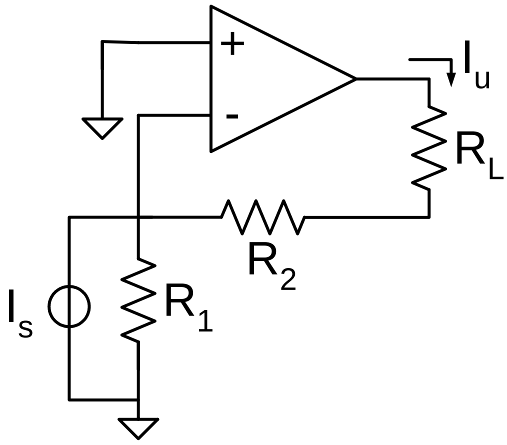
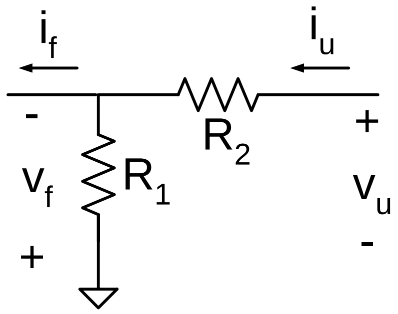
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
13 febbraio 2008
Parte A

1. *Si consideri un amplificatore di tensione con A_{vO}=1000, R_{in} = 2 MΩ, R_{out} = 100 Ω. Si reazioni l'amplificatore in modo da ottenere una resistenza di ingresso uguale a 1 Ω, e una resistenza di uscita maggiore di 100 KΩ. Si supponga che il carico sia una resistenza R_L = 5 KΩ.*

Per il circuito reazionato si vuole ottenere una resistenza di ingresso $R_{IF} < R_{in}$ e una resistenza di uscita $R_{OF} > R_{out}$. È quindi necessaria una reazione con prelievo di corrente e inserzione di corrente (parallelo-serie), del tipo indicato in figura.



La rete di reazione è la seguente:

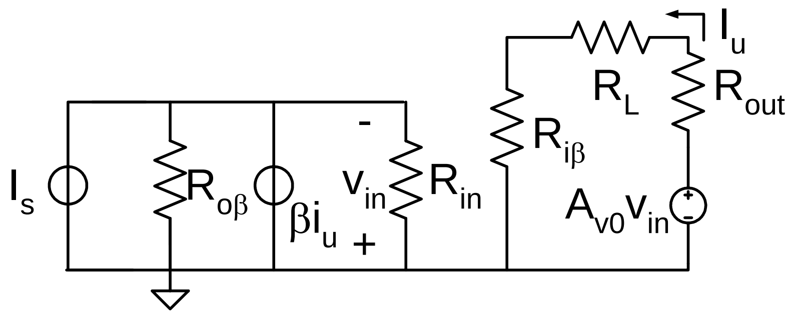


Per cui abbiamo:

$$\begin{pmatrix} i_f \\ v_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta & 1/R_{o\beta} \\ R_{i\beta} & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_u \\ v_f \end{pmatrix},$$

dove $\beta = \left.\frac{i_f}{i_u}\right|_{v_f=0} = 1$; $R_{o\beta} \equiv \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_1$; $R_{i\beta} \equiv \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = R_2$, e come al solito poniamo $k = 0$.

Sostituendo al posto della rete del β il circuito equivalente otteniamo



Possiamo ora ricavare A_e e

$$A_e \equiv \left.\frac{i_u}{i_s}\right|_{\beta=0} = -\left(R_{o\beta} \parallel R_{in}\right)\frac{A_{V0}}{R_{i\beta}+R_L+R_{out}},$$

Nel caso di reazione parallelo-serie abbiamo

$$R_{IF} = \frac{\left(R_{in} \parallel R_{o\beta}\right)}{1-\beta A_e} = \frac{\left(R_{in} \parallel R_1\right)}{1-A_e}$$

$$R_{OF} = \left(R_{out}+R_{i\beta}\right)\left(1-\beta \left.A_e\right|_{R_L=0}\right) = \left(R_{out}+R_2\right)\left(1-\left.A_e\right|_{R_L=0}\right).$$

Poiché l'amplificazione non è sufficientemente alta da ottenere $\left(1-\beta A_e\right) >> 1$ scegliamo di imporre le resistenze di ingresso e uscita con i termini R_1 e R_2. Per esempio se scegliamo $R_1 = 1\ \Omega$ e $\left|A_e\right| << 1$ abbiamo imposto R_{IF} = 1 Ω. Per quanto riguarda $R_{OF} > 100\ \text{k}\Omega$ è sufficiente scegliere $R_2 = 100\ \text{k}\Omega$.

2. *Disegnare lo schema di un VCO e dimensionare i componenti in modo che si abbia un'onda triangolare da +4 V and -4 V e di frequenza 2 KHz. Giustificare il procedimento.*

Non ripetiamo in questo documento lo schema e per il funzionamento del VCO, perché lo studente può far riferimento agli appunti del corso. L'ampiezza dell'onda quadra è fissata dai diodi Zener del comparatore rigenerativo. Essendo le onda quadre triangolari e quadre simmetriche abbiamo $V_{\max} = V_Z + V_\gamma$. Poiché nel nostro caso $V_{\max} = -V_{\min} = 4\ \text{V}$ abbiamo $V_Z = 3.4\ \text{V}$. Perché le ampiezze delle onde quadre e triangolari siano uguali scegliamo $R_1 = R_2 = 10\ \text{k}\Omega$. La frequenza viene imposta ricordando che

$f = 2\dfrac{V_m}{RC\left(V_{\max}-V_{\min}\right)}$. Possiamo quindi scegliere R=10 kΩ, C = 50 nF, V_m = 4 V.

3. *Realizzare un filtro che abbia due zeri nell'origine e due poli sp1,sp2 = -100 ±j2000 rad/s. Disegnare il circuito e dimensionare i componenti, giustificando il procedimento.*

Il filtro desiderato è un filtro passa alto, che si può realizzare con una cella di Sallen-Key del secondo ordine. Anche in questo caso la descrizione del circuito della cella e il calcolo della funzione di trasferimento possono essere rintracciati negli appunti del corso e non saranno qui ripetuti. La funzione di trasferimento ha la forma:

$$H(s) = \frac{R^2C^2As^2}{R^2C^2s^s + (3-A)RCs+1}.$$

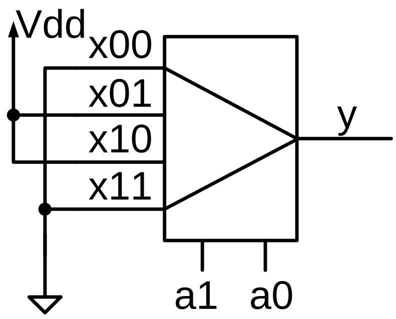
Il modulo dei due poli è quindi $\omega_0 = (RC)^{-1} = \sqrt{100^2+2000^2} = 2002.5\ \text{rad/s}$. Possiamo quindi scegliere C = 50 nF, $R = \left(\omega_0 C\right)^{-1} = 9987.5\ \Omega$. Il fattore di qualità Q dei poli è: $Q = -(2\cos\alpha)^{-1}$, dove α è la fase dei poli. Abbiamo quindi:

$$Q = \left(2\frac{100}{\omega_0}\right)^{-1} = 10.1.$$

Dall'espressione di *H(s)* vediamo anche che $Q = (3 - A)^{-1}$, quindi $A = 3 - 1/Q = 2.9$. Poiché A è l'amplificazione di un amplificatore non invertente, le due resistenze possono ad esempio assumere il valore $R_1 = 10\ \text{k}\Omega,\ R_2 = 19\ \text{k}\Omega$.

4. *Realizzare una funzione logica XOR usando un multiplexer 4:1.*

È sufficiente usare come ingressi della funzione logica i segnali di controllo del multiplexer a1 e a0, e collegare gli ingressi x00 e x11 a massa, e gli ingressi x10 e x01 a V_{DD}.

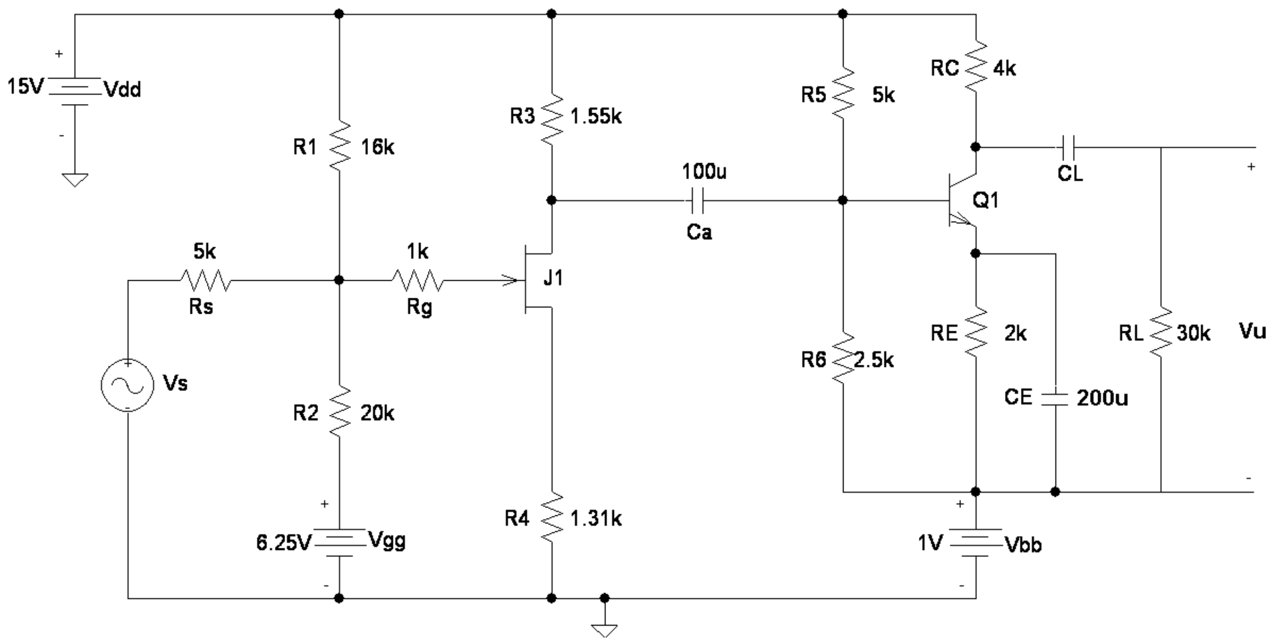


Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione Vu/Vs a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

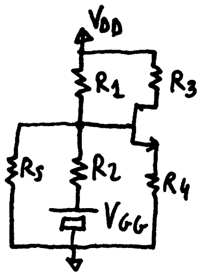
NOTE: J1 è un 2N3819 con rd → ∞, Q1 un BC109B con hoe=hre=0, C_L ha valore praticamente infinito

Punteggio totale Parte B: 14.



PARTE B:

PUNTO DI RIPOSO JFET:



SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI

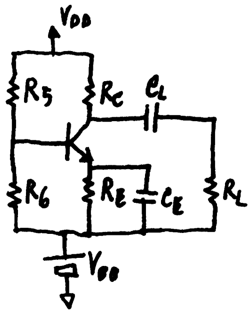
$$V_G = V_{GG}\frac{R_1//R_5}{R_2+R_1//R_5} + V_{DD}\frac{R_2//R_5}{R_1+R_2//R_5} = 4V$$

$$V_{GS} = V_G - R_4 I_{DS} \Rightarrow I_{DS} \cong 4\,mA \quad , \quad V_{GS} \cong -1,25V$$

DALLE CARATTERISTICHE

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_3+R_4)I_{DS} \cong 3,56V \Rightarrow \begin{cases} V_{DS} > V_{GS} - V_P \\ V_{GS} > V_P \end{cases}$$

PUNTO DI RIPOSO BJT:



SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI + HP. P.P.

$$V_B = V_{BB}\frac{R_5}{R_5+R_6} + V_{DD}\frac{R_6}{R_5+R_6} \cong 5,7V$$

$$V_E = V_B - V_\gamma \cong 5V$$

$$I_C \cong \frac{V_E - V_{BB}}{R_E} \cong 2mA$$

$$V_C = V_{DD} - R_C I_C \cong 7V \Rightarrow V_{CE} \cong 2V$$

VERIFICA IPOTESI PARTITORE PESANTE:

$$h_{FE} \cong 319 \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \cong 6,27\,\mu A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{R_5} = I_{R6} \cong 1,9\,mA \gg I_B \Rightarrow OK$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE DEL BJT:

$$h_{fe} = 300 \qquad h_{ie}@2mA = 4,8k\Omega$$

$$r_{b'e}@2mA = \frac{V_T h_{fe}}{I_C@2mA} = 3,9k\Omega \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_{bb'} = h_{ie} - r_{b'e} = 900\Omega$$

$$g_m^{BJT} = \frac{I_C}{V_T} \cong 77mS \qquad f_T = 145\,MHz$$

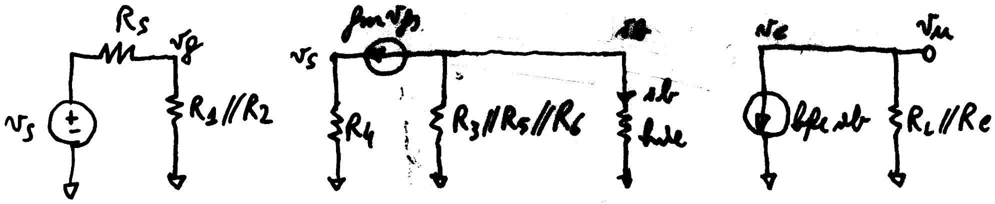
$$V_{CB} = 1,3V \Rightarrow C_{b'c} \cong 7pF \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{b'e} = \frac{g_m^{BJT}}{2\pi f_T} - C_{b'c} \cong 77,5pF$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE DEL JFET:

$$g_m \cong 2,5\,mS \qquad \begin{cases} C_{iss} \cong 3pF \\ C_{rss} \cong 1,8pF \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_{GD} = C_{rss} = 1,8pF \\ C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} \cong 1,2pF \end{cases}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA:



$$v_u = -(R_L//R_C)\, h_{fe}\, i_b$$

$$g_m v_{gs} = -i_b - \frac{h_{ie}\, i_b}{R_3//R_5//R_6} \Rightarrow i_b = -\frac{g_m v_{gs}\,[R_3//R_5//R_6]}{h_{ie} + R_3//R_5//R_6}$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_S \frac{R_1//R_2}{R_S + R_1//R_2} - g_m v_{gs} R_4 \Rightarrow v_{gs} = \frac{R_1//R_2}{R_S + R_1//R_2} \cdot \frac{v_S}{1 + g_m R_4}$$

$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_S} = \frac{R_1//R_2}{R_S + R_1//R_2} \cdot \frac{g_m (R_3//R_5//R_6)}{h_{ie} + R_3//R_5//R_6} \cdot \frac{(R_C//R_L)\, h_{fe}}{1 + g_m R_4} \cong 30{,}29$$

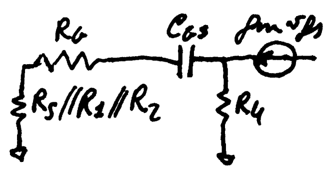
LIMITE INFERIORE DI BANDA:

$$R_{VC_a}\Big|_{C_E\, cc} = R_3 + R_5//R_6//h_{ie} \cong 2{,}79\, K\Omega$$

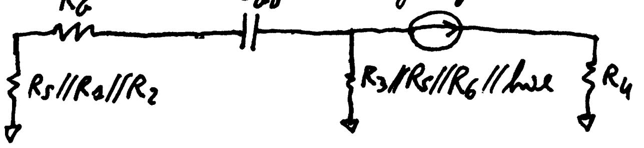
$$R_{VC_E}\Big|_{C_a\, cc} = R_E // \left[\frac{h_{ie} + R_3//R_5//R_6}{h_{fe} + 1}\right] \cong 18{,}44\, \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{C_a R_{VCa}} + \frac{1}{C_E R_{VCE}}\right] \cong 43{,}7\, Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:

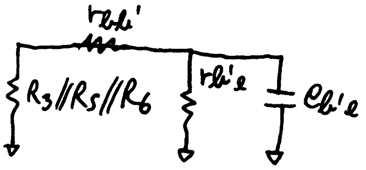


$$R_{V_{GS}} = \frac{R_G + R_1//R_2//R_S + R_4}{1 + g_m R_4} \cong 1{,}29k \cong 1{,}29\, K\Omega$$

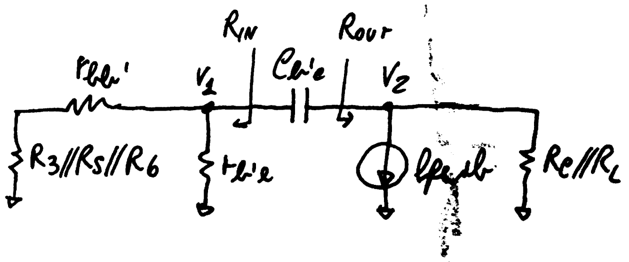


$$R_{V_{GD}} = R_G + (R_S//R_1//R_2) + (R_3//R_5//R_6//h_{ie})\left[1 + \frac{g_m\,[R_G + (R_1//R_2//R_S)]}{1 + g_m R_4}\right]$$

$$\cong 6{,}58\, K\Omega$$



$$R_{V_{b'e}} = r_{b'e} // [r_{bb'} + R_3//R_5//R_6] \cong 1,18\ K\Omega$$



$$R_{V_{b'c}} = R_{IN}\left(1+|A_V|\right) + R_{OUT} \cong 326,5\ K\Omega$$

dove
$$\begin{cases} R_{IN} = r_{b'e} // [r_{bb'} + R_3//R_5//R_6] \cong 1,18 K\Omega \\ R_{OUT} = R_e//R_L \cong 3,53\ K\Omega \\ A_V = \dfrac{V_2}{V_1} = -h_{fe}\dfrac{(R_e//R_L)}{r_{b'e}} \cong -271,5 \end{cases}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\left[C_{GS}R_{V_{GS}} + C_{GD}R_{V_{GD}} + C_{b'e}R_{V_{b'e}} + C_{b'c}R_{V_{b'c}}\right]} \cong 66,56\ KHz$$