

Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
11 gennaio 2007
Parte A

1. Si supponga di avere a disposizione un amplificatore differenziale con guadagno di tensione a centrobanda $A_V = 10000$ e limite superiore di banda 10 Hz. Si supponga che l'impedenza di ingresso sia 10 K Ω e l'impedenza di uscita 1 K Ω . Si introduca una reazione in modo da ottenere una banda passante di 1 KHz, un'impedenza di uscita inferiore a 100 Ω e impedenza d'ingresso superiore a 100 K Ω , giustificando il procedimento. Calcolare la nuova funzione di trasferimento.
2. Calcolare il guadagno di corrente di corto circuito di un transistor bipolare in funzione della frequenza. Enunciare la definizione di frequenza di transizione di un BJT e ricavare l'espressione del suo valore in funzione dei parametri del circuito di piccolo segnale.
3. Disegnare e dimensionare lo schema del circuito elettronico che abbia due poli complessi coniugati $s_{p1}, s_{p2} = -1000 \pm j 500$ rad/s, e uno zero nell'origine.
4. Disegnare il circuito con logica CMOS che esegua la funzione logica $Y = ABC + \overline{BC}$ con il minimo numero di transistori. Determinare i rapporti W/L dei transistori, sapendo che $n=2$ e $p=5$.

Punteggio totale Parte A: 14

Parte B

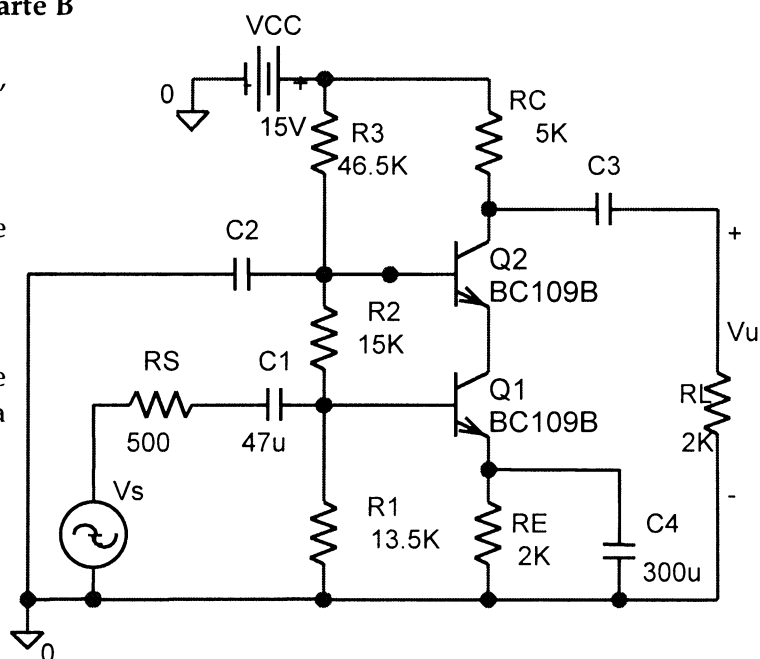
Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

Ipotesi semplificative:

- i due transistori hanno $h_{oe}=0$.
- C2 e C3 hanno valore praticamente infinito (sono un corto circuito a frequenza diversa da zero).

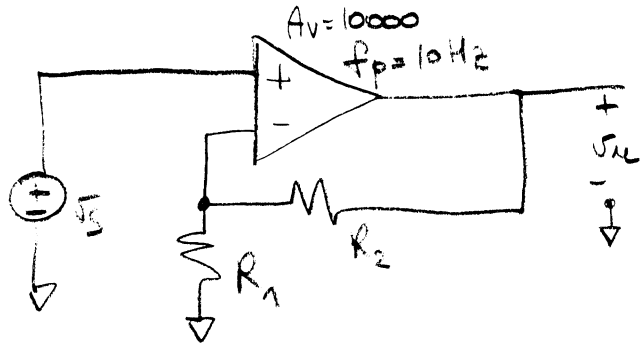
Punteggio totale Parte B: 14.



Parte A

- ① $R_{in} = 10\text{K}\Omega$ $R_{out} = 1\text{K}\Omega$ vogliamo $R_{IF} > 100\text{K}\Omega$
 $R_{OF} < 100\Omega$

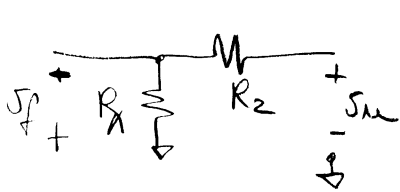
abbiamo quindi bisogno di una reazione con prelievo di tensione e inserzione di tensione



Perché vogliamo $f_H = 1\text{KHz}$ abbiamo

$$f_H = (1 - \beta A_e) \frac{f_p}{\beta} \rightarrow 1 - \beta A_e = 100 \rightarrow \beta A_e = -99$$

Rete per β :

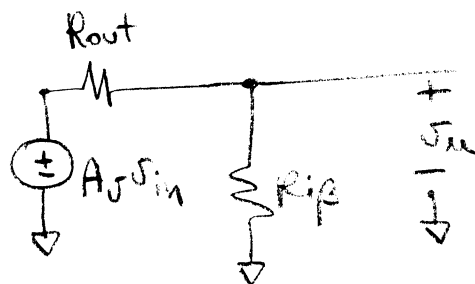
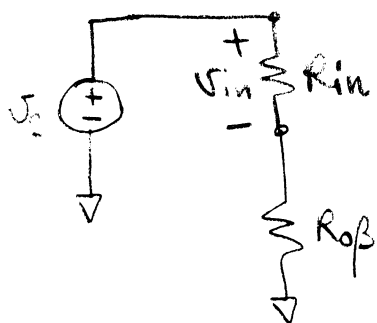


$$v_f = \beta v_u + R_1 i_f$$

$$i_{in} = \frac{v_u}{R_1 \beta} + i_f$$

$$\beta = \frac{v_f}{v_u} \Big|_{i_f=0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad R_{o\beta} = \frac{v_f}{i_f} \Big|_{v_u=0} = R_1 \parallel R_2; \quad R_{i\beta} = \frac{v_u}{i_{in}} \Big|_{v_f=0} = R_1 + R_2$$

Rete per A_e



$$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} A_o \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta} + R_{oT}}$$

$$\beta A_e = \frac{-R_i}{R_1 + R_2} \left[\frac{R_{in}}{R_{in} + R_1 \parallel R_2} A_v \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_{out}} \right] = -99$$

altre condizioni:

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta}) (1 - \beta A_e) > 100 \text{ k}\Omega \quad \begin{matrix} \text{sempre} \\ \text{soddisfatta} \end{matrix}$$

\uparrow $10 \text{ k}\Omega$ \uparrow 100

$$R_{OF} = \frac{R_{i\beta} \parallel R_{out}}{1 - \beta A_e} < 100 \Omega \quad \text{sempre soddisfatta}$$

\nwarrow $1 \text{ k}\Omega$
 \nwarrow 100

se poniamo $R_1 + R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ abbiamo di sicuro $R_1 \parallel R_2$ più piccolo di $\frac{R_{in}}{100}$ e quindi trascurabile nel termine $R_{in} + R_1 \parallel R_2$.

$$\beta A_e = \frac{-R_1 A_v}{R_1 + R_2 + R_{out}} = -99 \Rightarrow R_1 = \frac{+99 \cdot 2000}{10000} = \underline{\underline{+19,8 \Omega}}$$

$R_2 = 1000 - R_1 = \underline{\underline{980,2 \Omega}}$

Calcoliamo dunque $R_{o\beta} = R_1 \parallel R_2 = 19,4 \Omega$

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta}) (1 - \beta A_e) = 1000 + 19,4 \cdot 100 = \underline{\underline{10 \text{ M}\Omega}}$$

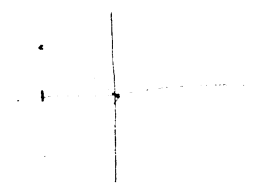
$$R_{OF} = \frac{(R_1 + R_2) \parallel R_{out}}{1 - \beta A_e} = \frac{500}{100} = \underline{\underline{5 \Omega}}$$

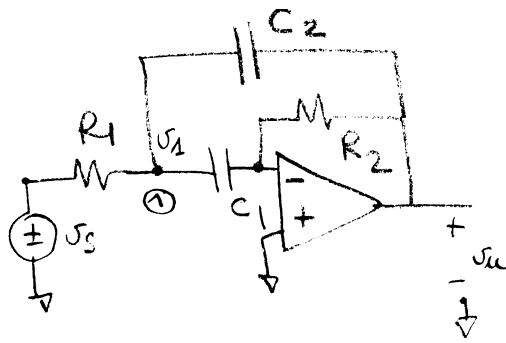
② L'esercizio è stato svolto a lezione. Verificare.

③ Il circuito è un filtro biquadratico passa banda che si può ottenere con una cella di Deliyannis.

$$\omega_0 = |s_{p1}| = \sqrt{1000^2 + 500^2} = 1118 \text{ rad/s}$$

$$Q = \frac{1}{2 \cos \alpha} = \frac{1}{2 \cdot \frac{1000}{1118}} = 0,56$$





$$V_1 \left(\frac{1}{R_1} + C_1 s + C_2 s \right) - \frac{V_S}{R_1} - V_u C_2 s = 0$$

$$V_1 C_1 s = -\frac{V_u}{R_2} \rightarrow V_1 = \frac{-V_u}{R_2 C_1 s}$$

$$\frac{-V_u}{R_2 C_1 s} \left(1 + R_1 C_1 s + R_1 C_2 s \right) - \frac{V_S}{R_1} - V_u C_2 s = 0$$

$$V_u = \frac{-V_S R_2 C_1 s}{R_1 R_2 C_2 s^2 + R_1 (C_1 + C_2) s + 1}$$

$$R_1 R_2 C_1 C_2 = \frac{1}{\omega_0^2} \rightarrow \omega_0 \quad R_1 R_2 C_1 C_2 = 0.8 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{R_1 (C_1 + C_2)}{R_1 R_2 C_1 C_2} = \frac{1}{Q \omega_0^3} \rightarrow R_1 (C_1 + C_2) = \frac{1}{Q \omega_0^3} = 1.28 \cdot 10^{-9}$$

poniamo $C_1 = C_2 = 1 \mu\text{F}$

$$R_1 = \frac{1.28 \cdot 10^{-9}}{10^{-12}} = 1280 \Omega$$

$$R_2 = \frac{0.8 \cdot 10^{-6}}{1.28 \cdot 10^{-9}} = 625 \Omega$$

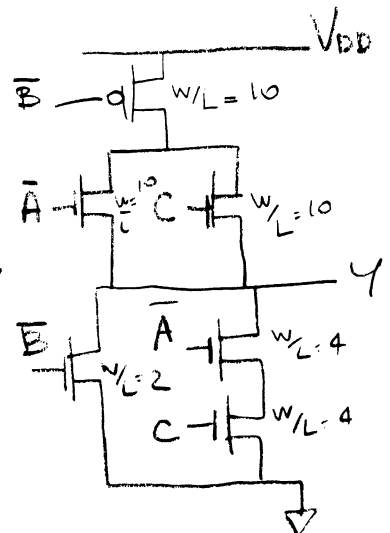
④ $Y = ABC + \bar{B}\bar{C}$

mappe di Karnaugh

	AB			
C	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	0	0	1	0

$$Y = \bar{B}\bar{C} + AB$$

oppure $\bar{Y} = \bar{B} + \bar{A}C \leftarrow \text{scegliamo questa}$



Punto di Riposo \swarrow ipotesi: di partitore pesante

$$V_{B1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC} = \frac{13,5 \cdot 15}{13,5 + 15 + 46,5} = 2,7V$$

$$V_{B2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC} = \frac{28,5}{75} \cdot 15 = 5,7V$$

$$V_{E2} = V_{B1} - V_{\gamma} = 2V$$

$$I_{E2} = V_{E2} / R_{E2} = 1mA \approx I_{C2} = I_{E1} \approx I_{C1}$$

$$V_{E1} = V_{C2} = V_{B2} - V_{\gamma} = 5V \quad V_{CE2} = 3V$$

$$V_{C1} = V_{CC} - R_C I_{C1} = 15 - 5 \cdot 1 = 10V \quad V_{CE1} = 5V$$

$Q_1:$	$V_{CE1} = 5V$	Q_2	$V_{CE2} = 3V$
	$I_{C1} = 1mA$		$I_{C2} = 1mA$
	$h_{FE} = 0,9 \cdot 290 =$		$h_{FE} = 260$
	$= 260$		

verifica $I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE}} = 3,85 \mu A = I_{B2}$

verifica partitore pesante $\frac{V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3} = 200 \mu A \gg I_{B1}$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 38,4 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$\beta_{e1} = \beta_{e2} = 300$$

ricaviamo r_b da $h_{ie} @ 2mA = 4,8K\Omega$

$$h_{ie} @ 2mA = r_{be} @ 2mA + r_{bb'} = \frac{V_T}{2mA} \cdot \beta_e + r_{bb'}$$

$$r_{bb'} = 4800 - \frac{26}{2} \cdot 300 = 900 \Omega$$

$$r_{be2} = r_{be1} = \frac{1}{g_{m1}} \beta_e = 7800 \Omega \rightarrow h_{ie1} = h_{ie2} = 8700 \Omega$$

$$f_T = 125 MHz$$

$$C_{bc1} (V_{CB} = 4,3V) = 5,9 pF$$

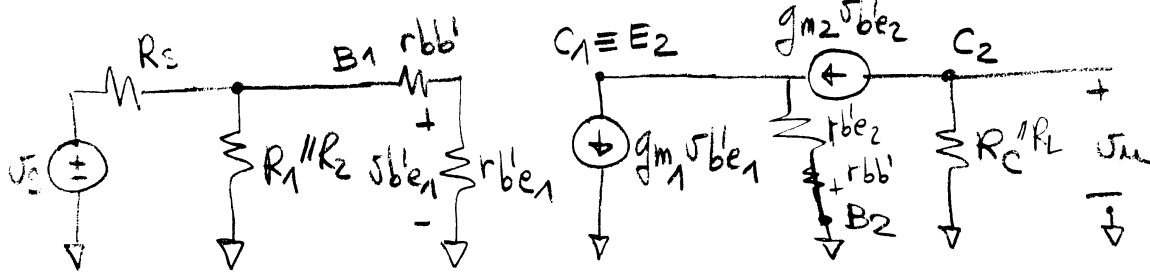
$$f_T = \frac{g_{m1}}{2\pi(C_{bc1} + C_{be1})} \rightarrow C_{be1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_T} - C_{bc1} = \underline{44 pF}$$

149 pF

$$C_{bc2} (V_{CB} = 2,3V) = 5,9 pF$$

$$C_{be2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_T} - C_{bc2} = \underline{43,2 pF}$$

Centrobanda, circuito per i piccoli segnali



$$v_{be1} = \frac{r_{be1}}{r_{be1} + r_{bb1} + R_1 \parallel R_2 \parallel R_s} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_s} v_s ; \quad g_{m2} v_{be2} + \frac{v_{be2}}{h_{ie2}} = v_{be1} g_{m1} \rightarrow v_{be2} = \frac{g_{m1} h_{ie2} - 1}{g_{m2} h_{ie2}} v_{be1}$$

$$v_u = -g_{m1} v_{be2} (R_C \parallel R_L) \rightarrow \frac{v_u}{v_s} = -g_{m1} R_C \parallel R_L \frac{r_{be1}}{r_{be1} + r_{bb1} + R_1 \parallel R_2 \parallel R_s} \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_s} \left(1 - \frac{1}{g_{m2} h_{ie2}} \right)$$

$$= -38,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{7800}{7800 + 400 + 500 \parallel 13500 \parallel 15000} \frac{7100}{7600} \frac{299}{300} =$$

$$= -54,86 \cdot 0,85 = 0,93 = \underline{\underline{-43,56}}$$

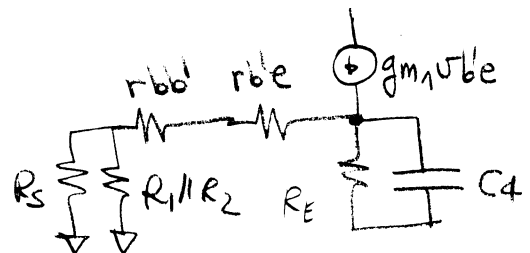
limite inferiore di banda

$$R_{Vc1} \Big|_{C_c} = R_s + R_1 \parallel R_2 \parallel (r_{bb1} + r_{be1}) = 500 + 7100 \parallel 8700 = 4410 \Omega$$

$$R_{Vc4} \Big|_{C_c} = R_E \parallel \left(\frac{r_{be} + r_{bb} + R_1 \parallel R_2 \parallel R_s}{\beta + 1} \right) =$$

$$= 2000 \parallel \left(\frac{8700 + 467}{301} \right) =$$

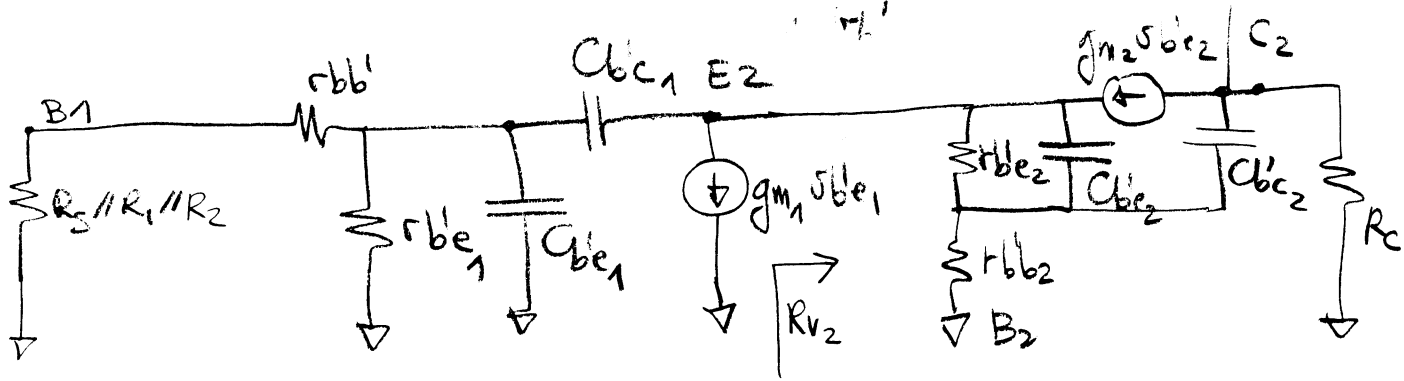
$$2000 \parallel 30,45 = \underline{30 \Omega} \quad 4,82$$



$$f_H = \left(\frac{1}{R_{Vc1} C_1} + \frac{1}{R_{Vc4} C_4} \right) \frac{1}{2\pi} = \left(\frac{1}{4410 \cdot 47 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{30 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} \right) \frac{1}{6,28} = 18,46 \text{ Hz}$$

limite superiore di banda

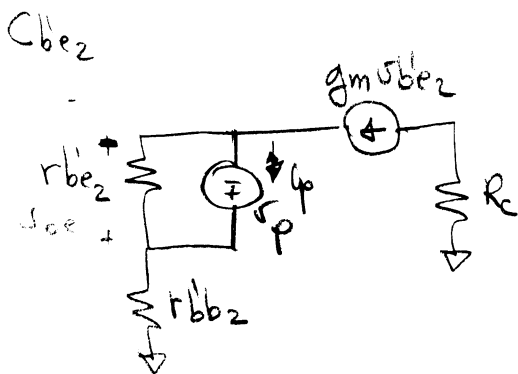
(6)



$$R_{V_{be1}} = r_{be1} \parallel (r_{bb'} + R_s \parallel R_1 \parallel R_2) = 7800 \parallel (900 + 467) = 1163 \Omega$$

$$R_{V_{bc1}} = R_{V_{be1}} (1 + g_{m1} R_{V2}) + R_{V2} = 1163 (1 + 11) + 28,9 = 2483 \Omega$$

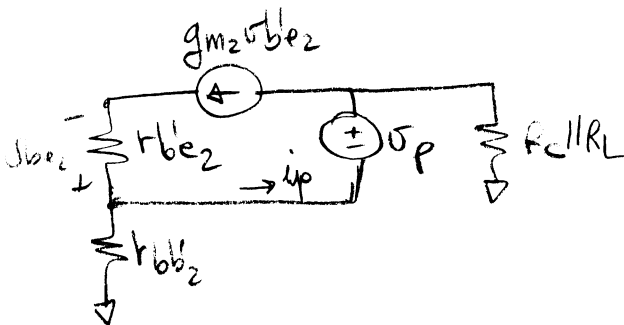
$$\text{dove } R_{V2} = \frac{r_{be1} + r_{bb2}}{1 + \beta_2} = \frac{8700}{301} = 28,9 \Omega$$



$$i_p = \frac{v_p}{r_{be2}} + g_m v_p = v_p \left(\frac{1 + g_{m2} r_{be2}}{r_{be2}} \right)$$

$$R_{V_{be2}} = \frac{v_p}{i_p} = \frac{r_{be2}}{\beta_2 + 1} = \frac{7800}{301} = 26 \Omega$$

Cbc2



$$g_{m2} v_{be2} = -\frac{v_{be2}}{r_{be2}} \rightarrow v_{be2} = 0$$

$$i_p = \frac{v_p}{R_c + r_{bb2}} \rightarrow R_{V_{bc2}} = R_c \parallel R_L + r_{bb2} = 2320 \Omega$$

$$f_H = \frac{1/2\pi}{R_{V_{be1}} C_{be1} + R_{V_{bc1}} C_{bc1} + R_{V_{be2}} C_{be2} + R_{V_{bc2}} C_{bc2}} = \frac{(1/2\pi) 10^{12}}{1163 \cdot 44 + 2483 \cdot 5 + 26 \cdot 43,2 + 2320 \cdot 58}$$

$$= \underline{\underline{2.04 \text{ MHz}}}$$