

Măsurări în regim permanent sinusoidal. Măsurarea defazajelor

Scop: Familiarizarea cu metode de măsurare a părților funcției de transfer și reprezentarea caracteristicilor de frecvență și fază a unui circuit (diport) liniar și invariant în timp. Folosirea acestor măsurători pentru determinarea capacității de intrare în osciloscop și pentru studiul unui atenuator compensat.

Breviar teoretic

Aplicând la intrarea unui diport liniar invariant în timp un semnal sinusoidal cu amplitudinea $U_{0\text{ in}}$, valoarea efectivă $U_{ef\text{ in}}$ și pulsația ω ,

$$x(t) = U_{0\text{ in}} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \text{Re}\{U_{0\text{ in}} \cdot e^{j\omega t}\} = U_{ef\text{ in}} \sqrt{2} \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (1)$$

se obține la ieșire tot un semnal sinusoidal de aceeași frecvență cu cel de la intrare, cu amplitudinea $U_{0\text{ out}}$

$$y(t) = U_{0\text{ out}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) = \text{Re}\{H(\omega) \cdot U_{0\text{ out}} \cdot e^{j\omega t}\}, \quad (2)$$

unde $H(\omega)$ reprezintă valoarea funcției de transfer a circuitului la frecvența f , $\omega = 2\pi f$

$H(\omega)$ este o mărime complexă cu modulul $|H(\omega)|$, și argumentul $\arg\{H(\omega)\}$:

$$H(\omega) = |H(\omega)| \cdot e^{j\arg\{H(\omega)\}}, \quad (3)$$

se obține **amplitudinea** semnalului de la ieșire, $U_{0\text{ out}}$, și **defazajul** între semnalul de la intrare și cel de la ieșire φ :

$$U_{0\text{ out}} = U_{0\text{ in}} \cdot |H(\omega)| \text{ sau } U_{ef\text{ out}} = U_{ef\text{ in}} \cdot |H(\omega)|, \quad \varphi = \arg\{H(\omega)\} = \arctg\left(\frac{\text{Im}\{H(\omega)\}}{\text{Re}\{H(\omega)\}}\right) \quad (4)$$

Relațiile (4) indică o metodă de a determina atât modulul cât și argumentul, care mai sînt denumite și părți ale funcției de transfer.

A. Modulul: Caracteristica de amplitudine $|H(\omega)|$

Aplicînd la intrarea diportului un semnal sinusoidal de frecvență f_1 și amplitudine U_i cunoscută și măsurînd amplitudinea semnalului sinusoidal de ieșire U_o , se determină valoarea modulului funcției de transfer la acea frecvență:

$$|H(\omega)| = \frac{U_{0\text{ out}}}{U_{0\text{ in}}} = \frac{U_{ef\text{ out}}}{U_{ef\text{ in}}} \quad (5)$$

Dacă $|H(\omega)| > 1$, se spune că circuitul amplifică, iar dacă $|H(\omega)| < 1$, circuitul atenuază. Circuitele pasive întotdeauna atenuază!

Este mai util ca modulul funcției de transfer să se exprime în dB:

$$|H(\omega)|_{dB} = 20 \cdot \lg|H(\omega)| = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{0\text{ out}}}{U_{0\text{ in}}}\right) \quad (7.a)$$

$$|H(\omega)|_{dB} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{0\text{ out}}}{U_{REF.}}\right) - 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{0\text{ in}}}{U_{REF.}}\right) = U_{0\text{ out}}\text{ dB} - U_{0\text{ in}}\text{ dB} \quad (7.b)$$

Caracteristica de amplitudine reprezintă variația modulului funcției de transfer cu frecvența sau pulsația $\omega = 2\pi f$.

Reprezentarea grafică a caracteristicii de amplitudine se poate face într-un sistem de coordonate liniar, semilogaritm sau dublu logaritm (figura 1), preferîndu-se de obicei cel dublu logaritm, denumit și diagramă Bode, care permite reprezentarea caracteristicilor de amplitudine într-un domeniu larg de frecvențe.

Domeniul de frecvențe sau pulsații cuprins între o valoare arbitrară ω_1 și $10\omega_1$ se numește **decadă**, iar domeniul cuprins între ω_1 și $2\omega_1$ se numește **octavă**.

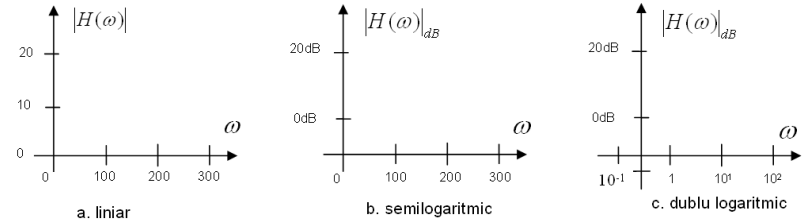
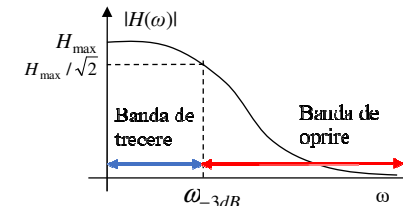


Fig 1. Diagrame de reprezentare a $|H(\omega)|$ (liniar, semilogaritm, dublu logaritm)

O importanță deosebită, pentru caracteristica de amplitudine, o reprezintă frecvența f_{-3dB} , la care:

- puterea semnalului sinusoidal de la ieșire are jumătate din puterea maximă posibilă (în domeniul frecvență), în condițiile în care la intrare se aplică semnal sinusoidal, respectiv
- amplitudinea la ieșire este $1/\sqrt{2} = 0.707$ din cea de la intrare, respectiv
- modulul funcției de transfer este cu 3 dB mai mic decât valoarea maximă a acestuia (exprimat în dB);

$$|H(\omega_{-3dB})|_{dB} = \max_{\omega} \{ |H(\omega)|_{dB} \} - 3 \quad \text{echiv} \quad \frac{\max_{\omega} \{ |H(\omega)| \}}{\sqrt{2}} \cong 0.707 \cdot \max_{\omega} \{ |H(\omega)| \} \quad (8)$$



Caracteristica de tip FTJ: Frecvența de -3dB, banda de trecere și oprire

B: Argumentul $\arg\{H(\omega)\}$ - Caracteristica de fază

Măsurînd defazajul dintre semnalul sinusoidal de ieșire și cel de intrare se obține argumentul funcției de transfer de la acea frecvență $\arg\{H(\omega)\}$.

Funcția de variație cu frecvența sau pulsația a defazajului introdus de circuit este denumită **caracteristică de fază**.

Caracteristica de fază se poate măsura cu ajutorul osciloscopului prin două metode simple: *metoda elipsei* și *metoda sincronizării cu semnalul de referință*.

B1. Metoda sincronizării cu semnalul de referință

Această metodă poate fi folosită atât cu un osciloscop cu două canale cât și cu unul cu un singur canal (care are intrare de sincronizare externă).

Montajul de măsură este prezentat în figura 2a, iar în figura 2b imaginea care apare pe ecranul osciloscopului, setat în modul uzual de afișare în timp $Y(t)$.

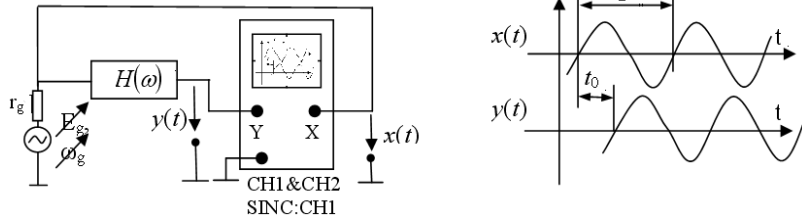


Fig 2. Măsurarea defazajului prin metoda sincronizării pentru un osciloscop cu două canale; $x(t)$ = semnalul de la intrare, $y(t)$ = semnalul de la ieșire, t_0 = întârzierea între cele două.

Semnalul $y(t)$, de la ieșirea circuitului, se poate scrie sub forma:

$$y(t) = U_{0\text{out}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) = U_{0\text{out}} \cdot \cos(\omega \cdot (t + t_0)) \quad (9)$$

unde

$$\varphi = \omega \cdot t_0 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{t_0}{T} = 360^\circ \cdot \frac{t_0}{T} \quad (10)$$

T reprezintă perioada semnalului, iar t_0 diferența de timp între trecerile prin zero cu același front ale semnalelor $y(t)$ și $x(t)$. Măsurînd valorile t_0 și T se poate determina defazajul folosind relația (10).

Observație: Pentru măsurarea cu erori minime a intervalelor de timp, cu osciloscopul, se alege ca momentele de delimitare a acestora să fie momentele în care panta semnalelor $x(t)$ sau $y(t)$ este maximă (la trecerea prin 0).

Observație: Această metodă poate fi utilizată și în cazul osciloscopului cu un singur canal (CH1), folosind posibilitatea de **sincronizare externă** a osciloscopelor. Astfel, după stabilirea condițiilor de sincronizare folosind semnalul $x(t)$, acesta se aplică pe borna **External Trigger**, iar $y(t)$ pe borna CH1. În acest caz t_0 este diferența dintre *momentul de sincronizare* al osciloscopului și momentul de timp la care semnalul $y(t)$ trece prin același nivel.

B2. Metoda elipsei

Metoda elipsei se poate aplica pentru un osciloscop cu două canale. Pentru aceasta trebuie realizat un montaj ca cel din figura 3.a. Trecînd osciloscopul în modul de afișare $Y(X)$, numit și modul XY, în care deplasarea spotului pe axa x a ecranului nu mai este comandată de baza de timp, ci de semnalul aplicat pe a doua intrare a osciloscopului. Imaginea obținută pe ecranul osciloscopului este o elipsă cu axele rotite față de sistemul de coordonate, ca în figura 3.b.

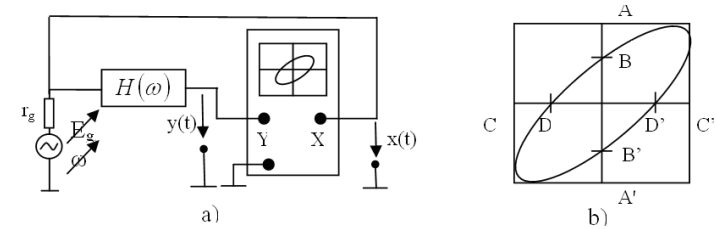


Fig 3. a) montajul de măsură; b) imaginea pe osciloscop.

Ecuțiile parametrice ale elipsei sînt:

$$\begin{cases} dx = C_x U_{0in} \cos(\omega t) \\ dy = C_y |H(\omega)| \cdot U_{0in} \cdot \cos(\omega t + \varphi) \end{cases} \quad (11)$$

unde

- dx, dy reprezintă deviația spotului pe ecranul osciloscopului, după axa OX , respectiv OY ;

- C_x, C_y coeficienții de deflexie corespunzători intrărilor X , respectiv Y ;

- $\varphi = \arg\{H(\omega)\}$ defazajul dintre semnale;

În continuare sînt prezentate segmentele de dreaptă care se citesc de pe ecran (Figura 3b) în scopul determinării defazajului. Sînt precizate semnificația, modul de măsură și expresiile obținute din ecuațiile parametrice.

- **AA'** - distanța dintre tangentele paralele cu OX (amplitudinea vîrf la vîrf a lui dy). Se măsoară lungimea segmentului care apare pe ecran deconectînd semnalul de la intrarea X .

$$AA' = 2 \cdot C_y \cdot |H(\omega)| \cdot U_i \quad (13)$$

- **CC'** - distanța dintre tangentele la elipsă paralele cu OY (amplitudinea vîrf la vîrf a lui dx). Se măsoară lungimea segmentului care apare pe ecran deconectînd semnalul de la borna Y .

$$CC' = 2 \cdot C_x \cdot U_i \quad (14)$$

- **BB'** - Distanța dintre punctele de intersecție ale elipsei cu OY (dublul valorii instantanee a lui dy cînd $dx=0$). Se măsoară pe elipsă.

$$BB' = 2 \cdot C_y \cdot |H(\omega)| \cdot U_i \cdot |\sin \phi| \quad (15)$$

- **DD'** - Distanța dintre punctele de intersecție ale elipsei cu axa OX (dublul valorii instantanee a lui dx , cînd $dy=0$). Se măsoară pe elipsă.

$$DD' = 2 \cdot C_x \cdot U_i \cdot |\sin \phi| \quad (16)$$

Folosind valorile segmentelor se obține:

$$|\sin \phi| = \frac{BB'}{AA'} = \frac{DD'}{CC'} = \lambda \quad (17)$$

Deoarece în relațiile pentru CC' și DD' , nu apare $H(\omega)$ (care se modifică cu frecvența), pentru determinarea lui λ se preferă raportul :

$$\lambda = \frac{DD'}{CC'} \quad (18)$$

Dacă axa mare a elipsei este în primul cadran, atunci defazajul se calculează cu relația:

$$\varphi = \pm \arcsin \lambda \quad (19)$$

Dacă axa mare a elipsei este în cel de-al doilea cadran, defazajul se calculează cu relația:

$$\varphi = \pi \pm \arcsin \lambda \quad (20)$$

Semnul se rezolvă introducând un defazaj suplimentar, de valoare cunoscută, pe unul din canale și urmărind în ce fel se modifică elipsa.

Observație: Metoda elipsei nu este indicată când $\varphi \in \{k\pi + \pi/2\}, k \in \mathbb{Z}$.

Desfășurarea lucrării

NOTĂ: Studenții vor avea asupra lor calculator sau dispozitive cu software de calculator cu funcții trigonometrice!

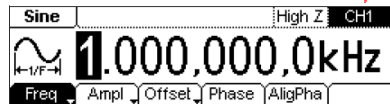
Observația 1. La începutul laboratorului, se aduce osciloscopul în starea implicită prin apăsarea butonului **Default/Setup**.

Observația 2. Deoarece nu se folosesc sonde divizoare la osciloscop, pentru toate măsurătorile trebuie folosită setarea **PROBE 1X** (din meniul CH1 și CH2). Altfel, valorile măsurătorilor realizate și indicate de osciloscop ar fi eronate (de *probe* ori mai mari).

1. Recapitulare (utilizare generator de funcții și osciloscop)

a) Se conectează ieșirea generatorului (CH1) la intrarea osciloscopului (CH1), se activează ieșirea CH1 prin apăsarea butonului **Output** corespunzător de lângă mufa de ieșire, pînă cînd se iluminează. Întrucît generatorul are 2 canale, atenție la care canal se reglează parametrii, acest lucru este indicat pe afișaj în dreapta sus (de exemplu, **CH1**

în figura de mai jos) și se poate schimba folosind butonul

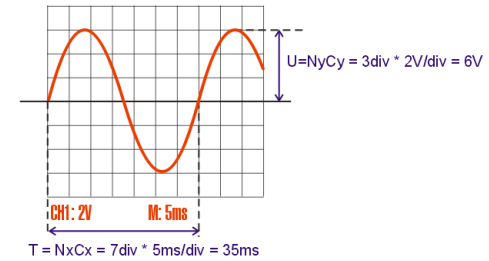


Se reglează, de la generator, un semnal sinusoidal cu valoarea vîrf-vîrf U_{VV} , componenta continuă (*Offset*) U_{CC} și frecvența f (valorile vor fi specificate în sală, pentru fiecare echipă). Atenție la unitatea de măsură! o amplitudine de 2V este echivalentă cu $4V_{pp}$! unitatea de măsură elimină orice dubiu asupra limitelor între care se specifică tensiunea.

Indicație: Urmăriți explicațiile din **Anexele A** (osciloscop) și **B** (generator)

Se determină coeficienții de deflexie **optimi** C_{Xopt} și C_{Yopt} ai osciloscopului pentru a măsura cu ușurință amplitudinea și perioada semnalului (pe verticală imaginea să fie între 4 și 8 div, fără să iasă din ecran, iar pe orizontală, perioada sa fie între 5 și 10 div,

adică să se vadă între cel puțin 1 perioadă și cel mult 2 perioade pe ecran). Reamintim relațiile de legătură $U=N_Y C_Y$ și $T=N_X C_X$ ca în exemplul de mai jos:



Exemplu de citire a amplitudinii și perioadei prin numărarea diviziunilor; CH1 și M de pe ecran corespund la C_{Y1} și C_X

Se desenează imaginea de pe ecran pentru C_{Xopt} și C_{Yopt} aleși (observați că reglajele C_X , C_Y posibile iau doar valori discrete). Se marchează cele **3 săgețe** de pe ecran, din stînga (nivelul de 0, *săgeata 6* din **Anexa A**), sus (momentul de trigger, *săgeata 3*) și dreapta (nivelul de trigger, *săgeata 5*).

Se măsoară pe ecran, folosind diviziunile și C_X , C_Y , valoarea amplitudinii $U_{0m\grave{a}s}$, perioada $T_{1m\grave{a}s}$, și valoarea componentei continue (*offset*), $U_{CCm\grave{a}s} = U_{med}$

Notă: Reamintim că măsurarea componentei continue se realizează prin măsurarea tensiunii cu care se deplasează imaginea pe ecran la trecerea de pe cuplaj AC la cuplaj DC. De exemplu, dacă $C_Y = 1V/div$ și imaginea coboară în jos cu 1 div, U_{CC} este -1V.

Se notează *rezoluția de citire* a valorilor pe verticală folosind diviziunile (graticula), δu și se calculează erorile relative de citire ale valorilor $U_{0m\grave{a}s}$ și $U_{CCm\grave{a}s}$. Atenție! pentru a calcula δu aveți nevoie și de C_Y setat în acel moment !

$$\varepsilon_{U_0} = \frac{\delta u}{U_{0mas}} \cdot 100 [\%] \quad \text{și} \quad \varepsilon_{U_{CC}} = \frac{\delta u}{U_{CC}} \cdot 100 [\%] \quad (23)$$

Indicație: pentru orice măsurătoare folosind o scară gradată, inclusiv graticula osciloscopului, *rezoluția de citire este egală cu cea mai mică (sub)diviziune desenată pe scară/ecran*. De exemplu, la o riglă clasică cu diviziuni atât la *cm* cât și *mm*, rezoluția este 1mm.

Se calculează aceleași erori și pe orizontală, pentru perioadă.

$$\varepsilon_T = \frac{\delta T}{T} \quad (24)$$

b) Se modifică parametrii de sincronizare ai osciloscopului: se crește nivelul de sincronizare (din reglajul **Trigger Level** al osciloscopului) peste valoarea maximă a semnalului. Ce se observă? De ce? Se apasă pe **Set to 50%**. Se modifică sursa de sincronizare **Trig menu** → **Source** → **CH2**. Ce se întâmplă și din ce cauză? Se revine la **Trig menu** → **Source** → **CH1**.

2. Măsurarea frecvenței de tăiere a filtrului

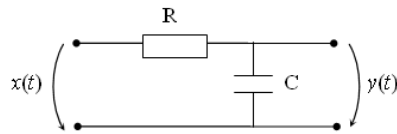


Fig. 10 Filtru Trece-Jos

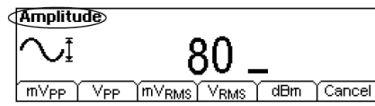
Se măsoară componentele R și C la multimetrul numeric (butoanele Ω respectiv simbolul de condensator). Se realizează, pe placa de test, circuitul corespunzător figurii 10. Se calculează valoarea teoretică a frecvenței de tăiere, cu formula $f_{-3dB\ t} = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C)$. Pentru ușurința măsurătorilor, se verifică că $f_{-3dB\ t}$ este între (500Hz, 10KHz), în caz contrar se aleg alte valori R, C .

La intrarea circuitului se introduce un semnal sinusoidal de frecvență $f_1 = f_{-3dB\ t}/10$ (un ordin de mărime mai mică), fără componentă continuă, cu nivelul semnalului reglat la $U_{ef\ in|dB} = 0dBm$, setat de la generator.

Memento:

$0dB = 1V$, $0dBm = 0.775V$

pentru sinus: $1V (efectiv) = 1 \cdot \sqrt{2} V (vîrf) = 2 \cdot \sqrt{2} V_{pp} (vîrf\ la\ vîrf)$.



Exemplu setare unitate de măsură pentru „amplitudine” la generator. Dacă se setează V_{RMS} sau dBm , „amplitudinea” este de fapt **valoarea efectivă**, dacă se setează V_{PP} , „amplitudinea” este de fapt **valoarea vîrf-la-vîrf**. La acest model de generator nu aveți unitate explicită pt. **valori de vîrf** (care ar fi definiția uzuală a amplitudinii).

Nivelul semnalului de la intrare se verifică să fie $0dBm$ pe scara de dBm a milivoltmetrului analogic de c.a. Se citește tensiunea de la intrare $U_{ef\ in}$ și în volți. Se mută milivoltmetrul la ieșire și se urmărește ca tensiunea de ieșire $U_{ef\ out}$ să fie aproximativ egală cu cea de intrare – de ce se întâmplă acest lucru?

Memento: toate voltmererele sînt gradate în valori efective, spre deosebire de generator care permite alegerea între valori vîrf-la-vîrf sau efective.

Se **crește** frecvența semnalului (amplitudinea rămîne constantă) pînă cînd se ajunge la frecvența de tăiere **experimentală** f_{-3dB} : frecvența la care tensiunea de la **ieșire**, măsurată pe milivoltmetrul analogic, este cu $3dB$ (sau $3dBm$) mai mică decît cea de la intrare. Deoarece $U_{ef\ in} = 0dBm$, frecvența f_{-3dB} se obține cînd $U_{ef\ out} = -3dBm$. Se notează $U_{ef\ out}$ indicat pe scara de V precum și raportul teoretic și măsurat dintre amplitudinile (în volți) de la ieșire și intrare.

Observație: reamintim că o **diferență de $3dB$ este egală** cu o diferență de $3dBm$ între 2 semnale, chiar dacă valoarea **absolută** a unei tensiuni în dB **diferă** de dBm !

3. Măsurarea caracteristicii amplitudine-frecvență.

a) Se determină modulul funcției de transfer pentru filtrul $R-C$ (figura 10) astfel: la intrarea circuitului se introduce un semnal sinusoidal avînd nivelul (amplitudinea) reglat la $U_i = 0dBm$. Se măsoară pe scara de dBm a milivoltmetrului de c.a. nivelul semnalului de la ieșire $U_o [dBm]$.

Modulul funcției de transfer va fi $|H(\omega)|_{dB} = U_o|_{dBm} - U_i|_{dBm}$ (7.b.) Măsurarea se va efectua la frecvențele $f_{-3dB}/10$, $f_{-3dB}/4$, f_{-3dB} , $2 \cdot f_{-3dB}$, $4 \cdot f_{-3dB}$, $20 \cdot f_{-3dB}$, unde f_{-3dB} este frecvența determinată **experimental** la punctul 2. Se determină eroarea relativă între frecvența de tăiere experimentală și teoretică.

b) Din măsurătorile efectuate la punctul 3.a. se determină panta filtrului în banda de oprire (zona de frecvențe *mai mari* ca f_{-3dB}). Panta filtrului se va calcula atît în $dB/decadă$, cît și în $dB/octavă$ (cu cîți $dB/decadă$ a scăzut amplitudinea cînd frecvența semnalului crește de 10 ori, respectiv de 2 ori; alegeți valori corespunzătoare de frecvențe în *dreapta* frecvenței de tăiere, adică în banda de oprire a filtrului, dintre cele disponibile). Marcați sub tabel, sub forma unor linii orizontale sau acolade, intervalele corespunzătoare octavei și decadei alese!

4. Măsurarea caracteristicii de fază a funcției de transfer

Defazajul se va măsura, cu ajutorul osciloscopului, prin metoda sincronizării cu semnal de referință și metoda elipsei, pentru următoarele frecvențe: $f_{-3dB}/10$, $f_{-3dB}/4$, f_{-3dB} , $4 \cdot f_{-3dB}$, $10 \cdot f_{-3dB}$. Valorile (în *grade*) vor fi completate în tabelul de pe fișă. Pentru frecvența de tăiere se va folosi valoarea determinată la punctul 2.

φ_t – defazajul teoretic (in *grade*) determinat conform relației:

$$\varphi_{teoretic} = -\arctg\left(\frac{f}{f_{-3dB}}\right) \quad (25)$$

φ_e – defazajul măsurat prin metoda elipsei

φ_{sinc} – defazajul măsurat prin metoda sincronizării folosind osciloscopul cu două canale.

Măsurarea prin metoda sincronizării

a) Se măsoară defazajul prin metoda sincronizării cu semnal de referință folosind osciloscopul cu două canale – adică, afișarea pe osciloscop este sincronizată cu semnalul de la intrare, și se măsoară diferența de timp dintre acesta și semnalul de la ieșire.

Se aplică semnalul sinusoidal de intrare $x(t)$ la CH1 și semnalul $y(t)$ la CH2 ale osciloscopului. Se verifică că osciloscopul este în modul de lucru **Display** \rightarrow **Y(t)** și se poziționează nivelul de zero la jumătatea ecranului, pentru *ambele* semnale (cuplaj **CH1 menu** \rightarrow **Coupling** \rightarrow **AC** pentru CH1 și CH2). Apoi se aplică semnalele pe cele două canale, sincronizarea făcîndu-se după CH1 (din Trigger Menu). Pentru o măsurare cît mai precisă, se va regla amplitudinea astfel ca imaginea să fie cît mai mare pe ecran. Folosind cursorii de timp se măsoară t_0 și T , conform figurii 3.b. Pentru a măsura cît

mai precis, puteți schimba C_x când treceți de la măsurarea t_0 la T . Se calculează defazajul $\varphi_{\text{sin}} = -360^\circ \cdot \frac{t_0}{T}$ și se completează tabelul 2.

Măsurarea prin metoda elipsei

b) Se aplică semnalele de la intrarea și respectiv ieșirea circuitului pe intrările CH1 și CH2 ale osciloscopului. Se trece osciloscopul în modul de lucru **Display** → **Y(X)** și, în absența celor două semnale (cuplaj **GND** pentru CH1 și CH2 sau mufele scoase), se poziționează central punctul apărut în mijlocul ecranului. Apoi se aplică semnalele pe cele două canale (cuplaj **AC** pentru CH1 și CH2) și se reglează coeficienții de deflexie pe verticală la aceeași valoare ($C_{y1} = C_{y2}$), valoare aleasă astfel ca imaginea elipsei să fie cât mai mare pe ecran. Se măsoară segmentele CC' și DD' cu ajutorul graticulei ecranului, se completează în tabel și se calculează defazajul ($\varphi_e = -\arcsin \lambda$, unde $\lambda = \frac{DD'}{CC'}$), pentru fiecare frecvență menționată.

OBSERVAȚIE: pentru a simplifica măsurătorile, se observă că nu sînt importante valorile absolute ale segmentelor DD' și CC' , ci doar raportul dintre ele. De aceea, înainte de fiecare măsurătoare se poate regla amplitudinea de la generator pînă cînd elipsa “umple” tot ecranul, adică de fiecare dată CC' să fie valoarea maximă (10 div). CC' și DD' pot fi citite în diviziuni. CC' se măsoară ușor sînd **CH2 MENU** → **Coupling** pe „GND” în loc de „AC” sau „DC”.

c) Se calculează eroarea relativă făcută la determinarea defazajului față de valoarea teoretică.

$$\varepsilon_{\varphi_e} = \frac{\varphi_t - \varphi_e}{\varphi_t}; \quad \varepsilon_{\varphi_{\text{sin}}} = \frac{\varphi_t - \varphi_{\text{sin}}}{\varphi_t}; \quad (26)$$

Explicați: care sînt cauzele de eroare pentru fiecare metodă?

5. Reprezentarea diagramelor Bode pentru caracteristicile de amplitudine și de fază

Se reprezintă grafic caracteristicile de modul și de fază pentru circuitul studiat folosind diagramele Bode (cu scări dublu logaritmice, conform fig. 1.c.). Pentru caracteristica de fază se vor folosi valorile obținute prin metoda sincronizării. Se face graficul pe baza valorilor de mai sus (desenați punctele pe grafic, apoi interpolați-le).

Obs: Se pot utiliza aproximațiile: $\log_{10} 2 \approx 0,3$; $\log_{10} 3 \approx 0,477$; $\log_{10} 5 \approx 0,7$; $\log_{10} 7 \approx 0,845$

Teme (opționale)

1. Să se determine modulul și argumentul funcției de transfer pentru circuitele din figura 13, la frecvența $f = 20/\pi$ kHz.

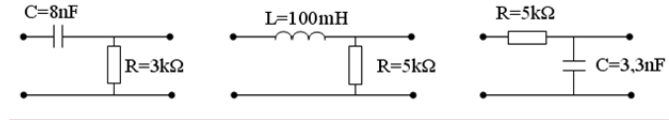


Fig. 13

Să se determine frecvența de tăiere pentru aceste circuite. Să se reprezinte grafic caracteristicile asimptotice de modul și de fază.

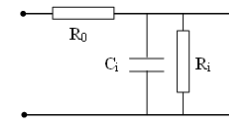
Fig. 14

2. Să se deducă relația (31)

Indicație: Se pleacă de la formula erorii pentru măsurători indirecte; dacă $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, atunci:

$$\varepsilon^y = \frac{1}{y} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot x_i \cdot \varepsilon^{x_i} \right| \quad (31)$$

3. Pentru circuitul din figură se cunosc $R_0=R_i=400k\Omega$, $C_i=250/2\pi$ pF. La intrarea circuitului se aplică un semnal sinusoidal de amplitudine $U_i=0dB$. Să se calculeze ce valoare în dB va avea amplitudinea semnalului de la ieșire dacă frecvența semnalului este 100Hz, respectiv 20KHz. Cît este frecvența de tăiere a circuitului?



4. Se măsoară prin metoda sincronizării defazajul introdus de un circuit liniar. Folosind graticula ecranului se măsoară valoarea lui $t_0=10\mu s$ și valoarea perioadei $T=90\mu s$. Știind că s-a folosit un coeficient de deflexie de $10\mu s/div$ să se determine defazajul și eroarea cu care a fost măsurat acest defazaj. Se consideră eroarea de citire pe ecranul osciloscopului egală cu 0,1div.

5. Pentru funcția de transfer de mai jos, determinați relația pentru modul și fază. Ce tip de filtru este? Cît este f_{3dB} ? Cît este panta de atenuare între $10f_{3dB}$ și $100f_{3dB}$? Dar panta funcției fazei între $1/\sqrt{3} f_{3dB}$ și $\sqrt{3} f_{3dB}$. Cît este defazajul maxim introdus de aceasta, față de semnalul de la intrare?

$$H(j\omega) = \frac{2}{1 + 500j\omega + 10^4 \omega^2}$$