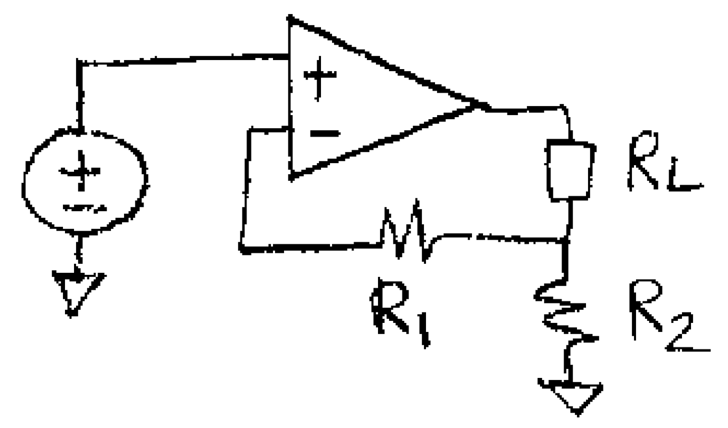
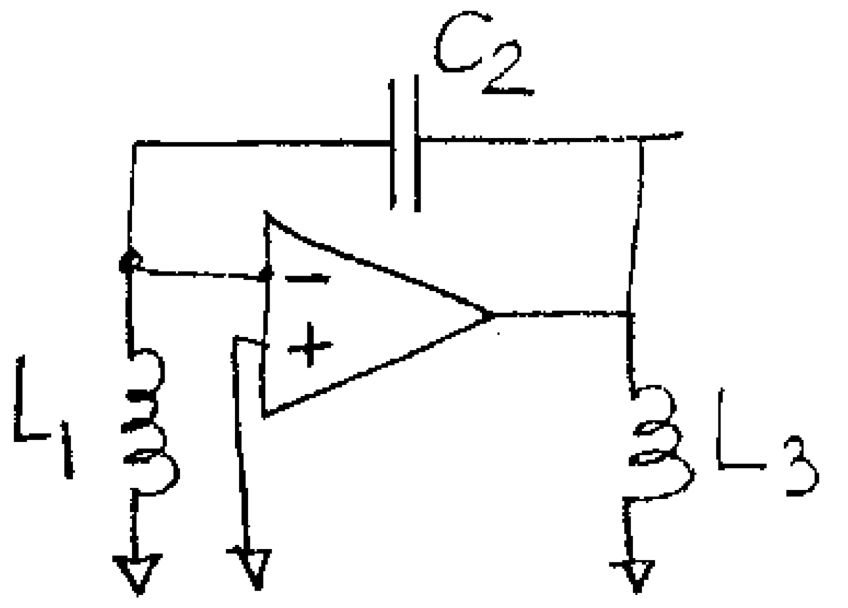
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
27 gennaio 2005

Parte A

1. Si consideri il circuito a lato, in cui l'amplificatore ha $A_{VO}=10^3$, $R_{in} = 1\ M\Omega$, $R_{out} = 200\ \Omega$, polo sp=-1000 rad/s. Sia $R_L = 5\ K\Omega$, $R_1 = 10\ K\Omega$, $R_2 = 20\ K\Omega$. Calcolare la funzione di trasferimento del circuito, il limite superiore di banda, la resistenza di ingresso e la resistenza di uscita.



2. Sia dato il circuito mostrato a lato. Verificare le condizioni di innesco dell'oscillazione ed, eventualmente, la frequenza di oscillazione. L'amplificazione ha amplificazione di tensione pari a 10, resistenza di ingresso infinita e resistenza di uscita 1 KΩ. (L_1 = 1 μH, L_3 = 1 μH. C_2 = 0.47 nF). Ricavare esplicitamente l'espressione del guadagno d'anello del circuito.



3. Descrivere un ~~circuito~~ filtro che abbia due poli di valore sp1, sp2 = -1000 ± j 5000 rad/s e valore del modulo della funzione di trasferimento nella banda passante pari a 100. Disegnare il circuito, ricavando l'espressione della funzione di trasferimento, e calcolare i valori dei componenti richiesti.

4. Disegnare e quotare il circuito della porta logica complessa a quattro ingressi la cui uscita sia 1 se e solo se almeno due dei quattro ingressi sono zero. Utilizzare il minimo numero di transistori.

Punteggio totale Parte A: 14

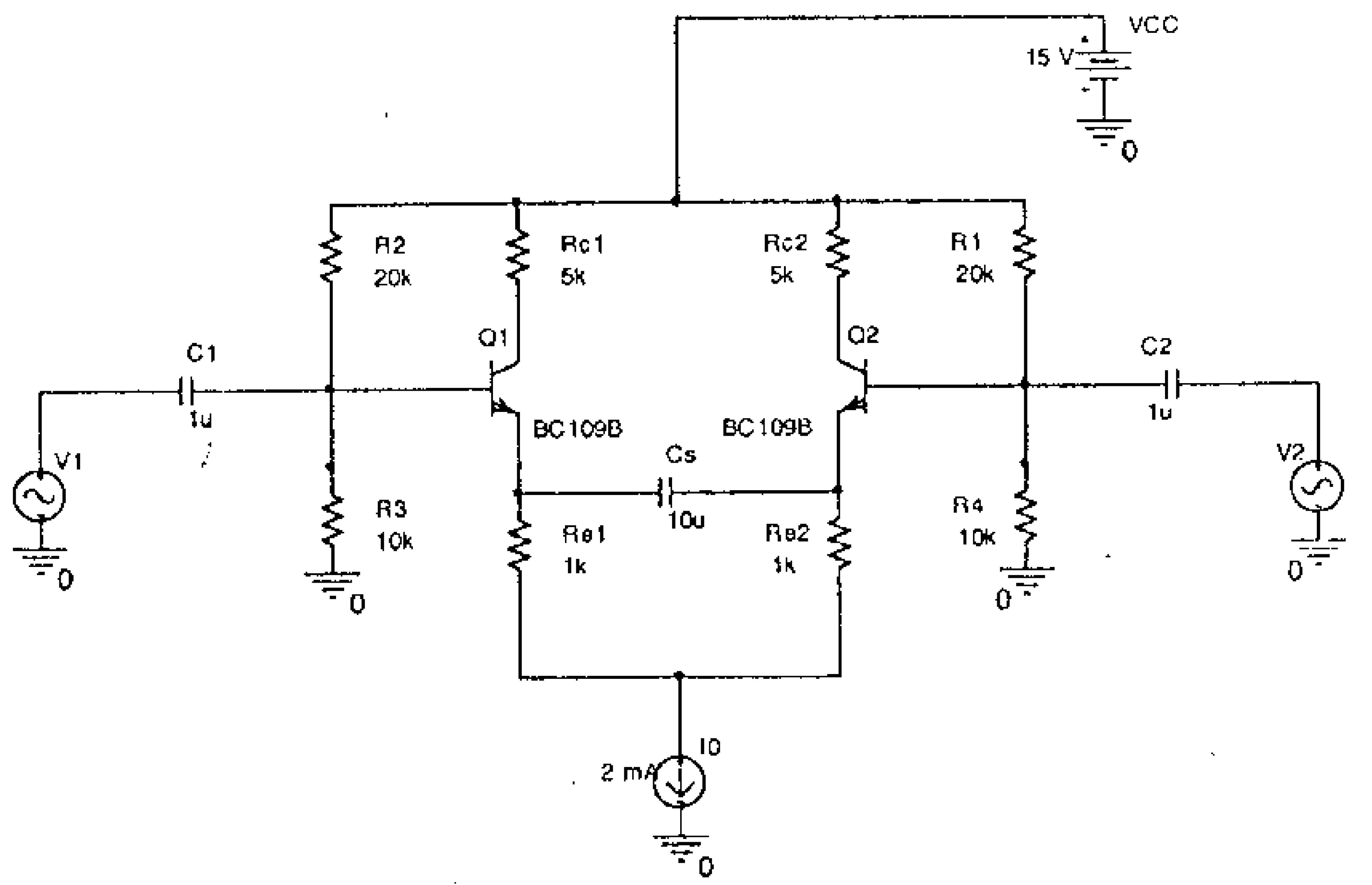
Parte B

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 inferiore di banda
- il limite superiore di banda

Fare le seguenti ipotesi semplificative:
hoe=0, hre=0.

Punteggio totale Parte B: 14/30



1. $R_{in} = 1\,M\Omega$

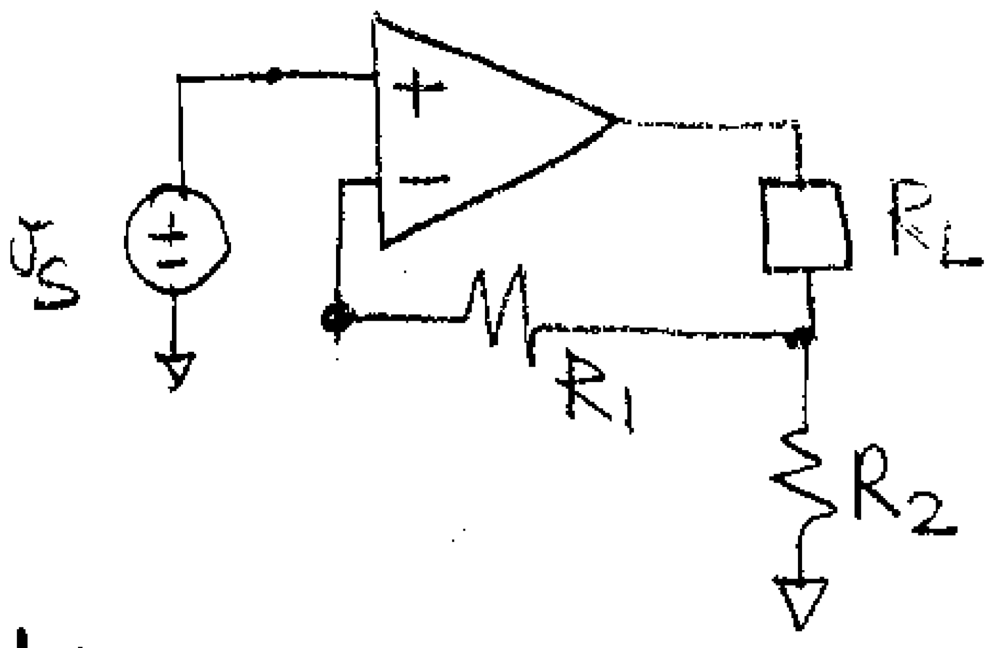
$R_{out} = 200\,\Omega$

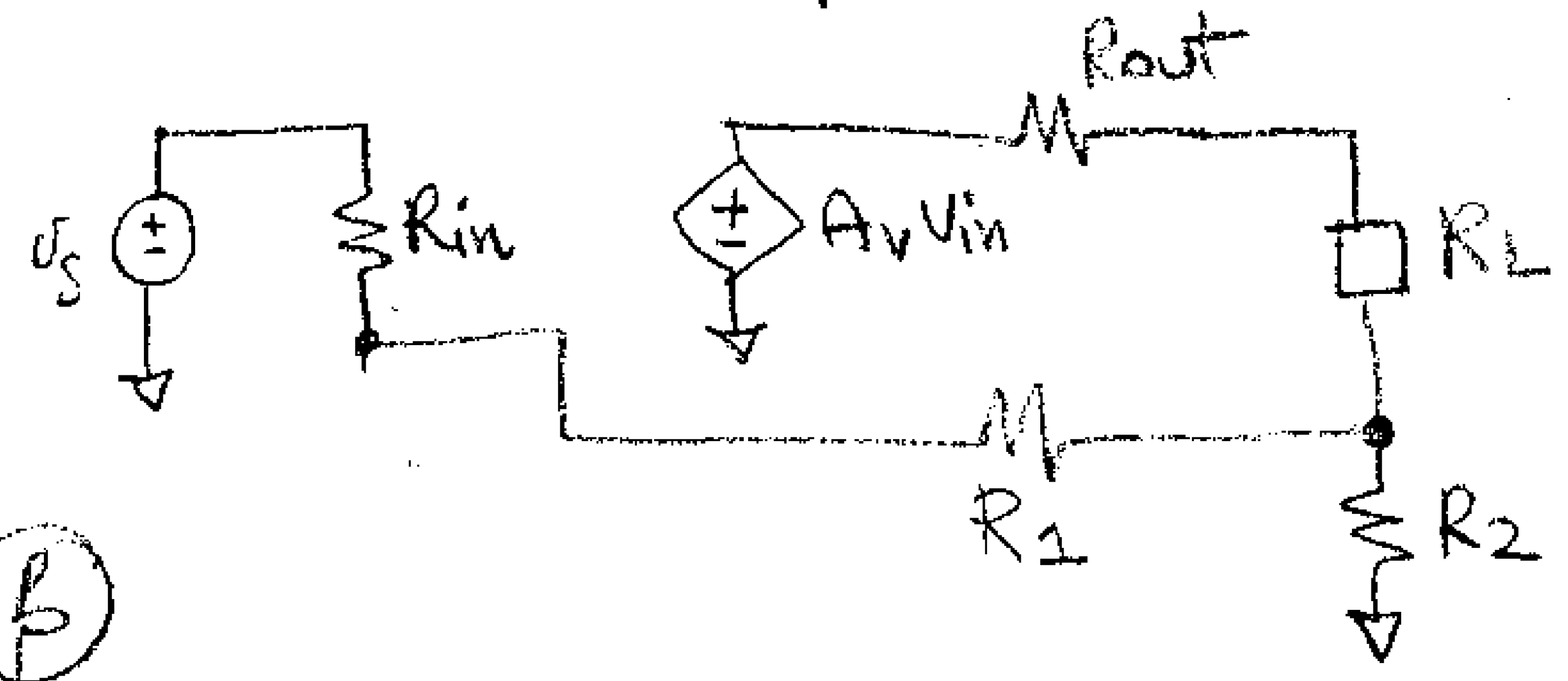
$R_L = 5K\Omega$

$R_1 = 10k\Omega$

$R_2 = 20k\Omega$

$A_V = 1000$ $\quad S_p = -1000\,rad/s$

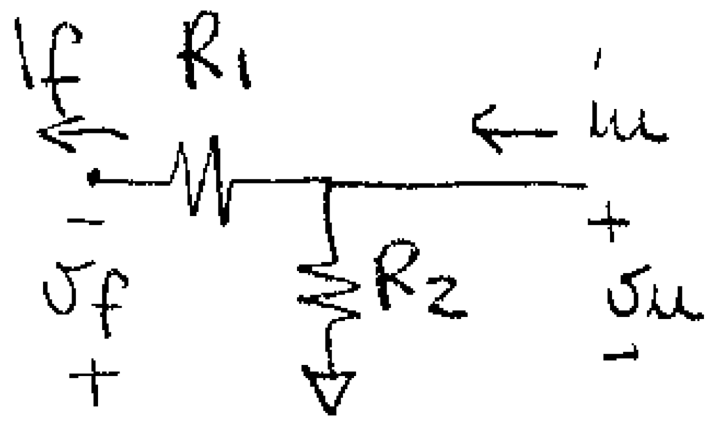




prelievo di corrente

inserzione di tensione

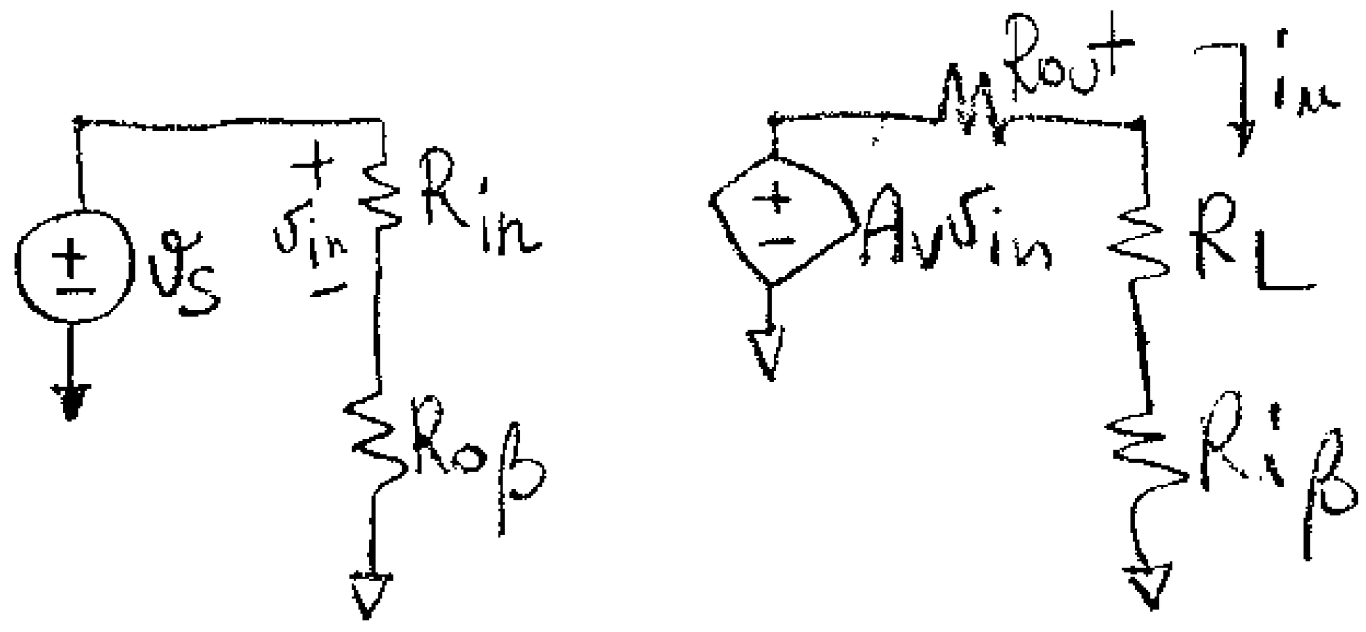
β



$$v_f = \beta i_u + R_{o\beta} i_f$$
$$v_u = R_{i\beta} i_u + \cancel{k\, i_f}$$

$$\beta = \left.\frac{v_f}{i_u}\right|_{i_f=0} = -R_2 \; ; \quad R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_1 + R_2 ; \quad R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{i_f=0} = R_2$$

A_e



$$v_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}} v_S$$

$$i_u = \frac{A_v v_{in}}{R_{out}+R_L+R_{i\beta}}$$

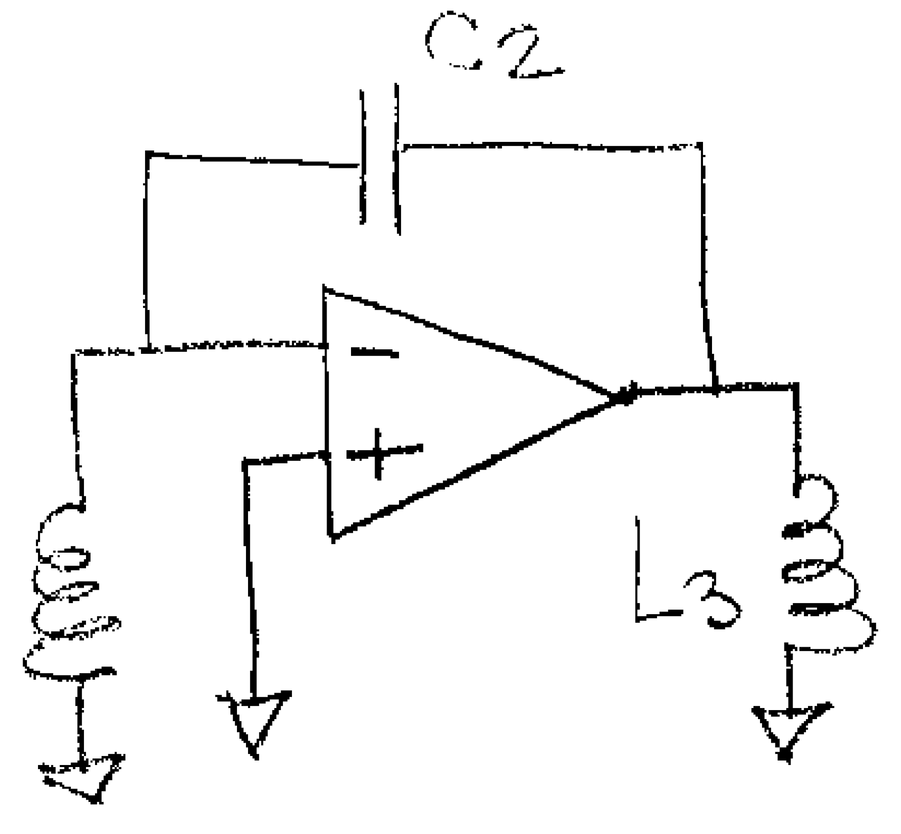
$$A_{e_0} = \left.\frac{i_u}{v_S}\right|_{\beta=0} = \frac{A_{v_0}}{R_{out}+R_L+R_{i\beta}} \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}} = \frac{1000}{25200} \cdot \frac{10^6}{1030000} = 0{,}0385\,\Omega^{-1}$$

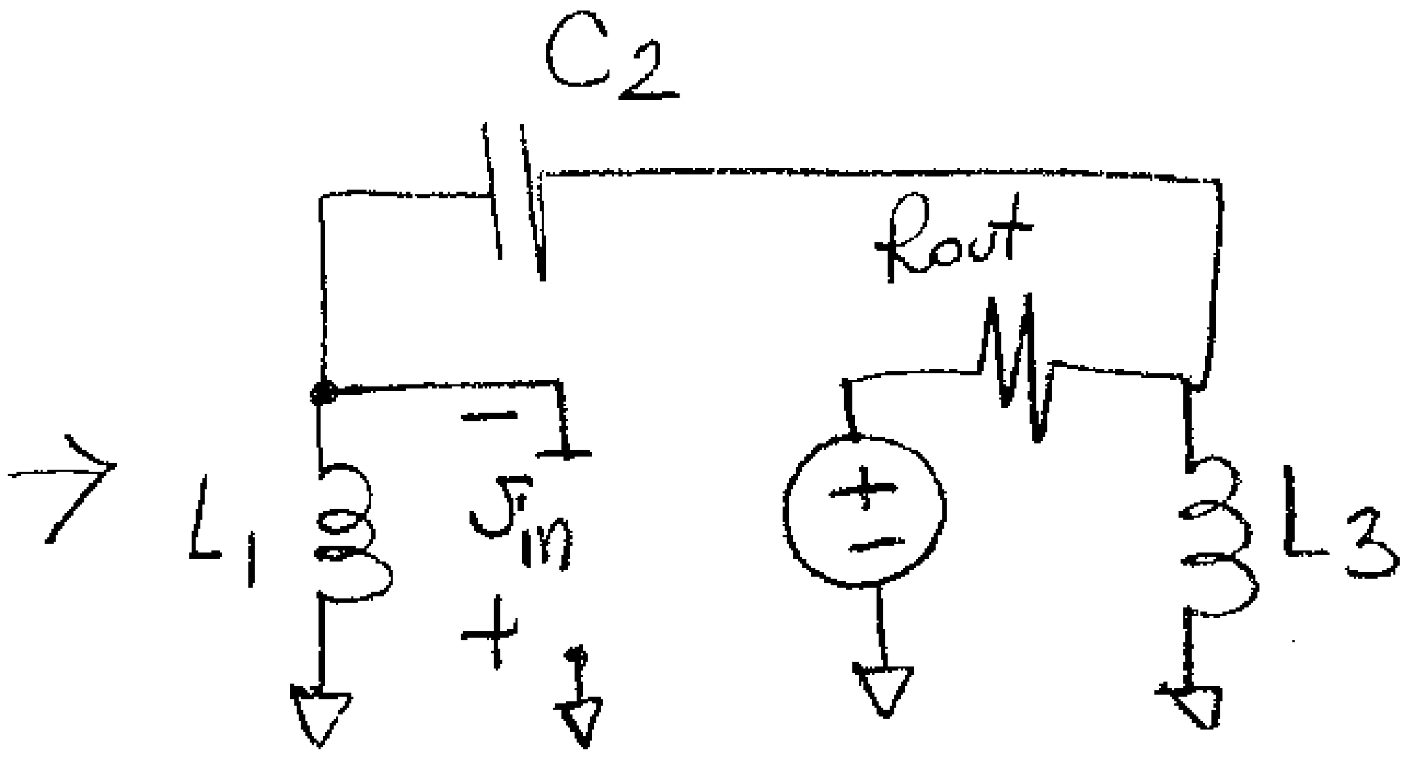
$$A_{F_0} = \frac{A_{e_0}}{1-\beta A_{e_0}} = \frac{0{,}0385}{[illegible]} = 5{,}12 \cdot 10^{-5}\,\Omega^{-1} \qquad f_H = (1-\beta A_{e_0}) f_p = \frac{1000}{6{,}28} \cdot 771 = 122{,}8\,KHz$$

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1 - \beta A_{e_0}) = 1.03 \cdot 10^6 \cdot [illegible] = 794\ k\Omega$$

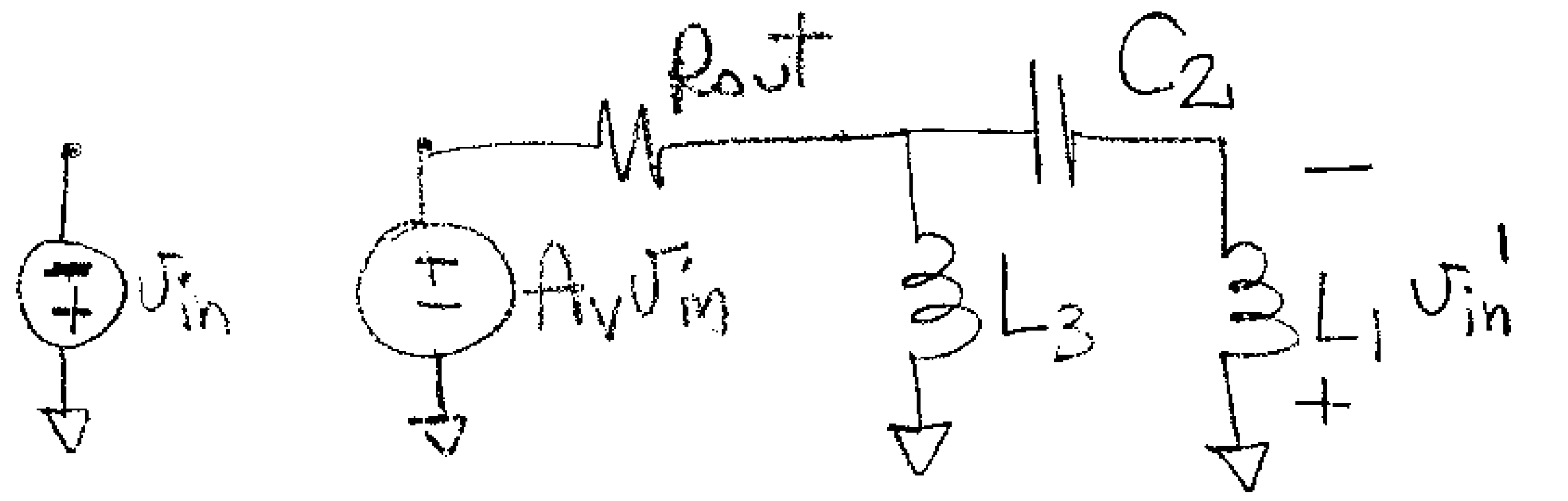
$$R_{OF} = (R_{out} + R_{i\beta})\left(1 - \beta A_{e_0}\Big|_{R_L=0}\right) = 20200 \cdot [illegible] = 19.243\ k\Omega$$

2.





βA_e



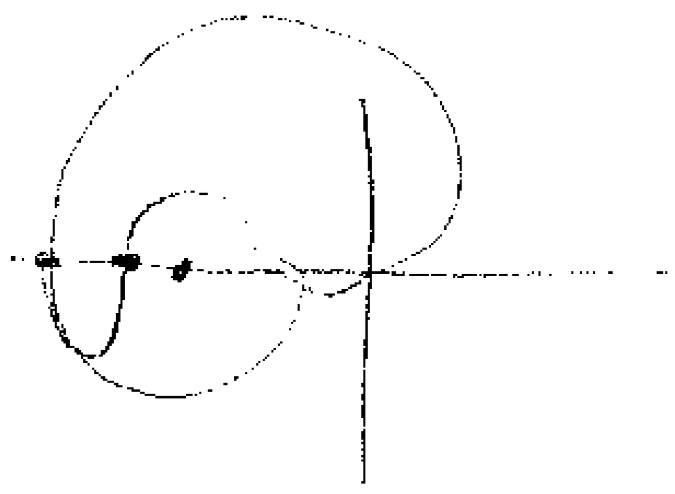
$$\beta A_e = \frac{v_{in}'}{v_{in}} = \frac{A_v}{R_{out} + j\omega L_3 /\!/ \left[j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}\right]} \frac{j\omega L_3}{j\omega L_3 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}} \cdot j\omega L_1$$

$$\beta A_e = \frac{-A_v\, \omega^2 L_3 L_1}{R_{out}\left[j\omega L_1 + j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C_2}\right] + j\omega L_3\left(j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_2}\right)} =$$

$$\beta A_e = \frac{-L_1 L_3 \omega^2 A_v}{j\left[\omega L_1 + \omega L_3 - \frac{1}{\omega C_2}\right] R_{out} + \omega L_3\left(\frac{1}{\omega C_2} - \omega L_1\right)}$$

Se imponiamo $\angle \beta A = 0$ abbiamo che

$$\omega L_1 + \omega L_3 - \frac{1}{\omega C_2} = 0 \qquad \omega^2 = \frac{1}{C_2(L_1 + L_3)}$$



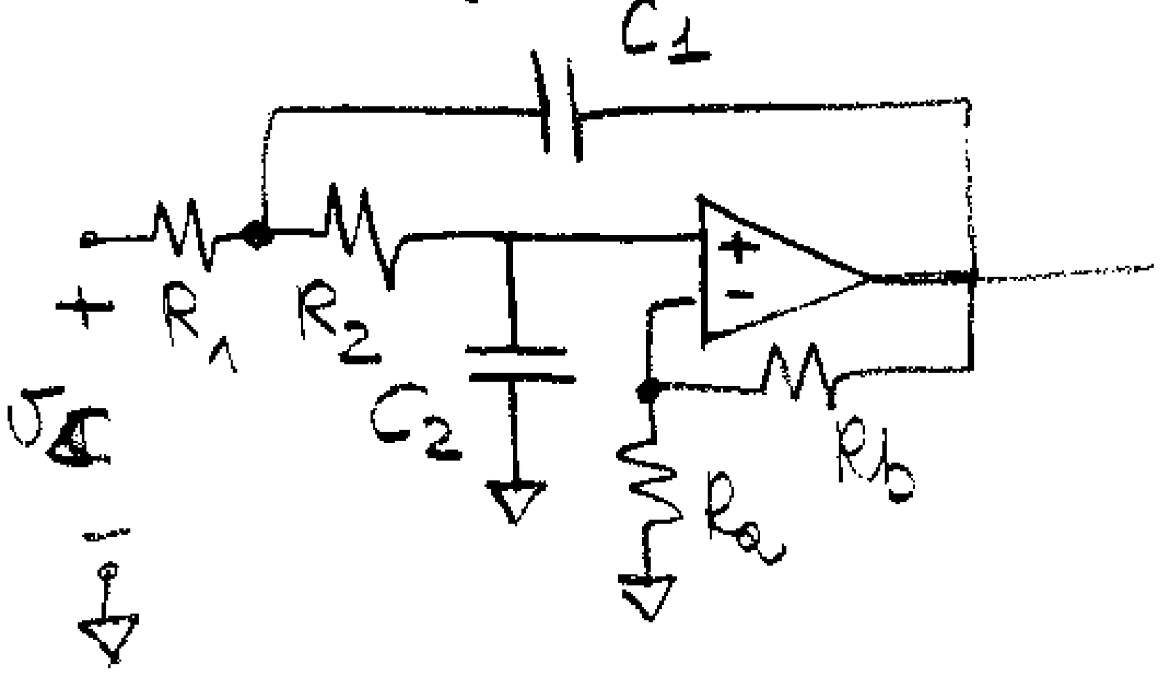
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_2(L_1+L_3)}} = 32.6\ Mrad/s \qquad f_0 = 5.2\ MHz$$

$$\beta A_e(\omega_0) = \frac{-L_1 L_3 \omega^2 A_v}{-\omega^2 L_3^2} = +\frac{L_1}{L_3} A_v = \underline{\underline{10 > 1}}$$

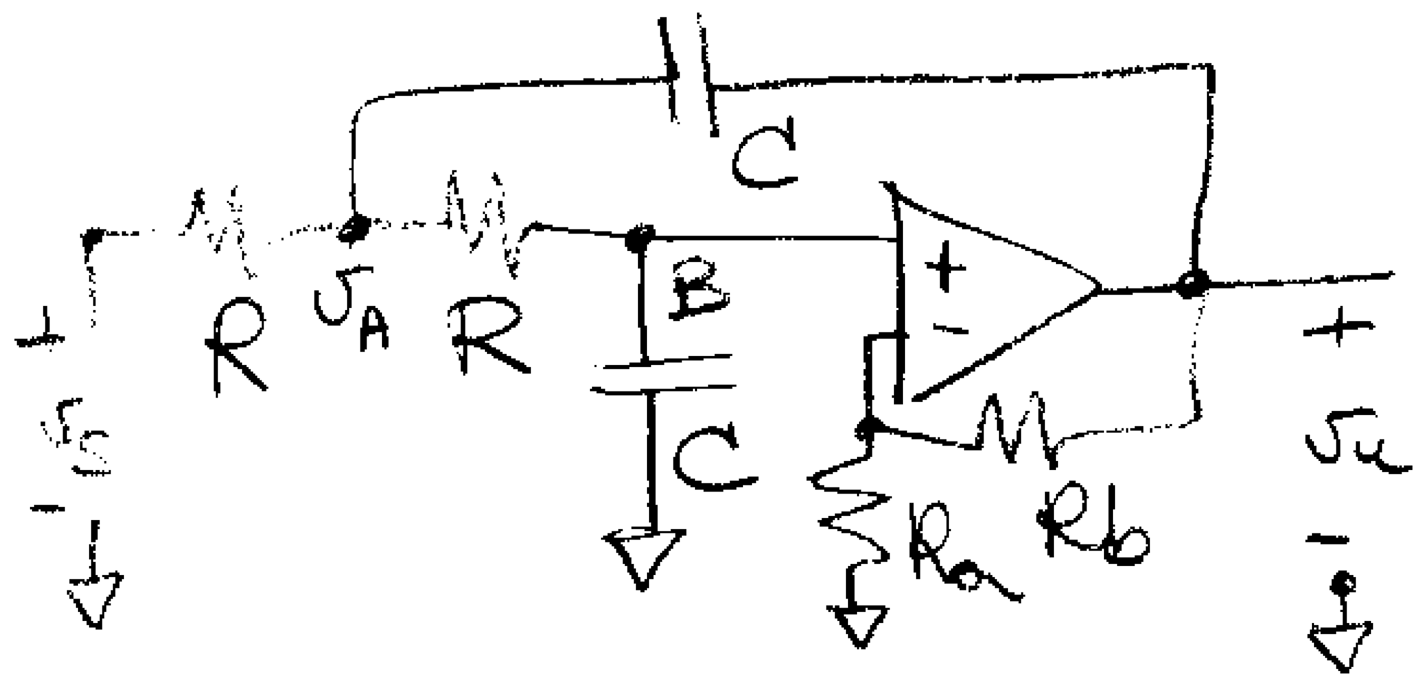
Condizioni di Barkhausen verificate

Esercizio 3

Si può realizzare con una cella di Sallen Key passa basso che ha il seguente circuito:



dobbiamo imporre i poli e l'amplificazione nella banda passante. Abbiamo 2 opzioni: 1) mantenere le resistenze e capacità diverse e imporre i vincoli per ricavarne i valori 2) imporre $R_1 = R_2 = R$ e $C_1 = C_2 = C$ ed eventualmente aggiustare l'amplificazione in banda passante a posteriori. Le due opzioni sono ragionevoli. Per esempio, scegliamo la 2



eq. al nodo A: $\quad v_A\left[\frac{2}{R} + Cs\right] - \frac{v_s}{R} - \frac{v_u}{A_V R} - v_u Cs = 0$

eq. al nodo B: $\quad \frac{v_u}{A_V} = \frac{v_A}{RCs+1}$

otteniamo

$$\frac{v_u}{A_V}(RCs+1)(2+RCs) - v_s - \frac{v_u}{A_V} - v_u RCs = 0$$

$$\frac{v_u}{v_s} = \frac{A_V}{(RCs)^2 + 3RCs + 2 - 1 - A_V RCs} = \frac{A_V}{(RCs)^2 + (3-A_V)RCs + 1}$$

abbiamo $\frac{1}{RC} = \omega_0 = |p_0| = \sqrt{1000^2 + 5000^2} = 5099$ rad/s

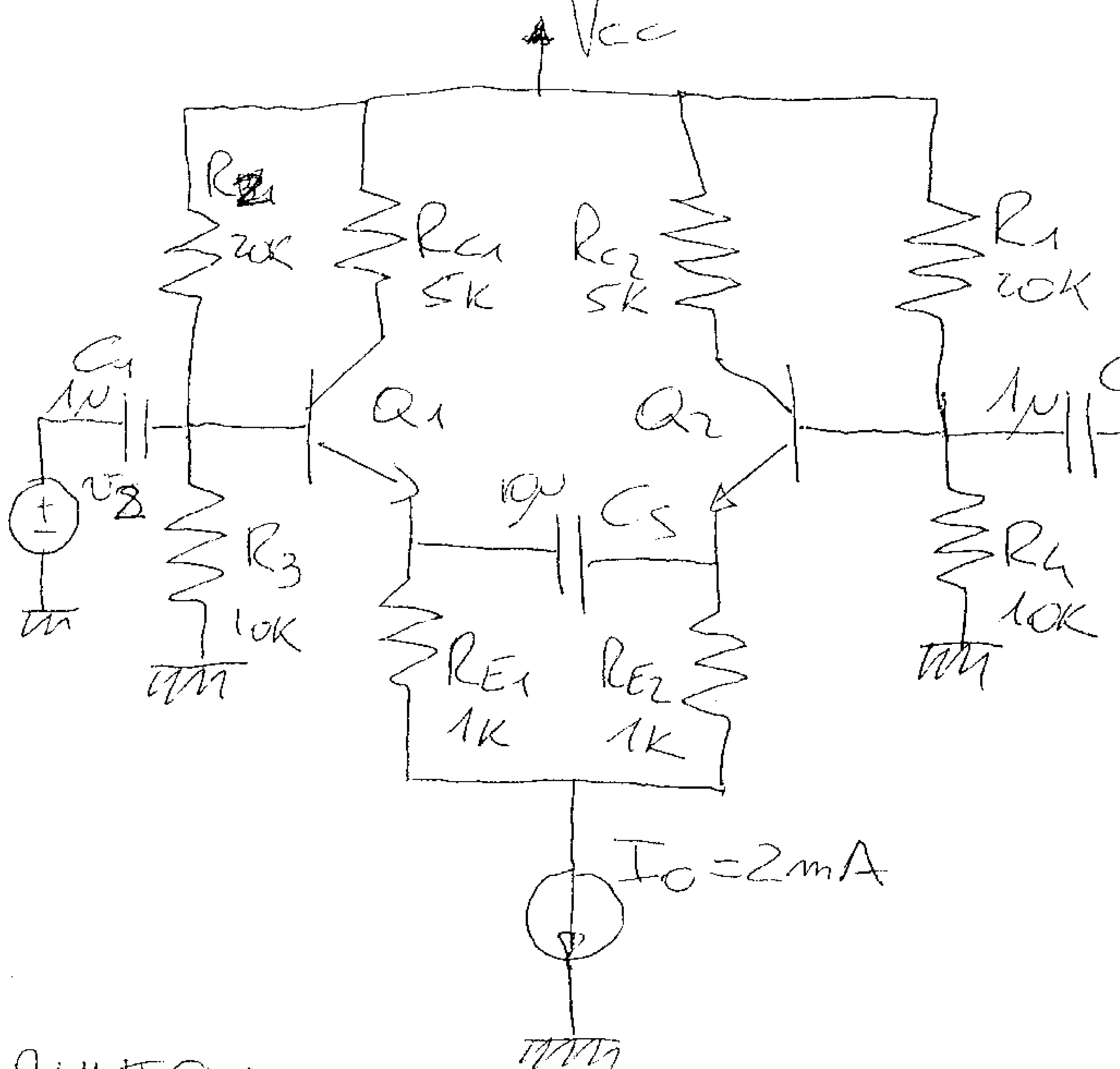
poniamo $C = 100nF$ $\quad R = \frac{1}{\omega_0 C} = 1961\,\Omega$

$$\frac{3-A_v}{RC} = -2Re\{s_p\} = +2000 \text{ rad/s}$$

$$A_V = 3 - 2000\,RC = 2{,}61$$

$$A_V = 1 + \frac{R_b}{R_a} \rightarrow \begin{array}{l} R_a = 10000\,\Omega \\ R_b = 16100\,\Omega \end{array}$$

PARTE B



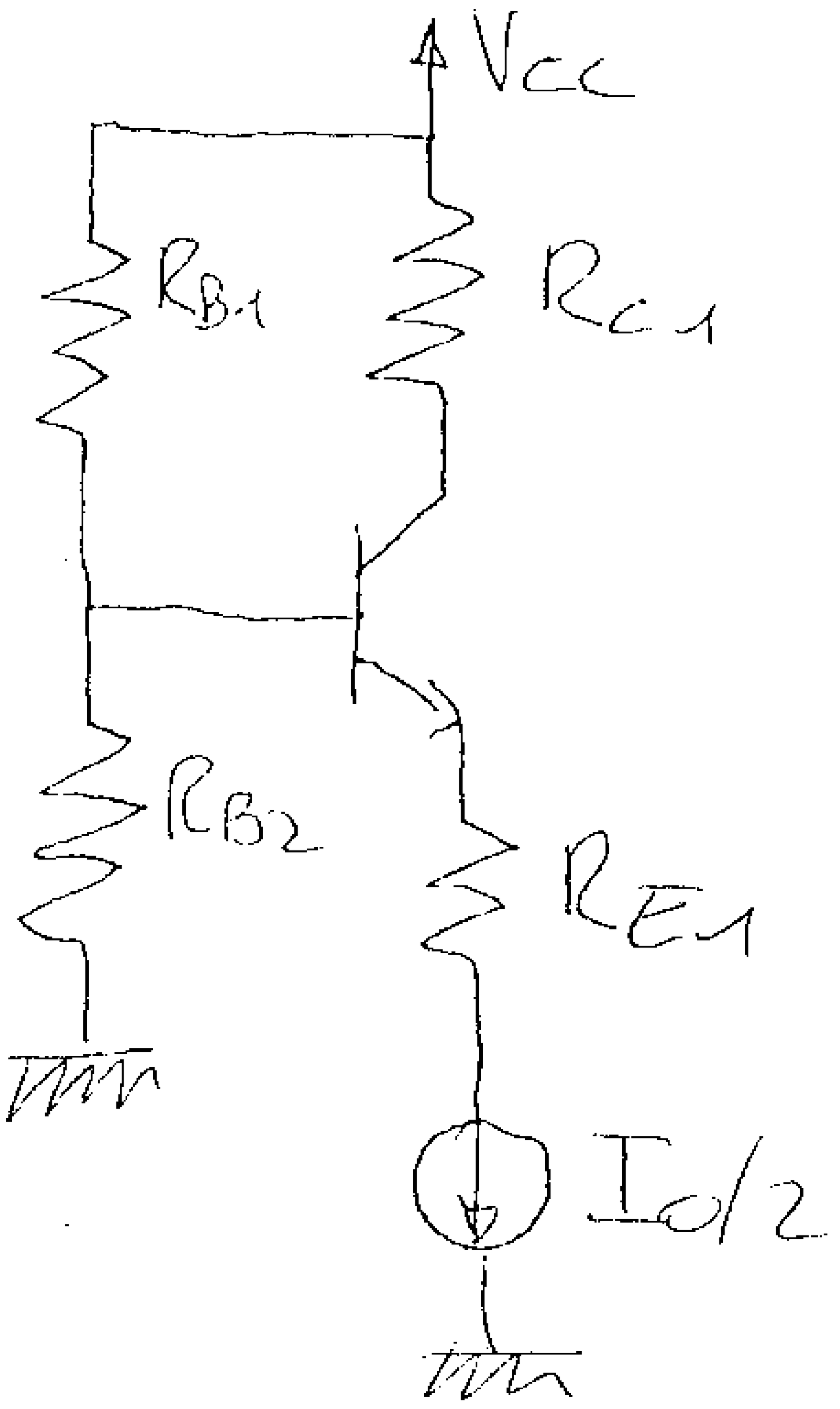
$h_{oe} = h_{re} = 0$

Q_1 e Q_2 BC109B

$V_{CC} = 15V$

PUNTO DI RIPOSO (Hp: partitore pesante e z.e.d.)

Sfruttiamo la simmetria del differenziale



$I_C = I_0/2 = 1mA$

$V_B = \frac{V_{CC}}{R_{B1}+R_{B2}} \cdot R_{B2} = \frac{V_{CC}}{3} = 5V$

$V_E = V_B - V_J = 4{,}3V$

$V_C = V_{CC} - R_{C1} \cdot I_C = 10V$

$h_{FE} = 0{,}9 \cdot 290 = 261$

$I_B = \frac{1mA}{261} = 3{,}83\,\mu A$

$I_{R_{B1},R_{B2}} = 500\,\mu A >> I_B$ (verificato)

$V_{CE} = V_C - V_E = 5{,}7V$ ($> V_{CESAT} = 0{,}2V$; verificato).

Parametri piccolo segnale

$h_{fe} = 300$

$h_{ie}@2mA = 4{,}8K\Omega = r_b + r_\pi@2mA = r_b + \frac{V_T}{I_C^*} \cdot h_{fe}$

$r_b = 912\,\Omega$

$h_{ie}@1mA = r_b + \frac{V_T}{I_C} \cdot h_{fe} = 8{,}68K\Omega\ ;\ r_\pi = 7{,}78K\Omega$

$V_{CB} = V_C - V_B = 5V$

$f_T = 125\,MHz$

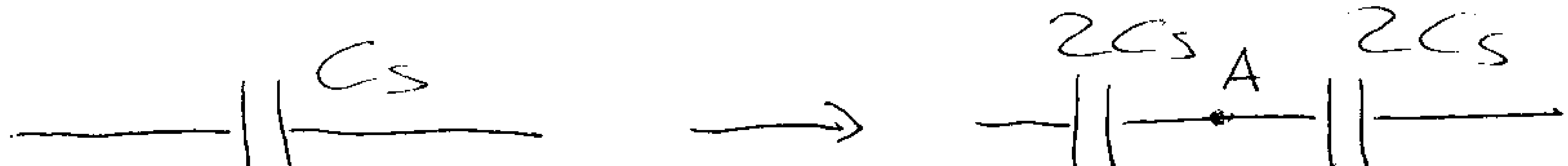
$$C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu$$

Calcoliamo $g_m = 38{,}61\ mS$ e $C_\mu \simeq 4{,}5\,pF$ (da caratteristiche)

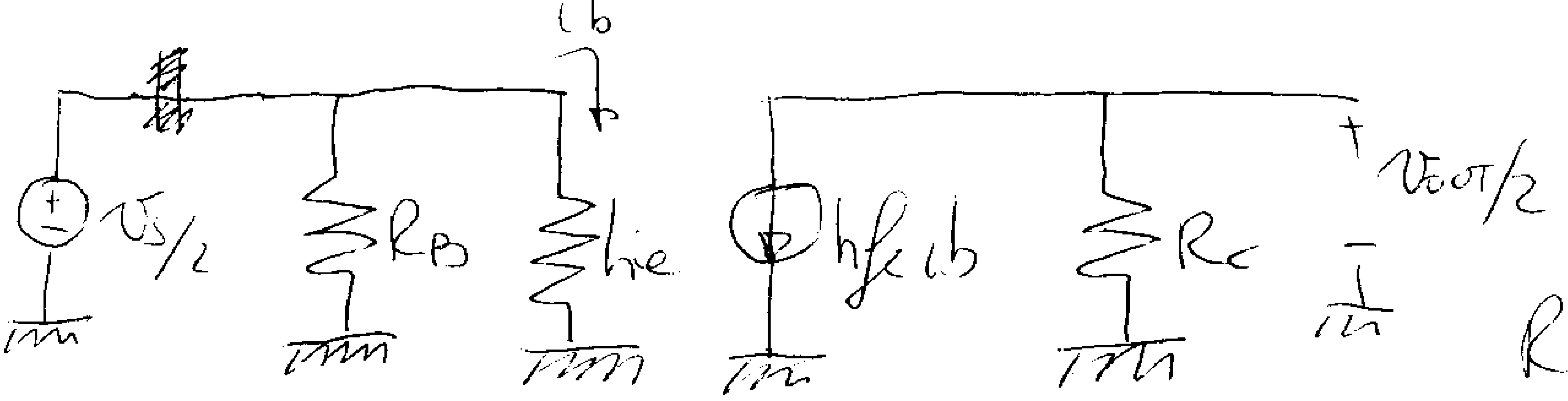
$C_\pi = 44{,}7\ pF$

ACB | Amplificazione differenziale

Sfruttiamo ancora una volta la simmetria del circuito. Per farlo osserviamo che un condensatore C_s equivale a due condensatori $2C_s$ in serie.



A questo punto sappiamo, dalla teoria degli amplificatori differenziali, che la sezione centrale è a massa per le variazioni. Quindi studiamo solo una parte.



$R_B = R_2 // R_3$

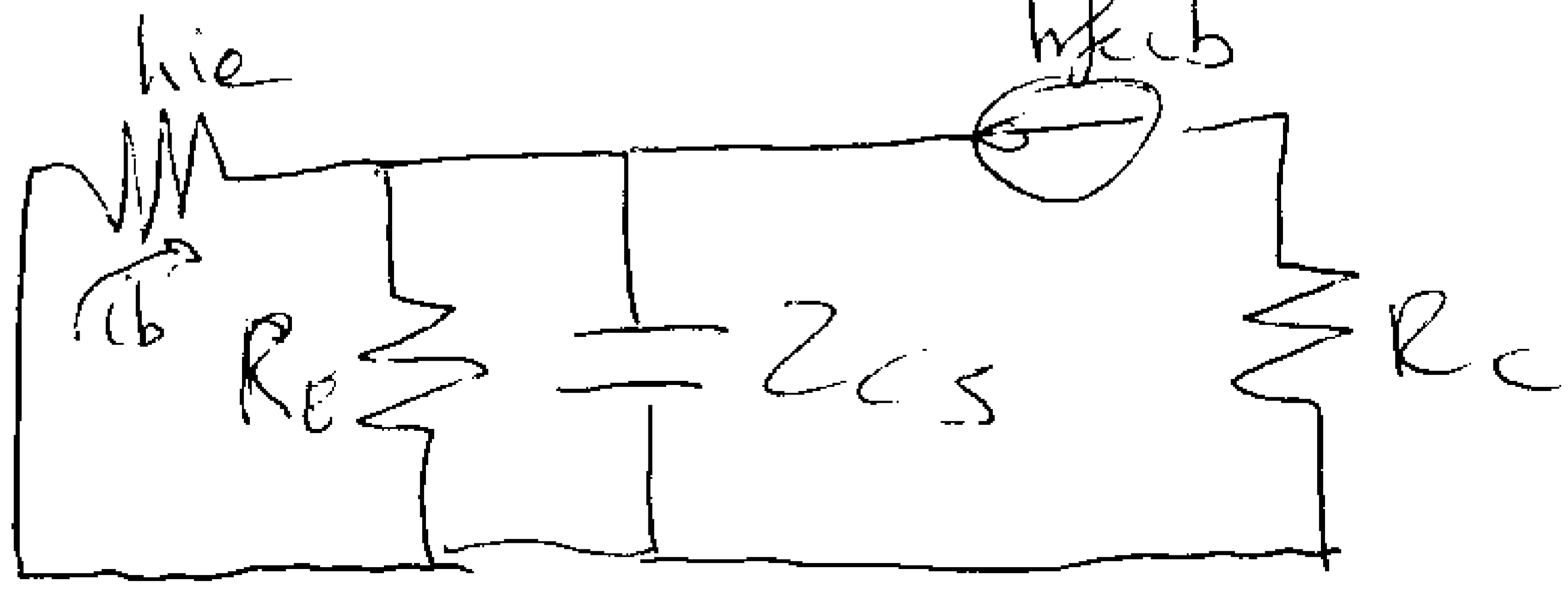
$$A_d = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}/2}{v_s/2} = -\frac{h_{fe} R_c}{h_{ie}} = -172,8$$

f_L |

Cominciamo con il polo di C_1

$R_{V C_1} = R_B // h_{ie} = 3,77\ K\Omega$

Adesso vediamo quella vista di $2C_s$, che abbiamo sdoppiato

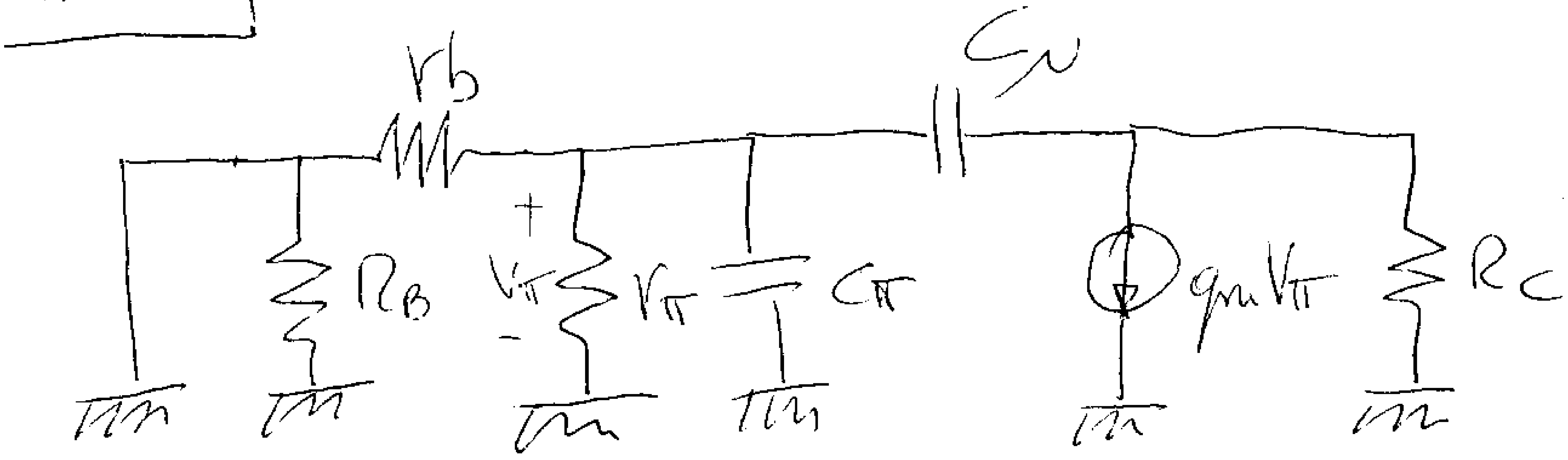


$$R_{V 2C_s} = R_E // \left[\frac{h_{ie}}{h_{fe}+1} \right]$$

$R_{V 2C_s} = 28\ \Omega$

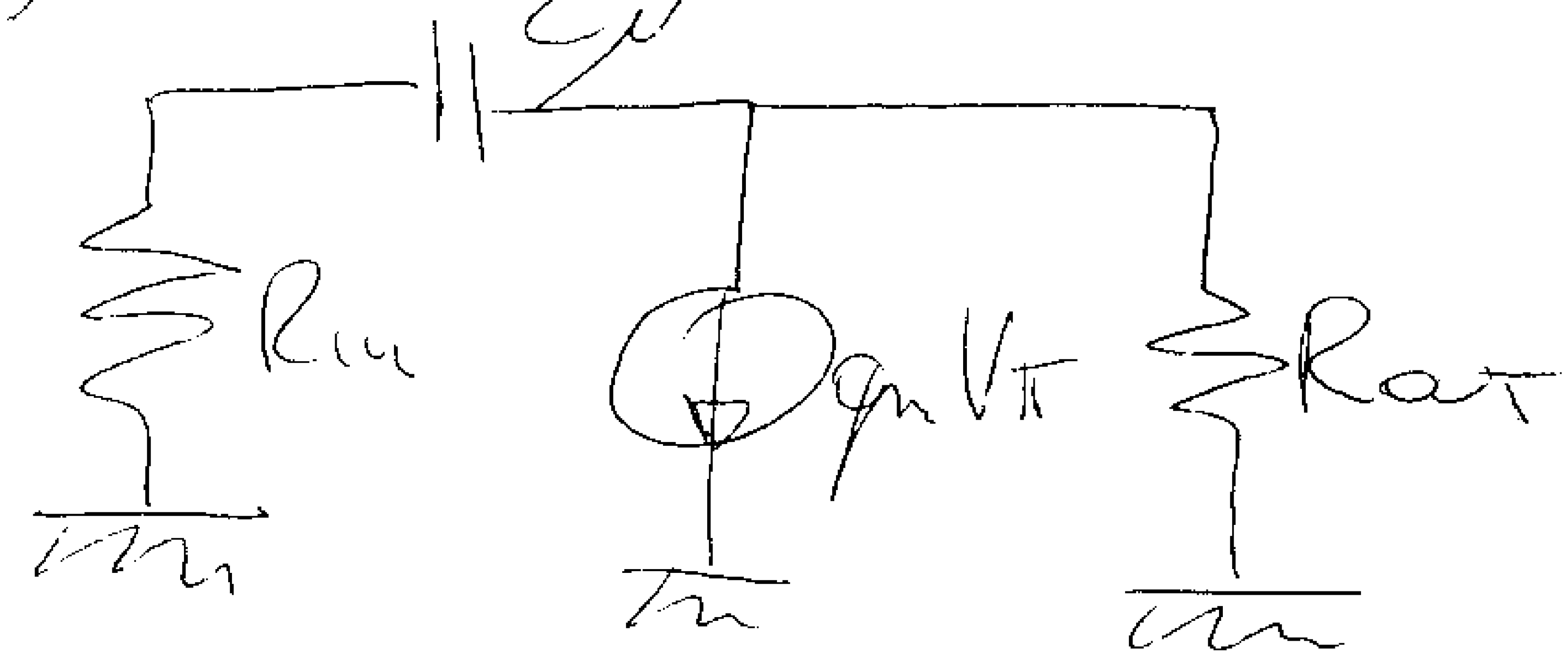
$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{VC_1}C_1} + \frac{1}{R_{VC_S}\,2C_S}\right] = 326,3\ \Omega$$

$\boxed{f_H}$



$$R_{VC\pi} = r_b // r_\pi = 816\ \Omega$$

$R_{VC\mu}$ si calcola con il metodo usuale



$R_{VC\mu} = R_{VC\pi}(1 + g_m R_{OUT}) + R_{OUT}$, ma

$R_{OUT} = R_C$ quindi

$$R_{VC\mu} = R_{VC\pi}(1 + g_m R_C) + R_C = 163,4\,K\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{VC\pi}C_\pi + R_{VC\mu}C_\mu}\right] = 206\ KHz$$