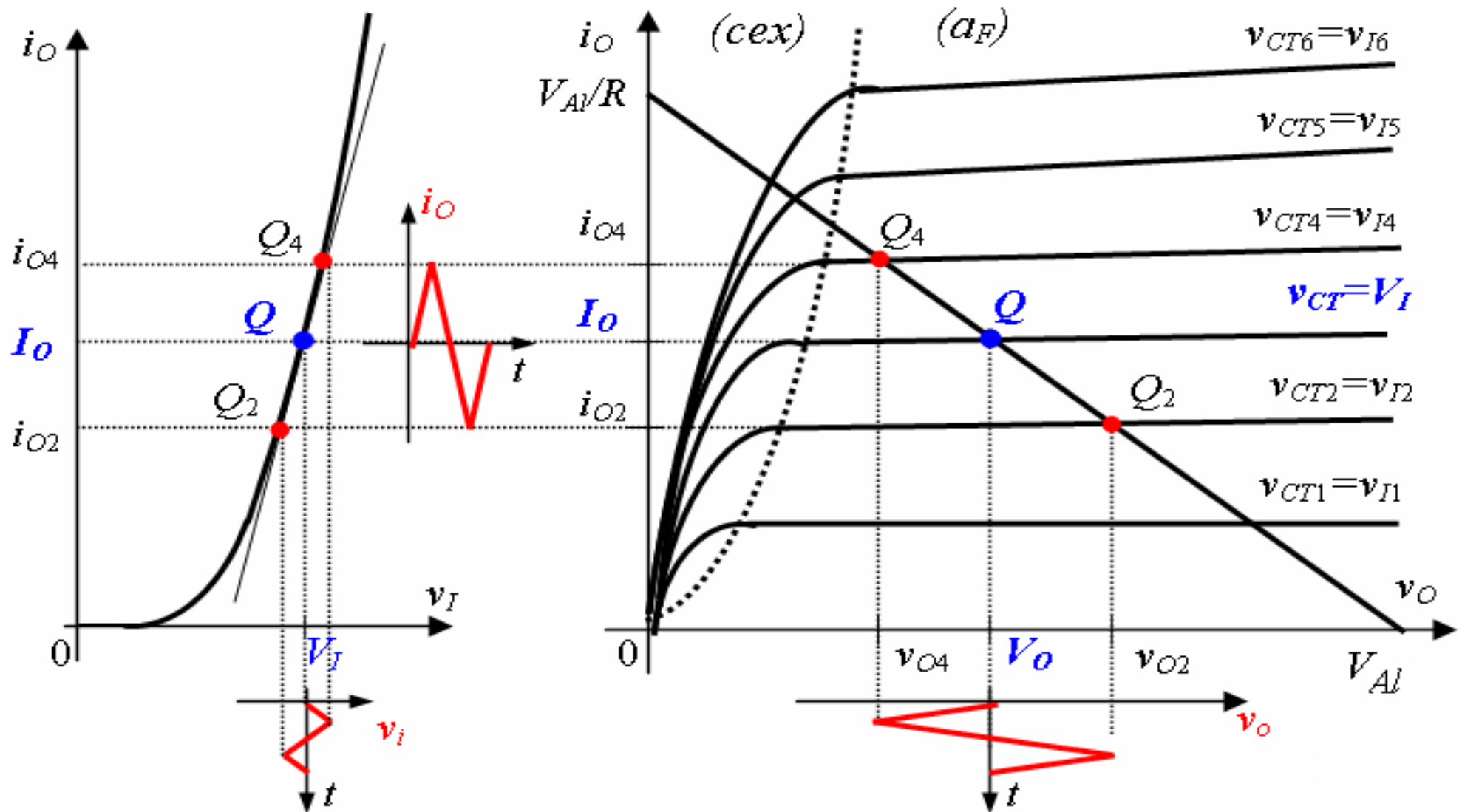


# Modele de semnal mic

## TB

- funcționarea la semnal mic (semnal variabil)
- parametri de semnal mic
- modele de semnal mic ( $\pi$  hibrid)

# Necesitatea modelului de semnal mic (valabil in regiunea liniara din jurul PSF)



Modelul de semnal mic (model liniar) - necesar pentru a deduce

$v_o$  in functie de  $v_i$

# Funcționarea la semnal mic

Tranzistorul pentru regimul de semnal mic:

- parametrii de semnal mic (diferențiali, dinamici)
  - **valorile parametrilor de semnal mic depind de PSF**
  - modelul de semnal mic al tranzistorului.
- Modelul tranzistorului la **frecvente joase si medii**:
    - *rezistenta de intrare*
    - *rezistenta de iesire*
    - *sursa comandata* care arata **transferul intrare-iesire**
  - La **frecvente inalte** modelul se completeaza cu *capacitatile parazite* dintre terminalele tranzistorului

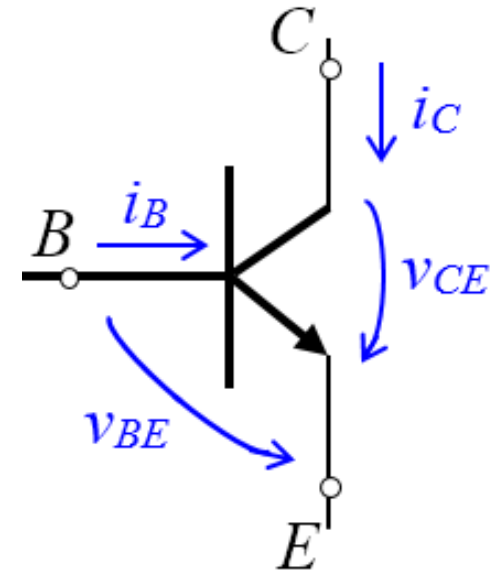
# Parametrii de semnal mic ai TB

## • Transconductanța diferentia

$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_{v_{CE}=cst} = \left. \frac{i_c}{v_{be}} \right|_{v_{CE}=cst}$$

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$V_T \approx 25\text{mV} @ 20^\circ\text{C}$$



## • Amplificarea în curent

$$\beta = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{v_{CE}=cst} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{v_{CE}=cst}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \approx 40I_C @ 20^\circ\text{C}$$

$$g_m [\text{mS}] \quad I_C [\text{mA}]$$

$$V_T = \frac{KT}{q}$$

$$\text{temp.} \uparrow \quad g_m \downarrow$$

Deși pot exista diferențe între amplificarea în curent continuu și amplificarea diferențială în curent, pentru analiza de ordin 1 vom folosi aceeași notație și aceeași valoare (orientativ  $\beta=100$ ).

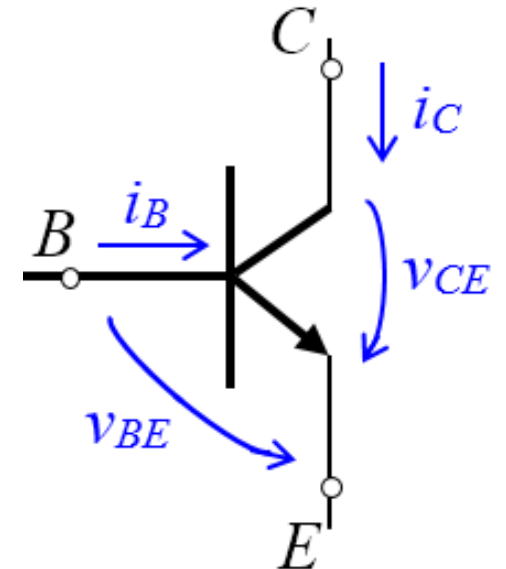
# Parametrii de semnal mic ai TB - continuare

## • Rezistența de ieșire

$$r_o = \left. \frac{\partial v_{CE}}{\partial i_C} \right|_{v_{BE}=cst} = \left. \frac{v_{ce}}{i_c} \right|_{v_{BE}=cst}$$

$$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \left( 1 + \frac{v_{CE}}{V_A} \right)$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$



## • Rezistența de intrare

$$r_{be} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{v_{CE}=cst} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{v_{CE}=cst}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m}$$

# TB

CC

semnal mic

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$R_I = \frac{V_{BE}}{I_B}$$

$$R_O = \frac{V_{CE}}{I_C}$$

$$i_c = g_m v_{be}$$

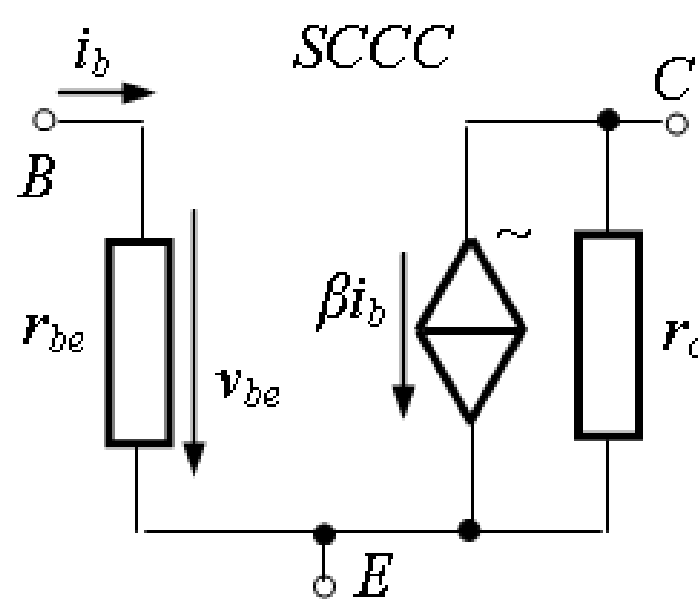
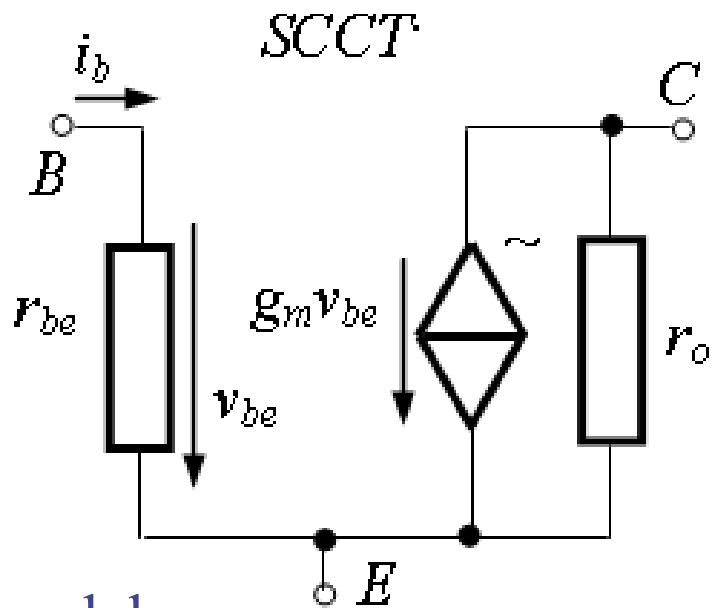
$$g_m = 40 I_C$$

$$i_c = 40 I_C v_{be}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

# Modele de semnal mic ale TB joasa si medie frecventa



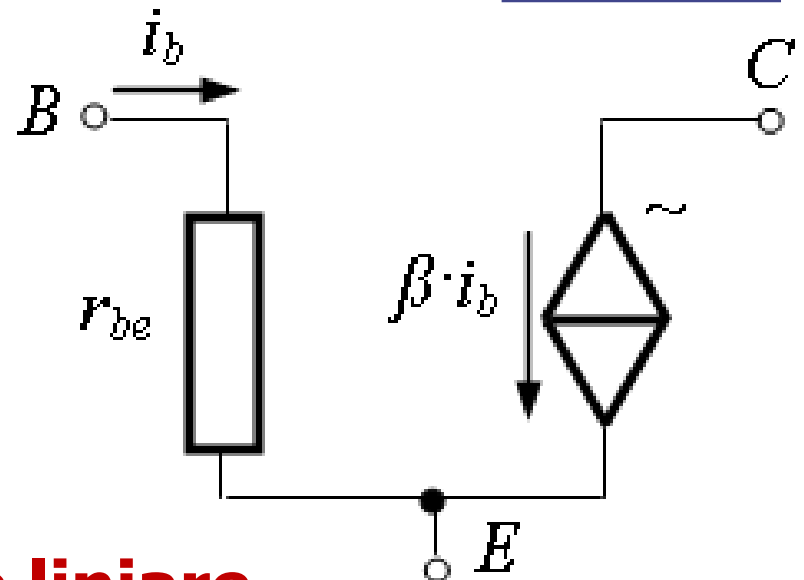
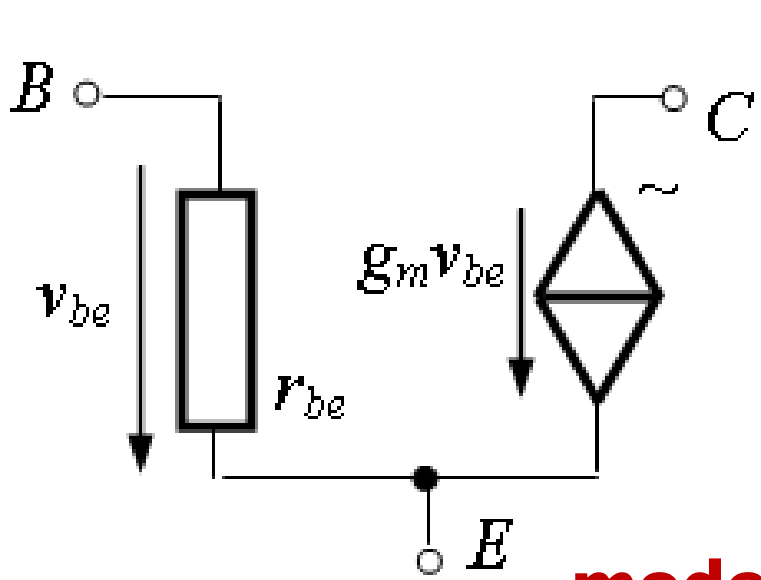
$$g_m = 40 I_C$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

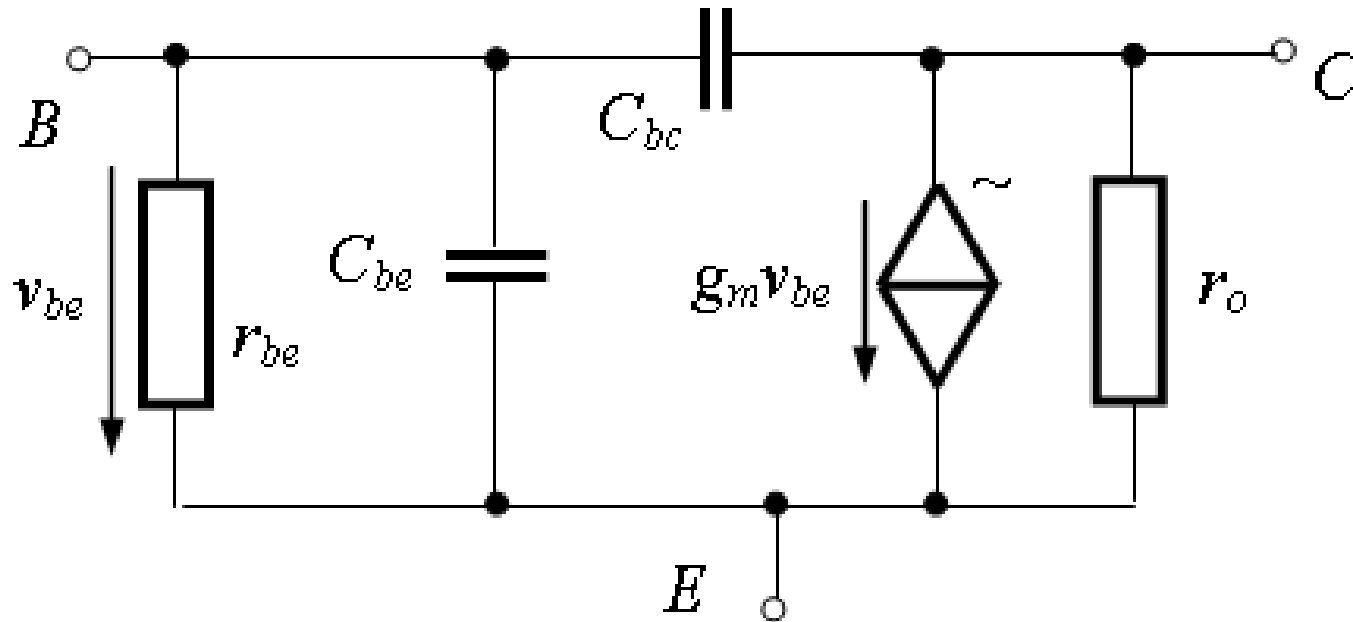
modele  
*π* hibrid

modelele  
*π* hibrid  
simplificat



**modele liniare**

## Modele de semnal mic ale TB (înaltă frecvență)

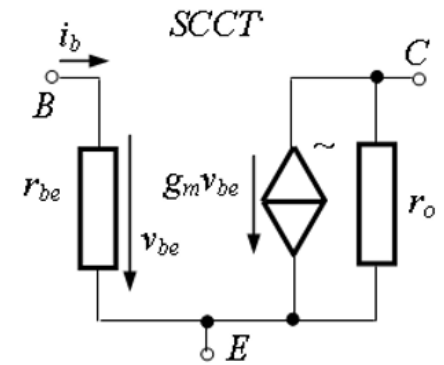


modelul  
 $\pi$  hibrid

- apar capacitatile parazite între terminalele tranzistorului
- efectul acestor capacitati: reducerea amplificării la frecvențe înalte
- se poate folosi și modelul cu sursă de curent comandată în curent



# Exemplul numeric



**Cazul 1** *TB* polarizat în *PSF* la  $I_C=100\mu\text{A}$ ,  $V_A=100\text{V}$ ,  $\beta=100$ .  
Care sunt valorile parametrilor de semnal mic și joasă frecvență?

$$g_m = 40I_C = 40 \cdot 0,1 = 4\text{mS}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{4} = 25\text{K}\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100}{0,1} = 1\text{M}\Omega$$

**Cazul 2** *TB* polarizat în *PSF* la  $I_C=1\text{mA}$ ,  $V_A=100\text{V}$ ,  $\beta=100$ .  
Care sunt valorile parametrilor de semnal mic și joasă frecvență?

$$g_m = 40 \cdot I_C = 40 \cdot 1 = 40\text{mS}$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{40} = 2,5\text{K}\Omega$$

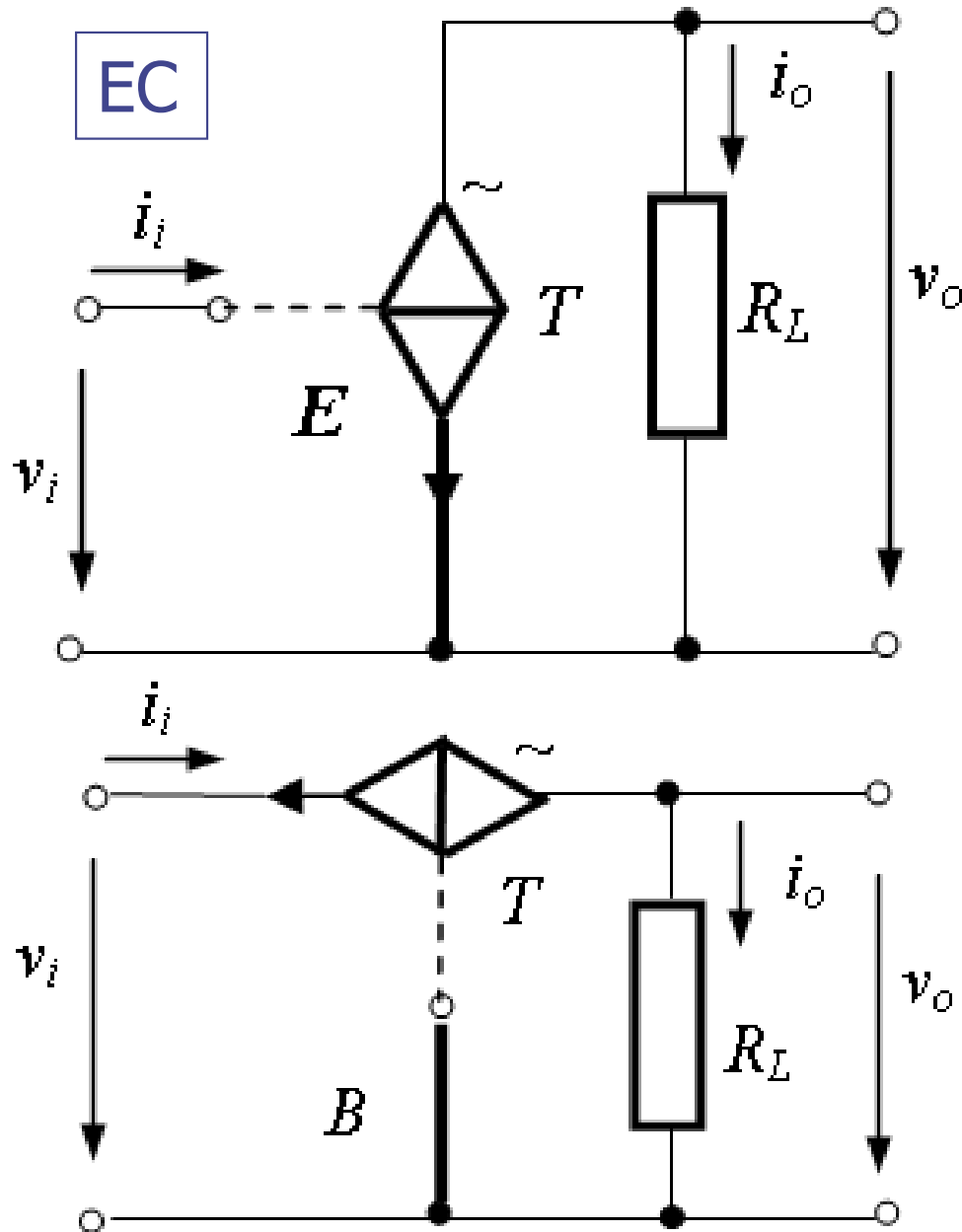
$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100}{1} = 100\text{k}\Omega$$

# Amplificatoare fundamentale cu TB (cu un tranzistor)

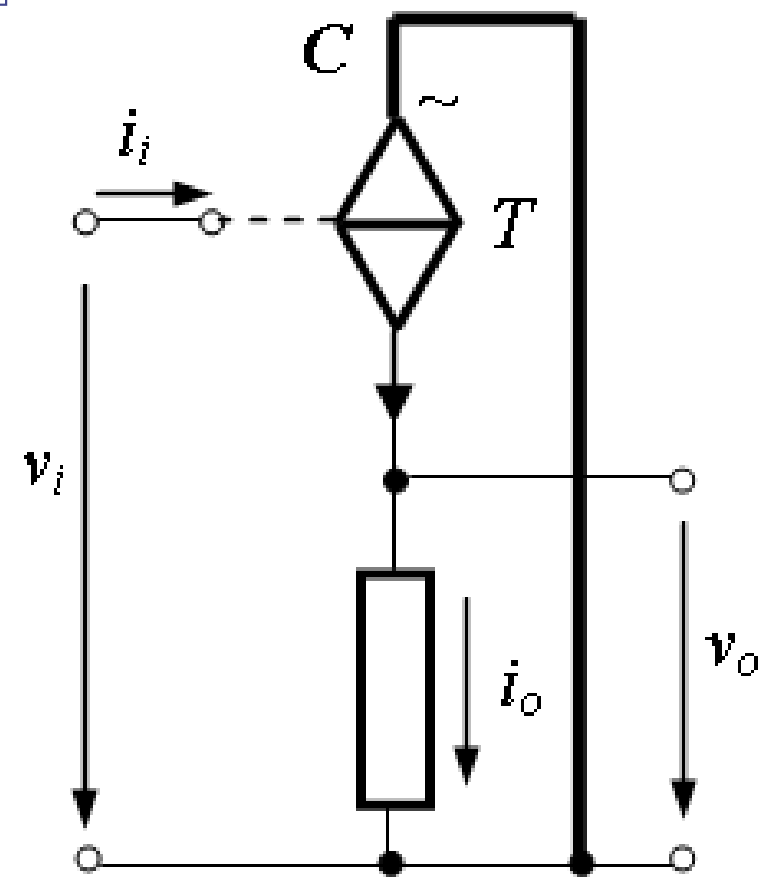
# Configuratii fundamentale.

## Schema echivalenta pentru variatii

In concordanta cu **terminalul tranzistorului conectat la masa** (terminal comun pentru porturile de intrare și de iesire)



CC



BC

## Cuplajul capacitiv

- Suprapunerea semnalului variabil de intrare peste nivelele de tensiune continuă (sau curent continuu): *cuplajul capacitiv*
- Condensatoare pentru separarea semnalului variabil de cel continuu la ieșire, sau în alte puncte ale amplificatorului.
- **Condensatoarele alese vor avea capacitatea *suficient de mare* pentru a fi considerate scurtcircuit la **frecvența de lucru** (impedanța mult mai mică decât a rezistentelor cu care sunt conectate în serie sau în paralel).**
- In curent continuu (pentru determinarea *PSF*) **condensatoarele sunt considerate întreruperi**

# Analiza amplificatoarelor cu tranzistoare

Se pornește de la circuitul complet (cc + semnal variabil)

1. Circuitul echivalent in cc -  $C$  se înlocuiește cu întrerupere
  - se determină PSF (curentul de polarizare)
  - se determină parametri de semnal mic ai tranzistorului
2. Circuitul echivalent pentru variații (pentru semnal mic) -  $C$  se înlocuiește cu scurt-circuit
  - se pasivizează sursele de cc
  - se determină performanțele amplificatorului:
    - amplificarea
    - rezistența de intrare
    - rezistența de ieșire
3. Forme de unda în diverse puncte ale amplificatorului
  - variația în timp pentru semnalul variabil
  - niveluri (potențiale) de cc
  - variația în timp a semnalelor totale: cc + semnal variabil

# Conexiunea EC

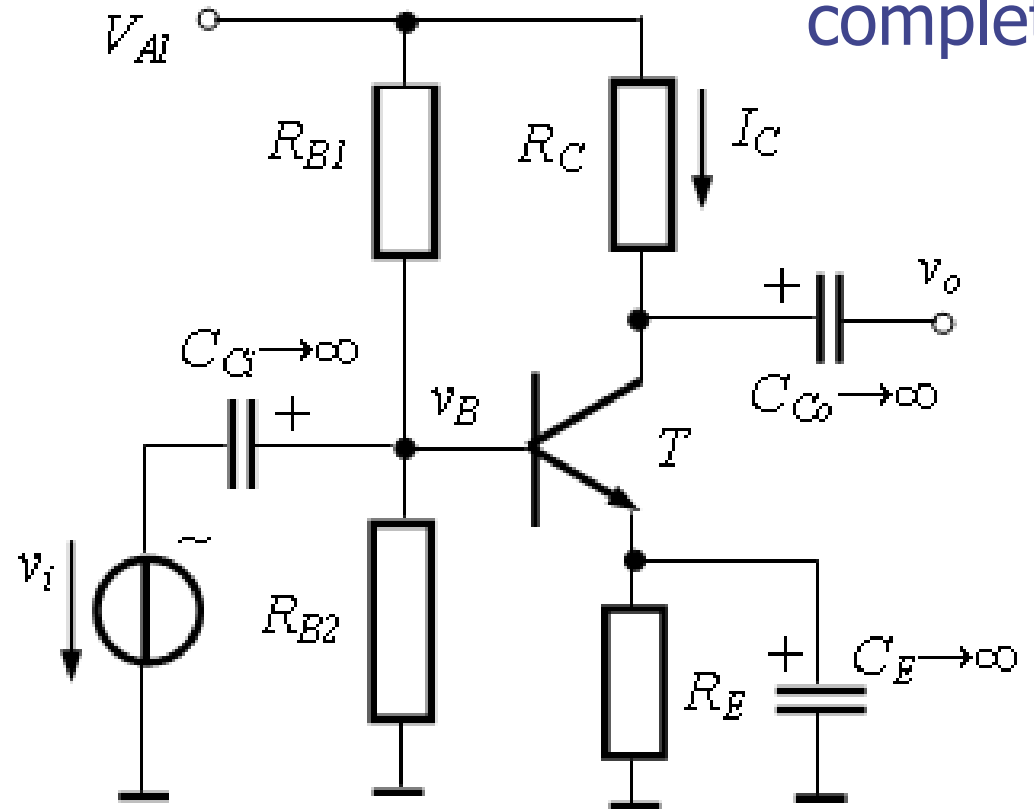
$$A_v = -g_m (R_C \parallel r_o) \approx -g_m R_C$$

$$R_i = R_B \parallel r_{be} = R_B \parallel \frac{\beta}{g_m}$$

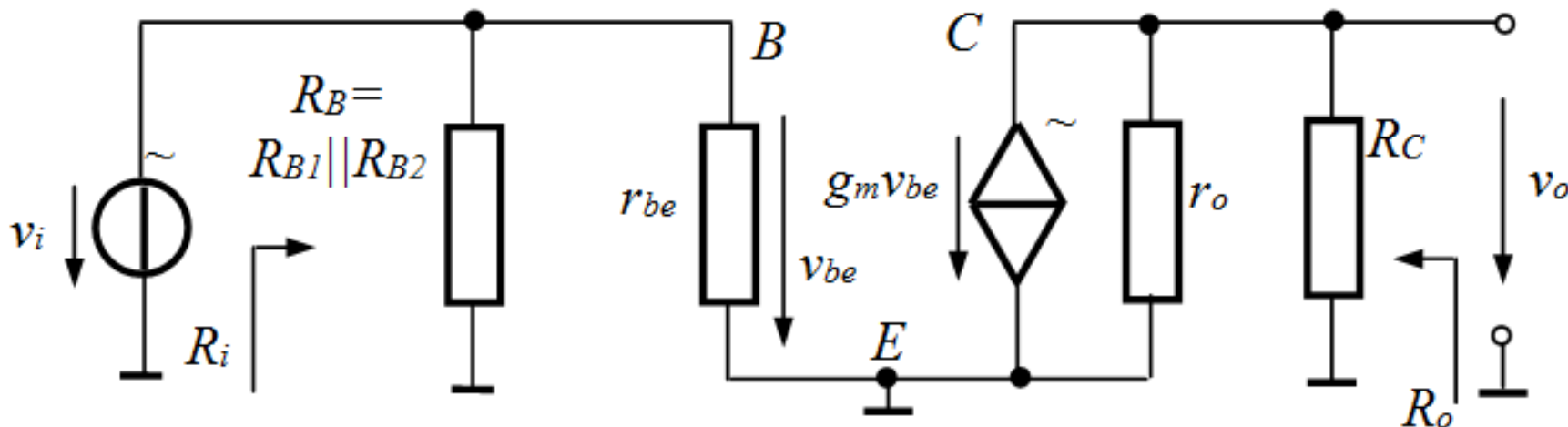
$$R_o = R_C \parallel r_o \approx R_C$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{R_B}{R_B + r_{be}} \beta \approx \beta$$

circuit complet

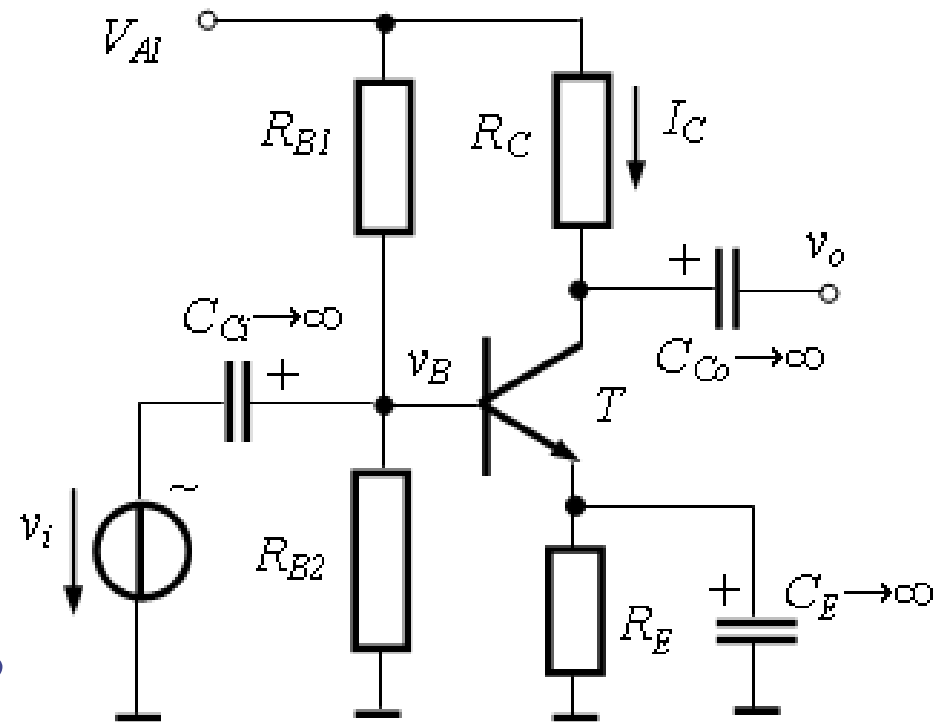


circuit echivalent de semnal mic



# Problema

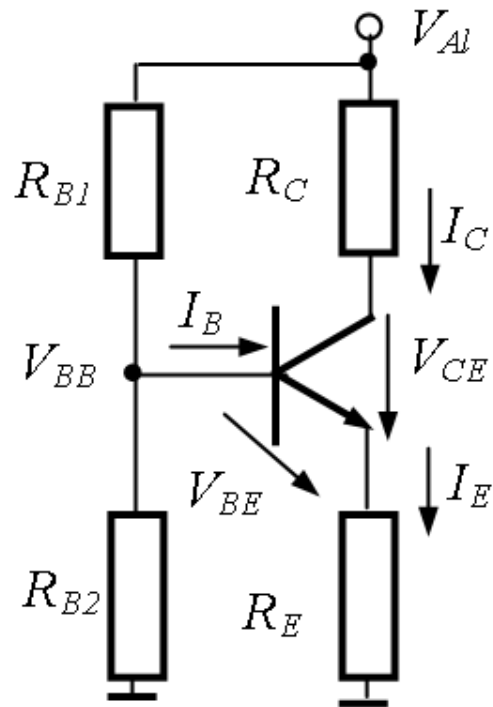
$$V_{Al} = 12V, \quad R_{B1} = 49K\Omega, \\ R_{B2} = 22K\Omega, \quad R_C = 2K\Omega, \\ R_E = 2.5K\Omega, \quad \beta = 100.$$



- Care este schema echivalenta in cc?
- Care este PSF?
- Ce valori au parametrii de semnal mic ai tranzistorului?
- Care este schema echivalenta pentru semnal mic a amplificatorului?
- Care sunt valorile amplificarii si a rezistentelor de intrare si de iesire?  
Care este modelul echivalent al amplificatorului?
- Daca  $v_i(t)$  este tensiune sinusoidala cu amplitudine de 10mV, cum arata  $v_B(t)$ ,  $v_o(t)$ ,  $v_C(t)$ ,  $v_E(t)$ ?
- Ce parametri ai amplificatorului se modifica daca se conecteaza la iesire o rezistenta de sarcina cu valoarea de 1k $\Omega$ ?

# Rezolvare

a)



b) PSF:  $I_C = 1,2 \text{ mA}$ ,  $V_{CE} = 6,3 \text{ V}$

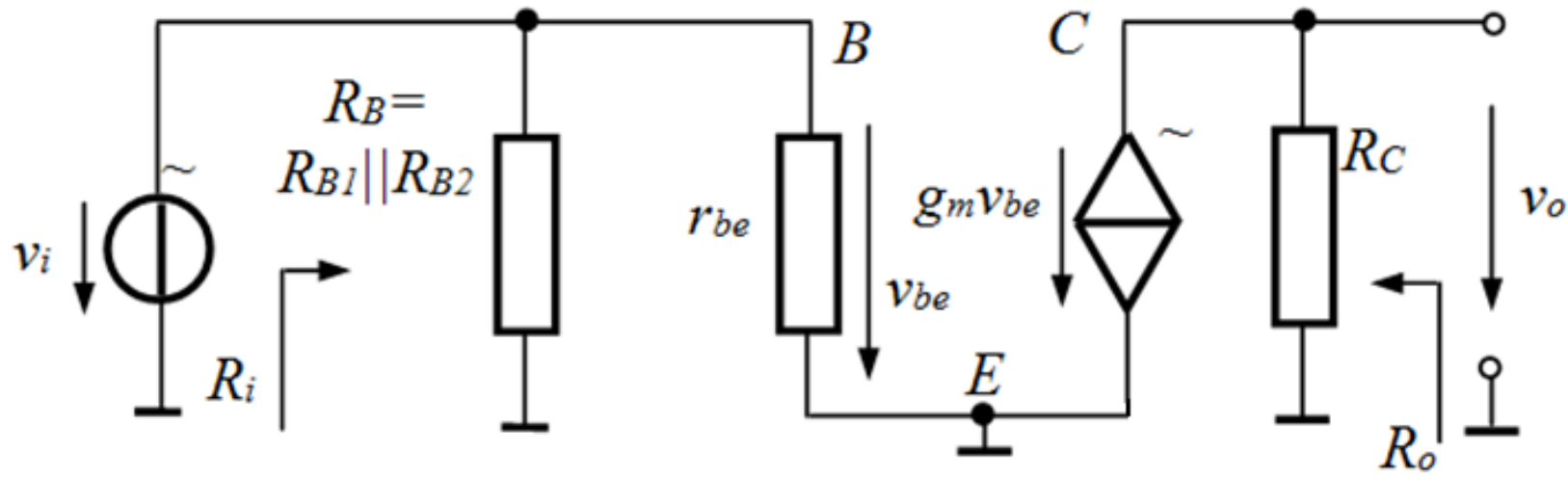
c)

$$g_m = 40 |I_C| = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ ms};$$

$$r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{48} = 2,08 \text{ k}\Omega$$



d)



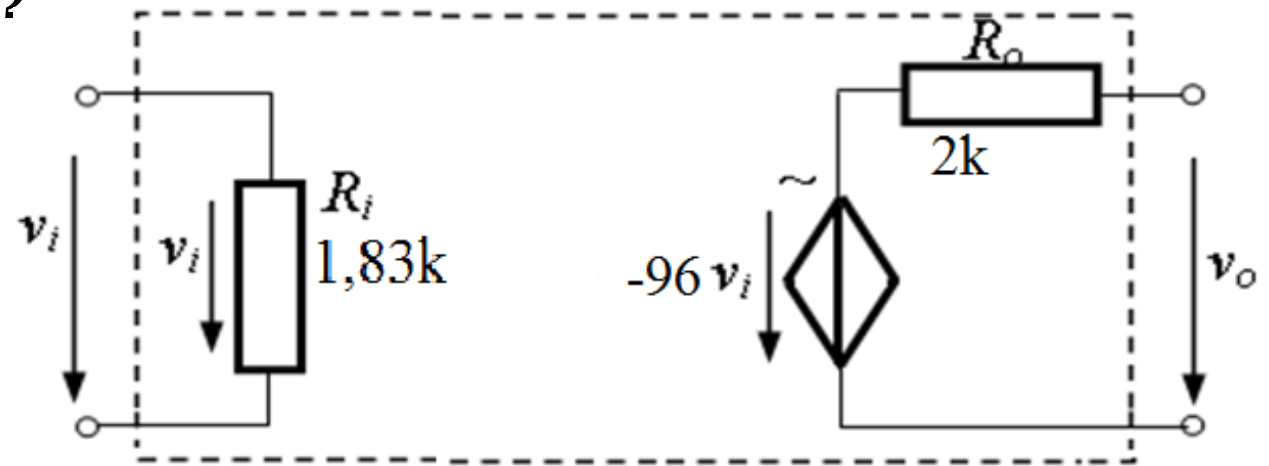
Rezolvare

e)

$$A_v = -g_m R_C = -48 \cdot 2 = -96$$

$$R_i = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_{be} = 49 \text{ k}\Omega \parallel 22 \text{ k}\Omega \parallel 2,08 \text{ k}\Omega = 1,83 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_C = 2 \text{ k}\Omega$$

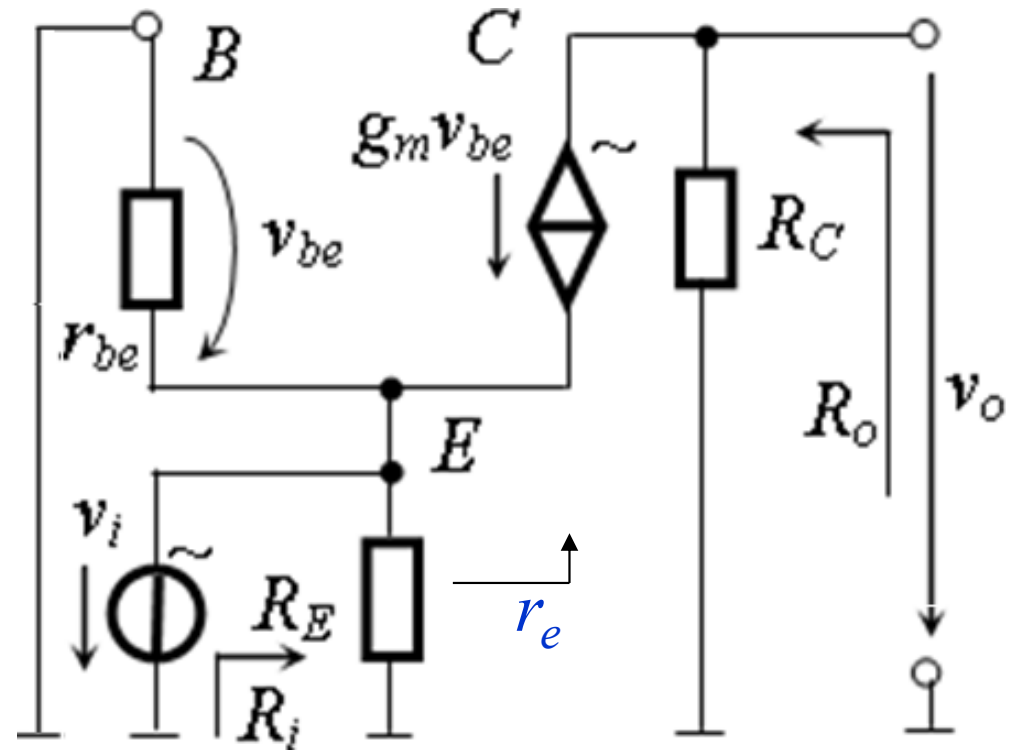
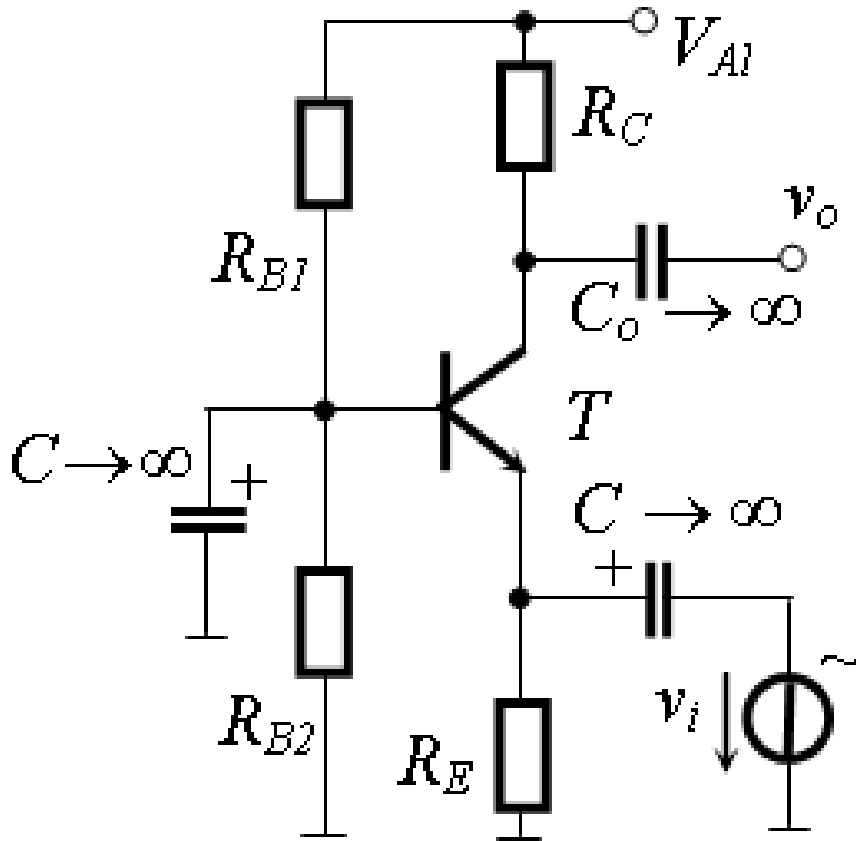


f)

g)

# Conexiunea BC

T la semnal mic – modelul pi hibrid simplificat



$$R_i = R_E \parallel r_e$$

$r_e$  – rezistența văzută din emitor

$$r_e = \frac{-v_{be}}{-v_{be}/r_{be} - g_m v_{be}} = \frac{r_{be}}{1 + \beta} \approx \frac{r_{be}}{\beta} = \frac{1}{g_m}$$

$$v_i = -v_{be}$$

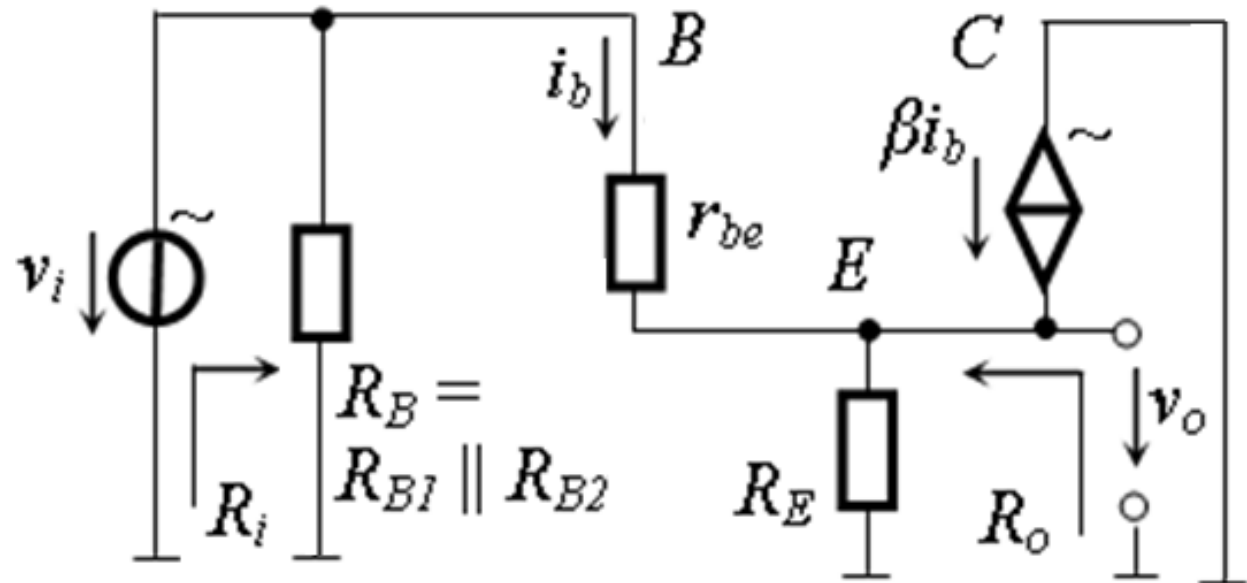
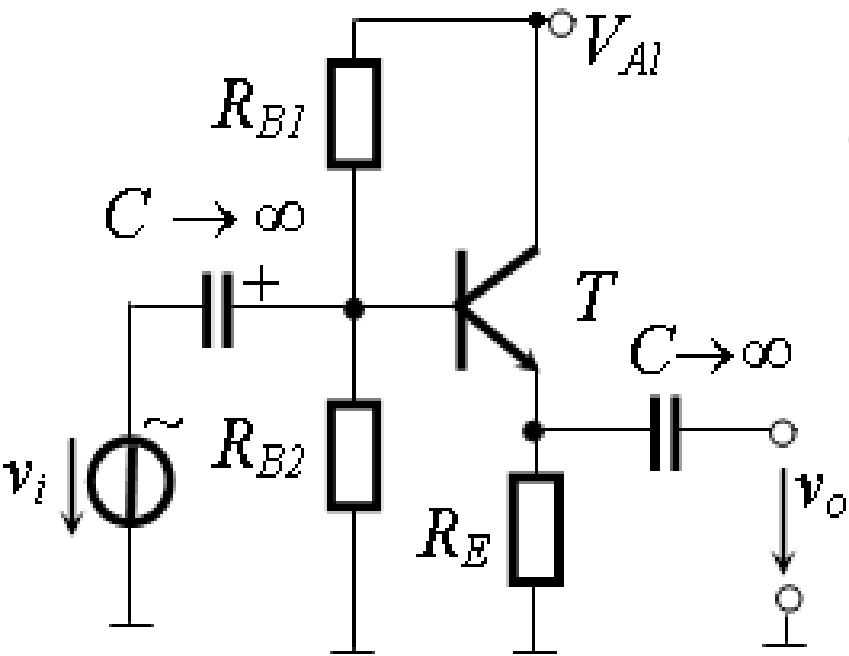
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m v_{be} R_C}{-v_{be}}$$

$$A_v = g_m R_C$$

$$R_i = R_E \parallel \frac{1}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_C$$

# Conexiunea CC



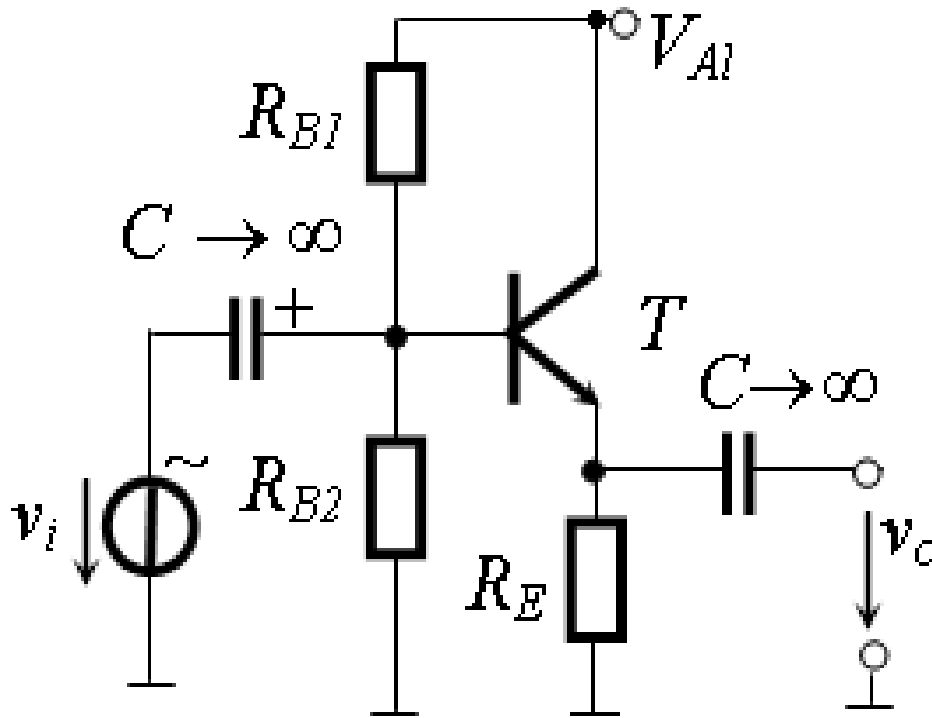
$$A_v = \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \cong 1$$

$$R_i = R_B \parallel (r_{be} + (\beta + 1)R_E)$$

$$R_o = R_E \parallel \frac{1}{g_m}$$

➤ repetor pe emitor  
(repetor de tensiune)

## Exemplul numeric



$$R_B = R_{B1} \parallel R_{B2} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 2,2 \text{ k}\Omega \quad I_C = 1 \text{ mA}$$

Se consideră  $\beta = 100$

?  $A_v$ ,  $R_i$  și  $R_o$

$$g_m = 40 \cdot 1 = 40 \text{ mS};$$

$$r_{be} = \frac{100}{40} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{40 \cdot 2,2}{1 + 40 \cdot 2,2} = 0,988 \cong 1$$

$$R_i = 20 \parallel (2,5 + 100 \cdot 2,2)$$

$$R_i \cong 18,4 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = 2,2 \parallel \frac{1}{40} \text{ k}\Omega$$

$$R_o = 24,7 \Omega \cong \frac{1}{g_m}$$

➤ potrivit ca repetor de tensiune (buffer)

- amplificare unitară
- rezistență de intrare mare
- rezistență de ieșire mică

# Cerințe pentru un amplificator de tensiune de uz general:

- amplificare mare
- rezistența de intrare mare
- rezistența de ieșire mică

**EC :**  $|A_v| \approx g_m R_C$       valoare mare a modulului amplificării

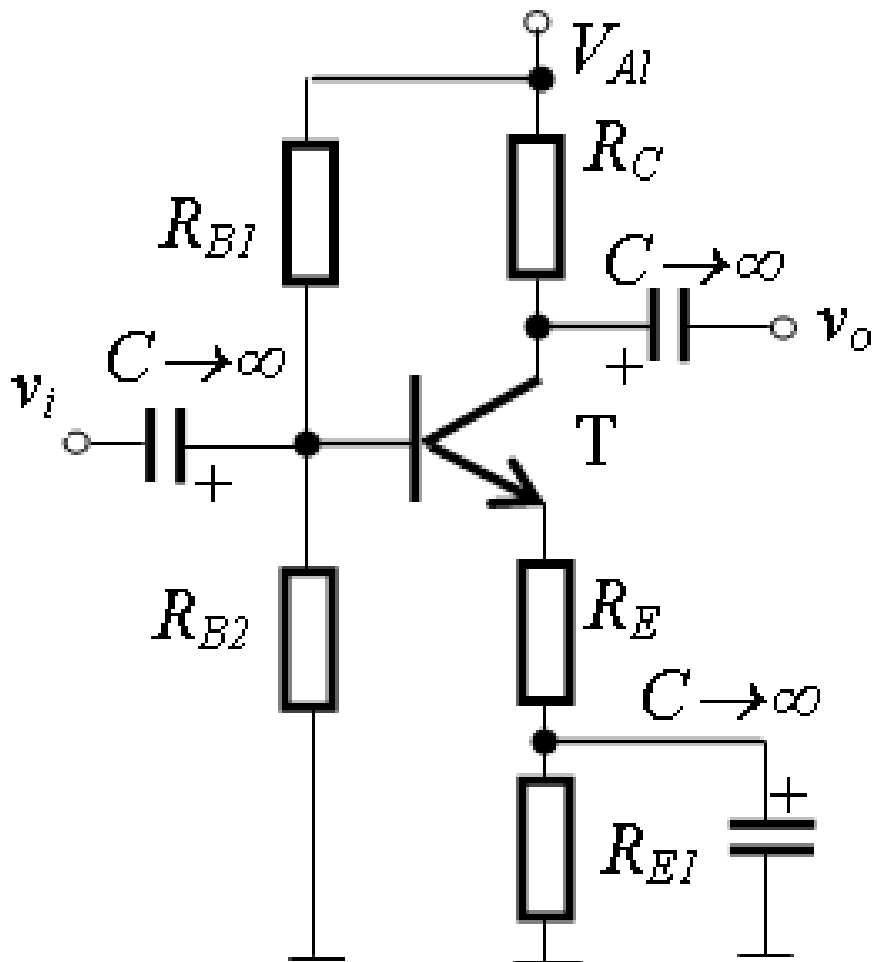
$R_i = R_B \parallel r_{be}$       valoare destul de mică a rezistenței de intrare

**CC :**  $A_v \approx 1$       valoare mică (unitară) a modulului amplificării

$R_i = R_B \parallel (r_{be} + (\beta + 1)R_E)$       valoare mare a rezistenței de intrare

Soluție: combinarea celor două configurații EC și CC

# Amplificator EC modificat (degenerare în emitor)



$$A_v \cong - \frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E}$$

Dacă  $g_m R_E \gg 1$

$$A_v \cong - \frac{R_C}{R_E}$$

➤ amplificare stabila  
independenta de parametrii tranzistorului

$$R_i = R_B \parallel [r_{be} + (\beta + 1)R_E]$$

$$R_o = R_C$$

$R_E + R_{E1}$  apar in cc – fixeaza curentul din PSF

$R_E$  apare in ca – fixeaza amplificarea

# Performanțele amplificatoarelor fundamentale cu un tranzistor

		Amplificarea în tensiune		Rezistența de intrare		Rezistența de ieșire	
SC	EC	$-g_m(R_D \parallel r_o)$ $\cong -g_m R_D$	$-g_m R_C$	$R_G$	$R_B \parallel r_{be}$	$R_D \parallel r_o$ $\cong R_D$	$R_C$
GC	BC	$g_m(R_D \parallel r_o)$ $\cong g_m R_D$	$g_m R_C$	$\frac{1}{g_m}$	$R_E \parallel \frac{1}{g_m} \cong \frac{1}{g_m}$	$R_D \parallel r_o$ $\cong R_D$	$R_C$
DC	CC	$\frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}$	$\frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \cong 1$	$R_G$	$R_B \parallel [r_{be} + (\beta + 1)R_E]$	$(R_S \parallel r_o) \parallel \frac{1}{g_m}$ $\cong R_S \parallel \frac{1}{g_m}$	$R_E \parallel \frac{1}{g_m}$ $\cong \frac{1}{g_m}$
Degenerare în emitor		$-\frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E} \cong -\frac{R_C}{R_E}$		$R_B \parallel [r_{be} + (\beta + 1)R_E]$		$R_C$	