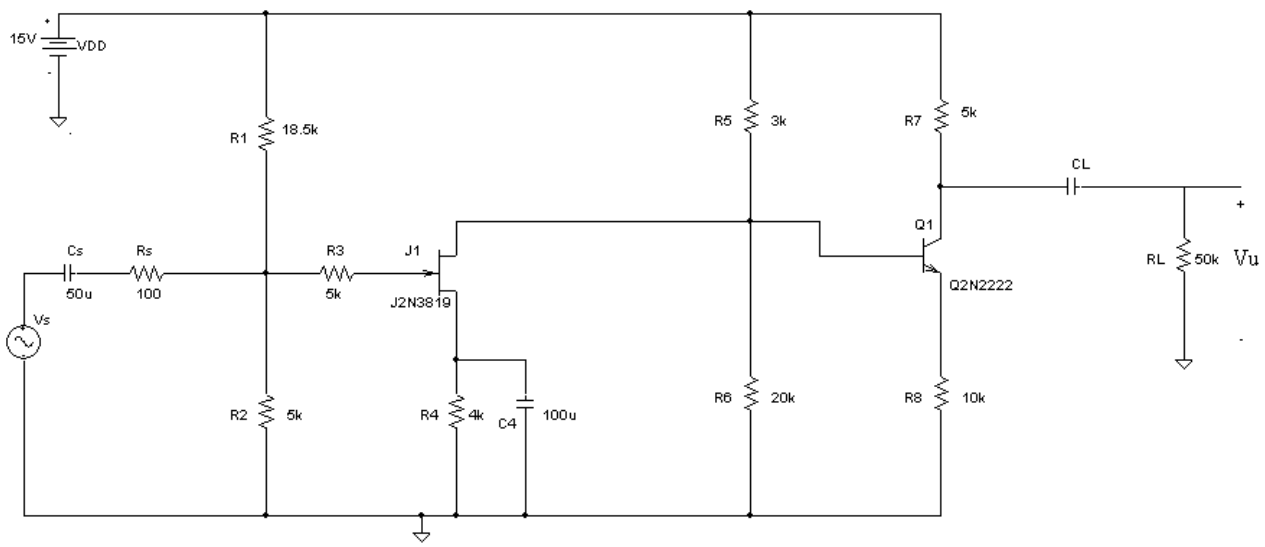


Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
22 luglio 2009

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{vO} = 600$, $R_{in} = 2 \text{ M}\Omega$, $R_{out} = 100 \Omega$. Inoltre sia $R_s = 2 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 200 \Omega$ la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di $5 \text{ M}\Omega$ e una resistenza d'uscita pari a $10 \text{ K}\Omega$. È accettabile una tolleranza del 5%. Ricavare poi i valori esatti delle nuove impedenze di ingresso e di uscita.
2. Progettare e dimensionare completamente un generatore d'onda triangolare con rampa di salita della durata di 1 ms , rampa di discesa della durata di 2 ms , tensione massima 5 V , tensione minima -5 V . Giustificare il procedimento, disegnare il circuito e dimensionare i componenti.
3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
 - il punto di riposo dei due transistori,
 - l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda,
 - il limite inferiore di banda e il limite superiore di banda

NOTE:

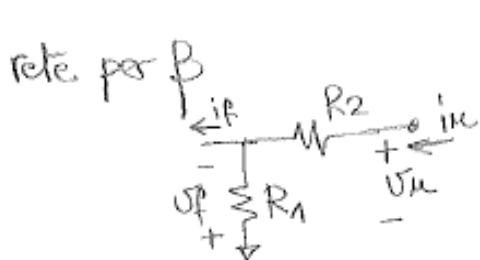
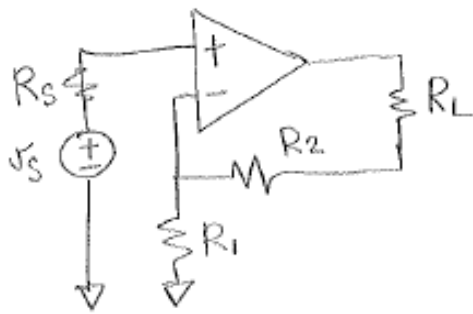
- Il BJT è un Q2N2222 resistivo con $h_{oe} = 0$;
- Il JFET è un 2N3819 con $r_d \rightarrow \infty$.
- C_L ha valore praticamente infinito



1) $R_{in} = 2 M\Omega$
 $R_{out} = 100 \Omega$
 $A_{vo} = 600$

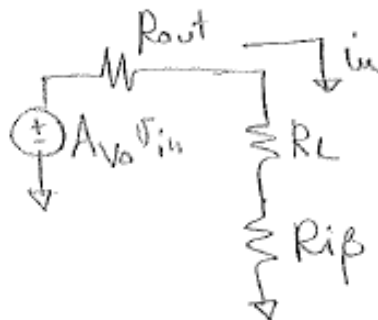
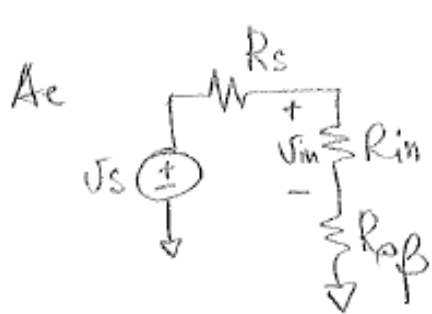
$R_{IF} > 5 M\Omega$
 $R_{OF} = 10 K\Omega$

Reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione



$v_f = +\beta i_u + R_{of} i_f$
 $v_u = R_{i\beta} i_u + K i_f$

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



$A_e = \frac{i_u}{v_s} = \frac{R_{in}}{R_s + R_{in} + R_{of}} \cdot A_{vo} \cdot \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}}$

$R_{IF} = (R_{in} + R_{of}) (1 - \beta A_e) \Big|_{R_s=0} > 5 M\Omega$

$R_{OF} = (R_{out} + R_{i\beta}) (1 - \beta A_e) \Big|_{R_L=0} = 10 K\Omega$
 (with $R_{out} = 100$ and $R_{i\beta} = R_1 + R_2$)

$$1 - \beta A_e |_{R_L=0} = 1 + \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_S + R_1} A_{vo} \frac{1}{R_{out} + R_L + R_1 + R_2}$$

poniamo $|\beta A_e| \gg 1$

$$R_{of} = \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_S + R_1} A_{vo} \approx \frac{R_1 A_{vo}}{\uparrow \quad \uparrow} \quad \begin{matrix} 10000 \\ 600 \end{matrix}$$

$$R_1 = \frac{10000}{600} = 16,7 \, \Omega$$

$$R_{if} = (R_{in} + R_1) \cdot \left(1 + \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_1} A_{vo} \frac{1}{R_{out} + R_L + R_1 + R_2} \right) > 5 M\Omega$$

dobbiamo avere

$$\frac{(R_1 A_{vo})_{10K\Omega}}{R_{out} + R_L + R_1 + R_2} > 2,5$$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $100 \quad 200$

è sicuramente bene:

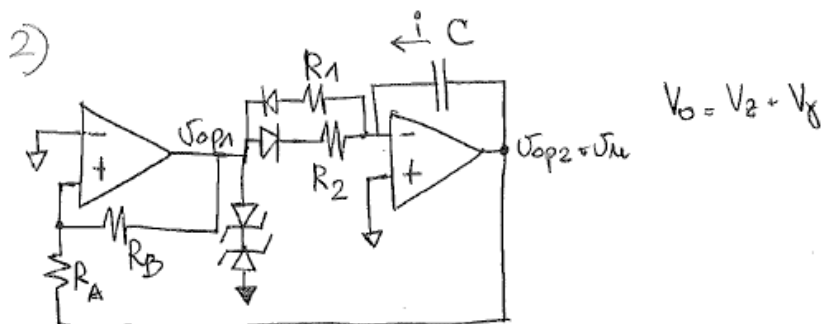
$$R_2 = 100 \, \Omega$$

calcoliamo con precisione

$$(1 - \beta A_e |_{R_L=0}) = 47.19 \quad \rightarrow R_{of} = 10,226 K\Omega$$

$$(1 - \beta A_e |_{R_S=0}) = 25.05 \quad \rightarrow R_{if} = 50.09 M\Omega$$

2)



pendenza nelle rampe in salita:

$$V_{op1} = -V_0$$

$$i = \frac{+V_0 - V_2}{R_1}$$

$$\frac{dv_u}{dt} = \frac{i}{C} = \frac{V_0 - V_2}{R_1 C}$$

pendenza della rampa in discesa

$$V_{op1} = +V_0 \quad i = -\frac{(V_0 - V_2)}{R_2} \quad \frac{dv_u}{dt} = \frac{i}{C} = -\frac{(V_0 - V_2)}{R_2 C}$$

~~Max~~ v_u : Commutazione quando $v_f = 0$

$$v_f = \frac{V_{op1} R_A + v_u R_B}{R_A + R_B} = 0 \rightarrow v_u = -\frac{R_A}{R_B} V_{op1}$$

$$v_{u \max} = +\frac{R_A}{R_B} V_0 \quad v_{u \min} = -\frac{R_A}{R_B} V_0$$

durata rampe in salita:

$$T_1 = \frac{v_{u \max} - v_{u \min}}{\frac{dv_u}{dt}} = \frac{2 R_A}{R_B} \frac{V_0 R_1 C}{V_0 - V_2}$$

durata della rampa in discesa

$$T_2 = \frac{2 R_A}{R_B} \frac{V_0}{V_0 - V_2} R_2 C$$

poniamo $V_f = 0,7 V$

$$V_2 = 4,3 V$$

$$R_A = R_B = 10 K\Omega$$

$$T_1 = 10^{-3} = \frac{2 V_0}{V_0 - V_f} R_1 C \Rightarrow R_1 C = \frac{V_0 - V_f}{2 V_0} T_1 =$$

$$= \frac{4,3}{10} \cdot 10^{-3} = 0,043$$

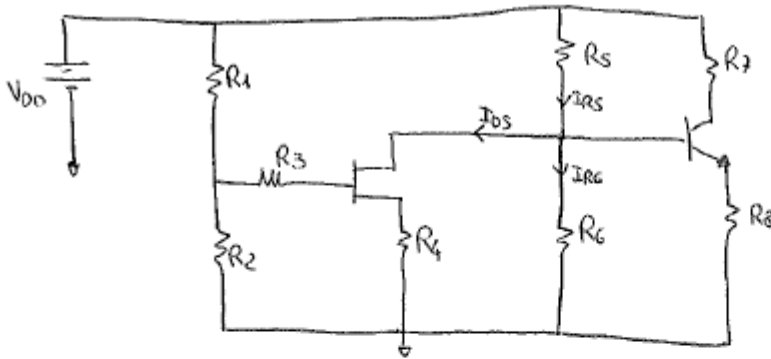
scelgo

$$C = 10^{-7} F$$

$$R_1 = \frac{0,043}{C} = 0,043 \cdot 10^7 = \underline{43 K\Omega}$$

poiché $T_2 = 2 T_1$ avremo $R_2 = 2 R_1$

3.



PUNTO DI RIPOSO JFET

$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3.19 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - R_4 \cdot I_{DS} = 0 \quad I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_4}$$

$$\begin{cases} V_{GS} = 0 \Rightarrow I_{DS} = 0.8 \text{ mA} \\ V_{GS} = -3 \text{ V} \Rightarrow I_{DS} = 1.55 \text{ mA} \end{cases} \Rightarrow V_{GS} = -2.1 \text{ V}; I_{DS} = 1.32 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_D - R_4 \cdot I_{DS}$$

$$\begin{cases} V_D = R_6 \cdot I_{RG} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_D = V_{DD} - R_5 \cdot I_{RS} \end{cases}$$

$$I_{DS} = I_{RS} - I_{RG} \quad \text{HP. PARTITORE PESANTE } I_B \ll I_{RS}, I_{RG}$$

$$\begin{cases} V_D = R_6 \cdot I_{RG} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_D = V_{DD} - R_5 (I_{RG} + I_{DS}) \end{cases}$$

$$I_{RG} = \frac{V_{DD} - R_5 I_{DS}}{R_5 + R_6} = 0.48 \text{ mA}$$

$$I_{RS} = I_{DS} + I_{RG} = 1.8 \text{ mA}$$

$$V_D = R_G \cdot I_{RG} = 9.6 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad V_{DS} = V_D - R_u \cdot I_{DS} = 4.32 \text{ V}$$

VERIFICA HP. JFET IN SATURAZIONE

$$\begin{cases} V_{GS} > V_{GS\text{off}} = -3 \text{ V} = 0 \text{ OK} \\ V_{DS} > V_{GS} - V_{GS\text{off}} = 0.9 \text{ V} = 0 \text{ OK} \end{cases}$$

PUNTO DI RIPOSO BJT

$$V_B = V_D = 9.6 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 8.9 \text{ V}$$

$$I_E \approx I_C = \frac{V_E}{R_8} = 0.89 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_7 + R_8) \cdot I_C = 1.5 \text{ V}$$

VERIFICA HP: PARTITORE PESANTE

$$h_{FE} \approx 150 \quad \text{DAL GRAFICO}$$

$$I_B \approx \frac{I_C}{h_{FE}} \approx 6 \mu\text{A}$$

$$I_B \ll I_{RS}, I_{RG} \Rightarrow \text{OK}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE JFET

$$g_m \approx 2.7 \text{ mS}$$

$$C_{iss} \approx 2.4 \text{ pF}$$

$$C_{rss} \approx 1.2 \text{ pF}$$

$$C_{GD} = C_{rss} = 1.2 \text{ pF}$$

$$C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.2 \text{ pF}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE BJT

$$R_{\beta\beta} = \frac{50+300}{2} = 175$$

$$R_{ie} @ 1mA = \frac{2+8}{2} = 5 k\Omega$$

$$V_{b'e} @ 1mA = \frac{V_T \cdot R_{\beta\beta}}{I_C @ 1mA} = 4.55 k\Omega$$

$$V_{bb'} = R_{ie} - V_{b'e} = 450 \Omega$$

$$V_{b'e} = \frac{V_T \cdot R_{\beta\beta}}{I_C} = 5.06 k\Omega$$

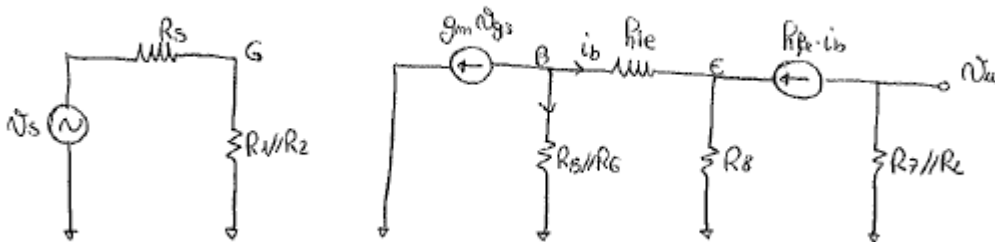
$$R_{ie} = V_{b'e} + V_{bb'} = 5.51 k\Omega$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 0.8 V$$

$$f_T \cong 80 \text{ MHz}$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 36.62 \text{ mS}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$v_u = -R_7 // R_L \cdot \beta i_b$$

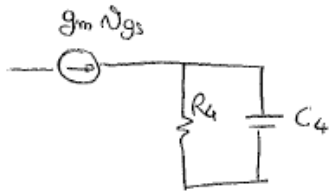
$$v_E = R_8 (\beta + 1) \cdot i_b$$

$$\begin{cases} v_B = -(R_5 // R_6) (g_m v_{gs} + i_b) \\ v_B = v_E + r_{ie} \cdot i_b \end{cases}$$

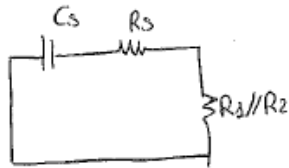
$$\Rightarrow v_E + r_{ie} \cdot i_b = -(R_5 // R_6) (g_m v_{gs} + i_b)$$

DA inserire immagine che manca

LIMITE INFERIORE DI BANDA



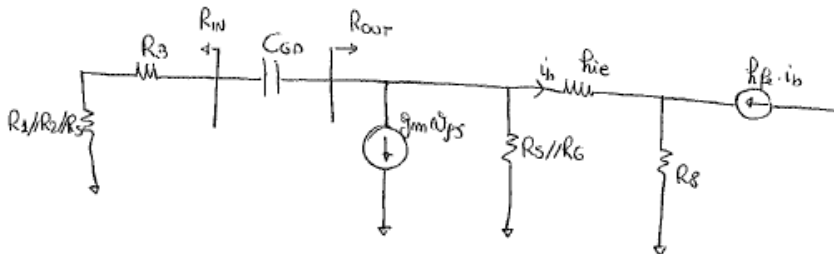
$$R_{V_{C4}} = R_4 \parallel \frac{1}{g_m} = 339 \Omega$$



$$R_{V_{C5}} = R_s + (R_1/R_2) = 4.036 \text{ k}\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_4 \cdot R_{V_{C4}}} + \frac{1}{C_s \cdot R_{V_{C5}}} \right] \approx 5.48 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA

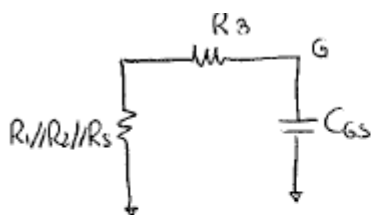


$$R_{in} = R_3 + R_1/R_2/R_3 = 5.097 \text{ k}\Omega$$

$$R_{out} = R_s/R_G \parallel [R_{ie} + R_s (R_B + 1)] = 2.6 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_{out} = -7.02$$

$$R_{V_{GD}} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out} = 43.48 \text{ k}\Omega$$



$$R_{V_{G5}} = R_3 + R_1/R_2/R_3 = 5.097 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [R_{V_{GD}} \cdot C_{GD} + R_{V_{G5}} \cdot C_{GS}]} \approx 2.73 \text{ MHz}$$