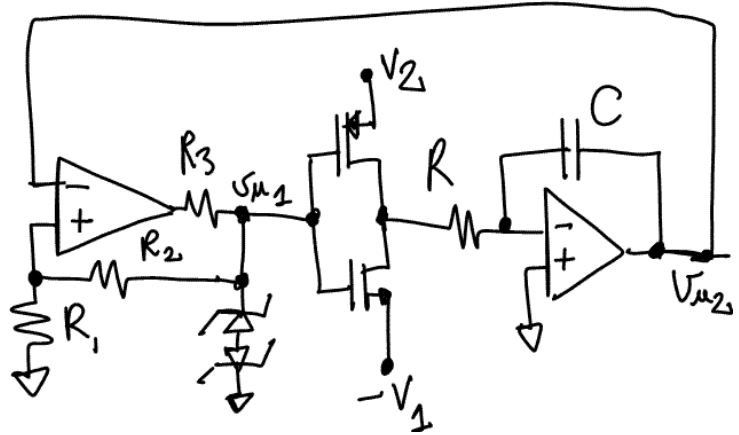


1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_v=1000$, $R_{in} = 200 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 100 \Omega$. Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso di 50Ω e una resistenza di uscita minore di 20Ω . Per semplicità considerare il generatore di ingresso ideale e il carico assente.

2. Descrivere il funzionamento del circuito a lato e disegnare e quotare correttamente l'andamento della tensione all'uscita dei due amplificatori operazionali. Supporre che all'istante iniziale il condensatore sia scarico. Si consideri $C = 47 \text{ nF}$, $R_1=R_2=R=10 \text{ K}\Omega$, $R_3 = 500 \Omega$, $V_Z= 4.7 \text{ V}$, $V_1=1 \text{ V}$, $V_2=2 \text{ V}$.



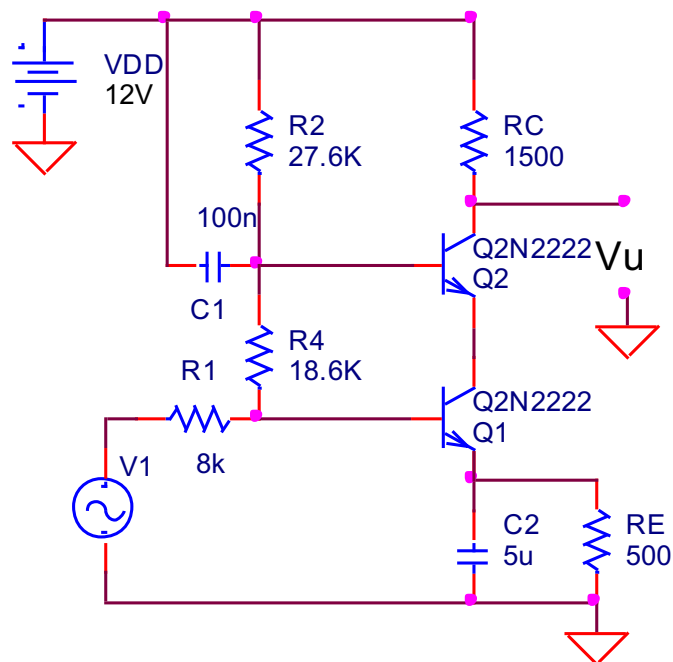
3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- 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 inferiore di banda
- il limite superiore di banda

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

- Q1 totalmente resistivo
- Q1 e Q2 hanno h_{oe} nullo

Punteggio totale Parte B: 14/30



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

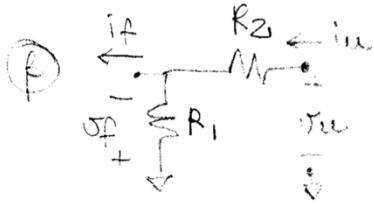
$$R_{out} = 100 \Omega$$

$$A_v = 1000$$

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

$$R_{of} < 20 \Omega$$

Reazione con iniezione di corrente e prelievo di tensione [FF]



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

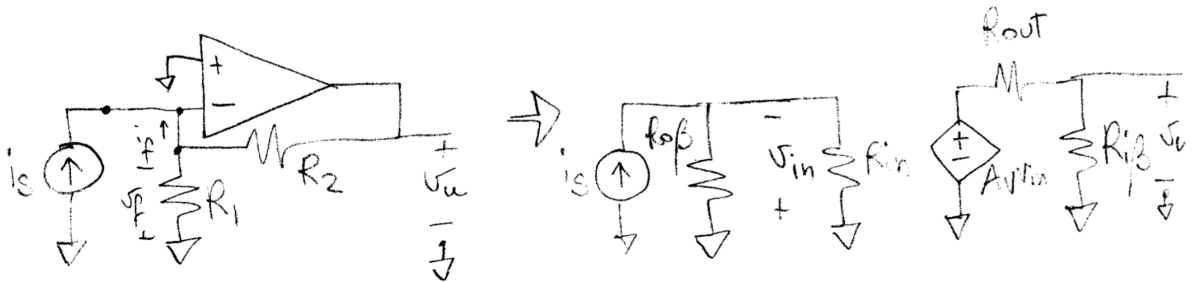
$$i_u = \frac{v_u}{R_{if}} = \beta v_u$$

$$f = \left. \frac{i_f}{v_u} \right|_{v_u=0} = \frac{1}{R_2}$$

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

$$R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_f=0} = R_2$$

(A_e)



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

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

$$A_e = \left. \frac{v_u}{i_s} \right|_{\beta=0} = -A_v \frac{R_{if}}{R_{if} + R_{out}}$$

$$R_{of} \parallel R_{in} = -A_v \frac{R_2}{R_2 + R_{out}} (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})$$

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

$$R_{of} = \frac{R_{if} \parallel R_{out}}{(1 - \beta A_e)} = \frac{R_2 \parallel R_{out}}{(1 - \beta A_e)} < 20 \Omega$$

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

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

$$R_2 = 49900 \Omega$$

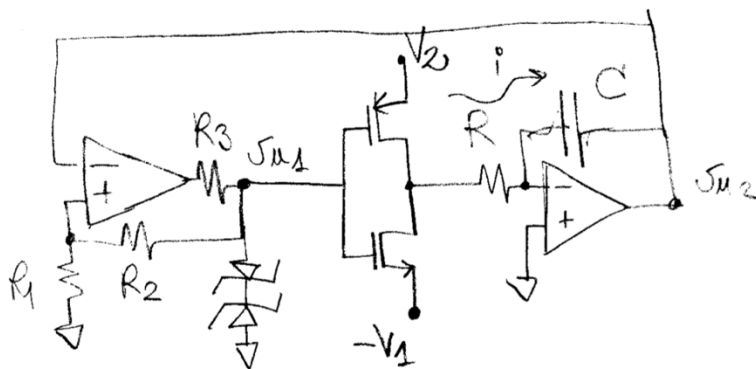
$$\beta A_e = \frac{A_v}{\underbrace{R_2 + R_{out}}_{\frac{1}{50}}} (R_1 // R_2 // R_{in})$$

\uparrow $200k\Omega$
 \uparrow 49900

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

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

per verifica $P_{of} = \frac{R_2 // R_{out}}{1 - \beta A_e} = \frac{100}{666} \approx 0.15 \Omega \ll 20 \Omega$



$$V_2 = 1V$$

$$V_2 = 2V$$

$$R_1 = R_2 = 10k\Omega$$

$$R_3 = 500\Omega$$

$$V_2 = 4.7V$$

$$R = 10k\Omega$$

$$C = 47nF$$

$$V_0 = V_2 + V_{CE} = 5.4V$$

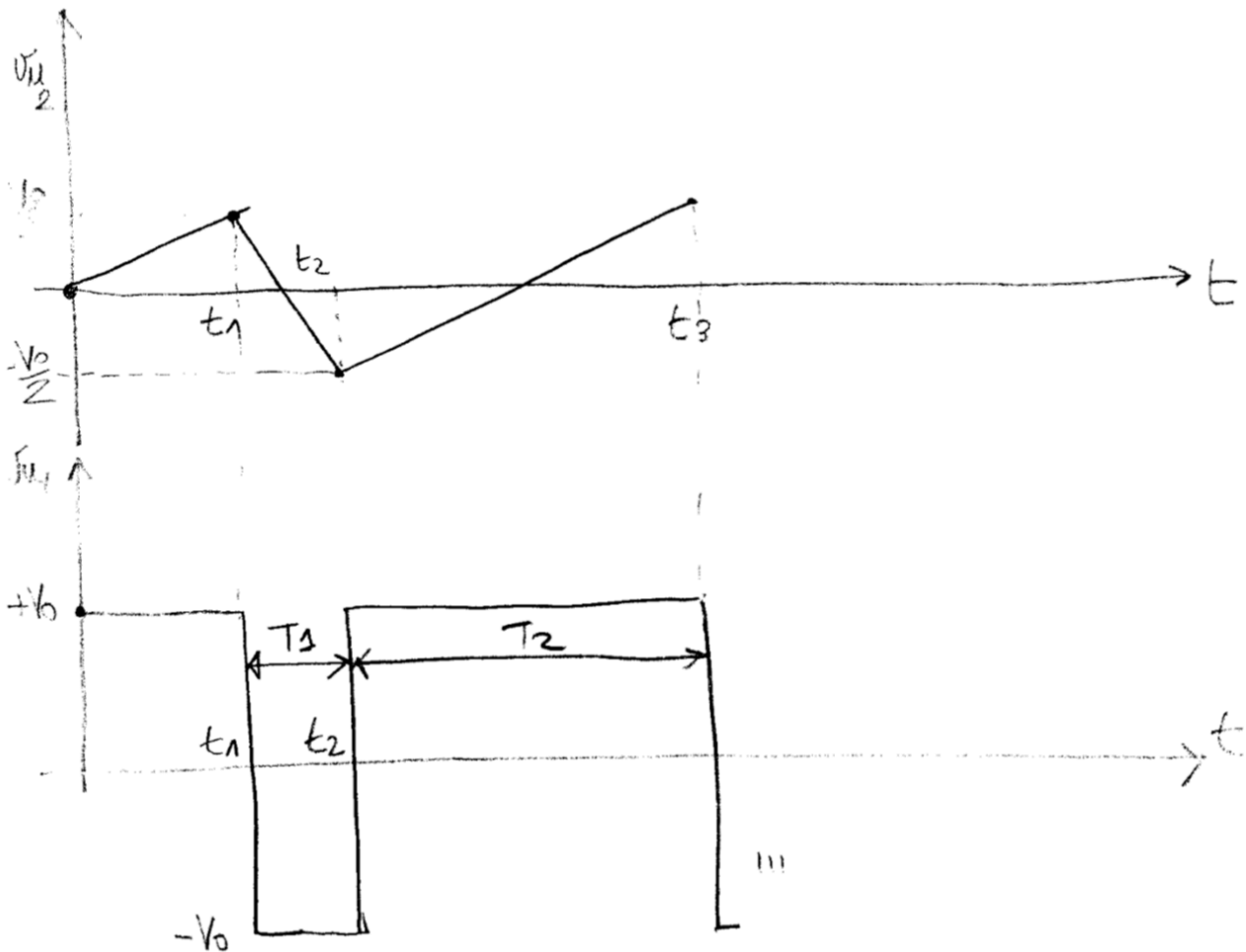
supponiamo che per $t=0$ $v_{u2} = 0$ e $v_{u1} = +V_0$

abbiamo dunque $i = \frac{-V_1}{R}$ $\frac{dv_{u2}}{dt} = \frac{i}{C} = \frac{-V_1}{RC}$

il trigger di Schmitt commuta quando

$$v_{u2} = V_+ = \frac{v_{u1}^-}{2} = \frac{V_0}{2} = 2.7V$$

$$t_{\Delta} = \frac{V_0}{2} \frac{RC}{V_1} = \frac{2.7 \cdot 10^4 \cdot 47 \cdot 10^{-9}}{1} = 1.27 \cdot 10^{-3} s$$



$$T_1 = \frac{V_0}{\left| \frac{dV_{u2}}{dt} \right|} = \frac{V_0}{V_2} RC = \frac{5,4}{2} \cdot 10^4 \cdot 47 \cdot 10^9 = 1,27 \text{ ms}$$

$$t_2 = t_1 + T_1 = 2,54 \text{ ms}$$

abbiamo di nuovo $V_{u1} = +V_0 \rightarrow i = -\frac{V_1}{R} \rightarrow \frac{dV_{u2}}{dt} = \frac{V_1}{RC}$

la nuova commutazione si ha quando $V_{u2} = V_T = \frac{V_0}{2} = 2,7 \text{ V}$

$$T_2 = \frac{V_0}{\left| \frac{dV_{u2}}{dt} \right|} = \frac{V_0}{V_1} RC = 2,54 \text{ ms}$$

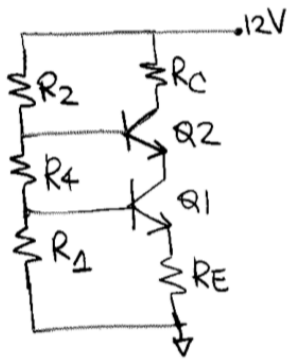
la forma d'onda si ripete in modo periodico $T = T_1 + T_2 = \underline{\underline{3,81 \text{ ms}}}$

$$i = \frac{V_2}{R} \rightarrow \frac{dV_{u2}}{dt} = -\frac{i}{C} = -\frac{V_2}{RC}$$

il trigger di Schmitt commuta a $V_{u2} = V_T = \frac{V_{u1}}{2} = -\frac{V_0}{2} = -2,7 \text{ V}$

Esercizio 3

Punto di RIPOSO



$$V_{B1} = \frac{R_1}{R_1 + R_4 + R_2} V_{CC} = \frac{8}{8 + 27,6 + 18,6} \cdot 12 = 1,77 \text{ V}$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE} = 1,07$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_E} = \frac{1,07}{500} = 2,14 \text{ mA} = I_{C1} = I_{E2} = I_{C2}$$

$$V_{B2} = \frac{(R_1 + R_4) V_{CC}}{R_1 + R_4 + R_2} = \frac{8 + 18,6}{8 + 27,6 + 18,6} \cdot 12 = 5,88 \text{ V}$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 5,18 \text{ V} = V_{C1}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_C I_{C2} = 12 - 1,5 \cdot 2,03 = 8,79 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 3,6 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 4,11 \text{ V}$$

$$h_{fe1} = h_{fe2} = 175 \text{ (prendiamo il valore per } I_C = 1 \text{ mA)}$$

$$r_{\pi 1} = \frac{h_{fe1} \cdot V_T}{I_{C1}} = \frac{175 \cdot 26 \cdot 10^{-3}}{2,03 \cdot 10^{-3}} = 2,126 \text{ k}\Omega = r_{\pi 2}$$

Ricaviamo r_b dai dati sulle caratteristiche per $I_C = 1 \text{ mA}$

$$h_{ie@1\text{mA}} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi@1\text{mA}} = \frac{h_{fe} V_T}{I_C} = \frac{175 \cdot 26}{1} = 4550 \Omega$$

$$r_b@1\text{mA} = h_{ie@1\text{mA}} - r_{\pi@1\text{mA}} = 450 \Omega$$

r_b dipende poco dalla corrente I_C , quindi nel nostro caso prendiamo per buono il valore per 1 mA

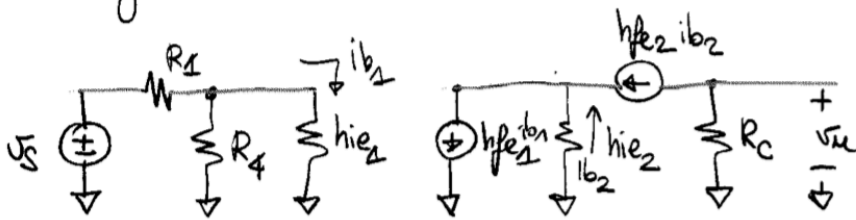
$$h_{ie1} = r_b + r_{\pi 1} = 450 + 2126 = 2576 \Omega = h_{ie2}$$

$$f_T = 140 \text{ MHz}$$

$$C_{\mu 1} = C_{\mu 2} = 5 \text{ pF}$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{\mu 1} + C_{\mu 2})} \rightarrow C_{\pi 1} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{\mu 1} = 88,56 \text{ pF} = C_{\pi 2}$$

Guadagno a centrobanda



$$i_{b1} = v_S \frac{R_4}{(R_1 + R_4 // h_{ie1})(R_4 + h_{ie1})}$$

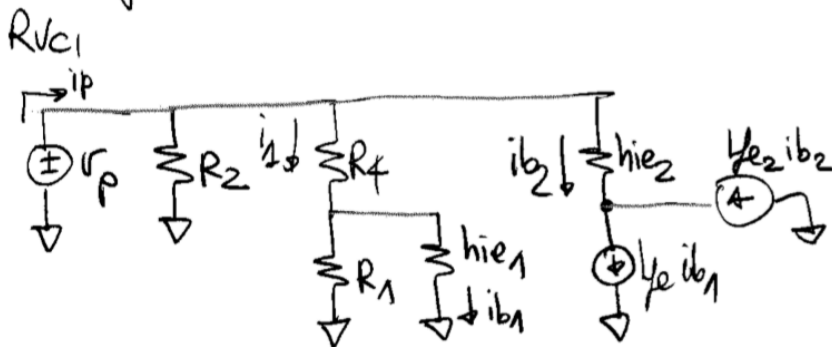
$$i_{b2} = \frac{i_{b1} h_{fe1}}{h_{fe1} + 1}$$

$$v_U = -h_{fe2} i_{b2} R_C$$

$$\rightarrow \frac{v_U}{v_S} = - \frac{R_4 \left(\frac{h_{fe1}}{h_{fe1} + 1} \right) h_{fe2} R_C}{(R_1 + R_4 // h_{ie1})(R_4 + h_{ie1})}$$

$$= \frac{-18600 \left(\frac{175}{176} \right) 175 \cdot 1500}{(8000 + 2263)(18600 + 2576)} = -22.34$$

Limite inferiore di banda



$$i_{b2} = i_{b1} \frac{h_{fe1}}{h_{fe1} + 1} \approx i_{b1}$$

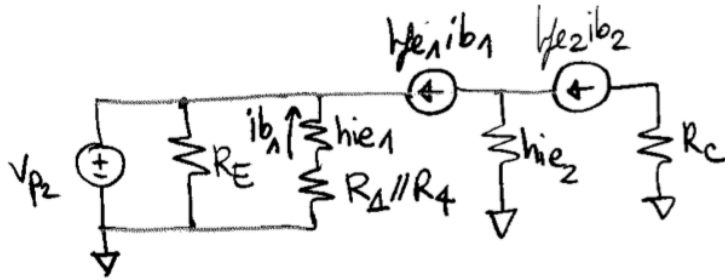
$$i_{b1} = i_1 \cdot \frac{R_1}{R_1 + h_{ie1}}$$

$$i_p = \frac{v_p}{R_2} + i_1 \left[1 + \frac{R_4}{R_1 + h_{ie1}} \right] = \frac{v_p}{R_2} + \frac{v_p}{R_4 + R_1 // h_{ie1}} \frac{(2R_1 + h_{ie1})}{(R_1 + h_{ie1})}$$

$$R_{Vc1} = R_2 // \left[\frac{(R_4 + R_1 // h_{ie1})(R_1 + h_{ie1})}{2R_1 + h_{ie1}} \right] = 27600 // \left[\frac{[(18600 + 8000 // 2576)(8000 + 2576)]}{2 \cdot 8000 + 2576} \right]$$

$$= 8217 \Omega$$

R_{vc2}

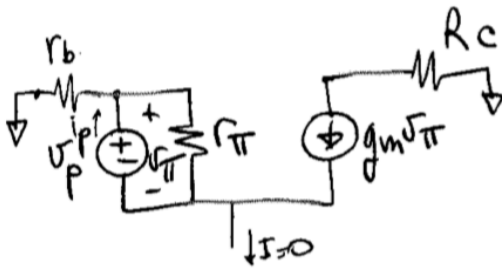


$$R_{vc2} = R_E \parallel \left[\frac{h_{ie1} + R_1 \parallel R_4}{h_{e1} + 1} \right] = 500 \parallel \left[\frac{2576 + 5590}{176} \right] = 42 \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{vc2} C_2} + \frac{1}{R_{vc1} C_1} \right] = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{42 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{8217 \cdot 10^{-7}} \right] = 952 \text{ Hz}$$

Limite superiore di banda

R_{vπ}

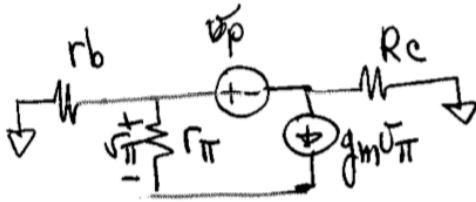


sovrapposizione degli effetti:

$$i_p = \frac{v_p}{r_\pi} + g_m v_p$$

$$\frac{v_p}{i_p} = \frac{r_\pi}{1 + g_m r_\pi} = \frac{2126}{1 + h_e} = 12,08 \Omega$$

R_{yc}



$$v_\pi \rightarrow 0$$

$$R_{yc} = r_b + R_c = 450 + 1500 = 1950 \Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_{v\pi} C_\pi + R_{yc} C_\mu} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{12,08 + 88,56 \cdot 10^{-12} + 1950 \cdot 5 \cdot 10^{-12}} = 14 \text{ MHz}$$