

# STUDIUL DIPORTILOR

## 1. Scopul lucrării :

- studiul formalismelor de descriere a diportilor
- studiul parametrilor caracteristici diportilor
- verificarea teoremei bisectiunii ( Bartlett )

## 2. Introducere teoretică

### 2.1 Formalisme asociate unui diport

Pentru a descrie un diport ( fig. 1 ), indiferent de circuitul la care este conectat, trebuie precizate două relatii între cele patru mărimi  $U_1, I_1, U_2, I_2$  considerate amplitudini complexe (fazori). Funcție de alegerea perechilor de mărimi considerate de intrare respectiv de iesire există următoarele formalisme :

a) formalismul impedanță

$$(1) \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

b) formalismul admitanță

$$(2) \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

c) formalismul de transmisie

$$(3) \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

d) formalismul de transmisie inversă

$$(4) \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ -I_1 \end{bmatrix}$$

e) formalismul hibrid

$$(5) \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

f) formalismul hibrid invers

$$(6) \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Se observă că există relațiile :  $[Z]^{-1} = [Y]^{-1}$  și  $[H]^{-1} = [G]^{-1}$ , ceea ce exprimă dualitatea formalismelor respective.

Parametrii matriciali  $m_{ij}$  au semnificație fizică și se pot măsura. Ei reprezintă imitanțe sau funcții de transfer calculate în gol sau scurtcircuit.

Condițiile pentru ca un diport să fie reciproc respectiv simetric sînt date în tabelul 1.

Tabel 1

formalism »	[Z]	[Y]	[T]	[H]
reciproc	$z_{12}=z_{21}$	$Y_{12}=Y_{21}$	$\det T = 1$	$h_{12}=-h_{21}$
simetric	$z_{11}=z_{22}$	$Y_{11}=Y_{22}$	$t_{11}=t_{22}$	$\det H = 1$

## 2.2 Parametrii caracteristici diportului

### 2.2.1 Parametrii imagine

Conceptul de impedanță imagine generalizează notiunea de adaptare cunoscută de la uniporti. Definiția lor este următoarea:

$$Z_{01} = Z_{in1} \Big|_{Z_2 = Z_{02}} \quad Z_{02} = Z_{in2} \Big|_{Z_1 = Z_{01}} \quad (7)$$

unde impedanțele  $Z_1$  și  $Z_2$  sînt cele de sarcină la poarta 1 respectiv 2. Se pot deduce următoarele formule de calcul :

$$Z_{01} = \sqrt{Z_{in1g01} Z_{in1sc}} \quad Z_{02} = \sqrt{Z_{in2g01} Z_{in2sc}} \quad (8)$$

$$Z_{01} = \sqrt{t_{11} t_{12} / t_{22} t_{21}} \quad Z_{02} = \sqrt{t_{12} t_{22} / t_{11} t_{21}} \quad (9)$$

de unde se observă că impedanța imagine depinde doar de diport.

Exponentul de transfer pe imagini ( $g$ ) se determină pe un diport adaptat pe imagini ( fig 2 ).

$$\text{Relația de definiție este : } S_1 = S_2 \cdot \exp[2g] \quad (10)$$

unde  $S_1$  este puterea aparentă absorbită de diport iar  $S_2$  cea din sarcină. Se deduc următoarele relații de calcul :

$$g = \ln \left[ \frac{U_1}{U_2} \cdot \sqrt{Z_{02}/Z_{01}} \right] \quad (11)$$

$$g = \ln \left[ \sqrt{t_{11} t_{22}} + \sqrt{t_{12} t_{21}} \right] \quad (12)$$

Partea reală a lui  $g$  se numește atenuarea pe imagine și are expresia :

$$a = \text{Re} \{g\} = \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \cdot \sqrt{Z_{02}/Z_{01}} \right| \quad (13)$$

În aplicații este util să se determine efectul introducerii unui diport între un generator și o sarcină. Acest efect se evaluează față de un caz de referință funcție de alegerea căruia se obțin două seturi de parametrii.

### 2.2.2 Parametrii de lucru

Se determină pentru cazul de referință din figura 3a. Acești parametri descriu efectul introducerii diportului în circuitul din figura 3b.

Se definește exponentul de transfer de lucru ( $g_c$ ) conform următoarei relații :

$$S_0 = S_2 \cdot \exp[2g_c] \quad (14)$$

unde  $S_0$  este puterea aparentă în sarcină în cazul de referință iar  $S_2$  în cazul real. Se deduce relația de calcul :

$$g_c = \ln \left[ \frac{U_0}{U_2} \cdot \sqrt{Z_S/Z_g} \right] \quad (15)$$

Se definește atenuarea compusă ca partea reală a lui  $g_c$  :

$$a_c = \operatorname{Re} \{g_c\} = \ln \left| \frac{U_0}{U_2} \cdot \sqrt{\frac{Z_s}{Z_g}} \right| \quad (16)$$

### 2.2.3 Parametrii de inserție

Se determină pentru cazul de referință din figura 4. Acești parametri descriu efectul introducerii diportului în același circuit din figura 3b.

Se definește exponentul de transfer de inserție ( $g_1$ ) printr-o relație analogă relației (14) :

$$S_{02} = S_2 \cdot \exp[2g_1] \quad (17)$$

unde  $S_{02}$  este puterea aparentă în sarcină în cazul de referință iar  $S_2$  în cazul real. Se deduce relația de calcul :

$$g_1 = \ln \left[ \frac{U_{02}}{U_2} \right] \quad (18)$$

Se definește atenuarea de inserție conform următoarei relații :

$$a_1 = \operatorname{Re} \{g_1\} = \ln \left| \frac{U_{02}}{U_2} \right| \quad (19)$$

### 2.2.4 Relații de legătură între atenuări

a) atenuarea compusă

$$a_c = a + a_{n1} + a_{n2} + a_{12} \quad (20)$$

unde  $a_{n1}$  și  $a_{n2}$  reprezintă atenuările de neadaptare la portile 1 respectiv 2 și au următoarea expresie :

$$\begin{aligned} a_{n1} &= \ln \left| \frac{[Z_g + Z_{01}]}{2 \cdot \sqrt{Z_g \cdot Z_{01}}} \right| \\ a_{n2} &= \ln \left| \frac{[Z_s + Z_{02}]}{2 \cdot \sqrt{Z_s \cdot Z_{02}}} \right| \end{aligned} \quad (21)$$

iar  $a_{12}$  reprezintă atenuarea de interacțiune între intrare și ieșire, avînd expresia :

$$a_{12} = \ln \left| 1 - \sigma_1 \sigma_2 \cdot e^{-2g} \right| \quad (22)$$

$\sigma_1$  și  $\sigma_2$  fiind coeficienții de reflexie la cele două porți :

$$\sigma_1 = \frac{[Z_g - Z_{01}]}{[Z_g + Z_{01}]} \quad \sigma_2 = \frac{[Z_s - Z_{02}]}{[Z_s + Z_{02}]} \quad (23)$$

b) atenuarea de inserție

$$a_1 = a_c - \ln \left| \frac{[Z_g + Z_s]}{2 \cdot \sqrt{Z_g Z_s}} \right| \quad (24)$$

### 2.2.5 Unități de măsură

Se numește nivel relativ mărimea

$$N = 0.5 \cdot \ln[P/P_{ref}] = \ln[U/U_{ref}] = \ln[I/I_{ref}] \quad (25)$$

și se exprimă în Np ( neperi ).

Mărimile de referință sînt următoarele :

$$P_{\text{ref}} = \begin{cases} 1 \text{ mW} & \text{putere reală} \\ 1 \text{ mVA} & \text{putere aparentă} \end{cases} \quad (26)$$

iar  $U_{\text{ref}}$  și  $I_{\text{ref}}$  sînt astfel alese încît pe o rezistență de referință de  $600\Omega$  să conducă la  $P_{\text{ref}}$ . Se obțin valorile :

$$U_{\text{ref}} = 775 \text{ mV} \quad I_{\text{ref}} = 1.293 \text{ mA} \quad (27)$$

Legătura între  $N_p$  și dB este următoarea :

$$1 N_p = 8.68 \text{ dB} \quad 1 \text{ dB} = 0.115 N_p \quad (28)$$

### 2.3 Teorema bisectionii ( Bartlett )

Această teoremă permite echivalarea unui diport simetric cu unul în punte ( în X ) conform figurii 5 și 6.

Diportul în punte echivalent este cel din figura 7.

Parametrii Z pentru un asemenea diport au următoarea expresie :

$$\begin{aligned} Z_{11} = Z_{22} &= 0.5 \cdot [ Z_a + Z_b ] \\ Z_{12} = Z_{21} &= 0.5 \cdot [ Z_b - Z_a ] \end{aligned} \quad (29)$$

### 3. Desfășurarea lucrării

Aparate necesare

- generator de semnal Versatester
- multimetru digital
- cutie de rezistente decadice

Măsurători efectuate

Generatorul de semnal se utilizează pe forma de undă sinusoidală cu frecvența între 1 și 2 kHz. Se va avea grijă ca tensiunea efectivă pe diport să nu depășească 15 V pentru a nu suprasolicita termic rezistoarele. Diportul măsurat are schema din figura 8 și este descris de relațiile :

$$\begin{aligned} R_1 \cdot R_2 &= R^2 \\ R_1 &= R(e^a - 1) \end{aligned} \quad (30)$$

- a) Se construiește diportul D din cele două semidiporturi D' conform figurii 9.
- b) Se determină elementele diportului :  $R, R_1, R_2$ . Se măsoară valorile rezistențelor aditionale  $R_a$ .
- c) Se măsoară elementele formalismului impedanță ( rel. 1 ) pe schema din figura 9. Rezistențele aditionale  $R_a$  servesc la măsurarea curentului printr-o metodă indirectă, măsurînd căderea de tensiune pe ele. Valorile  $R_a$  sînt suficient de mici pentru a nu perturba măsurătorile de scurtcircuit. Generatorul se utilizează pe iesirea de  $50\Omega$ . Rezultatele se trec în tabelul 3.

Tabel 3

$I_1=0$			$I_2=0$		
$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_2(mA)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_1(mA)$

d) Se măsoară elementele formalismului admitanță ( rel. 2 ).  
Rezultatele se trec în tabelul 4.

Tabel 4

$U_1=0$			$U_2=0$		
$U_2(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$	$U_1(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$

e) Se măsoară elementele formalismului de transmisie ( rel. 3 ).  
Rezultatele se trec în tabelul 5.

Tabel 5

$I_2=0$			$U_2=0$		
$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_1(mA)$	$U_1(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$

f) Se măsoară elementele formalismului hibrid ( rel. 5 ).  
Rezultatele se trec în tabelul 6.

Tabel 6

$I_1=0$			$U_2=0$		
$U_1(V)$	$U_2(V)$	$I_2(mA)$	$U_1(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$

g) Se calculează pe baza rezultatelor din tabelele 3,4,5,6 elementele formalismelor corespunzătoare. Se completează tabelul 7.

Tabel 7

element »	11	12	21	22	det
[Z]					---
[Y]					---
[T]					
[H]					

h) Se verifică cu cele patru formalisme faptul că diportul este reciproc și simetric.

- i) Cu parametrii T se calculează impedanțele imagine ( rel. 9 ).  
 j) Se verifică corectitudinea valorilor anterior determinate făcând măsurători conform definiției ( rel. 7 ). Impedanțele  $Z_1$  și  $Z_2$  se simulează cu o cutie decadică.  
 k) Se măsoară atenuarea pe imagine de la poarta 1 la poarta 2 pe diportul adaptat pe imagini ( fig. 2 ). Impedanța  $Z_{01}$  se simulează cu impedanța internă a Versatester-ului. De aceea generatorul se va utiliza pe ieșirea de  $600\Omega$ . Impedanța  $Z_{02}$  este o cutie decadică. Măsurătoarea se va face pe baza relației 13. Rezultatele se trec în tabelul 8.

$U_1(V)$	$U_2(V)$	$a_{exp}(Np)$	$a_{teor}(Np)$
-----	-----	-----	-----

Tabel 8

- l) Se verifică valoarea găsită cu relația 12.  
 m) Se măsoară atenuarea compusă pe schema din figurile 3a și 3b. Se alege  $Z_g=50\Omega$  și  $Z_s=10k\Omega$ . Impedanța  $Z_g$  se simulează tot cu rezistența internă a Versatester-ului iar  $Z_s$  cu o cutie decadică. Determinările se fac pe baza relației 16. Rezultatele se trec în tabelul 9.

$U_0(V)$	$U_2(V)$	$a_{cexp}(Np)$	$a_{cteor}(Np)$
-----	-----	-----	-----

Tabel 9

- n) Se verifică valoarea găsită cu relația 20.  
 o) Se reiau determinările de la punctele m) și n) pentru  $Z_g=600\Omega$ . Se completează tabelul 9', analog tabelului 9. Se observă efectul adaptării la o poartă a diportului (  $Z_g=600\Omega$  ) !  
 p) Se măsoară atenuarea de inserție pe schema din figurile 4 și 3b pentru  $Z_g=600\Omega$  și  $Z_s=10k\Omega$ . Determinările se fac pe baza relației 19. Rezultatele se trec în tabelul 10.

$U_{02}(V)$	$U_2(V)$	$a_{iexp}(Np)$	$a_{iteor}(Np)$
-----	-----	-----	-----

Tabel 10

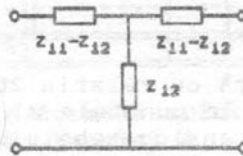
- q) Se verifică valoarea găsită cu relația 24 utilizând pentru  $a_c$  valoarea teoretică.  
 r) Se reiau determinările de la punctele p) și q) pentru  $Z_s=600\Omega$ . Se completează tabelul 10', analog tabelului 10. Explicati rezultatul obținut !  
 s) Se aplică teorema bisețiunii diportului D știind că este un diport simetric format din două diporturi identice D'. Se măsoară elementele diportului în punte echivalent,  $Z_a$  și  $Z_b$ .  
 t) Se desenează diportul în punte echivalent.  
 u) Pe acest diport în punte se calculează parametrii Z utilizând relațiile 29.  
 v) Se verifică teorema bisețiunii comparând valorile  $Z_{11}$  și  $Z_{12}$  ale diportului inițial ( tabelul 7 ) cu cele ale diportului în punte. Se completează tabelul 11.

diport »	original	în punte
$Z_{11}$		
$Z_{12}$		

Tabel 11

#### 4. Intrebări

- De ce sînt posibile doar 6 formalisme de descriere a diporturilor ?
- Ce înseamnă reciprocitatea respectiv simetria unui diport din punct de vedere fizic ? Dati un exemplu de diport neregiproc !
- Precizati care dintre atenuările următoare depind de diport, de circuitul extern, de ambele : atenuarea pe imagini, atenuarea compusă, atenuarea de insertie.
- Care este importanta unităților de măsură logaritmice (  $N_p, dB$  ) ?
- Ce condiție matematică trebuie să satisfacă rezistența  $R_a$  pentru a nu perturba în mod semnificativ măsurătorile ?
- Care este importanta diportului în punte ?
- Fie rețeaua dublu T. Construind diportul în punte echivalent și de aici calculînd parametrii Z să se determine condiția de funcționare ca filtru rejector, știind că un diport simetric și reciproc are schema echivalentă din figura de mai jos :



- Care este matricea  $[Z]$  pentru doi diporturi în serie ?
- Care este matricea  $[Y]$  pentru doi diporturi în derivatie ?
- Care este matricea  $[T]$  pentru doi diporturi în cascadă ?

#### 5. Continutul referatului

- măsurătorile efectuate însoțite de rezultate ( tabelate unde se cere )
- schema circuitelor pe care se face măsurarea
- formulele de calcul utilizate
- observațiile cerute la diferitele subpuncte
- eventualele observații și comentarii personale
- răspunsul la întrebări

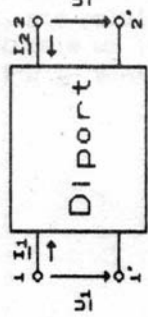


fig. 1



fig. 2

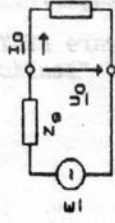


fig. 3a



fig. 3b



fig. 3a

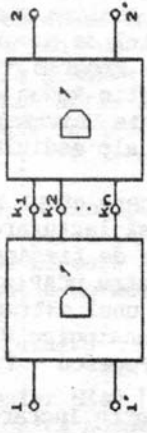


fig. 3b

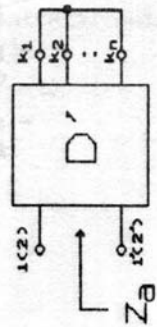


fig. 6

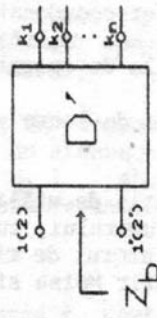


fig. 5

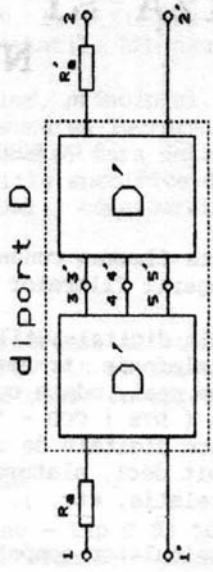


fig. 9

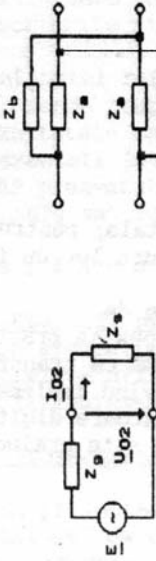


fig. 4

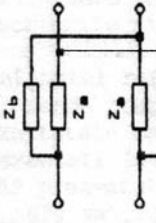


fig. 7

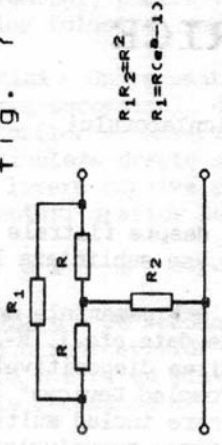


fig. 8

$R_1 R_2 = R_2$   
 $R_1 = R(e_b - 1)$

Universitatea TRANSILVANIA Braşov  
 Titlu Laborator de ANALIZA SI SINTEZA CIRCUITELOR  
 Size Document Number A Studiul diportilor  
 Date: July 1, 1984 Sheet 1 of 1