

Lucrare de laborator nr. 2

### Măsurarea distorsiunilor de neliniaritate

**Scop:** Măsurarea distorsiunilor pentru diverse tipuri de semnale. Măsurarea distorsiunilor unui etaj de amplificarea elementar.

#### Breviar teoretic

Un circuit stabil, cu parametrii invariabili în timp, este liniar dacă semnalul de la ieșire se poate scrie ca o funcție liniară (polinom de gradul 1) față de semnalul de la intrare, atunci când acesta este sinusoidal. Altfel spus semnalul de la ieșire are componentele spectrale ale semnalului de la intrare (toate sau doar o parte dintre ele). Circuitul se consideră neliniar dacă, la ieșire, semnalul are componente spectrale care nu se regăsesc la intrare. Prin urmare, dacă la intrarea unui circuit se aplică semnalul:

$$x(t) = A \cos(2\pi f_1 t) + B \cos(2\pi f_2 t) \quad (1)$$

la ieșire, semnalul  $y(t)$ , poate avea componente spectrale pe frecvențele:

$$p f_1 + q f_2 > 0 \quad \text{unde } p, q \in \mathbf{Z}^* \quad (2)$$

Circuitul este liniar dacă semnalul de la ieșire are componente spectrale doar pe frecvențele  $f_1$  și/sau  $f_2$  ( $\{p=1, q=1\}$ ,  $\{p=0, q=1\}$ ,  $\{p=1, q=0\}$ ), în celelalte situații circuitul este neliniar, iar componentele introduse de acesta se numesc *distorsiuni de neliniaritate*.

După cum se observă, în spectrul semnalului de ieșire (pentru circuit neliniar) se disting următoarele componente:

- armonici ale frecvențelor  $f_1$  și  $f_2$  (frecvențele  $p \cdot f_1$  și  $q \cdot f_2$ , cu  $p, q \in \mathbf{Z}^*$ ).
- produse de intermodulație (frecvențele  $p \cdot f_1 + q \cdot f_2$ , cu  $p, q \in \mathbf{Z}^*$ ).

Distorsiometrul ne permite să măsurăm, pentru un semnal periodic, valoarea efectivă echivalentă a tuturor componentelor spectrale, fără fundamentală, raportată la valoarea efectivă a întregului semnal. Cu ajutorul lui se poate evalua gradul de distorsiune pe care o introduce în practică un circuit *liniar*. Pentru aceasta, se măsoară gradului de distorsiune al unui semnal sinusoidal de test (care are o singură componentă spectrală - fundamentală), aplicat la intrare și gradul de distorsiune al semnalului rezultat la ieșire.

#### Factorul de distorsiuni

Pentru un semnal sinusoidal  $u(t)$ , fără componentă continuă, cu perioada  $T_0 = 2\pi/\omega_0$ , se definește gradul de distorsiune THD (Total Harmonic Distortion), față de valoarea efectivă a semnalului, astfel:

$$THD = \frac{U_{ef, \text{armonici}}}{U_{ef, \text{semnal}}} \quad (3)$$

După cum se observă, gradul de distorsiune indică cât de *pur* (din perspectivă spectrală) este acel semnal sinusoidal. De exemplu, un semnal

sinusoidal ideal are factor de distorsiuni 0% (nu are armonici).

Un semnal periodic  $u(t)$  se poate descompune în Serie Fourier *compactă*:

$$u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k) = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cos(2\pi k f_0 t + \varphi_k) \quad (4)$$

unde  $U_1$  este amplitudinea fundamentalei, iar  $U_k$  ( $k = 2, 3, 4, \dots$ ) sunt amplitudinile armonice. Astfel, folosind relația lui Parseval, se poate rescrie gradul de distorsiune *THD* :

$$THD = \frac{U_{ef, \text{armonici}}}{U_{ef, \text{semnal}}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \frac{U_k^2}{2}}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_k^2}{2}}} = \frac{\sqrt{U_{ef, \text{semnal}}^2 - \frac{1}{2} U_1^2}}{U_{ef, \text{semnal}}} \quad (5)$$

unde factorul 1/2 provine de la valoarea efectivă ( $U_{ef} = U/\sqrt{2}$ ) pt. sinus.

În acest caz, THD ne indică cât de apropiat este semnalul periodic *ideal* de semnalul sinusoidal ideal. După cum se observă, pentru THD nu se consideră și eventualele componente spectrale de pe alte frecvențe, în afara celor care apar în Seria Fourier compactă, relația (4). Însă aceste componente există în practică și sunt numite generic *semnal de zgomot*, pentru semnalul nostru periodic ideal.

Pentru a ține cont și de acest *zgomot aditiv* (care se adună la semnalul ideal), se definește THD+N (*Total Harmonic Distortion plus Noise*):

$$THD + N = \frac{U_{ef, \text{armonici} + \text{zgomot}}}{U_{ef, \text{semnal}}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \frac{U_k^2}{2} + U_{ef, \text{zgomot}}^2}}{U_{ef, \text{semnal}}} \quad (6)$$

Mai frecvent se utilizează *Raportul dintre semnal și armonici plus zgomot*, SINAD (*Signal To Noise And Distortion*), care este inversul THD+N:

$$SINAD = \frac{1}{THD + N} = \frac{U_{ef, \text{semnal}}}{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \frac{U_k^2}{2} + U_{ef, \text{zg}}^2}} \quad (7)$$

De regulă THD și SINAD se exprimă în dB:

$$SINAD|_{\text{dB}} = -20 \cdot \log_{10}(SINAD) = -(THD + N)|_{\text{dB}} = -20 \cdot \log_{10}(THD + N) \quad (8)$$

Pentru a evalua efectul unor semnale nedorite, *zgomote*, asupra semnalului *util*, periodic sau neperiodic, se definește *Raport Semnal Zgomot*, *SNR* (Signal to Noise Ratio), care se poate exprima și în dB:

$$SNR = \frac{P_{semnal}}{P_{zgomot}} = \frac{U_{ef, semnal}^2}{U_{ef, zgomot}^2} \quad SNR|_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_{semnal}}{P_{zgomot}} = 20 \cdot \log_{10} \frac{U_{ef, semnal}}{U_{ef, zgomot}} \quad (9)$$

Se observă că pentru *semnal sinusoidal*, care nu are armonici:

$$SNR|_{dB} = SINAD|_{dB} \quad (10)$$

SNR este utilizat pentru a analiza majoritatea circuitelor liniare diporți (sau multiporți), unde interesează cum se modifică SNR-ul semnalului de la ieșirea dintr-un astfel de circuit față de cel al semnalului de la intrare.

Astfel se definește *factorul de zgomot (Noise Figure), F* sau *NF*:

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \quad NF = 10 \cdot \log_{10} F = 10 \cdot \log_{10} \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} = SNR_{in}|_{dB} - SNR_{out}|_{dB} \quad (11)$$

Astfel, un circuit este cu atât mai *bun* cu cât *F* sau *NF* sunt mai mici (apropiate de 1, respectiv 0dB).

### Distorsiometrul

Avînd în vedere modul în care a fost definit factorul de distorsiuni, o schemă principală pentru măsurarea *THD* va arăta ca în figura 1.

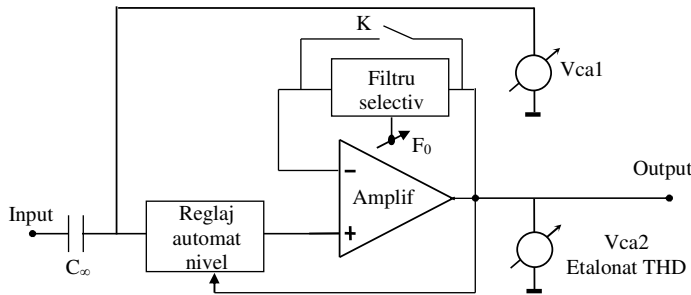


Fig. 1: Distorsiometrul – schema de principiu.

Se observă existența blocului ”*Reglaj automat al nivelului*” care are rolul de a regla automat valoarea  $U_{ef}$  (semnal), valoarea de la numitorul relațiilor (3) și (5), la 1V (0dB). În timpul acestui reglaj, în mod automat, comutatorul K este pe poziția *închis*, obținîndu-se o configurație de *repetor* pentru circuitul cu amplificator operațional. Astfel se obține un semnal identic cu cel de la intrare, dar care are  $U_{ef} = 1V$ , *semnalul normat*, ce poate fi observat la borna de ieșire X (față de GND) din distorsiometru.

În pasul al doilea al măsurătorii, comutatorul K se deschide tot automat, realizînd din AO cu reacția negativă un filtru activ de rejecție (filtru oprește bandă cu banda de oprire foarte îngustă și frecvența centrală reglabilă) care *elimină* componenta fundamentală din semnalul *normat*, semnalul rezultat fiind disponibil la borna de ieșire Y (față de GND) din distorsiometru. Voltmetrul de c.a. (Vca2) măsoară valoarea efectivă a acestui semnal (semnalul de la intrare, normat, dar fără componenta fundamentală) care reprezintă valoarea de la numărătorul relațiilor (3) și (5), deci *factorul de distorsiune*.

Condensatorul  $C_\infty$  are rolul de a elimina componenta continuă din semnalul de intrare. Prezența acesteia ar perturba măsurarea factorului de distorsiune, deoarece nu este eliminată de filtrul de rejecție, ea contribuind astfel, în mod eronat, la puterea armonicilor și a zgomotului.

Voltmetrul de c.a. (Vca1) permite suplimentar măsurarea valorii efective a semnalului de la intrare, înainte de normare.

Deoarece atît reglajul automat de nivel cît și acționarea comutatorului K se realizează automat în distorsiometrul GAD-201G, nu este necesară intervenția umană.

#### Observații:

1. Factorul de distorsiune, așa cum a fost definit, are *semnificație doar pentru semnal sinusoidal*. Pentru alte tipuri de semnale sinusoidale el reprezintă raportul între tensiunea efectivă a semnalului și tensiunea efectivă a semnalului fără componenta fundamentală. În consecință, pentru aceste semnale, factorul de distorsiune reprezintă abaterea acestor semnale față de semnalul sinusoidal de aceeași perioadă.

2. Valorile teoretice pentru TDH ale unor semnale mai des întîlnite au expresii compacte în tabelul 1:

Tabelul 1.

Semnal dreptunghiular	$THD = \sqrt{1 - 8/\pi^2}$	Semnal dinte de fierăstrău	$THD = \sqrt{1 - 6/\pi^2}$
Semnal triunghiular simetric	$THD = \sqrt{1 - 96/\pi^4}$	Tren de impulsuri drept. cu factor de umplere $\eta$	$THD = \sqrt{1 - \frac{2 \sin^2(\pi\eta)}{\eta(1-\mu)\pi^2}}$

### Distorsiometrul GAD-201G

#### Caracteristici:

⇒ Aparatul este capabil să efectueze calibrarea automată. Astfel, **nu este necesar** reglajul manual al nivelului semnalului de intrare prin aducerea acului indicator al voltmetrului ce indică factorul de distorsiune (*THD*) în dreptul gradatției 100%.

⇒ Aparatul realizează sincronizarea automată a frecvenței filtrului de rejecție cu frecvența fundamentală a semnalului de intrare. Această sincronizare se realizează când cele două frecvențe sunt suficient de apropiate. Dublul distanței maxime între cele două frecvențe, pentru care se mai poate realiza sincronizarea o vom numi **bandă de urmărire** a distorsiometrului.

### Regimuri de lucru:

- **Funcționarea în regim continuu** sau modul **RANGE** (butonul SPOT/RANGE ne-apăsat) – acest mod de funcționare permite măsurarea distorsiunilor la orice frecvență din domeniul de măsură (20Hz – 20 kHz). În acest mod, după introducerea semnalului, utilizatorul trebuie să modifice frecvența filtrului de rejecție pînă în apropierea frecvenței semnalului, apoi aparatul ajustează fin în mod automat frecvența de rejecție pe frecvența semnalului. Pentru modificarea frecvenței filtrului de rejecție se va roti butonul **Tuning Freq.**, în sensul semnalizat de săgețile **High** și respectiv **Low**. Când se ajunge în banda de reglaj automat al frecvenței, ambele indicatoare sunt stinse, aparatul acordîndu-se automat pe frecvența fundamentală a semnalului. În acest moment, factorul de distorsiuni **THD** se citește direct pe afișaj.
- **Funcționarea în regim SPOT** (butonul SPOT/RANGE apăsat) – în acest mod aparatul permite măsurarea automată a distorsiunilor la trei frecvențe fixe (400Hz, 1KHz, 10kHz), fără să mai fie necesară ajustarea frecvenței filtrului de rejecție manual (reglajul de frecvență este inoperativ, indicatoarele sînt stinse). Aparatul măsoară distorsiunile automat pentru toate frecvențele situate în banda de urmărire din jurul celor trei frecvențe ale modului **SPOT**.

Pentru ambele moduri de funcționare descrise selectarea scării de măsură se poate realiza astfel:

- modul **AUTO** (butonul verde neapăsat) – În acest mod, se modifică automat scara pentru afișarea distorsiunilor, când este nevoie să se comute pe o altă scară. Această comportare este valabilă și pentru funcționarea ca voltmetru.
- Modul **HOLD** (butonul verde apăsat) – scara de măsură nu se mai modifică automat, ci rămîne la valoarea existentă în momentul comutării în modul **HOLD**.

Pe lângă afișajul pentru distorsiuni, există și un afișaj pentru valoarea tensiunii efective a semnalului de intrare. Voltmetrul nu este de tipul **True RMS**, el va măsura corect valoarea tensiunii efective doar pentru semnal sinusoidal.

## Desfășurarea lucrării

### A. Măsurarea distorsiunilor generatorului de semnal sinusoidal

1. Se măsoară gradul de distorsiune pentru semnalul sinusoidal generat de generatorul de semnal disponibil la masă (*reglajele distorsiometrului sunt*

*descrie în anexa A1 și ale generatorului în A3*). Gradul de distorsiune se va măsura pentru frecvențele  $f_1=500\text{Hz}$  și  $f_2=10\text{KHz}$ . Se procedează în felul următor:

- se generează semnal sinusoidal (de la generator) pe frecvența corespunzătoare, semnalul introducîndu-se la intrarea distorsiometrului. Ieșirea **Y** a distorsiometrului se va lega la intrarea osciloscopului, pentru a vizualiza semnalul obținut la **ieșirea** filtrului de rejecție (după **eliminarea** componentei fundamentale). Înainte de efectuarea acordului (unul din LED-urile în formă de săgeți 13 sau 14 aprins), *fundamentală nu este rejectată* și pe ecran se va observa semnalul de forma *sinusoidală*. După ce se efectuează acordul (ambele LED-uri stinse), *fundamentală este rejectată* și pe ecran se va observa un semnal de o valoare mică și formă neregulată (*armonici + zgomot*).
- măsurătorile se vor efectua în modul de afișare automat **AUTO** al distorsiometrului (butonul verde neapăsat).
- cu butonul **SPOT/RANGE** pe poziția **RANGE**, cele 3 butoane [3] de lângă acest buton au semnificația conform inscripției de pe rîndul de sus: **x1,x10,x100** (unul singur din cele 3 butoane poate rămîne apăsat) și sunt responsabile cu selectarea domeniului de frecvențe. Frecvența de lucru rezultă din combinarea valorii butonului apăsat din setul [3] cu poziția gradată a reglajului rotativ [15].

De exemplu, frecvența de 200Hz se poate obține din următoarele combinații:

- reglajul [15] în dreptul valorii 200 și butonul **x1** apăsat *sau*
- reglajul [15] în dreptul valorii 20 și butonul **x10** apăsat.

- Se alege o combinație ca mai sus, în funcție de frecvența dorită; se reglează butonul [15] în direcția indicată de LED-ul care este aprins. Când ambele LED-uri rămîn stinse, aparatul a intrat în banda de captură și restul operației e automată.
- În acest moment se citește THD pe indicator, valoarea capului de scară fiind dată de LED-ul aprins (100%, 30% ... 0.1%). În funcție de acesta, se folosește pentru citire una din cele 2 scări de pe indicator (cea cu capul de scară 1, respectiv cea cu 3).

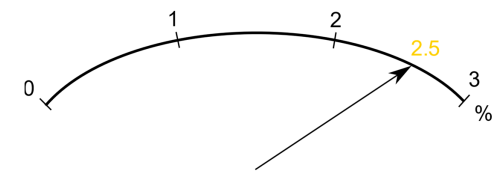


Fig. 2: Distorsiometrul – citirea corectă a scării.

De exemplu, dacă e aprins ledul de 0.3% și acul este pe poziția 2.5 de pe scara cu capătul 3% înseamnă că  $THD=0.25\%$  pe scara de 0.3%

- Se citește THD și pe scara de dB, adunîndu-se valoarea de pe scară cu cea a capătului de scară aprins (ex.: -3dB pe scara de -60dB înseamnă  $THD= -63\text{dB}$ ).

**Explicați:** Variaza THD cu frecvența? De ce?

## B. Măsurarea distorsiunilor semnalelor de forme diverse

2. Se măsoară factorul de distorsiune pentru semnal sinusoidal, dreptunghiular și respectiv triunghiular (se schimbă de la generator). Pentru fiecare tip de semnal măsurătorile se vor realiza la frecvența  $f_1=2\text{KHz}$ . Măsurătorile se vor efectua în modul continuu (butonul **SPOT/RANGE** pe poziția **RANGE**) și modul de afișare automat **AUTO** (butonul verde neapăsat).

Să se deseneze semnalul de la ieșirea **Y** a distorsiometrului în cazul aplicării la intrare a semnalului dreptunghiular (cînd filtrul de rejecție este acordat pe frecvența fundamentală) și să se explice forma sa în timp.

3. Se vizualizează în domeniul frecvență spectrul semnalului sinusoidal și dreptunghiular cu ajutorul osciloscopului.

Se cuplează osciloscopul la generator, în paralel cu intrarea în distorsiometru. Se trece osciloscopul în modul de afișare FFT folosind butonul **MATH MENU**, apoi se apasă repetat *softkey*-ul **Operation** pînă cînd este selectat **FFT**. Se reglează coeficientul de deflexie pe orizontală la valoarea 2,5 kHz/div. Să se deseneze spectrele celor două semnale. Pentru semnalul sinusoidal să se măsoare cu ajutorul cursorilor de amplitudine (**Cursor->Type=Magnitude, Source->Math**) nivelul fundamentalei și nivelul zgomotului, iar cu ajutorul cursorului de frecvență (**Cursor->Type=Frequency**) frecvența fundamentalei.

**Observație** Pentru măsurarea fundamentalei și a zgomotului (pentru semnalul sinusoidal) se recomandă utilizarea achiziției *sample* (**Aquire->Sample**) și vizualizarea cu persistență mare (5s) sau infinită (**Display->Persist=Infinite**).

Pentru semnalele dreptunghiular și triunghiular să se măsoare folosind cursorii de amplitudine, respectiv frecvență

- nivelul fundamentalei
- nivelul primelor cele mai mari 3 armonici
- frecvențele pe care se află acestea
- a cîta armonică este fiecare din cele 3 ( $k$  din ecuațiile (4) și (5), observînd multiplul față de frecvența fundamentală); observați că, de exemplu, a doua cea mai mare armonică de pe ecran nu este neapărat pt  $k=2$ , căci unele armonici pot fi mult mai mici decît celelalte.

**Explicații:** Pe baza acestor măsurători explicați rezultatele obținute la punctul 2.

**Observație** Pentru măsurarea fundamentalei și a armonicilor (pentru semnalele triunghiular și dreptunghiular) se recomandă utilizarea achiziției cu mediere (**Aquire->Average** cu **Averages=32** sau 64) și vizualizarea fără persistență (**Display->Persist=off**).

**Observație** În realitate, cu distorsiometrul GAD-201G se măsoară **THD+N**, (după cum se observă la pct.3: în semnal există și zgomot, în plus față de armonici

și fundamentală). Iar pentru semnalul sinusoidal, care nu are armonici, aparatul măsoară  $-\text{SNR}_{\text{lab}}$ . Astfel, pentru semnale sinusoidale de frecvență joasă, acesta poate fi utilizat pentru a măsura  $-\text{SNR}_{\text{lab}}$ .

## C. Măsurarea distorsiunilor la diferite nivele de semnal

4. Se va măsura gradul de distorsiune pentru un semnal sinusoidal de frecvență 1kHz, la următoarele nivele ale semnalului, reglate la generator și citite pe voltmetrul [11]: 0dB, -20dB, -40dB.

- Se trece aparatul în modul **SPOT** a.î. cele 3 butoane [3] au semnificația cf. inscripției de pe rîndul de jos și anume cele 3 frecvențe prestabilite pentru acest aparat. Dacă semnalul de intrare are frecvența cf. butonului selectat, acordul se va face automat. Nu mai are efect reglajul rotativ [15].

- Se conectează osciloscopul în paralel pe bornele de intrare ale distorsiometrului (*nu la ieșirea Y ca pînă acum*) și se vor vizualiza, din spectrul acestuia (folosind **Math Menu -> Operation FFT**) folosind cursorii, nivelul fundamentalei (la fiecare din nivelele de intrare de mai sus) și nivelul zgomotului, plasînd cursorul orizontal aproximativ pe valoarea de vîrf a acestuia.

**Atenție!** la citirea pe voltmetru se va ține cont de scara indicată de LED-urile care se aprind în grupul [8] (cele 8 LED-uri de sub indicatorul [11]). Se vor aprinde 2 LED-uri, unul din partea stîngă și unul din cele 2 din partea dreaptă. Indicația fiind în dB, cele 2 valori corespunzătoare trebuie adunate la indicația de pe indicatorul [11]. De exemplu, dacă indicatorul arată -5dB și sunt aprinse LED-urile de 10dB și -60dB, valoarea este de  $-5+10-60 = -55\text{dB}$ .

**Explicații:** Cum variază THD indicat de aparat la cele 3 nivele și de ce?

## D. Măsurarea distorsiunilor unui etaj de amplificare de tip SD

5. Scop: pînă acum, THD măsurat ținea doar de performanțele generatorului. Vom măsura acum THD introdus pe semnal de un circuit activ (amplificator) și vom calcula factorul de zgomot (NF) introdus de acesta (ideal 0 dB).

Se măsoară rezistențele (cu ohmetrul) și se realizează amplificatorul de tip sarcină distribuită (SD) din figura 3a pe placa de test; modul sugerat de plantare al componentelor, care se aseamănă cel mai mult cu topologia schemei, este dat în figura 3b.

Se măsoară cu ajutorul voltmetrului de c.c. tensiunea sursei de alimentare,  $V_{\text{CC\_mas}}$  (de aprox. 6V); se va conecta sursa de alimentare pe rîndurile orizontale de sus și jos ( $V_{\text{CC,GND}}$ ).

**Atenție!** verificați cu voltmetrul de c.c. polaritatea firelor de alimentare, înainte de a le cupla la placă, pentru a nu conecta alimentarea pe dos. Arderea tranzistorului din cauza conectării incorecte va duce la penalizări !

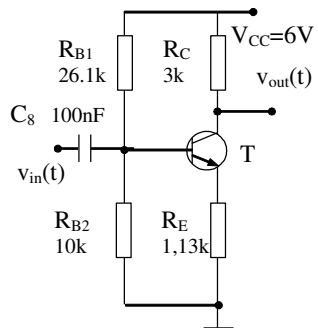


Fig. 3 a) Schema electrică

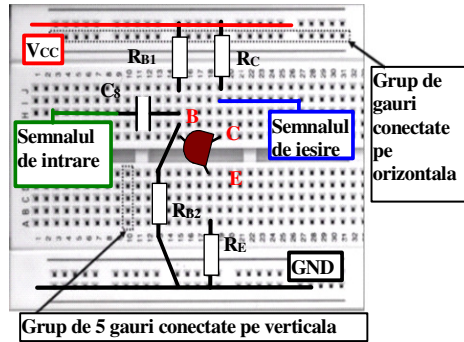


Fig. 3 b) Conectarea pe placa de test

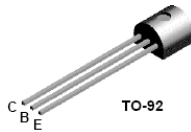


Fig. 4 Dispunerea terminalelor la 2N3904, 2N5551, etc.

Se folosește un tranzistor NPN de uz general (2N5551 sau 2N3904) în capsula de plastic TO-92, cu terminalele dispuse ca în figura 4.

a) Să se calculeze PSF-ul tranzistorului ( $V_B, V_E, I_E, V_C$ ) folosind valorile măsurate pentru rezistențe și  $V_{CC\_m\grave{a}s}$ . Apoi se măsoară doar tensiunile PSF-ului folosind voltmetrul de c.c. Se va presupune  $V_{BE}=0.7V$  și  $\beta=100$ .

b) Se calculează și apoi se măsoară amplificarea în tensiune a circuitului pentru un semnal sinusoidal de frecvența 3kHz și valoare vîrf-vîrf  $U_{VV\_in}=200mV$ . Semnalul de ieșire este în colectorul tranzistorului.

Se recomandă conectarea simultană a lui  $v_{in}(t)$  la intrarea CH1 a osciloscopului, iar  $v_{out}(t)$  pe CH2, cuplaj AC (fără componenta continuă) și  $C_{Y1,2}$  setați astfel încît semnalele vîrf-vîrf să fie vizualizate pe 5-8 div pe ecran. Pentru eficiență se va utiliza **Meniul Measure** al osciloscopului, setat a indica simultan valorile vîrf-vîrf pentru CH1 și CH2. (**Measure**→**Source: CH1**→ **Value:Peak-Peak** , respectiv **Measure**→**Source: CH2**→ **Value:Peak-Peak** )

**Explicații:** Care este semnificația semnelui din valoarea teoretică a amplificării (utilizînd imaginile celor două semnale)?

**Observație:** tensiunea de ieșire are componentă continuă nenulă, deoarece amplificatorul este alimentat între 0 și +6V, și deci semnalul de ieșire nu poate lua valori mai mici de 0V. Componenta continuă este valoarea  $V_C$  obținută din

PSF. Pentru a obține la ieșire un semnal fără componentă continuă, ar trebui 2 surse de alimentare (+V și -V).

**Explicații:** Ce valoare ar trebui să aibă în mod ideal  $V_C$  din PSF pentru a obține excursia (valoarea vîrf-vîrf) maximă a semnalului de la ieșirea amplificatorului?

c) Se măsoară amplificarea în tensiune (ca raport V/V și în dB) și THD (în dB) al semnalului sinusoidal de 3kHz de la intrarea și respectiv ieșirea amplificatorului pentru următoarele valori ale  $U_{VV}$  de la intrare: 200mV , 1.1V , 1.5V, 2.2V. Se utilizează **Meniul Measure** și notează și eventualele "deformări" ale semnalului de la ieșire.

**Atenție!** Ajustați  $C_Y$  (CH1, CH2) ori de cîte ori este nevoie pentru ca domeniul de variație al semnalului să fie 5-8 diviziuni.

Se recomandă ca, în plus față de configurările de la punctul (b), să se conecteze distorsiometrul paralel cu osciloscopul, pe rînd, la intrare și apoi la ieșire

**Explicații:** De ce variază gradul de distorsiune al semnalelor de la ieșire, în fiecare caz, față de valoarea minimului dintre ele?

Se observă că amplificatorul va avea un NF mic dacă tranzistorul va funcționa doar în regimul activ normal (RAN), NF cu valoare semnificativă dacă T intră în saturație sau blocare și valoare mare dacă T trece și prin saturație și prin blocare pe durata funcționării.

Se calculează NF în dB (relația (9)) pentru cele 4 valori de tensiune.

d) Se vizualizează în modul FFT și se măsoară componentele spectrale al semnalului de la ieșirea amplificatorului cînd la intrare se aplică un semnal sinusoidal de 3kHz și valori  $U_{VV}$ : 200mV , 1.1V , 1.5V , 2.2V (la fel cu pct (c)). Se utilizează din osciloscop **Math Menu**→ **Operation FFT**→**CH2** cu  $C_X = 2,5kHz$ ,  $C_Y = 10dB/div$  și achiziție: **Acquire**→**Peak detect** .

**Atenție!** Înainte de a intra în modul FFT verificați cuplajul AC și  $C_Y = 2V/div$  pentru CH1 și CH2.

Pentru fiecare valoare de intrare se identifică componenta fundamentală, pentru care se măsoară nivelul în dB, numărul de armonici și nivelul zgomotului în dB.

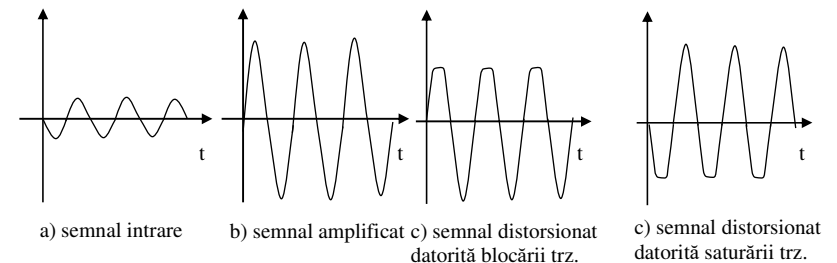


Fig. 5 Forme de undă pentru amplificator

## E. Determinarea parametrilor filtrului de rejecție a fundamentalei

6. Se măsoară banda de urmărire și caracteristica de atenuare a filtrului de rejecție. În mod ideal, filtrul ar trebui să atenueze cu  $-\infty$  dB doar frecvența de 3KHz, și cu 0dB orice altă frecvență (caracteristică de frecvență infinit abruptă).

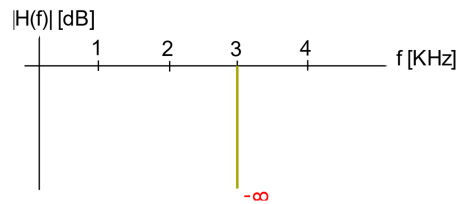


Fig. 6 Filtru de rejecție ideal („filtru dop”)

În practică, filtrul nostru va avea atenuarea finită, și lățimea nenulă. Se procedează în felul următor: se generează de la generator un semnal sinusoidal de frecvență  $f=3\text{kHz}$ , cu nivelul 0dB, măsurat cu voltmetrul [11]. Se acordează filtrul de rejecție al distorsiometrului pe frecvența de 3 kHz în modul **RANGE**. Din acest moment **nu se mai umblă la reglajele distorsiometrului, în particular la frecvența de acord a acestuia! frecvența în continuare se reglează de la generator!**

Se variază fin, în sens crescător, frecvența semnalului de la generator, astfel: se selectează la generator folosind cele 2 butoane-săgeți de sub reglajul rotativ al frecvenței de la generator, digitul corespunzător unităților de Hz, pînă cînd acesta clipește și se modifică valoarea acestui digit folosind reglajul rotativ.

Se observă că, la început, modificînd fin frecvența la generator, **nu se întîmplă nimic** la distorsiometru, căci acesta este în banda de urmărire - indicația distorsiometrului (indicatorul factorului de distorsiune) rămîne la valoarea minimă, pînă cînd aparatul iese din banda de urmărire. Se va nota valoarea frecvenței superioare  $f_s$  la care se întîmplă acest lucru!

Se notează de asemenea această valoare minimă  $A_{\min}$  (citind de data aceasta THD pe scara în dB; se observă că valoarea maximă 0dB corespunde unui THD=100% și că, în acest caz, atenuarea filtrului corespunde cu valoarea măsurată a THD, dar citit în dB). După ce se depășește această valoare pentru frecvență, indicația factorului de distorsiune **va începe să crească**. Se vor nota valorile frecvenței de la generator pentru care factorul de distorsiune, *exprimat în dB*, atinge valorile -40dB, -30dB, -20dB, -10dB, -3dB.

Se revine la  $f_{rej}$  și se repetă măsurătorile pentru cazul în care frecvența este variată în sens descrescător: începînd cu  $f_{rej}$  se caută în jos valoarea inferioară  $f_j$  pînă la care indicația rămîne constantă etc. Să se determine banda de urmărire (vezi în introducere Modul de funcționare → Măsurarea distorsiunilor)

Reprezentați grafic caracteristica de frecvență a filtrului folosind rezultatele de mai sus. Caracteristica trebuie să fie simetrică față de  $f_{rej}$ , avînd atenuarea maximă,

adică valoarea minimă în dB, în dreptul acestei frecvențe. Etichetați axa verticală cu valori logaritmice (în dB).

### Întrebări pregătitoare și exerciții

1. Se dă semnalul  $s(t) = 4 \cdot \cos(\omega_0 t) + 0.3 \cdot \cos(3\omega_0 t) + 0.5 \cdot \cos(5\omega_0 t)$  [V]. Să se determine gradul de distorsiune teoretic, THD, al acestui semnal.
2. Descompuneți semnalele din figura 7 în serie Fourier compactă, pentru  $U_0 = 2V$ .

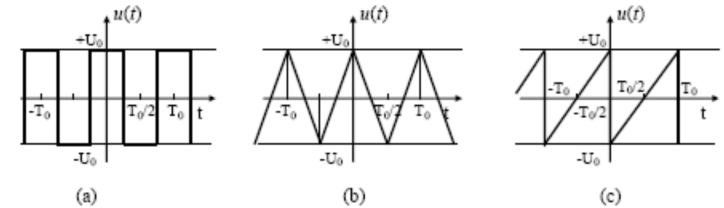


Fig. 7 Exemple de semnale periodice

3. Determinați gradul de distorsiune teoretic (THD) pentru toate semnalele din fig 5.
4. Semnalele din fig. 6 sunt aplicate la intrarea unui filtru FTJ ideal cu frecvența de tăiere  $f_t = 4.5/T_0$ . Să se calculeze factorul de distorsiune THD pentru semnalele de la ieșirea filtrului.
5. Pentru un amplificator se măsoară la intrare SINAD=75dB și la ieșire THD= -45dB. Calculați NF [dB].
6. Dacă  $Cy=5\text{dB/div}$  al unui osciloscop (în modul FFT), determinați  $U_1/U_2$  maxim (raport de amplitudini) care poate fi măsurat dacă  $N_y=8$  div pe OY.
7. Printr-un circuit cu funcția de transfer  $f(u) = u + 0.1 \cdot u^2$  este trecut semnalul  $s_1(t) = 5 \cdot \cos(\omega_0 t)$  [V]. Să se determine factorul de distorsiune al semnalului de la ieșirea circuitului, THD (Obs: nu se ia în considerare și componenta continuă la calculul). Cît devine THD al semnalului de la ieșirea circuitului dacă  $s_1(t) = 5 \cdot \cos(\omega_0 t) + 0.1 \cdot \cos(4\omega_0 t)$  ?
8. Care este rolul filtrului de rejecție din compunerea distorsiometrului?
9. Un semnal are  $U_{ef}=10V$  și  $THD=5\%$ . Să se calculeze amplitudinea componentei fundamentale.
10. Un semnal cu  $U_{ef}=2V$  și  $U_{ef,noise}=10mV$  are SINAD=40dB. Să se calculeze THD.
11. De ce crește indicația gradului de distorsiune la micșorarea nivelului semnalului, cînd se măsoară distorsiunile pentru semnalul de la generator?
12. Un semnal sinusoidal ideal se aplică la intrarea unui amplificator fără zgomot, cu factorul de amplificare  $a=1$  și se obține la ieșire un semnalul cu un grad de distorsiune  $THD_A=3\%$  (acesta poate fi văzut ca un *factor de distorsiune echivalent* cu care circuitul *distorsionează* semnalul sinusoidal de la intrare). Determinați  $THD_2$  al semnalului de la ieșirea amplificatorului, dacă la intrare se aplică un semnal sinusoidal cu aceeași frecvență și  $THD_1=5\%$ . (Se presupune că armonicile introduse de circuit au frecvențe mai mari decât fundamentala).
13. Un semnal sinusoidal ideal se aplică la intrarea unui amplificator (cu factorul de amplificare  $a=10$ ) și se obține la ieșire un semnalul cu un grad de distorsiune  $THD_A=-40dB$ . Determinați



THD<sub>2</sub> (în dB) al semnalului de la ieșirea amplificatorului, dacă la intrare se aplică un semnal sinusoidal cu aceeași frecvență și THD<sub>1</sub> = -46dB.

14. Un amplificator cu *amplificarea în tensiune*  $a_U = 10$  are  $NF = 12\text{dB}$ . Dacă semnalul de intrare are amplitudinea  $U_{0,in} = 100\text{mV}$  și  $SNR_{in} = 40$ , determinați  $SNR_{out}$  în dB,  $U_{0,out}$  și  $U_{ef,noise}$ .

15. De ce cresc distorsiunile semnalului de la ieșirea amplificatorului din lucrare, când se mărește nivelul semnalului de intrare în amplificator?

16. Pentru montajul din fig 8, (sarcină distribuită), determinați amplitudinea maximă a semnalului de la intrare astfel încât tranzistorul să nu intre în saturație. (se considera  $V_{BE} = 0,7\text{V}$  și  $V_{CE\text{ sat}} = 0,2\text{V}$ ,  $\beta=50$ )

17. Pentru montajul din fig 8, (sarcină distribuită), determinați amplitudinea maximă a semnalului de la intrare astfel încât tranzistorul să nu intre în blocare. (se consideră  $V_{BE} = 0,7\text{V}$  și  $V_{CE\text{ sat}} = 0,2\text{V}$ ,  $\beta=50$ )

18. Pentru montajul din fig 8, (sarcină distribuită), determinați amplitudinea maximă a semnalului de la intrare astfel încât tranzistorul să funcționeze tot timpul în regimul activ normal - RAN. (se considera  $V_{BE} = 0,7\text{V}$  și  $V_{CE\text{ sat}} = 0,2\text{V}$ ,  $\beta=50$ ).

19. Unui amplificator cu *amplificarea în tensiune*  $a_U = 50$  i se aplică la intrare un semnal sinusoidal cu amplitudinea  $U_{0,in} = 50\text{mV}$  și  $SNR_{in} = 100$ . La ieșire se obține un semnal sinusoidal cu  $SNR_{out} = 50$ . Determinați cât este amplitudinea semnalului de ieșire  $U_{0,out}$  și  $NF_{\text{dB}}$  al circuitului.

20. Un semnal cu  $U_{ef, \text{sgnl}} = 2\text{V}$  are  $SINAD = 40\text{dB}$  și  $THD = -43\text{dB}$ . Să se calculeze  $U_{ef, \text{noise}}$ .

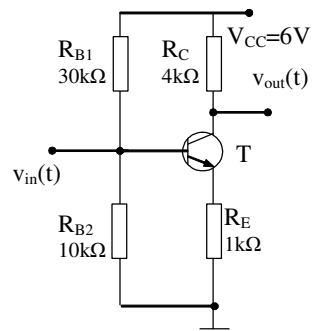


Fig 8. Configurație de tip sarcină distribuită