

APLICAȚIA NR. 2

CARACTERIZAREA SEMNALELOR DE MĂSURARE ÎN DOMENIILE TIMP ȘI FRECVENȚĂ

2.1. Scopul aplicației

În această aplicație sunt analizate în domeniile timp și frecvență o serie de semnale staționare periodice cu ajutorul unui osciloscop cu memorare numerică. Semnalele analizate sunt vizualizate în domeniile timp și frecvență. În domeniul timp sunt determinați o serie de parametri ai semnalelor, iar în domeniul frecvență sunt analizate componentele spectrale ale semnalelor.

2.2. Caracterizarea în domeniile timp și frecvență a semnalelor staționare periodice

În multe situații întâlnite în practică semnalele de măsurare sunt semnale analogice (în timp continuu) staționare periodice. Un semnal este *staționar* dacă are un parametru caracteristic (valoare efectivă, valoare medie, valoare de vârf, etc.) constant în timp. Un semnal este *periodic* de perioada T dacă valoarea sa la momentul t este egală cu cea obținută la momentul $t + T$. În continuare semnalul analogic staționar periodic analizat este notat cu $x(t)$. Acesta este de frecvență $f_{in} = 1/T$. Ca urmare, avem $x(t) = x(t + T)$.

2.2.1. Caracterizarea semnalelor în domeniul timp

În domeniul timp semnalul analogic $x(t)$ poate fi caracterizat printr-o serie de parametrii caracteristici. Dintre aceștia cei mai importanți sunt: valoarea medie, valoarea efectivă, valoarea de vârf, valorile minimă și maximă, valoarea vârf la vârf. Ei sunt definiți în coloana a doua a Tabelului 2.1.

Adesea parametrii semnalelor analogice sunt determinați numeric. În acest scop, semnalele analogice sunt convertite numeric. Prin eșantionarea semnalului $x(t)$ cu frecvența $f_s = 1/T_s$ se obține semnalul în timp discret $x(n) = x(nT_s)$, $n = 0, 1, 2, \dots$. Considerăm că eșantionarea este *uniformă*, adică frecvența f_s este constantă, și că au fost achiziționate N eșantioane. În această situație raportul dintre frecvențele f_{in} și f_s este dat de expresia:

$$\frac{f_{in}}{f_s} = \frac{\lambda_0}{N} = \frac{J + \nu}{N}, \quad (2.1)$$

în care $\lambda_0 = J + \nu$ este numărul de perioade achiziționate ale semnalului sau *frecvența normalizată în număr de perioade*, unde J este valoarea întreagă a lui λ_0 , iar $\nu (-0,5 \leq \nu < 0,5)$ reprezintă deviația frecvenței normalizate față de J . Dacă $\nu = 0$, atunci *eșantionarea este coerentă*, iar în caz contrar ($\nu \neq 0$), *eșantionarea este necoerentă*.

În cazul unui semnal în timp discret parametrii definiți mai sus pot fi estimați pe baza expresiilor prezentate în coloana a treia a Tabelului 2.1. Trebuie menționat faptul că parametrii estimați coincid cu cei exacti (aferenți semnalului analogic) numai în cazul unei eșantionări coerente și că eroarea de estimare scade o dată cu creșterea frecvenței normalizate λ .

Tabelul 2.1. Parametrii caracteristici cei mai importanți ai unui semnal analogic și estimările acestora în cazul semnalului numeric aferent.

Parametru caracteristic	Semnal analogic $x(t)$	Semnal numeric $x(n)$
Valoarea medie	$X_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$	$\hat{X}_{med} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)$
Valoarea efectivă	$X_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$	$\hat{X}_{ef} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)}$
Valoarea de vârf	$X_p = \max_{t \in [0, T)} \{ x(t) \}$	$\hat{X}_p = \max_{0 \leq n \leq N-1} \{ x(n) \}$
Valoarea minimă	$X_{min} = \min_{t \in [0, T)} \{ x(t) \}$	$\hat{X}_{min} = \min_{0 \leq n \leq N-1} \{ x(n) \}$
Valoarea maximă	$X_{max} = \max_{t \in [0, T)} \{ x(t) \}$	$\hat{X}_{max} = \max_{0 \leq n \leq N-1} \{ x(n) \}$
Valoarea vârf la vârf	$X_{pp} = X_{max} - X_{min}$	$\hat{X}_{pp} = \hat{X}_{max} - \hat{X}_{min}$

2.2.2. Caracterizarea semnalelor în domeniul frecvență

Pentru caracterizarea în domeniul frecvență a unui semnal se utilizează transformata Fourier discretă ("Discrete Fourier Transform" – DFT), care se aplică semnalului numeric $x(n)$. DFT permite obținerea *spectrului semnalului* analizat. În cazul unei eșantionări necoerente spectrul semnalului este afectat de *fenomenul de scurgere de energie* ("leakage"), care constă în scurgerea unei părți din energia tuturor componentelor semnalului în întreaga bandă de frecvențe a spectrului său. Pentru reducerea efectului acestui fenomen semnalul analizat este multiplicat cu o funcție fereastră $w(n)$. Semnalul obținut este $x_w(n) = x(n) \cdot w(n)$. DFT a semnalului $x_w(\cdot)$ este definită prin expresia:

$$X_w(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_w(n) e^{-j2\pi \frac{k}{N} n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.2)$$

Rezoluția frecvenței spectrului semnalului este egală cu f_s/N . Ca urmare, o dată cu creșterea numărului de eșantioane achiziționate N scade rezoluția frecvenței spectrului.

DFT permite determinarea spectrului semnalului la frecvențe egale cu kf_s/N , $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$. Pentru a obține spectrul semnalului la frecvențe egale cu $\lambda f_s/N$, în care $\lambda \in [0, N)$ se utilizează transformata Fourier în timp discret ("Discrete-Time Fourier Transform" – DTFT), care este definită prin relația:

$$X_w(\lambda) = \sum_{n=0}^{N-1} x_w(n) e^{-j2\pi \frac{\lambda}{N} n}, \quad \lambda \in [0, N) \quad (2.3)$$

În practică ferestrele cu termeni în cosinus sunt foarte des utilizate deoarece pot fi implementate ușor și au o eficiență suficient de ridicată în reducerea fenomenului de scurgere de energie. Fereastra cu H termeni în cosinus este definită prin expresia:

$$w(n) = \sum_{h=0}^{H-1} (-1)^h a_h \cos\left(2\pi h \frac{n}{N}\right), \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.4)$$

în care a_h sunt coeficienții ferestrei. Aceștia trebuie să îndeplinească condiția

$$\sum_{h=0}^{H-1} a_h = 1. \quad H - 1 \text{ reprezintă ordinul ferestrei.}$$

În cazul particular $H = 1$ și $a_0 = 1$ avem fereastra rectangulară. În practică unele dintre cele mai utilizate ferestre sunt ferestrele Hamming și Hann. Fereastra Hamming este fereastra de ordinul 1 cu termeni în cosinus la care nivelul primului lob secundar este cel mai mic dintre toate ferestrele de ordinul 1. Aceasta are coeficienții $a_0 = 0,53836$ și $a_1 = 0,46164$. Fereastra Hann este fereastra de ordinul 1 cu termeni în cosinus care are rata de scădere a lobilor secundari cea mai mică. Aceasta are coeficienții $a_0 = a_1 = 0,5$.

Reducerea scurgerii de energie crește o dată cu creșterea ordinului ferestrei temporale. În schimb, aceasta conduce la creșterea influenței zgomotului asupra parametrilor estimați pe baza spectrului semnalului.

Semnalul $x(t)$ este periodic. Ca urmare, el poate fi descompus în serie Fourier ca suma unor semnale sinusoidale de frecvențe egale cu $k \cdot f_{in}$, în care $k \geq 2$ este un număr natural. Componenta de frecvență f_{in} se numește fundamentală, iar cea de frecvență $k \cdot f_{in}$, $k \geq 2$, componenta armonică de ordinul k . De exemplu, un semnal dreptunghiular de amplitudine A , frecvență f_{in} și factor de umplere 50% conține doar componente armonice de ordin impar, deoarece dezvoltarea în serie Fourier a acestuia este: $\frac{4A}{\pi} \left(\sin(2\pi f_{in} t) + \frac{\sin(6\pi f_{in} t)}{3!} + \frac{\sin(10\pi f_{in} t)}{5!} + \dots \right)$. Dacă semnalul dreptunghiular are un factor de umplere diferit de 50%, atunci dezvoltarea în serie Fourier conține și componente armonice de ordin par.

Un semnal real conține și zgomot. Un semnal sinusoidal afectat de zgomot este caracterizat prin raportul semnal-zgomot ("Signal-to-Noise-Ratio" – SNR), definit prin expresia:

$$SNR (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2}{2\sigma^2} \right), \quad (2.5)$$

în care A este amplitudinea semnalului sinusoidal, iar σ^2 este dispersia (varianța) zgomotului.

În cazul unui semnal sinusoidal real contribuția componentelor armonice este evaluată pe baza raportului de distorsiuni armonice ("Total Harmonic Distortion" – THD), definit prin expresia:

$$THD (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{k=2}^K A_k^2}{A^2} \right), \quad (2.6)$$

în care A_k este amplitudinea armonice de ordinul k , iar K este numărul de armonici semnificative din cadrul semnalului.

În practică componentele armonice sunt exprimate în dB relativ la componenta fundamentală, care are valoarea 0 dB, $H_k (dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_k}{A} \right)$. În această situație THD se calculează pe baza expresiei:

$$THD (dB) = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{H_2}{10}} + 10^{\frac{H_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{H_K}{10}} \right). \quad (2.7)$$

În Fig. 2.1 sunt prezentate spectrele a două semnale sinusoidale în timp discret, în care primul este fără zgomot (semnal sinusoidal pur), iar cel de-al doilea este afectat de un zgomot aditiv normal (Gaussian) alb de medie zero și dispersie care conduce la $SNR = 50$ dB. Un zgomot alb este caracterizat prin faptul că oricare două dintre eșantioanele sale sunt necorelate (independente). Semnalele sinusoidale sunt caracterizate prin: $f_m = 1$ kHz, $N = 1024$ și $\lambda_0 = 37$ perioade. Conform (2.1) rezultă că frecvența de eșantionare este $f_s = 27,68$ kHz. Se utilizează fereastra rectangulară.

Magnitudinile componentelor spectrale sunt raportate la valoarea maximă, care corespunde fundamentalei. Ca urmare, ele sunt exprimate în dBc. Spectrul semnalului este prezentat numai în prima jumătate a domeniului de frecvențe, $[0, f_s/2]$, deoarece în cea de-a doua jumătate, $[f_s/2, f_s]$, spectrul este imaginea în oglindă a primei jumătăți. Frecvența $f_N = f_s/2$ se numește frecvența Nyquist.

În Fig. 2.1 se observă că datorită prezenței zgomotului componentele spectrale devin mai mari și au variații mai mari.

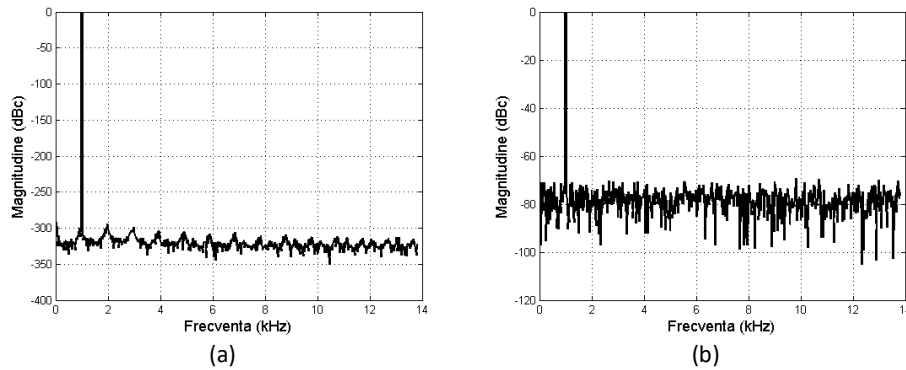


Fig. 2.1. Spectrul unui semnal sinusoidal fără zgomot (a) și a unui semnal afectat de un zgomot aditiv Gaussian alb cu $SNR = 50$ dB (b). Eșantionarea este coerentă și este utilizată fereastra rectangulară.

În Fig. 2.2 sunt prezentate spectrele semnalului sinusoidal în timp discret afectat de zgomot și având aceiași parametri ca și cel din Fig. 2.1(b), cu excepția că $\lambda_0 = 37,3$ perioade, când sunt utilizate ferestrele rectangulară (Fig. 2.2(a)) și Hann (Fig. 2.2(b)). Se observă că valoarea lui λ_0 corespunde unei eșantionări necoerente ($\nu = 0,3$).

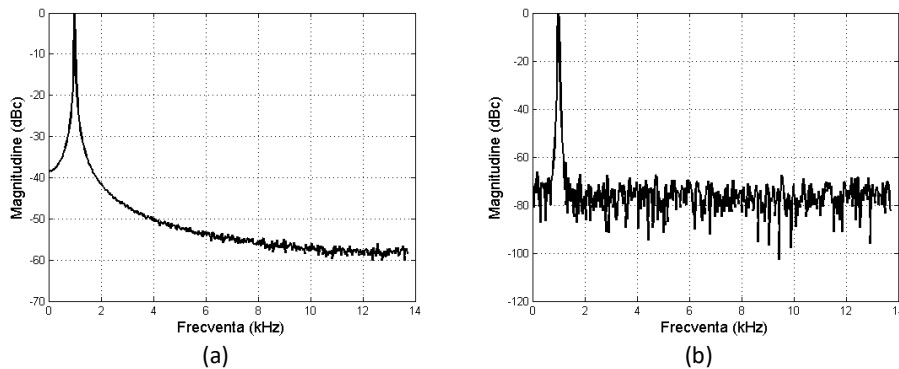


Fig. 2.2. Spectrele unui semnal sinusoidal obținute în cazul unei eșantionări necoerente când sunt utilizate ferestrele rectangulară (a) și Hann (b).

Așa cum am precizat anterior în cazul unei eșantionări necoerente spectrul semnalului este afectat de fenomenul de scurgere de energie. Astfel, o parte din energia fundamentalei este transmisă celorlalte componente spectrale, care devin mult mai mari față de cele obținute în cazul eșantionării coerente (v. Fig. 2.1(b)) când este utilizată fereastra rectangulară și relativ apropiate de cele aferente eșantionării coerente, atunci când este utilizată fereastra Hann. Prin compararea figurilor 2.2(a) și 2.2(b) se observă că scurgerea de energie este mult redusă prin utilizarea ferestrei Hann.

În Fig. 2.3 sunt prezentate spectrele unor semnale dreptunghiulare în timp discret caracterizate prin: $f_{in} = 1$ kHz, $N = 1024$, $\lambda_0 = 37$ perioade și factor de umplere egal cu 50% (Fig. 2.3(a)) și 20% (Fig. 2.3(b)). Semnalele sunt eșantionate coerent. Semnalele sunt afectate de un zgomot aditiv Gaussian alb de medie zero și dispersie $\sigma^2 = 10^{-4}$. Se utilizează fereastra rectangulară.

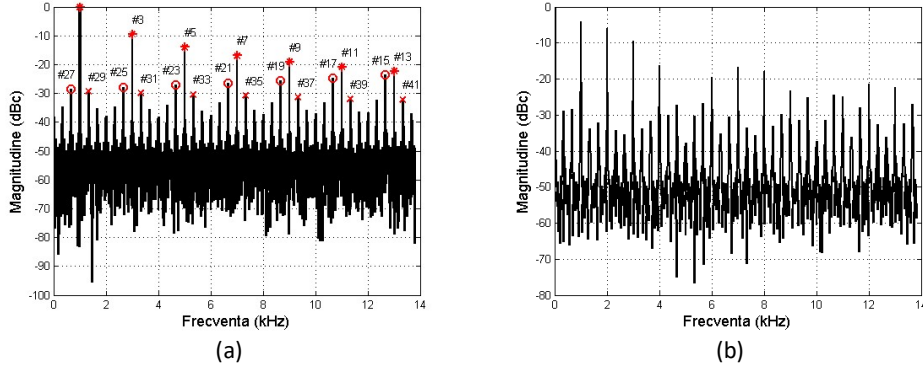


Fig. 2.3. Spectrele unor semnale dreptunghiulare afectate de un zgomot aditiv Gaussian alb și având cu factor de umplere egal cu 50% (a) și 20% (b). Eșantionarea este coerentă și este utilizată fereastra rectangulară.

În cazul în care factorul de umplere este egal cu 50% spectrul semnalului conține componente armonice de ordin impar, iar în cazul unui factor de umplere diferit de 50% spectrul semnalului conține și componente armonice de ordin par. Trebuie subliniat faptul că dacă o componentă armonică are o frecvență mai mare decât frecvența Nyquist ($f_N = f_s/2$), atunci ea este o componentă afectată de fenomenul de *alierie*. Ca urmare, ea va fi situată în domeniul de frecvențe $[0, f_s/2)$. De exemplu, componenta armonică de ordinul 15 are o frecvență egală cu 15 kHz, care este mai mare decât frecvența Nyquist $f_N = 13,84$ kHz. Ca urmare a alierii aceasta va fi situată în spectrul semnalului la frecvența $f_s - 15 \cdot f_{in} = 27,68 - 15 = 12,68$ kHz (v. Fig. 2.3(a)).

În Fig. 2.4 sunt prezentate spectrele semnalului dreptunghiular cu factor de umplere egal cu 50% și cu aceeași parametri ca și cel din Fig. 2.3(a), dar având $\lambda_0 = 37,3$ perioade, obținute în cazul utilizării ferestrelor rectangulară (Fig. 2.4(a)) și Hann (Fig. 2.4(b))

În Fig. 2.4 se observă că prin utilizarea ferestrei Hann scurgerea de energie este mult redusă, față de cazul în care este utilizată fereastra rectangulară.

Un semnal real poate conține și componente interarmonice. Acestea sunt componente de frecvențe $m \cdot f_{in}$, $m > 1$, în care $m \in \mathbb{R}_+ - \mathbb{N}$.

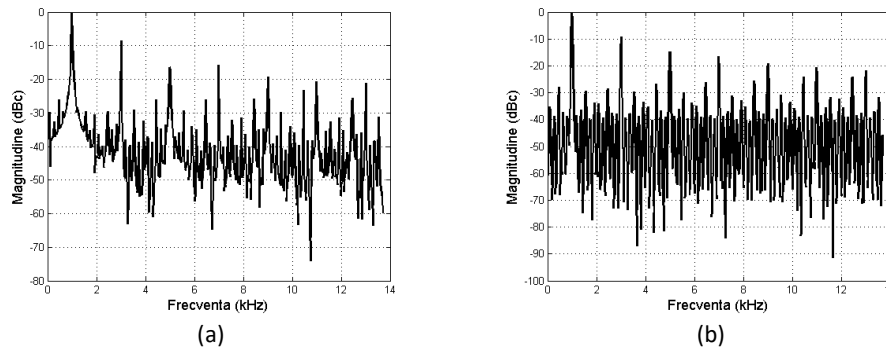


Fig. 2.4. Spectrele unui semnal dreptunghiular cu factor de umplere egal cu 50% afectat de un zgomot aditiv Gaussian alb obținute în cazul unei eșantionări necoerente când sunt utilizate ferestrele rectangulară (a) și Hann (b).

2.3. Prezentarea osciloscopului Keysight EDUX1002G

Osciloscopul cu memorare numerică folosit în aplicație este EDUX1002G, care face parte din cadrul seriei Keysight InfiniiVision 1000X. Acest osciloscop are inclus un generator de semnal, aspect indicat prin litera G poziționată după numărul aferent osciloscopului. În continuare se prezintă funcțiile, butoanele și comutatoarele acestui osciloscop în ordinea numerotării lor din Fig. 2.5.

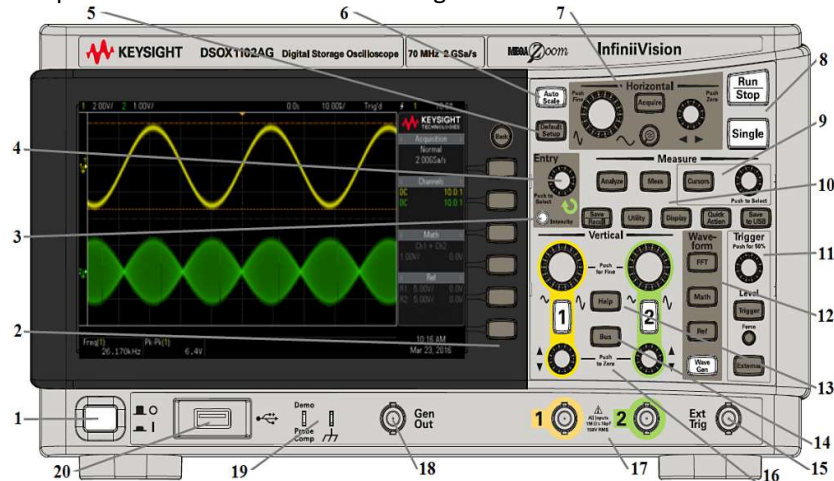


Fig. 2.5. Panoul frontal al osciloscopului Keysight EDUX1002G.

- 1) **Power** – buton pentru alimentarea/întreruperea alimentării osciloscopului.
- 2) **Selecție submeniuri** – butoane pentru selecție submeniuri/funcții, funcția asociată fiecărui buton depinde de meniul selectat (cu **Back** se revine la meniul anterior).
- 3) **Intens** – buton pentru reglarea intensității luminoase a trasei, folosind potențiometrul **Entry**.

- 4) **Entry** – potențiomtru pentru modificarea valorilor selectate.
- 5) **Default Setup** – buton pentru revenire la setările standard.
- 6) **Auto Scale** – buton pentru setare automată afișare semnal.
- 7) **Horizontal** – secțiune pentru reglaje pe orizontală, conține următoarele butoane și potențiometre: **scala orizontală** – potențiomtru pentru reglarea setării timp/div, **poziție orizontală** – potențiomtru pentru deplasare punct de sincronizare față de mijlocul ecranului, **Acquire** – buton pentru opțiuni de achiziție, **Zoom** – buton pentru mărirea semnalului.
- 8) **Run/Stop și Single** – butoane de control: **Run/Stop** – buton pentru achiziție/oprirea achiziției de date, iar **Single** – buton pentru efectuarea unei singure achiziții.
- 9) **Measure** – conține butoane pentru setări legate de măsurare: **Analyze** – buton pentru acces la caracteristici de analiză a semnalelor, **Meas** – buton care permite accesul la setări pentru măsurări automate predefinite asupra formelor de undă, **Cursors** – buton pentru selectare setări cursoare, **Push to select** – potențiomtru pentru afișare meniu, selectare și deplasare cursoare.
- 10) **Tools** – conține butoane pentru următoarele instrumente: **Save/Recall** – buton salvare/încărcare setări și forme de undă în/din memoria internă a osciloscopului, **Utility** – buton pentru configurare setări intrare/ieșire, încărcare setări din fișiere și alte opțiuni, **Display** – buton pentru acces la setări afișaj (persistență imagine, intensitate caroiă, etichete forme de undă, adăugare notație și ștergere ecran), **Quick Action** – buton pentru efectuarea unor acțiuni rapide (măsurare toți parametrii formei de undă, tipărire, salvare, etc), **Save to USB** – buton pentru salvare pe memoria externă conectată la portul USB disponibil.
- 11) **Trigger** – conține butoane pentru setări declanșare achiziție: **Level** – potențiomtru pentru reglarea nivelului de declanșare a achiziției, **Trig** – buton pentru setare tip declanșare, sursă semnal (internă sau externă), pantă, regim de declanșare (automat sau normal), eliminare zgomot, reglarea timpului de așteptare și alte setări, **Force** – declanșare forțată achiziție, **External** – buton pentru sincronizare cu semnalul extern aplicat la conectorul Ext Trig.
- 12) **Waveform** – conține butoane pentru setări formă de undă: **FFT** – permite vizualizarea transformatei Fourier a unei forme de undă, **Math** – permite accesul la funcții matematice aplicate formelor de undă, **Ref** – permite salvarea/afișarea de forme de undă de referință, **Wave Gen** – accesare setări generator de semnal intern.
- 13) **Help** – buton pentru accesare meniu Help.
- 14) **Bus** – buton pentru accesare opțiuni pentru analiză semnale multiple destinate testării de circuite și respectiv analizor de protocol capabil de decodare și declanșare pentru analiză interfețe seriale (I2C, UART/RS232).
- 15) **Ext Trig (External Trigger)** – conector de intrare BNC pentru semnal de sincronizare extern.
- 16) **Vertical** – secțiune pentru reglaje pe verticală, conține următoarele butoane și potențiometre: **1 și 2** – butoane activare/dezactivare canal 1/2, **scala verticală** – fiecare canal de intrare dispune de câte un potențiomtru pentru reglarea setării volts/div,

poziție verticală – fiecare canal de intrare dispune de câte un potențiomtru pentru reglarea poziției pe verticală a trasei.

17) **1 și 2** – conectori de intrare BNC ai celor două canale de intrare analogice, aici se conectează sonde sau cabluri BNC.

18) **Gen Out** – ieșire BNC a generatorului de semnal integrat.

19) **Demo/Probe Comp** și **Ground**: borne de ieșire unde este disponibil un semnal pentru compensare sondă pasivă și alte tipuri de semnale, respectiv borna de masă.

20) **USB** – port USB pentru conectare dispozitive de stocare externe sau imprimantă.

2.4. Desfășurarea lucrării

Se vor analiza în domeniile timp și frecvență o serie de semnale folosind osciloscopul numeric Keysight EDUX1002G.

Se efectuează următoarele:

• Semnale sinusoidale

a) Se consideră semnalul sinusoidal analogic $x(t) = A \sin(2\pi f_{in} t) + d$, de amplitudine A , frecvență f_{in} și decalaj (offset sau componenta continuă) d . Se determină expresiile pentru valoarea medie, valoarea efectivă, valoarea de vârf, valorile minimă și maximă și valoarea vârf la vârf, folosind formulele prezentate în coloana 2 a Tabelului 2.1.

b) Se aplică la canalul 1 al osciloscopului un semnal sinusoidal de la ieșirea generatorului de semnal al osciloscopului, activat cu ajutorul butonului **Wave Gen**. Se setează ieșirea generatorului de semnal la High-Z, folosind: **Settings** -> **Output Load**-> selectare **High-Z** cu ajutorul potențiometrului **Entry**. Parametrii semnalului sinusoidal sunt: $A = 2 \text{ V}$, $f_{in} = 1 \text{ kHz}$ și $d = 0 \text{ V}$. Se selectează cel mai mic nivel al zgomotului folosind: **Settings** -> **Add Noise**-> selectare **0%** cu ajutorul potențiometrului **Entry**. Se apasă butonul **1** aferent canalului 1 al osciloscopului și la opțiunea **Probe** se selectează **1.00:1** cu ajutorul potențiometrului **Entry**, în scopul vizualizării unui semnal neatenuat. Se reglează nivelul de zero pe axa de simetrie orizontală a ecranului. Se vizualizează semnalul.

c) Se șterg toți parametrii mășurați folosind butonul **Meas** -> **Clear Meas**-> **Clear All**. Se selectează ca parametri mășurați valorile efective obținute în prezența și în absența componentei continue folosind **Type** -> selectare parametru mășurat cu potențiometrul **Entry** -> **Add Measurement**. Valorile efective sunt cele aferente semnalului de pe ecranul osciloscopului (**DC RMS - FS** și **AC RMS - FS**).

Se modifică decalajul semnalului de intrare d și se vizualizează semnalul în modurile AC și DC. Ce se observă? Justificați răspunsul.

Ce se observă la valorile măsurate **DC RMS - FS** și **AC RMS - FS**? Justificați răspunsul.

d) Se modifică decalajul la valoarea $d = 0,5 \text{ V}$. Se modifică coeficientul timp/div în scopul vizualizării unui număr mai mare de perioade ale semnalului.

Se selectează ca parametri mășurați frecvența, valoarea medie și valoarea efectivă obținută în prezența componentei continue. Ultimele două valori specificate anterior sunt cele aferente semnalului de pe ecranul osciloscopului (**Avg. - FS** și **DC RMS - FS**).

Se măsoară parametrii prezentați în Tabelul 2.1 folosind butonul **Meas** -> **Type** -> selectare **Snapshot** cu potențiometrul **Entry**. Se compară valorile măsurate cu cele teoretice prin intermediul erorii absolute. Rezultatele obținute se trec în Tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Valorile teoretice și măsurate, precum și erorile de măsurare aferente ale unor parametrii caracteristici semnalului sinusoidal analizat.

Parametru caracteristic	Val. teoretică (V)	Val. măsurată (V)	Eroare absolută (mV)
Valoarea medie			
Valoarea efectivă			
Valoarea de vârf			
Valoarea minimă			
Valoarea maximă			
Valoarea vârf la vârf			

Se urmăresc și ceilalți parametrii caracteristici importanți pentru un semnal sinusoidal măsurat de către osciloscop.

e) Se revine la valoare $d = 0$ V și se modifică coeficientul timp/div în scopul vizualizării unui număr cât mai mare de perioade ale semnalului. Se apasă butonul **FFT** de pe panoul frontal al osciloscopului și, apoi, butonul **1** de două ori până când semnalul vizualizat în domeniul timp dispare (butonul **1** nu mai este luminat). Vizualizările în domeniile timp și frecvență se vor efectua separat. Se modifică **Span** la valoarea 20 kHz, **Center** la valoarea 9,5 kHz, **Scale** la 20 dB și **Offset** la -40 dB. Fereastra temporală implicită este Hann. Aceasta poate fi selectată prin **Setting** -> selectare fereastră cu potențiometrul **Entry**. Se verifică dacă prin creșterea numărului de perioade vizualizate rezoluția frecvenței spectrului scade. Aceasta este afișată în partea stânga jos a spectrului semnalului. Se verifică cu ajutorul cursorilor dacă cea mai mare componentă spectrală corespunde fundamentalei, adică are frecvența $f_{in} = 1$ kHz.

f) Se măsoară frecvențele și magnitudinile componentelor spectrale aferente armonicilor cuprinse între ordinele 2 – 10, care depășesc plafonul zgomotului. Pentru a obține valori fixe se apasă butonul **Run/Stop** de pe panoul frontal al osciloscopului, care oprește achiziția semnalelor. Se determină valoarea parametrului **THD** pe baza relației (2.7) luând în considerare numai armonicile semnificative determinate anterior.

g) Se apasă butonul **Wave Gen** și se modifică nivel zgomotului (**Settings** -> **Add Noise** -> se modifică nivelul cu ajutorul potențiometrului **Entry**). Se specifică care este efectul creșterii nivelului zgomotului asupra spectrului semnalului.

h) Se revine la un nivel al zgomotului egal cu 0%. Se selectează fereastra rectangulară. Se compară spectrul semnalului cu cel obținut folosind fereastra Hann. Se vor explica diferențele care apar.

• Semnale dreptunghiulare

a) Se consideră un semnal dreptunghiular analogic de amplitudine A , frecvență f_{in} și factor de umplere k . Se determină expresiile pentru valoarea medie, valoarea efectivă,

valoarea de vârf, valorile minimă și maximă și valoarea vârf la vârf, folosind formulele prezentate în coloana 2 a Tabelul 2.1. Se va preciza cum depind valorile medie și efectivă de factorul de umplere k .

b) Se aplică la canalul 1 al osciloscopului un semnal dreptunghiular de la generatorul de semnal al osciloscopului, caracterizat prin: amplitudine $A = 2$ V, frecvență $f_{in} = 1$ kHz, decalaj $d = 0$ V și factor de umplere $k = 50\%$. Se selectează un nivel al zgomotului egal cu 0%. Se vizualizează acest semnal.

c) Se șterg toți parametrii mășurați folosind butonul **Meas** -> **Clear Meas**-> **Clear All**. Se selectează ca parametri mășurați frecvența, valoarea medie și valoarea efectivă obținută în prezența componentei continue folosind **Type** -> **Add Measurement**-> selectare parametru mășurat cu potențiometrul **Entry**. Valorile medie și efectivă sunt cele aferente semnalului de pe ecranul osciloscopului (**Avg.** - **FS** și **DC RMS** - **FS**). Se măsoară parametrii prezentați în Tabelul 2.1 folosind butonul **Meas** -> **Type** -> selectare **Snapshot** cu potențiometrul **Entry**. Se compară valorile măsurate cu cele teoretice prin intermediul erorii absolute. Rezultatele obținute se trec într-un tabel - Tabelul 2.3, care este identic cu Tabelul 2.2.

d) Se modifică factorul de umplere k la valorile 25%, 50% și 75% și se urmăresc valorile măsurate pentru valorile medie și efectivă. Pentru a obține valori fixe se apasă butonul **Run/Stop** de pe panoul frontal al osciloscopului, care oprește achiziția semnalelor. Se verifică dacă valorile măsurate corespund celor teoretice.

e) Se efectuează aceleași operații ca la punctul e) pentru semnale sinusoidale.

f) Se verifică cu ajutorul cursorilor dacă pentru $k = 50\%$ componentele spectrale ale semnalului corespund armonicilor de ordin impar. Se modifică factorul de umplere la valoarea $k = 20\%$. Se precizează dacă spectrul semnalului conține și componente armonice de ordin par semnificative.

g) Se revine la un factor de umplere $k = 50\%$ și se efectuează aceleași operații ca la punctul g) pentru semnale sinusoidale.

h) Se efectuează aceleași operații ca la punctul h) pentru semnale sinusoidale.

Întrebări:

1. Un semnal sinusoidal de frecvență $f_{in} = 50$ Hz este eșantionat cu o rată $f_s = 1,2$ kHz și au fost achiziționate $N = 512$ eșantioane. Să se determine parametrii J și ν ai frecvenței normalizate λ_0 . Aceeași întrebare în cazul în care $f_s = 1$ kHz.
2. Să se calculeze DTFT a ferestrei Hann.
3. Să se precizeze în ce constă alierea. Pentru semnalul a cărui spectru a fost prezentat în Fig. 2.3(a) să se determine frecvențele pentru componentele armonice impare 15-41.
4. Să se deducă relația (2.7) pe baza relației (2.6).

Bibliografie:

1. D. Belega, *Măsurări electrice și electronice*, Editura Politehnica din Timișoara, 2018.
2. *** *InfiniiVision 1000X-Series Oscilloscopes, Data sheet*, Keysight, 2017.