

Corso di Elettronica
- Anno Accademico 2016/2017 -

Stadi di Amplificazione a Singolo Transistore

Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e Tecnologie dell'informazione

Michele Salvo

May 12, 2017

Contents

1 Stadio ad emettitore comune (CE)

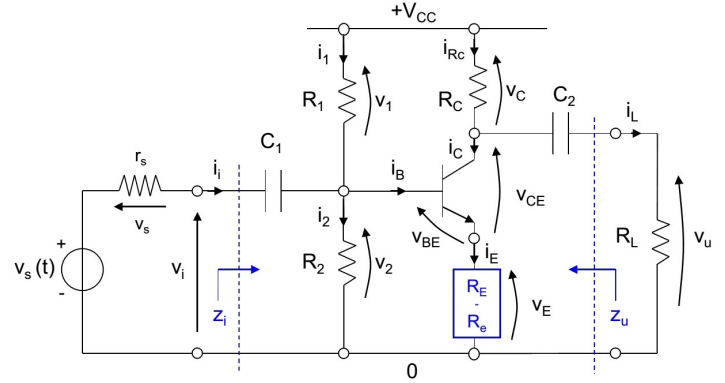
C_1 , C_2 : sono capacita' di disaccoppiamento; separano in CC ingresso e uscita dal circuito di polarizzazione.

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: $g_m = \frac{|I_C|}{V_T}$ $r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m}$

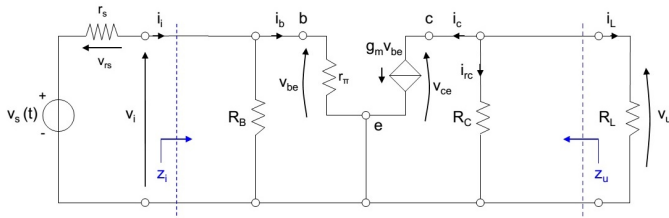


Figure 1: Circuito ai p.s con $R_e = 0$

\Rightarrow se $R_e = 0$:

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

$$A'_V = \frac{z_i}{r_s + z_i} A_V = \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_C} A_V \quad z_i = R_B \parallel r_\pi \quad z_u = R_C$$

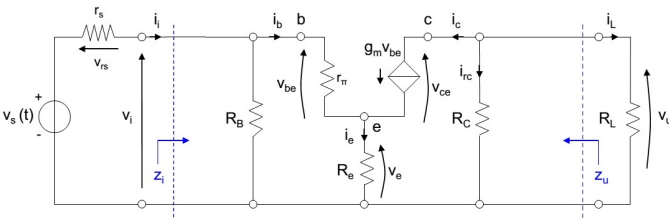


Figure 2: Circuito ai p.s con $R_e \neq 0$

\Rightarrow se $R_e \neq 0$:

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

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

$$z_i = R_B \parallel [(g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi] \quad z_u = R_C$$

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

$$A_V = -\frac{g_m (R_C \parallel R_L)}{g_m R_e + 1} \cong -\frac{(R_C \parallel R_L)}{R_e} \quad (\text{se } g_m R_e \gg 1)$$

$$z_i = R_B \parallel [(g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi] \cong R_B \quad (\text{se } R_B \ll \beta_0 R_e)$$

1.1 Stadio CE ad alta z_i

Il circuito ai p.s. identico a quello CE standard

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

$$z_i = R_B \parallel [(g_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi] \quad z_u = R_C$$

- 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

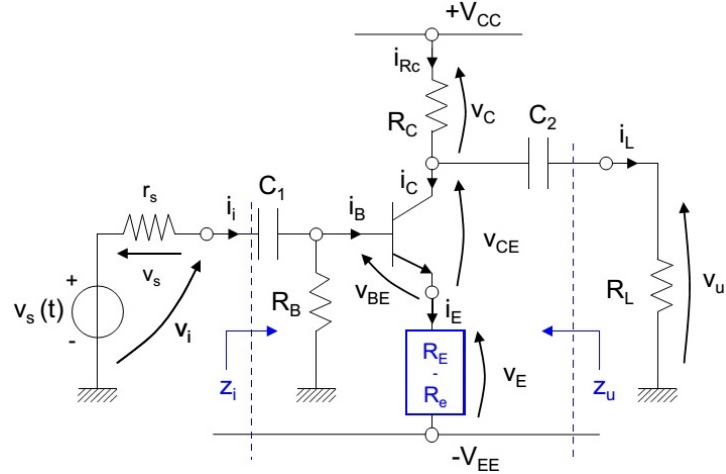


Figure 3: Circuito ad alta z_i

1.2 Stadio CE con modelli piu' dettagliati

1.2.1 Modello con la resistenza di base r_b

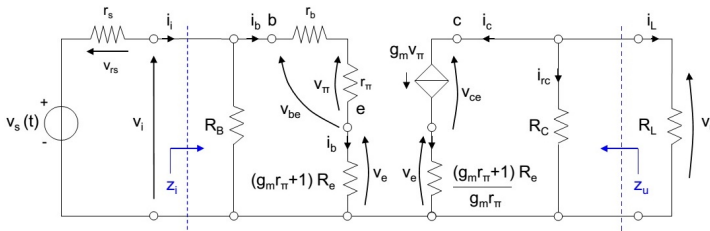


Figure 4: Circuito con r_b

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

$$z_i = R_B \parallel [(g_m r_\pi + 1)R_e + r_\pi + r_b] \quad z_u = R_C$$

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

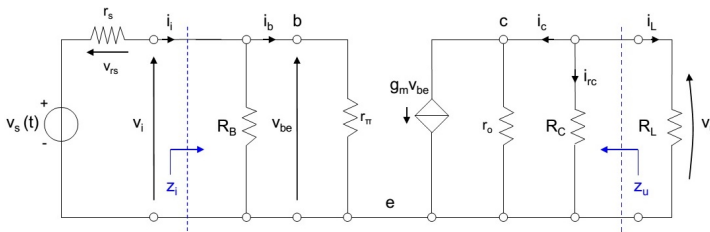
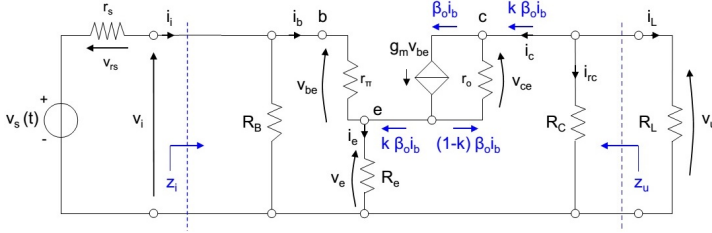


Figure 5: Circuito con r_o ed $R_e = 0$

$$A_V = -g_m (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$$

$$z_i = R_B \parallel r_b \quad z_u = r_o \parallel R_C$$

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


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

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

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

$$z_i = R_B \parallel [(k g_m r_\pi + 1) R_e + r_\pi]$$

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

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

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

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

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

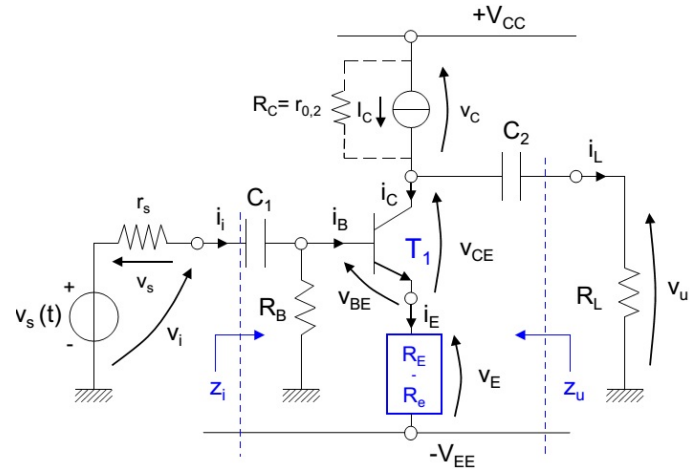


Figure 7: Stadio CE con carico attivo

2 Stadio a source comune (CS)

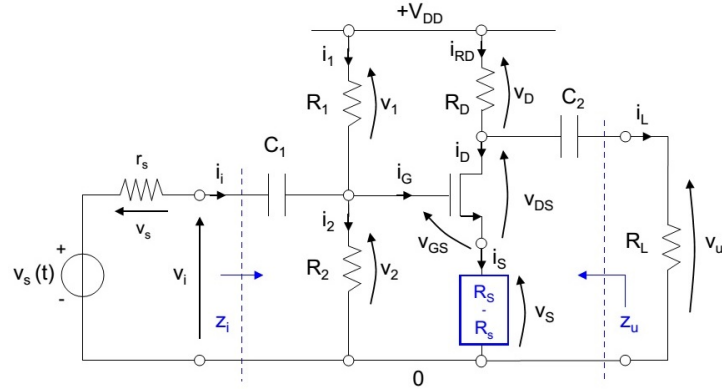
C_1 , C_2 : sono capacita' di disaccoppiamento; separano in CC ingresso e uscita dal circuito di polarizzazione.

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: $g_m = \beta_n |V_{GS} - V_{Th}|$

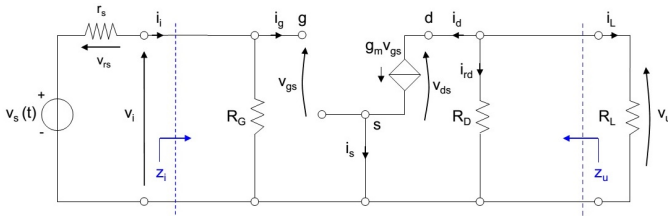


Figure 8: Circuito ai p.s con $R_s = 0$

\Rightarrow se $R_s = 0$:

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

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

$$z_i = R_G \quad z_u = R_D$$

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

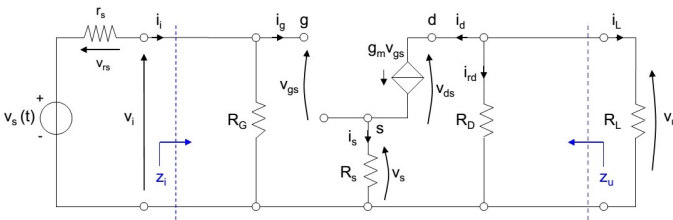


Figure 9: Circuito ai p.s con $R_s \neq 0$

\Rightarrow se $R_s \neq 0$:

$$A_V = -\frac{g_m(R_D \parallel R_L)}{(g_m R_s + 1)} \quad A'_V = \frac{r_s}{r_s + R_G} A_V$$

$$z_i = R_G$$

$$z_u = R_D$$

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

$$A_V = -\frac{g_m(R_D \parallel R_L)}{g_m R_s + 1} \cong -\frac{(R_D \parallel R_L)}{R_s} \quad (\text{se } g_m R_s \gg 1)$$

2.1 Stadio CS ad alta z_i

Il circuito ai p.s. identico a quello CS standard

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

$$z_i = R_G \quad z_u = R_D$$

- 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

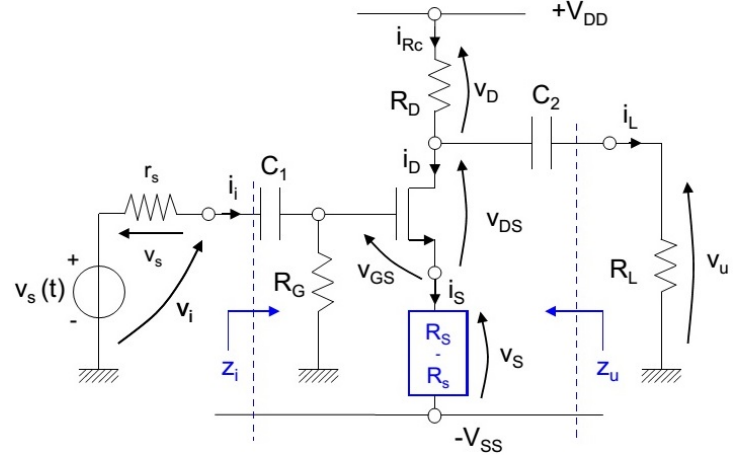


Figure 10: Circuito ad alta z_i

2.2 Stadio CS con modelli piu' dettagliati

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

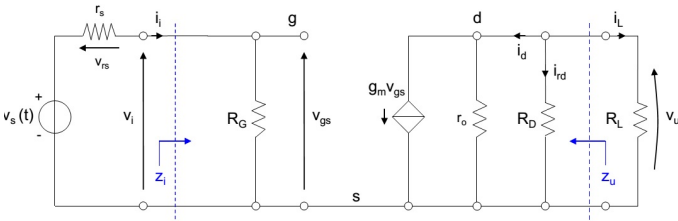


Figure 11: Circuito con r_o ed $R_s = 0$

$$A_V = -g_m(r_o \parallel R_D \parallel R_L)$$

$$z_i = R_G \quad z_u = r_o \parallel R_D$$

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

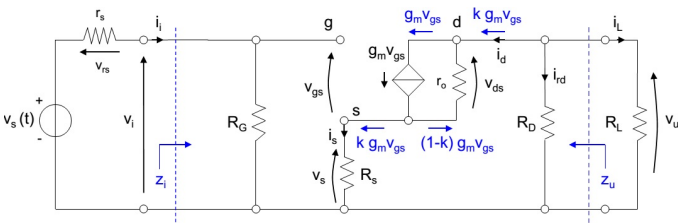


Figure 12: Circuito con r_o ed $R_s \neq 0$

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

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

$$z_i = R_G \quad z_u = z_u^* \parallel R_D \cong (r_o(1 + g_m R_s) \parallel R_D)$$

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

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

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

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

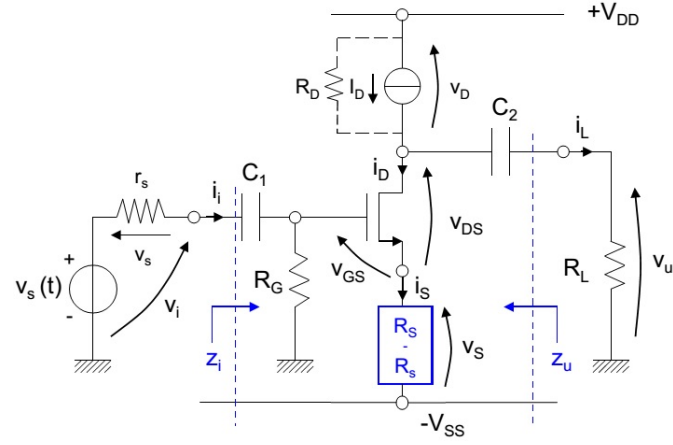


Figure 13: Stadio CS con carico attivo

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

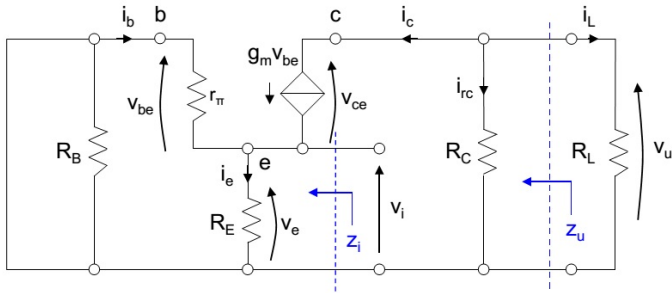
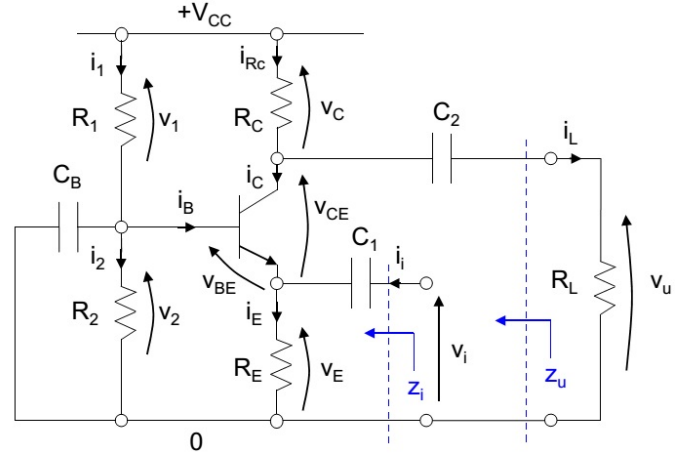


Figure 14: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{v_u}{v_i} = g_m(R_C \parallel R_L) \quad z_u = R_C$$

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

3.1 Modello con la resistenza r_o

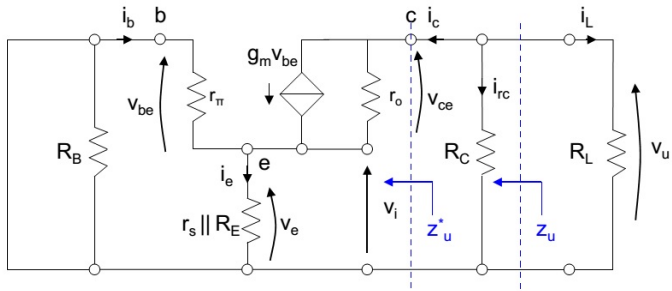


Figure 15: Circuito ai p.s

$$A_V = - \frac{k g_m r_\pi (R_C \parallel R_L)}{(k g_m r_\pi + 1) R_E + r_\pi} \cong - \frac{k g_m (R_C \parallel R_L)}{k g_m R_E + 1}$$

$$z_i = R_B \parallel [(k g_m r_\pi + 1) R_E + r_\pi]$$

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

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

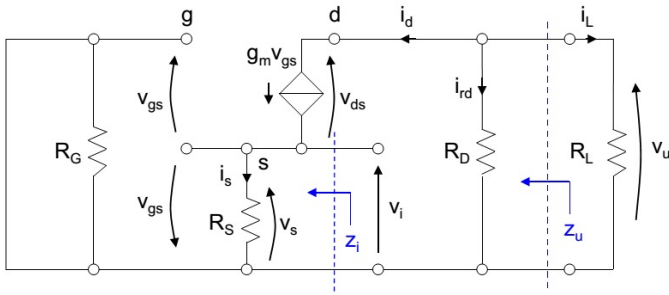
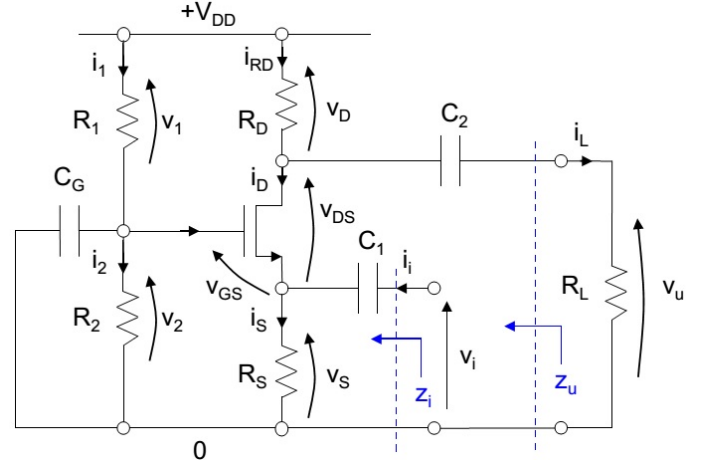


Figure 16: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{v_u}{v_i} = g_m(R_D \parallel R_L)$$

$$z_i = \frac{1}{g_m} \parallel R_S \cong \frac{1}{g_m} \quad (\text{solo se } \frac{1}{g_m} \ll R_S)$$

$$z_u = R_D$$

4.1 Modello con la resistenza r_o

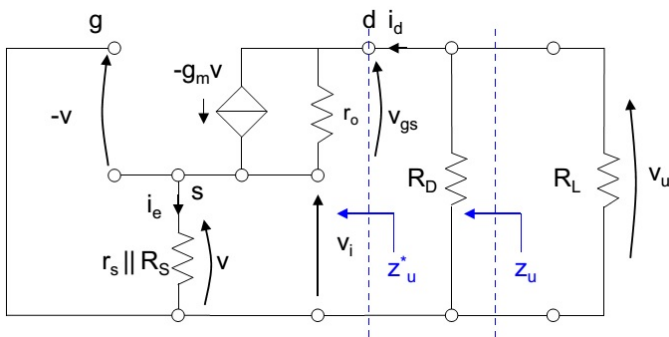


Figure 17: Circuito ai p.s

$$A_V = - \frac{kg_m(R_D \parallel R_L)}{kg_m R_S + 1}$$

$$z_i = R_G$$

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

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.

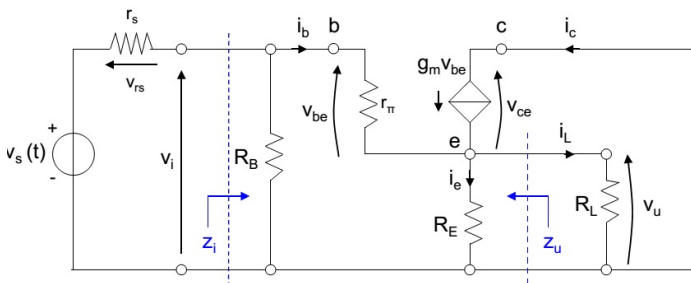
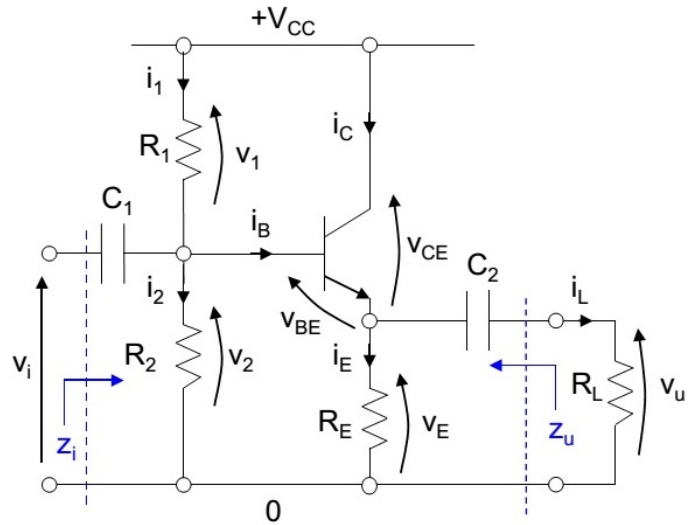


Figure 18: Circuito ai p.s

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

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

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

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.

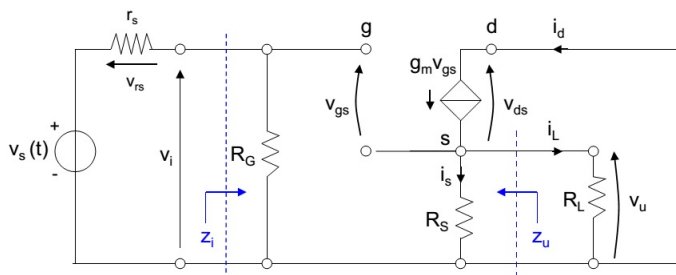
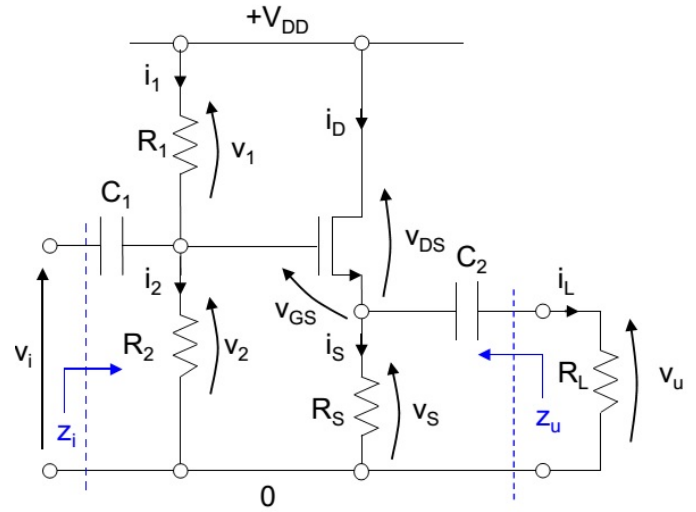


Figure 19: Circuito ai p.s

$$A_V = \frac{g_m(R_S \parallel R_L)}{g_m(R_{ES} \parallel R_L) + 1} < 1 \quad z_i = R_G$$

$$z_u = \frac{1}{g_m} \parallel R_S \cong \frac{1}{g_m} \quad (\text{solo se } \frac{1}{g_m} \ll R_S)$$

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 $R_{(C_k)}$ "vista" ai capi di C_k

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

- **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 $R_{(C_k)}$ "vista" ai capi di C_k

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