ELETTRONICA II

Prova scritta del 1 febbraio 2001

Esercizio A

$R_1 = 18\ \mathrm{k\Omega}$

$R_2 = 147\ \mathrm{k\Omega}$

$R_3 = 33\ \mathrm{k\Omega}$

$R_4 = 66\ \mathrm{k\Omega}$

$R_5 = 10\ \mathrm{k\Omega}$

$R_6 = 220\ \mathrm{k\Omega}$

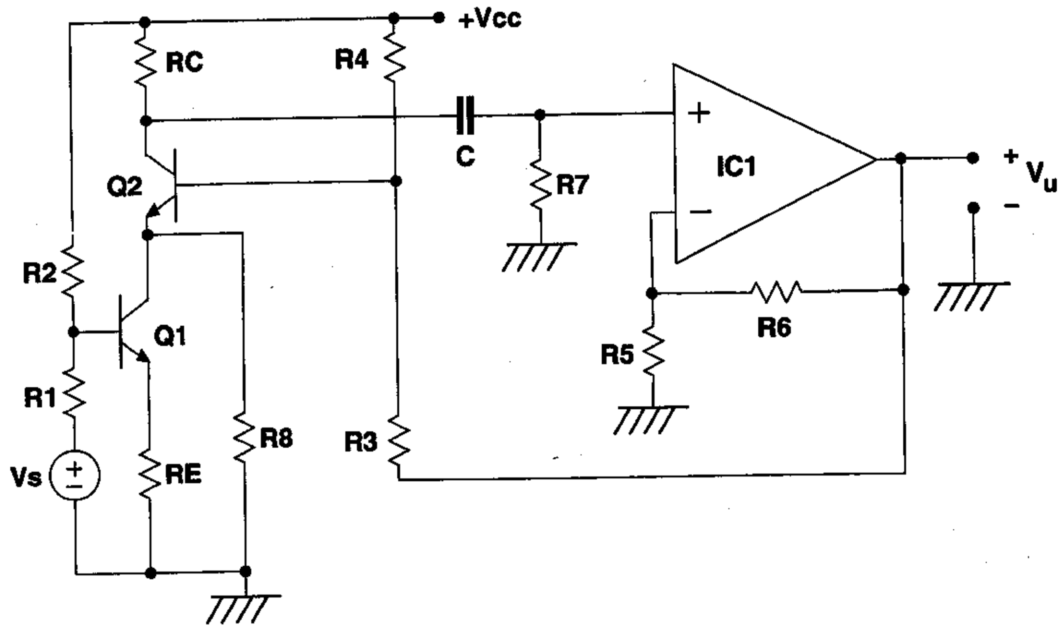
$R_7 = 33\ \mathrm{k\Omega}$

$R_8 = 100\ \mathrm{k\Omega}$

$R_E = 470\ \Omega$

$R_C = 2.2\ \mathrm{k\Omega}$

$C = 1\ \mathrm{nF}$



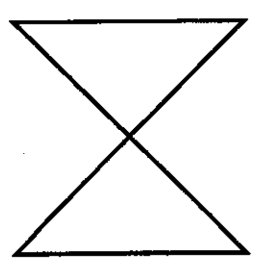
IC_1 è un μA 741, con $A_{vol0} = 250 \times 10^3$, $f_p = 4$ Hz, $Z_{in} \to \infty$, $Z_{out} = 0$, alimentato a $+V_{CC} = +15$ V e $-V_{CC} = -15$ V; Q_1 e Q_2 sono BC109B resistivi, con $h_{oe} = 0$, $h_{re} = 0$.

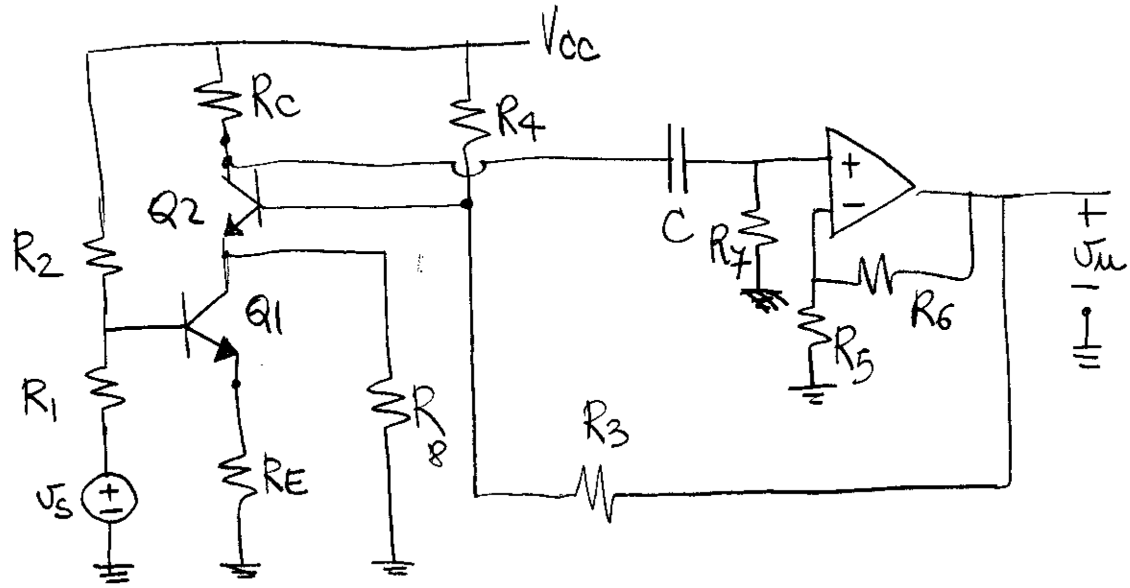
Con riferimento al circuito di figura:

1) Calcolare il punto di riposo dei due transistori Q_1 e Q_2.
2) Determinare la funzione di trasferimento V_u/V_s e tracciarne i diagrammi di Bode.
3) Calcolare la densità spettrale di potenza di rumore di tensione all'uscita del circuito dovuta alle sorgenti di rumore di Q_1 e disegnarne il grafico in scala doppiamente logaritmica. Si trascurino le sorgenti di rumore di Q_1 dipendenti dalla frequenza.

Esercizio B

Disegnare e discutere lo schema circuitale di un sistema elettronico in grado di generare due tensioni v_x e v_y che consentano di ottenere la figura di Lissajous mostrata nella figura in basso.





$R_1 = 18 K\Omega$

$R_2 = 147 K\Omega$

$R_3 = 33 K\Omega$

$R_4 = 66 K\Omega$

$R_5 = 10 K\Omega$

$R_6 = 220 K\Omega$

$R_7 = 33 K\Omega$

$R_8 = 100 K$

$R_C = 2{,}2 K\Omega$

$R_E = 470 \Omega$

$C = 1 nF$

PUNTO DI RIPOSO

* Ipotizziamo che R_1 e R_2 costituiscano un partitore pesante

$$V_{B1} = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{CC} = 1.64\ V \qquad I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1+R_2} \simeq 91\ \mu A$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 0{,}94\ V$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_E} = 2\ mA \qquad I_{B1} \ll I_1$$

* Ipotizziamo che R_3 e R_4 costituiscano un partitore pesante

$$V_{B2} = \frac{R_3}{R_3+R_4} V_{CC} = 5\ V \qquad V_{E2} = 4{,}3\ V = V_{C1} \qquad V_{CE1} = 3{,}36\ V$$

$$I_8 = \frac{V_{E2}}{R_8} = \frac{4{,}3}{10^5} = 43\mu A$$

$$I_{E2} = I_{C1} + I_8 = 2\cdot10^{-3} + 43\cdot10^{-6} = 2.04\ mA \sim I_{C2}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_C I_{C2} = 15 - 2.2\times2.04 = 10.5\ V$$

$$V_{CE_2} = 10.5 - 4.3 = 6.2\ V$$

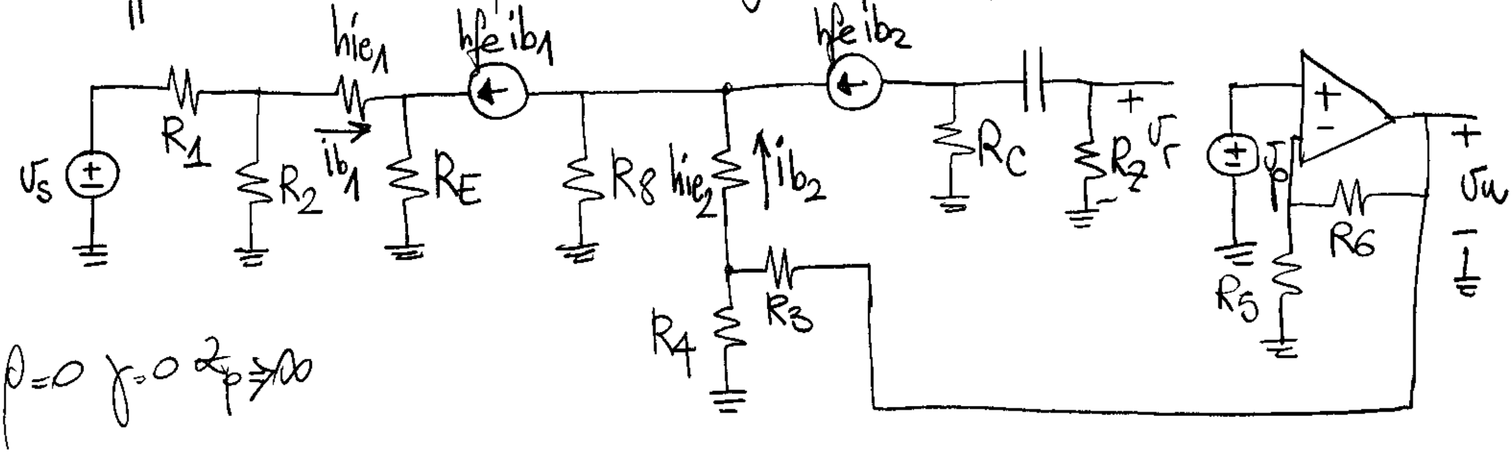
PUNTO DI RIPOSO

Q_1 : $I_{C1} = 2mA$ $V_{CE1} = 3.36V$ $I_B = 7\mu A$ $(\ll I_1)$
$h_{fe} = 300$ $h_{ie1} = 4{,}8\ K\Omega$

Q_2 : $I_{C2} = 2{,}04\ mA$ $V_{CE2} = 6.2V$ $I_B \sim 7\mu A$ $\left(\ll \frac{V_{CC}}{R_3+R_4}\right)$
$h_{fe} = 300$ $h_{ie2} \cong 4.8\ K\Omega$

A2 funzione di trasferimento

Effettuiamo una scomposizione tra l'ingresso dell'operazionale e massa



$\rho = 0$ $\gamma = 0$ $\alpha_p \to \infty$

$$A = \frac{A_0}{1 - s/s_{p1}} \qquad A_0 = 1 + \frac{R_6}{R_5} = 23 \qquad s_{p1} = \frac{-2\pi PGB}{A_0} = -273\ Krad/s$$

le catene sono separate

$$\beta = \frac{R_4}{R_4+R_3} \cdot \frac{-h_{fe} R_C}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie_2} + R_8(h_{fe}+1)} \quad \frac{R_7 C s}{1 + (R_7 + R_C) C s}$$

$\beta_\infty = -13.7\times10^{-3}$ $s_{p\beta} = -28.4\ Krad/s$

$$\beta = \beta_\infty \frac{-\frac{s}{s_{p\beta}}}{1 - s/s_{p\beta}}$$

α è del tipo $\qquad \alpha = \alpha_\infty \dfrac{-s/s_{p\beta}}{1 - s/s_{p\beta}}$

$$\alpha_\infty = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \left[\frac{-h_{fe}\,(R_C /\!/ R_7)}{h_{ie} + (R_1 /\!/ R_2) + R_E(h_{fe}+1)} \right] = -3.406$$

$$A_f = \frac{\alpha A}{1-\beta A} = \frac{\alpha_\infty\left(-\frac{s}{s_{p\beta}}\right)A_0}{\left(1-\frac{s}{s_{p\beta}}\right)\left(1-\frac{s}{s_{p1}}\right) + \beta_\infty \frac{s}{s_{p\beta}} A_0} =$$

$$A_f = \frac{Ks}{(1 - s/s_1)(1 - s/s_2)}$$

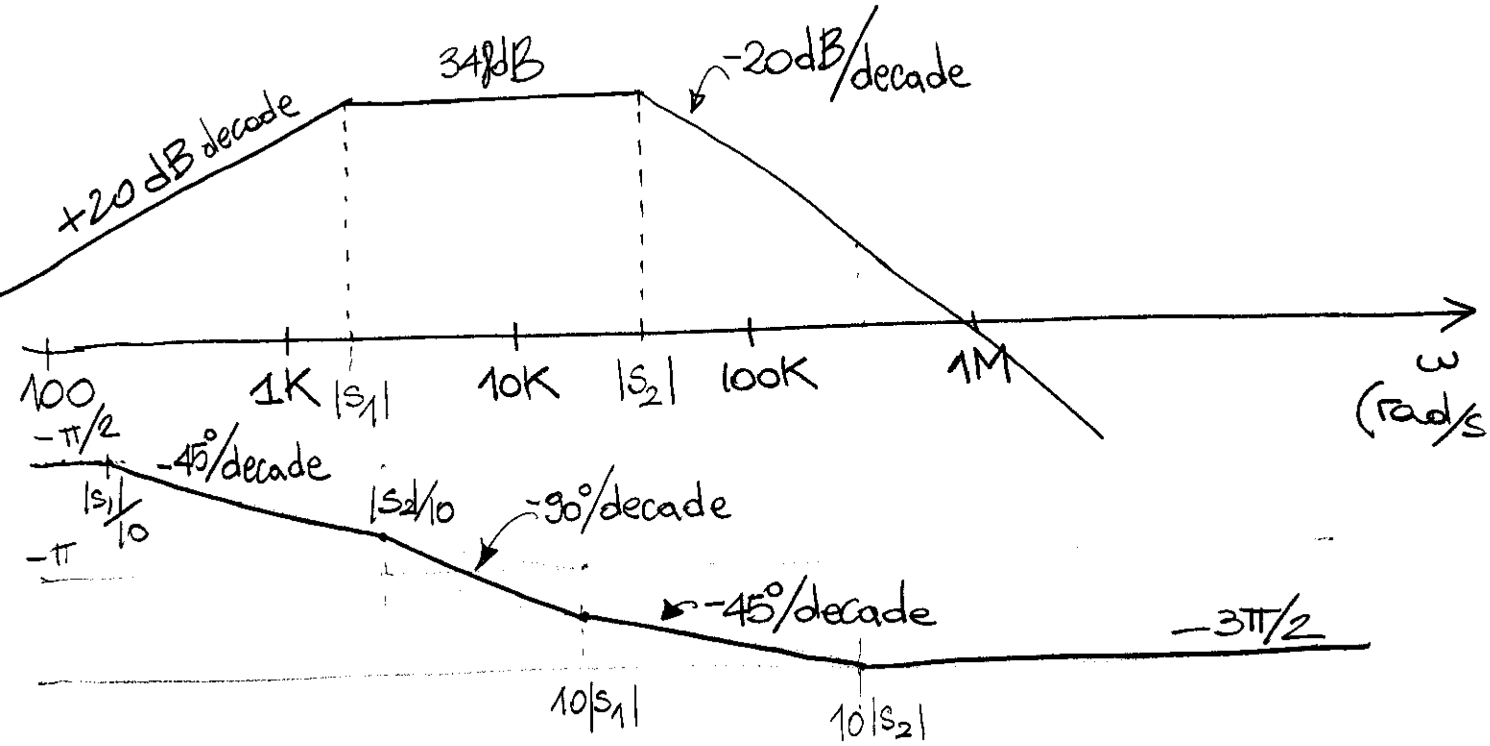
$S_1 = -21.1$ Krad/s

$S_2 = -367$ Krad/s

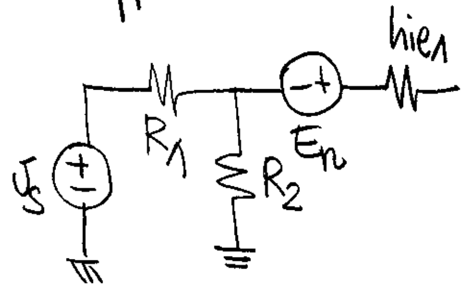
$$K = -\frac{\alpha_\infty A_0}{s_{p\beta}} = +\frac{3.406 \times 23}{-28400} = -2.76 \cdot 10^{-3}\, s$$

$$A_{f_{CB}} = \frac{K}{-\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}} = \frac{-2.76 \cdot 10^{-3}}{5.012 \cdot 10^{-5}} = -55.07$$

$A_{f_{CB}\,dB} = 34.8\,dB$

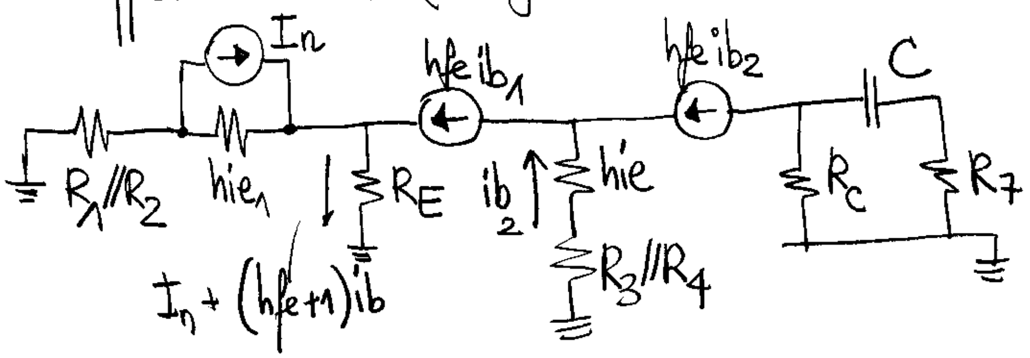


A3 Effetto di E_n $\qquad S_{E_n} = 1{,}56 \cdot 10^{-17}\ V^2/Hz \quad \left(4KT\left(r_{bb'} + \frac{1}{2g_m}\right)\right)$ 4



$$A_{f E_n} = A_f \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Effetto di I_n (bisogna ricalcolare α_{I_N}) $\qquad S_{I_n} = 2{,}24 \cdot 10^{-24}\ A^2/Hz$ $\quad (2qI_B$



$$(R_1/\!/R_2)(I_n + i_{b_1}) + h_{ie_1} i_{b_1} + R_E\left[I_n + (h_{fe}+1) i_{b_1}\right] = 0$$

$$i_{b_1} = -I_n \frac{R_1/\!/R_2 + R_E}{R_1/\!/R_2 + h_{ie_1} + R_E(h_{fe}+1)}$$

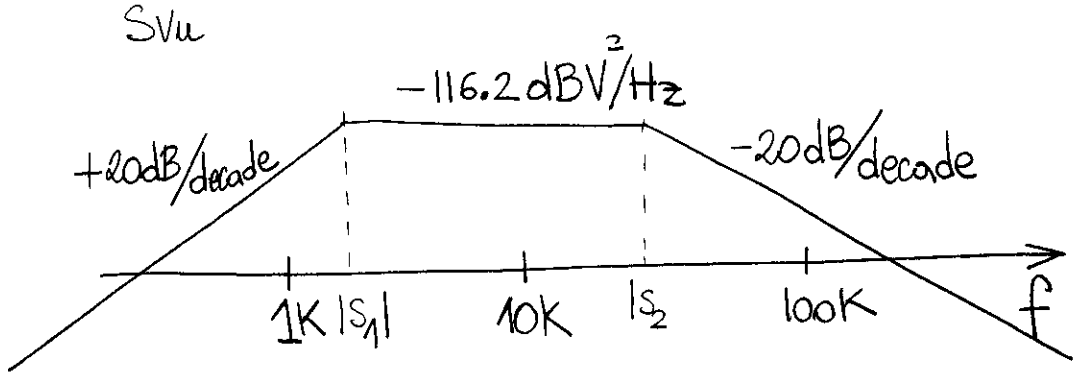
$$\alpha_{I_n\infty} = \frac{v_r}{i_n} = (R_C/\!/R_7) h_{fe} \frac{R_1/\!/R_2 + R_E}{R_1/\!/R_2 + h_{ie_1} + R_E(h_{fe}+1)} = 63.1\,K\Omega$$

$$A_{f I_n} = A_f \frac{\alpha_{I_n\infty}}{\alpha_\infty}$$

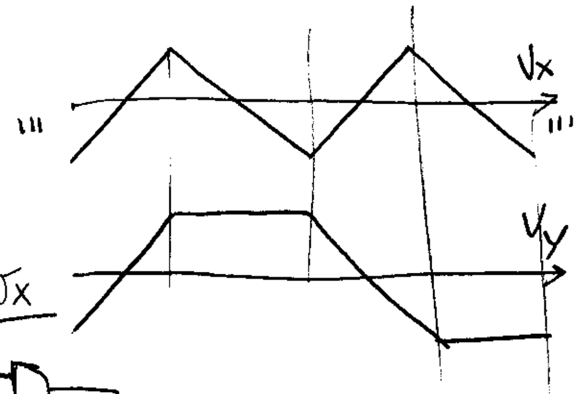
$$S_{CB} = \left[S_{E_n}\left(\frac{R_2 + R_1}{R_2}\right)^2 + S_{I_n}\left|\frac{\alpha_{I_n\infty}}{\alpha_\infty}\right|^2\right] A_{CB}^2 =$$

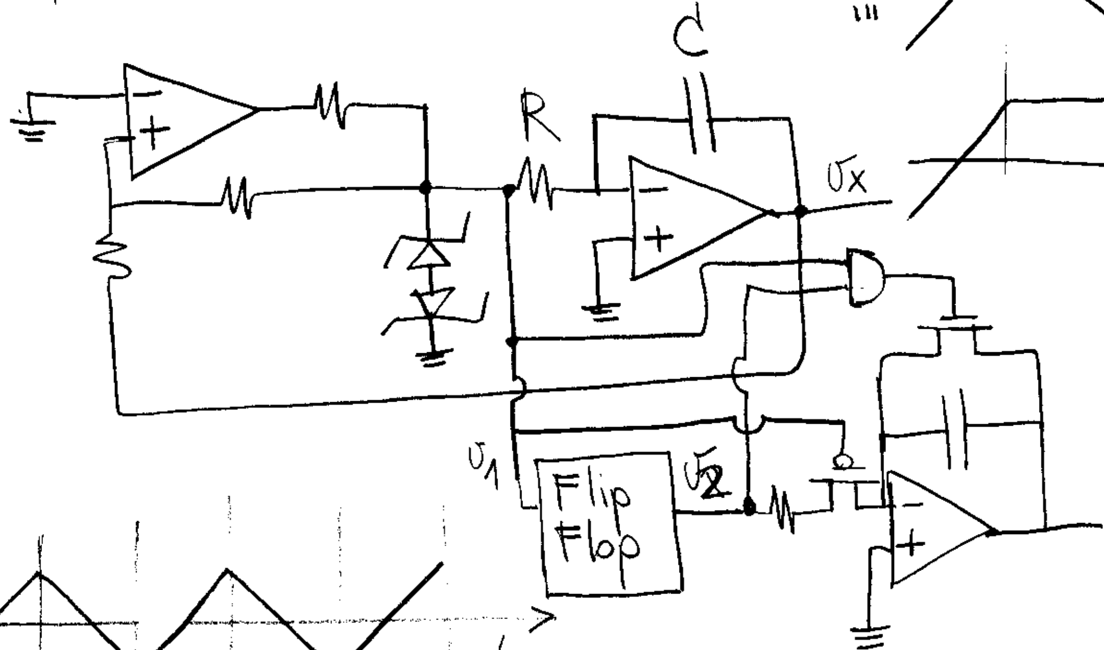
$$= \left[1.56 \cdot 10^{-17}(1.26) + 2.24 \cdot 10^{-24}\left(\frac{63100}{3{,}4}\right)^2\right] 55.07^2 = 2.4 \cdot 10^{-12}\ V^2/Hz$$

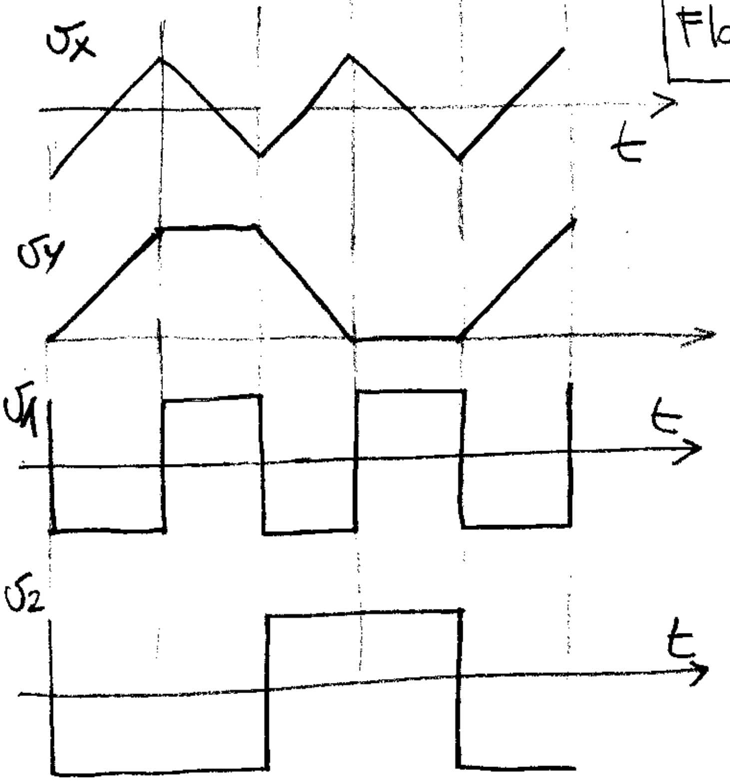
$$= -116.2\ dBV^2/Hz$$

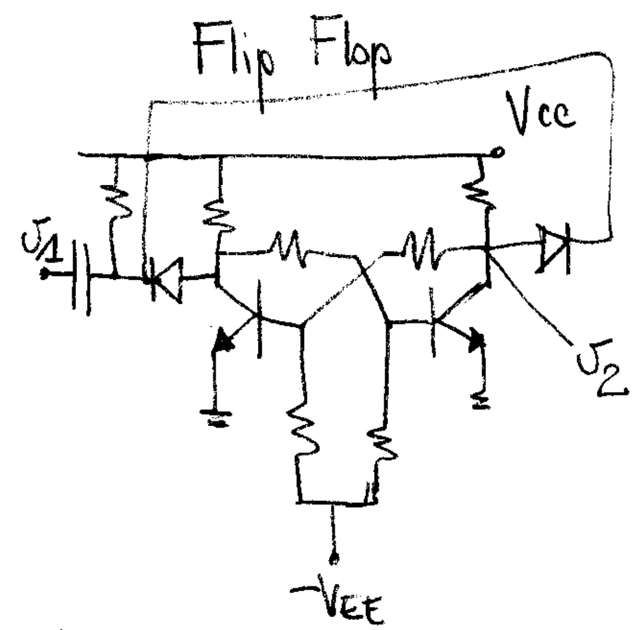


B Una possibile soluzione è la seguente









AND: