

Esame di Elettronica
 Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
 18 luglio 2007
 Parte A

1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_v = 3000$, $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$, $R_{out} = 100 \Omega$. Si reazioni in modo da ottenere un amplificatore con impedenza di ingresso di $1 \text{ K}\Omega$ (con una tolleranza del 10%) e impedenza di uscita minore di 1Ω . Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le resistenze di ingresso e uscita così ottenute.
2. Disegnare e discutere lo schema circuitale di un filtro che abbia due zeri nell'origine e due poli di valore $s_{p1}, s_{p2} = -1000 \pm j4000 \text{ rad/s}$.
3. Facendo riferimento al modello di Ebers e Moll del transistoro bipolare, ricavare l'espressione della corrente di emettitore nel caso in cui $I_B=0$ e $V_{BE}<0$ in funzione dei parametri caratteristici del modello di Ebers e Moll.
4. Disegnare il circuito di una ROM con il piano AND realizzato con transistori nMOS che realizzi la funzione logica $Y = AB+AC$.

Punteggio totale Parte A: 14.

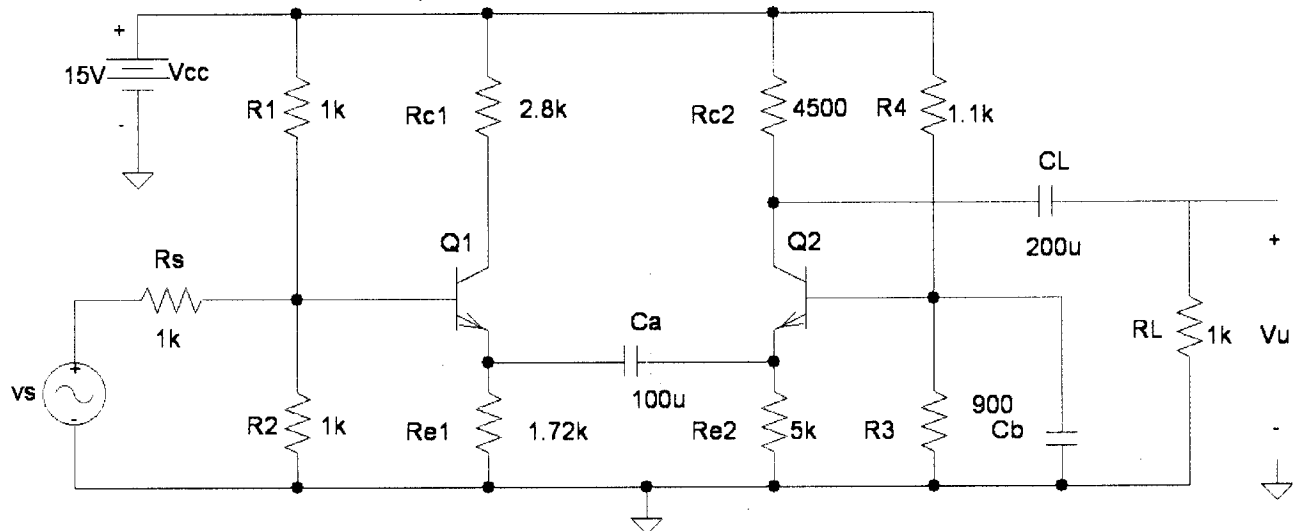
Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, in cui Q1 e Q2 sono BC109B, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

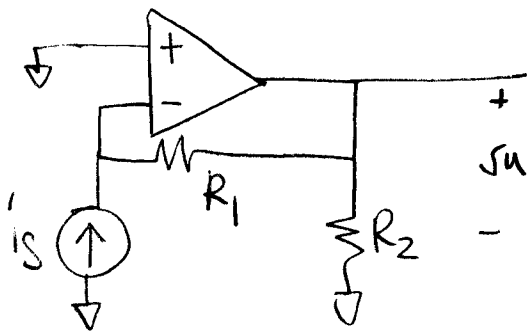
Ipotesi semplificative: Q1 e Q2 hanno $h_{oe}=0$, Q1 è totalmente resistivo; considerare $C_b \rightarrow \infty$

Punteggio totale Parte B: 14.

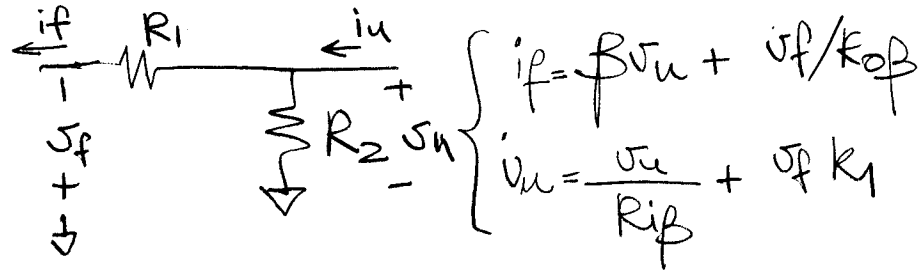


1) È necessario realizzare una reazione con iniezione di corrente e prelievo di tensione

①

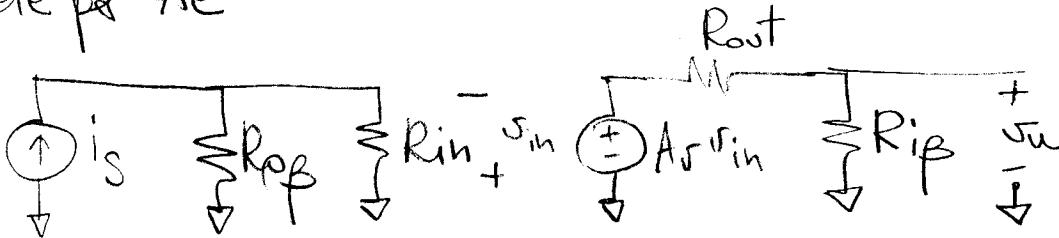


rete per β



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

rete per A_e



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

facciamo l'ipotesi che $\beta A_e \gg 1$

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

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

$$R_{of} < 1 \Omega$$

se' soddisfatta se $R_{in} // R_{of} = R_{in} // R_1 \geq \frac{1}{3} R_1$

quindi $\frac{R_{in} R_1}{R_1 + R_{in}} > \frac{R_1}{3}$

$$3 R_{in} R_1 > R_1^2 + R_1 R_{in}$$

$$\boxed{2 R_{in} > R_1}$$

$$R_{if} = 1 k\Omega$$

$$\frac{R_1 (R_1 // R_2 + R_{out})}{A_v (R_1 // R_2)} = 1000$$

poniamo $R_1 // R_2 = 100 \Omega$

$$\frac{R_1}{A_v} \cdot 2 = 1000 \rightarrow R_1 = \frac{1000 A_v}{2} = 1.5 M\Omega$$

$$R_2 = 100 \Omega$$

calcolo $\beta A_e =$

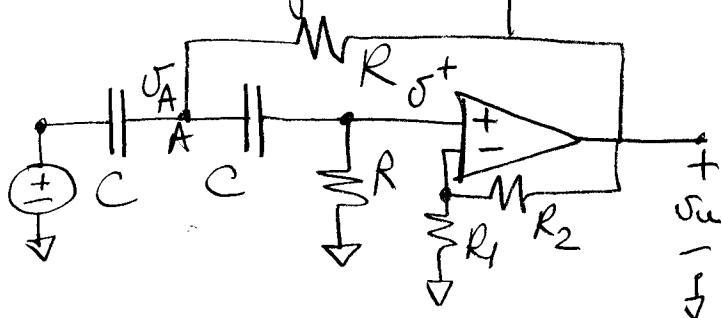
$$\frac{1}{R_1} (R_{in} // R_{of}) A_v \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta} + R_{out}} = \frac{1}{1.5 \cdot 10^6} \left(10^6 // 1.5 \cdot 10^6 \right) \cdot 1000 \cdot \frac{100}{200}$$

calcolo per verifica

$$R_{if} = \frac{R_1 // R_{in}}{1 - \beta A_e} = \frac{0.6 \cdot 10^6}{601} = \underline{999 \Omega}$$

$$R_{of} = \frac{R_{out} // R_1 // R_2}{1 - \beta A_e} = \frac{50}{601} = \underline{0.0832 \Omega}$$

② Si tratta di un filtro biquadratico passa alto



NODA

$$V_A \left(2CS + \frac{1}{R} \right) - V_S CS - V^+ CS - \frac{V_u}{R} = 0$$

$$\frac{V_u}{A} \left(\frac{1}{R} + CS \right) - V^+ CS = 0 \rightarrow V^+ = \frac{V_u}{A} \left(\frac{1}{RCS} + 1 \right)$$

$$V_A = \frac{V_u}{A} \left(\frac{1}{RCS} + 1 \right) = \frac{V_u}{A} \frac{1+RCS}{RCS}$$

$$\frac{V_u}{A} \frac{1+RCS}{RCS} (2RCS+1) - V_S RCS + \frac{V_u}{A} RCS - V_u = 0$$

$$V_u \left[\left(1 + 3RCS + 2RCS^2 - RCS^2 - ARCS \right) \right] = ARCS^2 V_S$$

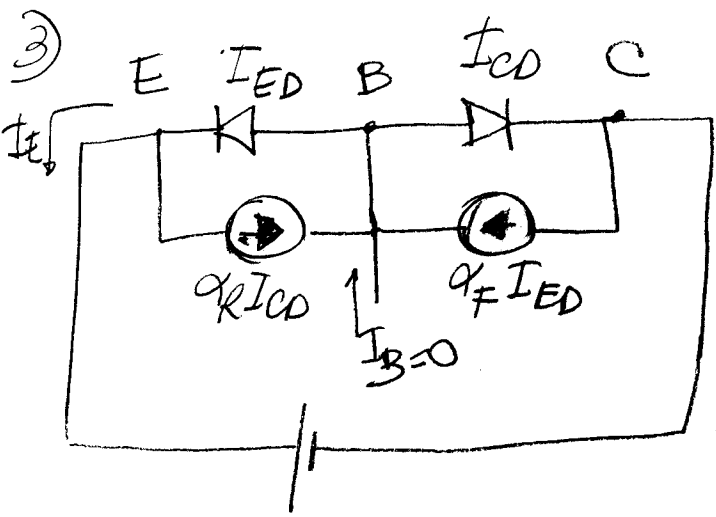
$$\frac{V_u}{V_S} = \frac{A RCS^2}{RCS^2 + (3-A)RCS + 1} = \frac{A \frac{s^2}{\omega_0^2}}{\left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 + \frac{1}{Q} \frac{s}{\omega_0} + 1}$$

$$\omega_0 = \sqrt{1000^2 + 4000^2} = 4123 \text{ rad/s}$$

$$Q = \frac{1}{3-A} = \frac{1}{2 \cos \phi} = \frac{1}{2 \cdot \frac{1000}{4123}} = 2.06 \rightarrow A = 2.51$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \rightarrow C = 1 \mu F \rightarrow R = \frac{1}{\omega_0 C} = 242 \Omega$$

- $R_1 = 1000 \Omega$
- $R_2 = 1.510 \text{ k}\Omega$



$V_{CE} < 0$
quindi $I_{ED} = -I_{ES}$

$$I_E = I_{ED} - \alpha_R I_{CD} = -I_{ES} - \alpha_R I_{CD}$$

$$= -I_{CD} + \alpha_F I_{ED} = -I_{CD} - \alpha_F I_{ES}$$

da cui

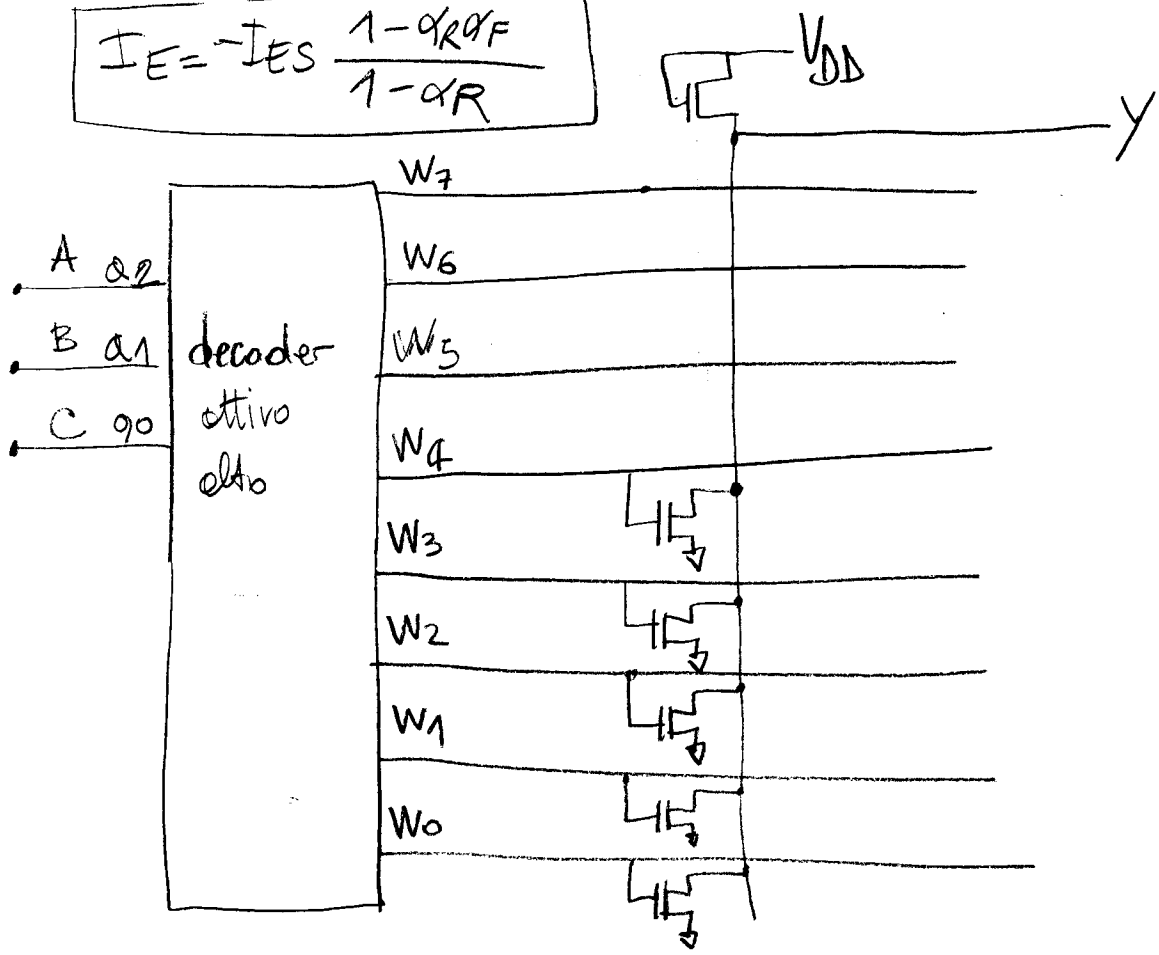
$$(1 - \alpha_F) I_{ES} = (1 - \alpha_R) I_{CD}$$

$$I_{CD} = \frac{(1 - \alpha_F)}{(1 - \alpha_R)} I_{ES}$$

$$I_E = -I_{ES} \left[\frac{1 + \alpha_R (1 - \alpha_F)}{1 - \alpha_R} \right] = -I_{ES} \left[\frac{1 - \alpha_R + \alpha_R - \alpha_R \alpha_F}{1 - \alpha_R} \right]$$

$$I_E = -I_{ES} \frac{1 - \alpha_R \alpha_F}{1 - \alpha_R}$$

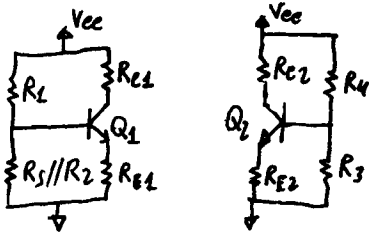
4)



ABC	Y
000	0
001	0
010	0
011	0
100	0
101	1
110	1
111	1

PARTE B

PUNTO DI RIPOSO



IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{B1} = V_{cc} \frac{R_2 // R_1}{R_1 + R_2 // R_1} = 5V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE} = 4,3V$$

$$I_{E1} \cong \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = 2,5mA \Rightarrow V_{C1} = V_{cc} - R_{C1} I_{C1} = 8V$$

$$V_{B2} = V_{cc} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6,7V$$

IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

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

$$I_{E2} \cong \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 1,2mA$$

$$V_{C2} = V_{cc} - R_{C2} I_{C2} = 9,6V$$

Q1: $V_{CE1} = 3,7V$
 $I_{C1} = 2,5mA$
 $\beta_{FE1} \cong 1 \cdot 290 = 290$

Q2: $V_{CE2} = 3,6V$
 $I_{C2} = 1,2mA$
 $\beta_{FE2} \cong 0,9 \cdot 290 = 261$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q1

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_{FE1}} \cong 8,62\mu A \Rightarrow \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2 // R_1} = 10mA \gg I_{B1}$$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q2

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_{FE2}} \cong 4,6\mu A \Rightarrow \frac{V_{cc}}{R_3 + R_4} = 7,5mA \gg I_{B2}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE

$$\beta_{FE1} = \beta_{FE2} = \beta_{FE} = 300$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 96,2m\Omega^{-1} \quad g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 46,2m\Omega^{-1}$$

$$r_{ie} @ 2mA = r_{e'1} @ 2mA + r_{bb'} = \frac{V_T}{2mA} \beta_{FE} + r_{bb'} \Rightarrow r_{bb'} = 900\Omega$$

$$r_{e'11} = \frac{\beta_{FE}}{g_{m1}} \cong 3,12K\Omega$$

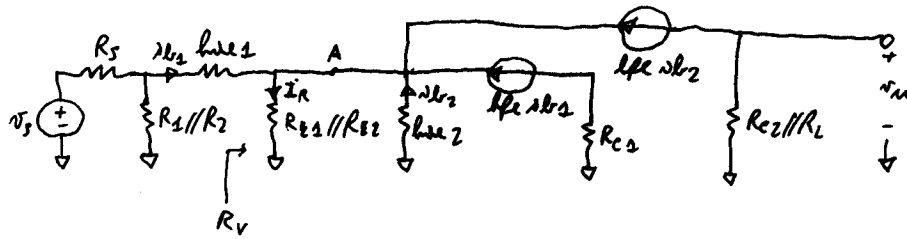
$$r_{e'12} = \frac{\beta_{FE}}{g_{m2}} \cong 6,5K\Omega$$

$$f_{T1} \cong 150MHz$$

$$f_{T2} \cong 130MHz$$

$$C_{b'e2} (V_{CE2} = 3,6V) \cong 5,5pF \Rightarrow C_{b'e2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{b'e2} \cong 51pF$$

GUADAGNO A CENTROBANDA



$$V_m = -\beta_{FE} i_{B2} (R_{C2} // R_L)$$

$$\text{Legge al nodo A: } (\beta_{FE} + 1) i_{B1} + (\beta_{FE} + 1) i_{B2} = i_R = \frac{-i_{E2} \beta_{FE}}{R_{E1} // R_{E2}} \Rightarrow$$

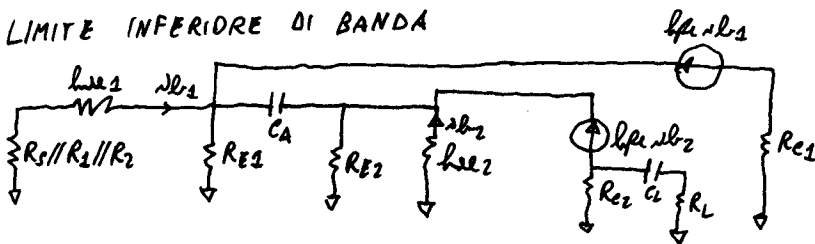
$$\Rightarrow i_{B2} = -i_{B1} \frac{(R_{C1} // R_{C2})(\beta_{FE} + 1)}{i_{E2} \beta_{FE} + (R_{E1} // R_{E2})(\beta_{FE} + 1)}$$

$$R_V = \frac{V_{R2}}{i_{B1}} = \frac{-i_{B2} i_{E2}}{i_{B1}} = i_{E2} \frac{(R_{C1} // R_{C2})(\beta_{FE} + 1)}{i_{E2} \beta_{FE} + (R_{E1} // R_{E2})(\beta_{FE} + 1)} \approx 7,26 \text{ K}\Omega$$

$$i_{B1} = \frac{V_S}{R_S + R_1 // R_2 // (i_{B1} \beta_{FE} + R_V)} \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + i_{B1} \beta_{FE} + R_V} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{v0} = \frac{V_m}{V_S} = \frac{\beta_{FE} (R_{C2} // R_L)}{R_S + R_1 // R_2 // (i_{B1} \beta_{FE} + R_V)} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + i_{B1} \beta_{FE} + R_V} \cdot \frac{R_V}{i_{E2} \beta_{FE}} \approx 6,93$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA

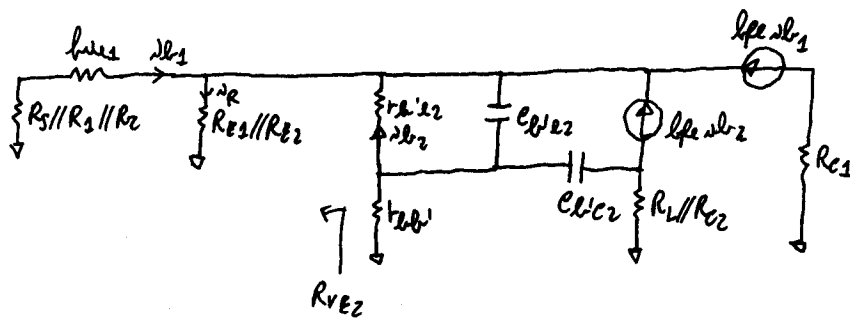


$$R_{VEA} \Big|_{C_A \text{ cc}} = R_{E1} // \left[\frac{i_{B1} \beta_{FE} + R_S // R_1 // R_2}{\beta_{FE} + 1} \right] + R_{E2} // \left[\frac{i_{E2} \beta_{FE}}{\beta_{FE} + 1} \right] \approx 37,72 \Omega$$

$$R_{VEL} \Big|_{C_A \text{ cc}} = R_{C2} + R_L = 5,5 \text{ K}\Omega$$

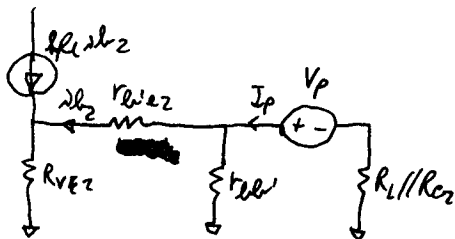
$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{R_{VEA} \cdot C_A} + \frac{1}{R_{VEL} \cdot C_L} \right) \approx 42,34 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{\mu e2} = R_{e3} // R_{e2} // \left[\frac{R_{\mu e2} + R_s // R_3 // R_2}{\beta + 1} \right] \approx 14,3 \Omega$$

$$R_{\nu e2} = r_{\pi 2}' // \left[\frac{R_{\mu e2} + r_{\pi 2}'}{1 + \frac{(\beta + 1)}{r_{\pi 2}'} (R_{\mu e2} + r_{\pi 2}')} \right] \approx 21,03 \Omega$$



$$R_{\nu e2} = \frac{V_p}{I_p} = \left\{ R_{i1} // R_{o2} + r_{\pi 2}' // \left[r_{\pi 2}' + R_{\nu e2} (\beta + 1) \right] \right\} \approx 818,18 \Omega$$

$$f_H = \frac{1/2\pi}{R_{\nu e2} C_{\mu e2} + R_{\nu e2} \cdot C_{c2}} \approx 28,56 \text{ MHz}$$