

Lauren iu FRANGU

SEMNALE I SISTEME
Îndrumar de laborator

Laborator Semnale și sisteme

1 laborator introductiv + utilizare Matlab

5 laboratoare cu măsurare

1 laborator demo + colocviu

Laborator 1: Protecția muncii, cunoașterea aparatelor, utilizarea Matlab

Obiective: utilizarea generatorului de semnal, alegerea parametrilor semnalului, utilizarea osciloscopului pentru semnale periodice, sincronizarea, măsurarea componentei medii, amplitudinilor, perioadei.

Modul de lucru

1. Porniți generatorul de funcții și alegeți următorii parametri: semnal sinusoidal, frecvență 20kHz, componentă medie 0V, excursia de la vârf la vârf 4V. Calculați amplitudinea semnalului sinusoidal și perioada.

Frecvența = 20kHz

Perioada =

Excursia vârf-vârf = 4V

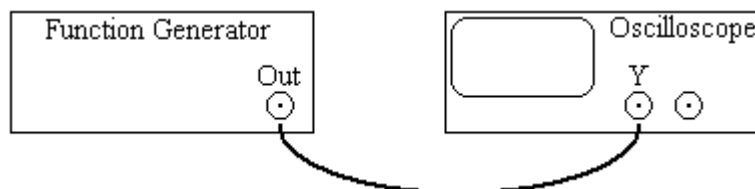
Amplitudinea =

Valoarea componentei medii = 0V

2. Porniți osciloscopul. Obiectivul este de a evidenția pe ecran semnalul periodic, și de a măsura două mărimi: tensiunea (pe vertical) și timpul (pe orizontal). Cuplați ieșirea generatorului cu intrarea canalului 1 al osciloscopului, ca în figură. Folosiți un cablu care are mufe BNC la ambele capete. Atenție la generatoarele cu două canale, folosiți ieșirea corespunzătoare canalului pentru care ați ales parametrii de mai sus. La osciloscop alegeți următoarele opțiuni:

- din meniul canalului 1, alegeți cuplare DC, adică vizualizarea semnalului, inclusiv componenta medie (celelalte opțiuni sînt AC, adică vizualizarea semnalului excluzînd componenta medie, și GND, adică aplicarea tensiunii constante 0V pe acest canal).

- din meniul sincronizării alegeți opțiunile: sursa de sincronizare de la canalul 1 (celelalte opțiuni sînt canalul 2, extern, rețea), cuplarea semnalului de sincronizare DC, frontul crescător pentru declanșare (cealaltă opțiune este frontul descrescător).



3. Manevrați butonul de poziție verticală pe canalul 1 și observați deplasarea imaginii.

Manevrați butonul de poziție orizontală și observați deplasarea imaginii. Reduceți imaginea în centrul ecranului.

Manevrați butonul de nivel de declanșare („Level”) și observați semnalul sincronizat /semnalul nesincronizat, precum și schimbarea valorii semnalului, în momentul de declanșare. Aduceți imaginea în starea sincronizată.

4. Manevrați butonul atenuatorului pe verticală, canalul 1, astfel încât imaginea să ocupe pe verticală cel puțin jumătate din înălțimea ecranului. Măsurați excursia de la vârf la vârf, folosind scara pe verticală a canalului. Calculați amplitudinea semnalului (pentru semnal sinusoidal, este jumătate din excursia vârf-vârf) și comparați cu valoarea aleasă la generator.

Manevrați butonul bazei de timp, astfel încât în imagine să încapă cam două perioade ale semnalului. Măsurați perioada, calculați frecvența semnalului periodic și comparați cu valorile alese la generator.

Frecvența (osciloscop) =

Perioada (osciloscop) =

Excursia vârf-vârf (osciloscop) =

Amplitudinea (osciloscop) =

5. Observați poziția semnalului sincronizat pe ecran. Din meniul canalului 1 alegeți opțiunea AC (fără componenta medie). Observați dacă imaginea s-a deplasat pe verticală și trageți o concluzie, privitoare la valoarea componentei medii și comparați cu valoarea aleasă la generator.

Valoarea componentei medii (osciloscop) =

6. Pentru a stabili nivelul care corepunde pe verticală cu valoarea 0V, alegeți în meniul canalului 1 opțiunea GND. Observați imaginea pe ecran. Manevrați butonul de poziție pe verticală până aduceți imaginea la jumătatea înălțimii ecranului, apoi nu mai modificați poziția. (Același reglaj îl puteți efectua scoțând mufa BNC de la intrarea canalului 1.) Alegeți din nou opțiunea DC.

7. La generator modificați forma semnalului (triunghiular sau dreptunghiular), fără a schimba celelalte opțiuni. Ce valoare are perioada măsurată pe osciloscop? Reveniți la forma sinusoidală.

8. La generator alegeți noua valoare medie a semnalului -1V.

Valoarea medie =

9. La osciloscop, măsurați extremele tensiunii:

Valoarea maximă =

Valoarea minimă =

Apoi, măsurați valoarea componentei medii, astfel: observați poziția imaginii semnalului în ecran, apoi, în meniul canalului 1, schimbați opțiunea DC în opțiunea AC. Observați în ce sens și cu ce valoare s-a deplasat imaginea, atunci când a fost eliminată componenta medie. De aici, deduceți valoarea ei.

Valoarea componentei medii (osciloscop) =

Reveniți la opțiunea DC.

10. La osciloscop observați frontul și valoarea semnalului, în momentul de declanșare. Alegeți din meniul de sincronizare opțiunea frontului descrescător. Ce se întâmplă cu frontul și valoarea semnalului, în momentul de declanșare?

Alegeți din același meniu opțiunea de sincronizare cu canalul 2. Ce se întâmplă cu imaginea semnalului? Reveniți la sincronizarea cu canalul 1.

Lucru independent:

11. Utilizarea funcțiilor de bază în Matlab (funcții aritmetice, lucrul cu vectori și matrice, instrucțiunile *if*, *for*, *while*), simularea unor semnale simple.

Citiți sursa programelor demonstrative, identificați: cuvintele rezervate pentru instrucțiuni, operatorii, sintaxa și numele variabilelor introduse în program. Folosiți comanda „help” din fereastra de comandă, pentru a obține explicații despre cuvintele rezervate și operatori.

Rulați programele demonstrative, observați concordanța rezultatelor din fereastra de comandă sau din ferestrele de afișare cu cele așteptate.

Programe demonstrative: **laborator11.m** (comenzile elementare, lucrul cu vectori și matrice, afișarea, grafice), **laborator12.m** (generarea unei secvențe de sinusoid)

12. Scrieți un program simplu, în care se declară un vector linie și un vector coloană, de lungimi 5.

Componentele vectorului linie: 3, 4, 5, 6, 7. Componentele vectorului coloană: 0, 1, 2, 3, 4.

Programul calculează:

- produsul vector linie x vector coloană

- produsul vector coloană x vector linie

- vectorul ale cărui elemente sunt produsele elementelor de pe pozițiile corespunzătoare ale vectorului coloană.

4. Se modifică forma semnalului de la generator, în semnal dreptunghiular, cu factor de umplere 20%, 25%, 33%. Factorul de umplere este raportul dintre durata unui impuls și perioada impulsurilor. La generatoarele de semnal Rigol, se folosește meniul *Duty Cycle* (termenul din limba engleză, pentru factor de umplere). Pentru fiecare dintre valorile alese, se verifică valoarea $(\frac{\tau}{T})$ în domeniul timp. Apoi se modifică baza de timp, până când este atât convenabil spectrul semnalului și se determină care este prima armonică la care se anulează amplitudinea. Se verifică dacă ordinul armonice anulate corespunde cu valoarea indicată de teorie (vezi breviarul teoretic).

Factor de umplere	20%	25%	33%	50%
Ordinul armonice anulate, măsurat				
Ordinul armonice anulate, teoretic				2

Se revine la factorul de umplere 20%, se manevrează baza de timp a osciloscopului, până când în imagine încep primele 20-25 armonice. Se verifică forma aparentă în urma toarei spectrului de amplitudini: modulul funcției sinus cardinal.

Lucru independent:

5. Generarea semnalelor periodice în Matlab. Program demo: [Laborator21.m](#).

6. Analiza spectrală a semnalului periodic. Program demo: [Laborator22.m](#)

Explicați: se generează și antioanele unui semnal sinusoidal (2000 de antioane), frecvența 100Hz, amplitudinea 10, frecvența componentei medii, frecvența de eantionare 10kHz. Pentru analiza Fourier se folosește funcția `fft.m` și se calculează modulul vectorului rezultat.

Figura 1: primele 400 de antioane ale semnalului, timpul în ms

Figura 2: primele 1000 valori discrete ale caracteristicii spectrale (se vede linia corespunzătoare semnalului sinusoidal, restul este zgomot)

Figura 3: afișate numai primele 150 valori discrete, în funcție de valorile frecvenței. Se vede linia la 100Hz

Figura 4: similar, după ce am adăugat componenta medie

Analiza spectrală a semnalului dreptunghiular (factor de umplere 50%, apoi 11%)

Explicați: se generează și antioanele unui semnal dreptunghiular (aceiași parametri ca mai sus). Se verifică amplitudinile componentelor spectrale.

Figura 5: primele 400 de antioane ale semnalului dreptunghiular, factor de umplere 50%, frecvența componentei medii

Figura 6: primele 1000 valori discrete ale caracteristicii spectrale (se vede linia spectrală cu amplitudini descrescătoare)

Figura 7: afișate numai primele 250 valori discrete, în funcție de valorile frecvenței. Se verifică apariția liniilor spectrale: fundamentală, la 100Hz, armonică a 3a (300Hz), amplitudine cam 1/3 din fundamentală, armonică a 5a (500Hz), amplitudine cam 1/5 din fundamentală etc. Rezultatele în

concordanță cu teoria (aplicarea 2.1 din curs)? $A_i = \frac{4}{f} \cdot \frac{1}{i}$, pentru i impar și $A_i = 0$ pentru i par

Figura 8: primele 400 de antioane ale semnalului dreptunghiular, factor de umplere 11%, programul calculează și afișează valoarea factorului de umplere, gama

Figura 9: primele primele 1000 valori discrete ale caracteristicii spectrale (se vede modulul componentei medii, apoi se vede linia spectrală cu amplitudini corespunzătoare cu funcția sinuscardinală). Se verifică faptul că amplitudinea trece prin 0 aproximativ la fiecare a 9a armonică.

De ce? Conform cu exemplul din curs (aplicarea 2.2), amplitudinea armonicei i este

$A_i = \frac{\tau}{T} \text{sinc}(if \frac{\tau}{T})$, deci se anulează armonică pentru care produsul dintre ordinul armonice și

factorul de umplere este un întreg. În cazul de față, factorul de umplere este 11%, deci armonicile 9, 18 etc. vor avea amplitudine 0.

Figura 10: primele 13 armonice, funcție de frecvență. Se verifică faptul că armonică cu amplitudinea este a 9a.

7. Program scris de studenți: se generează armonicile semnalului de 100Hz, cu amplitudini calculate conform cu aplicația 2.1 din curs, astfel încât să rezulte semnal dreptunghiular, 50%. Programul trebuie să însușească armonicile, pe măsură ce se generează, și să afișeze semnalul sum, până la armonică 39 (armonicile pare sînt nule). Se constată cum se îmbunătățește aproximarea semnalului dreptunghiular.

Exemplu numai până la armonică 19: demo [laborator23.m](#), [laborator24.m](#).

8. Program scris de studenți: aplicația 2.3 din curs (demo [laborator25.m](#)).

Breviar teoretic

2. Semnalul este dreptunghiular, cu factor de umplere 50%. Amplitudinile armonicilor SFA au fost calculate în aplicația 2.1. Semnalul este exprimat prin relația:

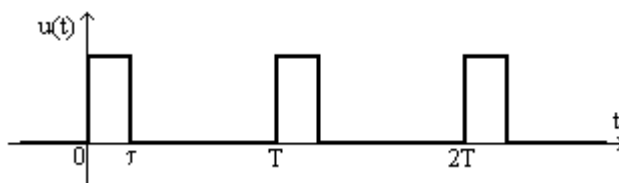
$$u(t) = \frac{4}{f} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cdot \cos[(2k+1)\omega_0 t - \pi/2].$$

Se observă prezența numai a armonicilor impare (prima armonică este 2). Amplitudinile armonicilor sînt în raport cu fundamentală: 1/3, 1/5, 1/7, ... În acest context, informația de fază nu este relevantă (originea timpului este arbitrar). La fel, componenta medie nu este relevantă (prezența armonicilor și raportul lor cu fundamentală nu depind de prezența componentei medii).

3. Semnalul este triunghiular, simetric. Amplitudinile armonicilor au valorile: $A_i = \frac{8}{i^2 f^2}$, pentru i = impar, respectiv $A_i = 0$, pentru i = par.

4. Semnalul este dreptunghiular, cu factor de umplere variabil. Factorul de umplere este raportul dintre durata unui impuls și perioada impulsurilor, adică $\frac{\tau}{T}$ (vezi figura). Amplitudinile armonicilor SFC au fost calculate în aplicația 2.2 și sînt exprimate prin relația:

$$A_i = \frac{1}{T} \text{sinc} \frac{i\omega_0 \tau}{2} = \frac{1}{T} \text{sinc} \frac{i\tau}{2} \cdot \frac{2f}{T} = \frac{1}{T} \text{sinc}(if \cdot \frac{\tau}{T})$$



Se anulează armonicile pentru care produsul dintre ordinul armonicilor (i) și factorul de umplere este număr întreg, adică argumentul funcției sinc este multiplu de π . De aici se deduce prima armonică anulat, în cazurile în care factorul de umplere ia valorile 20%, 25%, 33%, 50%: armonică a 5-a, a 4-a, a 3-a, a 2-a.

În figura toarea amplitudinilor armonicilor are forma graficului funcției sinus cardinal. Spectrul afișat pe osciloscop urmărește modulul funcției sinc.

Model de raport al lucrării de laborator:

Numele studentului

Data

Analiza spectrală a semnalelor periodice

1. Analiza spectrală a semnalului sinusoidal

Măsurare în domeniul timp

Amplitudinea semnalului:V

Perioada semnalului:s

Frecvența semnalului:Hz

Valoarea efectivă (calculată):V

Măsurare în domeniul frecvență

Frecvența fundamentalei:Hz

Înălțimea liniei spectrale la frecvența 0:V

Înălțimea liniei spectrale la frecvența fundamentalei:V

Este reprezentată componenta medie, în analiza Fourier a osciloscopului?

Corespunde înălțimea liniei spectrale cu valoarea calculată (la măsurarea în domeniul timp)?

2. Analiza spectrală a semnalului dreptunghiular, cu factor de umplere 50%

Armonica	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Val. efectivă măsurată (V)									
Raport armonic /fundamental	1								
Raport teoretic	1								

Datele măsurate corespund cu valorile teoretice?

3. Analiza spectrală a semnalului triunghiular, simetric

Armonica	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Val. efectivă măsurată (V)									
Raport armonic /fundamental	1								
Raport teoretic	1								

Datele măsurate corespund cu valorile teoretice?

4. Analiza spectrală a semnalului dreptunghiular, cu factor de umplere diferit de 50%.

Factor de umplere	20%	25%	33%	50%
Ordinul armonice anulate, măsurată				
Ordinul armonice anulate, teoretic				2

Datele măsurate corespund cu valorile teoretice?

Înălțimea toarei spectrului are aspectul modulului funcției sinus cardinal?

(Aici schișați înălțimea toarei spectrului)

Laborator 3: Analiza spectrală a semnalelor neperiodice

Obiective: analiza spectrală a semnalelor neperiodice, utilizarea funcției FFT a osciloscopului, vizualizarea semnalelor perturbatoare și a semnalului de microfon.

Modul de lucru

1. Se cuplează la canalul 1 al osciloscopului o sondă (atenuarea 1:1), sincronizarea de la canalul 1. Orientativ, scările 2V/div (verticală) și 20ms/div (orizontală). Se scoate capacul gheare de la sondă (sau se retrage capacul) și se atinge cu degetul vârful sondei. Se memorează semnalul cvasiperiodic obișnuit (apăsare pe butonul Run/Stop, pentru starea Stop). Din înregistrarea în timp, se determină aproximativ perioada și valoarea de vârf ale semnalului, apoi se calculează frecvența fundamentalei și valoarea efectivă. (Semnalul înregistrat reprezintă o perturbare cvasiperiodică, provenind de la rețeaua electrică din laborator. Verifică și faptul că frecvența semnalului coincide cu cea a rețelei.)

Perioada fundamentalei (m.s.) =

Valoarea de vârf (m.s.) =

Frecvența fundamentalei (calc.) =

Valoarea efectivă (calc.) =

2. Se selectează opțiunea MATH a osciloscopului, pentru a fi făcută analiza Fourier (analiza în frecvență). Afișarea pe verticală trebuie să fie în Vrms (dacă este afișată în dB, se schimbă unitatea de măsură din meniul MATH). Se măsoară frecvența fundamentalei și valorile efective ale componentelor spectrale:

	Armonica 1 (fundamentală)	Arm. 2	Arm. 3	Arm. 4	Arm. 5	Arm. 6	Arm. 7	Arm. 8
Frecvența (Hz)		–	–	–	–	–	–	–
Valoarea efectivă a armonice (V)								

Se compară valorile obișnuite la analiza în timp cu cele obișnuite la analiza în frecvență :

Frecvența fundamentalei, coincide?

Valoarea efectivă a fundamentalei, coincide?

3. Pentru a schimba semnalul memorat, se selectează în meniul funcției FFT afișarea pe verticală în dB-Vrms. Se observă noul aspect al funcției spectrale. Se determină două valori utile: valoarea efectivă a fundamentalei și valoarea efectivă a zgomotului (palierul cel mai de jos). Pentru calculul lor, vezi relațiile de definiție de la finalul referatului.

Observație importantă: valoarea efectivă a fundamentalei trebuie să fie similară cu valoarea determinată din analiza în timp. În schimb, nivelul zgomotului nu poate fi determinat decât din analiza în frecvență.

Valoarea efectivă a fundamentalei (dB) =

Valoarea efectivă a zgomotului (dB) =

Valoarea efectivă a fundamentalei (Vrms) =

Valoarea efectivă a zgomotului (Vrms) =

4. Se revine la funcționarea în domeniul timp (apăsare pe butonul Run/Stop, pentru starea Run). Se cuplează sonda la un microfon de telefonie. Orientativ, scările la 20mV/div și 2ms/div. Se rostesc (foarte aproape de microfon), în mod prelungit, un sunet vocalic (exemplu: „uuuu...”). Unele semnale au aspect apropiat de o sinusoidă, altele sînt cvasiperiodice, dar cu o formă mai complicată (încearcă și „aaaa...”). Se memorează semnalul (Run/Stop pe Stop) și se observă semnalul cvasiperiodic. Se observă o oarecare periodicitate, pentru care se poate determina perioada, apoi perioada unui semnal oscilant mai rapid, cuprins în interiorul unei perioade „mari”. Se determină,

cu aproximație, frecvențele corespunzătoare. Se verifică în analiza spectrală dacă apar componente spectrale vizibile la aceste frecvențe.

Coincid frecvențele din analiza spectrală cu cele determinate la analiza în timp?

Observație importantă: se observă că funcția spectrală este nu mai este doar un spectru de linii, ca la semnale periodice, ci apar și secțiuni în care este continuă (ca la semnale neperiodice).

5. Se determină intervalul spectral în care modulul funcției spectrale este cel puțin 1/20 din valoarea componentei celei mai mari. În mod convențional (doar în această lucrare) îl vom numi banda utilă a semnalului.

Banda =

6. Se repetă analiza în frecvență, pentru un semnal mai grav sau mai înalt (voce masculină vs. voce feminină), și pentru alt sunet emis. Puteți folosi sunetul de alarmă emis de un telefon sau semnalul emis de un receptor radio. Se observă modificarea aspectului modulului funcției spectrale și modificarea benzii.

7. Se utilizează analizorul spectral pentru determinarea frecvențelor pe care emit posturile de radio din vecinătate. Observați că funcția spectrală afișată conține linii care nu sînt armonicele unui semnal periodic.

Frecvențele ale posturilor de radio:,

Lucru independent:

8. Reconstituirea unui semnal periodic, folosind inversa funcției FFT. Program demo: [Laborator31.m](#).

9. Analiza Fourier pentru semnal cvasiperiodic și pentru zgomot. Program demo: [Laborator32.m](#).

10. Calculul frecvențelor notelor muzicale. Program demo: [Laborator33.m](#).

Breviar teoretic

1. Pentru semnal sinusoidal, cu medie nulă, valoarea de vîrf și valoarea efectivă sînt legate prin relația:

$$U_v = U_{ef} \cdot \sqrt{2}$$

3. Prin definiție, nivelul măsurat în dB este: $U_{dB} = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_{ref}}$, unde baza logaritmului este 10. Un

caz frecvent întâlnit (inclusiv în osciloscopul din laborator) este cel în care nivelul de referință are valoarea 1V. Valoarea tensiunii, exprimată în V, se obține din:

$$x = \frac{U_{dB}}{20}, \quad U = U_{ref} \cdot 10^x.$$

Valori uzuale ale puterilor lui 10:

Exponent	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Puterea lui 10	1	1,26	1,59	2	2,51	3,16	3,98	5	6,31	7,94	10

Laborator 4: Analiza semnalelor modulate MA

Obiective: analiza spectrală a semnalelor modulate MA, metode de modulare și demodulare MA, discernerea semnalului obținut prin însumare de cel obținut prin modulare MA.

Modul de lucru

1. Generarea semnalelor armonice, care vor fi folosite pentru modulare

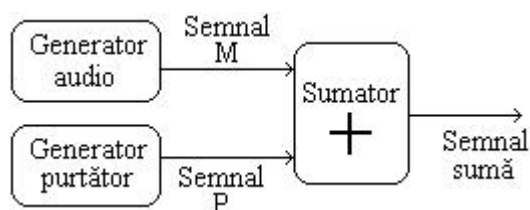
Se generează semnal sinus, cu frecvența purtătorului, f_p . Pe sertarul cu module Emona există ieșire de semnal purtător (*carrier*), frecvența 100kHz. Se aplică la osciloscop, se măsoară amplitudinea și perioada, se calculează frecvența.

Se generează semnal sinus, cu frecvența modulatorului, f_m . Se folosește modulul generator armonic de audiofrecvență, se alege frecvența între 5-8kHz. Se aplică la osciloscop, se măsoară perioada, se calculează frecvența.

Frecvența semnal P (va fi folosit mai târziu ca semnal purtător) =

Frecvența semnal M (va fi folosit mai târziu ca semnal modulator) =

2. Analiza frecvențială a sumei a două semnale armonice.



Se însumează cele două semnale, ca în desen; la platforma Emona, modulul sumator se numește *Adder*. Pentru a obține amplitudini convenabile, se procedează astfel: se aplică semnalul P la o intrare și se reglează amplificarea corespunzătoare, încât amplitudinea ieșirii să fie identică cu a intrării (valoarea amplificării a devenit 1). Apoi se îndepărtează semnalul P, se aplică semnalul de joasă frecvență (M) la cealaltă intrare a sumatorului, se reglează amplificarea corespunzătoare, astfel încât amplitudinea la ieșire să fie 1/3 din amplitudinea semnalului M. Amplitudinile celor două componente sînt:

Amplitudinea semnal P ($U_{purtător}$) =

Amplitudinea semnal M ($U_{modulator}$) =

Se reconectează semnalul P la intrarea inițială, se vizualizează semnalul sumă pe ecranul osciloscopului. Schișați semnalul sumă. Se trece la opțiunea FFT a osciloscopului, schișați spectrul (se poate folosi un analizor spectral, în același scop, cu condiția să vizualizeze intervalul spectral 5-200kHz). Se verifică pe schișă valorile frecvențelor și dacă amplitudinile celor două componente sînt în raportul așteptat. Notați valoarea efectivă și unitatea de măsură pentru componentele spectrale.

Schișați semnalul sumă =

Schișați spectrul semnalului sumă =

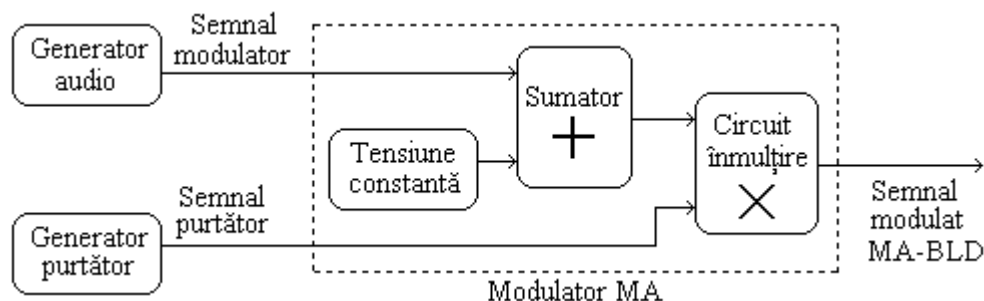
Frecvențele componentelor spectrale =

Amplitudinile componentelor spectrale =

3. Analiza frecvențială a semnalului modulat MA-BLD.

Se generează semnalul modulat MA-BLD, după cum urmează. Se decuplează semnalul P de la intrarea sumatorului. În locul său, se conectează semnalul constant (modulul *DC source* de la platforma Emona). Se ajustează componenta constantă U_0 , astfel încât să fie mai mare decât amplitudinea semnalului M. Acest lucru se verifică vizualizînd semnalul sumă, care trebuie să aibă

mereu același semn. Media semnalului sum este componenta constantă, U_0 . În acest moment, la intrările sumatorului se află semnalul modulator (notat anterior cu M) și componenta constantă. Amplitudinea semnalului modulator, $U_m =$
Componenta constantă, $U_0 =$



Semnalul de la ieșirea sumatorului și semnalul purtător (notat anterior cu P) se aplică la intrările circuitului de înmulțire (la platforma Emona, este modulul *Multiplier*), ca în figură. Se vizualizează semnalul modulat MA-BLD, în domeniul timp și schișa și semnalul modulator. Se măsoară valorile maxime și minime ale anvelopei (în funcție de toare) semnalului, A_M , A_m . Din ele se calculează gradul de modulație:

$$m = \frac{A_M - A_m}{A_M + A_m}$$

Se alege opțiunea FFT și se vizualizează spectrul și schișa și spectrul.

Schișa semnalului modulat (domeniul timp) =

Schișa spectru semnalului modulat =

Gradul de modulație teoretic, calculat din măsurătorile de intrare, $m = \frac{U_m}{U_0} =$

Gradul de modulație experimental, calculat din extremele anvelopei, $m =$

Raport între amplitudinile componentelor laterale și amplitudinea purtătorului =

Frecvențele componentelor laterale =

Se verifică dacă amplitudinile componentelor laterale sînt în raportul $m/2$ față de amplitudinea purtătorului. Se verifică dacă frecvențele componentelor laterale sînt $(f_p - f_m)$ și $(f_p + f_m)$.

Pentru scurt timp, se măsoară amplitudinea semnalului modulator, astfel încît să se depășească gradul de modulație 1. Se observă pe osciloscop forma semnalului supramodulat (domeniul timp), apoi se revine la amplitudinea anterioară.

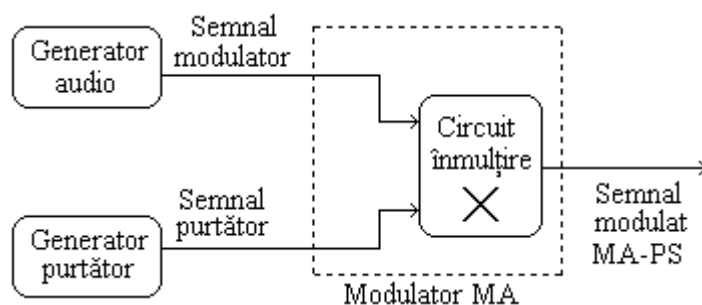
4. Demodularea de anvelopă a semnalului MA-BLD



Semnalul modulat MA-BLD este adus la intrarea demodulatorului de anvelopă (la platforma Emona, se folosesc cele două borne notate *Diode + LPF*). Se vizualizează semnalul demodulat și se verifică dacă este similar cu semnalul modulator (M).

Pentru o comparație sugestivă, se variază ușor (crescător și descrescător) amplitudinea semnalului modulator, în timp ce se observă semnalul demodulat. Apoi se variază ușor frecvența sa, cu același scop.

5. Analiza frecvențială a semnalului modulat MA-PS



Pentru modulare cu purtător suprimat, se aduc semnalele purtător și modulator la intrările circuitului de înmulțire, ca în figură. Același rezultat se obține dacă, fără a modifica structura circuitului de la punctul precedent, se reglează la 0 componenta constantă. Se vizualizează semnalul modulat – schișa și semnalul modulator, apoi se vizualizează spectrul – schișa și spectrul. Se verifică prezența purtătorului și frecvențele componentelor laterale.

Schișa semnal modulat =

Schișa spectru semnal modulat =

Amplitudinea componentei spectrale pe frecvența purtătorului =

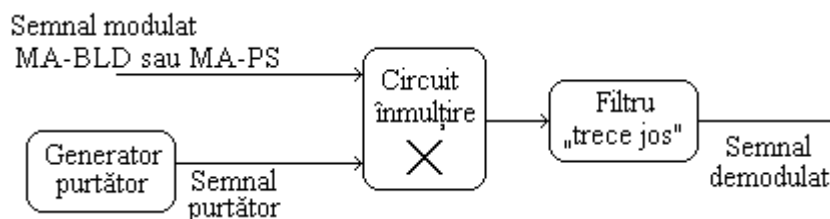
Frecvențele componentelor laterale =

Amplitudinile componentelor laterale =

6. Demodularea semnalului MA-PS

Se procedează la fel ca la punctul 4, pentru demodularea de anvelopă. Ce se constată, în privința semnalului obținut după demodulare?

Se schimbă soluția de demodulare, astfel: se aduc semnalul modulat și semnalul purtător la intrările unui al doilea circuit de înmulțire. Semnalul obținut se aduce la un filtru „trece jos” (la platforma Emona, un modul *LPF*). Se vizualizează semnalul demodulat și se compară cu semnalul modulator original.



Pentru a justifica necesitatea filtrului, se vizualizează semnalul de la ieșirea circuitului de înmulțire.

Este similar cu semnalul modulator?

În continuare, pentru același semnal, se alege opțiunea FFT a osciloscopului și se verifică prezența liniei spectrale, corespunzătoare semnalului modulator. Ce alte componente spectrale mai sunt prezente?

Frecvența componentei spectrale audio =

Frecvențele componentelor spectrale superioare =

7. Pentru ilustrarea modulației de amplitudine, cu purtător armonic și semnal modulator oarecare, se reface schema de modulare de la punctul 3, în care se înlocuiește semnalul modulator armonic cu semnal de microfon. Se vizualizează semnalul modulat, se alege opțiunea FFT și se observă benzile laterale din funcția spectrală.

Lucru independent

Simulare Matlab

8. Demo „laborator41.m”. Simulează semnalul purtător (100Hz), modulator (5Hz), calculează suma semnalelor. Afișează semnalul sumă, determină din grafic amplitudinile celor două componente. Compară graficul cu schița obținută la osciloscop. Determină din grafic perioadele semnalelor purtător și modulator, apoi calculează frecvențele. Calculează modulul caracteristicii spectrale, afișează intervalul pînă la 120 Hz, verifică frecvențele componentelor, verifică raportul amplitudinilor. Compară modulul caracteristicii spectrale cu schița obținută la osciloscop (sumă de semnale).

Simulează semnalul modulat MA-BLD, obținut din semnalele purtător și modulator de mai sus. Afișează semnalul modulat, se determină din grafic gradul de modulație. Compară graficul cu schița obținută la osciloscop. Calculează modulul caracteristicii spectrale, afișează intervalul pînă la 120 Hz, verifică frecvențele componentelor prezente în spectru, verifică raportul dintre amplitudinile componentelor laterale și amplitudinea purtătorului. Compară spectrul cu schița obținută la osciloscop. Notează care mrimi nu corespund cu valorile teoretice. (Înc nu tim de ce apar erori.)

Alege un semnal modulator ca sumă de două componente sinusoidale (reducem gradul de modulație, pentru a evita supramodulația). Afișează semnalul modulat, apoi calculează modulul caracteristicii spectrale. Verifică existența liniilor spectrale laterale, la valorile corecte ale frecvențelor.

9. Demo „laborator42.m”. Repetă simularea pentru MA-PS. Simulează semnalele purtător și modulator, apoi semnalul modulat MA-PS. Afișează semnalul modulat. Verifică pe grafic perioada semnalului purtător, apoi a semnalului modulator. Calculează frecvența semnalului modulator. A rezultat cumva altă frecvență decît cea folosită? Unde este greșeala?

Calculează modulul caracteristicii spectrale, afișează intervalul pînă la 120 Hz, verifică frecvențele componentelor prezente în spectru, verifică amplitudinile componentelor laterale. Notează care mrimi nu corespund cu valorile teoretice.

Calculează produsul dintre semnalul modulat și semnalul purtător, pentru demodulare. Afișează semnalul produs. Peste componenta de frecvență joasă (modulatorul), se observă componenta de frecvență dublă (față de purtător). Afișează rezultatul demodulării (înmulțirea cu purtătorul și filtrare trece-jos). Tipul de filtru va fi explicat în sem. 4. Se notează amplitudinea semnalului demodulat.

Repetă demodularea, cu eroare de fază la purtător (75 grade). Se observă forma schimbată a semnalului produs. Se notează, din nou, amplitudinea semnalului demodulat și se compară cu cea obținută la demodularea corectă.

Frecvența semnalului modulator =

Eroare ?

Frecvențele componentelor laterale MA-PS =

Amplitudinile componentelor laterale MA-PS =

Erori ?

Amplitudine semnal demodulat =

Amplitudine semnal demodulat, cu eroare de fază la purtător =

10. Demo „laborator43.m”. Modularea impulsurilor în amplitudine, MIA

Generează semnalul purtător (impulsuri pozitive, 40Hz, umplere 50%). Generează semnalul modulator, amestec de două semnale armonice, necoerente: 5Hz și 3,5Hz). Afișează semnalele. Generează semnalul modulat în amplitudine (MIA), afișează semnalul. Calculează și afișează

caracteristicile spectrale ale purtătorului și semnalului modulat. Verifică apariția componentelor laterale, fa-
 de componentele spectrale ale purtătorului, verifică frecvențele lor.

Breviar teoretic

2. Spectrul semnalului rezultat prin însumarea a două semnale periodice (alegem SFA) este suma celor două spectre. În cazul de față, cele două semnale sînt armonice (sinusoidale), deci fiecare are cîte o singură linie în spectru. Suma celor două semnale trebuie să conțină ambele linii spectrale, cu amplitudinile corespunzătoare.

3. La modularea MA-BLD, cu modulator armonic, gradul de modulație este egal cu raportul dintre amplitudinea modulatorului și componenta medie. Deci:

$$m = \frac{U_{\text{modulator}}}{U_{\text{mediu}}} = \frac{U_m}{U_0}.$$

Pe de altă parte, gradul de modulație poate fi măsurat pe diagrama de timp, conform cu relația (4.3) din curs, cu notațiile de acolo:

$$m = \frac{A}{A_p} = \frac{A_M - A_p}{A_p} = \frac{A_M - A_m}{A_M + A_m}.$$

Spre deosebire de semnalul obținut prin însumare, semnalul modulat MA nu conține componente spectrale de frecvența semnalului modulator.

Componenta centrală a spectrului este la frecvența purtătoare. Componentele laterale trebuie să fie de frecvențele $(fp - fm)$ și $(fp + fm)$, iar amplitudinile lor sînt în raportul $m/2$ față de amplitudinea purtătorului (figura 2.3 din curs).

5. Spectrul semnalului modulat MA-PS nu conține componentă la frecvența purtătorului, doar componentele laterale, la frecvențele $(fp - fm)$ și $(fp + fm)$.

6. La demodularea de produs, spectrul semnalului obținut prin înmulțirea conține o linie spectrală la frecvența modulatorului și liniile unui semnal modulat MA, în jurul frecvenței duble, față de a purtătorului.

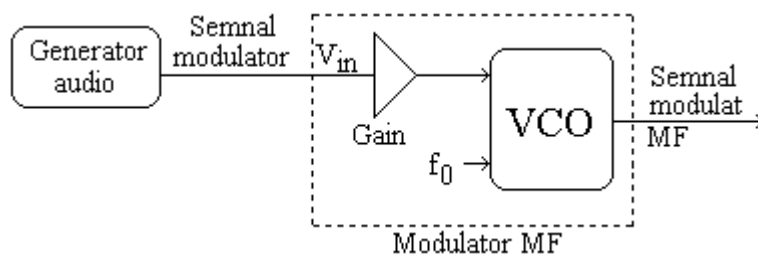
Laborator 5: Analiza semnalelor modulate (MIA, MF)

Obiective:

- analiza spectrală a semnalelor modulate MF, determinarea caracteristicii modulatorului prin metoda extincției purtătorului
- analiza spectrală a semnalului modulat MIA, rolul FTJ, rolul componentei medii a purtătorului.

Modulația de frecvență, cu purtător armonic

În această parte a lucrării, se realizează modularea MF cu purtător armonic. Pentru aceasta, se folosește un oscilator comandat în tensiune (prescurtarea, din limba engleză: VCO). Acesta are proprietatea că frecvența instantanee este comandată de tensiunea de intrare (variază monoton).

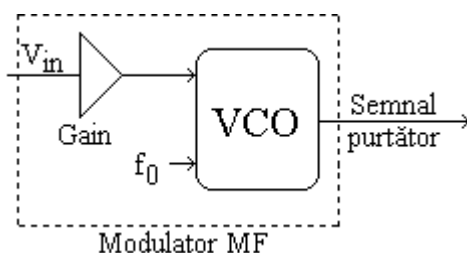


Se pune în evidență spectrul semnalului modulat MF, din care va fi apreciată banda ocupată. Întrucât semnalul modulat depinde atât de semnalul modulator, cât și de proprietățile circuitului modulator, este determinată caracteristica de comandă a modulatorului (deviația de frecvență, ca funcție de tensiunea de intrare), printr-o metodă specifică modulației MF. Se folosesc: osciloscop, platformă experimentală (Emona sau similară), generator de funcții, analizor spectral.

Modul de lucru

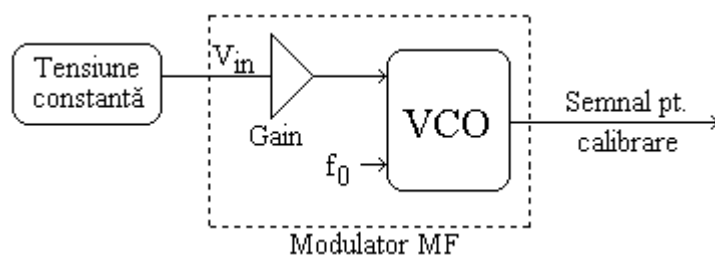
1. Generarea semnalului purtător. Se folosește modulul VCO (oscilator a cărui frecvență este comandată în tensiune), de la platforma Emona. Nu se aplică semnal la intrare (vezi figura de mai jos), iar comutatorul Hi-Lo de pe panou trebuie să fie în poziția Hi. Se vizualizează semnalul de intrare și se ajustează din butonul de reglaj „f₀” frecvența oscilațiilor libere ale VCO, la valoarea $f_p = 100\text{kHz}$. Din acest punct, nu se mai modifică reglajul „f₀”. (Frecvența purtătorului poate fi măsurată cu un frecvențmetru sau cu modulul Frequency counter, care sînt mai precise, dar în această lucrare nu este necesară o precizie foarte mare.)

Frecvența purtătorului = kHz



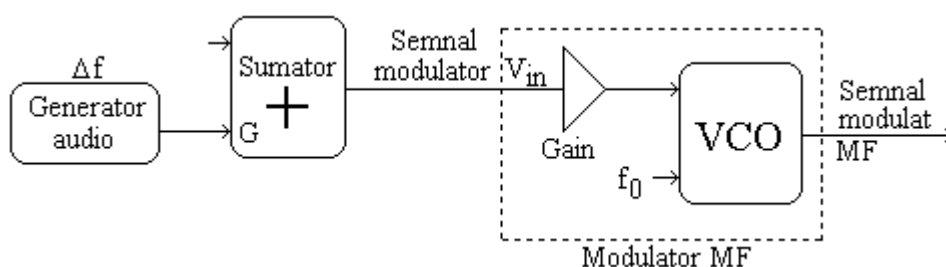
2. Calibrarea sensibilității modulatorului. Se ajustează reglajul „Gain” al oscilatorului VCO, astfel încât să obținem valoarea sensibilității (în modul) $12,5\text{kHz/V}$ (ea va determina abaterea de frecvență a semnalului FM). În acest scop, se preia de la modulul DC o tensiune constantă de 2V, care se aplică la intrarea pentru semnal modulator, V_{in} . Se ajustează reglajul „Gain” (VCO), pînă cînd frecvența devine 75kHz (în acest scop, calculați perioada dorită). Pentru verificare, se aplică tensiunea de intrare cu valoarea -2V , frecvența la ieșire trebuie să fie 125kHz. Din acest punct, nu se mai modifică reglajul „Gain”.

Sensibilitatea modulatorului (în modul) = kHz/V.



3. Se generează semnalul modulator, la generatorul audio, cu frecvența 5kHz. În acest scop, se ajustează reglajul „ Δf ”. Se vizualizează semnalul și se notează valoarea frecvenței modulatorului, f_m . Din acest punct, nu se mai modifică reglajul „ Δf ”. Pentru a putea modifica amplitudinea semnalului modulator, se trece semnalul de la generatorul audio prin sumator (modulul Adder), apoi se aplică la intrarea VCO. Cealaltă intrare a sumatorului rămâne nefolosită, ca în figura de mai jos, sau se leagă la 0V. Amplitudinea semnalului modulator se ajustează din reglajul de amplificare, „G”, al sumatorului.

Frecvența semnalului modulator = kHz.



4. Se reduce amplitudinea semnalului modulator la 0 (reglajul „G”), astfel încât semnalul de ieșire de la VCO să conțină numai semnalul purtător. Se vizualizează semnalul de ieșire, se selectează opțiunea FFT (sau se aplică semnalul la intrarea unui analizor spectral), se observă linia spectrală a semnalului purtător.

Este această linie la frecvența f_p , măsurată la punctul 1?

5. Se crește lent amplitudinea modulatorului, pînă cînd amplitudinea liniei spectrale a purtătorului se stinge. Din spectrul FFT se apreciază banda de frecvență ocupată de semnalul modulată: intervalul dintre componentele laterale extreme, ale căror amplitudini se mai pot distinge. Se notează în tabel: amplitudinea modulatorului (linia 2) și banda măsurată (linia 3). Se crește în continuare amplitudinea modulatorului, pînă la următoarele extincții, se notează valorile măsurate în tabel.

	prima extincție	a doua extincție	a treia extincție	
$U_{modulator}$ (V)				
Banda (kHz)				
S (extincție)	2,4	5,5	8,65	
Δf (kHz)				
Banda calculată (kHz)				

Se vizualizează semnalul modulată MF (întîi semnalul memorat, apoi observare cu baleierea activ). Ce se observă la imaginea semnalului modulată (pe ecran, imaginea în domeniul timp)?

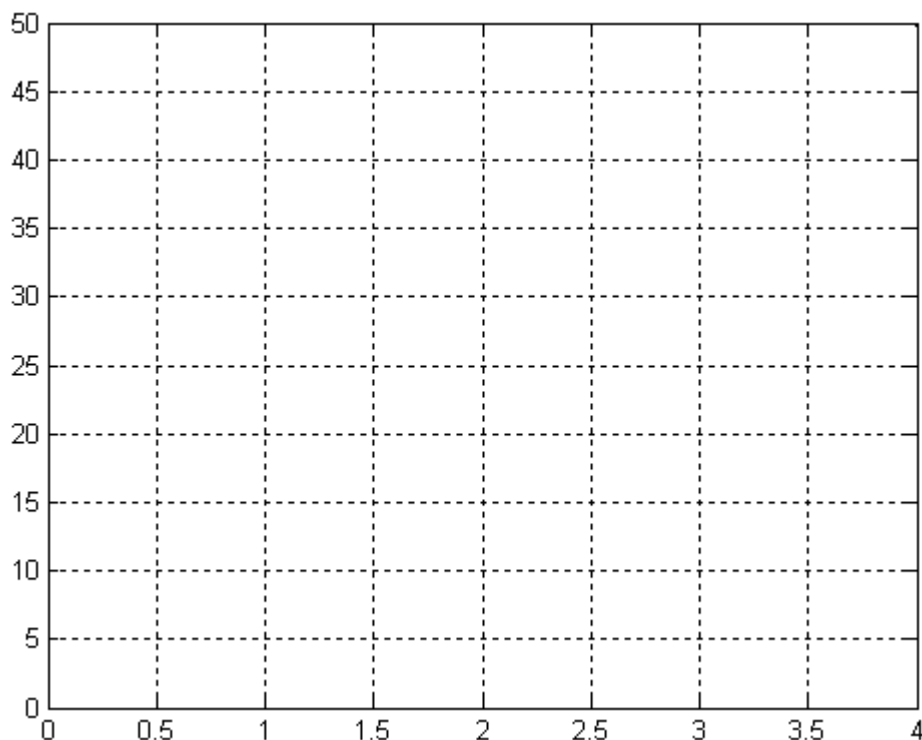
Se variază amplitudinea semnalului modulator (descresc), în timp ce semnalul modulată este vizualizat pe ecran. Ce se observă, în privința amplitudinii sale?

6. Pe linia a patra din tabel se găsesc valorile indicelui de modulație, corespunzătoare cu extincția observată (au fost extrase din graficul funcției Bessel de spea 1, ordinul 0). Pe linia a cincea se

scrie valoarea estimată a deviației de frecvență, Δf , dedusă din relația: $B = 2 \cdot \frac{S+1}{S} \Delta f$. Pe linia a

asea se scrie valoarea calculată a benzii, conform cu relația: $B = 2(S+1)f_m$.

Se reprezintă grafic caracteristica modulatorului (deviația de frecvență, ca funcție de tensiunea de intrare – amplitudinea modulatorului). Notați pe grafic măsurimile în unitățile de măsură.



Se determină din grafic sensibilitatea modulatorului (panta graficului).

Sensibilitatea = kHz/V.

Coincide aceasta cu cea reglată la punctul 2?

Se compară valorile estimate ale benzii (rândul 6) cu cele măsurate (rândul 3). Coincid?

Breviar teoretic

2. Deviația de frecvență depinde de amplitudinea semnalului modulator și de sensibilitatea modulatorului. Presupunând că semnalul de intrare (modulator) este o tensiune, sensibilitatea se exprimă în [kHz/V].

4. Semnalul modulat în frecvență (MF) are amplitudine constantă. Dacă nu există modulație, în spectrul semnalului se va observa doar linia spectrală corespunzătoare purtătorului, valoarea amplitudinii fiind egală cu cea măsurată în domeniul timp.

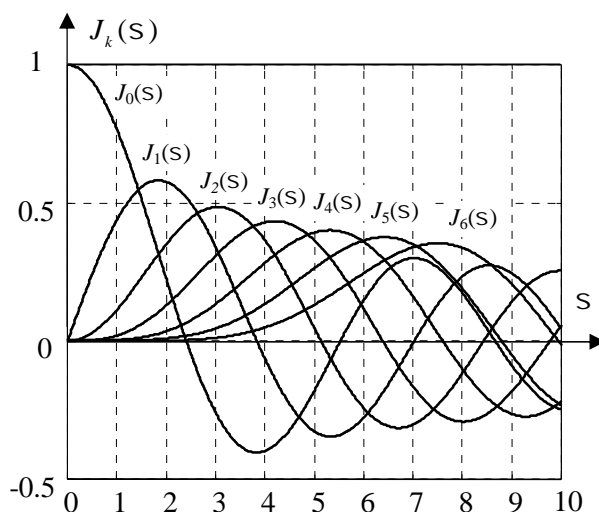
5. Pentru situația în care semnalul modulator este armonic, de frecvență f_m , semnalul modulat MF poate fi exprimat prin relația:

$$x_{MF}(t) = A_p \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(S) \cdot \cos[(\omega_p + k\omega_m) \cdot t].$$

Indicele de modulație se definește: $S = \frac{\Delta f}{f_m}$, unde f_m este frecvența semnalului modulator iar Δf

este deviația de frecvență maximă (un parametru al circuitului modulator, determinat pentru semnal

modulator static). Valorile indicelui de modulație, pentru care se anulează componenta spectrală f_p , sînt rîndurile funcției J_0 și se extrag din graficul funcției. Graficele familiei de funcții Bessel de spea 1 se găsesc mai jos.



Graficele funcțiilor Bessel de spea 1

6. Banda ocupată de semnalul modulat MF este limitată la emițător, astfel încît să cuprindă cam 99% din puterea semnalului. Un calcul aproximativ al benzii de relația:

$$B = 2(s + 1)f_m \text{ sau } B = 2 \cdot \frac{s + 1}{s} \Delta f$$

Modulația impulsurilor în amplitudine

În această parte a lucrării, se studiază modularea și demodularea în amplitudine a impulsurilor. În acest scop, se reconstituie modulatorul folosit în lucrarea precedentă (modularea prin înmulțirea modulatorului cu purtătorul), dar se folosește purtător în impulsuri, cu componentă medie nenulă. Se evidențiază spectrul semnalului modulat, se observă prezența liniilor spectrale ale semnalului modulator, în jurul tuturor componentelor spectrale ale purtătorului, inclusiv în jurul frecvenței 0. Apoi se recuperează semnalul modulator, prin filtrare trece-jos. Se pune în evidență faptul că această metodă de demodulare nu funcționează, dacă purtătorul nu are componentă medie. Se folosește demodularea sincronă (înmulțirea, încoțorată, cu purtătorul). Se folosesc aceleași aparate ca în prima parte (generatorul de funcții este necesar).

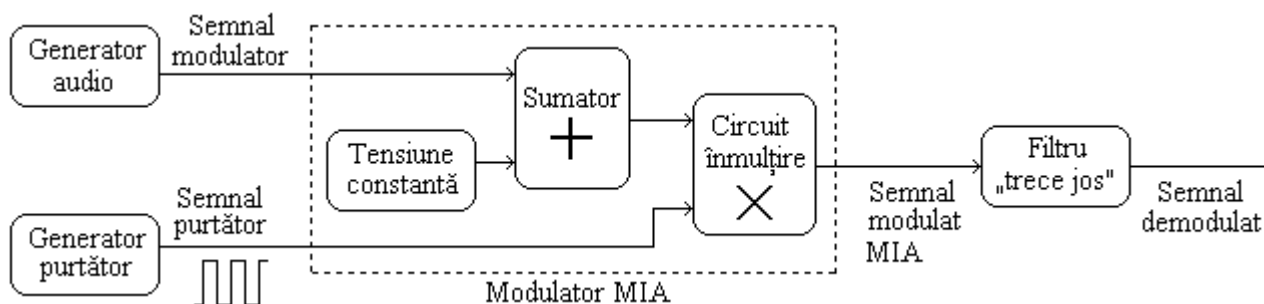
Modul de lucru

7. Se generează semnal purtător dreptunghiular, TTL (are componentă medie), factor de umplere 50%, cu extremele la 0V și 4V, cu frecvența $f_p = 100\text{kHz}$ (semnalul poate fi generat cu generator de funcții sau cu secțiunea de oscilator purtător, din modulul Emona). Se vizualizează semnalul pe osciloscop, se măsoară componenta medie. Selectează opțiunea FFT, observă componentele la 100, 300, 500, 700 kHz și următoarele armonice impare. Notează amplitudinile componentelor spectrale (dacă se folosește funcția FFT a osciloscopului, componenta medie nu este reprezentată, ea trebuie măsurată în imaginea din domeniul timp).

Seria Fourier	Media	Armonica 1	Armonica 2	Armonica 3	Armonica 4	Armonica 5

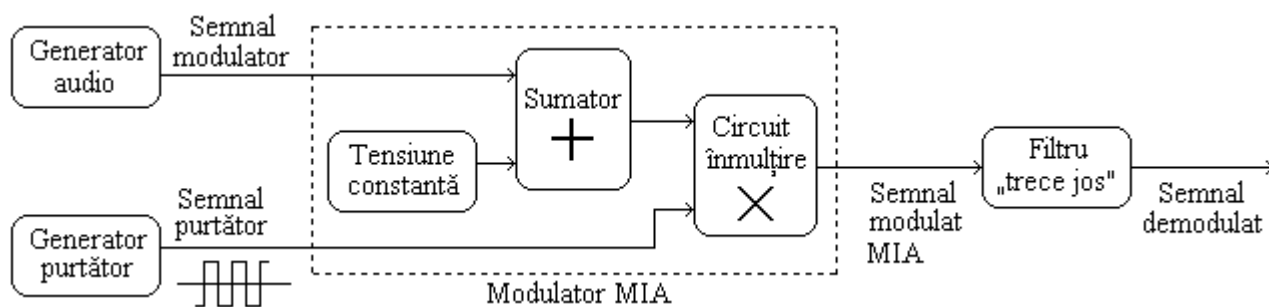
8. Semnalul modulator se genereaz prin însumarea unei componente constante, $U_0 = 2V$, cu un semnal armonic (sinusoidal), cu frecven a modulatorului, $f_m = 2kHz$, amplitudinea 1V. Se vizualizeaz semnalul modulator. Selecteaz op iunea FFT, observ linia spectral la 2kHz.

9. Se folose te circuitul de înmul tire pentru a genera semnalul modulat în amplitudine-natural (semnalul purt tor i cel modulator aplicate la intr rile circuitului de înmul tire). Se vizualizeaz semnalul modulat, se observ componenta medie. Se selecteaz op iunea FFT, observ componenta la frecven a modulatorului (2kHz), apoi componentele laterale fa de purt tor i armonicel lui. Se observ c amplitudinile componentelor laterale descresc, odat cu armonicel purt torului, conform cu tabelul de la pct. 7.

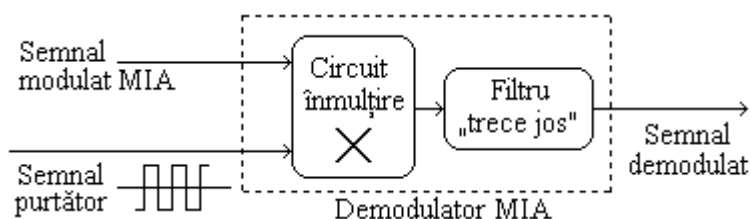


10. Se folose te modulul de filtrare FTJ (frecven a de t iere 60kHz), pentru a filtra semnalul modulat. Se vizualizeaz semnalul demodulat (recuperat prin FTJ) i se constat c aproximeaz semnalul modulator, dar cu riplu mare. Apoi se înlocuie te FTJ fix cu modulul FTJ acordabil i se mic oreaz frecven de t iere. Se observ c noul semnal filtrat are aceea i form ca mai sus, dar cu riplu mai mic.

11. Se genereaz un nou semnal purt tor, de la un generator extern de semnal dreptunghiular, aceea i frecven , umplere 50%, extremele la $-4V$ i $4V$ (semnal purt tor f_r component medie). Se vizualizeaz purt torul, se observ lipsa componentei medii. În schema de modulare se folose te noul semnal purt tor. Se vizualizeaz semnalul modulat, se observ c are component medie nul . Se aplic semnalul modulat la FTJ, se vizualizeaz semnalul filtrat (demodulare cu FTJ), se observ c este neglijabil. De ce nu se ob ine semnal demodulat?



12. Se schimb solu ia de demodulare, ca în figura de mai jos: la intrarea unui multiplicator se aduc semnalul purt tor i semnalul modulat. Se vizualizeaz semnalul ob inut prin înmul tire, apoi semnalul dup FTJ. Mai este necesar FTJ?



Breviar teoretic

7. Pentru semnal dreptunghiular, cu factor de umplere 50%, lipsesc armonicile pare, iar amplitudinile celor impare sînt invers proporționale cu ordinul armoniceii.

9. Prin înmulțirea a modulatorului cu purtătorul, se obține o sumă de semnale modulate MA, pentru fiecare armonică a purtătorului. Deci, se vor observa replici ale spectrului semnalului modulator, în jurul fiecărei armonice a purtătorului. Amplitudinile acestor replici sînt proporționale cu amplitudinea respectivei armonice.

10. Prin filtrare FTJ potrivit, se pot streza doar componentele centrate în jurul frecvenței 0, care formează chiar spectrul semnalului modulator (corespunde cu componenta medie a purtătorului). Este necesară ajustarea frecvenței de tăiere a filtrului, între banda de bază și componentele grupate în jurul armoniceii a treia a purtătorului. În electronica de putere și în unele traductoare apare frecvent acest tip de semnal.

11, 12. Dacă semnalul purtător nu are componentă medie, spectrul semnalului modulat MIA nu are componente în jurul frecvenței 0, ci numai în jurul armonicilor purtătorului. Pentru demodulare, nu mai este suficient un FTJ, ci este necesară demodularea de produs. Acest tip de semnal apare în traductoarele cu izolare galvanică (numite: traductoare cu modulare-demodulare).

Stabilește frecvența purtătorului, 100kHz, din butonul f_0 al modului VCO, măsurare cu osciloscop și cu modulul Frequency counter

Nu mai modific f_0

Calibrează sensibilitatea modulatorului (VCO), Gain, astfel încât să obținem deviația de frecvență 12,5kHz/1V (ea va determina abaterea de frecvență a semnalului FM). Calibrarea: aplică tensiune 2V de la DC la VCO, măsurare frecvență, ajustează reglajul de Gain (VCO) până când frecvența devine 75kHz. Verifică frecvența pentru intrare $-2V$ (trebuie să fie 125kHz).

Nu mai modific Gain

Selectează la Audio oscillator frecvența 5kHz (semnalul modulator)

Nu mai modific frecvența la audio (Δf)

Semnalul de la Audio oscillator merge la Adder (ca să folosesc amplificarea G de la Adder), de acolo la VCO

Ieșirea VCO merge la osciloscop

Reglează G (Adder) la 0, se observă doar purtătorul

Crește G până la prima extincție a purtătorului, măsurare tensiunea maximă de intrare în VCO, apreciază banda

Crește G până la a doua extincție a purtătorului, măsurare tensiunea maximă de intrare în VCO, apreciază banda

Crește G până la a treia extincție, măsurare tensiunea maximă de intrare în VCO, apreciază banda

Obiective:

- verificarea limitei impuse de teorema e antionarii, evidențierea consecințelor e antionarii cu frecvență insuficientă
- utilizarea transformatei Fourier discrete, utilizarea funcției Matlab fft.m

Respectarea teoremei e antionarii

În această parte a lucrării, se compară rezultatele observării unui semnal periodic (vizual sau audio), pentru cazurile în care frecvența de e antionare, impusă de teorema Shannon, este sau nu respectată. Se constată că e antionarea insuficientă poate duce chiar la apariția unui semnal derutant, la frecvență mult mai mică decât cea reală. Observarea se face pe osciloscop (punctul 1), în diagrama de timp simulată Matlab (punctul 2) și audio (punctul 3).

Modul de lucru

1. Se folosește un generator de semnal și un osciloscop, pentru a crea un exemplu de e antionare cu frecvență insuficientă. Se alege la generatorul de funcții un semnal sinusoidal, cu frecvența de 10kHz, amplitudinea oarecare (alegând între 1 și 5V). Se aplică la osciloscop semnalul. Se alege viteza de baleiere (de la baza de timp a osciloscopului), astfel încât perioadele semnalului să fie vizibile. Spre exemplu, baza de timp la 100μs/div asigură apariția cu 1 perioadă /diviziune. În această situație, frecvența de e antionare a osciloscopului este mare, în comparație cu frecvența semnalului. Pentru osciloscopul Agilent, citiți pe ecran frecvența de e antionare (rândul de jos, unitatea de măsură este kSa/s sau Msa/s).

(Pentru alte osciloscopice, care nu afișează frecvența de e antionare, citiți din manualul osciloscopului valoarea frecvenței de e antionare, corespunzătoare vitezei alese la baza de timp. Altă variantă este să citiți în manual numărul de puncte e antionate pe un cadru, apoi să calculați frecvența de e antionare, împărțind numărul de e antioane pe un cadru la durata unui cadru).

Perioada semnalului =

Frecvența semnalului = Hz

Frecvența de e antionare (e antionare suficientă) = Hz

Comparați frecvența de e antionare cu frecvența semnalului. Este respectată teorema e antionarii?

Se comută treptat baza de timp, spre viteze de baleiere mai mici, până când nu se mai pot distinge perioadele semnalului. Orientativ: viteza de baleiere la 1ms/div. Pentru a ne convinge că osciloscopul a reînțeles corect forma și perioada semnalului, procedăm astfel: semnalul este memorat (apăsând butonul Stop/Start), apoi baza de timp este deplasată spre viteze mai mari (se dilată axa timpului), până când forma și perioada devin vizibile.

Perioada semnalului =

S-a păstrat valoarea perioadei semnalului, determinată anterior?

Frecvența de e antionare = Hz

Este respectată teorema e antionarii?

Reveniți la baleiere activ (butonul Stop/Start). Se continuă micșorarea vitezei de baleiere, până când apare pe ecran o formă de undă cu evoluție lentă (orientativ, baza de timp va fi la 500ms/div sau mai mult).

Perioada aparentă a semnalului =

Frecvența aparentă a semnalului =

S-a păstrat valoarea perioadei semnalului, determinată anterior?

Frecvența de e antionare = Hz

Este respectată teorema e antionarii?

Simulare Matlab

2. Exemplu de e antionare cu frecvență insuficientă, semnal periodic (Matlab, „laborator61.m”). Se generează un semnal periodic, conținând fundamentală și armonica a treia, cu frecvență de e antionare mult mai mare decât cea mai mare frecvență din spectrul semnalului (10kHz față de 75Hz). Se afișează semnalul. Se simulează reducerea frecvenței de e antionare de 5 ori, astfel: pentru fiecare grup de 5 e antioane, se păstrează valoarea primului e antion, iar următoarele 4 repetă valoarea primului (extrapolare de ordin 0). În acest mod, nu se modifică frecvența a semnalului periodic. Se afișează noul semnal extrapolat și se compară cu semnalul original. Se repetă operațiile, pentru frecvență de e antionare micșorată de 25 și de 125 ori.

Frecvența maximă din spectrul semnalului = Hz

Frecvențele de e antionare: Hz, Hz, Hz

În care caz semnalul original nu mai poate fi reconstituit din e antioanele sale?

3. Exemplu de e antionare cu frecvență insuficientă, semnal neperiodic (Matlab, „laborator62.m”). Frecvența de e antionare suferă înjumătățiri succesive, insuficiența frecvenței de e antionare se observă auditiv, precum și prin comparare cu funcția spectrală a semnalului inițial.

Semnalul înregistrat în fișierul „handel.wav”, cu frecvența de e antionare 8096Hz. Se redă auditiv secvența ‘handel’, la frecvența de e antionare originală. Se calculează TFD a secvenței, se afișează intervalul până la jumătatea frecvenței de e antionare (frecvența afișată pe abscisă, în Hz). Se observă frecvența până la care există componente spectrale semnificative în semnalul original.

Se simulează reducerea frecvenței de e antionare, prin extrapolarea unui e antion pe mai multe perioade (reducere de 2, 4, 8 ori). Se recalculează de fiecare dată funcția spectrală.

(La reducerea de 2 ori (e antionare 4096 Hz) se observă apariția – în partea de sus a spectrului, 3000-3500 Hz – a unei replici a spectrului de joasă frecvență. Se mai observă modificarea ușoară a percepției audio, un sunet cu multe componente la frecvențe înalte, ca sunetul unor zgârieturi. La e antionare cu 2048 se observă replicile între 1000-1500Hz, plus repetarea întregului conținut între 2000-4000 Hz. Efectul asupra auzului este surprinzător, prin alterarea componentelor joase și multe componente înalte, dar se poate recunoaște secvența inițială. În fine, la e antionare cu 1024 Hz se observă modificarea masivă a funcției spectrale între 0-500Hz, prin replierea componentelor de la 500-1000, plus repetarea spectrului în intervalele 1000-2000, 2000-3000 etc. Efectul asupra percepției este uriaș (conținutul muzical este de nerecunoscut, poate fi recunoscut doar ritmul.)

(Georg Friedrich Händel, compozitor german, naturalizat britanic, 1685-1759, perioada baroc, cunoscut pentru muzică corală, opere, simfonii.)

Lățimea de bandă semnificativă a semnalului original = Hz

Frecvența de e antionare inițială : Hz

Frecvențele de e antionare reduse: Hz, Hz, Hz

Breviar teoretic

2. Conform cu teorema e antionării (Shannon), pentru ca semnalul inițial să poată fi reconstituit din e antioanele sale, frecvența de e antionare trebuie să fie mai mare decât dublul frecvenței maxime din funcția spectrală a semnalului (se presupune că semnalul este de bandă limitată):

$$f_e > 2 \cdot f_{max}$$

În general, în practică, raportul frecvențelor se alege mai mare decât 2,3 .. 2,5, în funcție de aplicațiile de formă a semnalului. Dacă teorema nu este respectată, semnalul inițial nu poate fi reconstituit din e antioane. Mai mult, în funcția spectrală a semnalului obținut prin e antionare apar componente false, care pot fi derutante, în sensul că pot conduce la concluzii profunde greșite, asupra frecvenței sau formei semnalului inițial.

Analiza semnalului cu TFD

În această parte a lucrării, se exersează utilizarea TFD, utilizarea funcției Matlab `fft.m`, recunoașterea componentelor spectrale din TFD calculat de Matlab și efectul numărului de eantioane din secvență, asupra rezultatului TFD.

4. Determinarea frecvenței, a amplitudinii componentelor spectrale (Matlab, „laborator63.m”). Efectul eantionării pe un număr neîntreg de perioade ale semnalului.

Se generează un semnal periodic, conținând fundamentală și armonică a treia, cu frecvență de eantionare mult mai mare decât cea mai mare frecvență din spectrul semnalului (10kHz față de 75Hz). Se afișează semnalul, abscisa în număr de eantioane, apoi în secunde. Se calculează numărul de perioade ale semnalului, cuprinse în secvență, ca produsul dintre numărul de eantioane și frecvența semnalului, împărțit la frecvența de eantionare. Se observă că este un întreg, se verifică în figura 1.

Se calculează TFD (funcția `fft`), se afișează numai intervalul până la jumătatea frecvenței de eantionare, apoi se afișează un interval mai îngust, corespunzând componentelor semnificative. Se determină din grafic (figurile 4 și 5): componenta de la frecvența 0, frecvențele și amplitudinile componentelor semnificative. Se compară cu valorile adevărate.

Privitor la rezoluția în frecvență a TFD: se calculează pasul de eantionare în frecvență (ecartul dintre două componente ale TFD), împărțind frecvența de eantionare la numărul de eantioane. Se verifică valoarea acestui pas pe figura 4. **Se observă dacă componentele spectrale generate sînt multipli ai pasului de eantionare în frecvență.**

Frecvența de eantionare = Hz

Frecvența fundamentală generată = Hz

Frecvența armonică 3 generată = Hz

Amplitudinea fundamentalei generate = (adimensional)

Amplitudinea armonică 3 generată = (adimensional)

Numărul de eantioane, $N =$

Numărul de perioade ale semnalului, cuprinse în secvență =

Frecvența primei componente (din TFD) = Hz

Frecvența componenteii a doua (din TFD) = Hz

Amplitudinea primei componente (din TFD), înmulțit cu $2/N =$ (adimensional)

Amplitudinea componenteii a doua (din TFD), înmulțit cu $2/N =$ (adimensional)

Amplitudinea componenteii de frecvență 0 = (adimensional)

Pasul de eantionare în frecvență = Hz

Limitări în analiza semnalelor periodice

5. Se modifică numărul de eantioane, astfel încât să cuprindă în secvență un număr neîntreg de perioade ale semnalului. Se verifică numărul neîntreg de perioade, în figura 6. Se repetă aceeași succesiune de operații, se notează numărul de eantioane, frecvențele și amplitudinile componentelor din TFD (figurile 9 și 10), se compară cu valorile adevărate.

Se recalculază pasul de eantionare în frecvență, ca la punctul precedent. **Se verifică dacă componentele spectrale generate sînt multipli ai pasului de eantionare în frecvență.**

Explicați apariția componenteii medii nenule, deși secvența analizată este extrasă dintr-un semnal periodic, de medie nulă (revedeți figura 6).

Ce se constată, în privința amplitudinilor componentelor spectrale importante?

Numărul de eantioane, $N =$

Numărul de perioade ale semnalului, cuprinse în secvență =

Frecvența primei componente (din TFD) = Hz

Frecvența componenteii a doua (din TFD) = Hz

Amplitudinea primei componente (din TFD), înmulțit cu $2/N$ = (adimensional)

Amplitudinea componenteii a doua (din TFD), înmulțit cu $2/N$ = (adimensional)

Amplitudinea componenteii de frecvență 0, înmulțit cu $1/N$ = (adimensional)

Pasul de eantionare în frecvență = Hz

Explicați apariția componenteii medii nenule:

6. Se mărește semnificativ numărul de eantioane în secvență, dar în același fel încât să conțină un număr neîntreg de perioade ale semnalului, iar frecvențele componentelor spectrale să nu fie multiplii ai pasului de eantionare în frecvență. Se verifică aceste condiții. Se repetă pașii de la punctul precedent.

Se compară finele reprezentării în frecvență între figurile 14, 15 și figurile 9, 10. **Care este efectul micorării pasului de eantionare în frecvență, în privința rezoluției? Dar în privința timpului de calcul?**

S-a corectat valoarea amplitudinii componenteii în TFD, față de cea adevărată, prin creșterea rezoluției?

S-a corectat valoarea amplitudinii componenteii medii în TFD, față de cea adevărată, prin creșterea rezoluției?

Numărul de eantioane, N =

Numărul de perioade ale semnalului, cuprinse în secvență =

Pasul de eantionare în frecvență = Hz

Amplitudinea primei componente (din TFD), înmulțit cu $2/N$ = (adimensional)

Amplitudinea componenteii a doua (din TFD), înmulțit cu $2/N$ = (adimensional)

Amplitudinea componenteii de frecvență 0, înmulțit cu $1/N$ = (adimensional)

Laborator 7: Modele ale sistemelor

Obiective:

- verificarea echivalenței dintre modelele sistemului (fdt, zpk, r spunsul la treaptă, diagrama Bode)
- determinarea experimentală a unor parametri semnificativi din modelele în timp, respectiv în frecvență

Considerente teoretice

Se studiază ca exemplu circuitul din figura 1 (R_1 este rezistența de ieșire a oscilatorului), în care mărimea de intrare este tensiunea de la generator, iar mărimea de ieșire este tensiunea pe condensator. Circuitul este frecvent întâlnit în electronica de putere.

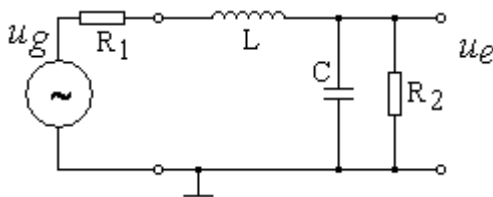


Figura 1: Schema circuitului studiat

Modelul în timp, cel mai general, este cel al ecuațiilor diferențiale. El rezultă din ecuațiile (vezi cursul de Bazele electrotehnicii, partea 1, teoremele Kirchhoff):

$$u_g = R_1 \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + u_e$$

$$i = \frac{u_e}{R_2} + C \cdot \frac{du_e}{dt}$$

care duc la:

$$LC \cdot \frac{d^2 u_e}{dt^2} + \left(R_1 C + \frac{L}{R_2} \right) \cdot \frac{du_e}{dt} + u_e \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = u_g \quad (1)$$

Întrucât circuitul este liniar, se definește un model frecvențial al circuitului, funcția de transfer. Modelul este raportul transformatei Laplace ale mărimii de ieșire și mărimii de intrare, în condiții inițiale nule (valorile inițiale ale variabilelor și ale derivatelor lor sînt 0). El se poate determina prin conversie, din relația (1), sau prin calcul pe circuit, conform cu teoremele Kirchhoff și reprezentarea în complex (vezi cursul de Bazele electrotehnicii, partea 1):

$$H(s) = \frac{U_e(s)}{U_g(s)} = \frac{R_2 \parallel \frac{1}{sC}}{R_1 + sL + R_2 \parallel \frac{1}{sC}} = \frac{\frac{R_2}{1 + sR_2C}}{\frac{(R_1 + sL) \cdot (1 + sR_2C) + R_2}{1 + sR_2C}}$$

$$H(s) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{s^2 LC \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{sL}{R_1 + R_2} + sC \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + 1} = \frac{K}{T^2 s^2 + 2T' s + 1} \quad (2)$$

Dacă R_1 e mult mai mic decât R_2 , rezultă o variantă simplificată :

$$H(s) = \frac{1}{s^2 LC + \frac{sL}{R_2} + 1} = \frac{1}{s^2 T^2 + 2sT' + 1} \quad (3)$$

Modelele din relațiile (1), (2) și cele derivate din ele sînt modele parametrice. Valorile parametrilor funcției de transfer (pentru varianta simplificată (3)):

$$K = 1 \text{ factorul de amplificare} \quad (4)$$

$$T = \sqrt{LC} \text{ constanta de timp (inversa pulsației de frîngere)} \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{1}{2R_2} \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ factorul de amortizare} \quad (6)$$

Electronicii prefer deseori exprimarea sub forma:

$$H(s) = \frac{k \cdot \tilde{\zeta}_n^2}{s^2 + 2 \frac{s}{\tilde{\zeta}_n} \zeta' + \tilde{\zeta}_n^2}, \quad (7)$$

în care $\tilde{\zeta}_n = \frac{1}{T}$ este pulsația de oscilație naturală. Mai are semnificația de pulsație de frîngere a caracteristicii (pulsație de rezonanță, dacă r spunsul indicial este oscilant).

Un alt model frecvențial este funcția r spuns la frecvență, $H(j\tilde{\zeta})$, care se deduce imediat din funcția de transfer, înlocuind variabila s cu variabila j (aceasta înseamnă trecerea de la transformata Laplace la transformata Fourier). În acest model este definit numai pentru sisteme liniare și este parametric. Pentru regim permanent sinusoidal, semnificațiile magnitudinilor $|H(j\tilde{\zeta})|$ și $\arg(H(j\tilde{\zeta}))$ sînt de amplificare, respectiv defazaj între intrare și ieșire.

Dacă se determină funcțiile $|H(j\tilde{\zeta})|$ și $\arg(H(j\tilde{\zeta}))$, ca funcții de frecvență, pe cale experimentală (măsurile din laborator), și se exprimă sub formă grafică, ele constituie un model neparametric. Din acest model se pot determina simplu unele proprietăți ale sistemului modelat, precum frecvența de frîngere a caracteristicii amplificare-frecvență (sau frecvența de rezonanță – dacă circuitul este rezonant), amplificarea în regiunea de amplificare constantă (dacă o astfel de regiune există), valorile asimptotice ale amplificării și defazajului.

Un alt model al circuitului este r spunsul la semnal treaptă (funcția indicială). Spre deosebire de funcția de transfer și funcția r spuns la frecvență, r spunsul indicial este un model în variabila timp. Dacă este determinat din celelalte modele parametrice (ecuația diferențială, funcția de transfer etc.) și este exprimat analitic, este și el un model parametric. Totuși, cel mai adesea, acest model este determinat pe cale experimentală și este exprimat grafic, deci este un model neparametric. Ca și în cazurile precedente, din acest model se pot deduce simplu proprietăți ale sistemului. Spre exemplu, dacă r spunsul sistemului este oscilant, din r spunsul indicial se poate determina frecvența de rezonanță. (Vezi cursul CCP, determinarea constantei de timp a unor sisteme de ordinul 1, din r spunsul la semnal treaptă.)

Pentru cazul particular studiat, se disting două comportări diferite, în funcție de valoarea factorului de amortizare.

Dacă $\zeta' > 1$:

- funcția de transfer are 2 poli reali
- r spunsul în timp este neoscilant (tinde asimptotic, spre valoarea de regim staționar)
- caracteristica amplificare-frecvență este monotonă, prezintă două frîngeri, la frecvențele date de cei doi poli reali.

Dacă $\zeta < 1$:

- funcția de transfer are 2 poli complex conjugate
- răspunsul în timp este oscilant, cu frecvență apropiată de cea dată de modulul polilor
- amplitudinea oscilațiilor crește, odată cu scăderea valorii lui
- faza variază mai rapid, odată cu scăderea valorii lui
- caracteristica amplificării-frecvență are un maxim, la frecvența de rezonanță. Maximul crește, odată cu scăderea lui ζ .

În anexă, în figura 2 sunt prezentate diagramele poli-zero-uri pentru modelul (2), cazurile cu $\zeta = 1,04$ (roșu) și $\zeta = 0,13$ (albastru). În figurile 3 și 4 sunt prezentate caracteristicile de frecvență și răspunsurile indiciale pentru aceleși situații.

Modul de lucru

1. Considerăm valorile numerice: $L=2,5\text{mH}$, $C=2,2\text{nF}$, $R_2=[250 \quad 500 \quad 1\text{k} \quad 2\text{k} \quad 5\text{k}]$ și presupunem comportarea dată de modelul simplificat (3). Din (5) rezultă $T=2,35\mu\text{s}$, apoi $f_r=68\text{kHz}$ (pulsanța de rezonanță 426.000 rad/s). Din relația (6), se calculează valorile aproximative ale factorului de amortizare (2, 1, 0,5, 0,25, 0,1).

2. Se simulează în Matlab comportarea circuitului, considerând modelul (2), valoarea $R_1=50$ și celelalte valori introduse la punctul 1.

- se definește în Matlab un sistem cu funcția de transfer din modelul (2) (funcția tf)
- se convertește în diagrama poli-zero-uri, pentru fiecare variantă a R_2 (funcția zpk), toate diagramele pe același grafic
- se trasează caracteristicile de frecvență (diagrama Bode, funcția $bode$), toate 5 pe același grafic
- se trasează răspunsul indicial (la semnal treaptă, funcția $step$), pe același grafic (ordinea este: negru, roșu, verde, galben, albastru)
- se calculează și se afișează valorile exacte ale factorului de amortizare, pentru 5 valori diferite ale R_2 (0,25; 0,5; 1; 2; 5k)

Din diagrama poli-zero-uri se observă că primele două variante prezintă poli reali, ultimele trei prezintă o pereche de poli complex conjugate. Se mai observă că perechile de poli sunt aproximativ la pulsanta 426.000rad/s (elipsele au valoare constantă a pulsantei, dreptele sunt pentru valoare constantă a factorului de amortizare).

Din caracteristicile de frecvență se observă:

- faza variază între 0 (la frecvențe joase) și $-\pi$ (la frecvențe înalte), variază mai rapid fiind pentru valorile mici ale factorului de amortizare
- comportarea rezonantă apare pentru valorile mici ale factorului de amortizare (un maxim de 12 dB)
- frîngerea caracteristicii amplificării-frecvență și valoarea de mijloc în caracteristica fază-frecvență se află la 426.000rad/s
- panta porțiunii descendente este de -40dB/decad , indiferent de factorul de amortizare
- N.B. la afișare, pe abscisă se află pulsanta, în rad/s

Din funcția indicială se observă:

- răspunsul este amortizat, pentru $\zeta > 1$
- răspunsul devine oscilant, mai puțin amortizat, pentru valorile mici ale factorului de amortizare
- se determină frecvența oscilațiilor și se observă că ea corespunde cu cea determinată din diagramele anterioare

3. Se realizează fizic circuitul. La generator se alege semnal dreptunghiular, frecvența 4KHz, umplere 50%, frecvență component medie, excursia de 2V de la vârf la vârf. Se începe experimentul cu valoarea cea mai mică a lui R2. Se oscilografiază semnalul u_e și se observă răspunsul la treaptă (funcția indicială). Se crește treptat valoarea lui R2 (3-4 valori intermediare) și se observă modificarea formei funcției indiciale.

4. Circuitul rămâne cu R2 în ultima poziție folosită (valoarea cea mai mare a lui R2). Se determină frecvența oscilațiilor amortizate, astfel: se determină intervalul între două maxime succesive, sau între două minime succesive, sau între două treceri succesive prin valoarea de regim staționar. Acest interval se asimilează cu o perioadă, din care se calculează frecvența oscilațiilor (chiar dacă semnalul este oscilant amortizat, deci neperiodic). Se verifică dacă frecvența de oscilație coincide

cu cea determinată teoretic ($f_r = \frac{1}{2f\sqrt{LC}}$) și cu cea determinată din diagramele de la punctul anterior.

5. Pentru circuitul rămas în aceeași poziție (este important să nu se schimbe valoarea R2), se determină caracteristicile amplificării-frecvență și fază-frecvență, astfel:

- se aplică semnal de intrare sinusoidal, cu amplitudinea 1V, frecvență component medie, frecvență variabilă, conform cu tabelul.

- pentru fiecare valoare a frecvenței, se observă simultan semnalele de intrare și de ieșire, osciloscopul sincronizat cu semnalul de intrare. Se măsoară și se notează în tabel amplitudinile semnalelor de intrare și de ieșire. Modulul amplificării se calculează ca raport între amplitudinile semnalului de ieșire și intrare. Apoi, amplificarea se exprimă în dB, folosind relația de definiție:

$$a_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(a) \quad (8)$$

- se măsoară defazajul între ieșire și intrare (vezi fișierul [CEF-curs1.pdf](#)), astfel: se măsoară întârzierea diferenței de timp între trecerea prin 0 a ambelor semnale, în același sens. Convenție: decalarea în timp este negativă, dacă semnalul de ieșire este în urma celui de intrare. Defazajul se calculează conform cu:

$$\phi = 2\pi \frac{U_t}{T} = 2\pi \cdot U_t \cdot f \quad (9)$$

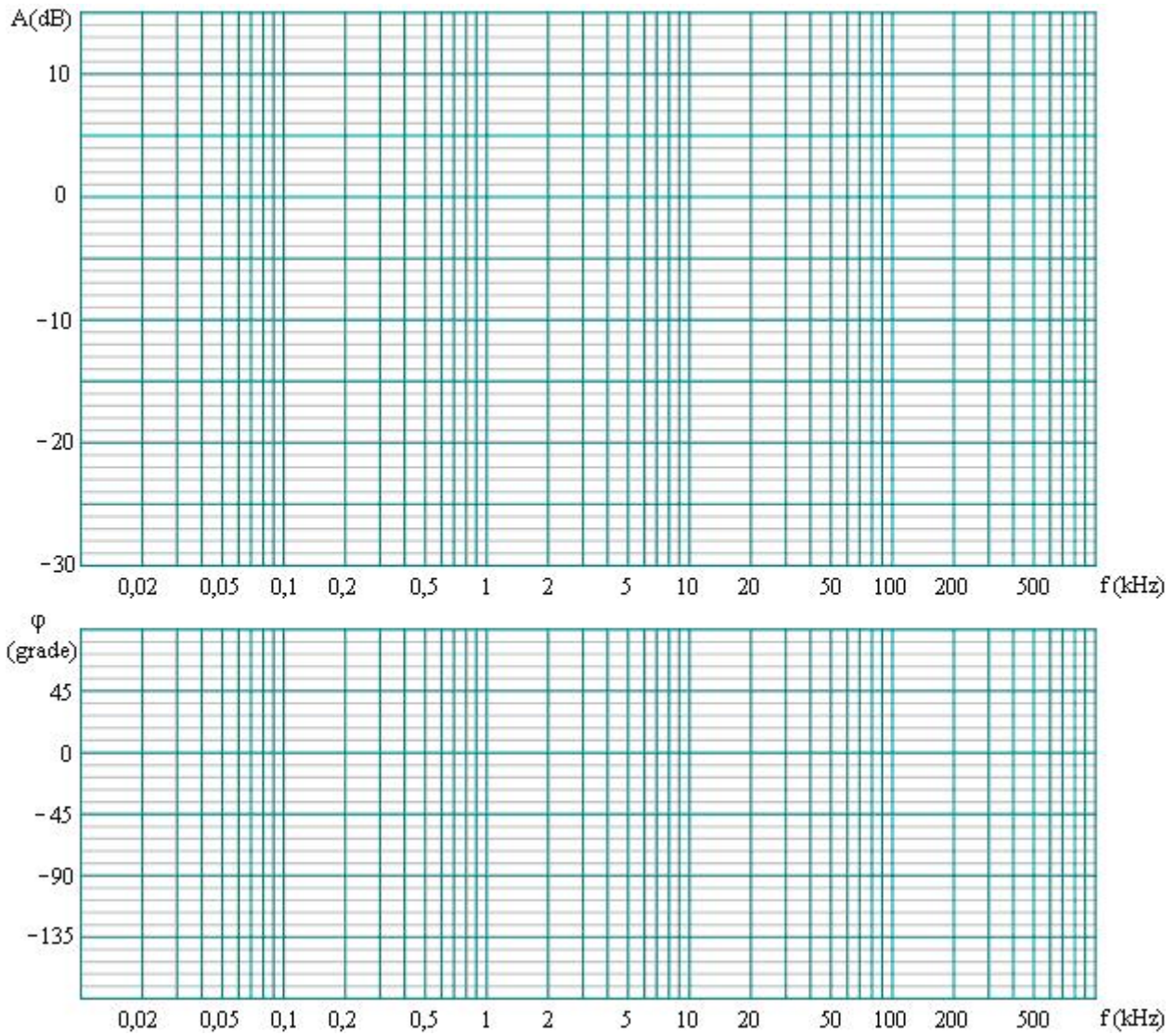
unde T este perioada semnalului. (Defazajul se poate exprima și în grade: 360 grade = 2π radiani.) Se notează în tabel valoarea defazajului.

- măsurile se efectuează, suplimentar față de valorile scrise în tabel, la acea valoare a frecvenței la care apare rezonanța (valoarea maximă a amplificării), care se notează în prima linie a tabelului

- amplificarea și faza se reprezintă grafic, ca funcții de frecvență (se pot folosi caroiagele din anexă).

f	kHz	0,5	1	2	5	10	20	50		?		100	200	500
U _i	mV													
U _o	mV													
t	μs													
A _u	-													
A _{dB}	dB													
	grad													

6. Se verifică dacă există vreo legătură între valoarea frecvenței oscilațiilor amortizate, din răspunsul în timp (determinat la punctul 4) și valoarea frecvenței de rezonanță, determinat la punctul 5.



Caroiajul pentru trasarea caracteristicilor de frecvență, în coordonate logaritmice, respectiv semilogaritmice

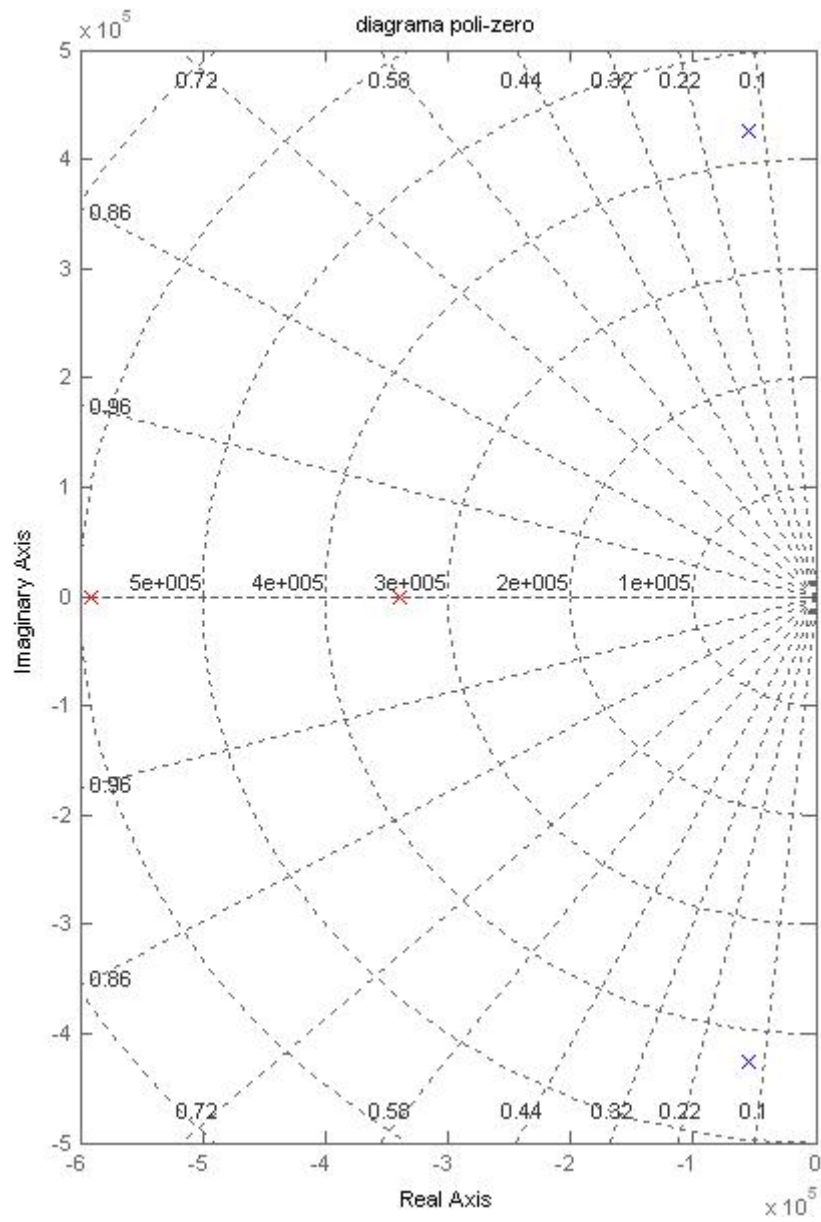


Figura 2: Diagrama poli-zero

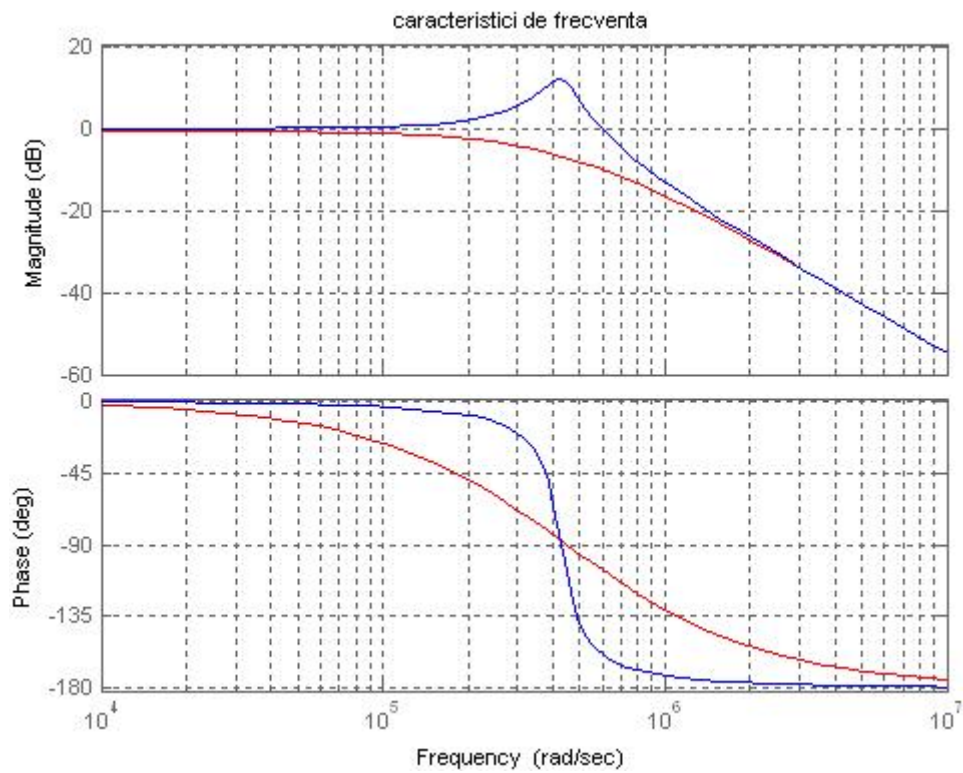


Figura 3: Caracteristicile de frecven

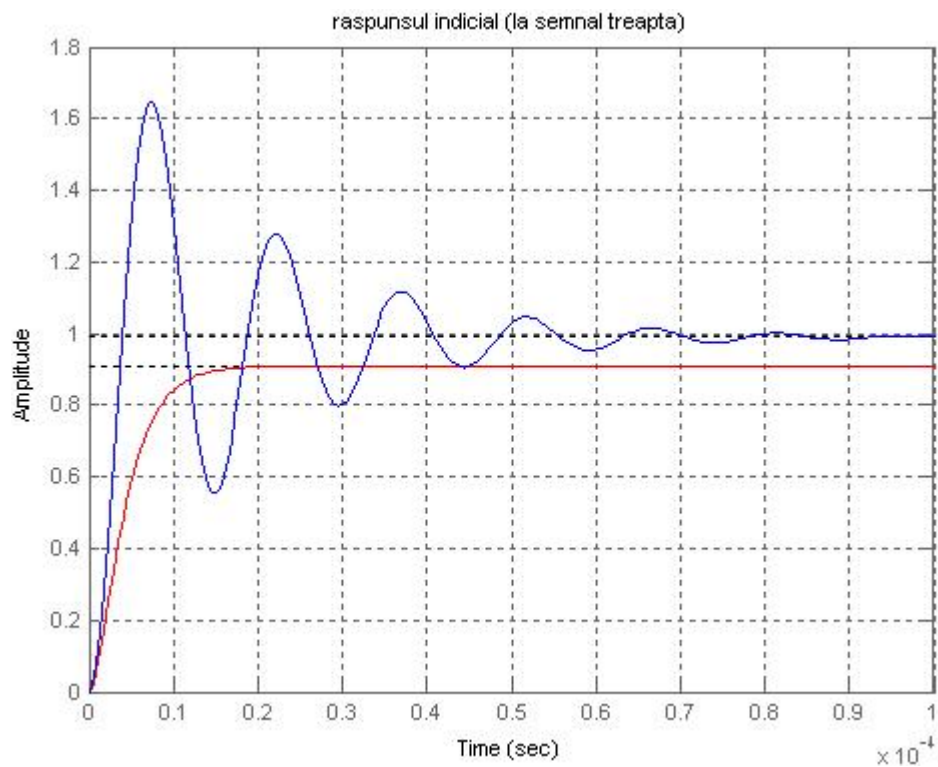


Figura 4: R spunsul indicial

Laborator 8: Măsurări pentru caracterizarea sistemelor

Obiective:

- observarea pe analizorul spectral a spectrului unui emițător MF
- observarea pe osciloscop a răspunsului la treaptă (răspunsul indicial)
- măsurarea defazajului între două semnale coerente

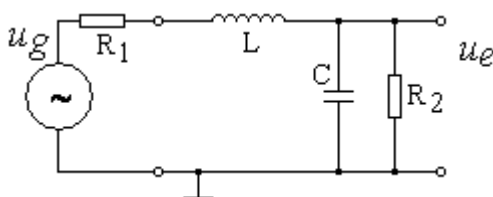
Modul de lucru

1. Se atașează o antenă scurtă la intrarea analizorului spectral. Se selectează următoarele opțiuni: marker ON, lărgimea de bandă a filtrului 20kHz (cealaltă opțiune este 400kHz), atenuare 0dB la intrări (cele 4 butoane care introduc atenuări de 10dB trebuie să fie ridicate), scara pe orizontală 2MHz/div (scara se modifică din stânga-dreapta).

Se plasează markerul în centrul ecranului și se manevrează butonul „Center frequency” până când frecvența indicată o valoare în banda 88-108MHz (valoarea indicată de frecvențometru corespunde cu poziția markerului, pe axa orizontală). Spectrele posturilor de radio din bandă se văd ca grupuri compacte de linii spectrale, care se ridică vizibil deasupra nivelului de zgomot. Se centrează din reglajul fin un post de radio în mijlocul ecranului, după care se modifică treptat scara pe orizontală, spre 0,2 sau 0,1MHz/div. În acest moment, se observă poziția purtătorului și a benzilor laterale. Se observă că, atunci când semnalul modulator este aproape de 0, pe ecran apare doar linia spectrală a purtătorului. Când semnalul modulator este puternic, purtătorul se diminuează, iar contribuția liniilor spectrale laterale crește. În acest scop, se poate folosi un set de difuzoare sau de căști radio, conectate la ieșirea Headphone a analizorului.

Se măsoară banda ocupată de emițător (valoarea tipică pentru un post de radio în banda de unde ultracurte, UUS, cu modulație de frecvență).

2. Răspunsul indicial (răspunsul la semnal de intrare treaptă) este un model al circuitului. Dacă este observat pe osciloscop, este un model neparametric, spre deosebire de cel parametric (exprimat prin model matematic). Pentru observarea răspunsului la treaptă, semnalul de intrare este o succesiune periodică de trepte. Perioada este aleasă astfel încât, pe durata fiecărei trepte (jumătate din perioadă) să se stingă fenomenul tranzitoriu, deci circuitul să ajungă în regim staționar.



Circuitul studiat are schema din figură, în care: R_1 este rezistența de ieșire a generatorului (50 Ω), $L=2,6\text{mH}$, $C=2,2\text{nF}$, R_2 ia valori între [200 ... 10k Ω]. Dacă se neglijează efectul lui R_1 , funcția de transfer aproximativă a circuitului este:

$$H(s) = \frac{1}{s^2 LC + \frac{sL}{R_2} + 1} = \frac{1}{s^2 T^2 + 2sT' + 1} \quad \text{sau} \quad H(s) = \frac{k \cdot \check{S}_n^2}{s^2 + 2 \frac{s}{\check{S}_n} + \check{S}_n^2}$$

în care $\check{S}_n = \frac{1}{T}$ este pulsația de oscilație naturală (sau de oscilație liberă). Frecvența oscilațiilor amortizate, din răspunsul indicial al circuitului, este foarte apropiată de frecvența de oscilație naturală:

$$f_n = \frac{1}{2f\sqrt{LC}}.$$

Se alege la generator semnal dreptunghiular, factor de umplere 50%, component medie nul, frecvența 5kHz, 4Vpp. Se aplică semnalul la intrarea circuitului studiat (capătul liber al bobinei, față de punctul comun). Se atașează sonda osciloscopului (canal 1) la ieșirea circuitului (punctul dintre bobină și condensator, față de comun). Se alege la osciloscop: canalul 1, sensibilitatea pe verticală 1V/div, viteza de baleiaj 20μs/div, sincronizare de la canalul 1, pe flancul crescător. Se manevrează nivelul de sincronizare, astfel încât imaginea să fie stabilă pe ecran.

Se observă răspunsul circuitului la treapta crescătoare. Se variază rezistența R2, astfel încât să se observe cele două extreme: răspunsul aperiodic și răspunsul oscilant.

Pentru răspuns oscilant, se determină frecvența oscilațiilor amortizate, astfel: se determină intervalul de timp dintre două extreme succesive (acesta se asociază cu o perioadă a oscilațiilor, chiar dacă oscilațiile nu sînt periodice) și se calculează frecvența, ca invers al timpului măsurat. Se calculează frecvența oscilației libere (vezi relația de mai sus) și se verifică dacă corespunde cu valoarea determinată experimental.

3. Modelul caracteristicilor de frecvență este adecvat pentru circuite liniare. Necesită excitație armonică (sinusoidală) și măsurarea amplificării și a defazajului dintre ieșire și intrare, pentru fiecare valoare a frecvenței semnalului de intrare.

Pentru măsurarea defazajului semnalului B, față de semnalul A, se măsoară decalarea în timp dintre cele două semnale și se calculează :

$$\phi = 2\pi \frac{U_t}{T} = 2\pi \cdot U_t \cdot f,$$

unde T este perioada lor comună. Ordinea semnalelor nu este opțională: prin convenție, dacă semnalul B este în avans față de A, defazajul lui (tot față de A) este pozitiv.

Se alege la generator semnal sinusoidal, component medie nul, frecvența 1kHz, 6Vpp. Se alege la osciloscop: sincronizare de la canalul 1, pe flancul crescător, nivelul de sincronizare cât mai aproape de 0V, sensibilitatea pe verticală 1V/div, viteza de baleiaj 200μs/div. Nivelul de 0V se alege la mijlocul ecranului, pentru ambele canale. Se cuplează sonda canalului 1 la intrarea în circuit, sonda canalului 2 la ieșirea circuitului. Potențiometrul de pe circuit se fixează la poziția de mijloc (corespunde cu răspunsul oscilant amortizat, din punctul precedent).

Se observă cele două semnale. Se observă că au aproape aceeași fază, deci defazajul este 0 rad. Se măsoară valoarea frecvenței de la generator: 10kHz, 20kHz, 50kHz, 60kHz, 100kHz. Pentru fiecare valoare, se măsoară decalajul în timp al semnalului de ieșire, față de cel de intrare, astfel: se măsoară intervalul dintre intersecțiile celor două semnale cu axa de 0V. ATENȚIE: valoarea măsurată are semn, conform cu convenția stabilită mai sus! Se calculează defazajul, conform cu relația de definiție de mai sus.

Care este valoarea spre care tinde defazajul, odată cu creșterea frecvenței?

În timpul experimentului, se observă faptul că amplitudinea semnalului de ieșire se modifică (va fi nevoie de modificarea sensibilității pe verticală, la canalul 2).