### 1. Calcule cu Tablouri de numere complexe

## Putere spectrală <u>bilaterală Sxx</u>

Funcția *Power Spectrum.vi*  $(S_{xx})$  calculează puterea spectrală *bilaterală* a șirului de valori reale X după relația (3):

$$S_{xx} = \frac{1}{n^2} FFT\{X\}^* \cdot FFT\{X\} = \frac{1}{n^2} |FFT\{X\}|^2$$
(3)



**X** = tablou **real** 1D de intrare, conține n eșantioane din semnalul de intrare (considerat periodic).

**FFT{X}** este transformata Fourier rapidă sau discretă DFT aplicată șirului X.

Sxx (Power Spectrum) = tabloul de ieșire real 1D, conține n valori (puteri spectrale)

 $Sxx(0)=y_0^2/n^2$  (pătratul coeficientului componentei continue/n<sup>2</sup>)



Power Spectrum, bilateral (conține valori reale)

**4. Puterea interspectrală** <u>bilaterală</u> complexă Sxy(f), dintre două semnale date prin valori reale discrete plasate în cei doi vectori de intrare X și Y (fiecare de câte n valori reale) se realizează prin instrumentul Cross Power.vi, cu relația (4):

$$S_{xy} = \frac{1}{n^2} FFT\{X\}^* \cdot FFT\{Y\} \quad (4)$$

Sxy este un tabloul de ieșire (n valori complexe).

Dacă tablourile de intrare X și Y sunt identice obținem Power Spectrum (valori reale)



Cross Power **bilateral** : X, Y (1D reale)  $\rightarrow Sxy$  (1D complex)



Cross Power.vi ver.18 și 6.0

În literatura de specialitate se întâlnește și următoarea definiție a puterii interspectrale S'xy(f) =  $X(f) \cdot Y^*(f)/n^2$ , caz în care se va calcula conjugata complexă a vectorului Sxy returnat de funcția Cross Power.vi

Dacă  $n=2^k$ , unde k=1, 2, ..., 23, instrumentul apelează transformata Fourier Rapidă FFT. Pentru cazul în care un vector are numărul de elemente egal cu o putere a lui doi iar celălalt vector conține elemente mai puține, se completează vectorul mai scurt cu valori nule până va avea același număr de elemente cu primul, urmând să se aplice relația de calcul.

În diagrama din figură este calculată puterea interspectrală bilaterală folosind instrumentul Cross Power.vi și în paralel observăm calculul explicit după relația (4), constatând identitatea rezultatelor și <u>simetria valorilor</u> <u>modulelor</u> față de componenta centrală Nyquist.

Putere spectrală *unilaterală* la ascultare muzică CD player  $\rightarrow$ 



## 5. Raportul a două tablouri 1D de valori complexe $\rightarrow$ TF, FRF

1.A și B sunt 2 șiruri de **n** numere reale, afișate în PF reprezentând eșantioane preluate în timp cu **spațierea dt;** 

T(perioada)=n\*dt (semnalele sunt considerate periodice); df=1/T

2. Funcția Real FFT.vi primește un tablou de *n valori reale* și returnează *n valori de tipul complex*.

3. Cele două șiruri de numere complexe se împart element cu element prin operatorul Divide

și rezultă tabloul 1D complex (Transfer Function, TF):

$$TF = \frac{FFT\{B\}}{FFT\{A\}} \qquad <=> \quad TF = \frac{FFT\{B\}(i)}{FFT\{A\}(i)}, \quad i=0,..., n-1$$

- sunt convertite în format polar toate cele n valori complexe din tabloul FRF.

Split 1D Array returnează două subșiruri:

Split 1D Array	subşir sus:	array[ <b>0</b> ] array[ <b>index-1</b> ] din TF
array first subarray	subşir jos:	array[index] array[n-1]

În final sunt afișate (în aceeași fereastră grafică) modulele și fazele primelor n/2 valori complexe cu **spațierea df**.





4. **Temă**: modificați aplicația II realizând împărțirea perechilor de numere complexe în cadrul unui ciclu FOR (noua aplicație și cea inițială vor afișa aceleași valori și grafice).

#### 6. Funcții care returnează tablouri complexe:

Cross Power Spectrum(avg), Frequency response (avg) și **tablouri reale**: Coherence Function, Impulse Response

La fiecare iterație câte o linie din tablourile 2D: Semnal 2D Stim și Semnal 2D Rasp, participă la calculul funcțiilor Power Spectrum.vi și Cross Spectrum.vi (ambele bilaterale).

La iterația indice 0 este selectat **Cazul "..0**" în care se inițializează cei trei registrii de transfer cu tablourile Sxy (complex), Sxx (real) și Syy (real).

La iterațiile 1, 2, ..., n-1 este selectat **Cazul** "**1.**" în care se însumează fiecare tablou curent cu tabloul din registru de transfer corespunzător pentru fiecare din cele trei funcții (nu există caz Default).

La ieșirea din ciclu observăm **medierea** cu **nl** (**nr. linii**) a tablourilor 1D de ieșire din regiștri, unde nl este numărul perechilor Stimul – Răspuns sau al liniilor acestor matrice.

**Power Spectrum.vi** rezultă cu relația:  $S_{xx} = \frac{1}{n^2} |FFT\{X\}|^2$  (bilaterală) **Cross Power.vi** rezultă cu relația:  $S_{xy} = \frac{1}{n^2} FFT\{X\}^* \cdot FFT\{Y\}$  (bilat.),

unde *FFT* [X] este Transformata Fourier Rapidă realizată cu funcția: **Real FFT.vi**: Network Functions (avg).vi





Al doilea ciclu For se repetă de n/2 ori.

La ieșirea din acest ciclu rezultă 4 funcții:

1. Funcția complexă **Cross Power Spectrum (avg)** Gxy (**unilateral:** n/2 valori) dată prin două tablouri:

tabloul modulelor (n/2 valori) și tabloul fazelor (n/2 valori), unite într-o structură.

- 2. Funcția complexă **Frequency Response (avg)** dată prin două tablouri: tabloul *modulelor* (n/2 valori) și cel al *fazelor* (n/2 valori), unite într-o structură.
- 3. Funcția reală **Coherence** Function (0..1) cu n/2 valori între 0 și 1:

$$coherence = |avg S_{XY}|^{2} / [avg S_{XX} \cdot avg S_{YY}]$$

4. Funcția reală **Impulse Response (avg)** (n valori) este calculată folosind Transformata Fourier Inversă (Inverse Real FFT.vi) aplicată funcției de transfer mediată (Avg Transfer function).

4.1. Funcția *Transfer function TF* (n valori calculate în etapa 1):

Transfer function =  $avg S_{xy} / avg S_{xx}$ 

4.2. avg Impulse response = inverse FFT(avg Transfer function)

*Inverse Real FFT*.vi primește un tablou 1D de n valori complexe și returnează un tablou 1D de n valori reale.

Funcțiile de mai sus sunt calculate de Network Functions (avg).vi după relațiile în chenar din figură.

coherence = |averaged Sxy(f) |^2/[avg Sxx(f) x avg Syy(f)] avg transfer function = averaged Sxy(f)/avg Sxx(f) avg impulse response = Inverse FFT(avg transfer function)

# I. Integrarea și derivarea numerică (palete: *Calculus VIs, Zeros VIs*) \*\*funcția de integrat dată prin <u>formulă</u> scrisă ca <u>șir de caractere</u>

## 1) Integration.vi

**formula:** control <u>sir de caractere</u> pt. scrierea funcției observate; *start, end*: abscisele limită între care se integrează, derivează...



Integration.vi

X Values: tabloul absciselor echidistante dintre start şi end,
Y Values: tabloul valorilor funcției observate;
Integral of Y: valorile integralei calculate pentru fiecare abscisă din X Values.

### 2) Differentiation.vi

**formula:** <u>expresia funcției</u> = control <u>șir de caractere</u> *number of points:* numărul absciselor echidistante pt. evaluare (10 implicit) numai pentru derivată.



Derivative of Y: derivatele funcției în abscisele din X Values

# 3) **Exemplu:** funcția $\beta * sin(2*x)$

\*funcția este evaluată prin puncte și integrată (Integration.vi) Math./Scripts&Formulas/Calculus

\*funcția este derivată în puncte (Differentiation.vi)



\LabVIEW 6\vi.lib\Gmath\1Dexplo.llb\Eval y=f(x).vi



\*amplitudinea funcției este 3, a derivatei 3\*2,

a integralei  $3^{*}\frac{1}{2}$ 

Obs: derivatele la maxime și minime de funcții sunt 0.

# 4. Evaluare funcție dată prin șir caractere + grafice în XY Graph

Controlul **Listbox** comandă structura Case. Listbox generează tablou de întregi; în tablou intră numai pozițiile selectate din listă.

Tipul de dată: tablou de structuri $\rightarrow$  fiecare structură conține două tablouri de val.reale Funcții folosite: *Integration.vi*, *Differentiation.vi*, *Eval* y=f(x).vi, *Zeros and Extrema of* f(x).vi din subpaletele: Calculus, Zeros și 1D & 2D Evaluation:





In controlul șir de caractere *formula* se introduce *funcția de studiu*.

In controlul **Listbox** (1D array of long [32 bit integer]) se marchează acțiunea sau acțiunile (CTRL+click mouse) dorite. Modul de lucru a listei: selection Mode setat pe '0 or More Items'.



Reg. shift este inițializat cu un tablou structuri care conține 5 elemente (structuri). Structura conține două tablouri 1D de reale (abscise+ordonate curbă). Tabloul de structuri este intrarea acceptată de XY Graph pentru a trasa mai multe grafice.

Ctrl+Mouse se adaugă/ elimină articole din lista Listbox. Tabloul de întregi care conține articolele selectate din Listbox intră cu indexare în ciclul For și selectează cazurile care se execută în CASE. Fiecare caz din CASE execută o funcție care generează o structură de două tablouri (abscise+ordonate) care actualizează Tabloul de 5 structuri la pozița indicată de indicele curent al tabloului de întregi. Acest tablou de structuri este intrarea potrivită pentru XY Graph.

La o nouă repetiție a ciclului While dacă sunt setate alte articole din Listbox alte cazuri sunt executate din CASE și alte structuri sunt actualizate din Tablou cu 5 structuri cu efect asupra curbelor din XY Graph.

# 5. Integrala numerică definită:

Funcția *Numeric Integration.vi* (Mathematics / Integration & Differentiation)
 *Input Array* = un şir de valori discrete (*abscise echidistante*), egal distanțate a funcției de integrat: f(0), f(dt), f(2dt),....,

dt = spațierea între abscisele de calcul a funcției.

integration method: se alege o metodă:

trapezelor	(0),	1D Numeric Integration.vi
Simpson	(1),	Input Array
Simpson 3/	8 (2)	
Bode	(3).	integration method —

Ieșirea **result**: <u>o valoare</u> reprezentând rezultatul integrării numerice.

2) Aplicație: se calculează integrale numerice pentru funcțiile:

- 1. Sine Pattern.vi = media 0
- 2. Modul din Sine Pattern.vi => media 0,637

$$X_{mean} = \frac{1}{T} \int_0^T \left| x(t) \right| dt \quad (1)$$

$$X_{mean} = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} x^{2}(t) dt \quad (1)$$
$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}} \int_{0}^{T} x^{2}(t) dt \quad (2)$$

După integrare se împarte cu **T**=samples\*dt



Integrare numerică Sine Pattern.vi: media, media val.abs, RMS

				Mathematics	
	Corinte & Formulae			Integration & Differ	entiation
	Scripts & Formulas			123 C Y	P
	Calculus			► <sup>®</sup> 2	[[[]×[]
	x eigen v v×f(x) v	∞ .		Numeric Element	Linear Al
					dx/dt
	Formula	Script N	Integration & Differentiation		∫x(t)dt
	abo				Integ &
	1			18 (m) (d) (d) (d) (d) (d) (d) (d) (d) (d) (d	<u> 북</u> × ▼
Take suppliers Differents Lineit	formula			Jittiat dt	
Integration Different Limit	Curve Le	ix 🕨	Numeric Uneven Quadrat	Integral Derivativ	Different
			Jf(x)		1465 X160
Dartial D Extrema Zeros&E	Calculus	Zeros	Time Do		Script &
Fulua D LAUEIIIa ZelosaL			Time Do		purpe de

Palete/subpalete plasare funcții folosite

## 6. INTEGRAREA unui Sir de Esantioane (achiziționate)

6.1. Integral x(t).vi (Mathematics/ Integration & Differentiation)

X=tablou de *n* eşantioane; **dt**=perioada de eşantionare Integral X: tabloul celor n integrale calculate cu o formulă din 4 variante:

Formula 'Trapezoidal Rule', formula Simpson sau altele

$$\begin{aligned} y_i &= \frac{dt}{2} \sum_{j=0}^{i} (x_{j-1} + x_j) \\ i &= 0, \ 1, \ 2, \ \dots, \ n-1, \end{aligned} \qquad \begin{array}{l} y_i &= \frac{1}{6} \sum_{j=0}^{i} \left( x_{j-1} + 4 x_j + x_{j+1} \right) dt \\ i &= 0, \ 1, \ 2, \ \dots, \ n-1. \end{aligned}$$







Prof.dr.ing Iulian Lupea, Programare I, UTCluj

initial condition =  $x_{-1}$  (pt. i=0),

**final cond.** =  $x_n$  (pt. i=n-1) (ambele implicit sunt 0)

Obs#1: x-1,  $x_n \not\subset X$ 

Obs:#2: pentru 2 metode de integrare sunt necesare mai multe condiții inițiale, motiv pentru care intrarea este tablou 1D

Calcul șir Y=Integral X pt. Trapez.Rule

y0=A0, y1=A0+A1, y2=A0+A1+A2, y3=...



6.2. Aplicație: dublă integrare a accelerației furnizate de sine wave.vi:

1.Sine wave.vi generează sinus (=eșantioane presupuse de <u>accelerație</u> măsurate cu accelerometrul) **cu frequency=0.05**, amplitudine sinus=1, samples=100

rezultă expresia:  $1 \cdot \sin(2\pi \cdot 0.05 \cdot t)$  unde  $\omega = 2\pi \cdot 0.05 = 0.314$  [rad/s] 2.se integrează de două ori, rezultă:

grafic1 cu 3 curbe --- spațiere dorită: grafic2 cu 3 curbe --- altă spațiere dorită:

dt1=1s dată de *sine wave.vi* dt2=0,1s



Amplit. viteză după prima integrare:

$$\frac{1}{2\pi \cdot freeventa} = \frac{1}{\omega} = 3,18$$

$$\int \sin \omega t = \frac{-1}{\omega} \cos \omega t + c1$$

Amplit. deplasare după a doua integrare:

$$\frac{1}{\left(2\pi \cdot freeventa\right)^2} = \frac{1}{\omega^2} = 10.13$$

Obs. grafic2: cu **bundle** rezultă cluster de 3 elemente;

cu **build array** rezultă tablou 1D de clustere de 3 elemente; afișare cu *waveform graph* spațierea este 0.1

Important (efect Initial Cond):

control <u>Initial Cond 1=-19</u> => grafic deplasare (Plot 2) $\rightarrow$  este orizontal (nu crescător sau descrescător)

<u>Initial Cond 1=-16</u> =>grafic deplasare crescător (fig) <u>Initial Cond 1=-21</u>=>grafic deplasare

descrescător

control <u>Initial cond 2 → translatează pe</u> ordonată grafic 3 (deplasare)



# 6.3. Comparație Integral x(t).vi \* varianta trapezoidal și \* calcul explicit





$$y_0 = \frac{dt}{2}(x_0 + x_0), \quad y_1 = \frac{dt}{2}[(x_0 + x_0) + (x_0 + x_1)]$$
  
unde  $x_{-1} = x_0$ 

$$v_{i} = \frac{dt}{2} \sum_{j=0}^{i} (x_{j-1} + x_{j})$$
  
$$i = 0, 1, 2, ..., n - 1.$$

7. DERIVAREA NUMERICĂ a unui <u>șir eșantioane</u>:

**Derivative** x(t).vi (Mathematics/ Integration & Differentiation)



**X**=tablou de *n* eşantioane; **dt**=perioada de eşantionare initial condition = **x**-1 (pt. i=0), **x**-1  $\not\subset$  **X**, (x<sub>-1</sub> =0 implicit) final condition= **x**<sub>n</sub> (pt. i=n-1), **x**<sub>n</sub>  $\not\subset$  **X**, (x<sub>n</sub> =0 implicit)

 $y_{i} = \frac{1}{2dt} (x_{i+1} - x_{i-1})$ i = 0, 1, 2, ..., n-1

**dX/dt**: tabloul celor **n derivate discrete** calculate cu o metodă (formulă) din 4 (0,1,2,3)



### 8. Determinarea rădăcinilor unei ecuații în intervalul specificat

8.1. Funcția *Find All Zeroes of f(x).vi* (subpaleta Mathematics/ Zeroes). Funcția este dată prin controlul formula de tip șir de caractere.



\*intrările start și end: specifică intervalul în care rădăcinile sunt căutate.

\*Algoritmul de calcul folosit se bazează pe iterații după metoda **Ridders (0 implicit)** sau **Newton Raphson (1)**.

\*Prin controlul "accuracy" este impusă precizia de determinare a rădăcinilor (implicit 1.e-8).

\*Ieșirea "Zeroes" este tabloul rădăcinilor sau absciselor (zerourilor) găsite,

\*f(Zeroes) este tabloul valorilor funcției pentru rădăcinile găsite acestea fiind valori foarte mici, asociate preciziei impuse.

8.2. Exemplu: determinarea celor patru rădăcini ale ecuației:

$$\cos(x)\cosh(x) = -1,$$

în intervalul [0, 11.1] (algoritmul Newton Raphson),

unde:  $\cosh(x) = (e^x + e^{-x})/2$ ,  $\sinh(x) = (e^x - e^{-x})/2$ .



Prof.dr.ing Iulian Lupea, Programare I, UTCluj

### Sunt trasate 2 grafice; XY Graph primește tablou de 2 structuri

(bundle + build array)

a) Zeroes (abscise) și f(Zeroes)=ordonate trasează soluțiile (cele 4 pătrățele)

```
b) Integration.vi prin cele 2 ieșiri trasează funcția
```

f(x) = cos(x) cosh(x) + 1

în intervalul (start, stop).

Se putea folosi funcția Eval y=f(x).vi pentru grafic în locul funcției Integration.vi.



9. Generare executabil VIs (.exe files) in Labview

- executabilul (stand-alone application) permite:

1.execuția unui .VI în alt sistem de calcul (calculator) în care nu este instalat Labview dar trebuie instalat *LabVIEW Runtime Engine RTE*.

2. aplicația poate fi folosită din alt limbaj de programare

- pentru generare este necesar modulul *Application Builder* să fie instalat (este inclus în LabVIEW Professional Development System)

Etape:

1. inițial trebuie **generat un proiect** care să conțină aplicația .VI. (sau aplicațiile .vi) și salvat (proiectul)



2. apoi 'click dreapta' on **Build Specifications** (in project explorer) și selectezi New/ **Application (.exe)**.



3. Dacă este cazul se selectează (săgeți ->) fișierele sursă care se compilează .



4. Se urmărește în desfășurare procesul de compilare

Items Files		
Project: reprezentare Coef_FFT.lvproj		
Build Specifications	Build status	×
	My Application	
	Service V Seels St. J. Write	
	Saving + Scale Skyle write.vi	
	Warnings	
	Evolore Done Carrel L	delp
		icih

5. Se verifică conținutul directorului unde s-a depus aplicația executabilă. S-a creat un director **build** în care sunt depuse fișierele executabilele:

4 🍌 builds	Annlie CoeffET aliance	11/10/2010 11:08	ALTASES EILA
b 🎍 fibo7		11/19/2019 11:00	ALIASES FILE
	ApplicCoefFFT	11/19/2019 11:08	Application
I is a second and it is a sec	Applic CoefFET	11/19/2019 11:08	Configuration
🌗 My Application	W Applicedent 1	11,15,2015 11100 11	configuration

