

# Analisi dinamica

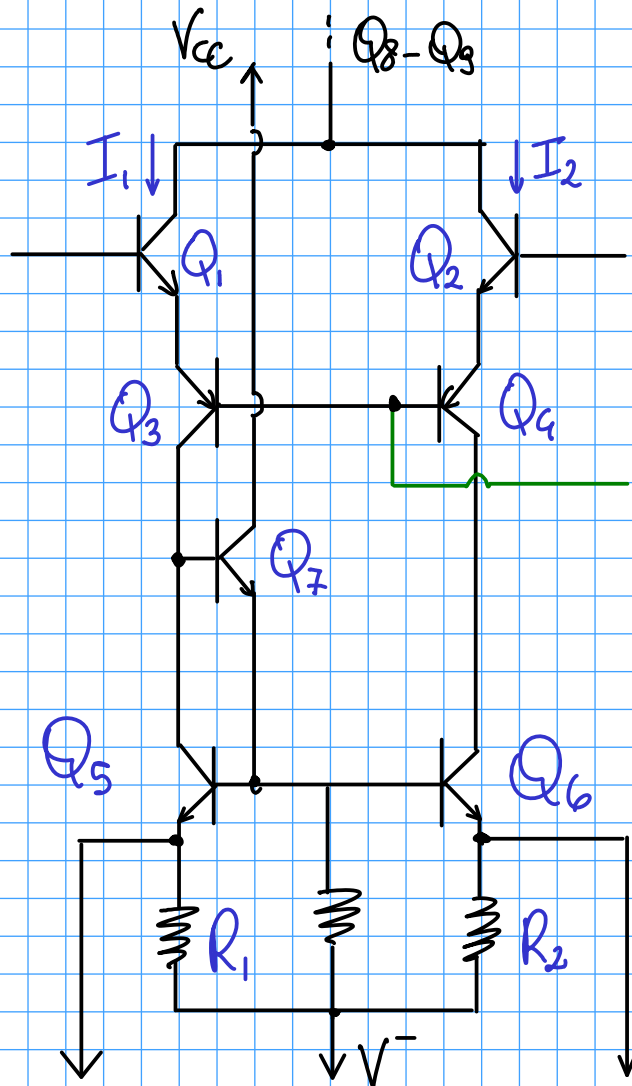
2 MOV

impedenza caratteristica modo differenziale tra gli ingressi

Circuito simmetrico sollecitazione antisimmetrica

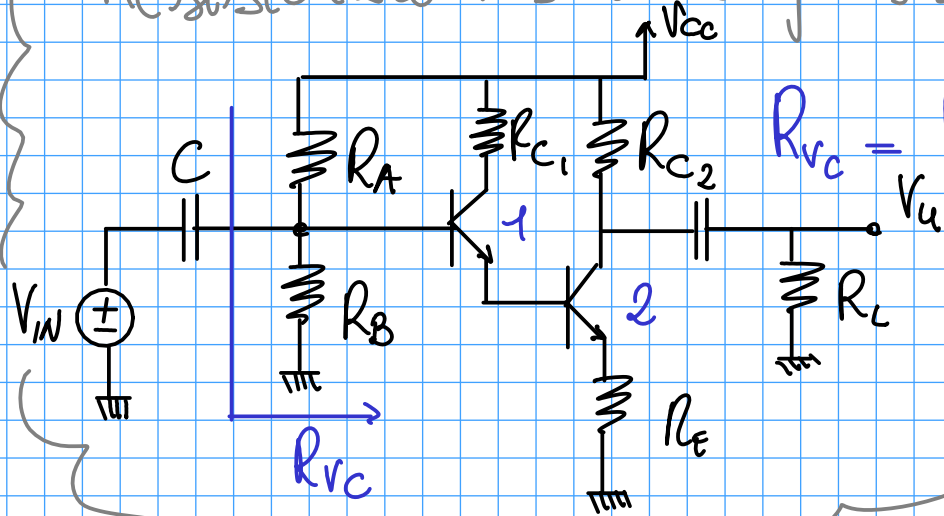
verrà trascurata  $1/h_{oe}$

semplifico circuito con ingresso differenziale  
alle variazioni, per comodità useremo  
simbolo circuitale



nota separazione di bande su  
capacità pericolosa, non  
fornisce sicurezza sulla  
correttezza del risultato  
mentre partitone pesante serrastina  
sempre risultato

Resistenza vista da gen. segnale

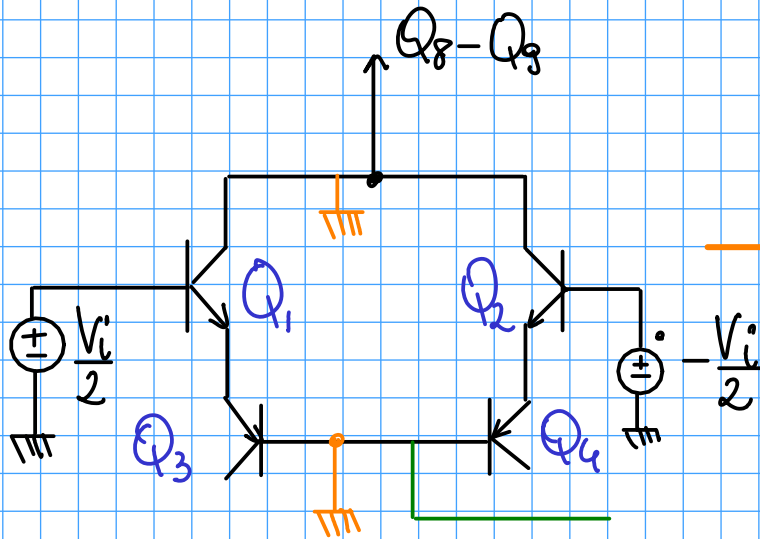


$$R_V = R_A // R_B + \left\{ h_{ie1} + (h_{fe1} + 1) \left[ h_{ie2} + R_E (h_{fe2} + 1) \right] \right\}$$

sollecitazioni a modo differenziale

simplifico a metà circuito

riportiamo a stadio differenziale



$$R_V = h_{ie1} + (h_{fe1} + 1) \frac{h_{ie3}}{h_{fe3} + 1}$$

con  $H_p$  di punto di riposo uguale

$$h_{ie1} = h_{ie3}, h_{fe1} = h_{fe3}$$

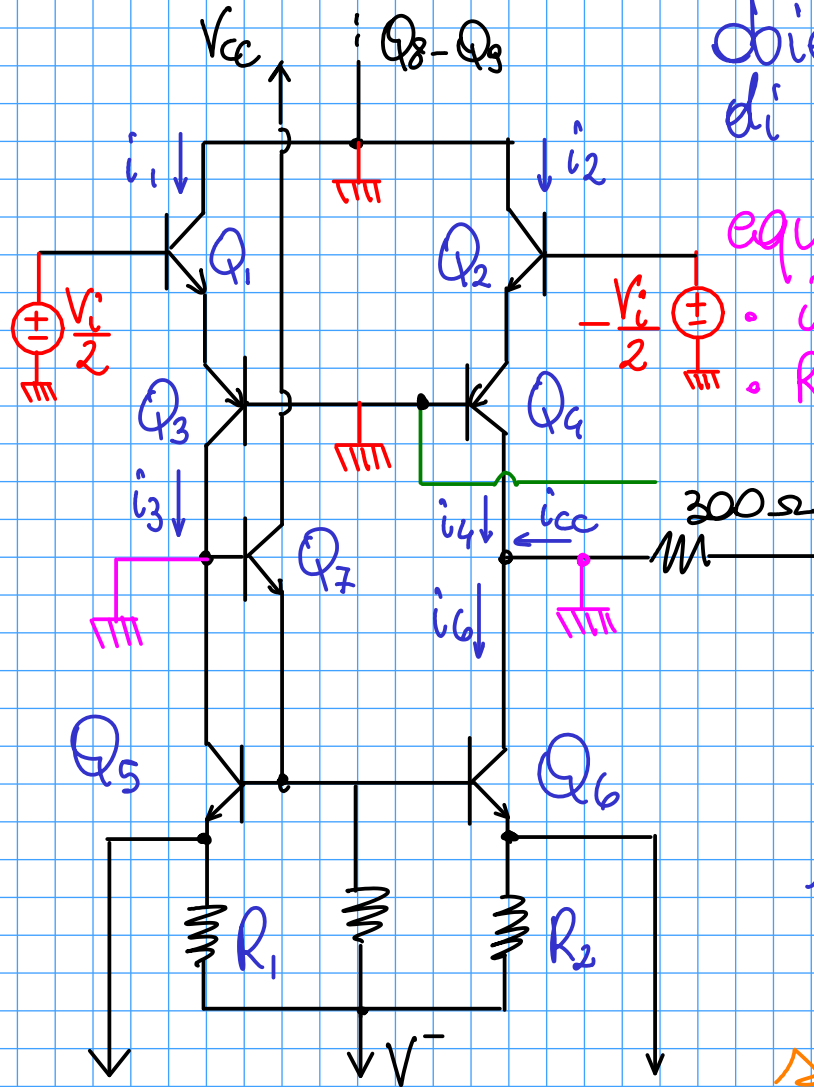
$$R_V = h_{ie1} + (h_{fe1} + 1) \frac{h_{ie3}}{h_{fe3} + 1} = 2h_{ie} \rightarrow R_{ind} = \frac{V_i}{\frac{V_i}{2} \frac{1}{2h_{ie}}} = 4h_{ie}$$

$$R_{ind} = 4h_{ie} \sim 1,314 M\Omega$$

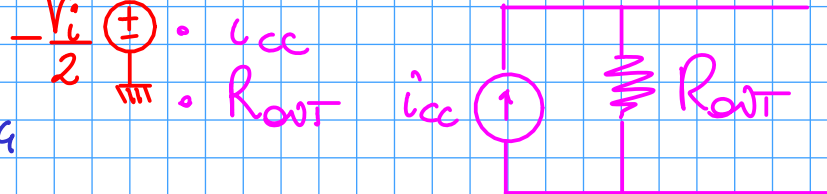
$$h_{ie} \approx \frac{V_T}{I_C} h_{fe} = 328 K\Omega$$

# Guadagno su stadio di ingresso

3NOV



obiettivo: circuito equivalente stadio di ingresso per analisi stadi successivi  
equivalente di Norton stadio di ingresso



per calcolo  $R_{ont}$  inserisco cortocircuito su uscita ( $i_{300}$ ) e per simmetria sotto  $Q_3$  → verifico dopo l'ipotesi

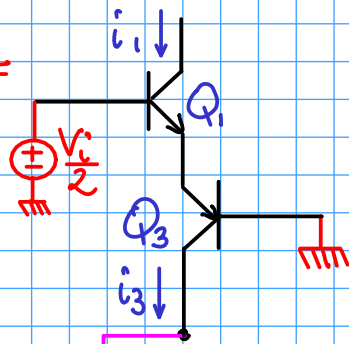
per semplificare sfrutto simmetria stadi e selezione a modo differenziale (anti simmetrica)

simmetria non del tutto verificata, su lato sx vedo attraverso base  $Q_7$  → "piccola" appross che non modifica risultati

nota verso  $i_{cc}$  entrante!

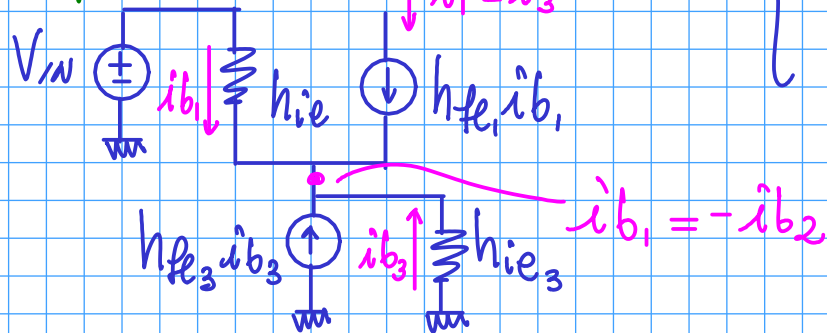
2 passi:  
→ calcolo  $i_{cc}$   
→ calcolo  $R_{ont}$

# Calcolo $i_{cc}$



gen. tensione  $\frac{V_i}{2}$ , utilizzo solo parte sx del circuito, poi estendo a Dx

equivalente:



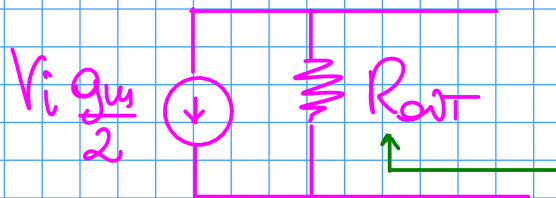
$$\begin{cases} i_1 = i_3 = \frac{V_{IN} h_{fe}}{2h_{ie}} \\ i_2 = i_4 = -\frac{V_{IN} h_{fe}}{2h_{ie}} \end{cases}$$

nota utilizziamo  $V_{IN} = \frac{V_i}{2}$  per semplicità

$$i_{cc} = i_6 - i_4 = i_3 - i_4 = \frac{2V_{IN} h_{fe}}{2h_{ie}} = \frac{V_i}{2} \cdot \frac{h_{fe}}{h_{ie}} \cong \frac{V_i}{2} \frac{h_{fe}}{r_{be}} \rightarrow i_{cc} = V_i \frac{g_m}{2}$$

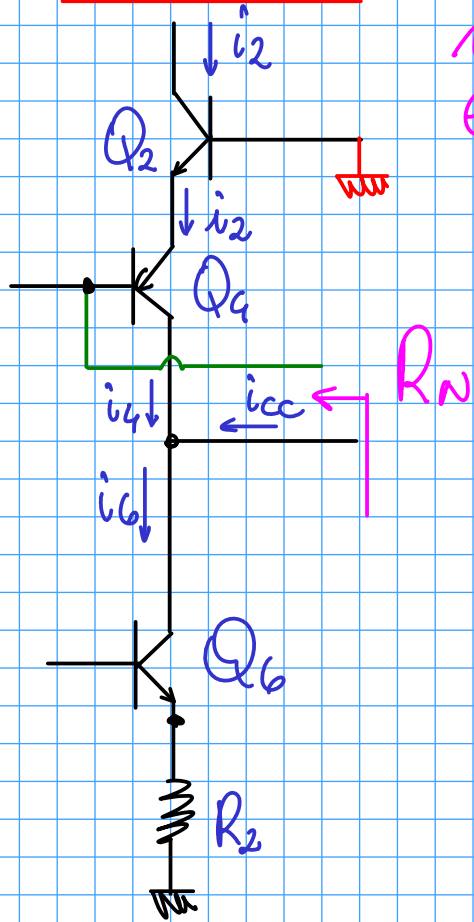
$h_{ie} = r_{bb'} + r_{be}$

transconduttanza stadio di ingresso



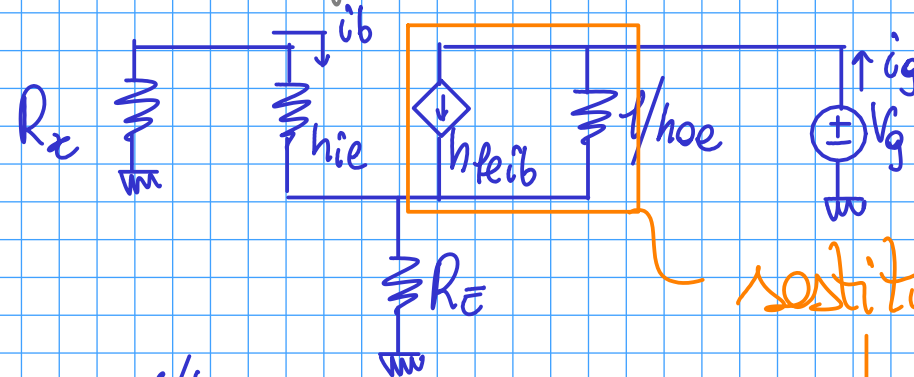
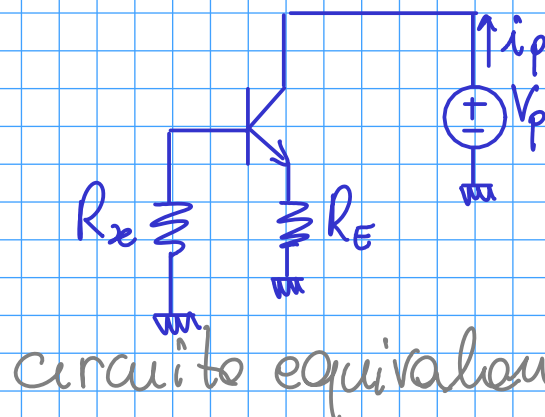
resta da calcolare  $R_{OUT}$  ( $R_N$  morbo)

# calcolo $R_{in}$

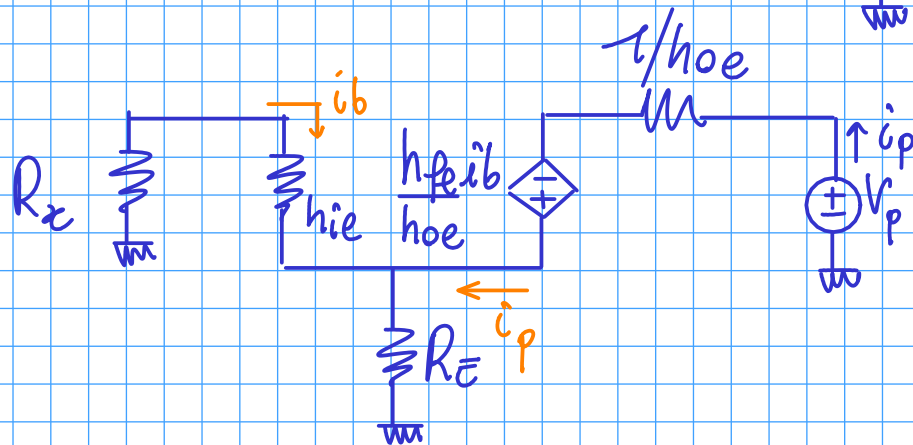


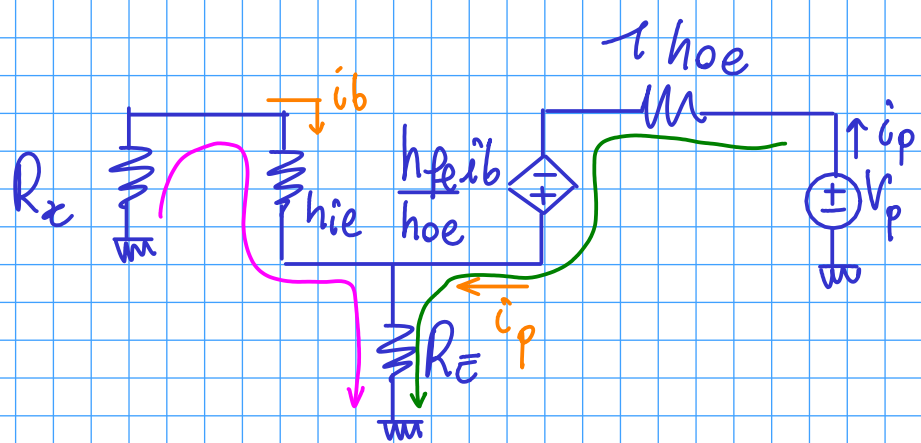
non è semplicemente  $1/h_{oe}$  per carichi sugli emettitori

come calcolo  $R_n$ ? ragionamento generale per ritrovare formula utile per calcoli



sostituisco equiv. thevenin





$$\begin{cases} (i_p + i_b) R_E - \frac{h_{fe} i_b}{h_{oe}} + \frac{i_p}{h_{oe}} = V_p \\ -i_b (h_{ie} + R_x) - (i_p + i_b) R_E = 0 \end{cases}$$

$$\rightarrow i_b = - \frac{i_p R_E}{h_{ie} + R_x + R_E}$$

$$-i_b (h_{ie} + R_x) - \frac{h_{fe} i_b}{h_{oe}} + \frac{i_p}{h_{oe}} = V_p$$

$$-i_b \left( h_{ie} + R_x + \frac{h_{fe}}{h_{oe}} \right) + \frac{i_p}{h_{oe}} = V_p \rightarrow \text{divido per } i_p$$

$$\frac{V_p}{i_p} = \frac{R_E (h_{ie} + R_x)}{h_{ie} + R_x + R_E} + \frac{h_{fe}}{h_{oe}} \frac{R_E}{h_{ie} + R_x + R_E} + \frac{1}{h_{oe}}$$

quindi riscrivendo:

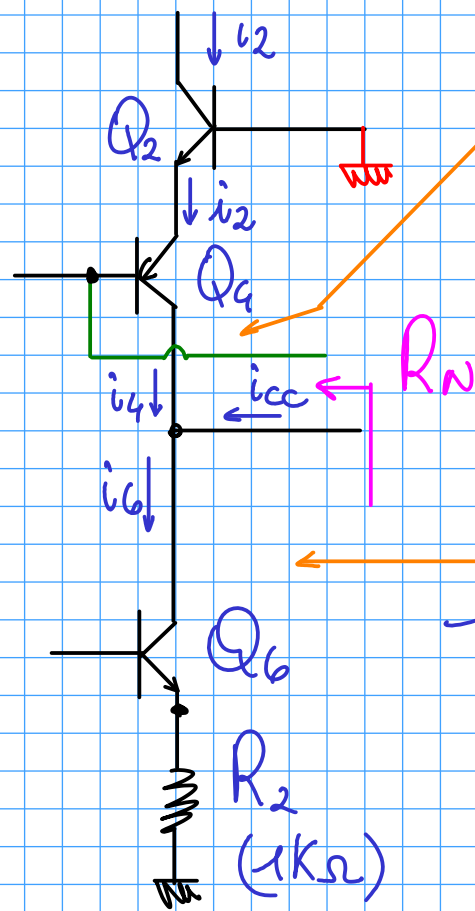
$$\frac{V_p}{i_p} = \frac{R_E (h_{ie} + R_x)}{h_{ie} + R_x + R_E} + \left[ \frac{h_{fe} R_E}{h_{ie} + R_x + R_E} + 1 \right] \frac{1}{h_{oe}}$$

formula arcano sublime

$$R_o \cong \left[ \frac{h_{fe} R_E}{h_{ie} + R_x + R_E} + 1 \right] \frac{1}{h_{oe}}$$

trascuro primo termine  
perché limitato rispetto a  $1/h_{oe}$   
( $R_E$  contro  $M\Omega$ )

quindi applicando a caso del calcolo delle  $R_{out}$



ramo superiore

$$R_{E4} = \frac{h_{ie2}}{h_{fe2} + 1} = 2,7 \text{ k}\Omega$$

$$1/h_{oe4} = \frac{V_{A \text{ PNP}}}{I_c} = \frac{50 \text{ V}}{9,5 \mu\text{A}} = 5,26 \text{ M}\Omega$$

$$R_{o4} = \text{arcano sblime} = 10,44 \text{ M}\Omega$$

ramo inferiore

$$1/h_{oe6} = \frac{V_{A \text{ npn}}}{I_c} \approx \frac{100 \text{ V}}{9,5 \mu\text{A}} = 10,526 \text{ M}\Omega$$

$$h_{ie6} = \frac{V_T}{I_c} h_{fe} + r_{bb'} = 32,8 \text{ k}\Omega$$

$$R_{x6} = \phi I_c \text{ (per simmetria e modo differenziale)}$$

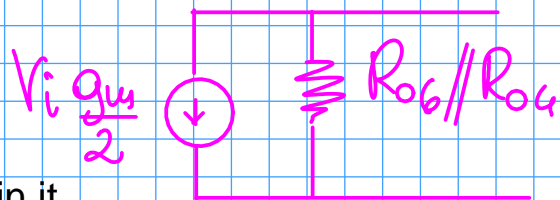
$$R_{o6} = \text{arcano sblime} = 14,361 \text{ M}\Omega$$

$$R_{outd} = R_{o4} \parallel R_{o6} = 6,04 \text{ M}\Omega$$

$$A_d = \frac{g_m}{2} R_{outd} \parallel R_{in10}$$

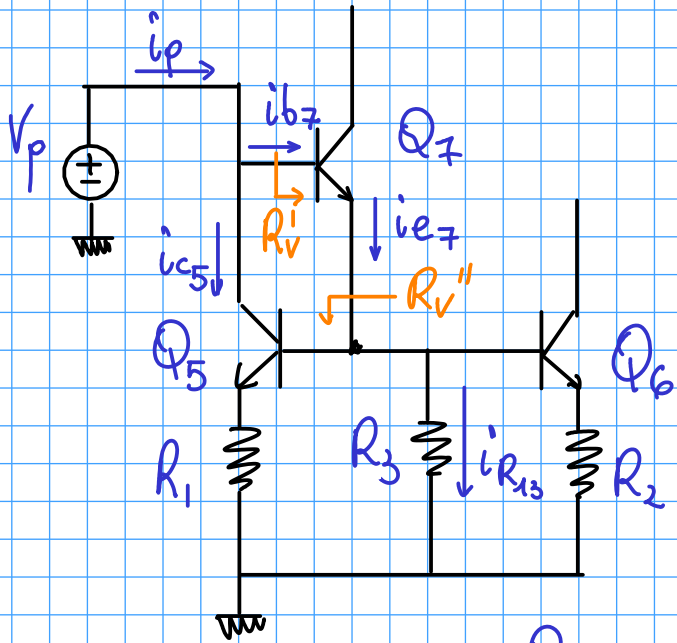
guadagno a vuoto =  $V_i \frac{g_m}{2} R_{outd} = -1104$   
stadio invertente

per ora non considerato!





riesumiamo questione su simmetria circuito e verifichiamo  $H_p$   
fondamentale: collettore  $Q_3$  può considerarsi a massa alle variazioni?



hier  $\epsilon = 300 \text{ K}$ ,  $h_{fe} = 120$ ,  $Q_5 - Q_6$  symmetrisch

$$R_V'' = R_3 \parallel \left[ \frac{h_{ie5} + R_1 (h_{fe5} + 1)}{2} \right] = 40,9 \text{ k}\Omega$$

$$h_{ie7} = 22,9 \text{ k}\Omega, h_{fe7} = 120$$

$$R_v' = h_{ie7} + R_v''(h_{fe7} + 1) = 5,2 \text{ M}\Omega$$

$$i_{c5} = i_{e7} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{R_3}{R_3 + \frac{h_{ie5} + R_1(h_{ie5} + 1)}{1}}$$

$$\sim i_{c5} \propto h_{fe} i_{b7}$$

prende uno dei due  
roni simmetrici

② ← due rami identici in parallelo

$$i_{c5} = i_{b5} h_{fe5}$$

$$\begin{aligned} i_{c5} &= i_{b5} h_{fe5} \\ i_p &= i_{b7} + i_{c5} = i_{b7} \left[ 1 + \frac{(h_{fe7} + 1) R_3 / 2}{R_3 + \frac{h_{ie5} + R_1 (h_{fe5} + 1)}{2}} \right] \end{aligned}$$



$$i_{b_7} = \frac{V_p}{R_{v'}} = \frac{V_p}{h_{ie7} + (h_{fe7} + 1) R_3 \parallel \left( \frac{h_{ie5} + R_1 (h_{fe5} + 1)}{2} \right)}$$

quindi, per concludere:

$$\frac{V_p}{i_p} = \frac{h_{ie7} + (h_{fe7} + 1) R_3 \parallel \left( \frac{h_{ie5} + R_1 (h_{fe5} + 1)}{2} \right)}{1 + \frac{(h_{fe7} + 1) R_3 / 2}{R_3 + \frac{h_{ie5} + R_1 (h_{fe5} + 1)}{2}}} = \underline{\underline{3,91 \text{ K}\Omega}}$$

$Q_7$  quindi non è perfettamente a massa, ma per semplicità di calcolo (e con approssimazione) può considerarsi a massa.

nota particolare configurazione specchio, detta "amplificazione della corrente di base", offre alcuni vantaggi rispetto a specchio semplice

- migliora resistenza di uscita stadio (migliora guadagno)
- riduce corrente sottratta alla  $I_E (I_3)$  con un miglioramento delle prestazioni ( $I_R \approx I_{OT}$ )