



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013

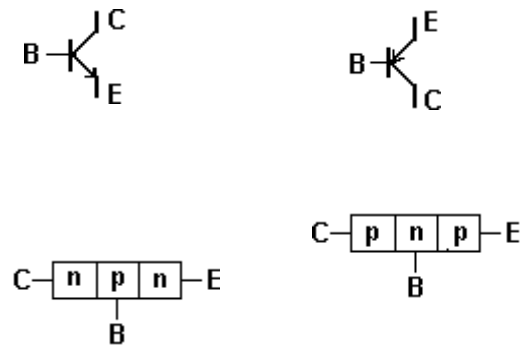


# Platformă de e-learning și curriculum e-content pentru învățământul superior tehnic

## Elemente de Electronică Analogică

### 47. Amplificatoare elementare

## Simboluri pentru tranzistorul bipolar



Deși tranzistorul are numai trei borne el poate fi reprezentat printr-un cuadripol prin considerarea unei borne comune atât la intrare cât și la ieșire (1' – 2'). În funcție de borna comună aleasă, pentru tranzistor, în electronică se obțin trei conexiuni fundamentale.

### Conexiunea emitor comun EC

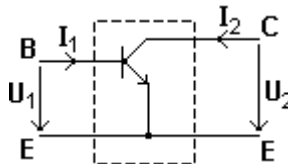
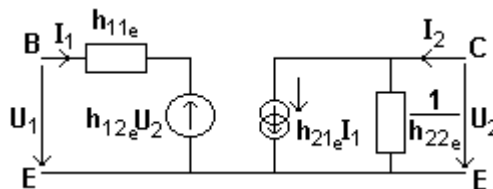


FIGURA 2.1

$$\begin{cases} U_1 = h_{11e} I_1 + h_{12e} U_2 \\ I_2 = h_{21e} I_1 + h_{22e} U_2 \end{cases}$$

Modelul tranzistorului în conexiune EC este considerat un model de referință, parametrii  $h$  putând fi utilizați fără indicele care arată tipul de conexiune.

Observație: Acestui tip de conexiune îi este asociat modelul cu parametrii  $h$  ai cuadripolului general (Fig. 2.2).



## FIGURA 2.2

Ordine de mărime (uzuale):  $h_{11} \rightarrow 10\text{ k}\Omega$

$$h_{21} \rightarrow 10^2$$

$$h_{12} \rightarrow 10^{-4}$$

$$h_{22} \rightarrow 10^{-5}\text{ S}$$

Deoarece  $h_{12}$  și  $h_{22}$  au ordine de mărime foarte mici practic acești termeni se pot neglija, dacă se acceptă o eroare  $\varepsilon = 5 - 10\%$ .

### Conexiunea bază comună BC

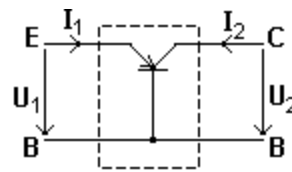


Figura 2.3

$$\begin{cases} U_1 = h_{11b}I_1 + h_{12b}U_2 \\ I_2 = h_{21b}I_1 + h_{22b}U_2 \end{cases}$$

### Conexiunea colector comun CC

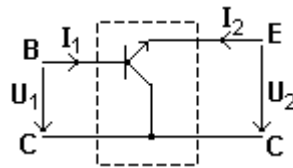


FIGURA 2.4

$$\begin{cases} U_1 = h_{11c}I_1 + h_{12c}U_2 \\ I_2 = h_{21c}I_1 + h_{22c}U_2 \end{cases}$$

Între cele trei tipuri de conexiuni fundamentale se pot calcula formulele de transformare a parametrilor  $h$  echivalenți; din punct de vedere practic prezintă interes transformările:

$$[H_c]=f([H_e])$$

$$[H_b]=f([H_e])$$

### PROBLEMĂ REZOLVATĂ

Să se deducă formulele de transformare  $[H_b]=f([H_e])$ .

Pornind de la Fig. 2.2 redesenăm conexiunea BC :

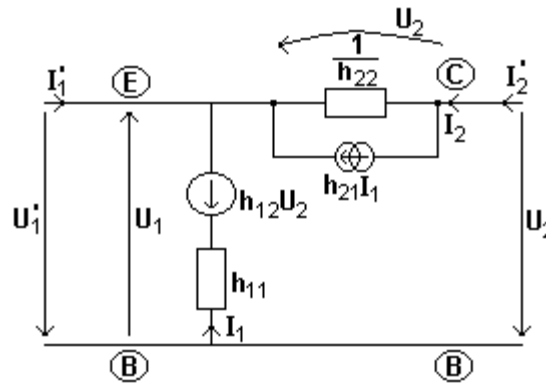


Figura 2.5

Se remarcă că:  $U_1' = -U_1$

$$I_2' = I_2$$

$$U_2' = U_2 - U_1$$

Calculăm:  $h_{11b} = \left. \frac{U_1'}{I_1'} \right|_{U_2' = 0}$  și  $h_{21b} = \left. \frac{I_2'}{I_1'} \right|_{U_2' = 0}$  (scurtcircuit pe ieșire)

$$U_1' = -U_1 = -h_{11}I_1 - h_{12}U_2 = -h_{11}I_1 + h_{12}U_1'$$

$$I_1' = \frac{h_{12} - 1}{h_{11}} U_1'$$

$$I_2 = I_2' = h_{21}I_1 + U_2h_{22} = h_{21}\frac{h_{12}-1}{h_{11}}U_1' + h_{22}(-U_1') = \frac{h_{21} - (h_{11}h_{22} - h_{21}h_{12})}{h_{11}}U_1' \Rightarrow$$

$$I_2 = I_2' = -\frac{h_{21} + \Delta h}{h_{11}}U_1'$$

$$I_1' = -I_1 - I_2 = \frac{h_{21} + \Delta h}{h_{11}}U_1' - \frac{h_{12}-1}{h_{11}}U_1' = \frac{1}{h_{11}}\underbrace{(h_{21} + 1 + \Delta h - h_{12})}_N U_1' = \frac{N}{h_{11}}U_1'$$

$$\Rightarrow \begin{cases} h_{11b} = \frac{h_{11}}{N} \\ h_{21b} = -\frac{h_{21} + \Delta h}{h_{11}} \end{cases}$$

Pentru  $I_1' = 0$  (întreprindere în gol) calculăm:  $h_{12b} = \frac{U_1'}{U_2'} \Big|_{I_1' = 0}$  și  $h_{22b} = \frac{I_2'}{U_2'} \Big|_{I_1' = 0}$ .

Avem  $I_2' = I_2 = -I_1$  dar

$$I_2 = h_{21}I_1 + U_2h_{22} \Rightarrow I_2' = -h_{21}I_2' + U_2h_{22} \Rightarrow U_2 = \frac{h_{21} + 1}{h_{22}}I_2'$$

$$U_2' = U_2 - U_1 = \frac{h_{21} + 1}{h_{22}}I_2' - \left( -h_{11}I_2' + h_{12}\frac{h_{21} + 1}{h_{22}}I_2' \right) = \frac{h_{21} + 1 + h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21} - h_{12}}{h_{22}}I_2'$$

$$\Rightarrow h_{22b} = \frac{h_{22}}{N}$$

$$h_{12b} = -\frac{U_1'}{U_2'} = -\frac{\left( h_{11} - h_{12}\frac{h_{21} + 1}{h_{22}} \right) I_2'}{\frac{N}{h_{22}}I_2'} = \frac{h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21} - h_{12}}{N} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{12b} = \frac{\Delta h - h_{12}}{N}$$

Observație:  $\Delta h_b = \frac{\Delta h}{N}$

## PROBLEMĂ PROPUȘĂ

Să se determine parametrii hibridi în conexiune colector comun (Fig. 2.4) în funcție de parametrii hibridi în conexiune emitor comun.

*Indicații:* Schema echivalentă în conexiune CC:

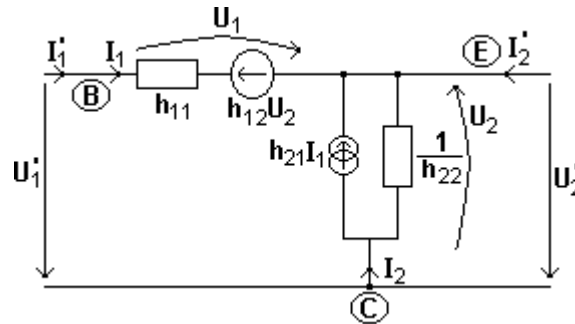


Figura 2.6

*Răspuns:*  $h_{11c} = h_{11}$

$$h_{21c} = -(h_{21} + 1)$$

$$h_{12c} = -(h_{12} - 1)$$

$$h_{22c} = h_{22}$$

$$\Delta h_c = N$$

## TRANZISTOARE ECHIVALENTE

Un tranzistor în conexiune EC poate fi cuplat în șase moduri cu o impedanță. Ne propunem să determinăm parametrii hibridi echivalenți pentru cuadripolii rezultați (De fapt se obține un tranzistor echivalent de același tip). În tabelul următor sunt prezentați parametrii echivalenți:

$h'_{11}$	$R + h_{11}$	$\frac{Rh_{11}}{R + h_{11}}$	$\frac{NR + h_{11}}{1 + Rh_{22}}$	$h_{11}$	$\frac{\Delta h R + h_{11}}{1 + Rh_{22}}$	$\frac{Rh_{11}}{R + h_{11}}$
$h'_{21}$	$h_{21}$	$\frac{Rh_{21}}{R + h_{11}}$	$\frac{h_{21} - Rh_{22}}{1 + Rh_{22}}$	$h_{21}$	$\frac{h_{21}}{1 + Rh_{22}}$	$\frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{21} - \frac{h_{11}}{R} \right)$
$h'_{12}$	$h_{12}$	$\frac{Rh_{12}}{R + h_{11}}$	$\frac{h_{12} + Rh_{22}}{1 + Rh_{22}}$	$h_{12}$	$\frac{h_{12}}{1 + Rh_{22}}$	$\frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{12} + \frac{h_{11}}{R} \right)$
$h'_{22}$	$h_{22}$	$\frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{22} + \frac{\Delta h}{R} \right)$	$\frac{h_{22}}{1 + Rh_{22}}$	$h_{22} + \frac{1}{R}$	$\frac{h_{22}}{1 + Rh_{22}}$	$\frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{22} + \frac{N}{R} \right)$
$\Delta h'$	$\Delta h + h_{22}R$	$\frac{R}{R + h_{11}} \Delta h$	$\frac{\Delta h + Rh_{22}}{1 + Rh_{22}}$	$\Delta h + \frac{h_{11}}{R}$	$\frac{\Delta h}{1 + Rh_{22}}$	$\frac{R}{R + h_{11}} \left( \Delta h + \frac{h_{11}}{R} \right)$
$N'$	$N + h_{22}R$	$\frac{R}{R + h_{11}} \left( N + \frac{h_{11}}{R} \right)$	$\frac{N}{1 + Rh_{22}}$	$N + \frac{h_{11}}{R}$	$\frac{N + Rh_{22}}{1 + Rh_{22}}$	$\frac{R}{R + h_{11}} N$

**Exemplu de calcul:**

Avem de echivalat circuitul:

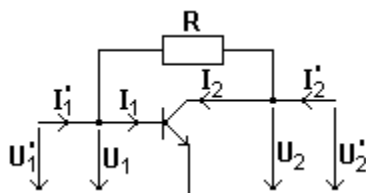


Figura 2.7

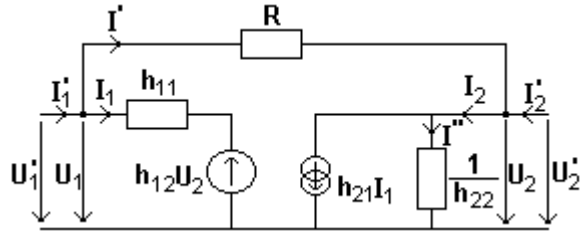


Figura 2.8

$$h_{11}' = \left. \frac{U_1'}{I_1'} \right|_{U_2' = 0} = \left. \frac{U_1}{I_1 + I'} \right|_{U_2' = 0} = \frac{U_1}{\frac{U_1}{h_{11}} + \frac{U_1}{R}} = \frac{R}{R + h_{11}}$$

$$h_{21}' = \left. \frac{I_2'}{I_1'} \right|_{U_2' = 0} = \left. \frac{I_2 - I'}{I_1 + I'} \right|_{U_2' = 0} = \frac{h_{21}I_1 - \frac{U_1}{R}}{\frac{U_1}{h_{11}} + \frac{U_1}{R}} \Bigg|_{U_2' = 0} = \frac{\frac{h_{21}}{h_{11}} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{h_{11}} + \frac{1}{R}} = \frac{h_{21}R - h_{11}}{R + h_{11}} =$$

$$= \frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{21} - \frac{h_{11}}{R} \right)$$

$$h_{12}' = \left. \frac{U_1'}{U_2'} \right|_{I_1' = 0} = \frac{h_{12}U_2 \frac{R}{R + h_{11}} + U_2 \frac{h_{11}}{R + h_{11}}}{U_2} \stackrel{\text{f. T. superpozitiei}}{=} \frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{12} + \frac{h_{11}}{R} \right)$$

$$h_{22}' = \left. \frac{I_2'}{U_2'} \right|_{I_1' = 0} = \frac{h_{21}I_1 + h_{22}U_2' + I_1}{U_2'}$$

$$\Rightarrow h_{22}' = h_{22} + (h_{21} + 1) \frac{1}{U_2'} \frac{U_2' - h_{21}U_2'}{R + h_{11}} = h_{22} + \frac{(h_{21} + 1)(1 - h_{12})}{R + h_{11}} = \frac{R}{R + h_{11}} \left( h_{22} + \frac{N}{R} \right)$$

### Observație:

Pentru rezolvarea problemelor de regim dinamic se va utiliza  $h_{12}=0$ ,  $h_{22}=0$ .



**Problemă:**

Să se deducă parametrii h pentru tranzistorul echivalent prezentat în figura:

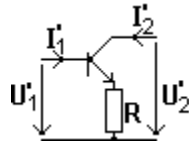


Figura 2.10

Determinăm  $h_{11}' = \left. \frac{U_1'}{I_1'} \right|_{U_2'=0}$  și  $h_{21}' = \left. \frac{I_2'}{I_1'} \right|_{U_2'=0}$

Schema echivalentă este următoarea:

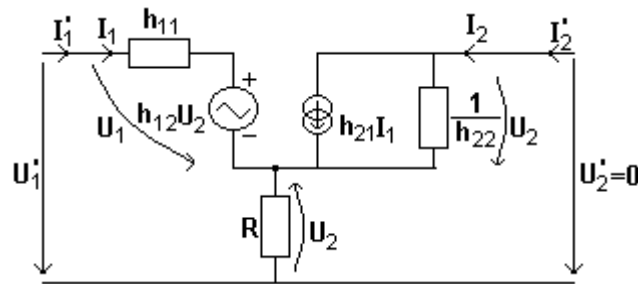


Figura 2.11

Avem  $I_1=I_1'$  și  $I_2=I_2'$

$$(U_2'=0) \Rightarrow -I_1 = U_2 h_{22} + h_{21} I_1 + \frac{U_2}{R} - I_1 \Rightarrow U_2 = -\frac{(1+h_{21})}{h_{22} + \frac{1}{R}} I_1$$

Din prima ecuație a tranzistorului:

$$\Rightarrow U_1 = I_1 h_{11} + h_{12} U_2 = \left[ h_{11} - \frac{h_{12}(1+h_{21})}{h_{22} + \frac{1}{R}} \right] I_1$$

$$h'_{11} = \frac{U_1 - U_2}{I_1} = h_{11} - \frac{h_{12}(1+h_{21})}{h_{22} + \frac{1}{R}} + \frac{1+h_{21}}{h_{22} + \frac{1}{R}} = \frac{h_{11}h_{22}R + h_{11} - Rh_{12} - Rh_{12}h_{21} + R + Rh_{21}}{1+h_{22}R} =$$

$$\Rightarrow h'_{11} = \frac{h_{11} + NR}{1+h_{22}R}$$

Din a doua ecuație a tranzistorului:

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 = h_{21}I_1 + h_{22} \left[ -\frac{(h_{21}+1)R}{1+h_{22}R} \right] I_1$$

$$h'_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_2=0} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{h_{21}(1+h_{22}R) - h_{22}(h_{21}+1)R}{1+h_{22}R} = \frac{h_{21} - h_{22}R}{1+h_{22}R}$$

**Exemplu de transformare:**

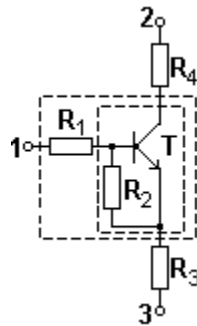
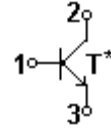


Figura 2.9

$$T' = (T, R_2) \begin{cases} h'_{11} = \frac{h_{11}R_2}{h_{11} + R_2} \\ h'_{21} = \frac{h_{21}R_2}{h_{11} + R_2} \\ h'_{12} = 0, h'_{22} = 0 \end{cases} \quad T'' = (T', R_1) \begin{cases} h''_{11} = h'_{11} + R_1 \\ h''_{21} = h'_{21} \\ h''_{12} = 0, h''_{22} = 0 \end{cases}$$

$$T''' = (T'', R_3) \begin{cases} h_{11}''' = h_{11}'' + (h_{21}'' + 1)R_3 \\ h_{21}''' = h_{21}'' \\ h_{12}''' = 0, h_{22}''' = 0 \end{cases}$$

$$T^* = (T''', R_4)$$



$$\begin{cases} h_{11}^* = h_{11}''' \\ h_{21}^* = h_{21}''' \\ h_{12}^* = 0, h_{22}^* = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

### Tranzistoare compuse

	Darlington	Super G	Super D	Cascod
$H_{11}$	$\frac{h_{11}' + N' h_{11}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{11}' + \Delta h' h_{11}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{11}' + N' h_{11}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{N'' h_{11}' + \Delta h'' h_{11}''}{N'' + h_{22}'' h_{11}''}$
$H_{21}$	$\frac{h_{21}' h_{21}'' + h_{21}' + h_{21}'' - h_{22}' h_{11}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{21}' (h_{21}'' + 1)}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{(h_{21}' + 1) h_{21}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{21}' (h_{21}'' + \Delta h'')}{N'' + h_{22}'' h_{11}''}$
$H_{12}$	$\frac{h_{12}' + h_{12}'' + h_{22}' h_{11}'' - h_{12}' h_{12}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{(1 - h_{12}'') h_{12}'}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{(1 - h_{12}'') h_{12}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{(\Delta h'' - h_{21}'') h_{12}'}{N'' + h_{22}'' h_{11}''}$
$H_{22}$	$\frac{h_{22}'' + N'' h_{22}'}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{22}'' + N'' h_{22}'}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{22}'' + \Delta h'' h_{22}'}{1 + h_{22}' h_{11}''}$	$\frac{h_{22}'' + \Delta h'' h_{22}'}{N'' + h_{22}'' h_{11}''}$

**Observație:** Tipul tranzistorului echivalent este dat de tipul primului tranzistor ( $T'$ ).

**Problemă:**

Să se calculeze parametri H echivalenți pentru tranzistoarele în montaj Darlington:

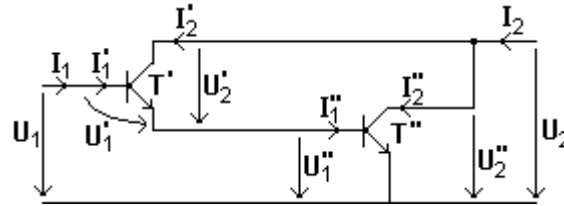


Figura 2.11

Exemplu de determinare  $H_{11}$

$$H_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0}, U_2 = 0 \Rightarrow U_2'' = 0 \Rightarrow \text{modelul:}$$

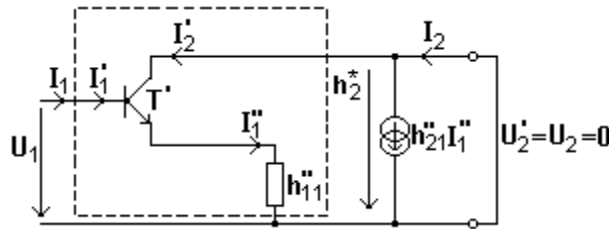


Figura 2.12

Se echivalează  $T^* = (T', h_{11}'')$

$$H_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0} = \left. \frac{U_1^*}{I_1^*} \right|_{U_2^*=0} = \frac{h_{11}' + N' h_{11}''}{1 + h_{22}' h_{11}''}$$

***Amplificatoare elementare***

**Problemă:**

Fiind dat un cuadripol electric caracterizat prin parametrii  $h$  să se determine următoarele mărimi:

- Amplificarea de curent  $A_i = \frac{I_2}{I_1}$
- Amplificarea de tensiune  $A_u = \frac{U_2}{U_1}$
- Impedanța de intrare  $Z_{\text{int}} = \frac{U_1}{I_1}$
- Impedanța de ieșire  $Z_{\text{ies}} = \frac{U_2}{I_2} \Big|_{e=0}$

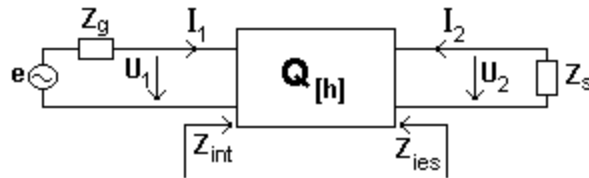


Figura 2.13

$$\begin{cases} U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \end{cases} \quad \text{cum } U_2 = -I_2Z_S \Rightarrow I_2 = h_{21}I_1 - h_{22}I_2Z_S$$

$$\Rightarrow A_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}Z_S}$$

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}(-I_2Z_S) = h_{11}I_1 - h_{12}Z_S \frac{h_{21}I_1}{1 + h_{22}Z_S} \Rightarrow Z_{\text{int}} = \frac{U_1}{I_1} = h_{11} - \frac{h_{12}h_{21}Z_S}{1 + h_{22}Z_S}$$

$$\Rightarrow Z_{\text{int}} = \frac{h_{11} + \Delta h Z_S}{1 + h_{22}Z_S}$$

$$U_2 = -Z_S I_2 = -Z_S A_i I_1 = -Z_S A_i \frac{U_1}{Z_{\text{int}}} \Rightarrow A_u = -\frac{A_i}{Z_{\text{int}}} Z_S$$

$$\Rightarrow A_u = -\frac{h_{21}Z_S}{h_{11} + \Delta h Z_S}$$

Impedanța de intrare se calculează în condițiile în care se pasivizează intrarea ( $e=0$ ).

$$U_1 = Z_g I_1 \text{ (înlocuim în relația cuadripolului)}$$

$$-Z_g I_1 = h_{11} I_1 + h_{12} U_2 \Rightarrow I_1 = -\frac{h_{12}}{h_{11} + Z_g} U_2$$

Înlocuim  $I_1$  în a doua ecuație:

$$I_2 = h_{21} \left( -\frac{h_{12}}{h_{11} + Z_g} U_2 \right) + h_{22} U_2 \Rightarrow Z_{ies} = \frac{h_{11} + Z_g}{\Delta h + h_{22} Z_g}$$

**Observație:** Amplificarea totală:

$$A'_u = \frac{U_2}{e} = \frac{Z_{int}}{Z_g + Z_{int}} \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_{int}}{Z_g + Z_{int}} A_u$$

### Conexiuni fundamentale

	EC (EM)	BC (BM)	CC (CM)
$A_U$	$-\frac{h_{21} Z_s}{h_{11} + \Delta h Z_s} \cong -S Z_s$	$\frac{(h_{21} + \Delta h) Z_s}{h_{11} + \Delta h Z_s} \cong S Z_s$	$\frac{(h_{21} + 1) Z_s}{h_{11} + N Z_s} \cong \frac{(h_{21} + 1) Z_s}{h_{11} + (h_{21} + 1) Z_s} \cong 1$
$A_I$	$\frac{h_{21}}{1 + h_{22} Z_s} \cong h_{21}$	$-\frac{h_{21} + \Delta h}{N + h_{22} Z_s} \cong -\frac{h_{21}}{h_{21} + 1} \cong -1$	$-\frac{h_{21} + 1}{1 + h_{22} Z_s} \cong -h_{21}$
$Z_{INT}$	$\frac{h_{11} + \Delta h Z_s}{1 + h_{22} Z_s} \cong h_{11}$	$\frac{h_{11} + \Delta h Z_s}{N + h_{22} Z_s} \cong \frac{h_{11}}{h_{21}} \cong \frac{1}{S}$	$\frac{h_{11} + N Z_s}{1 + h_{22} Z_s} \cong h_{11} + (h_{21} + 1) Z_s$
$Z_{IES}$	$\frac{h_{11} + Z_g}{\Delta h + h_{22} Z_g} \cong \infty$	$\frac{h_{11} + N Z_g}{\Delta h + h_{22} Z_g} \cong \infty$	$\frac{h_{11} + Z_g}{N + h_{22} Z_g} \cong \frac{h_{11} + Z_g}{h_{21} + 1}$