Corso di Elettronica

- Anno Accademico 2016/2017 -

Stadi di Amplificazione a Singolo Transistore

Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e Tecnologie dell'informazione

Captain Mich

12th May, 2017

Contents

1 Stadio ad emettitore comune (CE)

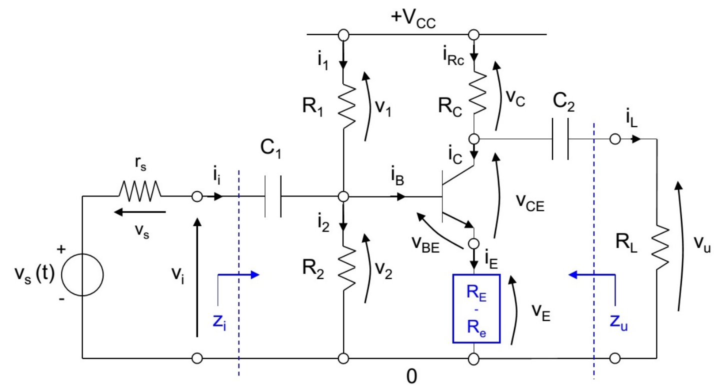
C_1, C_2: sono capacita' di disaccoppiamento; separano in CC ingresso e uscita dal circuito di polarizzazione.

r_s : z_u dello stadio precedente

R_L : z_i dello stadio successivo

R_E : R su E in polarizzazione

R_e : R su E ai p.s



Formule per il calcolo ai piccoli segnali: $g_m = \dfrac{|I_C|}{V_T}$ $\qquad r_\pi = \dfrac{\beta_0}{g_m}$

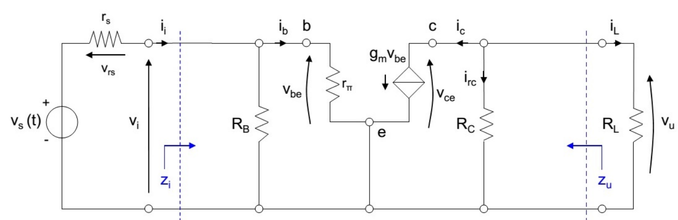


Figure 1: Circuito ai p.s con $R_e = 0$

$\Rightarrow$ se $R_e = 0$:

$$A_V = -g_m (R_C /\!/ R_L) = -\frac{R_C /\!/ R_L}{R_C}\frac{V_C}{V_T} \qquad \left[|A_V|_{max} = \frac{V_C}{V_T}\right]$$

$$A_V' = \frac{z_i}{r_s + z_i} A_V = \frac{R_B /\!/ r_\pi}{R_C} A_V \qquad z_i = R_B /\!/ r_\pi \qquad z_u = R_C$$

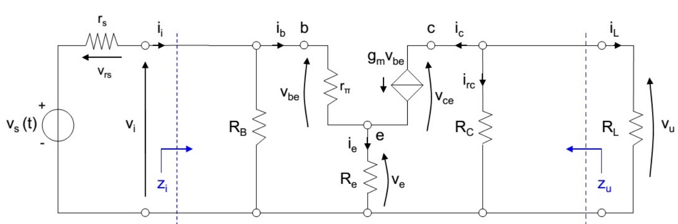


Figure 2: Circuito ai p.s con $R_e \neq 0$

$\Rightarrow$ se $R_e \neq 0$:

$$A_V = -\frac{g_m r_\pi (R_C /\!/ R_L)}{(g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi} \cong -\frac{g_m (R_C /\!/ R_L)}{g_m R_e + 1}$$

$$A_V' = \frac{z_i}{r_s + z_i} A_V$$

$$z_i = R_B /\!/ [(g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi] \qquad z_u = R_C$$

Nota: nell'ultimo caso e' possibile effettuare alcune semplificazioni se sono verificate certe condizioni:

$$A_V = -\frac{g_m (R_C /\!/ R_L)}{g_m R_e + 1} \cong -\frac{(R_C /\!/ R_L)}{R_e} \qquad \text{(se } g_m R_e >> 1\text{)}$$

$$z_i = R_B /\!/ [(g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi] \cong R_B \qquad \text{(se } R_B << \beta_0 R_e \text{)}$$

1.1 Stadio CE ad alta z_i

Il circuito ai p.s identico a quello CE standard

$$A_V = -\frac{g_m r_\pi (R_C /\!/ R_L)}{(g_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi} \cong -\frac{g_m (R_C /\!/ R_L)}{g_m R_e + 1}$$

$$z_i = R_B /\!/ [(g_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi] \qquad z_u = R_C$$

- R_B molto maggiore del CE standard
  $\Rightarrow$ e' uno stadio ad alta z_i
- **Nota** : se l'ingresso non e' disaccoppiato in CC, R_B e' infinita

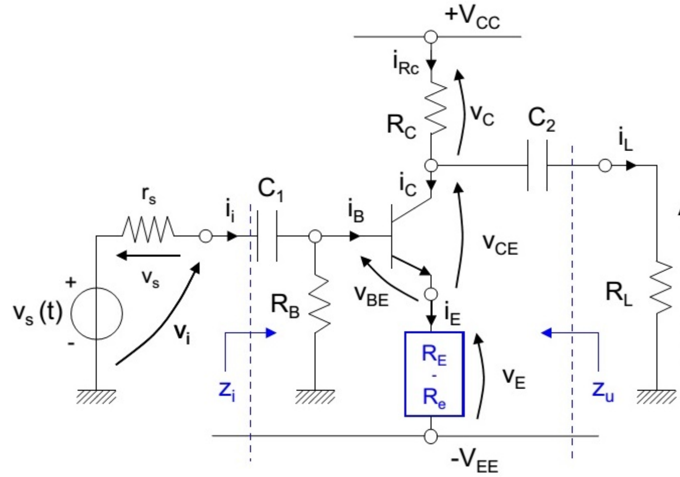


Figure 3: Circuito ad alta z_i

1.2 Stadio CE con modelli piu' dettagliati

1.2.1 Modello con la resistenza di base r_b

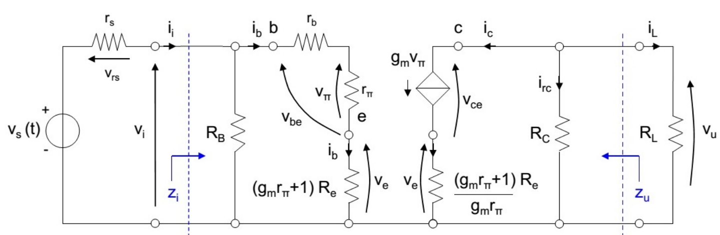


Figure 4: Circuito con r_b

$$A_V = -\frac{g_m r_\pi (R_C /\!/ R_L)}{(g_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi + r_b} \cong -\frac{g_m (R_C /\!/ R_L)}{g_m R_e + 1 + r_b/r_\pi}$$

$$z_i = R_B /\!/ [(g_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi + r_b] \qquad z_u = R_C$$

1.2.2 Modello con la resistenza r_o ed $R_e = 0$

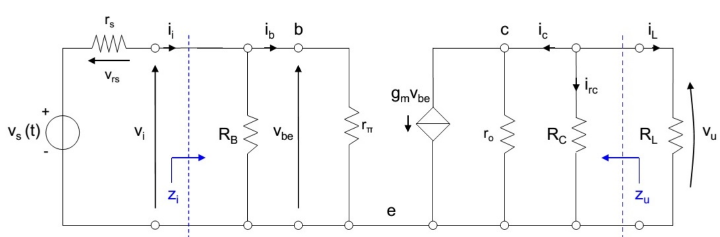


Figure 5: Circuito con r_o ed $R_e = 0$

$$A_V = -g_m (r_o /\!/ R_C /\!/ R_L)$$

$$z_i = R_B /\!/ r_b \qquad z_u = r_o /\!/ R_C$$

1.2.3 Modello con la resistenza r_o ed $R_e \neq 0$

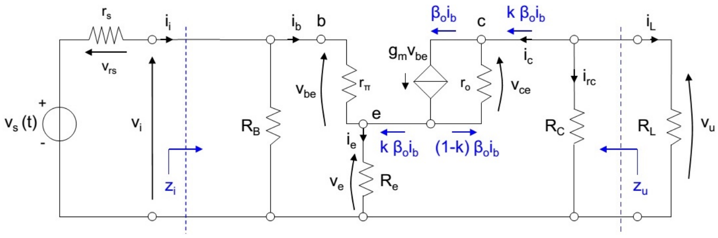


Figure 6: Circuito con r_o ed $R_e \neq 0$

$$k = \frac{\beta_o r_o - R_e}{\beta_o[R_e + (R_C /\!/ R_L) + r_o]} \cong \frac{r_o}{(R_C /\!/ R_L) + r_o}$$

$$A_V = -\frac{k g_m r_\pi (R_C /\!/ R_L)}{(k g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi} \cong -\frac{k g_m (R_C /\!/ R_L)}{k g_m R_e + 1}$$

$$z_i = R_B /\!/ [(k g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi$$

$$z_u = z_u^* /\!/ R_C \cong \{r_o(1 + g_m[r_\pi /\!/ R_e]) /\!/ R_C\}$$

1.2.4 Stadio CE con carico attivo

Versione a doppia alimentazione con :

- $R_C = r_{o,2}$ del trans. pnp dello specchio
- $r_o = r_{o,1}$ del trans. 1

$$A_V = -\frac{k g_m (r_{o,2} /\!/ R_L)}{k g_m R_e + 1} \cong -\frac{g_m (r_{o,1} /\!/ r_{o,2} /\!/ R_L)}{k g_m R_e + 1}$$

Nel caso di $R_L = \infty$ ed $R_e = 0$, abbiamo:

$$\left[|A_V|_{max} = \frac{V_A + V_C}{V_T} \frac{r_{o,1}}{r_{o,1} + r_{o,2}} \right]$$

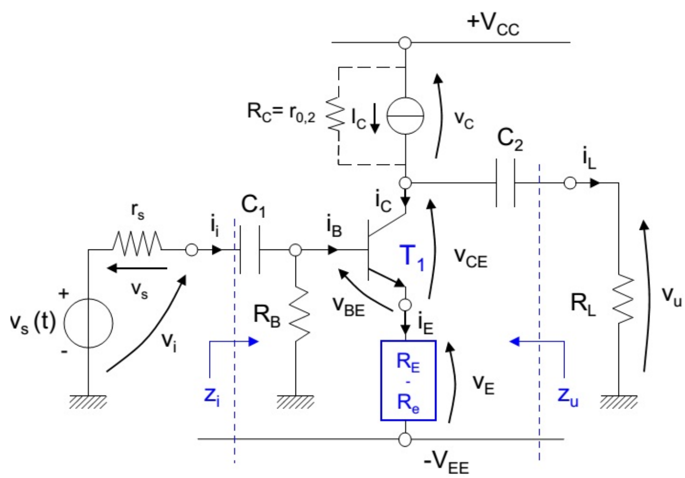
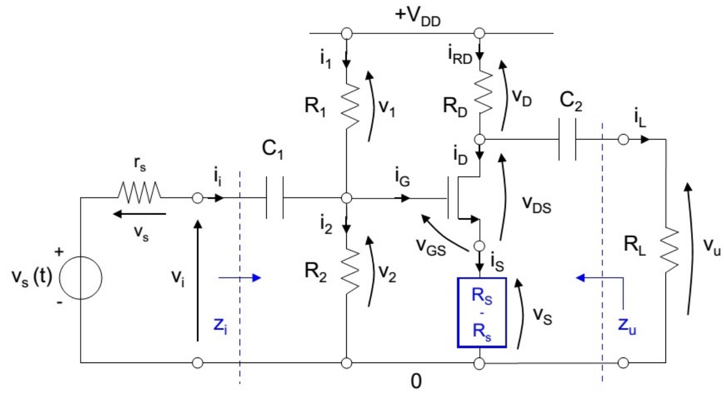


Figure 7: Stadio CE con carico attivo

2 Stadio a source comune (CS)

C_1, C_2: sono capacita' di disaccoppiamento; separano in CC ingresso e uscita dal circuito di polarizzazione.



r_s : z_u dello stadio precedente

R_L : z_i dello stadio successivo

R_S : R su S in polarizzazione

R_s : R su S ai p.s

Formule per il calcolo ai piccoli segnali: $g_m = \beta_n |V_{GS} - V_{Th}|$

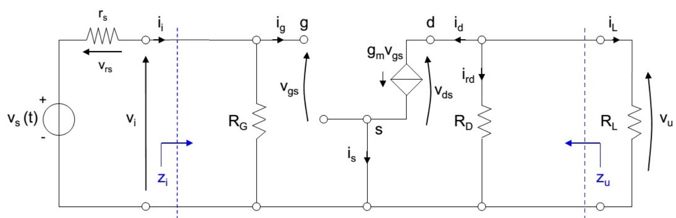


Figure 8: Circuito ai p.s con $R_s = 0$

$\Rightarrow$ se $R_s = 0$:

$$A_V = -g_m(R_D /\!/ R_L) = -\frac{R_D /\!/ R_L}{R_D}\frac{2V_D}{|V_{GS} - V_{Th}|}$$

$$\left[|A_V|_{max} = \frac{2V_D}{|V_{GS} - V_{Th}|}\right] \qquad A_V' = \frac{z_i}{r_s + z_i}\,A_V = \frac{R_G}{r_s + R_G}\,A_V$$

$z_i = R_G \qquad z_u = R_D$

Nota: e' stato usato [$g_m = 2I_D \ / \ (V_{GS} - V_{Th})$]

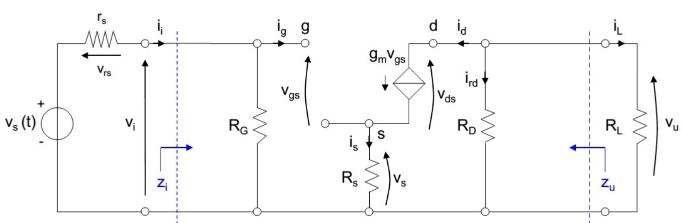


Figure 9: Circuito ai p.s con $R_s \neq 0$

$\Rightarrow$ se $R_s \neq 0$:

$$A_V = -\frac{g_m(R_D /\!/ R_L)}{(g_m R_s + 1)} \qquad A_V' = \frac{r_s}{r_s + R_G}\,A_V$$

$z_i = R_G \qquad z_u = R_D$

Nota: nell'ultimo caso e' possibile effettuare una semplificazione sotto opportuna condizione:

$$A_V = -\frac{g_m(R_D /\!/ R_L)}{g_m R_s + 1} \cong -\frac{(R_D /\!/ R_L)}{R_s} \qquad (\text{se } g_m R_s >> 1)$$

2.1 Stadio CS ad alta z_i

Il circuito ai p.s identico a quello CS standard

$$A_V = -\frac{g_m(R_D /\!/ R_L)}{(g_m R_s + 1}$$

$$z_i = R_G \qquad\qquad z_u = R_D$$

- R_G molto maggiore del CS standard
  $\Rightarrow$ e' uno stadio ad alta z_i
- **Nota** : se l'ingresso non e' disaccoppiato in CC, R_G e' infinita

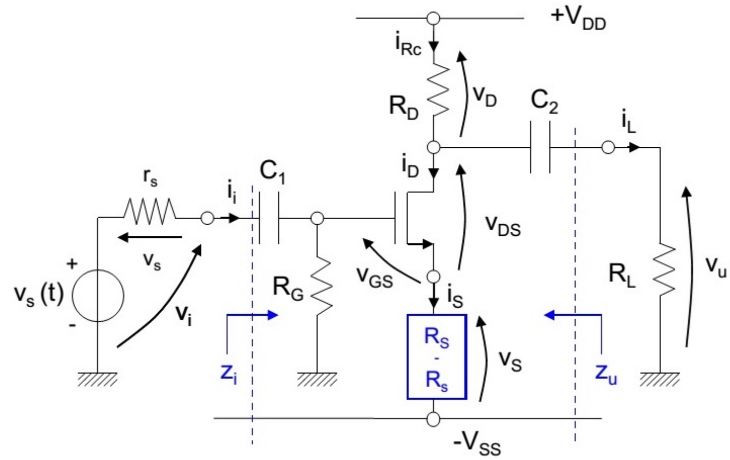


Figure 10: Circuito ad alta z_i

2.2 Stadio CS con modelli piu' dettagliati

2.2.1 Modello con la resistenza r_o ed $R_s = 0$

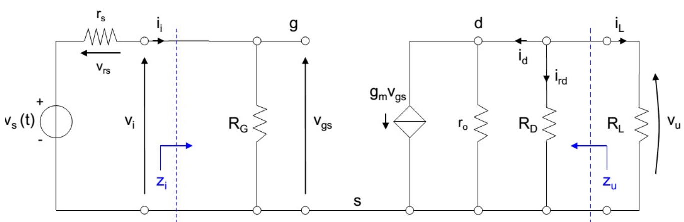


Figure 11: Circuito con r_o ed $R_s = 0$

$$A_V = -g_m(r_o /\!/ R_D /\!/ R_L)$$

$$z_i = R_G \qquad\qquad z_u = r_o /\!/ R_D$$

2.2.2 Modello con la resistenza r_o ed $R_s \neq 0$

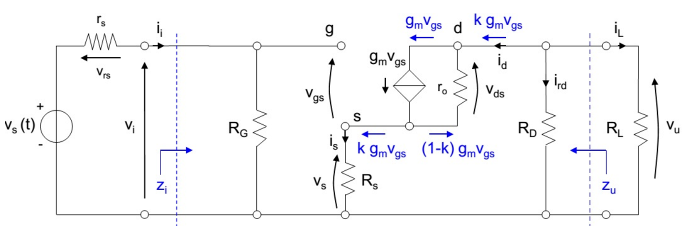


Figure 12: Circuito con r_o ed $R_s \neq 0$

$$k = \frac{g_m r_o}{g_m[R_s + (R_D /\!/ R_L) + r_o]} \cong \frac{r_o}{(R_D /\!/ R_L) + r_o}$$

$$A_V = -\frac{k g_m (R_D /\!/ R_L)}{k g_m R_s + 1}$$

$$z_i = R_G \qquad\qquad z_u = z_u^* /\!/ R_D \cong (r_o(1 + g_m R_s) /\!/ R_D)$$

2.2.3 Stadio CS con carico attivo

Versione a doppia alimentazione con :

- $R_D = r_{o,2}$ del trans. PMOS dello specchio
- $r_o = r_{o,1}$ del trans. 1

$$A_V = -\frac{kg_m(r_{o,2} /\!/ R_L)}{kg_m R_s + 1} \cong -\frac{g_m(r_{o,1} /\!/ r_{o,2} /\!/ R_L)}{kg_m R_s + 1}$$

Nel caso di $R_L = \infty$ ed $R_s = 0$, abbiamo:

$$\left[|A_V|_{max} = \frac{2(V_A + V_D)}{|V_{GS} - V_{Th}|} \frac{r_{o,1}}{r_{o,1} + r_{o,2}} \right]$$

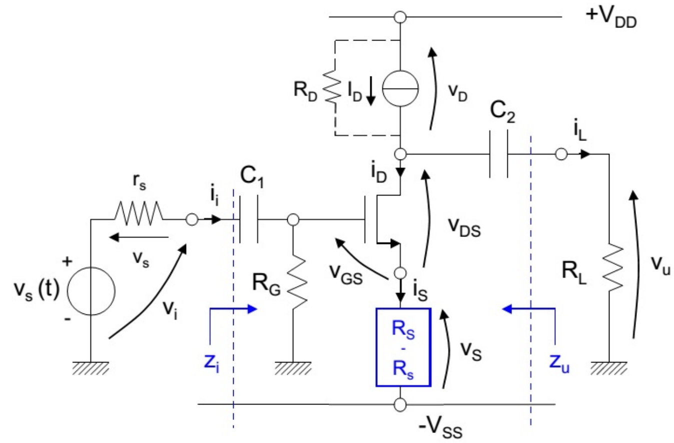


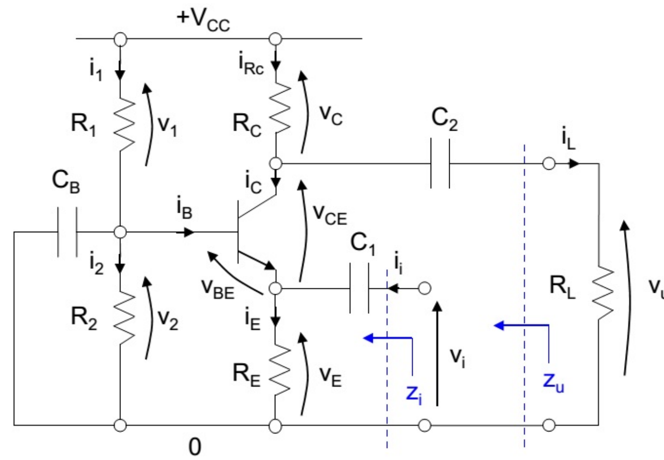
Figure 13: Stadio CS con carico attivo

3 Stadio a base comune (CB)

La porta d'ingresso e' sull'emettitore, l'uscita e' sul collettore; la base e' messa a massa da C_B nel circuito ai p.s.

C_1, C_2 separano in continua ingresso e uscita dal circuito di polarizzazione.

Nota: con V_{CC},$-V_{EE}$ B e' collegata a massa e non ci sono R_B e C_B



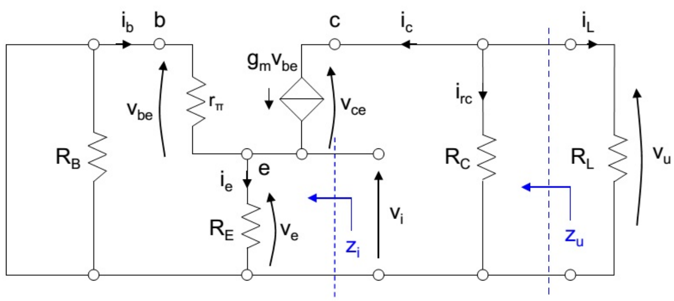


Figure 14: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{v_u}{v_i} = gm(R_C /\!/ R_L) \qquad z_u = R_C$$

$$z_i = \frac{1}{g_m} /\!/ R_E /\!/ r_\pi \cong \frac{1}{g_m}$$

3.1 Modello con la resistenza r_o

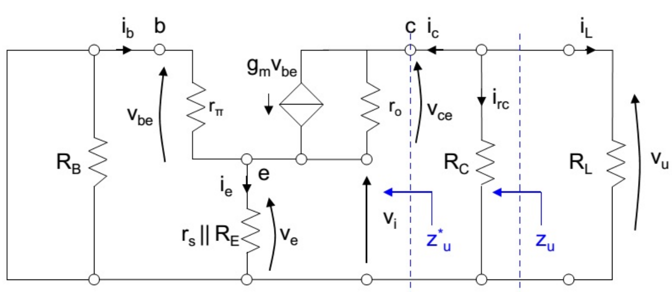


Figure 15: Circuito ai p.s

$$A_V = -\frac{kg_m r_\pi (R_C /\!/ R_L)}{(kg_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi} \cong -\frac{kg_m (R_C /\!/ R_L)}{kg_m R_e + 1}$$

$$z_i = R_B /\!/ [(kg_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi$$

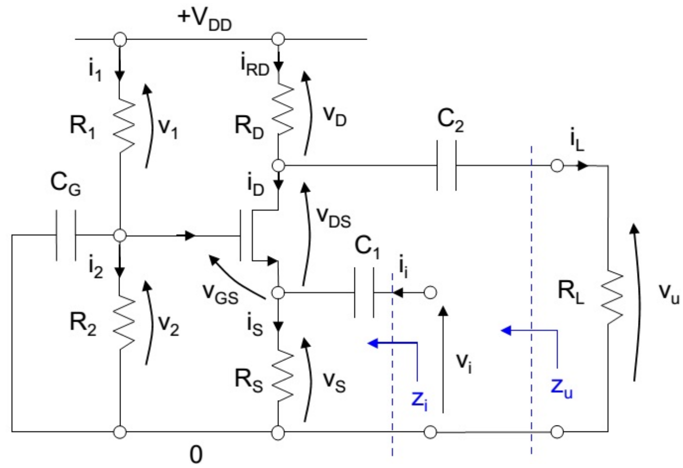
$$z_u = z_u^* /\!/ R_C \cong \{r_o(1 + g_m[r_\pi /\!/ r_s /\!/ R_E]) /\!/ R_C\}$$

4 Stadio a gate comune (CG)

La porta d'ingresso e' sul source, l'uscita e' sul drain; il gate e' messo a massa da C_G nel circuito ai p.s.

C_1, C_2 separano in continua ingresso e uscita dal circuito di polarizzazione.

Nota: con V_{DD},$-V_{SS}$ G e' collegata a massa e non ci sono R_G e C_G



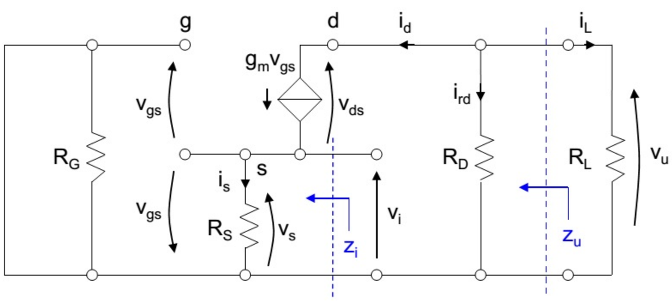


Figure 16: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{v_u}{v_i} = gm(R_D /\!/ R_L)$$

$$z_i = \frac{1}{g_m} /\!/ R_S \cong \frac{1}{g_m} \qquad \text{(solo se } \frac{1}{g_m} << R_S \text{)}$$

$$z_u = R_D$$

4.1 Modello con la resistenza r_o

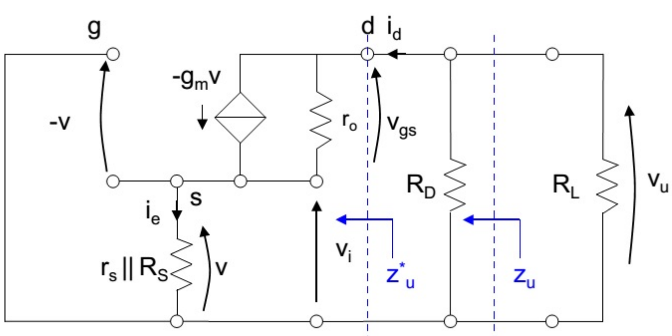


Figure 17: Circuito ai p.s

$$A_V = -\frac{kg_m(R_D /\!/ R_L)}{kg_m R_s + 1}$$

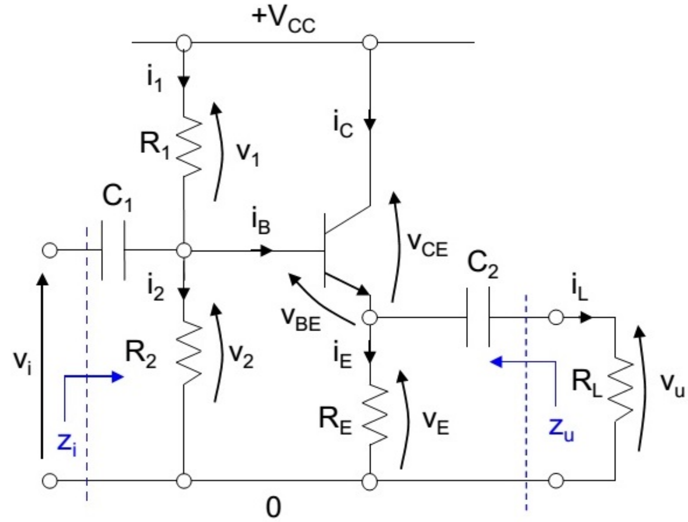
$$z_i = R_G$$

$$z_u = z_u^* /\!/ R_D \cong (r_o(1 + g_m r_s) /\!/ R_S) /\!/ R_D$$

5 Stadio a collettore comune (CC)

La porta d'ingresso e' sulla base, l'uscita e' sullemettitore; il collettore e' collegato direttamente all'alimentazione V_{CC}

Polarizzazione statica: sull'uscita si fissa di solito $V_E = V_{CE} = V_{CC}/2$, sulla porta d'ingresso si usano le stesse regole del CE.



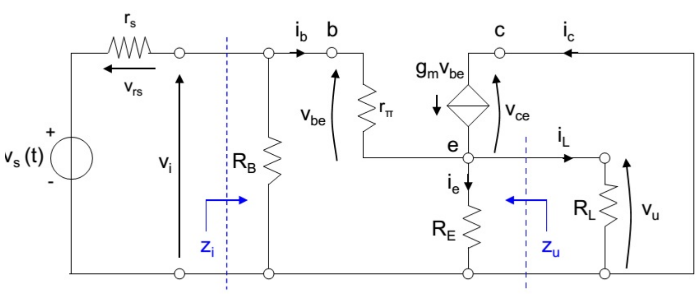


Figure 18: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{(g_m r_\pi + 1)(R_E /\!/ R_L)}{(g_m r_\pi + 1)(R_E /\!/ R_L) + r_\pi} \cong \frac{g_m (R_E /\!/ R_L)}{g_m (R_E /\!/ R_L) + 1} < 1$$

$$z_i = R_B /\!/ [(g_m r_\pi + 1)(R_E /\!/ R_L) + r_\pi]$$

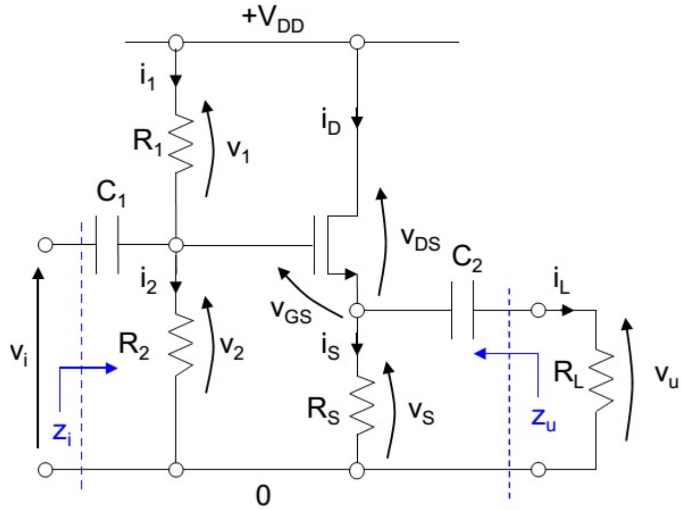
$$z_u = \frac{1}{k g_m} /\!/ R_E /\!/ (r_s /\!/ R_B) + r_\pi \cong \frac{1}{k g_m}$$

Nota: in centro banda il carico R_L e' in parallelo con R_E

6 Stadio a drain comune (CD)

La porta d'ingresso e' sul gate, l'uscita e' sul source; il drain e' collegato direttamente all'alimentazione V_{DD}

Polarizzazione statica: sull'uscita si fissa di solito $V_S = V_{DS} = V_{DD}/2$, sulla porta d'ingresso si usano le stesse regole del CS.



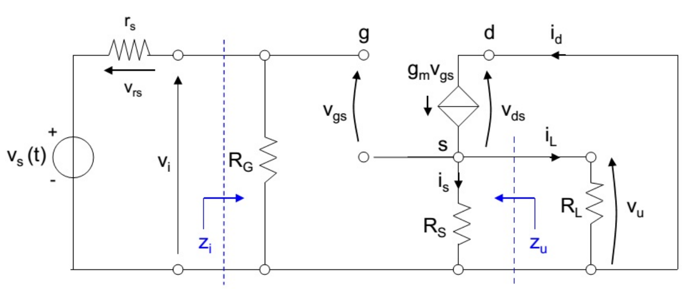


Figure 19: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{g_m(R_S /\!/ R_L)}{g_m(R_{ES} /\!/ R_L) + 1} < 1 \qquad z_i = R_G$$

$$z_u = \frac{1}{g_m} /\!/ R_S \cong \frac{1}{g_m} \text{ (solo se } \frac{1}{gm} << R_S)$$

Nota: in centro banda il carico R_L e' in parallelo con R_S

7 Analisi in frequenza dei circuiti elettronici

E' possibile stimare in modo approssimato l'andamento in frequenza di un circuito, utilizzando il metodo delle costanti di tempo. Tale stima sara' tanto migliore quanto piu' ci si avvicina alle condizioni di polo dominante (poli distanti: >= 1 decade)

- **Cortocircuito** (alle basse frequenze): n capacita' di disaccopp. $\Rightarrow$ n circuiti con una sola C_k e le altre n-1 cortocircuitate. Per ciascun circuito si calcola la $R_{(Ck)}$ "vista" ai capi di C_k

$$f_i \cong \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{C_k R_{(Ck)}}$$

- **Circuito Aperto** (alle alte frequenze): p capacita' di comp.attivi $\Rightarrow$ n circuiti con una sola C_k e le altre p-1 sono circuiti aperti. Per ciascun circuito si calcola la $R_{(Ck)}$ "vista" ai capi di C_k

$$f_s \cong \frac{1}{2\pi \sum_{k=1}^{p} C_k R_{(Ck)}}$$