Răspunsul Sistemelor folosind MATLAB Simulink

1.1 Noțiunea de sistem. Proprietățile generale ale sistemelor.

Termenul de sistem este o noțiune ce acoperă o varietate extrem de largă de obiecte sau procese care preiau un *semnal de intrare*, îl transformă și apoi transmit mai departe semnalul prelucrat ca un *semnal de ieșire*, denumit și *răspuns al sistemului la semnalul de intrare*; așadar, sistemul este un bloc funcțional ce are una (sau mai multe) intrări și una (sau mai multe) ieșiri. Semnalele respective pot fi mai multe tipuri de mărimi, nefiind neapărat toate de același tip; printre acestea se numără mărimi electrice, cum ar fi tensiunea, curentul sau puterea instantanee, mărimi termice, cum ar fi temperatura sau căldura, mărimi mecanice cum ar fi forța sau presiunea și mărimile informaționale, măsurate în biți. În continuare, se vor considera sistemele cu o intrare și o ieșire, ambele mărimi electrice, așa cum se poate vedea în Fig. 1.



Fig. 1 – Diagrama generală a unui sistem cu o intrare și o ieșire

Sistemele pot fi caracterizate mai mult de anumite proprietăți generale. *Cauzalitatea* se referă la succesiunea temporală a evenimentelor; în cazul unui sistem cauzal, semnalul de ieșire nu se va schimba decât în urma schimbării semnalului de intrare, comportament descris matematic în Ec. (1). *Liniaritatea* se referă la comportamentul liniar al sistemului relativ la semnalele de intrare și ieșire; dacă semnalul de intrare poate fi descompus liniar în mai multe semnale elementare, atunci răspunsul sistemului la semnalul compus va fi aceeași combinație liniară a răspunsurilor la semnalele elementare, după cum este descris în Ec. (2). *Invarianța în timp* se referă la faptul că momentul inițial în care începe aplicarea semnalelor nu afectează comportamentul sistemului, comportament modelat în Ec. (3). *Stabilitatea* este probabil una din cele mai importante caracteristici ale unui sistem pentru un inginer electronist, referinduse la proprietatea sistemului de a produce un răspuns mărginit în amplitudine pentru un semnal de intrare mărginit, așa cum se vede în Ec. (4); lipsa acestei caracteristici într-un sistem poate duce la apariția de neliniarități, oscilații nedorite sau chiar distrugerea circuitului.

Cauzalitate	$x(t) = 0 \forall t < 0 \implies y(t) = 0 \forall t < 0$	(1)
Liniaritate	$x(t) = \alpha_1 x_1(t) + \alpha_2 x_2(t) \implies y(t) = \alpha_1 y_1(t) + \alpha_2 y_2(t)$	(2)
Invarianță în timp	$x(t-t_0) \xrightarrow{L} y(t-t_0) \forall t_0 \in \mathbb{R}$	(3)
Stabilitate	$ x(t) < M_x < \infty \implies y(t) < M_y < \infty$	(4)

În funcție de tipul semnalelor de intrare și ieșire, sistemele mai pot împărțite în sisteme *analogice* și *digitale*. Sistemele analogice sunt în general formate din diporți, circuite electronice cu o poartă de intrare și o poartă de ieșire care utilizează atât componente pasive, cum ar fi rezistoare, condensatoare și inductoare, cât și componente active, cum ar fi

tranzistoare sau amplificatoare operaționale. Sistemele digitale se implementează în general folosind fie circuite digitale, sub formă de componente integrate ASIC sau sintetizate pe FPGAuri, fie folosind algoritmi ce rulează pe microcontrolere sau procesoare de semnal digitale, ele necesitând o interfață formată din convertoare digital-analogice și analogic-digitale pentru a putea interacționa cu domeniul fizic.

Exemple de sisteme ce satisfac toate proprietățile menționate anterior, fiind întâlnite des în domeniul electronicii și telecomunicațiilor, sunt filtrele, amplificatoarele, egalizatoarele audio, defazoarele, integratoarele, derivatoarele și circuitele de întârziere.

1.2 Modelarea răspunsului sistemelor.

În cazul sistemelor analogice, liniare, invariante în timp, relația dintre semnalul de intrare și cel de ieșire se poate modela extrem de ușor prin intermediul unei *funcții de transfer H*(ω), așa cum se vede în Ec. (5). În domeniul timp, aceeași relație se poate modela prin intermediul convoluției semnalului de intrare cu o *funcție pondere h*(*t*), care este perechea Fourier a funcției de transfer; relația în timp dintre răspunsul unui sistem și semnalul de intrare este dată de Ec. (6).

$$Y(\omega) = H(\omega)X(\omega) \tag{5}$$

$$y(t) = h(t) * x(t) \tag{6}$$

Din Ec. (5), ținând seamă că transformata Fourier a unui semnal este o mărime complexă, se poate observa că amplitudinea fiecărei componente spectrale a semnalului de intrare va fi scalată cu modulul funcției de transfer la frecvența respectivă, așa cum se vede în Ec. (7), iar fazei fiecărei componente spectrale îi va fi adăugată un defazaj reprezentat de argumentul funcției de transfer la frecvența respectivă, după cum se vede în Ec. (8).

$$|Y(\omega)| = |H(\omega)| \cdot |X(\omega)|$$
⁽⁵⁾

$$\varphi_{Y}(\omega) = \varphi_{X}(\omega) + \arg\{H(\omega)\}$$
(6)

Există de asemenea anumite semnale de intrare ale căror răspunsuri poartă statut special, întrucât modelează foarte bine răspunsul tranzitoriu al unui sistem. Primul din aceste răspunsuri este chiar funcția pondere h(t), care reprezintă răspunsul sistemului la impulsul Dirac $x(t) = \delta(t)$, fiind utilă pentru modelarea perturbațiilor de scurtă durată la intrarea sistemului. Al doilea este reprezentat de funcția indicială a(t), care reprezintă răspunsul sistemului la funcția treaptă

unitate $x(t) = \sigma(t) = u(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(\tau) d\tau \approx \begin{cases} 0 \ ; \ t < 0 \\ 1 \ ; \ t \ge 0 \end{cases}$, fiind utilă pentru modelarea răspunsului

sistemului la semnale dreptunghiulare de frecvență mică, pentru modelarea unei schimbări spontane în componenta continuă a unui semnal și a altor fenomene tranzitorii similare.

De exemplu, în cazul sistemului reprezentat de circuitul RC din Fig. 2, funcția pondere și funcția indicială sunt reprezentate în Fig. 3.



Fig. 2 – Circuit RC în topologie gamma (filtru trece-jos de ordin 1)



Fig. 3 – Funcția pondere (a) și funcția indicială (b) pentru circuitul RC în topologie gamma (FTJ ord. 1)

O consecință a Ec. (5) și (6) în cazul semnalelor periodice este așa numita **metodă armonică**. Întrucât Transformata Fourier a oricărui semnal periodic poate fi scrisă conform Ec. (7), termenii a_{kc} fiind coeficienții Seriei Fourier Exponențiale pentru semnalul periodic analizat iar ω_0 fiind pulsația fundamentală a semnalului periodic, din proprietatea de sondare a impulsurilor delta Dirac și din relația (5) rezultă în relația (8). Aceasta fiind asemănătoare relației (7), din Ec. (8) se poate extrage termenii Seriei Fourier Exponențiale pentru semnalul de ieșire y(t), așa cum se vede în Ec. (9). În consecință, modulul și faza fiecărei armonici a unui semnal periodic se regăsesc în Ec. (10) și (11).

$$X(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{kc} \cdot 2\pi \cdot \delta(\omega - k\omega_0)$$
⁽⁷⁾

$$Y(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} H(k\omega_0) \cdot a_{kc} \cdot 2\pi \cdot \delta(\omega - k\omega_0)$$
⁽⁸⁾

$$a_{kc_y(t)} = H(k\omega_0) \cdot a_{kc_y(t)}$$
(9)

$$\mathbf{A}_{k_{y(t)}} = \left| H(k\omega_0) \right| \mathbf{A}_{k_{x(t)}}$$
(10)

$$\varphi_{k_{-}v(t)} = \varphi_{k_{-}x(t)} + \arg\left\{H(k\omega_0)\right\}$$
(11)

1.3 Utilizarea MATLAB Simulink.

MATLAB Simulink este o interfață de programare grafică utilizată pentru modelarea și simularea sistemelor dinamice. Interfața acestuia constă în utilizarea de blocuri funcționale care pot fi adăugate în spațiul de lucru și apoi interconectate între ele folosind maniera "drag and drop".

Pentru desfășurarea lucrării, se va utiliza MATLAB R2019, și se vor instala utilitarele *Simulink, Signal Processing Toolbox* și *DSP System Toolbox*, prin apăsarea butonului *Add-Ons*, așa cum se vede în Fig. 4, și apoi căutarea acestora. Pentru a le găsi mai rapid, se pot folosi filtrele din panoul aflat în stânga ferestrei și se pot selecta *Filter By Source > MathWorks* și *Filter By Type > Toolboxes and Products*, așa cum se vede în Fig. 5. Verificarea instalării utilitarelor se poate face apăsând pe săgeata de sub butonul *Add-Ons* din Fig. 4 și apoi selectarea *Manage Add-Ons*, unde se pot vedea utilitarele instalate așa cum se vede în Fig. 6.

📣 MATLAB R20	23a - acad	emic us	e											
HOME	PLC	TS	APPS											
New New Script Live Scr	New pt ▼	Open	G Find Files	Import Data	Clean Data	 ➡ Variable ▼ ➡ Save Workspace ➡ Clear Workspace ▼ 	Favorites	 ☑ Analyze Code ☑ Run and Time ☑ Clear Commands ▼ 	Simulink	Layout	 Ø Preferences Get Path Parallel ▼ 	Add-Ons	? Help	⅔ Community ☆ Request Support Learn MATLAB
	FILE					VARIABLE		CODE	SIMULINK		ENVIRONMENT	-	2	RESOURCES
	Fig.	4 –	Instalar	ea și	adr	nınıstrarea u	tılıtar	elor MATLA	B fol	osino	d butonu	l Add-	-On	S



📣 Add-On	Manager				- 0 ×
Installe	d Updates •				Get Add-Ons
					Q
	Name	▲	Author	Install Date	
	5G Toolbox version 2.6	•	MathWorks	10 November 2023	:
	Audio Toolbox version 3.4	4	MathWorks	10 November 2023	:
	Bluetooth Toolbox version 1.2	4	MathWorks	10 November 2023	:
\bigcirc	Communications Toolbox version 8.0	•	MathWorks	10 November 2023	:
	Control System Toolbox version 10.13	4	MathWorks	20 March 2024	:
/	Curve Fitting Toolbox version 3.9	•	MathWorks	10 November 2023	:
	DSP System Toolbox version 9.16	4	MathWorks	10 November 2023	:
a com	GPU Coder version 2.5	•	MathWorks	10 November 2023	:
	LTE Toolbox version 3.9	4	MathWorks	10 November 2023	:
17 400 47 1 400 - 400 0.1 100000 40 - 400 0.1 100000 41 - 1 4 4000000 41 - 1 4 4000000 40 - 1 4 400000 400 400 - 40000000000	MATLAB Coder version 5.6	•	MathWorks	10 November 2023	:
000	Parallel Computing Toolbox version 7.8	4	MathWorks	10 November 2023	:
\bigcirc	RF Toolbox version 4.5	•	MathWorks	10 November 2023	:
XXXX	Signal Processing Toolbox version 9.2	4	MathWorks	10 November 2023	:
二十	Simulink version 10.7	•	MathWorks	10 November 2023	:
	Symbolic Math Toolbox version 9.3	4	MathWorks	10 November 2023	÷ •

Fig. 6 - Vizualizarea utilitarelor instalate în Add-On Manager

Pentru deschiderea utilitarului Simulink, se poate apăsa pe butonul intitulat ca atare din meniul de sus al MATLAB, afișat și în Fig. 4, sau se poate tasta comanda simulink în consola de comenzi. Apoi se va crea un model nou prin selectarea *Simulink* > *Blank Model* în fereastra nou deschisă, așa cum se vede în Fig. 7.

SMULINK: Nw Lamples Lem Image: Section 1 Section 1 Image: Section 2 Image: Section 2 <td< th=""><th>🍋 Simulink Start Page</th><th></th><th></th><th></th><th>- 0 ×</th></td<>	🍋 Simulink Start Page				- 0 ×
 Contact Contact	SIMULINK®	New Examples	Learn		
Recent • M templates are sponsule, defa ar	C Open	Search			All 🗸 Q
	© Open Recent *a rappunsuf_delts.sk *a committ_sk *a committt_sk *a committ_sk *a committt_sk *a committt_sk *a co	Search My Templates Simulink Simulink Simulink Simulink Simulink Simulink Compared Audio Toolbox Communications Toolbox DSP System Toolbox	Blank Subsystem	Blank Library	Al Image: Constraint of the second secon

Fig. 7 - Crearea unui model Simulink nou

Înainte de a putea modela orice sistem, trebuie configurați parametrii de simulare ai Simulink-ului astfel încât să aibă o rezoluție suficient de bună în timp pentru a putea simula sistemul cerut. Aceasta se poate realiza din meniul *Model Settings > Solver > Solver Details*, care poate fi deschis fie folosind butonul dedicat din meniul *Modeling*, așa cum se poate vedea în Fig. 8, fie apăsând tastele Ctrl+E. Apoi, desfășurând meniul *Solver Details*, se vor modifica

pasul maxim de simulare la 1e-4 (însemnând 10^{-4}) iar pasul minim de simulare la 1e-5 (însemnând 10^{-5}), așa cum se vede în Fig. 9. Restul setărilor se lasă nemodificate.

SIMULATION DEBUG MODELING FORMAT APPS	
Q Find ▼ Model Data Model Schedule Advisor ▼ III: Environment ▼ Editor Explorer Editor EVALUATE & MANAGE DESIGN USION	Model Image Model Image Model Image Model Image Model Image Image <th< th=""></th<>
Fig. 8	8 – Deschiderea meniului <i>Model Settings</i>
8	
Configuration Parameters: raspur	nsuri_delta/Configuration (Active) — 🗆 X
Q Search	
Solver	Simulation time
Math and Data Types	Start time: 0.0 Stop time: 10.0
 Diagnostics Hardware Implementation 	Solver selection
Model Referencing Simulation Target	Type: Variable-step Value Solver: auto (Automatic solver selection)
	▼ Solver details
	Max step size: 1e-4 telative tolerance: 1e-3
	Min step size: 1e-5 boolute tolerance: auto
	Shape preservation: Disable All
	Number of consecutive min steps: 1
	Zero-crossing options
	Zero-crossing control: Use local settings Algorithm: Nonadaptive
	Ime tolerance: 10"128"eps Signal threshold: auto Number of consecutive zero crossings: 1000
	Tasking and sample time options
	Automatically handle rate transition for data transfer
	Allow multiple tasks to access inputs and outputs
	Higher priority value indicates higher task priority
	OK Cancel Help Apply

Fig. 9 - Setarea pasului de simulare al Simulink

1.4 Modelarea unui circuit RC cu topologie gamma de tip FTJ în Simulink și evaluarea răspunsului pentru semnale sinusoidale.

Circuitul RC modelat va fi cel reprezentat în Fig. 2. Pentru a caracteriza sistemul, trebuie calculată funcția de transfer a acestuia. Din Ec. (5) se poate deduce relația pentru funcția de transfer $H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)}$, iar știind că cele două mărimi de intrare și ieșire $X(\omega)$ și $Y(\omega)$ sunt

tensiuni, acestea pot fi rescrise folosind Legea lui Ohm în funcție de curentul $I(\omega)$ ce străbate ambele componente, rezultând o ecuație pentru funcția de transfer care depinde doar de valorile componentelor folosite în circuit, așa cum se poate vedea în Ec. (12).

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{I(\omega) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{I(\omega) \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$
(12)

Odată cunoscută funcția de transfer, sistemul poate fi modelat, așa cum se poate vedea în Fig. 10. Ca prim pas, se va deschide librăria de componente din meniul *Library Browser*. Apoi se vor căuta în respectivul meniu și se vor aduce în spațiul de lucru *Simulink* > *Sources* > *Sine Wave*, *Simulink* > *Continuous* > *Transfer Fcn* și două *Simulink* > *Discrete* > *Zero-Order Hold*, care se vor conecta după cum este arătat în Fig. 10. Pentru a face mai facilă găsirea componentelor, se poate folosi și meniul de căutare identificat în Fig. 10 de cifra 3. Pentru

conectarea componentelor, se poate trage cu ajutorul mouse-ului de porturile de intrare și ieșire ale componentelor, iar săgeata ce apare se trage peste portul sau firul cu care se dorește conectarea.



Fig. 10 – Modelarea unui sistem în Simulink pentru evaluarea răspunsului la semnale sinusoidale

Apăsând de două ori pe blocul *Sine Wave*, acesta se poate deschide, afișând meniul din Fig. 11. Se va seta pulsația semnalului sinusoidal de intrare ca $\omega = 2\pi \cdot 50$ (rad/s). Apăsând de două ori pe blocul *Transfer Fcn*, se va afișa meniul din Fig. 12, unde se poate configura funcția de transfer ca raport de polinoame, precum se vede în Ec. (13), folosindu-se, din conveniență, notația $s = j\omega$.

$$H(\omega) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$
(13)

Se va considera valoarea pentru constanta *RC* din Ec. (6) ca fiind $\frac{1}{2\pi \cdot 200}$, însemnând că în expresia de mai sus vor fi parametrii $a_0 = 1$, $b_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 200}$, $b_0 = 1$, valori care vor fi inserate în meniul de configurare pentru *Transfer Fcn*.

Ì

Block Parameters: Sine Wave	×
aine Wave	
lutput a sine wave:	
O(t) = Amp*Sin(Freq*t+Phase) + Bias	
ine type determines the computational technique used. The paramete he two types are related through:	ers in
amples per period = $2*pi$ / (Frequency * Sample time)	
umber of offset samples = Phase * Samples per period / (2*pi)	
se the sample-based sine type if numerical problems due to running rge times (e.g. overflow in absolute time) occur.	for
irameters	
ne type: Time based	~
e (t): Use simulation time	~
iplitude:	
	1
s:	
	1
equency (rad/sec):	
*pi*50 314.	.16 :
hase (rad):	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
mple time:	
Interpret vector parameters as 1-D	
	and a second sec

Fig. 11 – Configurarea blocului Sine Wave

Fig. 12 – Configurarea blocului Transfer Fcn

Pentru configurarea blocului Zero-Order Hold, se deschide acesta la fel ca în cazul celor două blocuri precedente, și se modifică singurul parametru prezent, timpul de eșantionare, ca fiind dublul pasului maxim de eșantionare, în cazul nostru 2e-4 (sau 0.0002). Blocul acesta reprezintă un circuit de eșantionare ce se găsește în majoritatea aparatelor de măsură digitale, așadar putem considera că este o parte componentă a analizorului de spectru care urmează a fi adăugat. Blocul respectiv reprezintă și modalitatea prin care se poate regla banda de frecvență care se poate vedea cu ajutorul analizorului de spectru.

Pentru completarea diagramei din Fig. 10, se vor adăuga blocurile *Simulink > Sinks > Scope* și *DSP System Toolbox > Sinks > Spectrum Analyzer*. Pentru a putea vizualiza atât semnalul de intrare, cât și semnalul de ieșire, trebuie modificat blocul *Scope* pentru a avea 2 intrări. Se poate face asta deschizând blocul ca în cazul blocurilor precedente, deschizându-se o fereastră ca cea din Fig. 13, apăsând pe imaginea cu rotata dințată marcată în figură cu cifra 1, iar în meniul *Main* schimbându-se *Number of input ports* de la 1 la 2, așa cum este arătat în Fig. 14.

Scope1	- C × Configuration Properties: Scope1	×
	Image: Triggers Trigers	Layout annels (sample based) Configure
	Delay (s): 0 Holdoff (s): 0	<u>Cancel</u> <u>Apply</u>

Fig. 13 – Interfața blocului Scope

Fig. 14 – Schimbarea numărului de porturi de intrare al blocului *Scope*

În meniul *Time* se va modifica intervalul de timp afișat de la Auto la 0.1 și se va bifa opțiunea *Show time-axis label*, așa cum se vede în Fig. 15a. În meniul *Display* se va bifa opțiunea *Show legend* pentru a se afișa legenda din osciloscopul virtual; tot aici se poate modifica atât titlul figurii cât și numele axei verticale, așa cum se vede în Fig. 15b. Înapoi în

fereastra de la Fig. 13, se va apăsa pe butonul de trigger, marcat cu cifra 2, apoi se va modifica modul de declanșare ca fiind Normal și se va seta nivelul de declanșare la 0, oprind funcția Auto level, după cum se vede și în figură.

📣 Configuration Properties: S	Scope X	📣 Configuration Prope	rrties: Scope1 X
Main Time Display	Logging	Main Time Dis	play Logging
Time span:	0.1 ~	Active display:	1
Time span overrun action:	Wrap 🗸	Title:	System Input and Output
Time units:	None v	Show legend	Show grid
Time display offset:	0	Plot signals as ma	gnitude and phase
Time-axis labels:	Bottom displays only	Y-limits (Minimum):	-10
Show time-axis label		Y-limits (Maximum):	10
		Y-label:	y(t)
0	<u>OK</u> <u>Cancel</u> <u>Apply</u>	0	OK Cancel Apply
	(a)		(b)
	Ein 15 Configuration	 	hui Caana

Fig. 15 – Configurarea celor două axe ale blocului Scope

Pentru configurarea numărului de intrări al analizorului de spectru, se apasă de două ori pe blocul *Spectrum Analyzer*, apoi se deschid setările blocului din meniul *File* > *Number of Input Ports*, așa cum se vede în Fig. 16, și se modifică numărul de intrări la 2. Din meniul *View* > *Configuration Properties* se poate afișa legenda pentru analizorul de spectru prin selectarea opțiunii *Show legend*.

a	pectrum Analyzer			
File	Tools View Simulation Help			
\checkmark	Open at Start of Simulation			X
	Number of Input Ports	>		1
	Print	Ctrl+P	\checkmark	2
	Print to Figure			3
	Close	Ctrl+W		More
	Close All Spectrum Analyzer Windows			

Fig. 16 - Setarea numărului de intrări pentru analizorul de spectru

Din acest punct se poate finaliza interconectarea blocurilor din Fig. 10, și se poate rula simularea apăsând butonul *Run*. Rezultatele simulării se pot vedea în Fig. 17 și 18. Atât în cazul osciloscopului virtual cât și în cazul analizorului de spectru virtual, se poate porni și opri afișarea semnalelor individual din meniul *View* > *Style*.



Fig. 17 - Semnalul de intrare și răspunsul acestuia în timp pentru un circuit RC gamma



Fig. 18 - Semnalul de intrare și răspunsul acestuia în frecvență pentru un circuit RC gamma

1.5 Folosirea cursorilor sau a funcției *Peak Finder* din analizorul de spectru pentru măsurarea atenuărilor cauzate de funcția de transfer.

În interfața analizorului de spectru, se poate activa funcția *Peak Finder* prin selectarea butonului încercuit cu roșu în Fig. 19a. Schimbând numărul de vârfuri detectate la valoarea de 2, așa cum se vede în Fig. 19b, se poate măsura valoarea amplitudinii armonicilor semnalului de intrare și de ieșire în decibeli, schimbând canalul pe care se face măsurătoarea prin selectorul aflat în stânga ecranului.

Exerciții:

Completați tabelele de mai jos cu date preluate cu ajutorul cursorilor sau funcției *Peak Finder*. Calculați valoarea teoretică pentru $|H(\omega)|$ folosind formula din Ec. (14). Schimbați funcția de transfer în blocul *Transfer Fcn* pentru al doilea tabel. Observați cât este atenuarea în celulele care au contur îngroșat. Care este legătura dintre frecvențele la care au loc atenuările respective și constanta *RC* din Ec. (12)

Tabelul 1:
$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 200}}$$

	2π · 200					
ω [rad/s]	$2\pi \cdot 50$	$2\pi \cdot 150$	$2\pi \cdot 200$	$2\pi \cdot 400$	$2\pi \cdot 800$	$2\pi \cdot 2000$
$ Y(\omega) $ [dBm]						
$ X(\omega) $ [dBm]						
$ H(\omega) = Y(\omega) - X(\omega) $						
$ H(\omega) $ (teoretic – Ec (14))						

Tabelul 2:
$$H(\omega) = ----$$

$$1+j\omega\cdot\frac{1}{2\pi}$$

	=					
ω [rad/s]	$2\pi \cdot 20$	$2\pi \cdot 50$	$2\pi \cdot 100$	$2\pi \cdot 200$	$2\pi \cdot 500$	$2\pi \cdot 1000$
$ Y(\omega) $ [dBm]						
$ X(\omega) $ [dBm]						
$ H(\omega) = Y(\omega) - X(\omega) $						
$ H(\omega) $ (teoretic – Ec (14))						

$$|H(\omega)|_{dB} = 201g |H(\omega)| = 201g \left| \frac{1}{1 + j\omega RC} \right|$$
(14)

Spectrum Analyzer

File Tools View Simulation Help

Peak Finder

Peak Finder

Peak Finder

Peak Statance:

Peak Statance:

Fig. 19 – Configurarea funcției *Peak Finder* a analizorului de spectru virtual

1.6 Modelarea unui circuit RC cu topologie gamma de tip FTJ în Simulink și evaluarea răspunsului pentru semnale dreptunghiulare.

Schimbați sursa de semnal sinusoidal cu una de semnal dreptunghiular, aducând din librărie în spațiul de lucru blocul *Simulink* > *Sources* > *Pulse Generator*. Configurați apoi blocul astfel încât factorul de umplere să fie 50% iar perioada să fie 1/100 (*s*), așa cum se vede în Fig. 20.

Configurați funcția de transfer pentru a fi $H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 400}}$. Observați cum este afectată

prima armonică în comparație cu următoarele. Pentru vizualizarea cu osciloscopul virtual, setați nivelul de declanșare al trigger-ului la o valoare pozitivă între 0 și 1 (ex: 0.5)

Pulse Conserver	,
Pulse Generator	
Output pulses:	
if (t >= PhaseDelay) && Pulse is on	
Y(t) = Amplitude	
Y(t) = 0	
end	
Pulse type determines the computational technique used.	
Time-based is recommended for use with a variable step so Sample-based is recommended for use with a fixed step sol	lver, while
discrete portion of a model using a variable step solver.	
Parameters	
Dulas have Time based	
Fuise type: Time based	
Time (t): Use simulation time	~
Amplitude:	
1	1
Period (secs):	
1/100	0.01
Pulse Width (% of period):	
50	li i
Phase delay (acca).	10
0	!
Interpret vector parameters as 1-D	



1.7 Răspunsul unui circuit RC la impuls și la treaptă folosind Simulink. Funcția pondere și funcția indicială.

Pentru a determina răspunsul sistemului la funcția treaptă, se va înlocui sursa de semnal folosită anterior cu blocul din librărie *Simulink* > *Sources* > *Step*, așa cum se vede în Fig. 21. Accesând meniul de configurare al blocului, se va schimba momentul în care are loc frontul crescător, însemnând parametrul τ din expresia $\sigma(t-\tau)$, prin modificarea câmpului *Step Time* la 1

valoarea 1. Modificați constanta RC din funcția de transfer $H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$ pentru a lua

valorile $\frac{1}{2\pi \cdot 50}$, $\frac{1}{2\pi \cdot 200}$ și $\frac{1}{2\pi \cdot 500}$ și observați cum se modifică funcția indicială a(t).

Pentru a măsura timpul de creștere (între 0,1 și 0,9), se pot utiliza cursorii din osciloscopul virtual. Aceștia pot fi activați folosind butonul din dreapta butonului de trigger din Fig. 13. Completați tabelul de mai jos pentru cele 3 valori ale constantei *RC* măsurate.

Tabelul 3 – Funcția indicială a circuitului RC de tip FTJ

RC	1	1	1
	$\overline{2\pi \cdot 50}$	$\overline{2\pi \cdot 200}$	$\overline{2\pi \cdot 500}$
Timp de creștere			



Fig. 21 - Schema pentru determinarea funcției indiciale unui sistem

Pentru a determina răspunsul la impuls al sistemului, reprezentat de funcția pondere, trebuie furnizat ca semnal de intrare un impuls delta Dirac. Cunoscând relația $\delta(t) = \frac{d}{dt}\sigma(t)$ ca fiind adevărată, se poate genera impulsul delta prin derivarea semnalului treaptă utilizat anterior, inserând în cascadă un bloc de derivare, care se găsește în librărie la *Simulink* > *Continuous* > *Derivative*, așa cum se vede în Fig. 22. Modificați constanta *RC* cu același valori ca la funcția indicială și observați cum se modifică funcția pondere h(t), apoi completați tabelul de mai jos cu timpul de descreștere (între momentul de timp când h(t) este maxim și cel când h(t) = 0,1) și valoarea maximă atinsă. Ajustați intervalul de timp și de valori afișat de osciloscopul virtual

RC	1	1	1
	$\overline{2\pi \cdot 50}$	$\overline{2\pi \cdot 200}$	$\overline{2\pi \cdot 500}$
Timp de descreștere			
$\max\{h(t)\}$			

Tabelul 3 – Funcția pondere a circuitului RC de tip FTJ

după cum este necesar.



Fig. 21 – Schema pentru determinarea funcției indiciale unui sistem

1.8 Modelarea unui circuit RC cu topologie gamma de tip FTS în Simulink și evaluarea funcției sale de transfer.

Se va modela circuitul RC din Fig. 22, a cărui funcție de transfer este calculată în Ec. (15). Reconstruiți schema folosită la punctul 1.4 și 1.5 în Simulink, reprezentată în Fig. 10. Modificați blocul *Transfer Fcn* astfel încât să modeleze noua funcție de transfer (atenție, este necesar de specificat atât coeficientul $a_1 = RC$ cât și coeficientul $a_0 = 0$ din Ec. (13) pentru a specifica Simulink-ului că se cere folosirea unui polinom de gradul 1 in locul unei constante). Simulați răspunsul circuitului la semnalele sinusoidale cu pulsațiile date în tabelele de mai jos, pentru valorile constantei RC de $\frac{1}{2\pi \cdot 400}$ și $\frac{1}{2\pi \cdot 800}$. Care este diferența față de scenariul analizat la punctele 1.4 și 1.5? Măsurați atenuarea similar cu modul în care s-a procedat la punctul 1.5.

Tabelul 4:
$$H(\omega) = \frac{j\omega \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 400}}{1 + j\omega \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 400}}$$

ω [rad/s]	$2\pi \cdot 40$	$2\pi \cdot 80$	$2\pi \cdot 200$	$2\pi \cdot 400$	$2\pi \cdot 800$	$2\pi \cdot 1000$
$ Y(\omega) $ [dBm]						
$ X(\omega) $ [dBm]						
$ H(\omega) = Y(\omega) - X(\omega) $						
$ H(\omega) $ (teoretic) [dB]						

Tabelul 5:
$$H(\omega) = \frac{j\omega \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 800}}{1}$$

 $1+j\omega\cdot\frac{1}{2\pi\cdot 800}$

	2 0000					
ω [rad/s]	$2\pi \cdot 40$	$2\pi \cdot 80$	$2\pi \cdot 200$	$2\pi \cdot 400$	$2\pi \cdot 800$	$2\pi \cdot 1000$
$ Y(\omega) $ [dBm]						
$ X(\omega) $ [dBm]						
$ H(\omega) = Y(\omega) - X(\omega) $						
$ H(\omega) $ (teoretic) [dB]						



Fig. 22 – Circuit RC în topologie gamma (filtru trece-sus de ordin 1)

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{I(\omega) \cdot R}{I(\omega) \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$
(15)

1.9 Modelarea unui circuit RC cu topologie gamma de tip FTS în Simulink și evaluarea răspunsului pentru semnale dreptunghiulare.

Reconstruiți schema de la punctul 1.6, cu excepția că funcția de transfer folosită va fi cea de la punctul anterior. Reconfigurați blocul *Pulse Generator* pentru a seta factorul de umplere la 50% și perioada la 1/100. Simulați răspunsul circuitului pentru valorile constantei *RC* de $\frac{1}{2\pi \cdot 200}$, $\frac{1}{2\pi \cdot 400}$ și $\frac{1}{2\pi \cdot 800}$. Ce s-a întâmplat cu componenta continuă a semnalului?

1.10 Răspunsul unui circuit RC de tip FTS la impuls și la treaptă folosind Simulink. Funcția pondere și funcția indicială.

Procedați similar ca la punctul 1.7 pentru a afișa funcția indicială și funcția pondere pentru sistemul de la punctul anterior. Simulați răspunsul circuitului pentru valorile constantei RC $\frac{1}{2\pi \cdot 200}$, $\frac{1}{2\pi \cdot 400}$ și $\frac{1}{2\pi \cdot 800}$, și completați tabelele de mai jos, în cazul funcției indiciale cu timpul de descreștere (între 0,9 și 0,1), iar în cazul funcției pondere cu timpul de creștere (între momentul când se atinge minimul h(t) și momentul când h(t) = -0,1). Explicați la funcția pondere h(t) ce fenomen are loc în momentul apariției impulsului $\delta(t)$ de la intrarea sistemului.

<u>rabelui 0 – runcha indiciala a circultului KC de tip r 15</u>							
RC	1	1	1				
	$\overline{2\pi \cdot 200}$	$\overline{2\pi \cdot 400}$	$\overline{2\pi \cdot 800}$				
Timp de descreștere							

<u>Tabelul 6 – Funcția indicială a circuitului RC de tip FTS</u>

Tabelul 7 – Func	tia no	ndere a	circuitului	RC	de tin	FTS
	ila po	nucre a	encultului	KC	ue up	110

RC	1	1	1
	$\overline{2\pi \cdot 200}$	$\overline{2\pi \cdot 400}$	$\overline{2\pi \cdot 800}$
Timp de creștere			
$\min\{h(t)\}$			

1.11 Modelarea unui sistem cu numitorul funcției de transfer de gradul 2 în Simulink.

Recreați schema din Fig. 10. Configurați blocul *Transfer Fcn* pentru a modela funcția de transfer $H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \frac{1}{\pi \cdot 200} - \omega^2 \frac{1}{4\pi^2 \cdot 40000}}$ (atenție, datorită prezenței termenului

imaginar unitar j din notația $s = j\omega$, termenii din Ec. (13) vor fi $a_0 = 1$, $b_2 = \frac{+1}{4\pi^2 \cdot 40000}$,

 $b_1 = \frac{1}{\pi \cdot 200}$ și $b_0 = 1$). Un exemplu de circuit care poate avea această funcție de transfer se poate vedea în Fig. 23.

Măsurați cu ajutorul funcției *Peak Finder* din analizorul de spectru virtual atenuarea pentru pulsațiile din tabelul de mai jos și completați-l, similar cu modul în care s-a procedat la punctul 1.5. Constatați diferențe?

<u>Tabelul 8</u> : $H(\omega) = \frac{1}{1+j\omega}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{4\pi^2 \cdot 4000}$	00			
ω [rad/s]	$2\pi \cdot 50$	$2\pi \cdot 150$	$2\pi \cdot 200$	$2\pi \cdot 400$	$2\pi \cdot 800$	$2\pi \cdot 2000$
$ Y(\omega) $ [dBm]						
$ X(\omega) $ [dBm]						
$ H(\omega) = Y(\omega) - X(\omega) $						
$ H(\omega) $ (teoretic) [dB]						



Fig. 23 - Exemplu: Două circuite RC în cascadă cu repetor neinversor intermediar

1.12 Modelarea unui sistem defazor în Simulink.

Recreați schema din Fig. 10. Configurați blocul Transfer Fcn pentru a modela funcția de

transfer $H(\omega) = \frac{j\omega \frac{1}{2\pi \cdot 200} - 1}{j\omega \frac{1}{2\pi \cdot 200} + 1}$. Un exemplu de circuit care poate avea această funcție de

transfer se poate vedea în Fig. 24.

Folosiți osciloscopul virtual pentru a vizualiza răspunsul sistemului la semnale sinusoidale cu pulsațiile $\omega = 2\pi \cdot 50$, $\omega = 2\pi \cdot 200$ și $\omega = 2\pi \cdot 800$, modificând intervalul de timp afișat de osciloscop astfel încât să fie afișate între 2 și 5 perioade. Ce efect are sistemul asupra amplitudinii semnalelor? Dar asupra fazei acestora? Folosiți cursorii și Ec. (16) pentru a determina întârzierea dintre cele două semnale, t_x și t_y fiind momentele când x(t) și y(t) trec prin 0 succesiv pe frontul crescător, și apoi pentru a calcula defazajul; în final, completați tabelul de mai jos.

T 1 1 1 0		• •	· •	DDD
Tabelul 9	– Detazai	sistem	tin.	HII
Iuoolui)	Deruduj	DISCUTI	up	I I I

ω [rad/s]	$2\pi \cdot 50$	$2\pi \cdot 200$	$2\pi \cdot 800$
$t_y - t_x [S]$			
$\varphi(\omega)$			

$$\varphi(\omega) = -360^{\circ} \cdot \left(t_{y} - t_{x}\right) \cdot \frac{\omega}{2\pi}$$
⁽¹⁶⁾



Fig. 24 - Exemplu: Circuit defazor de tip FTT de ordinul 1 activ

Bibliografie:

- 1. Petrescu T. "Semnale și Sisteme". Politehnica Press, București, 2019.
- Mateescu A., Dumitriu N., Stanciu L. "Semnale şi Sisteme. Aplicații în filtrarea semnalelor". Teora, Bucureşti, 2001.
- Petrescu T., Halunga S., Fratu O., Marcu I., Voicu C., Crăciunescu R. "Analiza și sinteza circuitelor – teorie și aplicații". Politehnica Press, București, 2015.
- Williams A.B., Taylor F.J. "Electronic Filter Design Handbook", a 4-a ediție. McGraw-Hill, New York, 2006.
- 5. <u>www.mathworks.com</u>