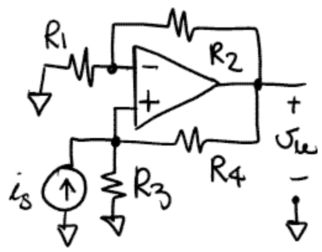
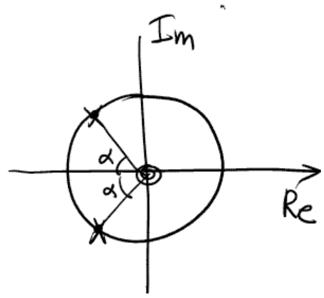
Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
11 giugno 2015

1. Calcolare la funzione di trasferimento e la resistenza di ingresso del circuito mostrato a lato. Supponiamo che l'amplificatore sia un amplificatore di tensione ideale con amplificazione A_v infinita, impedenza di ingresso infinita e impedenza di uscita nulla. Siano $R_1 = 10$ KΩ, $R_2 = R_4 = 100$ KΩ, $R_3 = 1$ KΩ.



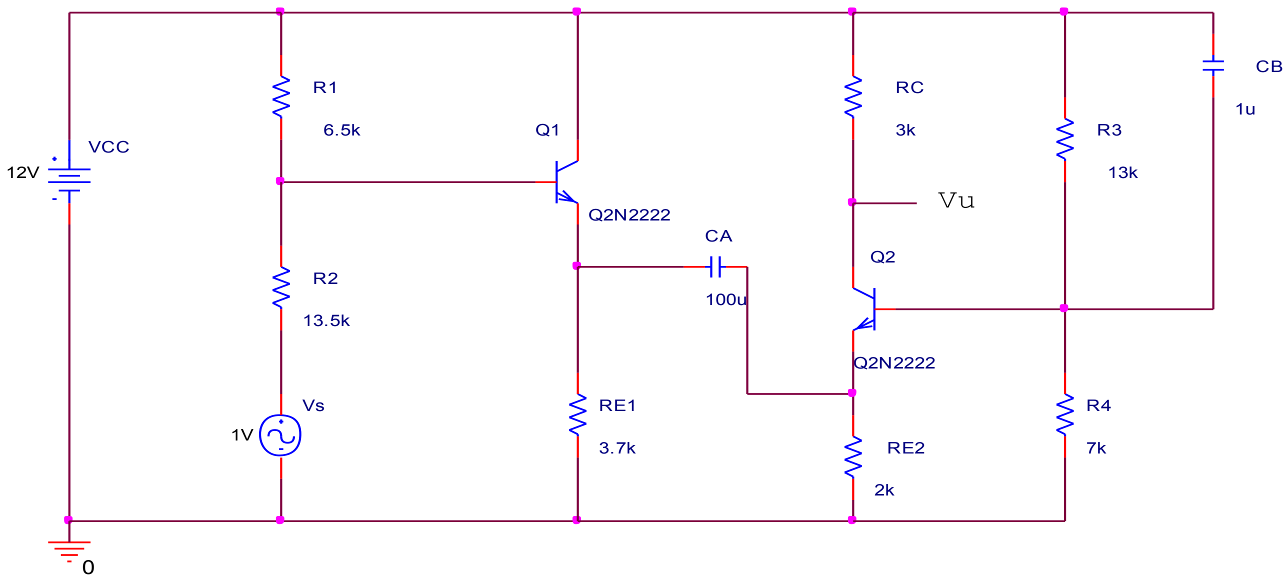
2. Realizzare e quotare i componenti di un filtro che abbia le singolarità mostrate a lato. Due zeri sono nell'origine, i due poli hanno modulo 3000 rad/s e formano un angolo α con l'asse reale di π/4.



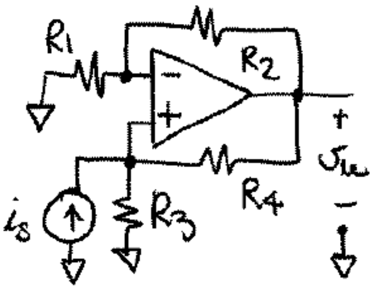
3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

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

Assunzioni semplificative: considerare per Q1 e Q2 $h_{oe}=0$
considerare Q1 completamente resistivo



1)



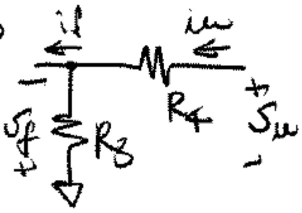
$R_1 = 10\,K\Omega$

$R_2 = R_4 = 100\,K\Omega$

$R_3 = 1\,K\Omega$

prelievo di tensione e inserzione di corrente

rete per il β

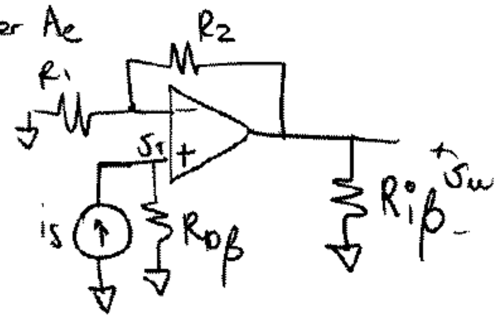


$i_f = \beta v_u + R_{o\beta} v_f$

$i_u = \dfrac{v_u}{R_{i\beta}} + \cancel{v_f}$

$$\beta = \left.\frac{i_f}{v_u}\right|_{v_f=0} = \frac{1}{R_4}\,;\quad R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{v_u=0} = R_3 /\!/ R_4\,;\quad R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = R_4$$

rete per Ae



il circuito composto dall'A.O., R_1 e R_2 è un amplificatore NON invertente

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 11$$

$v_+ = R_{o\beta}\, i_s \quad \rightarrow \quad v_u = A v_+$

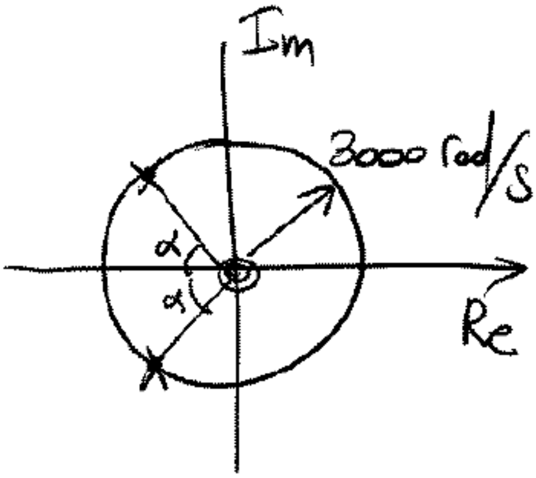
$$A_e = \left.\frac{v_u}{i_s}\right|_{\beta=0} = A R_{o\beta} = 10.89\,K\Omega$$

$$1 - \beta A_e = 1 - \frac{10.89}{100} = 0.89$$

$$R_{IF} = \frac{R_{o\beta}}{(1-\beta A_e)} = \frac{0.99}{0.89} = \underline{1.12\,K\Omega}$$

$$A_F = \frac{v_u}{i_s} = \frac{A_e}{1-\beta A_e} = \frac{11}{0.89} = \underline{\underline{12.36\,K\Omega}}$$

Esercizio 2

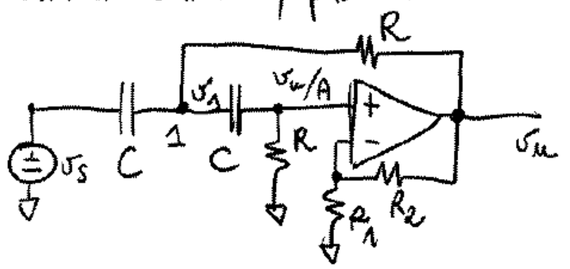


Si tratta di un filtro passa alto che si può realizzare con una cella di Sallen Key

$$H(s) = \frac{H_\infty s^2/\omega_0^2}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{\omega_0 Q} + 1}$$

con $\omega_0 = 3000$ rad/s ; $Q = \frac{1}{2\cos\alpha} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.71$

cella di Sallen-Key passa alto



$A = 1 + R_2/R_1$

scriviamo l'equazione al nodo 1:

$$v_1\left[2Cs + \frac{1}{R}\right] - Cs\,v_S - \frac{v_u}{A}Cs - \frac{v_u}{R} = 0$$

e la relazione tra v_1 e v_u/A

$$\frac{v_u}{A} = \frac{RCs}{RCs+1}v_1 \rightarrow v_1 = \frac{RCs+1}{RCs}\frac{v_u}{A}$$

sostituiamo nella prima

$$\frac{RCs+1}{RCs}\frac{v_u}{A}(1+2RCs) - RCs\,v_S - \frac{v_u}{A}RCs - v_u = 0$$

$$v_u\left[2R^2C^2s^2 + 3RCs + 1\right] - AR^2C^2s^2 v_S - v_u R^2C^2s^2 - v_u ARCs = 0$$

$$H = \frac{v_u}{v_S} = \frac{AR^2C^2s^2}{R^2C^2s^2 + (3-A)RCs + 1}$$

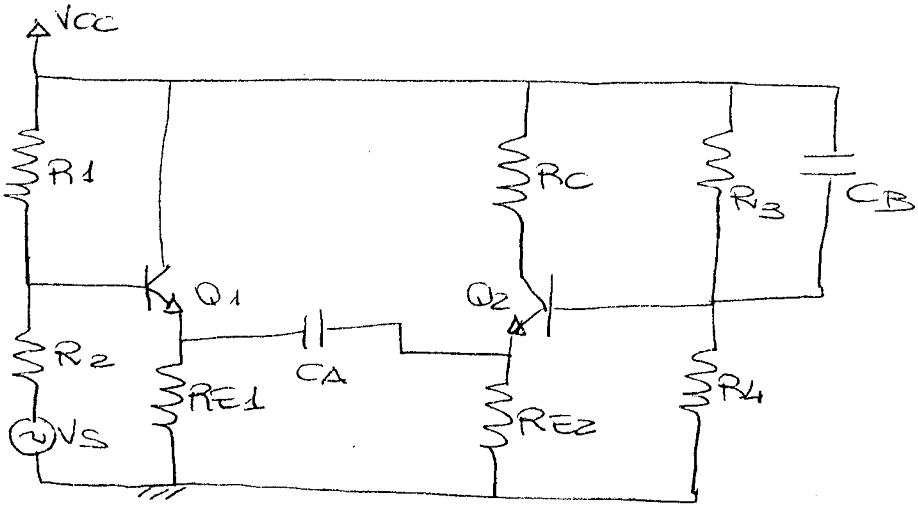
quindi $\omega_0 = \frac{1}{RC} = 3000$ rad/s $\rightarrow$ scegliamo $C = 100$ nF

$R = \frac{1}{3\cdot 10^3 \cdot 10^{-7}} = \frac{1}{3\cdot 10^{-4}} = 3{,}33\,k\Omega$

$3 - A = \frac{1}{Q} = 1{,}41 \rightarrow A = 1{,}59 \rightarrow R_1 = 10\,k\Omega$

$R_2 = 59\,k\Omega$

PARTE B



$V_{CC} = 12\,V$
$R1 = 6{,}5\,k\Omega$
$R2 = 13{,}5\,k\Omega$
$R3 = 13\,k\Omega$
$R4 = 7\,k\Omega$
$RE1 = 3{,}7\,k\Omega$
$RE2 = 2\,k\Omega$
$RC = 3\,k\Omega$
$CA = 100\,\mu F$
$CB = 1\,\mu F$

$h_{oe1} = 0$
$h_{oe2} = \phi$
Q1: resistivo

PUNTO DI RIPOSO

Ipotesi di lavoro:

- Q1 ZONA ATTIVA DIRETTA
- Q2 ZONA ATTIVA DIRETTA
- Partitore Pesante: $I_{R12} \gg I_{B1}$
  $I_{R34} \gg I_{B2}$

Q1:

$$V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 8{,}1\,V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 7{,}4\,V$$

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

$$I_{C1} \simeq I_{E1}$$

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} = \frac{2\,mA}{155} = 12{,}9\,\mu A$$

h_{FE} @ 2mA $\cong 155$ (da caratteristiche)

$$I_{R12} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 0{,}6\,mA \gg I_{B1} \rightarrow$$ Ipotesi Partitore Pesante Verificata

$V_{CE1} = V_{CC} - V_{E1} = 4{,}6\,V \rightarrow$ Ipotesi Q_1 ZONA ATTIVA DIRETTA Verificata

$V_{CB1} = (12 - 8{,}1)\,V = 3{,}9\,V$

Q_2:

$$V_{B2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{CC} = 4{,}2\,V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{\gamma} = 3{,}5\,V$$

$$I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 1{,}75\,mA$$

$$I_{C2} \simeq I_{E2}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE2}} = \frac{1{,}75\,mA}{150} = 11{,}67\,\mu A$$

h_{FE} @ $1{,}75\,mA \simeq 150$ (da caratteristiche)

$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = (V_{CC} - R_C I_{C2}) - V_{E2} = 3{,}25\,V \rightarrow$

$\rightarrow$ Ipotesi Q_2 ZONA ATTIVA DIRETTA Verificata

$$I_{R_{3,4}} = \frac{V_{CC}}{R_3 + R_4} = 0{,}6\,mA \gg I_{B2} \rightarrow$$ Ipotesi Partitore Pesante Verificata

$V_{CB2} = V_{C2} - V_{B2} = (6{,}75 - 4{,}2)\,V = 2{,}55\,V$

PARAMETRI PICCOLO SEGNALE

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 76{,}9\ mS$$

$h_{fe1} \cong 175$

$r_{b1} = 450\ \Omega$

$$r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{C1}} h_{fe1} = 2{,}275\ k\Omega \ @\ 2mA$$

$h_{ie1} @ 2mA = 2{,}725\ k\Omega$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 67{,}3\ mS$$

$r_{b2} = 450\ \Omega$

$h_{fe2} \cong 175$

$$r_{\pi 2} = \frac{V_T}{I_{C2}} h_{fe2} = 2{,}6\ k\Omega$$

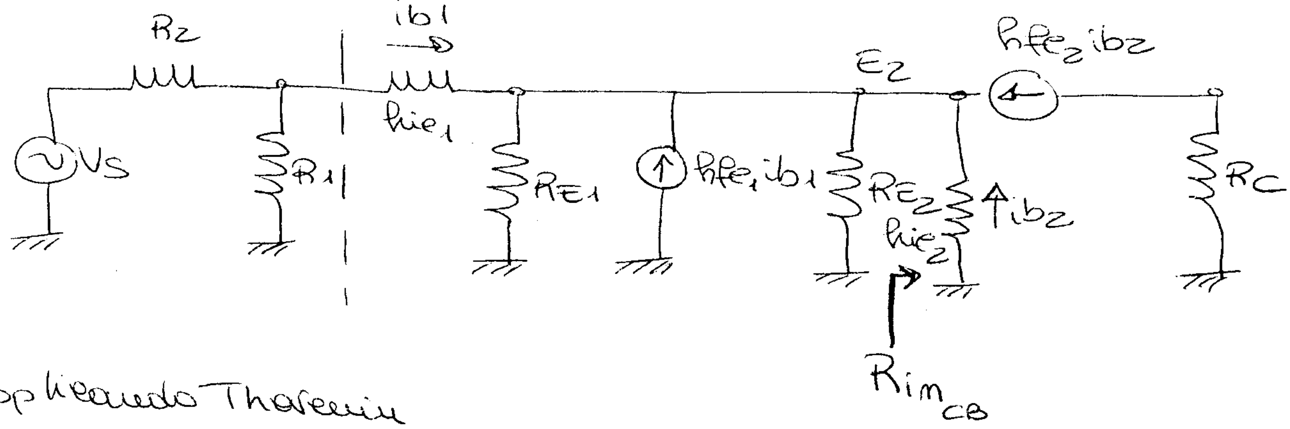
$$h_{ie2} = r_{b2} + \frac{V_T}{I_{C2}} h_{fe2} = 3{,}05\ k\Omega$$

$f_T = 130\ MHz$

$C_{\mu 2} = 5{,}7\ pF$

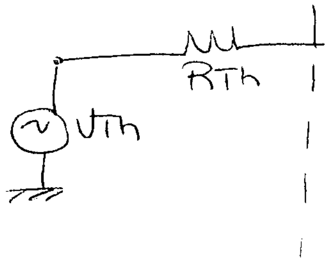
$$C_{\pi 2} = \frac{g_{m2}}{2 \cdot \pi f_T} - C_{\mu 2} = 76{,}69\ pF$$

AMPLIFICAZIONE A CENTRO BANDA



Applicando Thevenin

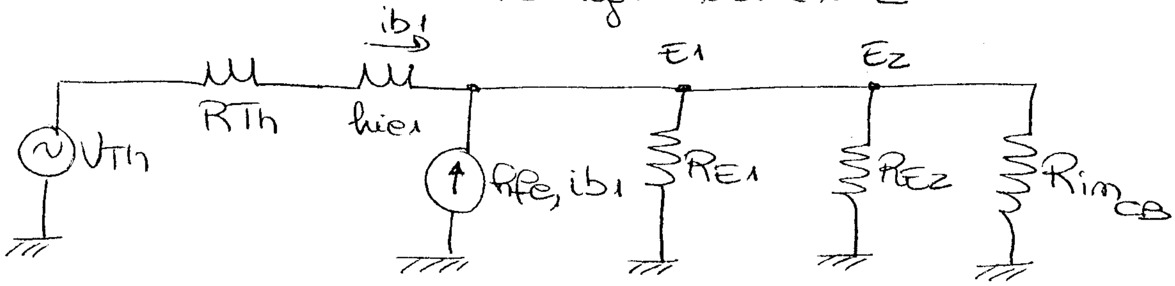
$$V_{Th} = V_s \frac{R_1}{R_1+R_2}$$



$$R_{Th} = R_1 // R_2$$

$$V_u = -h_{fe_2} i_{b_2} R_C$$

Cerco una relazione che leghi i_{b1} e i_{b2}



dove $R_{in_{CB}} = \dfrac{h_{ie_2}}{h_{fe_2}+1}$ (RESISTENZA INGRESSO CB)

$$V_{E1} = V_{E2} = (h_{fe1}+1)\, i_{b1} \left(R_{E1} // R_{E2} // R_{in_{CB}}\right)$$

$$i_{b2} = -\frac{V_{E2}}{h_{ie_2}} = -i_{b1} \frac{(h_{fe1}+1)}{h_{ie_2}} \left(R_{E1} // R_{E2} // \frac{h_{ie_2}}{h_{fe_2}+1}\right)$$

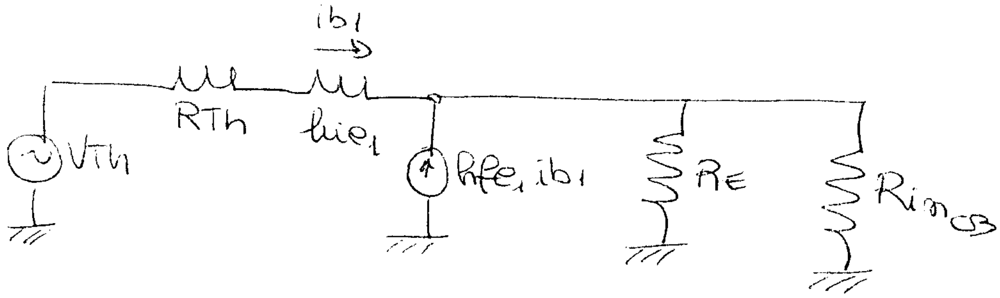
posto $R_E \triangleq R_{E1} // R_{E2}$

si ottiene

$$i_{b_2} = -i_{b1} \frac{(h_{fe1}+1)}{h_{ie2}} \left(R_E // \frac{h_{ie_2}}{h_{fe_2}+1}\right)$$

$$i_{b_2} = -i_{b1} \frac{(h_{fe1}+1)}{h_{fe_2}+1+\dfrac{h_{ie_2}}{R_E}}$$

Infine occorre una ulteriore relazione che leghi i_{b1} e V_s



$$V_{Th} = (R_{Th} + h_{ie1})\, i_{b1} + (R_E // R_{in_{CB}})(h_{fe1}+1)\, i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{V_{Th}}{\left[R_{Th} + h_{ie1} + (R_E // R_{in_{CB}})(h_{fe1}+1)\right]}$$

Sostituendo

$$AV_{CB} = \frac{V_u}{V_s} = h_{fe2} R_C \frac{h_{fe1}+1}{h_{fe2}+1+\frac{h_{ie2}}{R_E}} \; \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot \frac{1}{\left[(R_1 \| R_2) + h_{ie1} + (R_E // R_{in_{CB}})(h_{fe1}+1\right.}$$

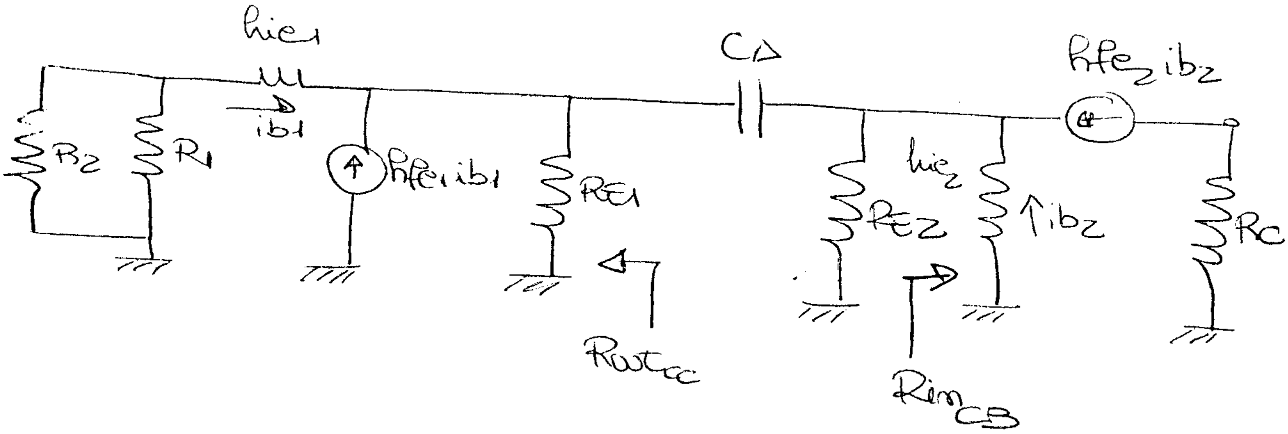
$= 16{,}65$

FREQUENZA DI TAGLIO INFERIORE

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{V_{CA}} C_A} + \frac{1}{R_{V_{CB}} C_B}\right]$$

Dobbiamo calcolare le resistenze viste da CA e CB

CA



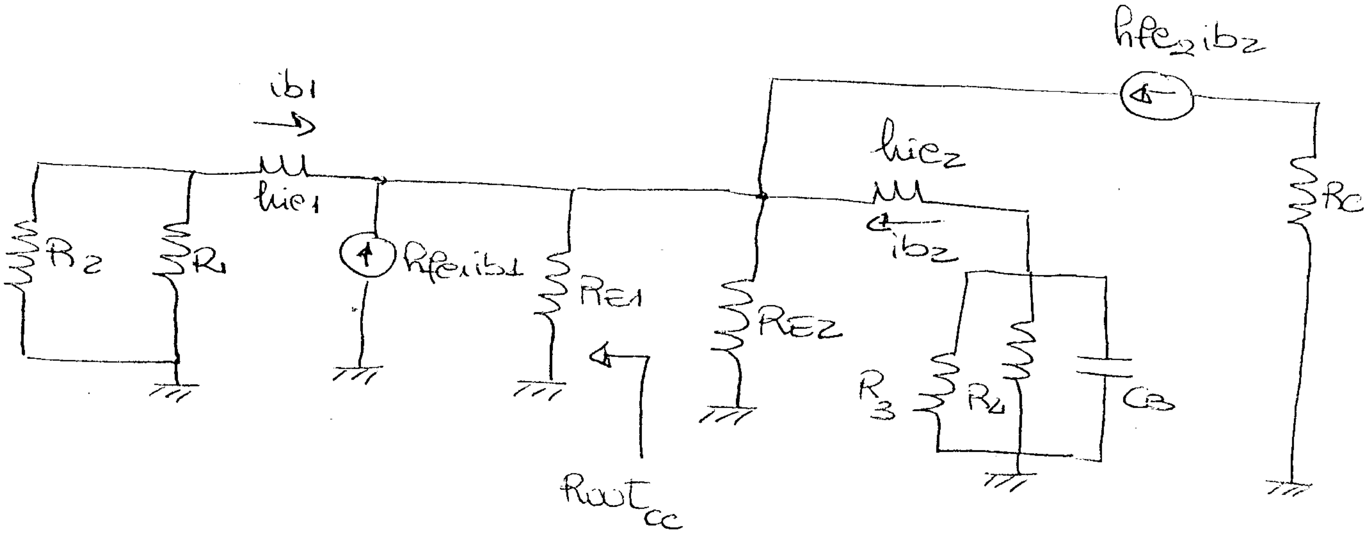
$Rout_{CC}$ = RESISTENZA DI USCITA STADIO CC

Rin_{CB} = RESISTENZA DI INGRESSO STADIO CB

$$R_{V_{CA}} = Rout_{CC} + Rin_{CB}$$

$$R_{V_{CA}} = \left[R_{E1} // \frac{h_{ie1} + R_1//R_2}{h_{fe1}+1}\right] + \left[R_{E2} // \frac{h_{ie2}}{h_{fe2}+1}\right] = 57\,\Omega$$

CB

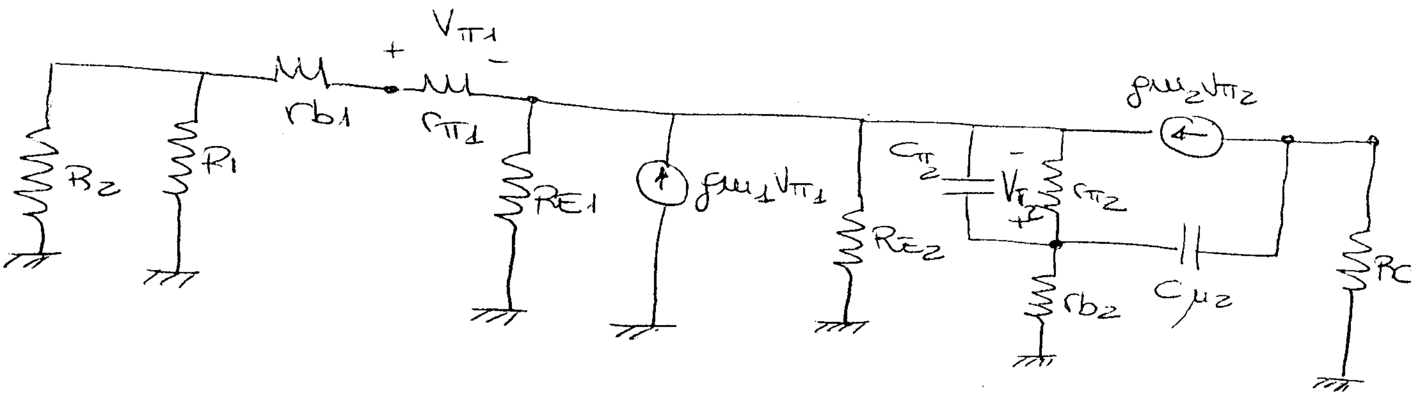


$$R_{V_{CB}} = (R_3 // R_4) + \left[(R_{E2} // R_{OUT_{CC}})(h_{fe1}+1) + h_{ie2} \right] = 14.55\ K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{V_{CB}} C_B} + \frac{1}{R_{V_{CA}} C_A} \right] = 38.86\ Hz$$

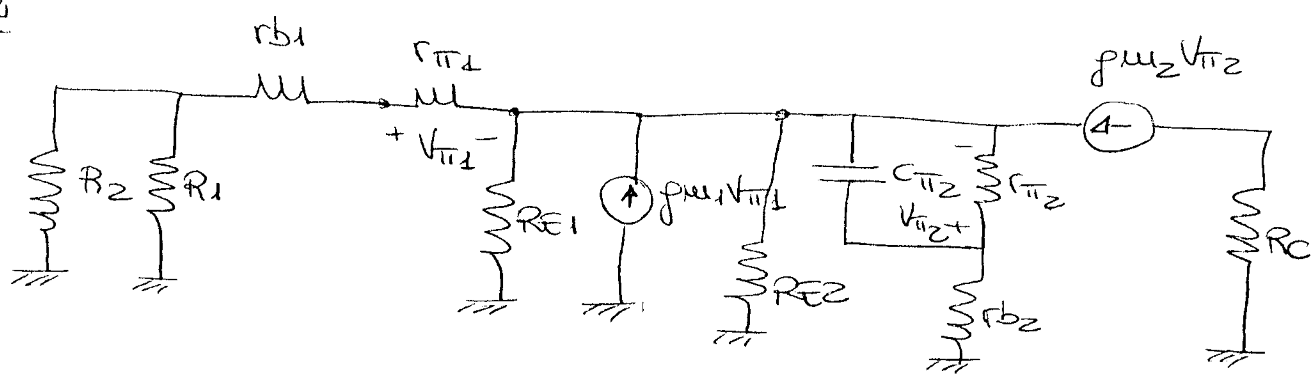
FREQUENZA DI TAGLIO SUPERIORE

CIRCUITO ALLE ALTE FREQUENZE

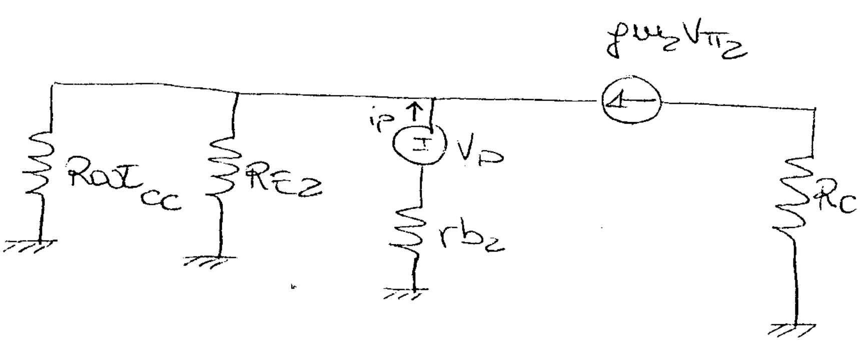


$$f_H = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{V C\mu 2} C_{\mu 2} + R_{V C\pi 2} C_{\pi 2}}\right]$$

$R_{V C\pi 2}$



Tolgo la $r_{\pi 2}$ che metterò poi in parallelo e inserisco le generatore di prova V_p



$V_{\pi 2} = -V_p$

Con i versi scelti

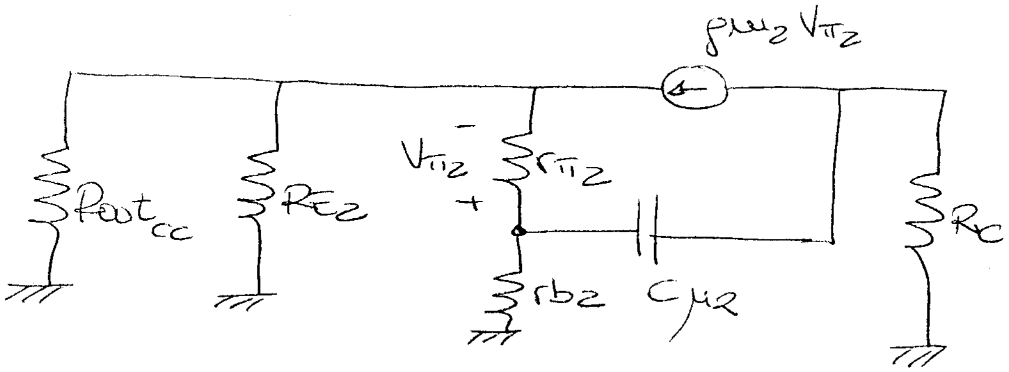
$$V_p = i_p\, r_{b2} + (Rout_{cc} // R_{E2})(i_p + g_{m2} V_{\pi 2})$$

$$V_p = i_p\, r_{b2} + (Rout_{cc} // R_{E2})(i_p - g_{m2} V_p)$$

$$\frac{V_p}{i_p} = \frac{r_{b2} + (Rout_{cc} // R_{E2})}{1 + (Rout_{cc} // R_{E2})\, g_{m2}}$$

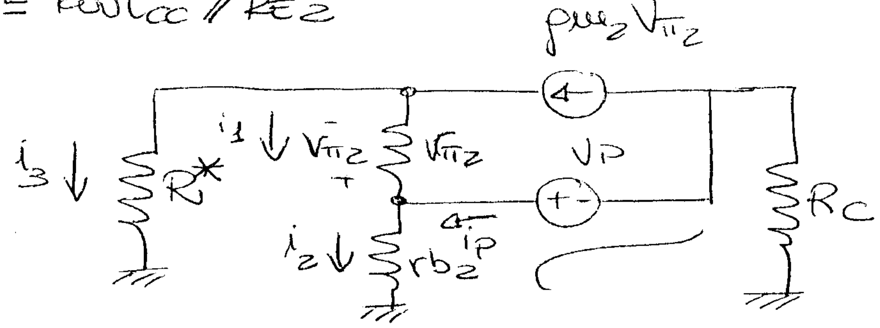
$$R_{VC\pi_2} = r_{\pi 2} \,//\, \left[\frac{r_{b2} + R_{out_{cc}} // R_{E2}}{1 + g_{m2}\left(R_{out_{cc}} // R_{E2} \right)} \right] = 128\ \Omega$$

$R_{VC\mu_2}$



Metto V_p generatore di prova.

$R^* \triangleq R_{out_{cc}} // R_{E2}$



EQ. ALLA MAGLIA SEGNATA

$$V_P = i_2 r_{b2} + R_C \left(g_{m2} V_{\pi 2} + i_P \right)$$

$$R^* i_3 = i_1 r_{\pi 2} + i_2 r_{b2}$$

$$i_2 = i_1 + i_P$$

$$i_3 = g_{m2} V_{\pi 2} - i_1$$

$$V_{\pi 2} = - i_1 r_{\pi 2}$$

$$R^* \left(g_{m2} V_{\pi 2} - i_1 \right) = i_1 r_{\pi 2} + \left(i_1 + i_P \right) r_{b2}$$

$$i_1 = - \frac{i_P r_{b2}}{r_{\pi 2} + R^* \left(1 + g_{m2} r_{\pi 2} \right) + r_{b2}}$$

$$i_2 = i_1 + i_P$$

$$V_P = r_{b2} \left(i_1 + i_P \right) + R_C \left(- g_{m2} r_{\pi 2} i_1 + i_P \right)$$

$$V_P = i_P \left(r_{b2} + R_C \right) + \left(r_{b2} - R_C g_{m2} r_{\pi 2} \right) i_1$$

$$R_{V_{C\mu 2}} = \frac{V_p}{i_p} = r_{b2} + R_C + \frac{r_{b2}\left(R_C\, g_{m2}\, r_{\pi 2} - r_{b2}\right)}{R^{*}\left(1 + g_{m2}\, r_{\pi 2}\right) + r_{\pi 2} + r_{b2}} = 27\,\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{V_{C\mu 2}} C_{\mu 2} + R_{V_{C\pi 2}} C_{\pi 2}}\right] = 0{,}965\ \mathrm{MHz}$$