecărui traductor, în acest caz nefiind necesare efectuarea de corecții ale sensibilităților reale în raport cu sensibilitățile teoretice. Capacitățile interne  $C_i$ , prezentate în Tab. 1, cuprind capacitatea internă a traductorului și capacitatea cablului de legătură de  $1.5 \text{ m}$ , adică :

$$C_i = C_{\text{traductor}} + C_{\text{cablu}} \quad (1)$$

Dacă, însă s-ar fi utilizat cabluri prelungitoare ar fi trebuit să se țină cont că acestea introduc în circuitul primar capacități suplimentare care modifică sensibilitatea în tensiune și sensibilitatea în sarcină a traductorilor conectați. În aceste cazuri trebuie să se calculeze sensibilitățile modificate :

$$S_v' = S_v C_i / (C_i + C_{\text{supl}}) \quad (2)$$

unde:

$S_v$  - sensibilitatea în tensiune a traductorului cu cablul sau de legătură;

$S_v'$  - sensibilitatea în tensiune a traductorului cu cablul său de legătură și cablul prelungitor;

$C_{\text{supl}}$  - reprezintă capacitatea cablurilor prelungitoare suplimentare.

5. Pentru aceste teste de vibrații a fost folosit preamplificatorul de măsură de tip **VM 6** produs de VEB METRA (Germania), caracterizat prin următoarele date tehnice generale:

- domeniul liniar de frecvență ( $\pm 1$  dB)  $\Delta_f = 0.1 \dots 4500$  Hz;
- domenii de sensibilitate :0...0.3, 0... 1, 0...3 , 0...10 , 0...30 și 0... 100 ms<sup>-2</sup>;
- impedanța de intrare  $R_1 > 100$  M  $\Omega$  și impedanța de ieșire  $Z_2 = 600$   $\Omega$ ;

## 2. ETALONAREA LANȚULUI EXPERIMENTAL DE MĂSURARE A VIBRAȚIILOR

Conform **ISO 2041** (Vibrații și șocuri. Terminologie), pentru acest ansamblu de operații se folosește noțiunea de “*calibrare*”, în versiunea engleză sau noțiunea de “*etalonare*”, în versiunea franceză. Conform standardului românesc SR ISO 2041/1995 (Vibrații și șocuri. Terminologie) se recomandă noțiunea de etalonare dar, în limba română curentă cei doi termeni (“*calibrare*” și “*etalonare*”) se folosesc cu semnificații foarte asemănătoare.

Există mai multe metode de etalonare, fiecare fiind caracterizată prin avantaje, dezavantaje, precum și domenii optime de aplicabilitate.

Principial scopul operațiilor de etalonare este acela de a face ca aparatul de măsură din lanțul de măsurare a vibrațiilor să afișeze valoarea măsurată  $m \pm T_m$  atunci când mărimea fizică reală are valoarea reală  $m$ . Mărimea  $T_m$  a toleranței acceptate depinde de precizia lanțului de aparate în ansamblul său, de precizia aparatelor componente ale lanțului și de caracterul măsurătorilor efectuate.

### I) Etalonarea folosind tensiunea internă a preamplificatorului de măsură

Din punct de vedere al principiilor fizice folosite această metodă de etalonare se bazează pe următoarele observații referitoare la funcționarea lanțurilor de aparate de măsură:

- Dacă traductorul utilizat pentru generarea semnalului primar este supus unui regim de vibrații staționar caracterizat printr-o anumită mărime precis constantă și cunoscută ( $m$ ) el va genera un semnal constant ( $s$ ) caracterizat prin valori fizice precise (**tensiune - v**, **sarcina - q** - etc.).
- Aparatul de măsură va trebui să afișeze valoarea măsurată ( $m$ ).
- Dacă însă preamplificatorul de măsură are inclus un generator de semnal foarte precis capabil să producă un semnal caracterizat prin aceleași valori fizice precise (**tensiune - v**,

sarcina -  $q$  - etc.) și dacă acest semnal se aplică la intrarea preamplificatorului atunci aparatul de măsură trebuie să indice măsurarea unei mărimi reale de valoare  $m$ .

- Dacă aparatul nu va indica valoarea  $m$  atunci trebuie să se modifice amplificarea preamplificatorului.

În mod practic etalonarea se realizează astfel:

- Se realizează lanțul de aparate care va fi folosit pentru efectuarea măsurătorilor, Fig. 2.

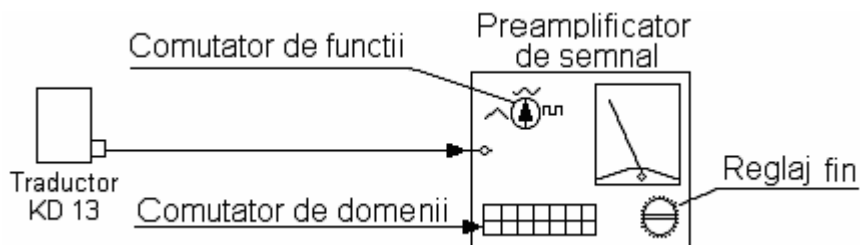


Fig. 2

- Se conectează traductorul la preamplificator prin intermediul propriului cablu de conectare și se așează pe o suprafață izolatoare electric și amortizoare de vibrații.
- Se calculează accelerația de etalonare corespunzătoare semnalului electric intern de etalonare.

Ex.:

Pentru traductorul de tip KD 13 sensibilitatea în tensiune este  $S_v = 4.41 \text{ mV/ms}^{-2}$   
 $\Rightarrow a_e = U_{int} / S_v = 100 / 4.41 = 22.67 \text{ ms}^{-2}$

- Se urmărește indicația afișată de aparatului indicator și se reglează fin amplificarea până când se va afișa chiar valoarea corespunzătoare accelerației de etalonare (ex.  $a_e = 22.67 \text{ ms}^{-2}$ ).

## II) Etalonarea cu ajutorul mesei de etalonare

Mesele de etalonare sunt vibratoare electrodinamice de foarte mare precizie. Pentru generarea semnalelor sinusoidale aceste aparate folosesc o sursă stabilizată de tensiune care alimentează un circuit oscilant. Semnalul sinusoidal produs de acest circuit este amplificat și apoi este aplicat bobinelor de excitație ale subansamblului mobil.

Pentru realizarea etalonărilor implicate de lucrările prezentă s-a folosit un dispozitiv de etalonare de tip **E10** produs de firma VEB METRA-Germania. Schema lanțului de aparate folosite pentru etalonare conform acestei metode este prezentată în Fig. 3.

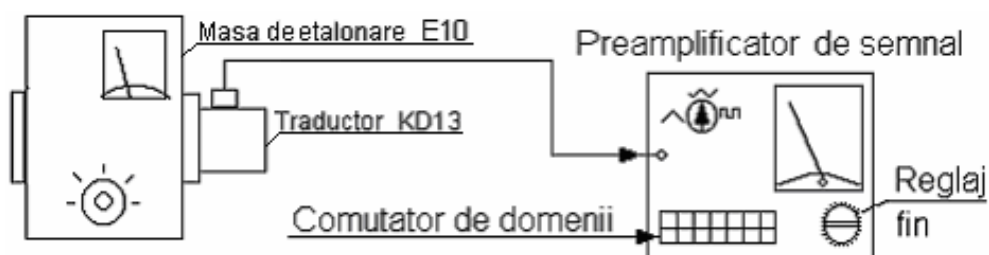


Fig. 3

Masa de etalonare trebuie să genereze o mișcare vibratorie sinusoidală cu accelerația riguros constantă  $a_e = 10 \text{ ms}^{-2}$ . Pentru etalonare, după montarea traductorului, trebuie reglat potențiometrul dispozitivului de etalonare urmărind ca indicatorul acestui aparat să arate valoarea  $a_e = 10 \text{ ms}^{-2}$ .

### 3. VERIFICAREA LA REGIMUL DE VIBRAȚII

Pentru rezemarea radiatorului în timpul experimentărilor a fost folosit un dispozitiv care a fost proiectat astfel încât să simuleze cât mai exact rezemarea reală a radiatorului (rezemarea acestuia pe un motor real).

Parametrii regimului de solicitare la vibrații au fost cei recomandați de către standardul de firmă S.F. 003-1999 (Tab. 2).

Tabelul2

Direcția de solicitare	Accelerația <sup>1)</sup> [g]	Frecvența, [Hz]	Durață
Verticală	$\pm 3g$	25 Hz sau	8 h 20 min
Longitudinală	$\pm 2g$	sub punctul	6 h 24 min
Laterală	$\pm 2g$	de rezonanță	2 h 20 min

<sup>1)</sup> Pentru măsurarea accelerațiilor se folosește și unitatea  $g = 9.81 \text{ ms}^{-2} \cong 10 \text{ ms}^{-2}$ .

Pentru efectuarea testelor s-a început cu solicitarea pe direcție verticală timp de 8h20min, s-a continuat cu solicitarea pe direcție longitudinală orizontală timp de 6h24 min și la final s-a realizat solicitarea pe direcție laterală orizontală timp de 2h 20 min. În timpul acestor teste de solcitate la vibrații s-a menținut constantă frecvența semnalului de excitație la valoarea de 25 Hz.

Numărul de cicluri de solicitare pentru cele trei direcții este:

Direcție verticală:  $N_v = (8 \times 60 \times 60 + 20 \times 60) \times 25 = 750\,000$  cicluri

Direcție longitudinală:  $N_{Long} = (6 \times 60 \times 60 + 24 \times 60) \times 25 = 575\,000$  cicluri

Direcție laterală:  $N_{Lat} = (2 \times 60 \times 60 + 20 \times 60) \times 25 = 210\,000$  cicluri

Datorita duratei mare a acestor teste o problemă foarte importantă a fost reprezentata de prevenirea apariției fenomenelor de “derivă” a valorilor reglate ale anumitor parametri ai aparatelor din lanțul folosit pentru acest test (Fig. 1) și de supraveghere a valorilor susceptibile să se modifice în mod nedorit.

De exemplu pentru lantul de aparate prezentat în Fig. 1 marimile cele mai susceptibile să se modifice prin fenomene de “derivă” sunt:

- frecvența produsă de generatorul de semnal;
- tensiunea semnalului de excitație produs de generatorul de semnal;
- tensiunea semnalului de ieșire din amplificatorul de putere.

Astfel, pentru evitarea apariției “derivei termice” s-au luat două măsuri:

- s-a asigurat o temperaturi relativ constante în incinta în care s-a desfășurat experimentul,  $20^0 \pm 1^0$ ;
- s-a asigurat ventilația puternică a aparatelor pentru a se evita încălzirea acestora.

### 3. CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

După terminarea testelor de solicitări la vibrații pe direcție verticală, pe direcție orizontală longitudinală și pe direcție orizontală laterală s-au executat testele de rezistență la presiune hidraulică.

După terminarea testului care constă în solicitări.

Varianta de experiment prezentată este realizată folosindu-se lanțuri omogene formate doar din aparate electronice dar pentru realizarea unui studiu mai complex se pot folosi lanțuri neomogene formate din aparate electronice, plăci de achiziții de date și instrumente virtuale.

De exemplu pentru acest experiment s-a realizat includerea unui instrument virtual complex format din un set complex de aparate: generator de semnal, osciloscop, analizor de frecvență etc.

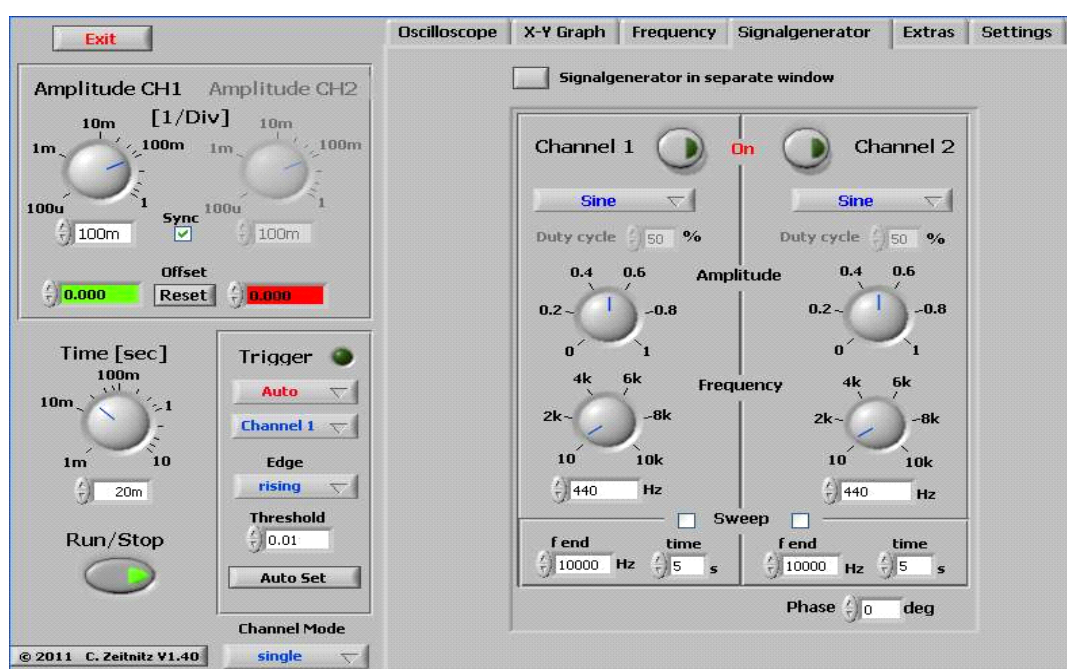


Fig. 4

Generatorul de semnal (Fig. 4) are două canale dar, în cadrul acestui experiment se folosește doar un singur canal pentru că se folosește un singur semnal sinusoidal de excitație de tipul:

$$X(t) = X_{\max} \sin(\omega t) \quad (3)$$

Generatorul virtual poate produce în afară de semnale sinusoidale și semnale de excitație de alte tipuri: dreptunghiular, triunghiular și zgomot alb.

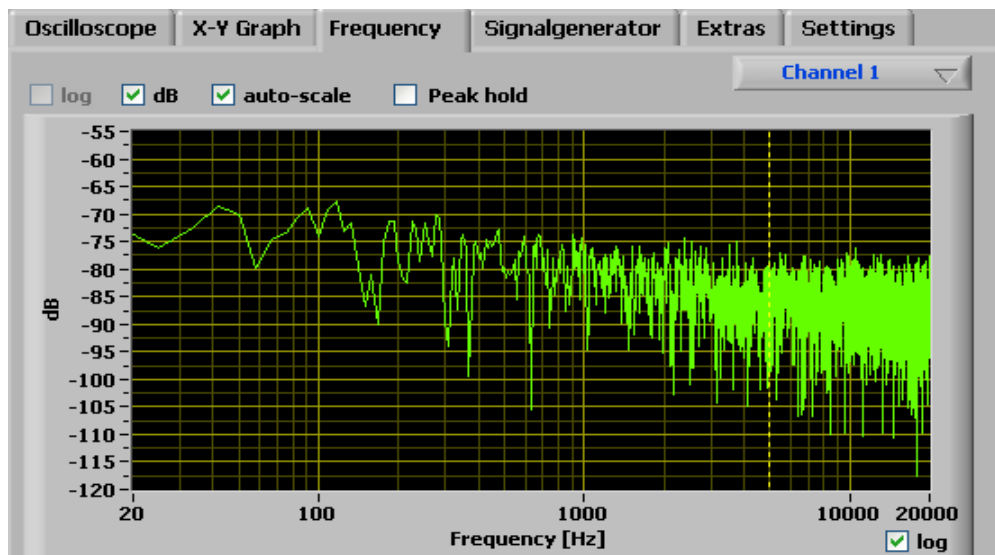


Fig. 5

Analizorul de frecvență virtual (Fig. 5) servește în principal pentru realizarea descompunerilor spectrale ale semnalelor de răspuns ale sistemelor mecanice atunci când sunt supuse la solicitările impuse de testele experimentale. Astfel, dacă se studiază o anumită mărime fizică variabilă în timp  $f(t)$  aceasta are o descompunere în serie Fourier de tipul:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [ a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) ] \quad (4)$$

Amplitudinile componentelor acestui semnal complex, adică amplitudinile Fourier sunt date de:

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{0.5} \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

unde :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t \, dt \quad \text{și} \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t \, dt \quad (6)$$

iar unghiul de fază al acestor componente este dat de:

$$\varnothing_n = \arctg ( a_n / b_n ) \quad (7)$$

Simplificator se poate considera că analizoarele spectrale trebuie să furnizeze, în primul rând, valorile amplitudinilor  $A_n$  ale semnalelor elementare care constituie semnalul complex.

Osciloscopul virtual (Fig. 6) realizează în primul rând reprezentarea grafică în timp real a semnalului de intrare care poate fi de tipul general:

$$Y = Y(t) \quad (8)$$

În același timp osciloscopul virtual poate realiza o serie de alte operații: măsurarea amplitudinii (tensiunii, [V]) semnalului, salvarea într-un fișier de date a valorilor reprezentate grafic, schimbarea modului de reprezentare (liniară sau logaritmică) etc.

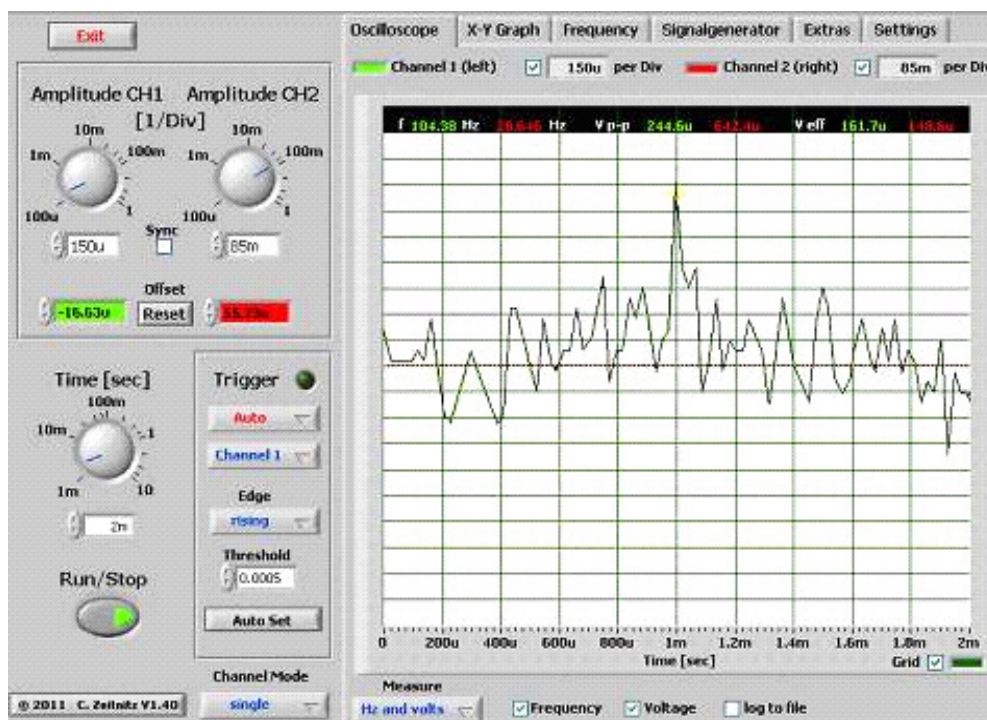


Fig. 6

Ca temă pentru o continuarea cercetărilor ar trebui să verifice liniaritatea întregului lanț de aparate (Fig. 1), caracteristica de frecvență a plăcii de sunet folosită pe rol de placă de achiziție, impedanța de intrare și impedanța de ieșire a acesteia etc.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] J. T. Broch, “*Mechanical Vibration and Shock Measurement*” – Editura Brüel & Kjær , Nærum, Denmark, 1994
- [2] Tone Ionescu , “*Analiza experimentală a comportării dinamice a mașinilor*” – Editura CONSPRESS, București, 2000