# ELETTRONICA II

Prova scritta del 22 settembre 2000

**Esercizio A**

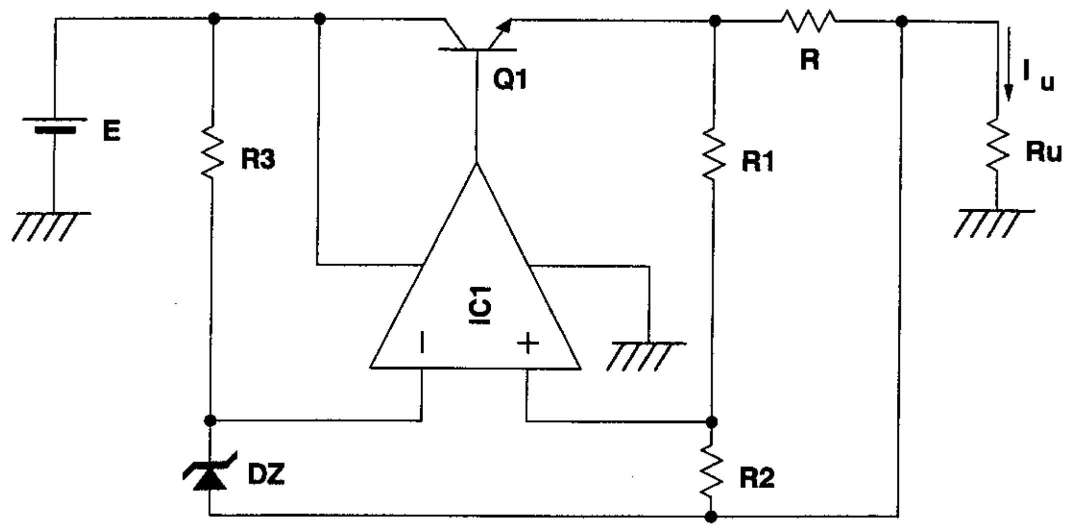
$R = 6.7$ k$\Omega$

$R_1 = 100$ k$\Omega$

$R_2 = 100$ k$\Omega$

$R_3 = 33$ k$\Omega$

$R_U = 10$ k$\Omega$



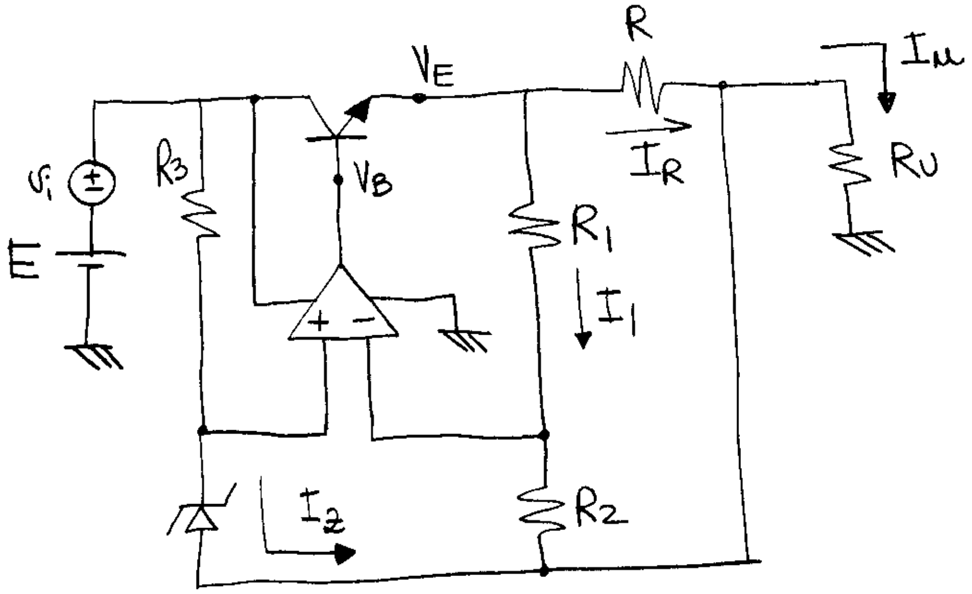

$IC_1$ è un $\mu$A 741, con $A_{\text{vol0}} = 250 \times 10^3$, $f_p = 4$ Hz, $Z_{in} \to \infty$, $Z_{out} = 0$, $E = 24$ $V$, $D_Z$ è un diodo Zener con $V_Z = 3.6$ V e resistenza differenziale nulla, $Q_1$ è un BC109B di cui si puo' trascurare $C_{b'c}$.

Con riferimento al circuito di figura:

1) Calcolare la corrente $I_u$ che scorre nel carico ($R_u$) e il valore massimo di $R_u$ per il quale si riesce ad avere un valore di $I_u$ di almeno 1 mA e il funzionamento del circuito in zona lineare.
2) Determinare l'impedenza di uscita tracciarne i diagrammi di Bode.
3) Calcolare la densità spettrale di potenza di rumore della corrente di uscita $i_u$ dovuta al rumore shot del diodo Zener e al rumore termico della resistenza $R_2$ a frequenza nulla.

**Esercizio B**

Disegnare e discutere lo schema circuitale di un sistema elettronico in grado di generare la tensione di scansione orizzontale di un oscilloscopio.




$E = 24V$
$V_z = 3.6V$
$R_z = 0$
$R_1 = 100K\Omega$
$R_2 = 100K\Omega$
$R_3 = 33K\Omega$
$R = 6.7K\Omega$
$R_U = 10K\Omega$

$$I_1 = V_z / R_2 = 36 \cdot 10^{-6} A$$

$$I_R = \frac{I_1(R_1+R_2)}{R} = 1.075 \text{ mA}$$

$$E = V_z + R_3 I_z + (I_z + I_1 + I_R) R_U$$

$$I_z = \frac{E - V_z - R_U(I_1+I_R)}{R_3 + R_u} = \frac{24 - 3.6 - 11.107}{43 \cdot 10^3} = 2.16 \cdot 10^{-4} A$$

$$\boxed{I_u = I_1 + I_R + I_z = 1.327 \cdot 10^{-3} A}$$

$I_u$ è almeno $I_1 + I_R$ $\quad I_{u\,min} = 1.11 \text{ mA} > 1 \text{mA}$

$V_B$ al più può valere 22V (dalle caratteristiche)

$$V_{Emax} = V_B - V_\gamma = 21.3V$$

$$R_u = \frac{V_{Emax} - R I_R}{I_{u\,min}} = \frac{21.3 - 7.2}{1.11 \cdot 10^{-3}} = 12.7 K\Omega$$

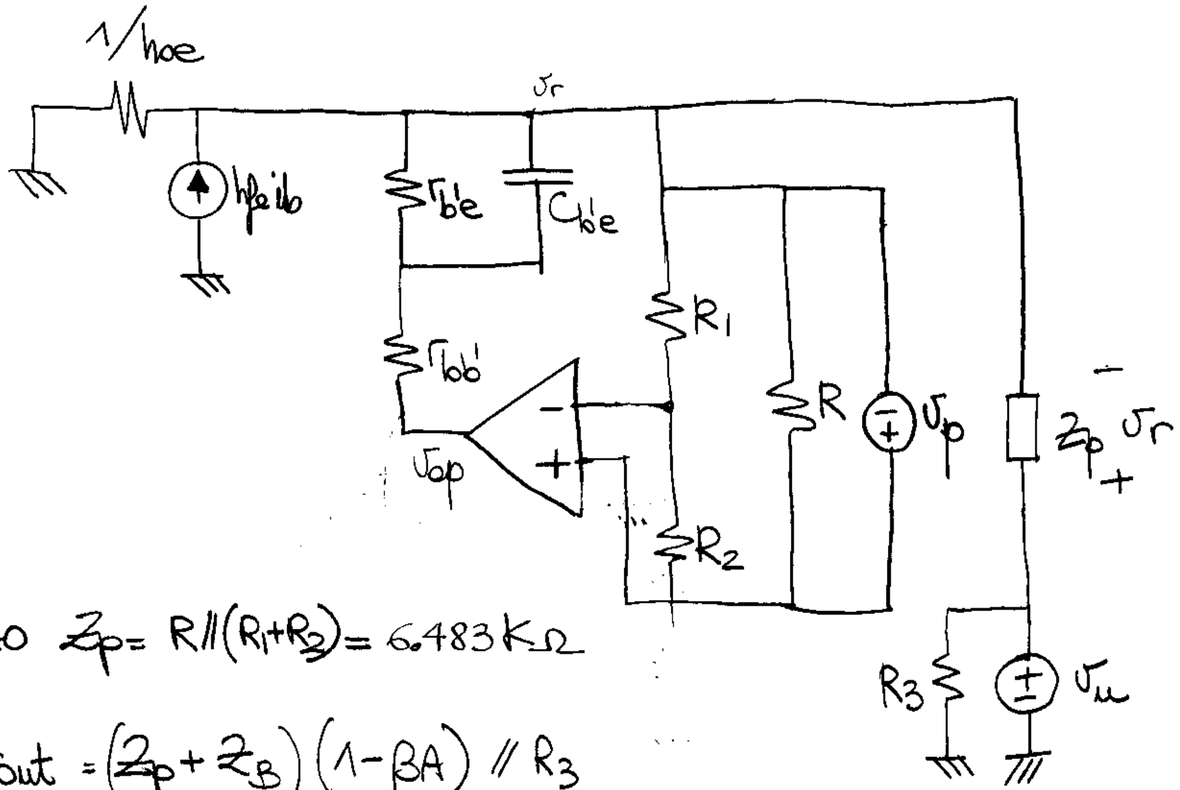
$f_T = 130$ MHz
$C_{b'e} = \frac{h_{fe}}{f_T r_{b'e}} = 0.33 nF$
$r_{bb'} = 900\Omega$
$h_{fe} = 300$
$r_{b'e} = 7000\Omega$
$\frac{1}{h_{oe}} = 70K\Omega$

PUNTO DI RIPOSO $\quad I_C \sim I_E = I_1 + I_R = \underline{1.111 \text{ mA}}$

$$V_{CE} = E - R_U I_u - 2V_z = \underline{2.85 V}$$

A.2 Resistenza d'uscita

Effettuiamo un taglio tra l'emettitore e l'uscita




$\beta = 0$ $Z_p = R /\!/ (R_1 + R_2) = 6.483\,K\Omega$

$Z_{out} = (Z_p + Z_B)(1 - \beta A) /\!/ R_3$

dove $Z_B$ è l'impedenza in serie a $Z_p$ quando $v_u$ e $v_p$ sono spenti

$v_{in} = v_p \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ $\qquad v_{op} = v_{in} \dfrac{Avol\emptyset}{1 - s/s_{pA}}$

$$v_r \Big|_{s=0} = \frac{-v_{op}\,(h_{fe}+1)\left(\frac{1}{h_{oe}} /\!/ Z_p\right)}{r_{bb'} + r_{b'e} + (h_{fe}+1)\left(\frac{1}{h_{oe}} /\!/ Z_p\right)}$$

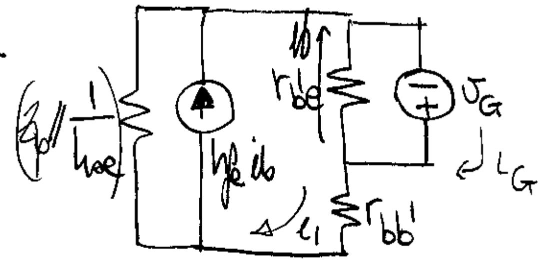
$$\beta A_0 = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot Avol\emptyset \cdot \frac{(h_{fe}+1)\left(\frac{1}{h_{oe}} /\!/ Z_p\right)}{r_{bb'} + r_{b'e} + (h_{fe}+1)\left(\frac{1}{h_{oe}} /\!/ Z_p\right)} =$$

$$= -\frac{1}{2} \times 250000 \times \frac{301 \cdot 5933}{900 + 7000 + 301 \cdot 5933} = -124450$$

$s_{pA} = -2\pi \cdot 4 = -25.12\ rad/s$

polo dovuto a $C_{b'e}$

$$i_G = i_1 + i_b \qquad i_b = \frac{v_G}{r_{b'e}}$$




$$r_{bb'} i_1 + \left(Z_p // \frac{1}{h_{oe}}\right)(i_1 - h_{fe} i_b) = v_G$$

$$i_1\left[r_{bb'} + \left(Z_p // \frac{1}{h_{oe}}\right)\right] = v_G \left[Z_p // \frac{1}{h_{oe}}\right]\frac{h_{fe}}{r_{b'e}} + v_G$$

$$i_1 = \frac{v_G\left[1 + \frac{h_{fe}}{r_{b'e}}\left(Z_p // \frac{1}{h_{oe}}\right)\right]}{r_{bb'} + \left(Z_p // \frac{1}{h_{oe}}\right)}$$

$$\frac{i_G}{v_G} = \frac{1 + \frac{h_{fe}}{r_{b'e}}\left(Z_p // \frac{1}{h_{oe}}\right)}{r_{bb'} + Z_p // \frac{1}{h_{oe}}} + \frac{1}{r_{b'e}} = \frac{255.3}{6833} + \frac{1}{7000} = 3.75 \cdot 10^{-2}\,\Omega^{-1} = g_G$$

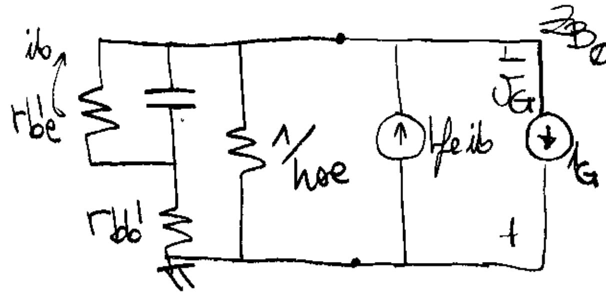
$$s_{p_2} = -\frac{g_G}{C_{b'e}} = \frac{-3.75 \cdot 10^{-2}}{1.1 \cdot 10^{12}} = -34.09 \text{ Grad/s}$$

<u>zero</u>

$$r_{b'e} // \frac{1}{C_{b'e} s_z} \rightarrow \infty \qquad s_z = -\frac{1}{r_{b'e} C_{b'e}} = -129.9 \text{ Mrad/s}$$

$$\beta A = \frac{\beta_0 A_0 (1 - s/s_z)}{(1 - s/s_{pA})(1 - s/s_{p2})}$$

$Z_B$




$$Z_{B_0} = \frac{(r_{b'e} + r_{bb'})}{h_{fe}+1} // \frac{1}{h_{oe}} \simeq \frac{r_{b'e} + r_{bb'}}{h_{fe}+1} = 26.2\,\Omega$$

$$v_G = r_{b'e}\, i_b + r_{b'b}\, i_b \left[ r_{b'e} C_{b'e} s + 1 \right] = i_b \left[ r_{b'e} + r_{b'b} + r_{b'b} r_{b'e} C_{b'e} s \right]$$

$$i_G = i_b \left[ 1 + r_{b'e} C_{b'e} s \right] + h_{fe}\, i_b + h_{oe}\, v_G$$

$$Z_B = \frac{v_G}{i_G} = \frac{r_{b'e} + r_{b'b} + r_{b'b} r_{b'e} C_{b'e} s}{1 + r_{b'e} C_{b'e} s + h_{fe} + h_{oe}\left[ r_{b'e} + r_{b'b} + r_{b'b} r_{b'e} C_{b'e} s \right]} =$$

$$Z_{B\emptyset} = \frac{r_{b'e} + r_{b'b}}{1 + h_{fe} + h_{oe}(r_{b'e} + r_{b'b})} = \frac{7900}{301 + \frac{7900}{70000}} = \underline{26.24\ \Omega}$$

$$Z_B = Z_{B\emptyset} \frac{(1 - s/s_{z1})}{(1 - s/s_{p3})}$$

$$s_{p3} = -\frac{1 + h_{fe} + h_{oe}(r_{b'e} + r_{b'b})}{(r_{b'e} + h_{oe} r_{b'b} r_{b'e}) C_{b'e}}$$

$$- \frac{301.11}{7.8 \cdot 10^{-9}} = -38.61 \text{ Grad/s}$$

$$s_{z1} = -\frac{r_{b'e} + r_{b'b}}{r_{b'e} r_{b'b} C_{b'e}} = -1.14 \text{ Grad/s}$$

$$Z_{out} = \left[ Z_p + \frac{Z_{B\emptyset}(1 - s/s_{z1})}{(1 - s/s_{p3})} \right] \left( \frac{-\beta A_0 (1 - s/s_z)}{(1 - s/s_{pA})(1 - s/s_{p2})} + 1 \right)$$

$$Z_p + \frac{Z_{B\emptyset}(1 - s/s_{z1})}{(1 - s/s_{p3})} = \frac{Z_p + Z_{B0} - s\left[ Z_p/s_{p3} + Z_{B\emptyset}/s_{z1} \right]}{(1 - s/s_{p3})} =$$

$$= (Z_p + Z_{B0}) \frac{(1 - s/s_{z2})}{(1 - s/s_{p3})}$$

$$s_{z2} = \frac{Z_p + Z_{B\emptyset}}{\frac{Z_p}{s_{p3}} + \frac{Z_{B\emptyset}}{s_{z1}}} = -34.09 \text{ Grad/s}$$

$$\parallel$$

$$s_{p2}$$

$$Z_{out} = \frac{(Z_p + Z_{B0})}{(1 - S/S_{p3})}\left[\frac{(1 - S/S_{pA})(1 - S/S_{p2}) - \beta_0 A_0 (1 - S/S_z)}{(1 - S/S_{pA})}\right]$$

$$Z_{out} = \frac{(Z_p + Z_{B0})(1 - \beta_0 A_0)}{(1 - S/S_{p3})(1 - S/S_{pA})}\left[1 + \frac{\left(-\frac{1}{S_{pA}} - \frac{1}{S_{p2}} + \frac{\beta_0 A_0}{S_z}\right)}{(1 - \beta_0 A_0)} S + \frac{\frac{S^2}{S_{pA} S_{p2}}}{(1 - \beta_0 A_0)}\right]$$

$$Z_{out\emptyset} = (Z_p + Z_{B0})(1 - \beta_0 A_0) = \underline{810\ M\Omega} \rightarrow \underline{178\ dB\Omega}$$

zeri

$$9.38 \cdot 10^{-18}\ s^2 + 3.276 \cdot 10^{-7} s + 1$$

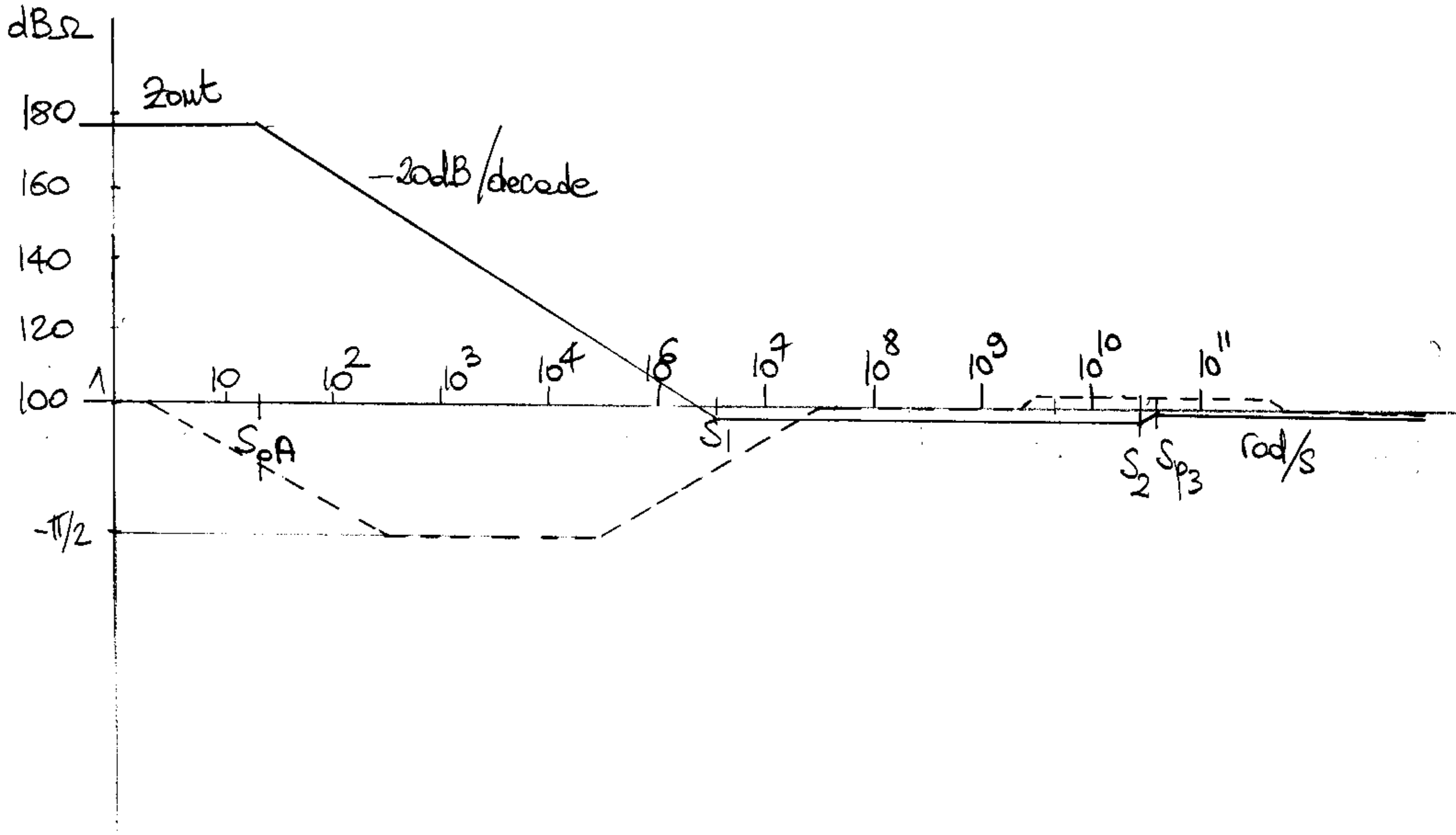
$$S_1 = -3.05\ Mrad/s$$

$$S_2 = -34.9\ Grad/s$$

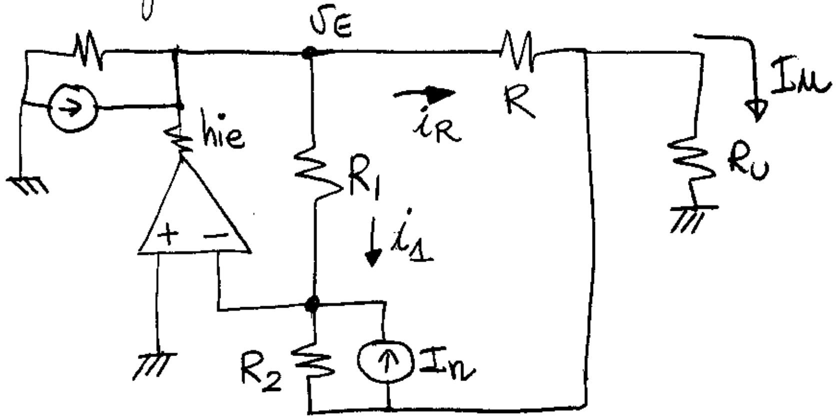
$$Z_{out} = Z_{out\emptyset} \frac{(1 - S/S_1)(1 - S/S_2)}{(1 - S/S_{pA})(1 - S/S_{p3})}$$

$$S_{pA} = -25.12\ rad/s$$

$$S_{p3} = -38.61\ Grad/s$$



A.3. l'effetto del rumore shot del diodo Zener è nullo, perché la resistenza differenziale dello Zener è nullo, e quindi il generatore di corrente è cortocircuitato.




$v_- \doteq 0$ per il c.c.v

$i_1 = v_E / R_1$

$$v_u = -R_2\left(i_n + \frac{v_E}{R_1}\right)$$

$$\frac{v_E - v_u}{R} + i_1 = \frac{v_u}{R_u}$$

$$\frac{v_E - R_2 i_n - \frac{R_2}{R_1} v_E}{R} + \frac{v_E}{R_1} = -\frac{R_2}{R_U}\left(i_n + \frac{v_E}{R_1}\right)$$

$$\frac{v_E}{R}\cancel{\left(1 - \frac{R_2}{R_1}\right)} + \frac{v_E}{R_1} + \frac{R_2}{R_U}\frac{v_E}{R_1} = i_n\left(\frac{R_2}{R} - \frac{R_2}{R_U}\right)$$

$$v_E\left(\frac{R_U + R_2}{R_1 \cancel{R_U}}\right) = i_n \frac{R_2(R_U - R)}{R \cancel{R_u}}$$

$$v_E = \frac{R_1 R_2 (R_u - R)}{R(R_u + R_2)} i_n$$

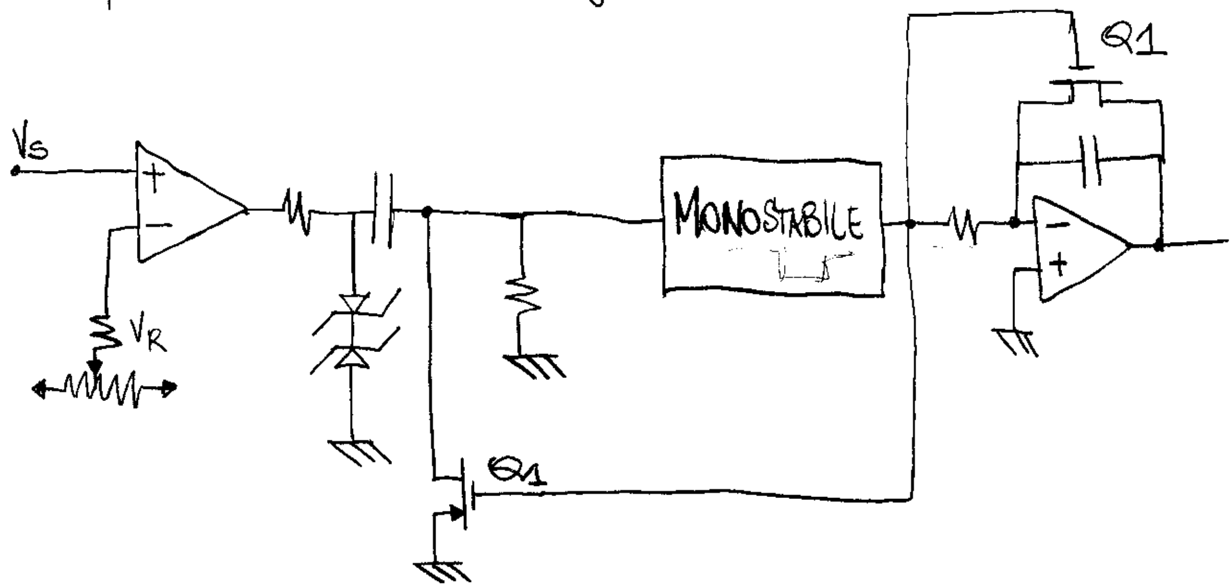
$$v_u = -R_2\left(i_n + \frac{R_2}{R_u + R_2}\frac{(R_u - R)}{R} i_n\right)$$

$$\frac{i_u}{i_n} = -\frac{R_2}{R_U}\left[1 + \frac{R_2}{R_U + R_2}\frac{(R_u - R)}{R}\right] = -10\left[1 + \frac{100}{110}\frac{3{,}3}{6{,}7}\right] = \underline{\underline{-14{,}47}}$$

$$S_{vu} = S_{in} \left|\frac{u}{in}\right|^2 = \frac{4KT}{R_2} \left|\frac{u}{in}\right|^2 =$$

$$= \frac{4 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{10^5} \cdot |14{,}47|^2 = \underline{3.467 \cdot 10^{-23} \, A^2/Hz}$$

(B) Una possibile soluzione è la seguente: 




monostabile