

PARAMETRII MATRICIALI AI DIPORTILOR

1) Obiectivul lucrării de laborator

În lucrare sunt studiate metodele de măsurare experimentală a parametrilor asociați unor formalisme de descriere a diporților precum și relațiile dintre acești parametri.

2) Aspecte teoretice

a) Diport electric. Formalisme asociate

Un diport este constituit dintr-o rețea electrică accesibilă la patru borne (terminale) astfel încât bornele sunt grupate în două perechi (1 – 1') și (2 – 2'), iar curentul care intră într-o bornă a unei perechi (1 sau 2) este egal cu curentul care iese din cealaltă bornă din pereche (1' sau 2').

Diportul este caracterizat prin:

- Cei doi curenți I_1 și I_2 ;
- Cele două tensiuni de la porți U_1 și U_2 .

Prin majuscule notăm amplitudini complexe funcție de ω sau s . A se vedea figura 1.



Figura 1

Cele patru mărimi U_1 , U_2 , I_1 și I_2 pot fi determinate unic din patru relații neomogene liniar independente. Întrucât la cele două porți se pot scrie două condiții la limită (terminale), rezultă că mai sunt necesare două relații (omogene sau nu) între cele patru mărimi. Aceste două relații, care depind numai de structura internă a diportului, constituie ceea ce se numește un formalism de descriere a diportului. Dacă diportul este liniar, atunci un formalism realizează o aplicație liniară de la două din cele patru mărimi (U_1 , U_2 , I_1 , I_2) la celelalte două mărimi. Întrucât ordinea într-o pereche nu este esențială, rezultă că pentru un diport există:

$$n = C_4^2 = \frac{4 \cdot 3}{1 \cdot 2} = 6 \text{ formalisme}$$

Notând cu X_1 , X_2 primele două elemente ale unui formalism, iar cu X_3 , X_4 celelalte două, rezultă din definiția dată:

$$M: (X_1, X_2) \rightarrow (X_3, X_4)$$

$$\begin{bmatrix} X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

în care M_{ij} sunt numere, în general, complexe.

Cele șase formalisme sunt:

- formalismul Z sau de impedanță;
- formalismul Y sau de admitanță;
- formalismul A sau lanț sau de transmisie;
- formalismul B sau lanț invers sau de transmisie inversă;
- formalismul h sau hibrid;
- formalismul g sau hibrid invers.

Structurile celor șase formalisme sunt prezentate în tabelul 1. Prin Δ_M a fost notat determinantul matricii care caracterizează formalismul considerat.

Tabelul 1. Diferite formalisme de descriere a diporturilor

<p><u>Formalismul Z-impedanță</u></p> $\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = [Z] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$	<p><u>Formalismul Y-admitanță</u></p> $\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [Y] \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$
<p><u>Formalismul A-lanț</u></p> $\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$	<p><u>Formalismul B –lanț invers</u></p> $\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ -I_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = [B] \begin{bmatrix} U_1 \\ -I_1 \end{bmatrix}$
<p><u>Formalismul h –hibrid</u></p> $\begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [h] \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$	<p><u>Formalismul g-hibrid invers</u></p> $\begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = [g] \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$

Se observă că au loc relațiile de inversiune:

$$[Z]^{-1} = [Y], \quad [h]^{-1} = [g]$$

Parametrii M_{ij} asociați unui anumit formalism au semnificații fizice care conduc la metode de măsurare. Spre exemplu, din: $X_3 = M_{11}X_1 + M_{12}X_2$ rezultă:

$$M_{11} = \left. \frac{X_3}{X_1} \right|_{X_2=0} \quad M_{12} = \left. \frac{X_3}{X_2} \right|_{X_1=0} \quad (2)$$

Ținând seama că mărimile X_i sunt tensiuni sau curenți, rezultă că parametrii M_{ij} sunt imitanțe sau funcții de transfer evaluate în gol sau în scurt.

Relațiile de trecere de la un grup de parametri la altul sunt cuprinse în tabelul 2.

Reciprocitatea este o proprietate importantă a rețelelor RLC și se manifestă prin existența unei legături între parametrii M_{ij} . În tabelul 2, în coloana "Reciprocitate" se pot observa legăturile impuse de reciprocitate în diferite formalisme.

Simetria unui diport introduce o nouă relație între parametrii unui diport. În tabelul 2, în ultima coloană sunt cuprinse legăturile impuse de simetrie în diferite formalisme.

Tabelul 2. Relațiile dintre parametrii asociați diferitelor formalisme $\Delta X = \det[X]$

	Z	Y	h	A	Reciprocitate	Simetrie
Z	$[Z]$	$\begin{bmatrix} Y_{22} & -Y_{12} \\ \Delta Y & \Delta Y \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \Delta h & h_{12} \\ H_{22} & H_{22} \\ h_{21} & 1 \\ -h_{22} & h_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} A_{11} & \Delta A \\ A_{21} & A_{21} \\ 1 & A_{22} \\ A_{21} & A_{21} \end{bmatrix}$	$Z_{12} = Z_{21}$	$Z_{11} = Z_{22}$
Y	$\begin{bmatrix} Z_{22} & -Z_{12} \\ \Delta Z & \Delta Z \\ Z_{21} & Z_{11} \\ -\Delta Z & \Delta Z \end{bmatrix}$	$[Y]$	$\begin{bmatrix} 1 & -h_{12} \\ h_{11} & h_{11} \\ h_{21} & \Delta h \\ h_{11} & h_{11} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} A_{22} & -\Delta A \\ A_{12} & -A_{12} \\ 1 & A_{11} \\ A_{12} & A_{12} \end{bmatrix}$	$Y_{12} = Y_{21}$	$Y_{11} = Y_{22}$
H	$\begin{bmatrix} \Delta Z & Z_{12} \\ Z_{22} & Z_{22} \\ Z_{21} & 1 \\ -Z_{22} & Z_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & -Y_{12} \\ Y_{11} & Y_{11} \\ Y_{21} & \Delta Y \\ Y_{11} & Y_{11} \end{bmatrix}$	$[h]$	$\begin{bmatrix} A_{12} & \Delta A \\ A_{22} & A_{22} \\ 1 & C \\ -A_{22} & A_{22} \end{bmatrix}$	$h_{12} = -h_{21}$	$\Delta h = 1$
A	$\begin{bmatrix} Z_{11} & \Delta Z \\ Z_{21} & Z_{21} \\ 1 & Z_{22} \\ Z_{21} & Z_{21} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -Y_{22} & 1 \\ Y_{21} & Y_{21} \\ \Delta Y & Y_{11} \\ -Y_{21} & -Y_{21} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\Delta h & h_{11} \\ h_{21} & h_{21} \\ h_{22} & 1 \\ -h_{21} & -h_{21} \end{bmatrix}$	$[A]$	$\Delta A = 1$	$A_{11} = A_{22}$

$[Z], [Y], [h], [A]$ sunt descrise în tabelul 1.

Cele mai simple scheme de diporți sunt prezentate în figura 2 (a – diport în T, b – diport în Π , c – diport în Γ).

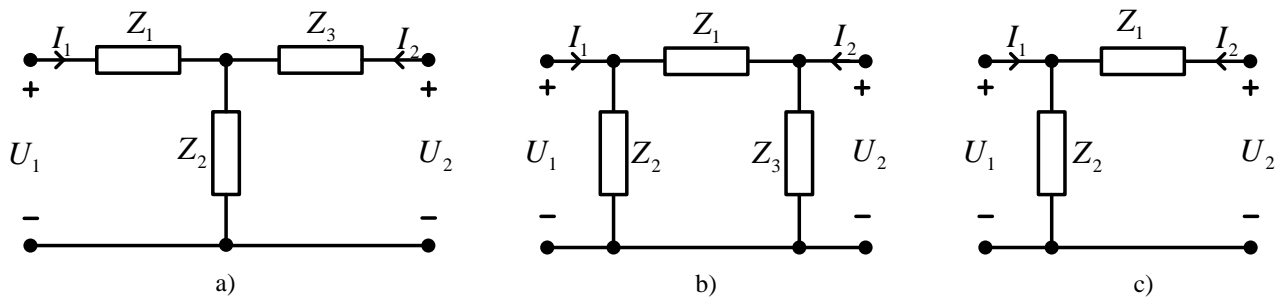


Figura 2

Exemplu de calcul pentru matricea admitanță a unui diport în T

Pentru a calcula matricea admitanță pentru diportul din figura 2.a) este mai simplu să se pornească de la calculul parametrilor impedanță folosind tabelul 1 și relația (2).

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \\
 Z_{11} &= \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0} = Z_1 + Z_2 & Z_{12} &= \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0} = Z_2 \\
 Z_{21} &= \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0} = Z_2 & Z_{22} &= \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0} = Z_2 + Z_3
 \end{aligned} \tag{3}$$

Folosind trecerea de la parametrii impedanță la cei admitanță din tabelul 2 rezultă:

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &= \frac{Z_{22}}{\Delta Z} = \frac{Z_2 + Z_3}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3) - Z_2^2} & Y_{12} &= -\frac{Z_{12}}{\Delta Z} = \frac{-Z_2}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3) - Z_2^2} \\
 Y_{21} &= -\frac{Z_{21}}{\Delta Z} = \frac{-Z_2}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3) - Z_2^2} & Y_{22} &= \frac{Z_{11}}{\Delta Z} = \frac{Z_1 + Z_2}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3) - Z_2^2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Cu ajutorul parametrilor matriciali se poate determina factorul de transfer în tensiune de la poarta 1 la poarta 2, atunci când aceasta este terminată în gol:

$$H_{U_{21g}} = \left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{I_2=0} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \tag{5}$$

OBSERVAȚIE

Pentru a calcula modulul și defazajul unui număr complex, $z = x + jy$, se aplică formulele:

$$\begin{aligned}
 |z| &= \sqrt{x^2 + y^2} \\
 \varphi = \arg\{z\} = \arg\{x + jy\} &= \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right), & x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi, & x < 0 \text{ și } y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi, & x < 0 \text{ și } y < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & x = 0 \text{ și } y > 0 \\ -\frac{\pi}{2}, & x = 0 \text{ și } y < 0 \\ \text{nedeterminare} & x = 0 \text{ și } y = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Pentru raport de numere complexe:

$$\begin{aligned}
 z &= \frac{x + jy}{a + jb} \\
 |z| &= \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\
 \varphi = \arg\{z\} &= \arg\{x + jy\} - \arg\{a + jb\}
 \end{aligned}$$

3) **Desfășurarea lucrării**

A) **Se realizează un montaj cu un diport în Γ pur disipativ**

Pe placa de test (numită „solderless breadboard”) se proiectează schema din figura 3. Impedanțele Z_1 și Z_2 sunt pur disipative, adică rezistențe $Z_1 = R_1$ și $Z_2 = R_2$. (Se măsoară rezistențele din cutia cu componente cu ajutorul multimetrului și se aleg astfel încât $Z_2 > Z_1$).

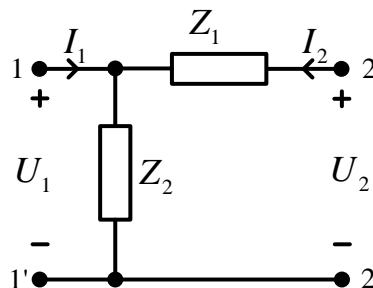


Figura 3

B) **Se vor determina parametrii A ai atenuatorului din figura 3**

Parametrii **A** se calculează ca rapoarte în care intervin tensiuni și curenți, mărimi măsurate în anumite condiții, așa cum rezultă din ecuațiile sistemului prezentat în tabelul 1 (Formalismul A – lanț). În lucrarea curentă se lucrează numai în curent alternativ. Tensiunile se măsoară **direct** cu multimetrul setat pe funcția de voltmetru de curent alternativ (ACV). În ceea ce privește măsurarea curenților, operația se execută **indirect** măsurând căderea de tensiune pe o rezistență de valoare relativ mică și cunoscută.

Cu scopul de a permite măsurarea indirectă a curenților la poarta 1 cât și la poarta 2, pe machetă se adaugă rezistențele R_{a1} la poarta 1 și R_{a2} la poarta 2 ($R_{a1} \cong R_{a2} \cong 10\Omega$). Situația finală este cea din figura 4. Se măsoară cu multimetrul setat ca ohmmetru valorile rezistențelor R_{a1} și R_{a2} (atenție! R_{a1} și R_{a2} trebuie să aibă efecte neglijabile asupra măsurătorilor, deci trebuie să aibă valori mici comparativ cu cele care alcătuiesc diportul. Se vor alege rezistențe cu valori apropiate de 10Ω). În timpul măsurării impedanțelor circuitul nu trebuie să fie alimentat de la nicio sursă de semnal!

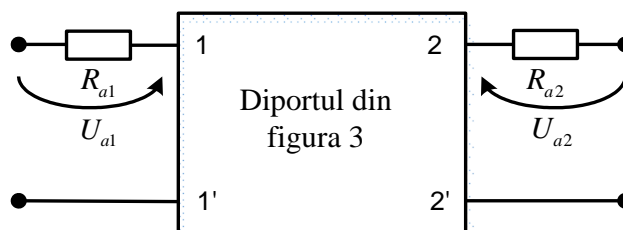


Figura 4

Conform schemei din figura 4 rezultă:

- Tensiunea U_1 este tensiunea măsurată între bornele 1 și 1';
- Tensiunea U_2 este tensiunea măsurată între bornele 2 și 2';
- Curentul I_1 este determinat prin raportarea tensiunii U_{a1} la valoarea rezistenței R_{a1} . Astfel $I_1 = \frac{U_{a1}}{R_{a1}}$;
- Curentul I_2 este determinat prin raportarea tensiunii U_{a2} la valoarea rezistenței R_{a2} . Astfel $I_2 = \frac{U_{a2}}{R_{a2}}$;

Înainte de începerea măsurătorilor se va genera un semnal sinusoidal cu frecvența egală cu 10 kHz și amplitudinea egală cu $5 V_{rms}$. Acest semnal va rămâne neschimbat până la punctul F.

Pentru măsurarea parametrilor A se procedează în felul următor:

- **În cazul condiției $I_2 = 0$**

Se impune condiția de gol la poarta 2. Se aplică tensiune la poarta 1 **înainte** de rezistența adițională R_{a1} . Se măsoară tensiunea U_1 între bornele 1 și 1', apoi tensiunea U_2 între bornele 2 și 2'. Se măsoară tensiunea pe rezistența adițională R_{a1} notată U_{a1} și se află $I_1 = \frac{U_{a1}}{R_{a1}}$. Toate mărimile se trec în tabelul 3.

- **În cazul condiției $U_2 = 0$**

Se impune condiția de scurt circuit la poarta 2 **după** rezistența R_{a2} . Se aplică tensiune la poarta 1 **înainte** de rezistența adițională R_{a1} . Se măsoară tensiunea U_1 între bornele 1 și 1', apoi se măsoară tensiunea pe rezistența adițională R_{a1} notată U_{a1} și se află $I_1 = \frac{U_{a1}}{R_{a1}}$. Se măsoară tensiunea pe rezistența adițională R_{a2} notată U_{a2} și se află $I_2 = \frac{U_{a2}}{R_{a2}}$. Toate mărimile se trec în tabelul 3.

- **Se aplică relația (2) particularizată pentru formalismul A și se determină elementele matricei A, ΔA fiind determinantul acesteia.**

Tabelul 3. Determinarea experimentală a parametrilor **A**

Valori măsurate									Valori calculate pe baza măsurătorilor				
Condiția $I_2 = 0$				Condiția $U_2 = 0$					A_{11}	A_{12}	A_{21}	A_{22}	ΔA
U_1	U_2	U_{a1}	I_1	U_1	U_{a1}	I_1	U_{a2}	I_2					
[V]	[V]	[V]	[mA]	[V]	[V]	[mA]	[V]	[mA]	-	[kΩ]	[mS]	-	-

Se calculează eroarea notată cu $\delta = |1 - \Delta A|$, care reprezintă eroarea admisă în raport cu relația de reciprocitate. Eroarea admisă este $\delta \leq 5\%$.

C) **Se determină experimental parametrii Z ai atenuatorului din figura 3**

Metoda este aceeași ca la punctul B. Rezultatele se vor trece în tabelul 4. Parametrii corespunzători sunt rapoarte în care intervin curenți și tensiuni așa cum rezultă din ecuațiile sistemului prezentat în tabelul 1 (Formalismul Z – impedanță). Aceștia se măsoară așa cum s-a arătat la punctul anterior. **În cazul condiției $I_1 = 0$ se va aplica tensiune la poarta 2 (și nu 1 ca la măsurătorile anterioare) înainte de rezistența R_{a2} . Poarta 1 se va lăsa în gol conform condiției.**

Tabelul 4 Determinarea experimentală a parametrilor Z

Valori măsurate						Valori calculate pe baza măsurătorilor				
Condiția $I_2 = 0$			Condiția $I_1 = 0$			Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}	$\frac{ Z_{12} - Z_{21} }{Z_{12}}$
U_1	U_2	I_1	U_1	U_2	I_2					
[V]	[V]	[mA]	[V]	[V]	[mA]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	-

Se calculează eroarea admisă în raport cu relația de reciprocitate notată cu $\delta = \frac{Z_{12} - Z_{21}}{Z_{12}}$. Eroarea admisă este $\delta \leq 5\%$.

D) **Se determină prin calcul parametrii Z pornind de la parametrii A**

Considerând ca adevărați parametrii A determinați la al doilea punct, să se determine folosind relațiile de trecere date în tabelul 2 (știind că există egalitate între matricele de pe aceeași linie), parametrii Z'_{ij} (semnul ' (prim) indică faptul că parametrii sunt determinați indirect prin calcul pornind de la alt formalism pentru a se face distincție de cei mășurați). Să se calculeze erorile relative dintre valorile determinate indirect și cele măsurate direct la punctul C.

$$\delta_{ij} = \frac{|Z'_{ij} - Z_{ij}|}{Z_{ij}}, \quad i, j = 1, 2$$

Eroarea admisă este $\delta_{ij} \leq 5\%$.

E) **Determinarea teoretică și experimentală a parametrilor Y pentru diportul din figura 5**

Pentru determinarea experimentală a parametrilor Y se realizează pe placa de test circuitul din figura 5 (un diport în T care conține și componente reactive).

Se alege rezistența cu valoarea cea mai apropiată de 600 Ω. Se măsoară capacitatea condensatoarelor C.

Pentru a calcula teoretic parametrii Y se folosește relația (4) înlocuind corespunzător impedanțele ($Z_R = R$, $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$). Pentru fiecare parametru admitanță calculat se determină teoretic modulul și faza acestuia.

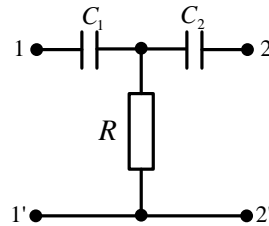


Figura 5

Pentru măsurarea parametrilor Y se procedează în felul următor:

• **Pentru măsurarea modulelor**

○ **În cazul condiției $U_2 = 0$**

Se impune condiția de scurt circuit la poarta 2. Se aplică tensiune la poarta 1. Se măsoară $|U_1|$ cu multimetrul între bornele 1 și 1'. Se măsoară $|I_1|$ măsurând tensiunea pe condensatorul C_1 și se împarte la valoarea modulului impedanței acestuia la frecvența de lucru (10 kHz). Astfel $|I_1| = \frac{|U_{C1}|}{|Z_{C1}(\omega=2\pi\cdot 10000)|}$. $|I_2|$ se măsoară similar, dar prin condensatorul C_2 . Se trec datele în tabelul 5.

○ **În cazul condiției $U_1 = 0$**

Se impune condiția de scurt circuit la poarta 1. Se aplică tensiune la poarta 2. Se măsoară $|U_2|$ cu multimetrul între bornele 2 și 2'. Se măsoară $|I_1|$ măsurând tensiunea pe condensatorul C_1 și se împarte la valoarea modulului impedanței acestuia la frecvența de lucru (10 kHz). Astfel $|I_1| = \frac{|U_{C1}|}{|Z_{C1}(\omega=2\pi\cdot 10000)|}$. $|I_2|$ se măsoară similar, dar prin condensatorul C_2 . Se trec datele în tabelul 5.

Tabelul 5 Determinarea experimentală a modulelor parametrilor Y

Valori măsurate										Valori calculate pe baza măsurărilor			
Condiția $U_2 = 0$					Condiția $U_1 = 0$					$ Y_{11} $	$ Y_{12} $	$ Y_{21} $	$ Y_{22} $
$ U_1 $	$ U_{C1} $	$ I_1 $	$ U_{C2} $	$ I_2 $	$ U_2 $	$ U_{C1} $	$ I_1 $	$ U_{C2} $	$ I_2 $				
[V]	[V]	[mA]	[V]	[mA]	[V]	[V]	[mA]	[V]	[mA]	[mS]	[mS]	[mS]	[mS]

• **Pentru măsurarea argumentelor**

○ **În cazul condiției $U_2 = 0$**

Se impune condiția de scurt circuit la poarta 2. Se aplică tensiune la poarta 1.

Argumentul parametrului Y_{11} este defazajul dintre curentul I_1 și tensiunea U_1 în condiția $U_2 = 0$. Nu se poate măsura direct curentul I_1 . Se va măsura defazajul dintre tensiunea pe condensatorul C_1 și tensiunea U_1 cu ajutorul osciloscopului folosind metoda sincronizării cu un semnal de referință.

Cunoscând faptul că defazajul între tensiunea pe condensator și curentul prin acesta este egal cu -90° se poate determina defazajul căutat.

Se măsoară defazajul dintre tensiunea pe condensatorul C_1 și tensiunea U_1 astfel:

- Se conectează canalul 1 al osciloscopului astfel încât să măsoare tensiunea U_1 . Se apasă AUTOSET;
- Se activează modul de achiziție cu mediere (pentru reducerea zgomotului): se apasă butonul ACQUIRE și se selectează modul Average, iar la Averages se selectează 16;

- Se reglează parametrii canalului 1 (se apasă butonul 1) astfel: Coupling: DC, BW Limit: Full, Volts/Div: Coarse, Probe: 1X, Invert: Off. Se reglează coeficientul de deflexie pe verticală din butonul rotativ VOLTS/DIV pentru CH1 la 2V/div. (CH1 2.00V în partea din dreapta, pe margine, a ecranului osciloscopului);
- Se reglează parametrii de sincronizare în felul următor: Trigger Setup → Type: Edge, Source: CH1, Slope: Rising, Mode: Auto, Coupling: DC. Trigger level se reglează la 0 (se modifică din butonul rotativ LEVEL până când se va citi 0.00V în partea din dreapta, pe margine, a ecranului osciloscopului);
- Se conectează canalul 2 al osciloscopului între cele două condensatoare astfel încât diferența CH1-CH2 să reprezinte tensiunea pe condensatorul C_1 , U_{C_1} ;
- Se reglează parametrii canalului 2 (se apasă butonul CH2) astfel: Coupling: DC, BW Limit: Full, Volts/Div: Coarse, Probe: 1X, Invert: Off. Se reglează coeficientul de deflexie pe verticală din butonul rotativ VOLTS/DIV pentru CH2 la 2V/div. (CH2 2.00V în partea din dreapta, pe margine, a ecranului osciloscopului);
- Se apasă butonul MATH al osciloscopului și se selectează: Operator: -, SourceA: CH1, SourceB: CH2, Scale: 2V/div;
- Se reglează HORIZONTAL POSITION (din butonul rotativ) până când se obține Delay: 0.00s în partea de sus a ecranului osciloscopului;
- Se activează cursorii prin apăsarea butonului CURSORS, se reglează Source: MATH, opțiunea de cursori pe axa Ox (butonul X). Cu ajutorul butonului Intensity/Adjust se poziționează cursorul la prima trecere a semnalului prin zero, **de jos în sus**, aflată în dreapta mijlocului ecranului. Se citește valoarea indicată în dreptul cursorului respectiv și se notează cu $\Delta t_{U_{C_1}-U_1}$ (vezi figura 6) și se trece în tabelul 6.
- Se calculează defazajul între tensiunea U_{C_1} și tensiunea U_1 astfel: $\varphi_{U_{C_1}-U_1} = -360^\circ \cdot \Delta t_{U_{C_1}-U_1} \cdot f$;
- Se trece la defazajul dintre curentul prin condensator $I_{C_1} = I_1$ și tensiunea de intrare U_1 folosind relația: $\varphi_{I_1-U_1} = \varphi_{U_{C_1}-U_1} + 90^\circ = \text{arg}\{Y_{11}\}$, mărimea căutată. Se trece în tabelul 6.

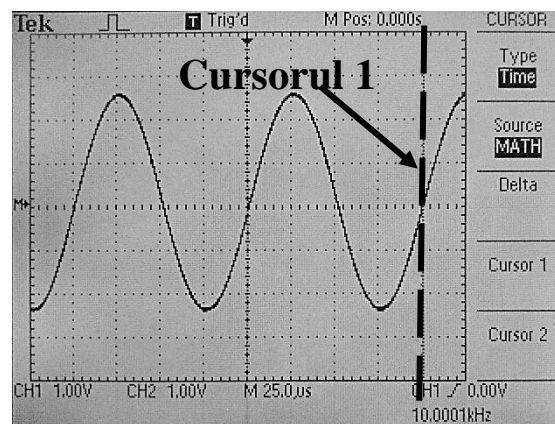


Figura 6

Argumentul parametrului Y_{21} este defazajul dintre curentul I_2 și tensiunea U_1 în condiția $U_2 = 0$. Nu se poate măsura direct curentul I_2 . Se va măsura defazajul dintre tensiunea pe condensatorul C_2 și tensiunea U_1 cu ajutorul osciloscopului folosind metoda sincronizării cu un semnal de referință. **Se consideră făcute conexiunile și reglajele de la punctul anterior.**

Se măsoară defazajul dintre tensiunea pe condensatorul C_2 și tensiunea U_1 astfel:

- Se accesează meniul canalului 2 prin apăsarea butonului CH2 și se selectează Invert: On. Deoarece $U_2 = 0$, forma de undă afișată pe canalul 2 în aceste condiții este chiar U_{C_2} luată cu sensul corespunzător (cel al curentului I_2);
- Se apasă repetat pe butonul MATH până când forma de undă respectivă dispare;
- Se activează cursorii prin apăsarea butonului CURSORS, se reglează Source: CH2, opțiunea de cursori pe axa Ox (butonul X). Cu ajutorul butonului Intensity/Adjust se poziționează cursorul la prima trecere a

semnalului prin zero, **de jos în sus**, aflată în partea dreaptă față de mijlocul ecranului. Se citește valoarea indicată în dreptul cursorului respectiv și se notează cu $\Delta t_{U_{C2}-U_1}$ (vezi figura 7) și se trece în tabelul 6. Se calculează valoarea în grade a defazajului dintre cele două tensiuni: $\varphi_{U_{C2}-U_1} = -360^\circ \cdot \Delta t_{U_{C2}-U_1} \cdot f$;

- Se trece la defazajul dintre curentul prin condensator $I_{C_2} = I_2$ și tensiunea de intrare U_1 folosind relația: $\varphi_{I_2-U_1} = \varphi_{U_{C2}-U_1} + 90^\circ = \arg\{Y_{21}\}$, mărimea căutată. Se trece în tabelul 6.

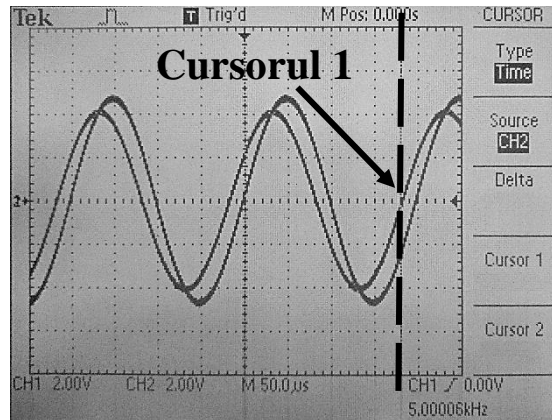


Figura 7

○ **În cazul condiției $U_1 = 0$**

Se impune condiția de scurt circuit la poarta 1. Se aplică tensiune la poarta 2.

Argumentul parametrului Y_{22} este defazajul dintre curentul I_2 și tensiunea U_2 în condiția $U_1 = 0$. Nu se poate măsura direct curentul I_2 . Se va măsura defazajul dintre tensiunea pe condensatorul C_2 și tensiunea U_1 cu ajutorul osciloscopului folosind metoda sincronizării cu un semnal de referință.

Cunoscând faptul că defazajul între tensiunea pe condensator și curentul prin acesta este egal cu -90° se poate determina defazajul căutat.

Se procedează ca în cazul condiției $U_2 = 0$ numai că toți indicii 1 devin 2 și invers. Se va ține cont de proprietățile diporțului de măsurat pentru a verifica rezultatele obținute după fiecare măsurătoare.

Tabelul 6 Determinarea experimentală a argumentelor parametrilor Y

Valori măsurate				Valori calculate pe baza măsurătorilor			
Condiția $U_2 = 0$		Condiția $U_1 = 0$		$\arg\{Y_{11}\}$	$\arg\{Y_{21}\}$	$\arg\{Y_{22}\}$	$\arg\{Y_{12}\}$
$\Delta t_{U_{C1}-U_1}$	$\Delta t_{U_{C2}-U_1}$	$\Delta t_{U_{C2}-U_2}$	$\Delta t_{U_{C1}-U_2}$				
[μ s]	[μ s]	[μ s]	[μ s]	[$^\circ$]	[$^\circ$]	[$^\circ$]	[$^\circ$]

Să se calculeze erorile relative dintre valorile teoretice și cele măsurate.

F) **Determinarea modului factorului de transfer în tensiune**

Pentru diporțul din figura 5 se determină modulul factorului de transfer în tensiune teoretic de la poarta 1 la poarta 2, atunci când cea din urmă este terminată în gol, la diverse frecvențe. Se compară valorile teoretice și cu cele experimentale completând tabelul 7. Se desenează cele două caracteristici pe același grafic. Ce fel de filtru se obține?

- Se aplică tensiune sinusoidală la poarta 1. Se măsoară cu voltmetrul de curent alternativ (ACV) tensiunile de la cele două porți. Raportul lor va reprezenta modulul factorului de transfer în tensiune la frecvența respectivă.

Tabelul 7

f [kHz]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
U_2 [V]										
$ H_{U_2 U_1} = \frac{U_2}{U_1}$										
$ H_{U_2 U_1} _{teoretic}$										

G) **Determinarea argumentului factorului de transfer în tensiune**

Pentru diportul din figura 5 se determină argumentul factorului de transfer, în tensiune de la poarta 1 la poarta 2, atunci când aceasta este terminată în gol, teoretic. Se compară valorile teoretice și cu cele experimentale completând tabelul 8. Se desenează cele două caracteristici pe același grafic.

- Se conectează tensiunea U_1 la canalul 1 al osciloscopului. Se apasă AUTOSSET (cu toate celelalte canale neconectate);
- Se conectează tensiunea U_2 la canalul 2 al osciloscopului. Se reglează aceiași coeficienți de deflexie pe verticală pentru ambele canale (VOLTS/DIV);
- Se reglează parametrii de sincronizare în felul următor: Trigger Setup → Type: Edge, Source: CH1, Slope: Rising, Mode: Auto, Coupling: DC. Trigger level se reglează la 0 (se modifică din butonul rotativ LEVEL până când se va citi 0.00V în partea din dreapta, pe margine, a ecranului osciloscopului);
- Se reglează HORIZONTAL POSITION (din butonul rotativ) până când se obține Delay: 0.00s în partea de sus a ecranului osciloscopului;
- Se activează cursorii prin apăsarea butonului CURSORS, se reglează Source: CH2, opțiunea de cursori pe axa Ox (butonul X). Cu ajutorul butonului Intensity/Adjust se poziționează cursorul la prima trecere prin zero, **de jos în sus**, a semnalului conectat pe canalul 2, trecere aflată în dreapta mijlocului ecranului. Se citește valoarea indicată în dreptul cursorului respectiv și se notează cu Δt și se trece în tabelul 8.
- Se calculează defazajul folosind formula: $\varphi = -360^\circ \cdot \Delta t \cdot f$.

Tabelul 8

f [kHz]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Δt										
φ [grade]										
$\varphi_{teoretic}$ [grade]										

H), I), J) **Se repetă punctele E), F), G) pentru diportul din figura 8.** Se alege $R_1=R_2$, egale cu rezistența cu valoarea cea mai apropiată de 600 Ω .

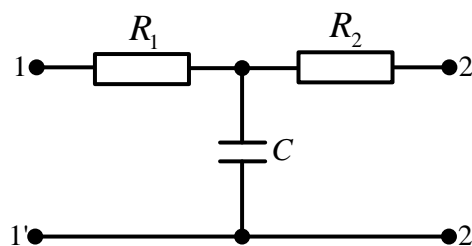
Atenție la măsurarea defazajelor parametrilor Y!

Figura 8