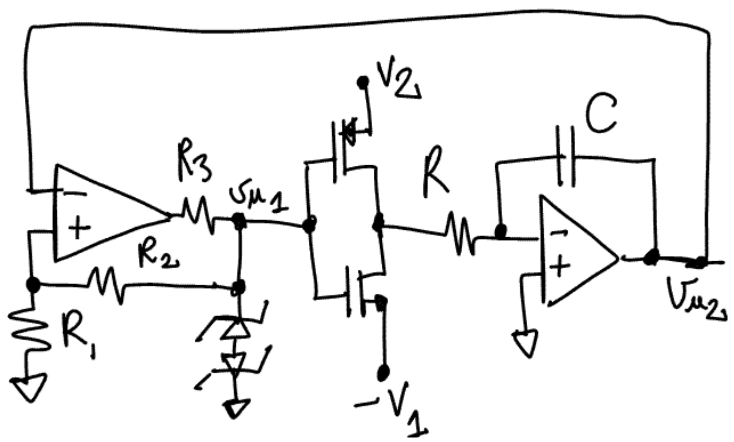
Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
5 luglio 2016

1. Si consideri un amplificatore di tensione con A_v=1000, R_{in} = 200 KΩ, R_{out} = 100 Ω. Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso di 50 Ω e una resistenza di uscita minore di 20 Ω. Per semplicità considerare il generatore di ingresso ideale e il carico assente.

2. Descrivere il funzionamento del circuito a lato e disegnare e quotare correttamente l'andamento della tensione all'uscita dei due amplificatori operazionali. Supporre che all'istante iniziale il condensatore sia scarico. Si consideri C = 47 nF, R_1=R_2=R=10 KΩ, R_3 = 500 Ω, V_Z= 4.7 V, V_1 =1 V, V_2=2 V.

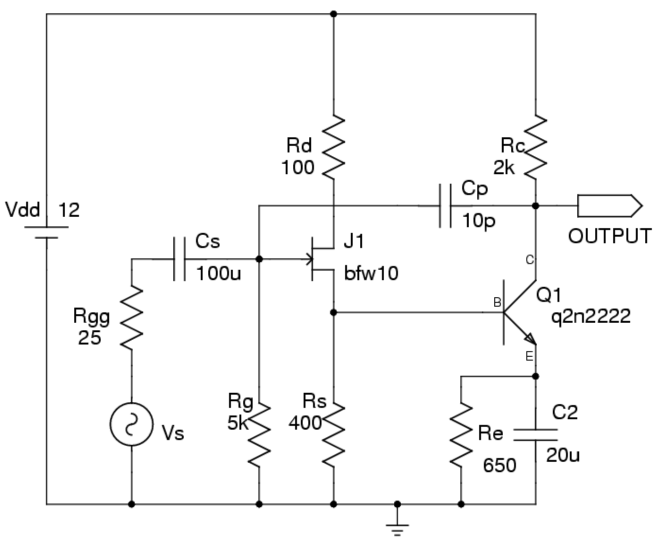


3. Con riferimento al circuito in alto, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori J1 e Q1 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda

Assunzioni semplificative:

- il JFET è un BFW10 completamente **resistivo**
- il BJT è un 2N2222



Esercizio 1

Fila A

$R_{in} = 200\,k\Omega$

$R_{OUT} = 100\,\Omega$

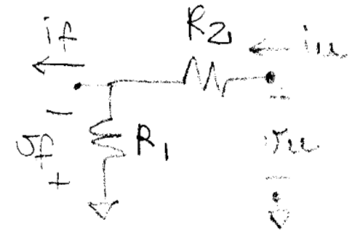
$A_V = 1000$

$R_{IF} = 50\,\Omega$

$R_{OF} < 20\,\Omega$

Reazione con iniezione di corrente e prelievo di tensione [ff]

β

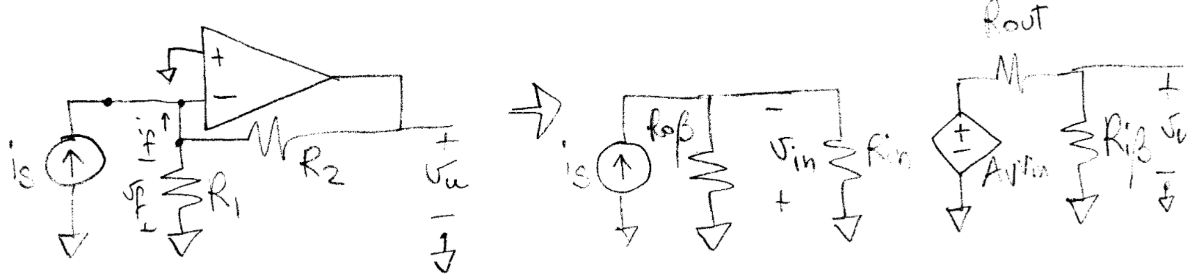


$$i_f = \beta v_u + \frac{v_f}{R_{o\beta}}$$

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

$$\beta = \left.\frac{i_f}{v_u}\right|_{v_f=0} = \frac{1}{R_2} \qquad R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{v_u=0} = R_1 /\!/ R_2 \qquad R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = R_2$$

A_e



$$v_{in} = -i_s\left[R_{o\beta} /\!/ R_{in}\right] \qquad v_u = A_V v_{in} \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta}+R_{out}}$$

$$A_e = \left.\frac{v_u}{i_s}\right|_{\beta=0} = -A_V \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta}+R_{out}} R_{o\beta} /\!/ R_{in} = -A_V \frac{R_2}{R_2+R_{out}}\left(R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}\right)$$

$$R_{IF} = \frac{\left(R_{in} /\!/ R_{o\beta}\right)}{\left(1-\beta A_e\right)} = \frac{R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{1 + \frac{A_V}{R_2+R_{out}}\left(R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}\right)} = 50\,\Omega$$

$$R_{OF} = \frac{R_{i\beta} // R_{out}}{(1-\beta A_e)} = \frac{R_2 // R_{out}}{(1-\beta A_e)} < 20\,\Omega$$

se supponiamo $\beta A_e \gg 1$ (da verificare), abbiamo soddisfatte entrambi

$$R_{IF} \simeq \frac{R_2 + \overset{100\,\Omega}{R_{out}}}{\underset{1000}{A_V}} = 50\,\Omega \rightarrow R_2 + R_{out} = 50000\,\Omega$$

$$\boxed{R_2 = 49900\,\Omega}$$

$$\beta A_e = \underbrace{\frac{A_V}{R_2 + R_{out}}}_{\frac{1}{50}} (R_1 // \underset{49900}{R_2} // \underset{200\,k\Omega}{R_{in}})$$

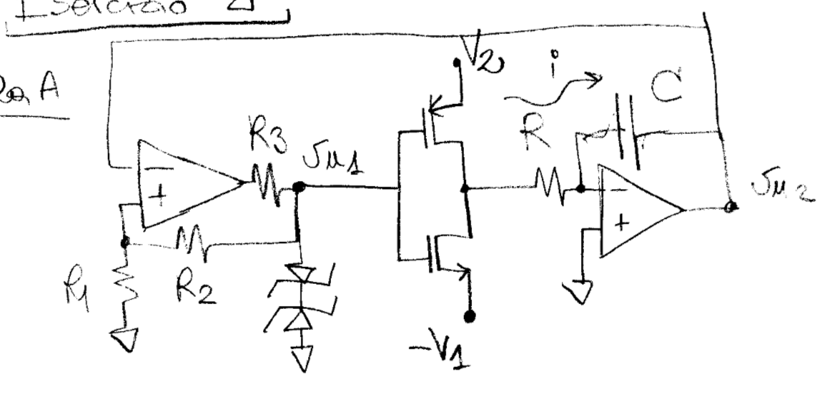
Per avere $\beta A_e \gg 1$ baste scegliere R_1 molto grande. Per esempio $R_1 = 200\,k\Omega$

$R_1 // R_2 // R_{in} = 33.3\,k\Omega$ $\quad \beta A_e = \frac{33.3}{50} \cdot 10^3 \cong \underline{666} \gg 1$

per verificare $R_{OF} = \frac{R_2 // R_{out}}{1-\beta A_e} = \frac{100}{666} \simeq \underline{0{,}15\,\Omega} \ll 20\,\Omega$

Esercizio 2

Fig. A



$V_1 = 1V$
$V_2 = 2V$
$R_1 = R_2 = 10\,k\Omega$
$R_3 = 500\,\Omega$
$V_Z = 4.7\,V$
$R = 10\,k\Omega$
$C = 47\,nF$
$V_0 = V_Z + V_\gamma = 5.4V$

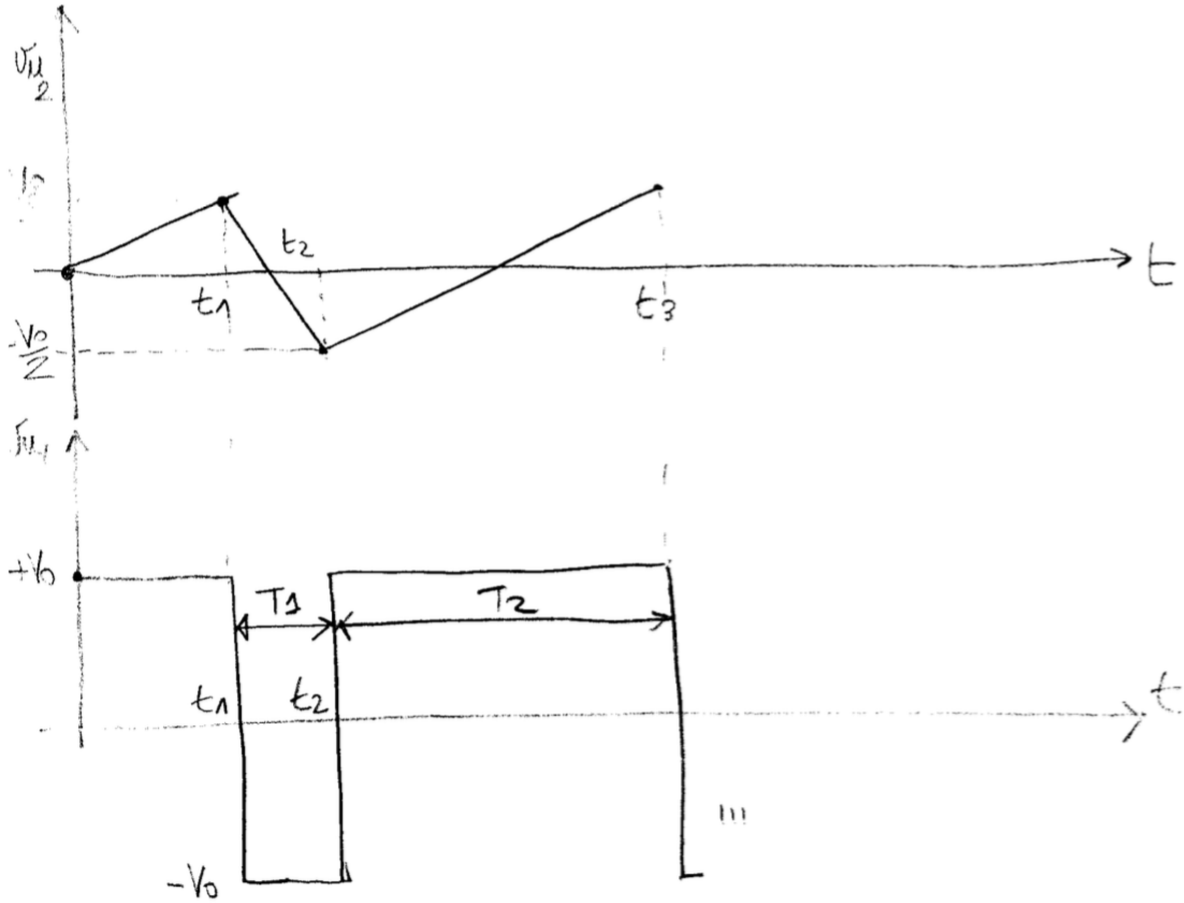
supponiamo che per $t=0$ $v_{u2} = 0$ e $v_{u1} = +V_0$

abbiamo dunque $i = \frac{-V_1}{R}$ $\quad \frac{dv_{u2}}{dt} = \frac{-i}{C} = \frac{+V_1}{RC}$

il trigger di Schmitt commuta quando

$$v_{u_2} = v_+ = \frac{v_{u_1}}{2} = \frac{V_0}{2} = 2.7\ V$$

$$t_1 = \frac{V_0}{2}\frac{RC}{V_1} = \frac{2.7 \cdot 10^4 \cdot 47 \cdot 10^{-9}}{1} = 1.27 \cdot 10^{-3}\ s$$



$$i = \frac{V_2}{R} \rightarrow \frac{dv_{u_2}}{dt} = -\frac{i}{C} = -\frac{V_2}{RC}$$

il trigger di Schmitt commuta se $v_{u_2} = v_+ = \frac{v_{u_1}}{2} = \frac{-V_0}{2} = -2.7\ V$

$$T_1 = \frac{V_0}{\left|\frac{dv_{u_2}}{dt}\right|} = \frac{V_0}{V_2}RC = \frac{5.4}{2} \cdot 10^4 \cdot 47 \cdot 10^{-9} = 1.27\ ms$$

$t_2 = t_1 + T_1 = 2.54\ ms$

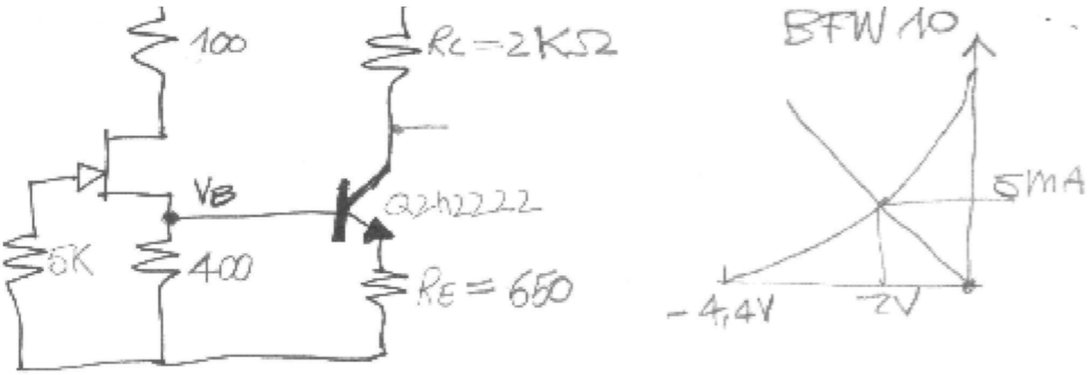
abbiamo di nuovo $v_{u_1} = +V_0 \rightarrow i = \frac{-V_1}{R} \rightarrow \frac{dv_{u_2}}{dt} = \frac{V_1}{RC}$

la nova commutazione si ha quando $v_{I2} = v_+ = \frac{V_o}{2} = 2.7\,V$

$$T_2 = \frac{V_o}{\left|\frac{dv_{u2}}{dt}\right|} = \frac{V_o}{V_i} RC = 2.54\,ms$$

la forma d'onda si ripete in modo periodico $T = T_1 + T_2 = \underline{\underline{3.81\,ms}}$

ESERCIZIO 3



$V_B = V_S$

$V_{GS} = -R_S I_{DS}$ $\qquad I_{DS} = 5mA$

$V_S = 2V =$

$V_E = V_B - V_\gamma = 1,3\,V$

$I_C = \frac{V_E}{R_E} = 2\,mA$

$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 8\,V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 6,7\,V \rightarrow V_{CB} = 6\,V$

$I_B @ (V_{CE} = 6,7\,V;\ I_C = 2mA) = 13,3\,\mu A \ll I_{DS}$ ipotesi partitore pesante verificata

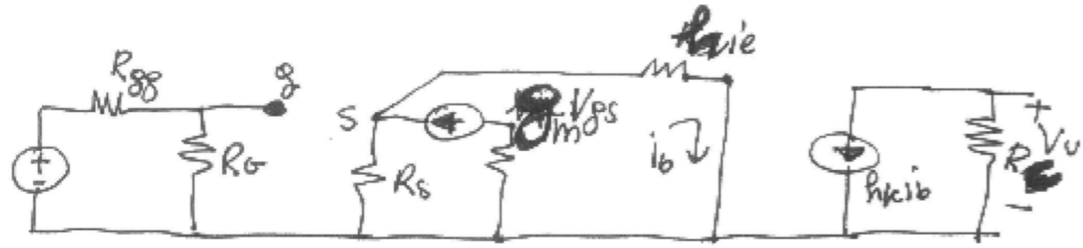
$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = 150$

Parametri piccolo segnale

$C_\mu + C_\pi = 4pF$
$C_\mu = 0{,}6pF$
$C_\pi = 3.4pF$
$g_m = 11{,}5mA/3{,}6V = 3{,}2mS$
$\Big\}$ BFW 10

$C_\mu @ V_{CB} = 8V = 4{,}5pF$
$f_T = 140 MHz$
$C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 83{,}3pF$
$\Big\}$ 2N2222

$h_{ie} @ 1mA = 5000\Omega = r_b + \frac{h_{fe}}{g_m @ 1mA} \Rightarrow r_b = 450\Omega$
$h_{ie} @ 2mA = r_b + \frac{h_{fe}}{g_m @ 2mA} = 2716\ \Omega$; $g_m = 77{,}2mS$; $r_\pi = 2269\Omega$
$\Big\}$ 2N2222
$V_A = 50V \rightarrow r_0 = 25K\Omega \gg R_C$



$$v_{gs} = \frac{v_g R_G}{R_G + R_{gg}} - g_m v_{gs}(R_S \| h_{ie})$$

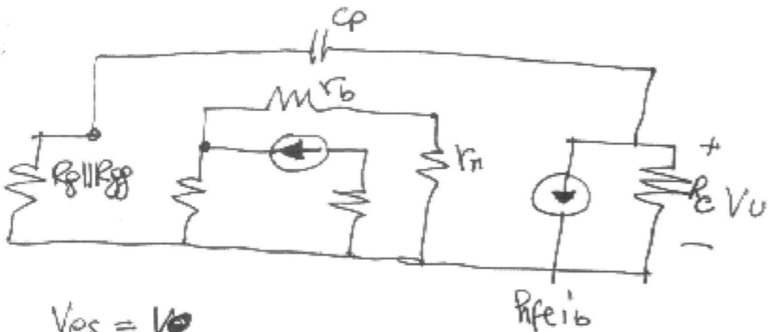
$$v_{gs} = \frac{v_g R_G}{R_G + R_{gg}} \cdot \frac{1}{1 + g_{m1} R_S \| h_{ie}}$$

$$i_b = \frac{R_S}{h_{ie} + R_S} g_{m1} v_{gs}$$

$$v_u = -h_{fe} R_C i_{b1} = -h_{fe} R_C \frac{r_S}{h_{ie} + r_S} g_m \frac{R_G}{R_G + R_{gg}} \frac{1}{1 + g_m R_S \| h_{ie}}$$

$A_{v0} = -67{,}6$

$\boxed{R_p}$



$$v_{gs} = \frac{v_g}{1 + g_m(R_S \| h_{ie})}$$

$$i_b = \frac{R_s}{R_s+h_{ie}} \cdot \frac{g_m V_g}{1+g_m(R_s \| h_{ie})}$$

è equivalente a

con $R_{in} = R_g \| R_{gg}$
$R_{out} = R_e$

con $G_m V_g = \frac{h_{fe} R_s}{R_s+h_{ie}} \cdot \frac{g_m V_g}{1+g_m R_s \| h_{ie}}$

quindi:

$$R_{VCP} = R_{in} + R_{out} + G_m \cdot R_{in} R_{out} = 3{,}71\ k\Omega$$

$$R_{VC\pi} = r_\pi \,\|\, \left(r_b + R_s \,\|\, \frac{1}{g_m} \right) = 490{,}16\ \Omega$$

$\boxed{R_{VC\mu}}$

$$R_{in}^{*} = \left(R_S \,\|\, \frac{1}{g_m} + r_b\right) \| \, r_\pi = R_{vc\pi} = 490{,}16\,\Omega$$

$$R_{out}^{*} = R_C$$

$$g_m^{*} = \frac{h_{fe}}{r_\pi}$$

$\downarrow$

$$R_{vc\mu} = R_{in}^{*} + R_{out}^{*} + g_m^{*} R_{in}^{*} R_{out}^{*} = 78{,}19\ \mathrm{k\Omega}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{R_{vcp}C_p + R_{vc\mu}C_\mu + R_{vc\pi}C_\pi}\right) = 370\ \mathrm{kHz}$$