

Elettronica Digitale

A.A. 2020-2021

Lezione 12/04/2021

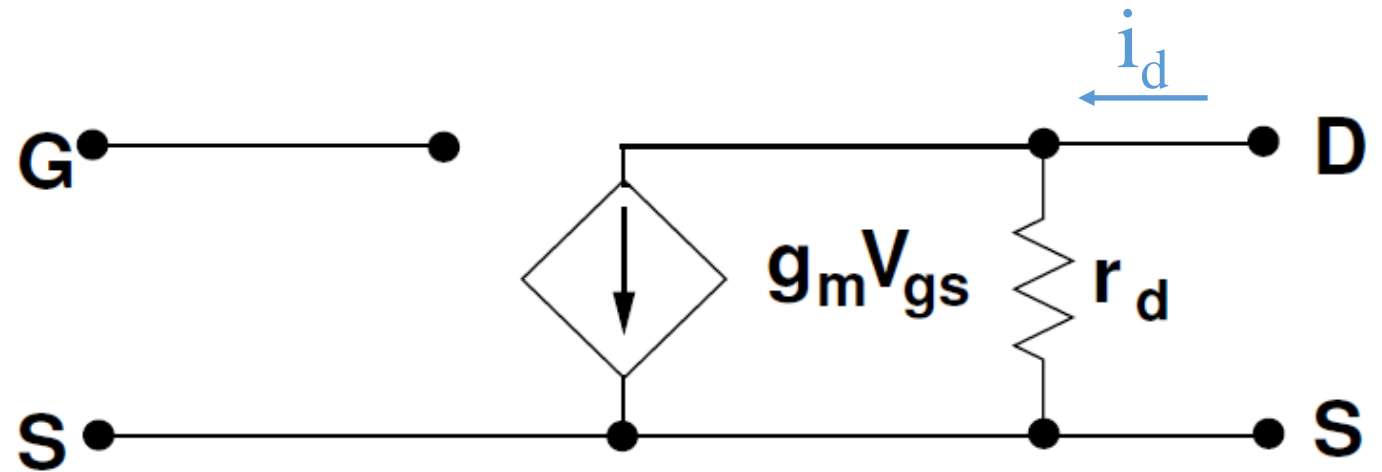
Transistore MOSFET– Modelli linearizzato per piccoli segnali in saturazione

$$i_D = k \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda v_{DS}) = f(v_{GS}, v_{DS})$$

$$i_D = I_{DQ} + i_d(t) = f(V_{GSQ} + v_{gs}, V_{DSQ} + v_{ds}) = f(V_{GSQ}, V_{DSQ}) + \left. \frac{\partial f}{\partial v_{GS}} \right|_Q v_{gs} + \left. \frac{\partial f}{\partial v_{DS}} \right|_Q v_{ds} + \dots$$

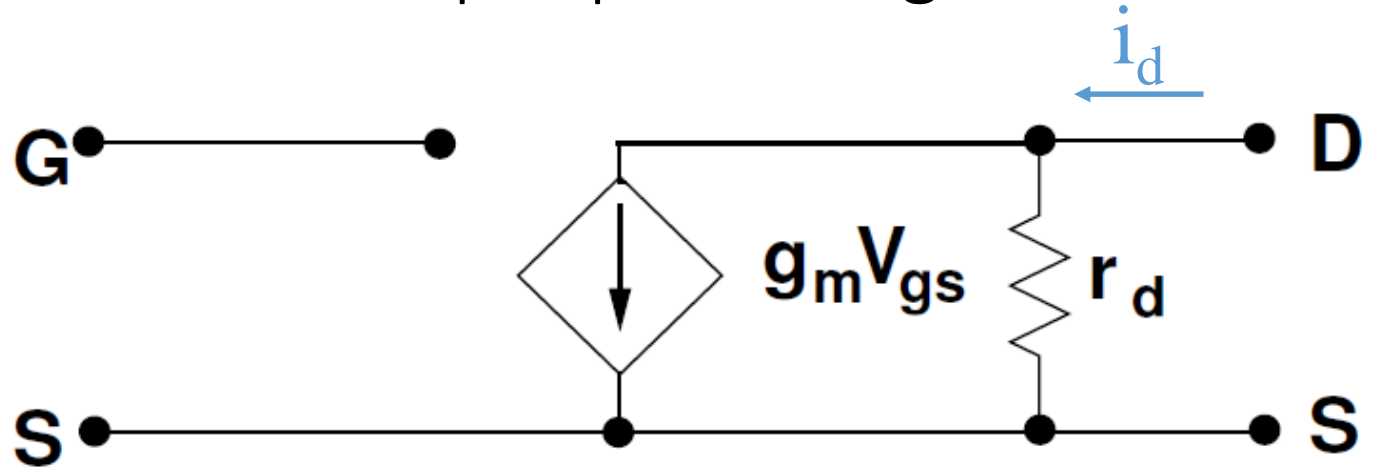
$$i_d = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q v_{gs} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q v_{ds}$$

$$i_d = g_m v_{gs} + \frac{v_{ds}}{r_d}$$



Transistore MOSFET– Modelli linearizzato per piccoli segnali in saturazione

$$i_d = g_m v_{gs} + \frac{v_{ds}}{r_d}$$

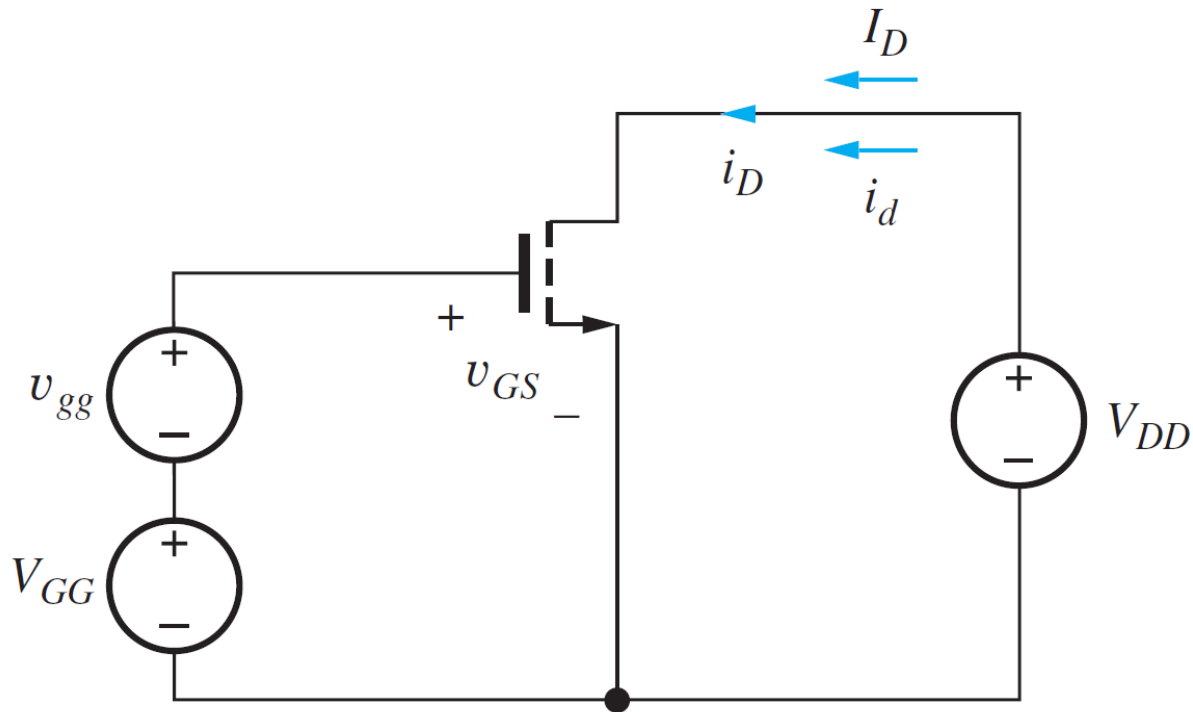


$$i_D = k \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda v_{DS})$$

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q = 2k \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T) (1 + \lambda v_{DS}) \Big|_Q = \frac{2I_{DQ}}{(V_{GSQ} - V_T)}$$

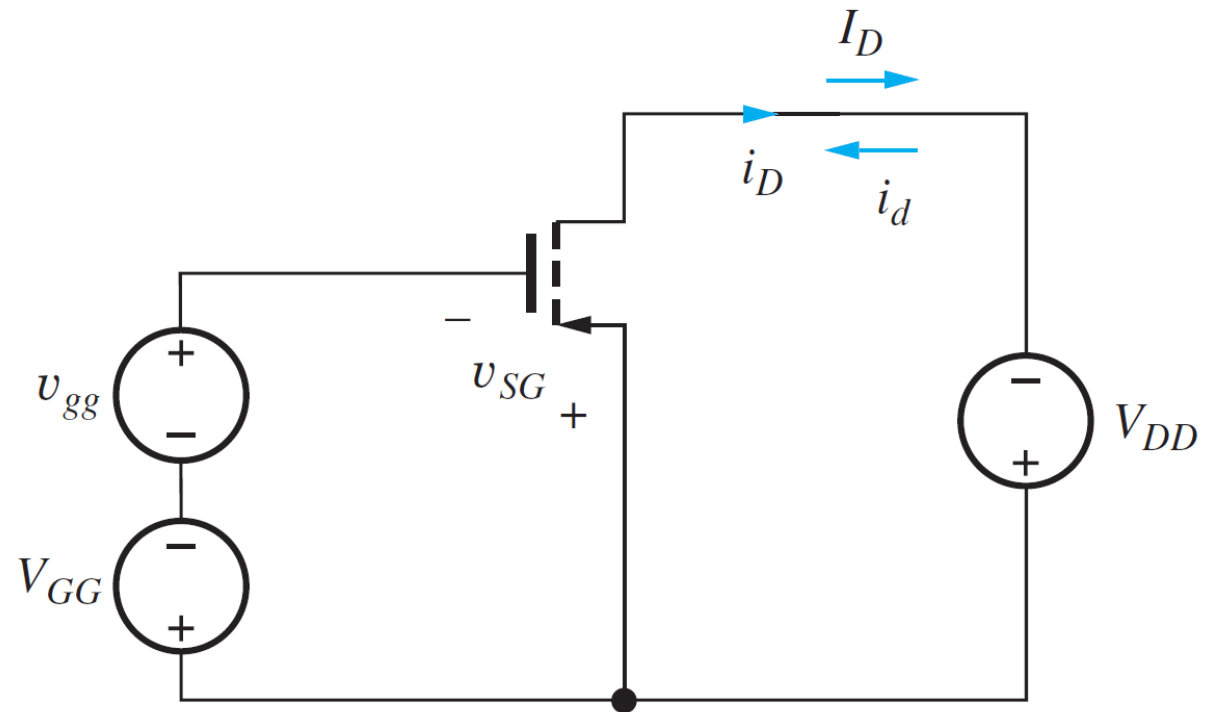
$$\frac{1}{r_d} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q = k \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 \lambda \Big|_Q = \frac{I_{DQ} \lambda}{(1 + \lambda V_{DSQ})} = \frac{I_{DQ}}{\left(\frac{1}{\lambda} + V_{DSQ} \right)} \approx I_{DQ} \lambda \quad \Rightarrow \quad r_d \approx \frac{1}{\lambda I_{DQ}}$$

Transistore MOSFET– Equivalenza modello linearizzato per piccoli segnali NMOS e PMOS



$$v_{GS} = V_{GG} + v_{gg}$$

$$i_D = I_{DQ} + i_d = k \frac{W}{L} (V_{GG} - V_T)^2 + g_m v_{gg}$$

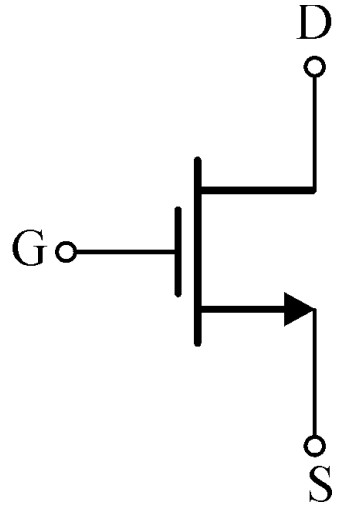


$$v_{SG} = V_{GG} - v_{gg}$$

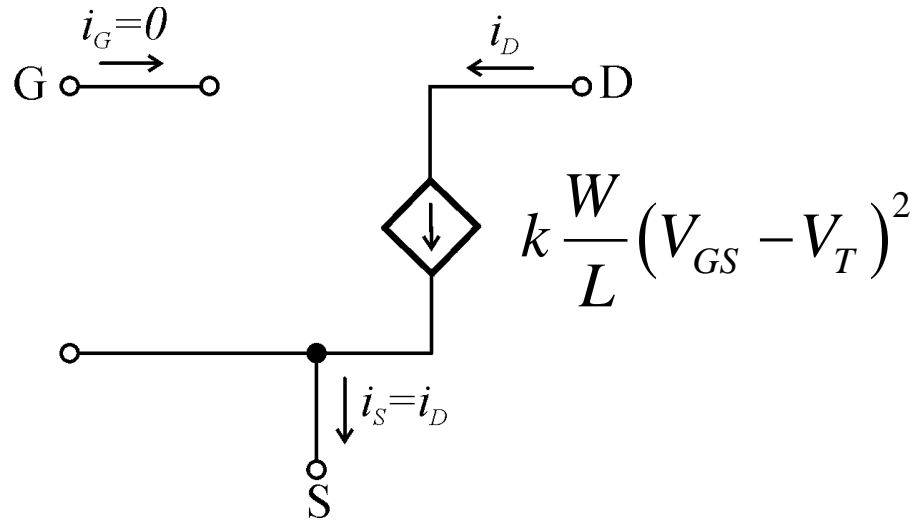
$$i_D = I_{DQ} - i_d = k \frac{W}{L} (-V_{GG} - V_T)^2 - g_m v_{gg}$$

Transistore MOSFET– Modelli NMOS e PMOS in zona di saturazione

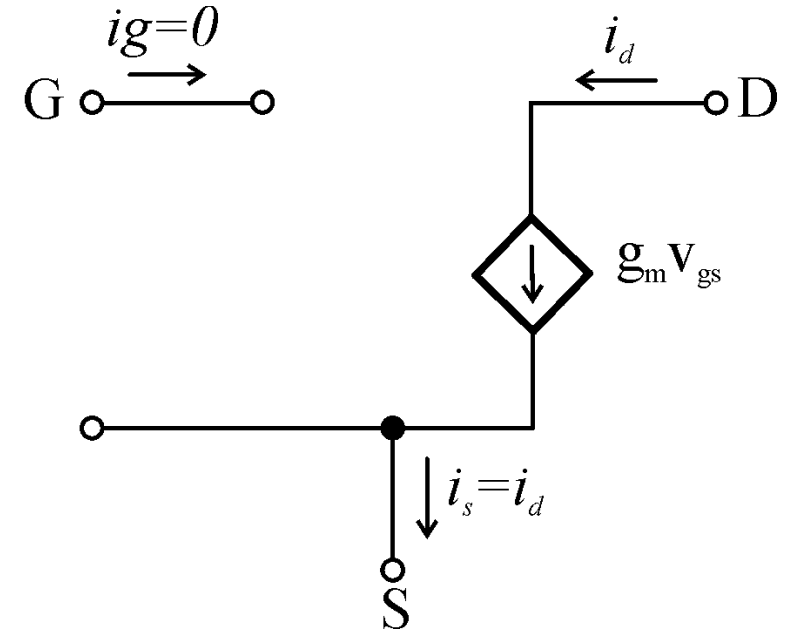
Canale N



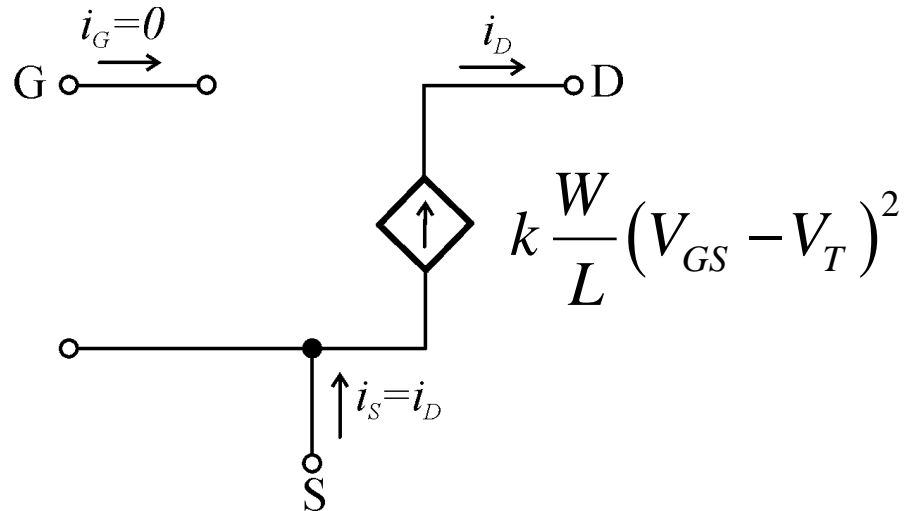
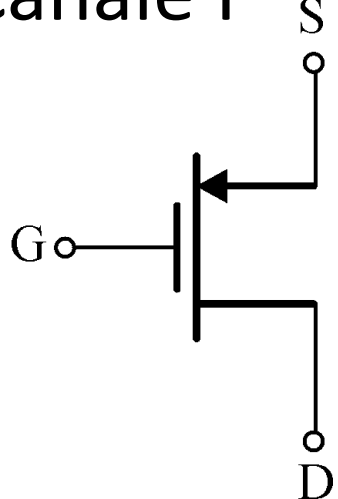
Ampi segnali



Piccoli segnali
semplificato

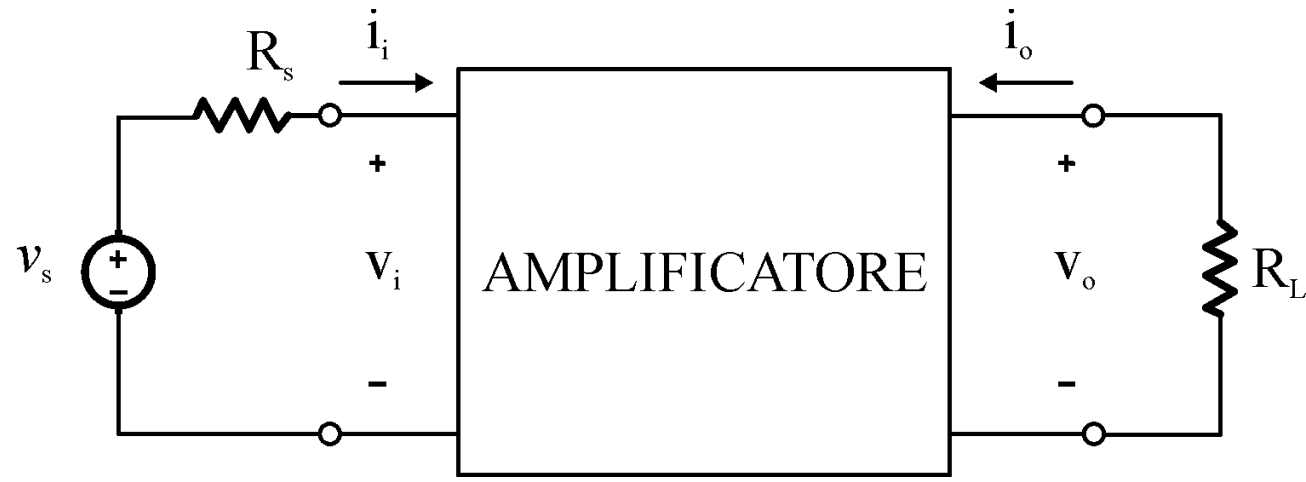


Canale P



$$g_m = 2k \frac{W}{L} |V_{GS} - V_T|$$

Amplificatore



Guadagno di corrente

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

Guadagno di tensione

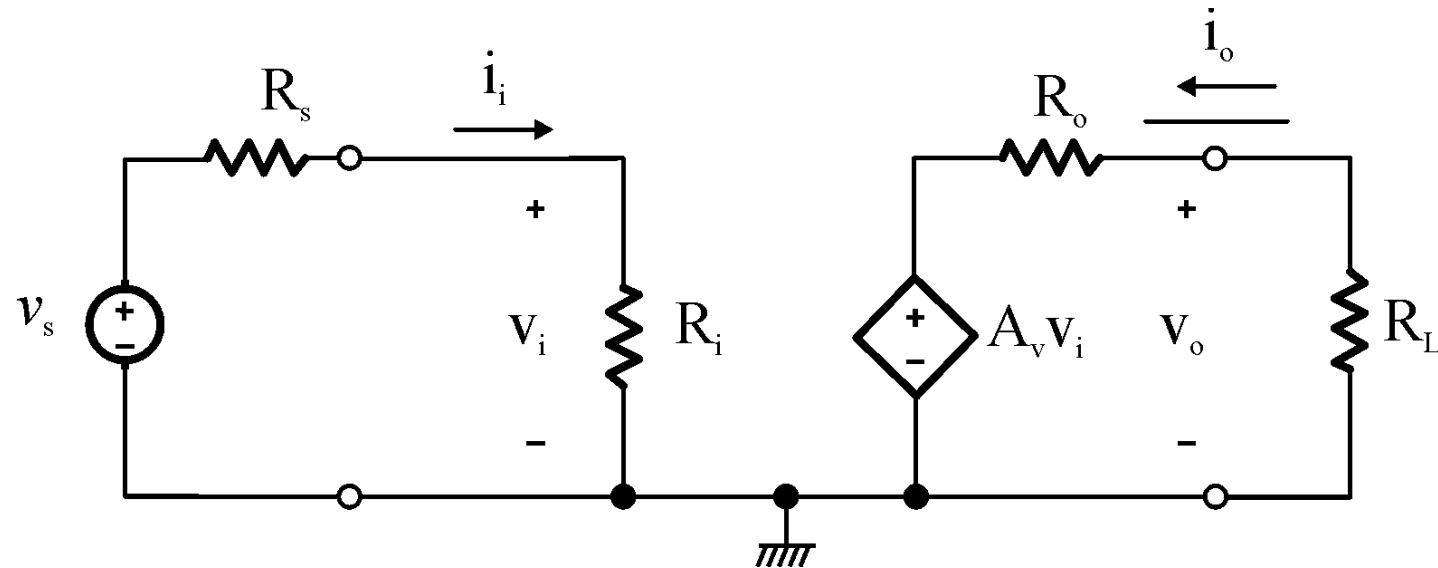
$$A_v = \left. \frac{v_o}{v_i} \right|_{R_L \rightarrow \infty}$$

Resistenza di ingresso

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}$$

Resistenza di uscita

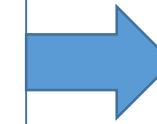
$$R_o = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_s=0}$$



Amplificatore: analisi dei circuiti con componenti non lineari

ANALISI DC (Punto di riposo)

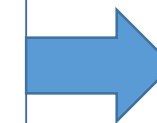
- Disattivare i generatori di segnale
- Sostituire i condensatori con un circuito aperto
- Sostituire le induttanze con un cortocircuito
- Sostituire i componenti non lineari con il loro modello per ampi segnali



Determino il punto di riposo (Q)

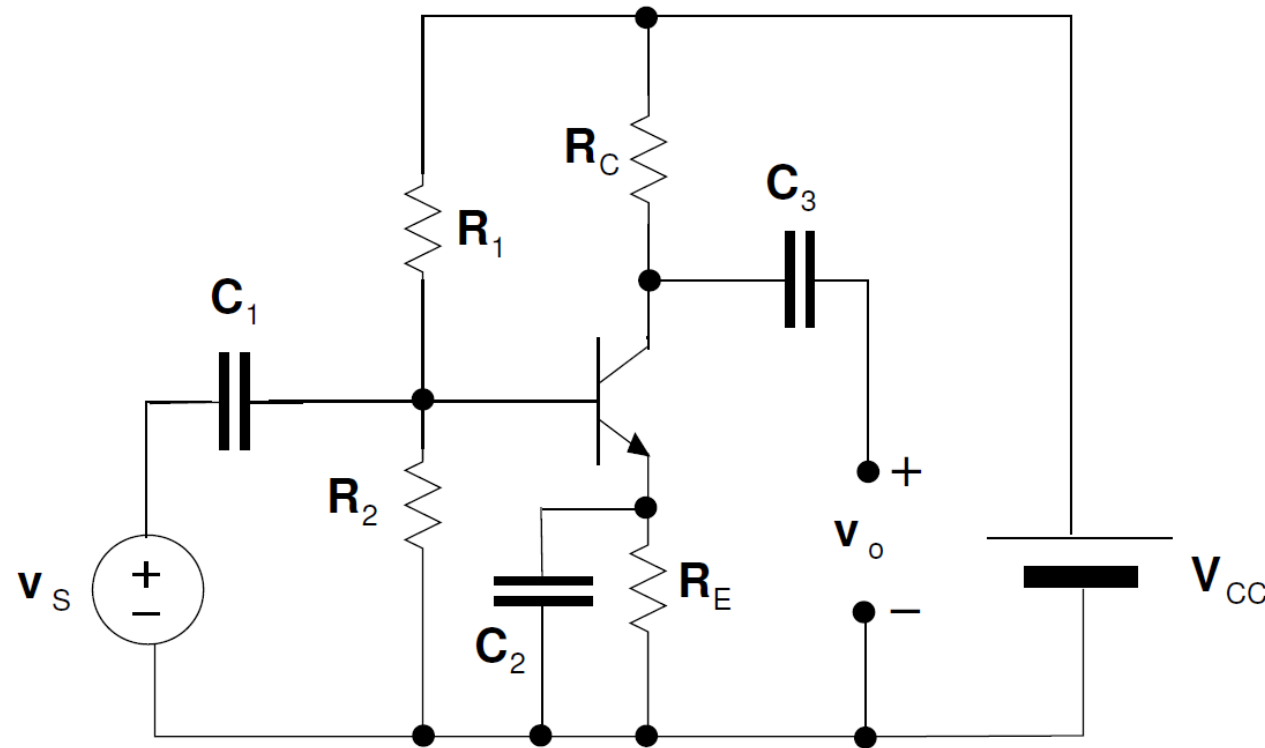
ANALISI AC – Media frequenza

- Disattivare i generatori di valore costante
- Sostituire i condensatori con un cortocircuito
- Sostituire le induttanze con un circuito aperto
- Sostituire i componenti non lineari con il loro modello per piccoli segnali dipendente dal punto di riposo (Q)
- I condensatori intrinseci ai componenti non lineari vengono considerati dei circuiti aperti



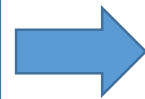
Determino i parametri dell'amplificatore (f_{dt}, guadagni, resistenze, etc.)

Stadio amplificatore a emettitore comune senza resistenza di emettitore

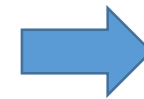


ANALISI DC (Punto di riposo)

- $v_s=0$
- C_1 , C_2 e C_3 sono un circuito aperto
- Sostituisco il BJT con modello ampi segnali



Determino il punto di riposo del circuito (I_{BQ} , V_{BEQ} , I_{CQ} , V_{CEQ})

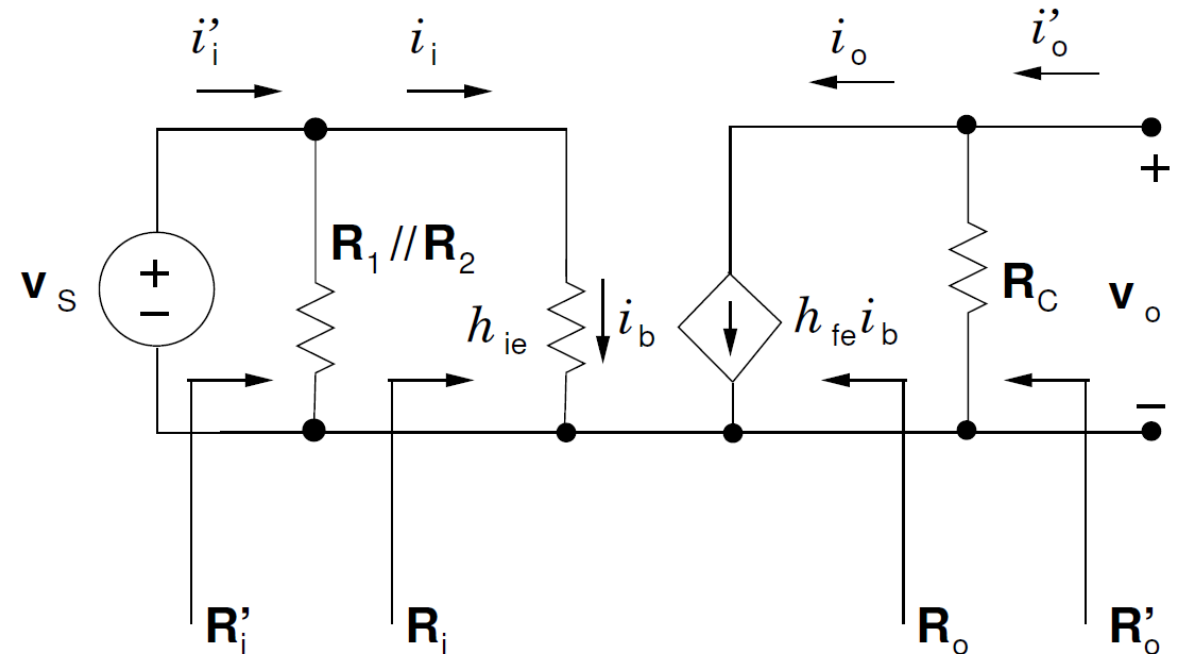
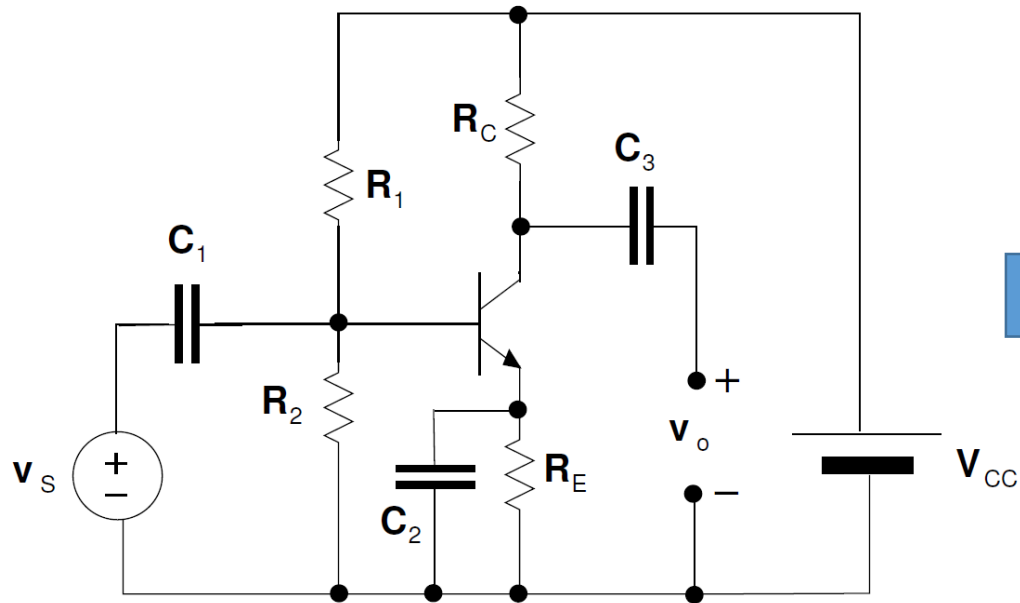


Determino i valori di h_{ie} , h_{fe} , h_{re} , h_{oe}

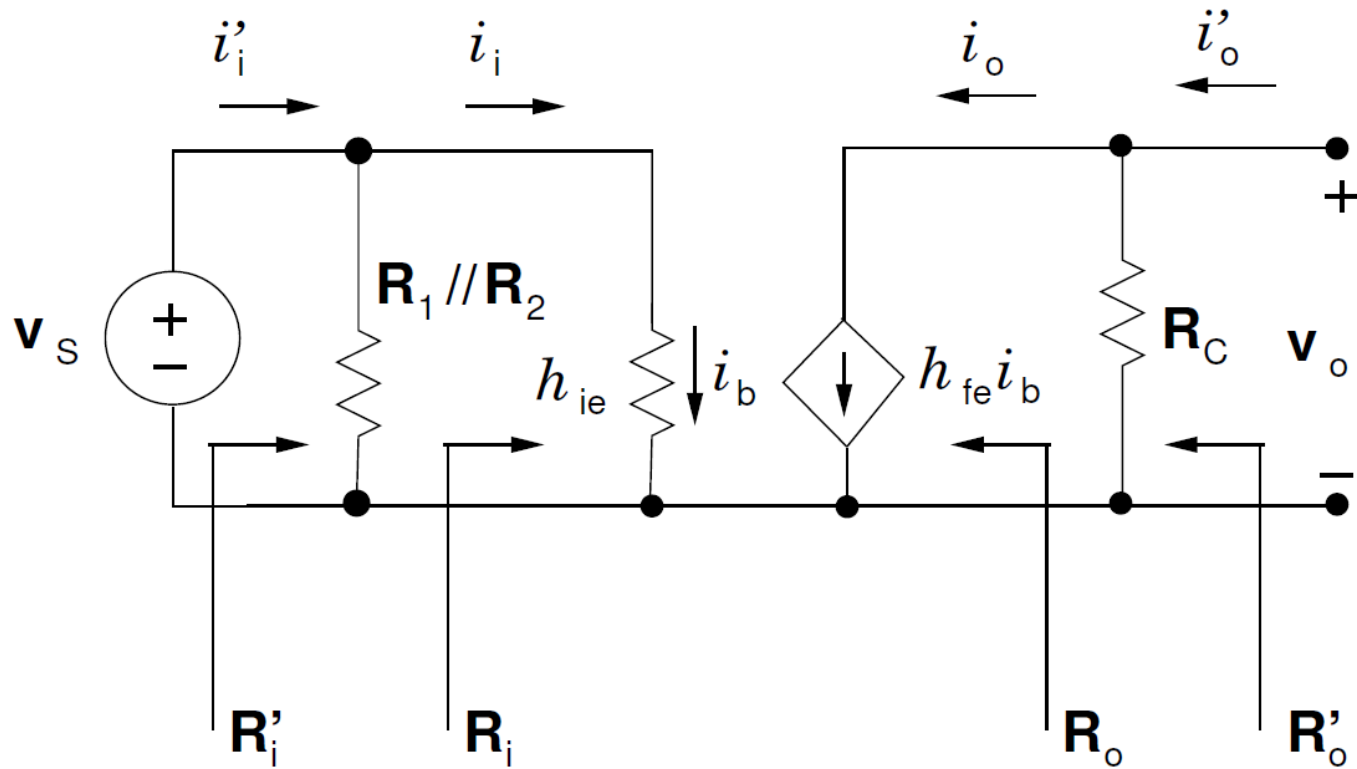
Stadio amplificatore a emettitore comune senza resistenza di emettitore

ANALISI AC – Media frequenza

- $V_{CC}=0$
- C_1 , C_2 e C_3 sono un corto circuito
- Sostituisco il BJT con modello per piccoli segnali



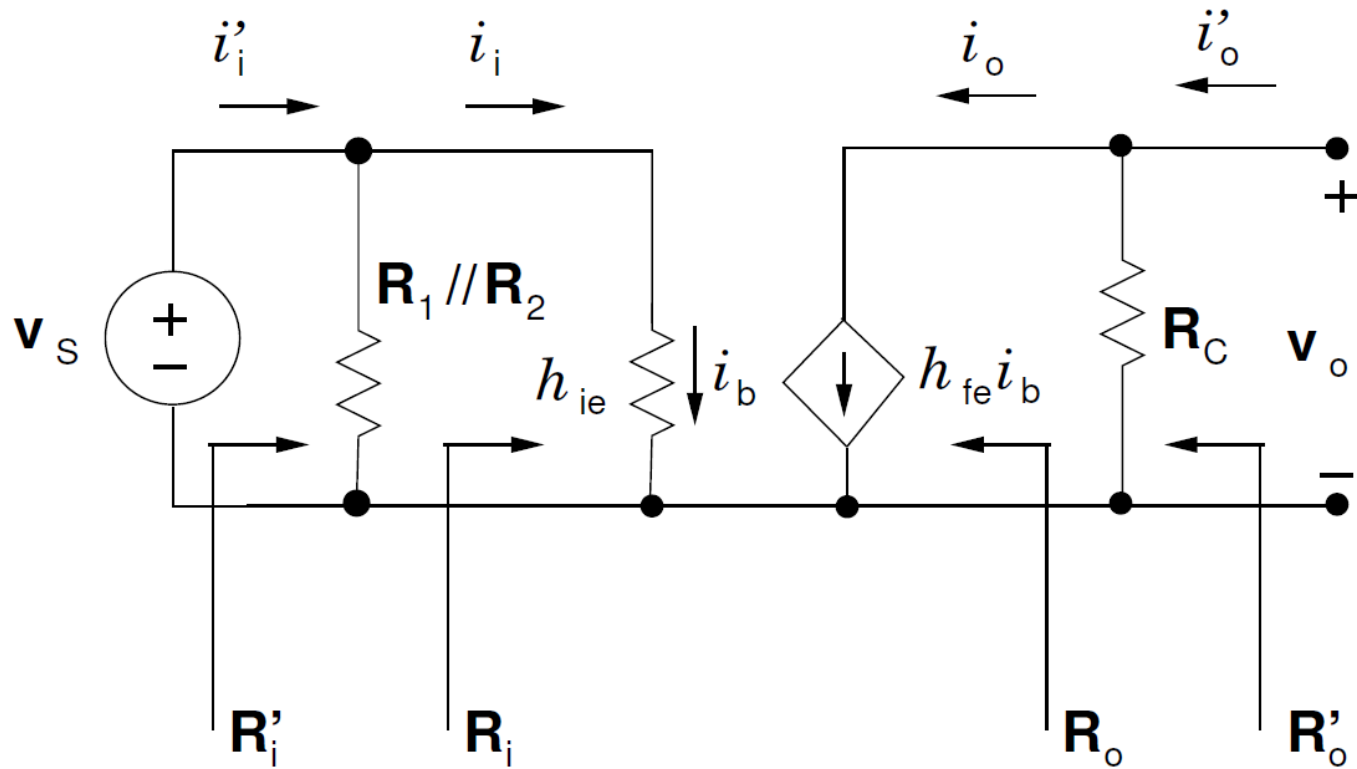
Stadio amplificatore a emettitore comune senza resistenza di emettitore



$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{h_{fe} i_b}{i_b} = h_{fe}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-h_{fe} i_b R_C}{h_{ie} i_b} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

Stadio amplificatore a emettitore comune senza resistenza di emettitore



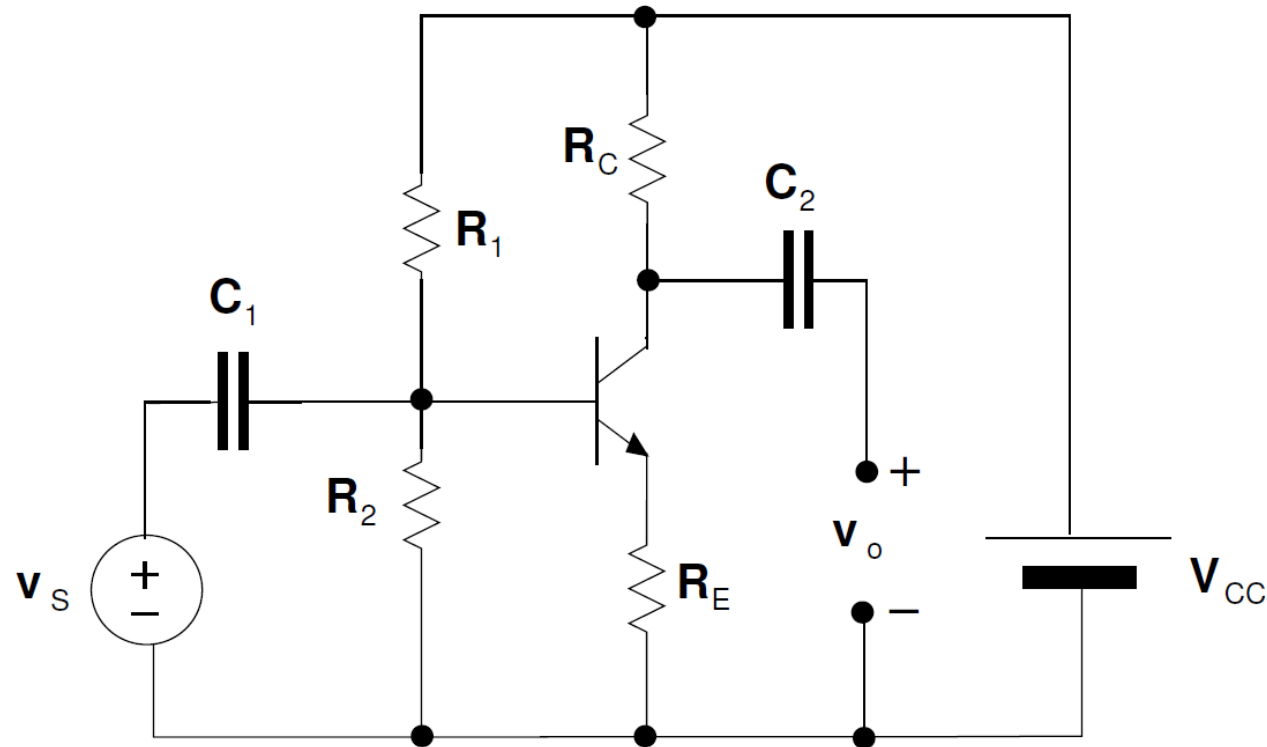
$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{h_{ie} i_b}{i_b} = h_{ie}$$

$$R'_i = \frac{v_i}{i'_i} = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie}$$

$$R_o = \frac{v_o}{i_o} \bigg|_{v_s=0} = \infty$$

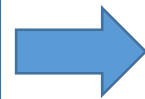
$$R'_o = \frac{v_o}{i'_o} \bigg|_{v_s=0} = R_C \parallel R_o = R_C$$

Stadio amplificatore a emettitore comune con resistenza di emettitore

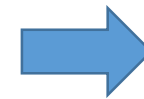


ANALISI DC (Punto di riposo)

- $v_s=0$
- C_1 e C_2 sono un circuito aperto
- Sostituisco il BJT con modello ampi segnali



Determino il punto di riposo del circuito (I_{BQ} , V_{BEQ} , I_{CQ} , V_{CEQ})

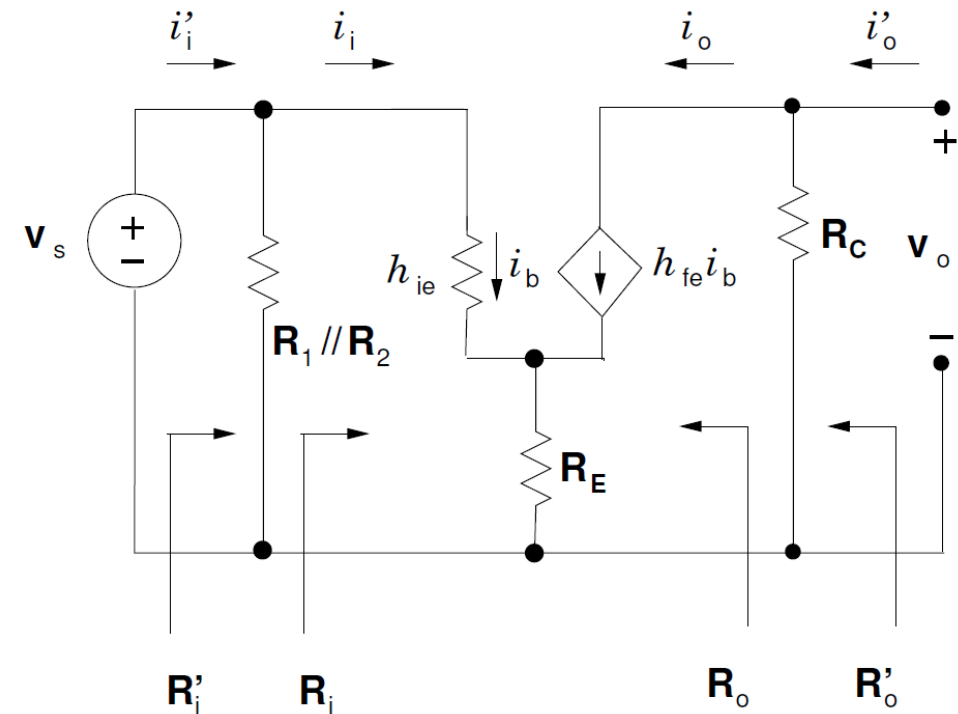
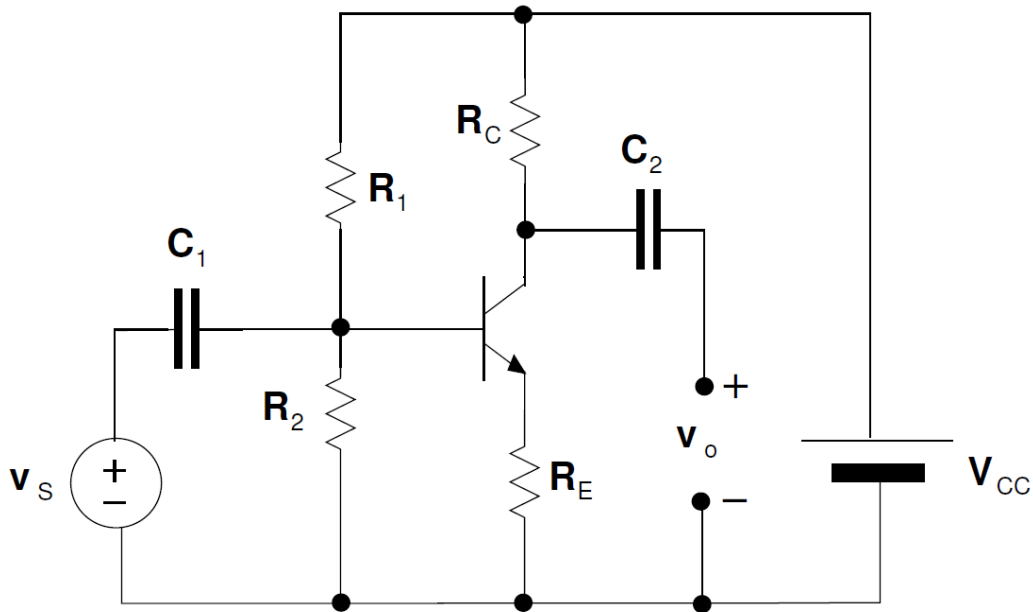


Determino i valori di h_{ie} , h_{fe} , h_{re} , h_{oe}

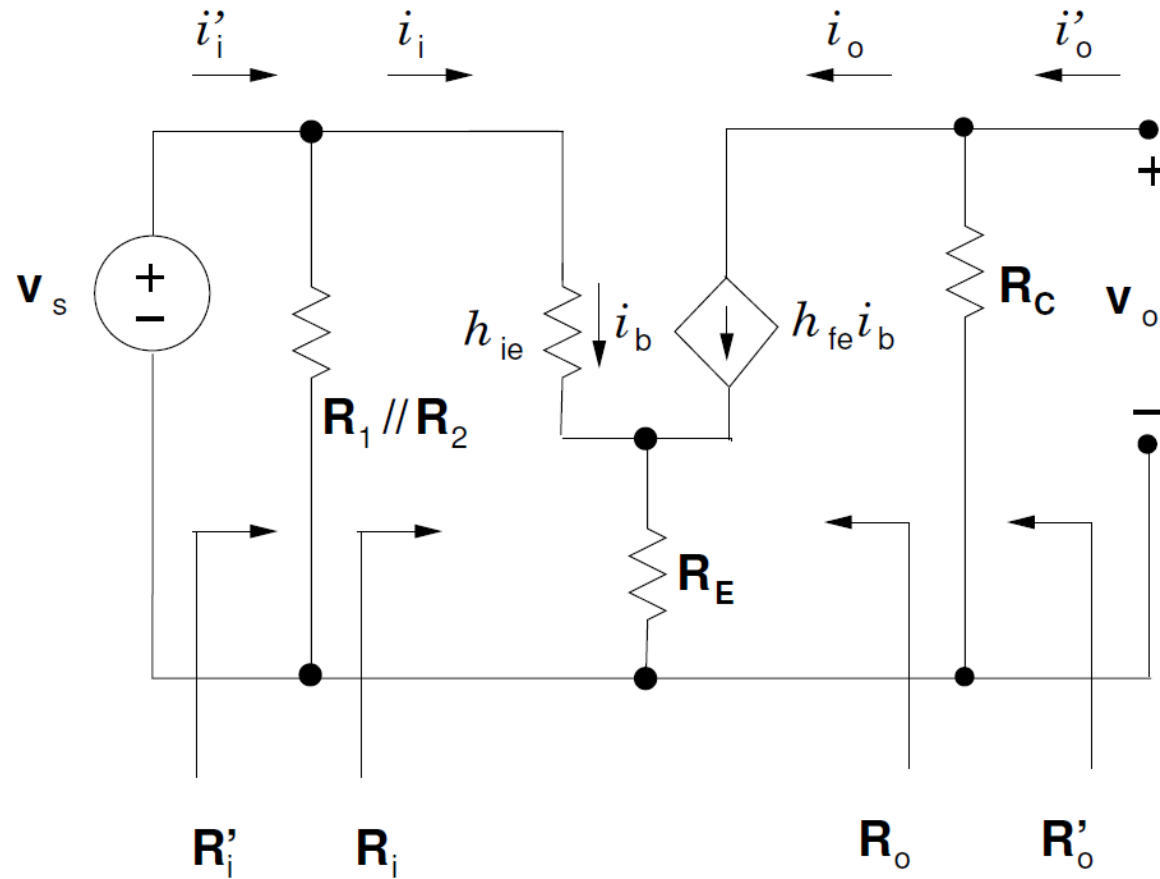
Stadio amplificatore a emettitore comune con resistenza di emettitore

ANALISI AC – Media frequenza

- $V_{CC}=0$
- C_1 e C_2 sono un corto circuito
- Sostituisco il BJT con modello per piccoli segnali



Stadio amplificatore a emettitore comune con resistenza di emettitore

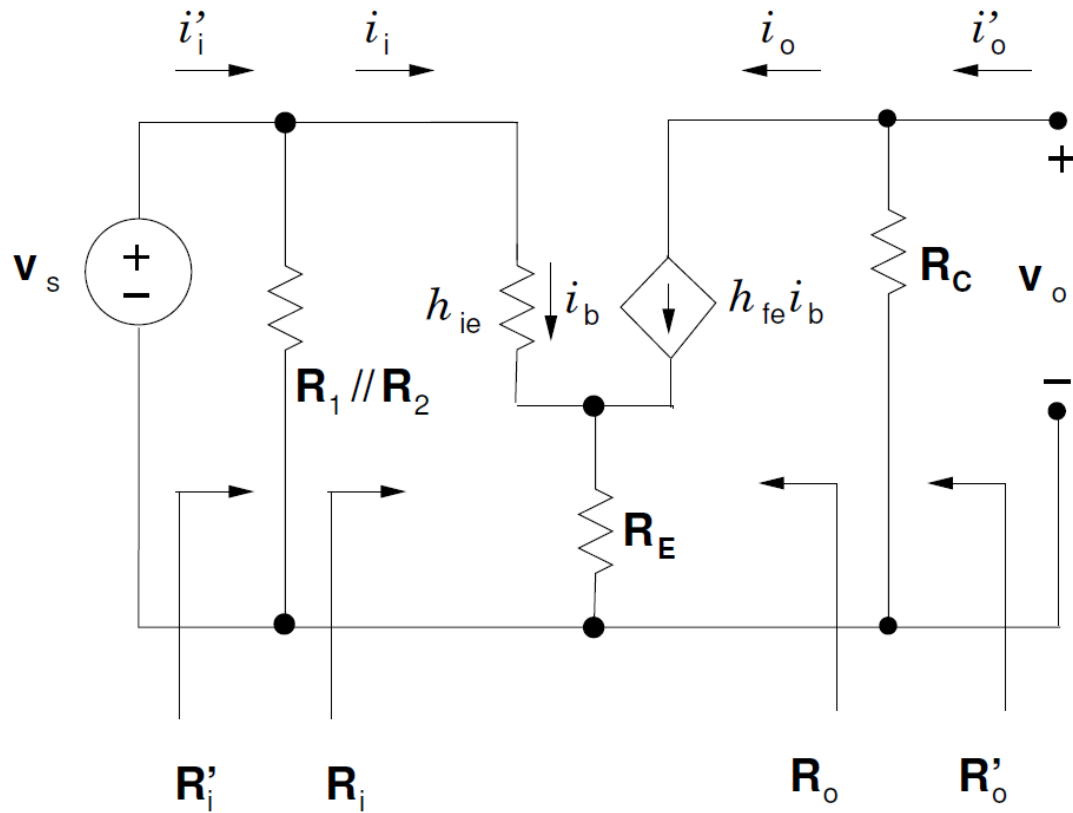


$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{h_{fe} i_b}{i_b} = h_{fe}$$

$$R_o = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_s=0} = \infty$$

$$R'_o = \left. \frac{v_o}{i'_o} \right|_{v_s=0} = R_C \parallel R_o = R_C$$

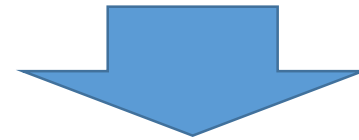
Stadio amplificatore a emettitore comune con resistenza di emettitore



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_s}$$

$$v_o = -h_{fe} i_b R_C$$

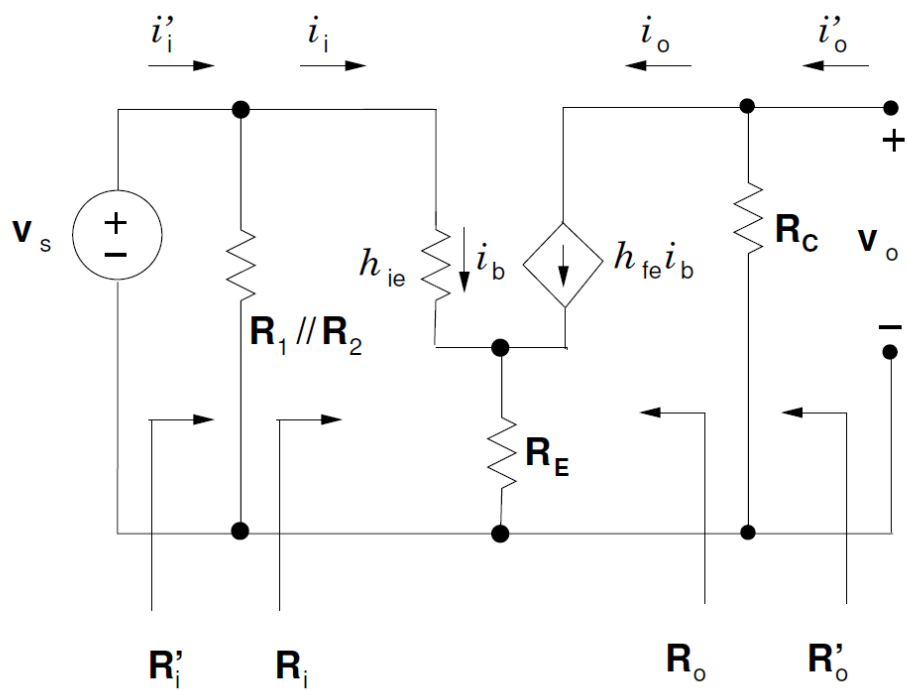
$$\begin{cases} v_s = h_{ie} i_b + R_E i_e \\ i_e = i_b + h_{fe} i_b = (h_{fe} + 1) i_b \end{cases}$$



$$v_s = h_{ie} i_b + R_E (h_{fe} + 1) i_b = [h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)] i_b$$

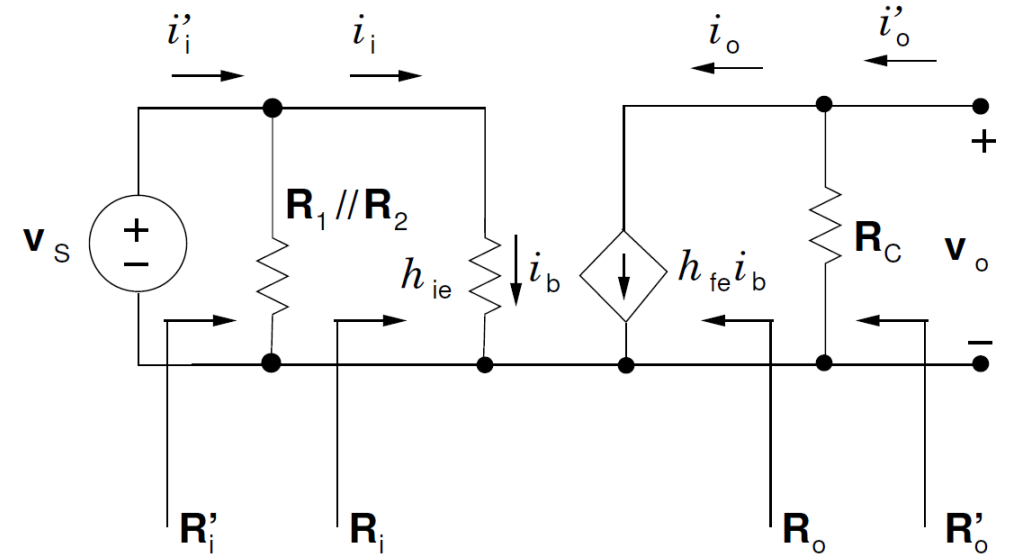
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-h_{fe} i_b R_C}{[h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)] i_b} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)}$$

Stadio amplificatore a emettitore comune



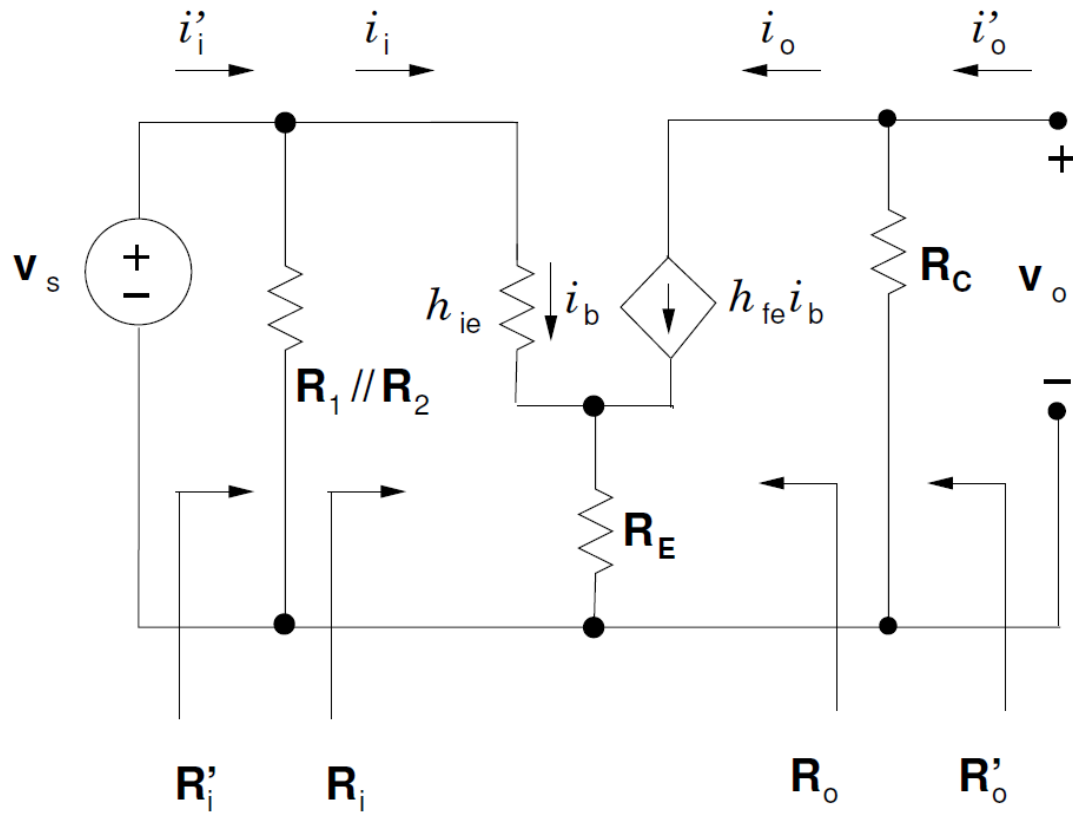
$$A_v = - \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)}$$

$$\text{Se } h_{ie} \ll R_E (h_{fe} + 1) \rightarrow A_v \approx \frac{-h_{fe} R_C}{R_E (h_{fe} + 1)} \approx - \frac{R_C}{R_E}$$



$$A_v = - \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

Stadio amplificatore a emettitore comune con resistenza di emettitore



$$R_i = \frac{v_i}{i_i}$$

$$\begin{cases} v_i = h_{ie} i_b + R_E (h_{fe} + 1) i_b = [h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)] i_b \\ i_i = i_b \end{cases}$$

$$R_i = h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)$$

Regola di riflessione della resistenza

$$R'_i = \frac{v_i}{i'_i} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel [h_{ie} + R_E (h_{fe} + 1)]$$