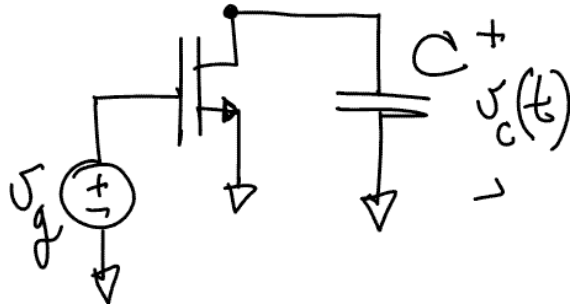


1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_v=1000$, $R_{in} = 200 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 100 \Omega$. Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso di 50Ω e una resistenza di uscita minore di 20Ω . Per semplicità considerare il generatore di ingresso ideale e il carico assente.

2. Si consideri il circuito a lato. Si supponga che la caratteristica del MOSFET in zona di saturazione sia $I_D = \frac{K_n}{2}(V_{GS} - V_T)^2$, con $V_T=2 \text{ V}$, $K_n=1 \text{ mA/V}^2$. All'istante $t=0$ la tensione sulla capacità vale 5 V e una tensione costante di 5 V viene applicata sul gate. Calcolare dopo quanto tempo il MOSFET va in zona triodo.



Parte B

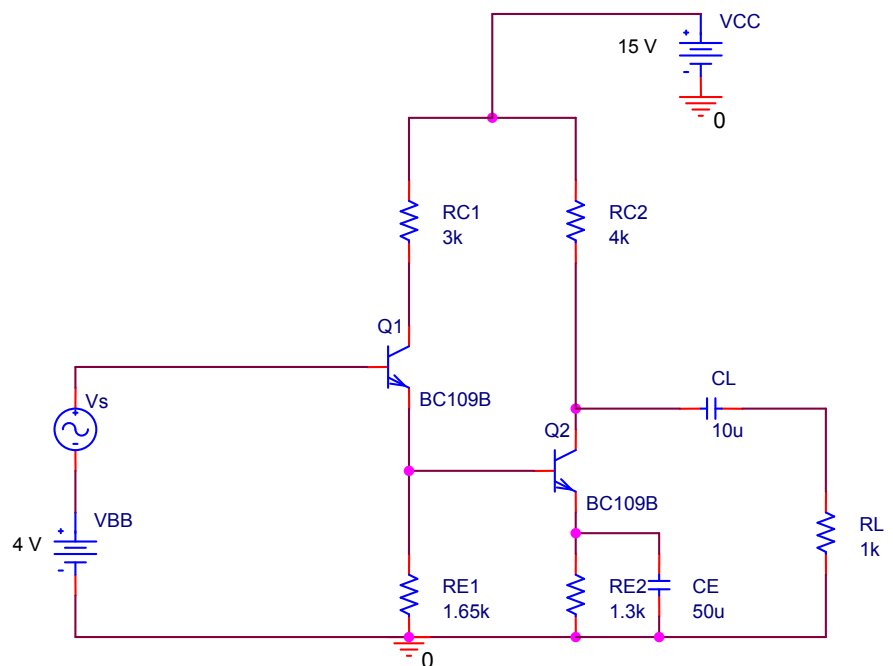
Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori Q1 e Q2 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda

Assunzioni semplificative:

- considerare $h_{oe} = 0$ e $h_{re}=0$ per i due transistori.
- Considerare Q1 resistivo

Punteggio totale Parte B: 14/30



Es. 1

$$R_{in} = 200 \text{ k}\Omega$$

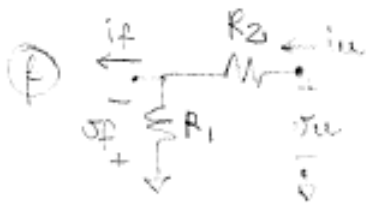
$$R_{out} = 100 \Omega$$

$$A_v = 1000$$

$$R_{if} = 50 \Omega$$

$$R_{of} < 50 \Omega$$

Reazione con localizzatore di corrente e
prelievo di tensione [CF]

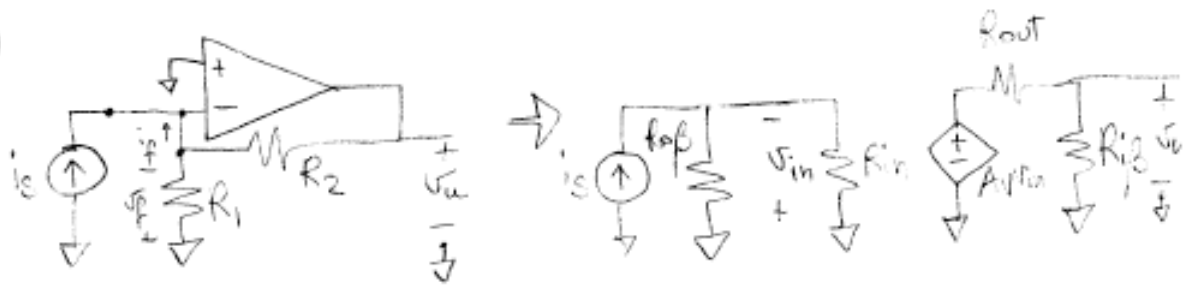


$$i_f = \beta i_u + \frac{v_f}{R_{of}}$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_{if}} = \beta v_f$$

$$f = \left. \frac{i_f}{v_u} \right|_{v_f=0} = \frac{1}{R_2} \quad R_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1 \parallel R_2 \quad R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_f=0} = R_2$$

(A_e)



$$i_{in} = -i_s [R_{of} \parallel R_{in}]$$

$$i_u = A_v v_{in} \frac{R_{if}}{R_{if} + R_{out}}$$

$$A_e \cdot \left. \frac{i_u}{i_s} \right|_{f=0} = -A_v \frac{R_{if}}{R_{if} + R_{out}} \quad R_{of} \parallel R_{in} = -A_v \frac{R_2}{R_2 + R_{out}} (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})$$

$$R_{if} = \frac{(R_{in} \parallel R_{of})}{(1 - \beta A_e)} = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in}}{\leq + \frac{A_v}{R_2 + R_{out}} (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})} = 50 \Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_1 \parallel R_{out}}{(1 - \beta A_e)} = \frac{R_2 \parallel R_{out}}{(1 - \beta A_e)} \ll 20 \Omega \quad (2)$$

se supponiamo $\beta A_e \gg 1$ (da verificare), abbiamo soddisfatte entrambi:

$$R_{if} \approx \frac{R_2 + R_{out}}{A_v \leftarrow 1000} = 50 \Omega \rightarrow R_2 + R_{out} = 50000 \Omega$$

$R_2 = 49900 \Omega$

$$\beta A_e = \frac{A_v}{\underbrace{R_2 + R_{out}}_{\frac{1}{50}}} (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})$$

\uparrow 49900 \uparrow 200k Ω

per avere $\beta A_e \gg 1$ basta scegliere R_1 molto grande. Per esempio $R_1 = 200k\Omega$

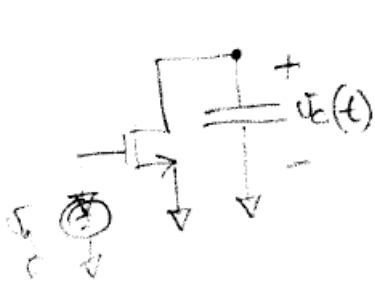
$$R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in} = 33.3k\Omega \quad \beta A_e = \frac{33.3 \cdot 10^3}{50} \approx \underline{\underline{666}} \gg 1$$

per verificare $R_{of} = \frac{R_2 \parallel R_{out}}{1 - \beta A_e} = \frac{100}{666} \approx \underline{\underline{0.15 \Omega}} \ll 20 \Omega$

Es. 2

$$I_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$K = 1 \text{ mA/V}^2 \quad V_T = 2V$$



$$t=0 \quad V_{GS} = 5V \quad v_c(0) = 5V$$

$$V_{GS} = 5V = V_{GS(0)} \quad \text{zona di saturazione}$$

$$I_D = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} (5 - 2)^2 = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{2} = 4.5 \text{ mA}$$

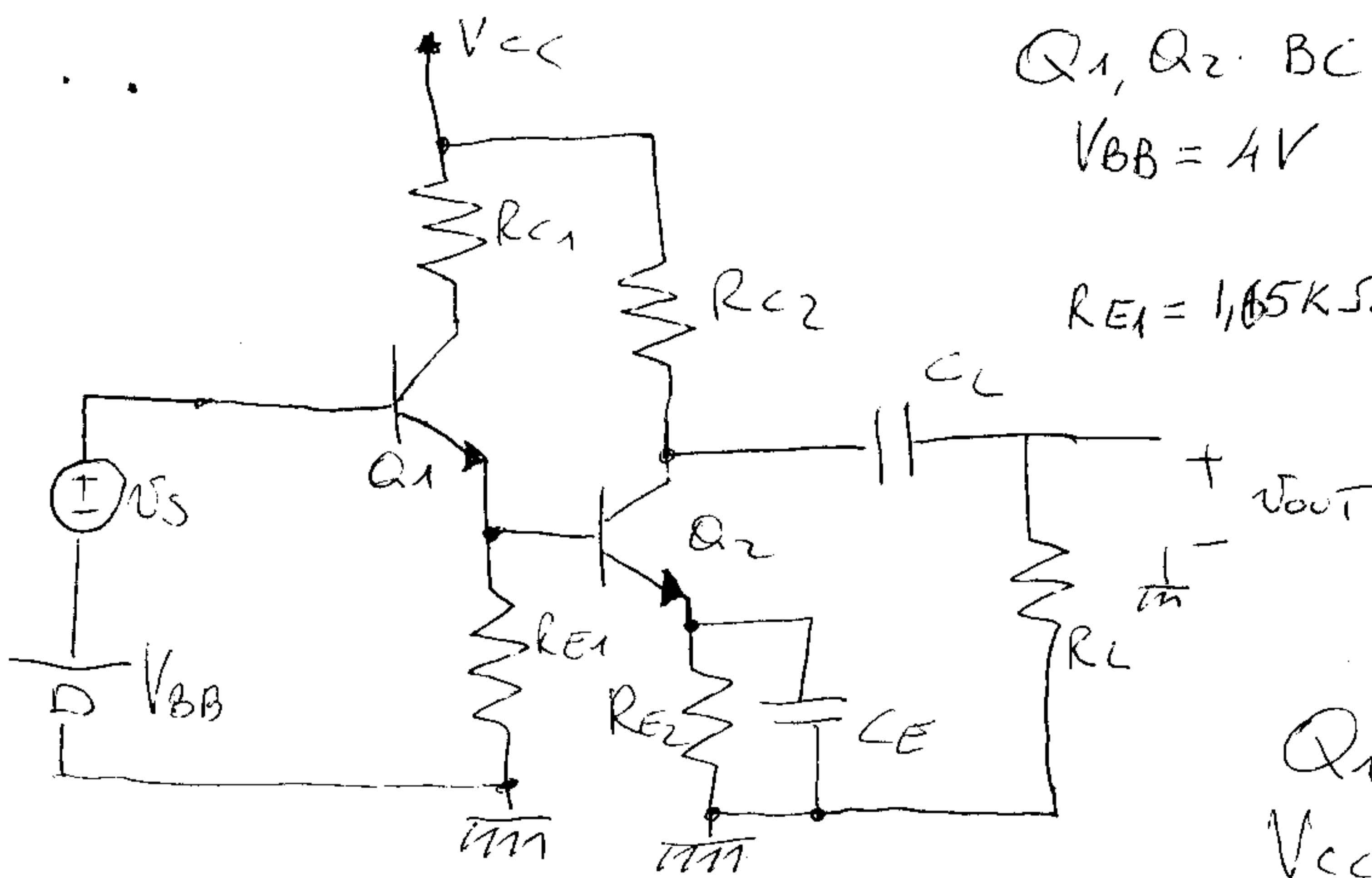
$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{I_D}{C} = \frac{4.5 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}} = 4.5 \cdot 10^4 \text{ V/s}$$

il transistoro entra in zona triodo quando

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T$$

$$V_{GS} = 3V$$

$$t_t = \frac{V_{GS} - (V_{GS} - V_T)}{\left. \frac{dV_{GS}}{dt} \right|} = \frac{2}{4,5 \cdot 10^4} = 4,44 \cdot 10^{-5} = 44 \mu s$$



$Q_1, Q_2: BC 109 B$

$$V_{BB} = 4V$$

$$R_{C1} = 3k\Omega$$

$$R_{C2} = 4k\Omega$$

$$R_{E1} = 1,65k\Omega$$

$$R_{E2} = 1,3k\Omega$$

$$C_L = 10\mu F$$

$$C_E = 50\mu F$$

$$R_L = 1k\Omega$$

Q_1 : resistivo

$$V_{CC} = 15V$$

$$h_{oe} = h_{re} = 0 \text{ per } Q_1 \text{ e } Q_2$$

PUNTO DI RIPOSO

Facciamo l'ipotesi di partitore pesante su Q_2 e supponiamo che entrambi i transistori lavorino in zone attive diritte (Z.A.D.), ipotesi che andremo successivamente verificate

$$V_{B1} = V_{BB} = 4V$$

$$V_{E1} = V_{B2} = V_{B1} - V_{BE} = 3,3V$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = 2mA$$

$$h_{FE1} = 290 \Rightarrow I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} = 6,9\mu A$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - (R_{C1} + R_{E1}) I_{C1} = 5,7V (> V_{CE_{SAT}} = 0,2V)$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 2,6V$$

$$I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 2mA$$

$$h_{FE2} = 290 \Rightarrow I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE2}} = 6,9\mu A$$

Verifica: $I_{B2} \ll I_{C1}$, valida il partitore pesante

$$V_{CE2} = V_{CC} - (R_{C2} + R_{E2}) I_{C2} = 4,4V (> V_{CE_{SAT}} = 0,2V)$$

Calcoliamo adesso i parametri di piccolo segnale.

Q₁

$$h_{fe1} = 300$$

$$V_{b1} = h_{fe1} @ 2mA - r_{\pi1} @ 2mA = 912 \Omega$$

$$h_{ie1} = 4,8 K\Omega \quad r_{\pi1} = 3,88 K\Omega$$

$$V_{CB1} = V_{CC} - R_{C1} I_{C1} - V_{B1} = 5V$$

$$C_{\mu1} = 4,7 pF \quad f_{T1} = 145 MHz$$

$$C_{\pi1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{\mu1}$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 77,2 mS$$

Quindi $C_{\pi} = 80,1 pF$

Q₂

$$h_{fe2} = 300$$

$$V_{b2} = h_{fe2} @ 2mA - r_{\pi2} @ 2mA = 912 \Omega$$

$$h_{ie2} = h_{ie1} = 4,8 K\Omega \quad r_{\pi2} = r_{\pi1} = 3,88 K\Omega$$

$$V_{CB2} = V_{CC} - R_{C2} I_{C2} - V_{B2} = 3,7V$$

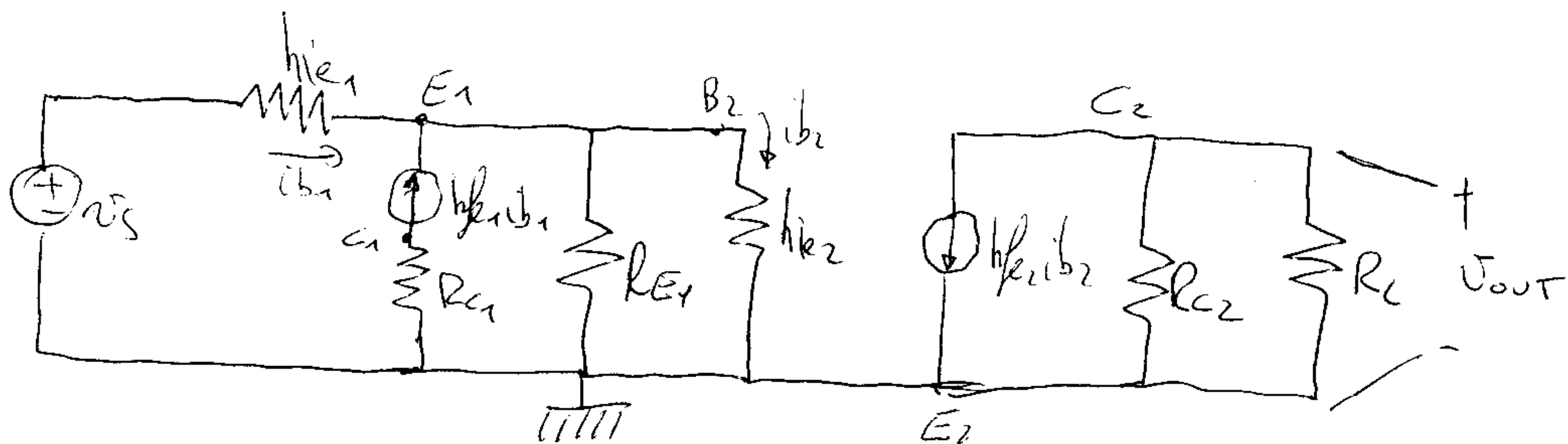
$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = g_{m1} = 77,2 mS$$

$$C_{\mu2} \approx 5,2 pF \quad f_{T2} = f_{T1} = 145 MHz$$

$$C_{\pi2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{\mu2} = 79,58 pF$$

A.C.B.

Calcoliamo adesso l'amplificazione a centro banda, considerando C_1 e C_2 .



$$v_{OUT} = -R_L // R_{C2} \cdot h_{fe2} \cdot i_{b2}$$

$$i_{b2} = (h_{fe1} + 1) i_{b1} \cdot \frac{R_{E1}}{R_{E1} + h_{ie2}} \quad [\text{Partenza di corrente}]$$

i_{b1} si calcola facendo v_s diviso la resistenza vista dallo stesso v_s

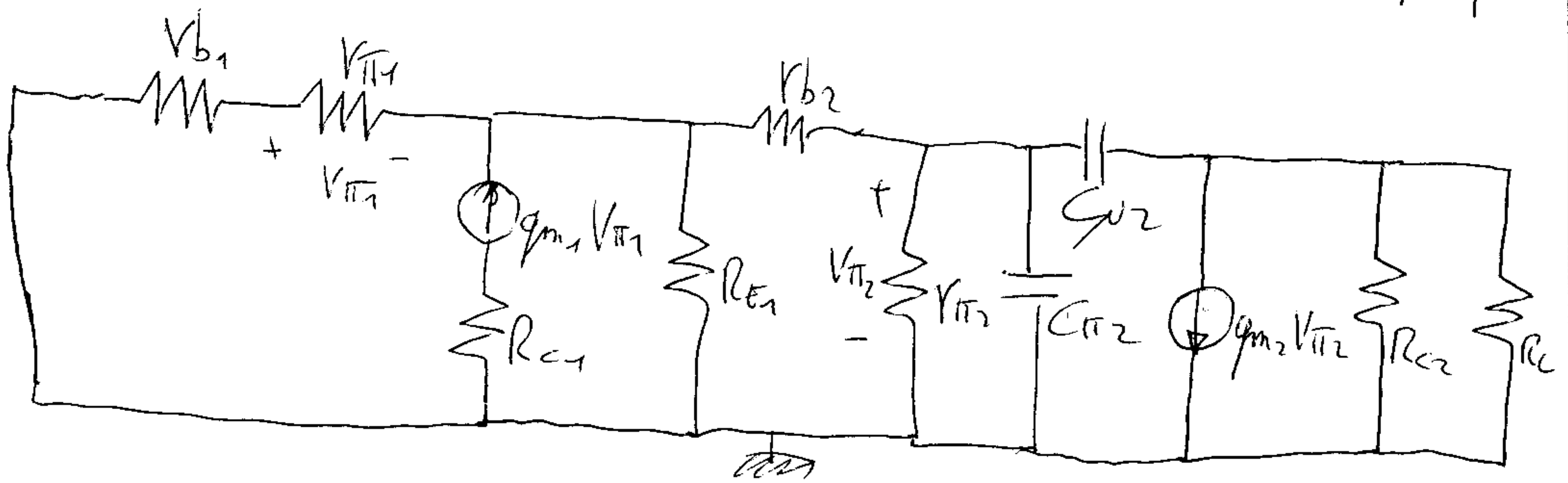
$$v_s = [h_{ie1} + (R_{E1} // h_{ie2})(h_{fe1} + 1)] i_b$$

Scriviamo l'espressione finale del guadagno a centro banda

$$A_{CB} = \frac{v_{OUT}}{v_s} = - \frac{R_L // R_{C2} \cdot h_{fe2} (h_{fe1} + 1) \cdot R_{E1}}{R_{E1} + h_{ie2}} \cdot \frac{1}{h_{ie1} + (R_{E1} // h_{ie2})(h_{fe1} + 1)}$$

$$A_{CB} \approx -49,2$$

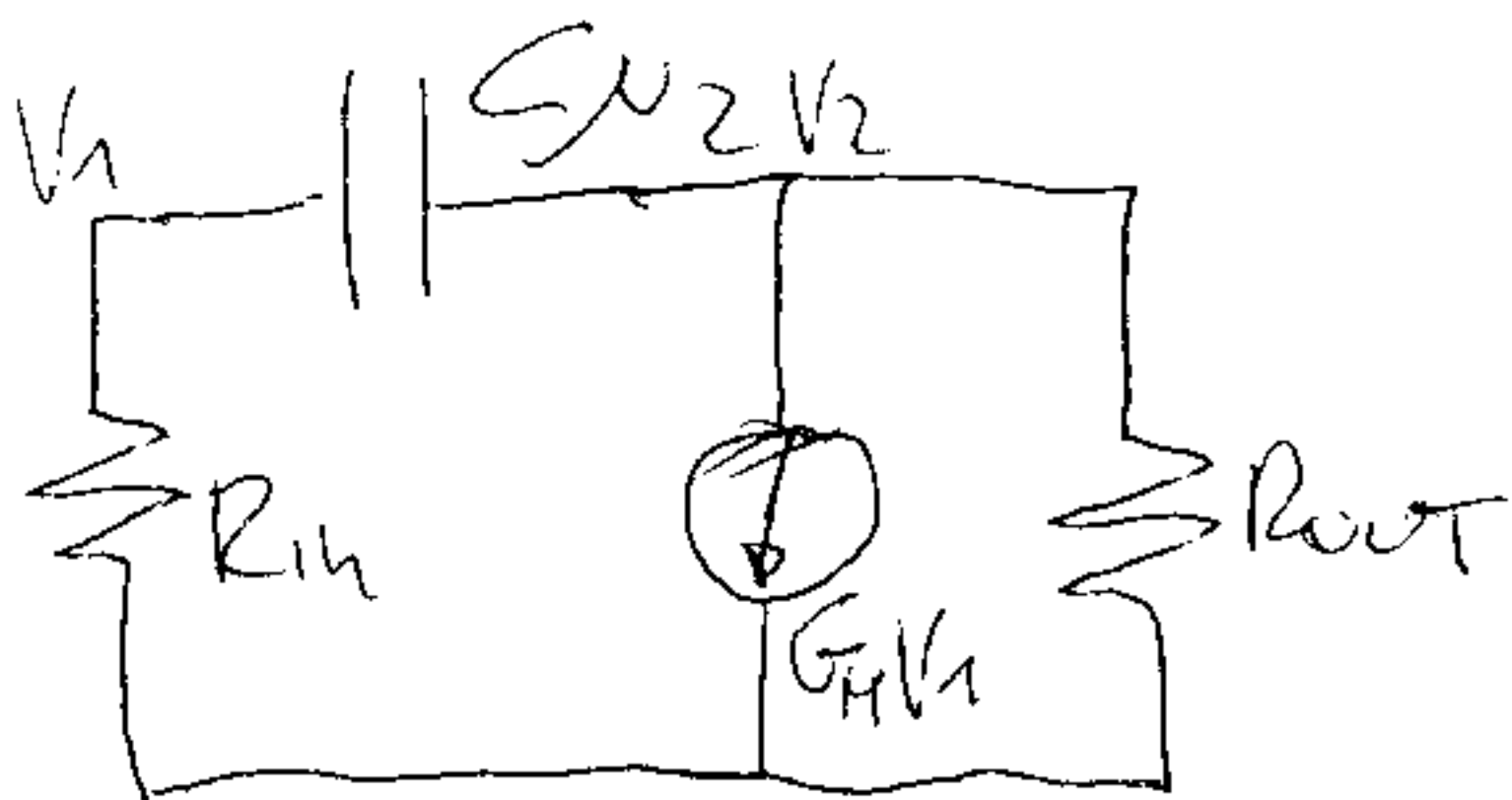
Ex 11 Disegniamo il circuito per lo studio alle alte freq.



Iniziamo da $R_{V_{C\pi2}}$

$$R_{V_{C\pi2}} = R_{\pi2} \parallel \left[V_{b2} + R_{E1} \parallel \left[\frac{V_{b1} + V_{\pi1}}{1 + g_{m1}V_{\pi1}} \right] \right] = 750 \Omega$$

Adesso calcoliamo le $R_{V_{C\pi2}}$, con il metodo usale



Dove

$$R_{in} = R_{V_{C\pi2}}$$

$$G_M = g_{m2}$$

$$R_{out} = R_{C2} \parallel R_L$$

Di conseguenza

$$R_{V_{gr2}} = R_{V_{c\pi}} (1 + g_m R_{out}) + R_{out} = 47,8 \text{ k}\Omega$$

Infine

$$f_H = \frac{1}{2\pi} [R_{V_{c\pi2}} \cdot C_{\pi2} + R_{V_{gr2}} \cdot C_{gr2}]^{-1} \approx 637 \text{ kHz}$$