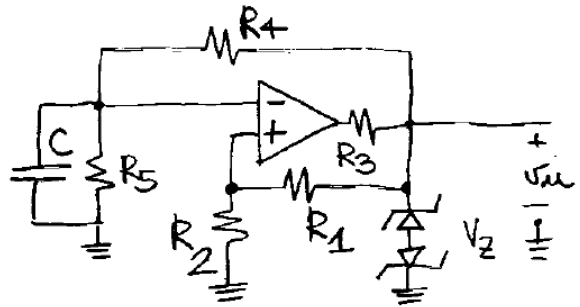


Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
21 febbraio 2019

1. Si supponga di avere a disposizione un amplificatore differenziale con guadagno di tensione a centrobanda $A_v = 100000$ e limite superiore di banda 10 Hz. Si supponga che l'impedenza di ingresso sia 3 K Ω e l'impedenza di uscita 1 K Ω . Si introduca una reazione in modo da ottenere un'impedenza di uscita inferiore a 10 Ω e impedenza d'ingresso inferiore a 100 Ω , giustificando il procedimento. Calcolare la nuova amplificazione a centro banda e il limite superiore di banda.

2. Del generatore d'onda quadra mostrato a lato, calcolare frequenza, ampiezza e duty cycle della forma d'onda in uscita, **giustificando il procedimento**. Disegnare e **quotare**, sullo stesso asse dei tempi, l'andamento delle tensioni di ciascun ingresso dell'operazionale e dell'uscita. $R_1=50$ K Ω , $R_2=R_4=10$ K Ω , $R_5=20$ K Ω , $R_3=1$ K Ω , $C=47$ nF, $V_Z=4.7$

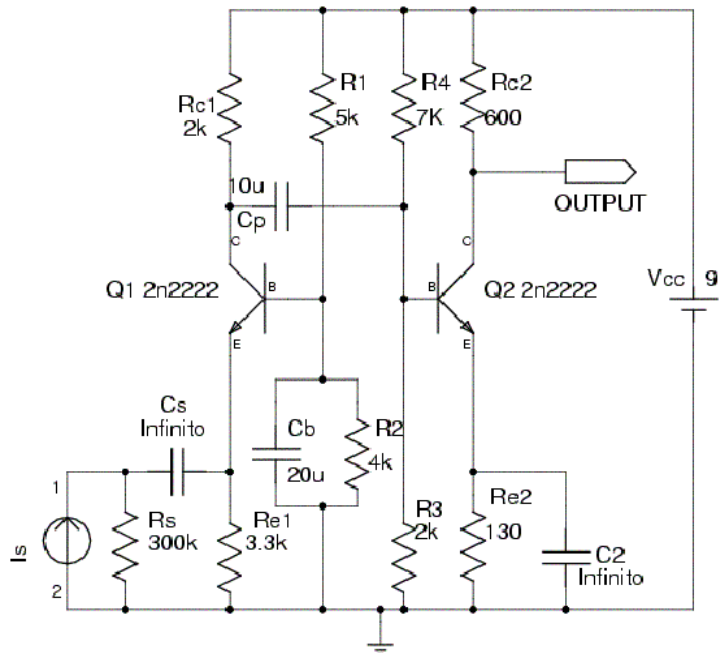


3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori,
- la caratteristica di trasferimento V_u/I_s a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

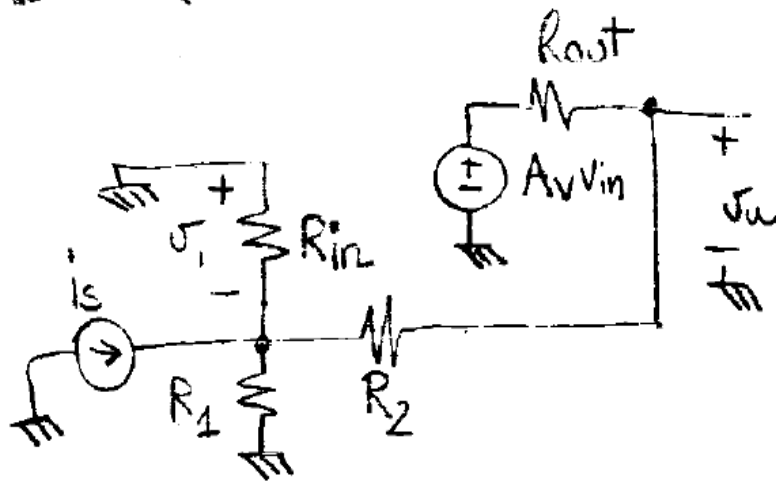
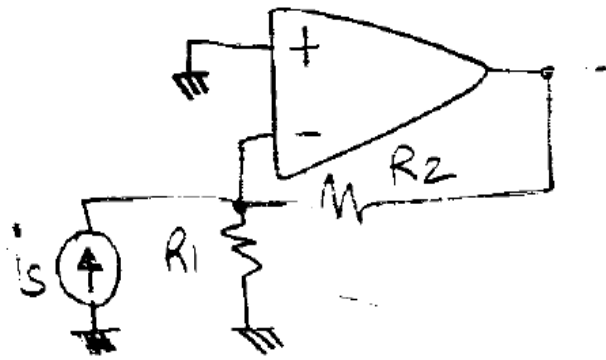
I ipotesi semplificative:

- C_s e C_2 hanno valore infinito (a qualunque frequenza non nulla hanno impedenza nulla).

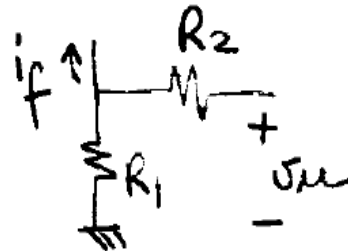


1) dobbiamo effettuare una reazione con prelievo di tensione e inserzione di corrente, per esempio

1



rete per β

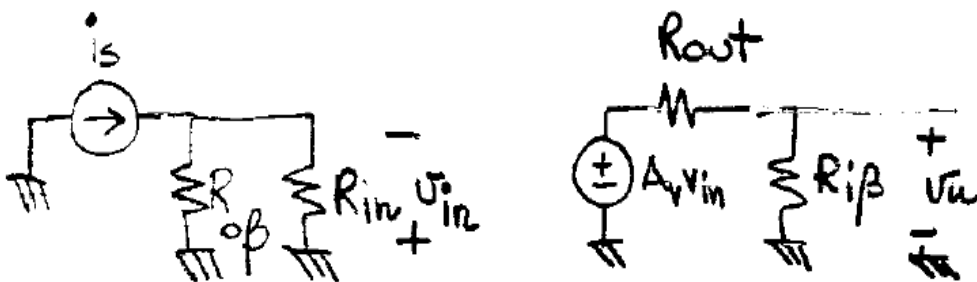


$$\beta = \frac{1}{R_2}$$

$$R_{i\beta} = R_2$$

$$R_{o\beta} = R_1 // R_2$$

rete per A_e



$$A_e = (R_{o\beta} // R_{in}) A_v \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta} + R_{out}}$$

(2)

$$R_{IF} = \frac{R_{o\beta} // R_{in}}{1 - \beta A_e} < 100 \Omega \quad R_{OF} = \frac{R_{i\beta} // R_{out}}{1 - \beta A_e} < 10 \Omega$$

Supponendo che $R_{i\beta} = R_2$ sia \gg di $1 \text{ K}\Omega$, possiamo approssimare $R_{i\beta} // R_{out}$ con $R_{out} = 1 \text{ K}\Omega$. Per soddisfare la condizione su R_{OF} dobbiamo avere $1 - \beta A_e > 100$. Con questo valore $R_{IF} = \frac{R_{o\beta} // R_{in}}{1 - \beta A_e} < \frac{3 \text{ K}}{100} = 30 \Omega < 100 \Omega$,

quindi anche la condizione su R_{IF} è soddisfatta

poniamo

$$\beta A_e \ll -99$$

$$\frac{1}{R_2} (R_{o\beta} // R_{in}) A_v \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta} + R_{out}} \gg 99$$

$$R_{i\beta} = R_1$$

$$R_{o\beta} = R_1 // R_2$$

$$\text{poniamo } R_{i\beta} = 20 \text{ K}\Omega = R_2$$

$$\frac{R_{o\beta} // R_{in}}{R_2} \gg \frac{99}{A_v} \frac{R_{i\beta} + R_{out}}{R_{i\beta}}$$

$$\frac{R_1 // R_2 // R_{in}}{R_2} \gg \frac{99}{10^5} \frac{21}{20} = 1.04 \cdot 10^{-3}$$

se il rapporto è così piccolo vuol dire che $R_1 // R_2 // R_{in} = R_i$

$$\frac{R_1}{R_2} = 1.04 \cdot 10^{-3} \rightarrow \underline{R_1 = 20.1 \Omega}$$

$$R_1 = 20.1 \Omega$$

$$R_{i\beta} = R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$R_{o\beta} = 20 \Omega$$

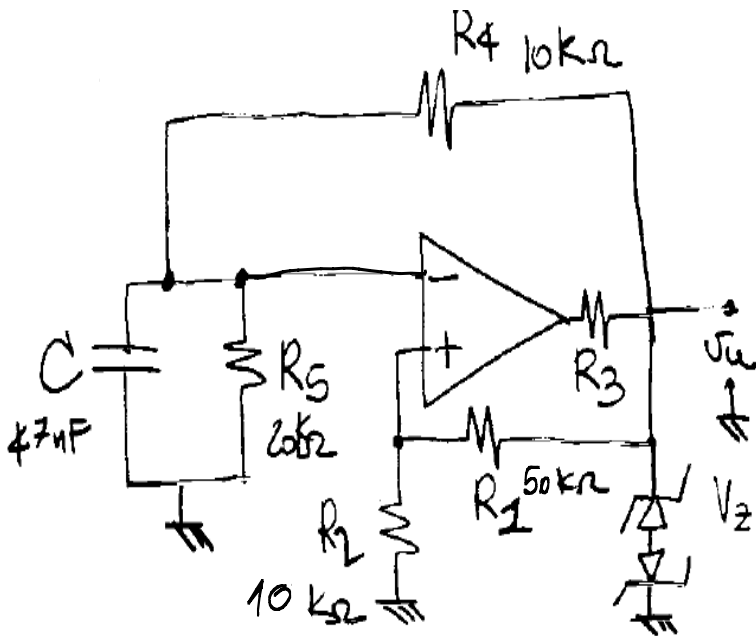
$$\beta A_e = -\frac{1}{10^3} \cdot 10^5 \cdot \frac{20000}{21000} = -95.23$$

$$R_{iF} = 0.21 \Omega$$

$$R_{oF} = 9.9 \Omega$$

$$A_f = \frac{A_e}{1 - \beta A_e} = \frac{95.23 \cdot 20 \cdot 10^3}{96.23} \approx 20 \cdot 10^3$$

Esercizio 2

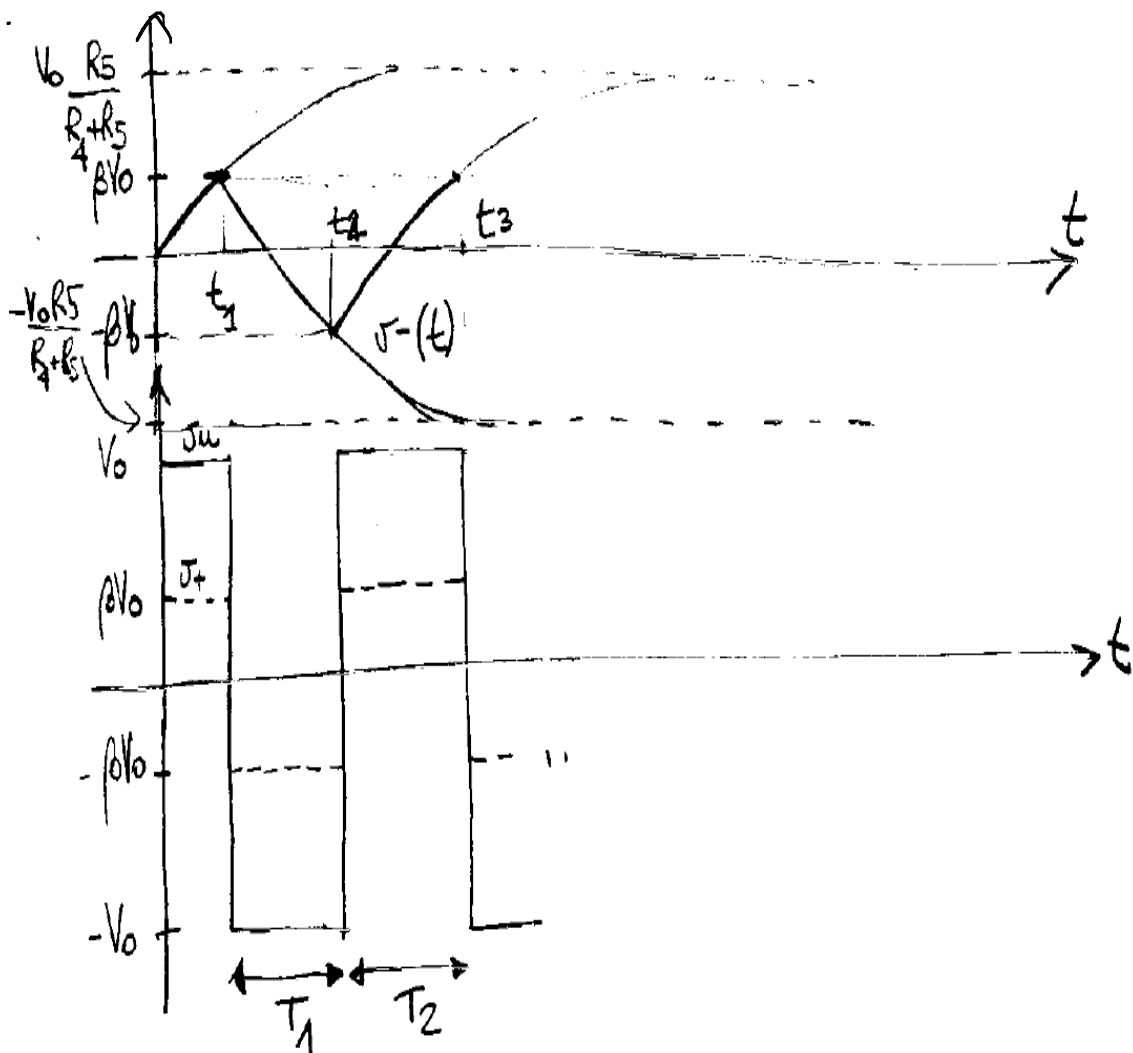


$$V_o = V_z + V_f = 5.4 \text{ V}$$

immaginiamo che per $t=0$ C sia scarico.

$$\tau = (R_4 \parallel R_5) C = 0.28 \text{ ms}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{6}$$



$\frac{T}{2} = T_1 = T_2$ scriviamo $\bar{v}(t)$ tra t_1 e t_2

$$\bar{v}(t) = \beta V_0 + \left(-\beta V_0 - \frac{V_0 R_5}{R_4 + R_5} \right) \left(1 - e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} \right)$$

$$\bar{v}(t_2) = -\beta V_0$$

$$-\beta V_0 = \beta V_0 - \left[\beta V_0 + \frac{R_5 V_0}{R_4 + R_5} \right] \left(1 - e^{-\frac{T}{2\tau}} \right)$$

$$-\beta V_0 = \beta V_0 - \beta V_0 - \frac{R_5}{R_4 + R_5} V_0 + e^{-\frac{T}{2\tau}} \left(\beta V_0 + \frac{R_5 V_0}{R_4 + R_5} \right)$$

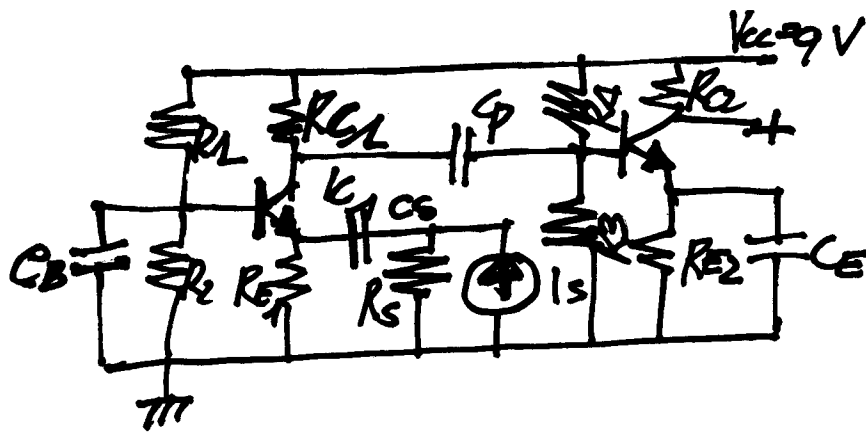
$$-\ln \left[\frac{\frac{R_5}{R_5+R_4} - \beta}{\frac{R_5}{R_5+R_4} + \beta} \right] = \frac{T_1}{\tau} \Rightarrow T_1 = \tau \ln \frac{\beta + \frac{R_5}{R_5+R_4}}{\frac{R_5}{R_4+R_5} - \beta} = \tau \ln \frac{\frac{1}{6} + \frac{2}{3}}{\frac{2}{3} - \frac{1}{6}} =$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{5}{3} = 0.143 \text{ ms}$$

$$T = 2T_1$$

$$T = 0.286 \text{ ms}$$

Punto di Riposo



$$R_5 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CC} = 9 \text{ V}$$

$$I_{R_{12}} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 1 \text{ mA} \rightarrow V_{B_1} = 4 \text{ V}$$

$$V_{E_1} = V_{B_1} - V_{BE} = 3.3 \text{ V}$$

$$I_{E_1} = \frac{V_{E_1}}{R_{E_1}} = 1 \text{ mA} \rightarrow h_{FE} @ 1 \text{ mA} \approx 150 \rightarrow I_{B_1} \approx 6.6 \mu\text{A}$$

$$I_{B_1} \ll I_{R_{12}} \quad \text{Ipotesi: P.E. verificata.}$$

$$V_{C_1} = V_{CC} - R_{C_1} I_{C_1} = 7 \text{ V} \rightarrow V_{CE_1} = 3.7 \text{ V} \quad \text{Zona Attiva Diretta}$$

$$V_{B_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{CC} = 2 \text{ V} \rightarrow V_{E_2} = V_{B_2} - V_{BE} = 1.3 \text{ V}$$

$$I_{E_2} = \frac{V_{E_2}}{R_{E_2}} = 10 \text{ mA} \rightarrow V_{C_2} = V_{CC} - I_{E_2} R_{C_2} = 3 \text{ V}$$

$$V_{CE_2} = 1.7 \text{ V} \quad \text{Zona Attiva Diretta.}$$

$$h_{FE_2} = 200 \rightarrow I_B \approx \frac{I_{C_2}}{h_{FE_2}} = 50 \mu\text{A} \ll I_{R_{34}} \quad \text{Ipotesi: P.E. verificata}$$

$$V_{CB_1} = 3 \text{ V}$$

$$V_{CB_2} = 1 \text{ V}$$

$$R_{E_2} = 130 \Omega \quad (1)$$

$$R_{C_1} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4 \text{ k}\Omega$$

$$R_{E_1} = 3.3 \text{ k}\Omega$$

$$C_p = 10 \mu\text{F}$$

$$C_B = 90 \mu\text{F}$$

$$C_S = \infty \text{ F}$$

$$C_E = \infty \text{ F}$$

$$R_{C_2} = 600 \Omega$$

$$R_3 = 2 \text{ k}\Omega ; R_4 = 7 \text{ k}\Omega$$

Parametri Piccolo Segnale

1 bis

Q1

$$hfe_1 = 175$$

$$r_b = 450 \Omega$$

$$g_{m1} = \frac{I_{c1}}{V_T} \approx 38 \text{ mS}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_{c1}} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 1} = \frac{hfe_1}{g_{m1}} = 4605 \Omega$$

$$r_{i1} = r_b + r_{\pi 1} = 5005 \Omega$$

r_{o1} si può trascurare

$$f_{T1} = 90 \text{ MHz}$$

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

$$C_{\pi 1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{\mu 1} \approx 62 \text{ pF}$$

Q2

$$hfe_2 = 225$$

$$r_b = 165 \Omega$$

$$g_{m2} = \frac{I_{c2}}{V_T} = 380 \text{ mS}$$

$$r_o = 5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 2} = \frac{hfe_2}{g_{m2}} = 592 \Omega$$

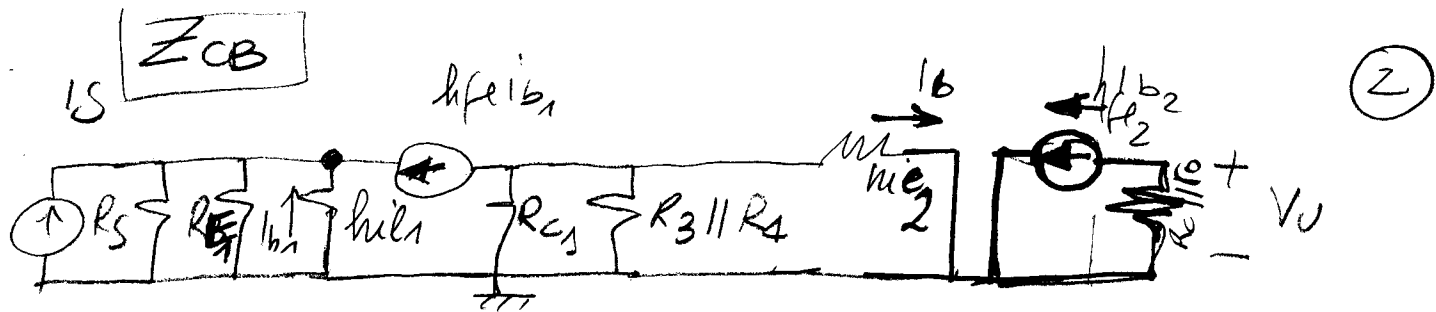
$$r_{i2} = r_b + r_{\pi 2} = 757 \Omega$$

r_{o2} **NON** si può trascurare

$$f_{T2} \approx 290 \text{ MHz}$$

$$C_{\mu 2} = 7 \text{ pF}$$

$$C_{\pi 2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{\mu 2} = 201 \text{ pF}$$



$$-I_{b1} = \frac{I_S R_S \parallel R_{E1}}{(R_S \parallel R_{E1} + \frac{h_{ie1}}{1+h_{fe1}})} \cdot \frac{1}{1+h_{fe1}} = \theta_1 I_S = 5,6 \cdot 10^{-3} I_S$$

$$I_{b2} = \frac{-R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4 h_{fe1} I_{b1}}{R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4 + h_{ie2}} = \theta_2 I_{b1} = 94 I_{b1}$$

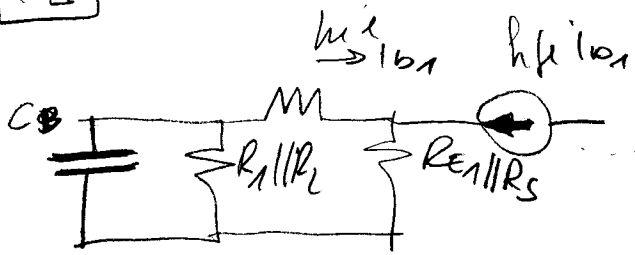
$$V_U = -R_{C2} \parallel R_{L2} h_{fe2} I_{b2} = \theta_3 I_{b2} = 120 \cdot 10^3 \cdot I_{b2}$$

$$\frac{V_U}{I_S} = - \frac{(R_{C2} \parallel R_{L2} h_{fe2}) (R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4 h_{fe1})}{(R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4 + h_{ie2})} \cdot \frac{R_S \parallel R_{E1}}{(1+h_{fe1}) (R_S \parallel R_{E1}) + h_{ie1}} =$$

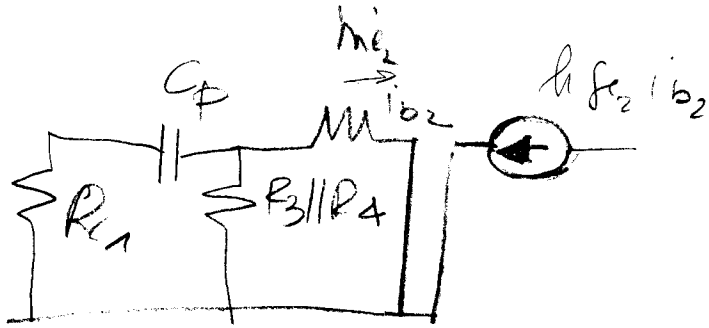
$\approx -54,5 \text{ K}\Omega$ transimpedenza a centro banda

f_L :

(3)

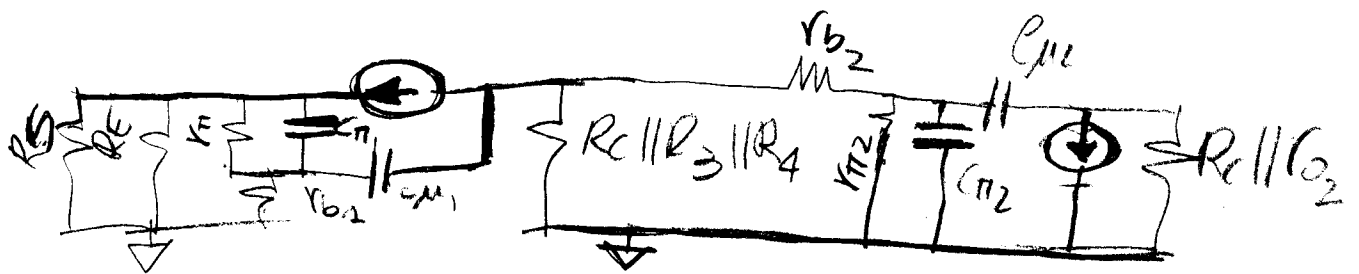


$$R_{VCB} = R_1 \parallel R_2 \parallel (h_{ie1} + (R_{e1} \parallel R_s)(h_{\beta 1} + 1)) = 2213 \Omega$$



$$R_{VCP} = R_{C1} + R_3 \parallel R_4 \parallel h_{ie2} = 2000 \Omega$$

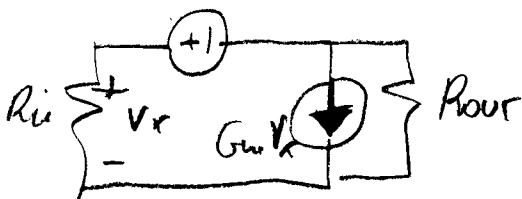
$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{VCB} C_B} + \frac{1}{R_{VCP} C_P} \right] \approx 7.2 \text{ Hz}$$



$$R_{V\pi 1} = \left(\frac{R_s \parallel R_{b1} + R_{e1}}{1 + \beta_{m1} R_s \parallel R_{e1}} \right) \parallel V_{\pi 1} = 29 \Omega$$

$$R_{V\mu 1} = R_{in} + R_{out} + R_{in} R_{out} G_m$$

where:



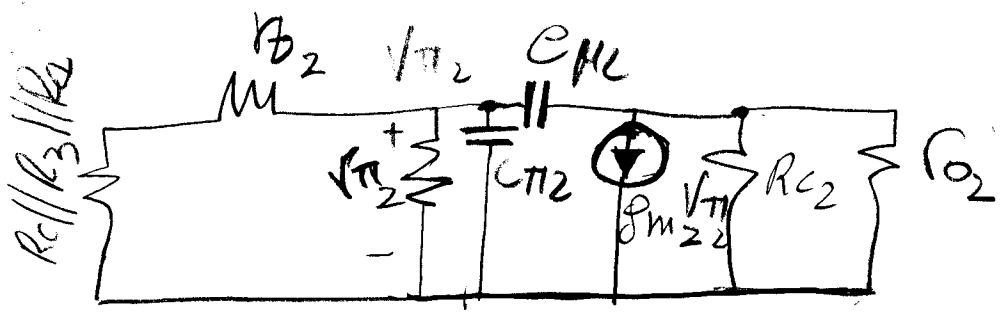
$$R_{in} = R_{b2} \parallel [R_{\pi 2} + R_{e2} \parallel R_s (1 + h_{\beta 2})]$$

$$R_{out} = R_{c2} \parallel R_3 \parallel R_4 \parallel (h_{ie2})$$

$$G_m = \beta_{m2} \frac{1 + R_{e2} \parallel R_s (1 + h_{\beta 2})}{R_{\pi 2}}$$

$$R_{V\mu 1} = 907 \Omega$$

4



$$R_{in}^* = (V_{b_2} + R_{c_1} \parallel R_3 \parallel R_4) \parallel R_{\pi 2}$$

$$R_{out}^* = R_{c_2} \parallel R_{o 2}$$

$$R_{v_{c_{\mu 2}}} = R_{in}^* + R_{\pi 2} \parallel R_{out}^* g_m + R_{out}^* = 78,1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{v_{c_{\pi 2}}} = R_{\pi 2} \parallel [V_{b_2} + R_{c_1} \parallel R_3 \parallel R_4] = 373 \Omega = R_{in}^*$$

Quindi

$$f_H = \frac{1}{2\pi [R_{v_{c_{\mu 2}}} C_{\mu 2} + R_{v_{c_{\pi 2}}} C_{\pi 2} + R_{v_{c_{\mu 2}}} C_{\mu 2} + R_{v_{c_{\pi 2}}} C_{\pi 2}]}$$

$$= 253,17 \text{ KHz}$$