SCHEDA N°A07_04 Data: **11 Aprile 2007**

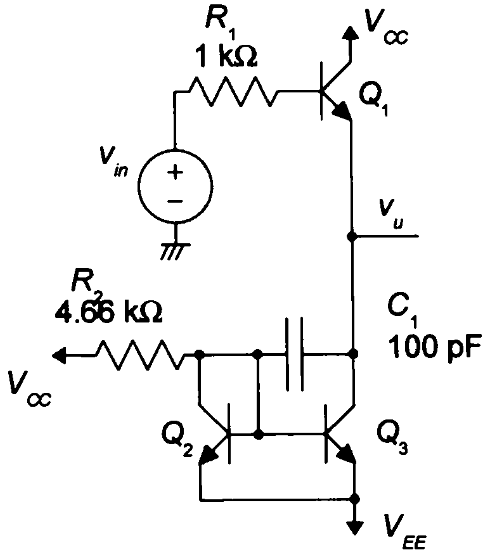
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1
7 punti

Avendo a disposizione diodi ideali, generatori e resistenze a scelta, si progetti una rete in grado di approssimare il valore del logaritmo in base 2 di un numero espresso da una tensione tra 1 V e 16 V. Si vuole che la rete, la più semplice possibile, dia il risultato esatto in corrispondenza dei valori per cui il logaritmo è un valore intero. La massima corrente assorbita dalla rete deve essere di 1 mA.

ESERCIZIO N°2
6 punti

Determinare il punto di riposo del circuito seguente, realizzato con transistori identici e alimentato con $V_{CC} = 12$ V e $V_{EE} = -12$ V. Calcolare inoltre i valori di h_{ie1}, h_{ie2}, h_{ie3} del modello per piccoli segnali ($h_{FE} = 100$; $h_{fe} = 200$; $r_{bb'} = 100\ \Omega$; $h_{oe} = 0$; $h_{re} = 0$).



ESERCIZIO N°3
7 punti

Determinare il massimo sbilanciamento di un circuito costituito da 5 stadi invertenti uguali realizzati con amplificatore operazionale ($|V_{io}| < 2$ mV, $I_B = 200$ nA, $|I_o| < 50$ nA). Il singolo stadio ha amplificazione $A_i = -2$ e le resistenze sono da 10 kΩ e 20 kΩ.

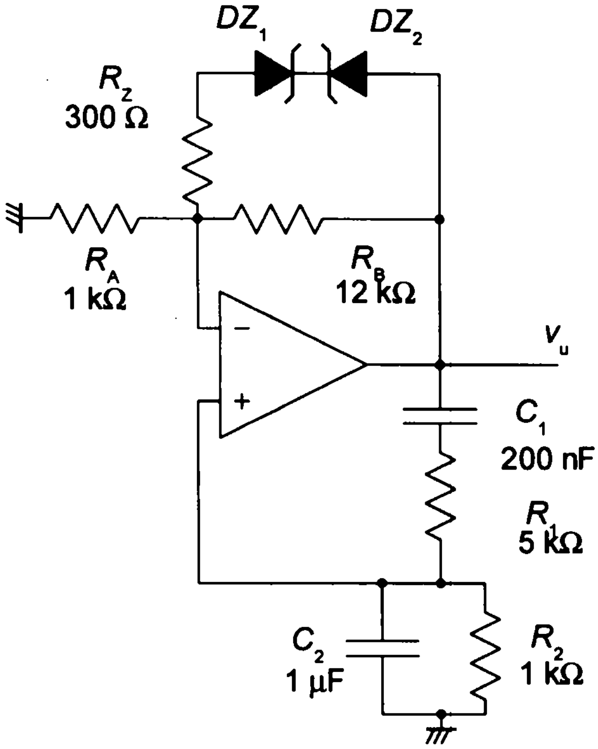
ESERCIZIO N°4
6 punti

Nel circuito dell'Esercizio 2 si consideri ora $h_{ie1} = h_{ie2} = h_{ie3} = 1$ kΩ. Determinare la risposta in frequenza e tracciare i diagrammi asintotici di Bode.

ESERCIZIO N°5

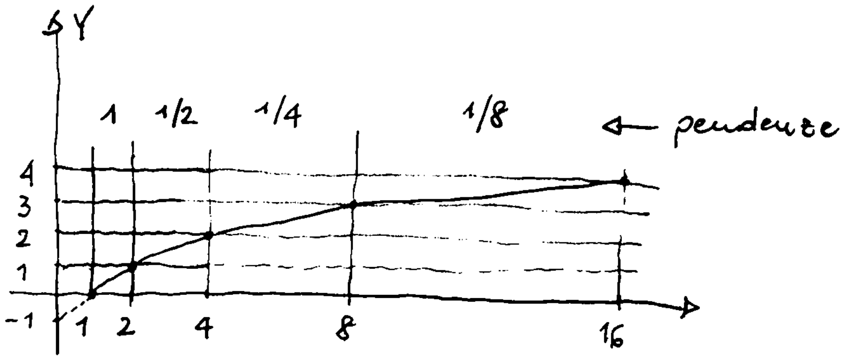
7 punti

Determinare frequenza e ampiezza dell'uscita nell'oscillatore seguente. I diodi Zener hanno tensione di breakdown di 5.3 V; L'operazionale è ideale.

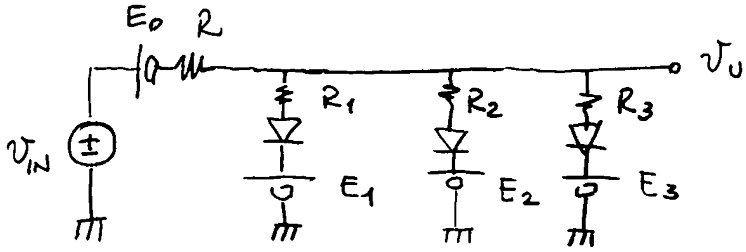


(1) la spezzata deve passare dai punti

X	Y
1	0
2	1
4	2
8	3
16	4



Rete



Dal grafico

$E_1 = 1V$

$E_2 = 2V$

$E_3 = 3V$

$E_0 = 1\,V$

(si sottrae a v_{IN})

Dalle pendenze

$$\frac{R_1}{R+R_1} = \frac{1}{2} \quad ; \quad R_1 = R$$

$$\frac{R_2 /\!/ R}{R + R_2 /\!/ R} = \frac{R_2}{R+2R_2} = \frac{1}{4} \quad ; \quad R_2 = R/2 \qquad \text{si ha} \quad R /\!/ \frac{R}{2} = \frac{R}{3}$$

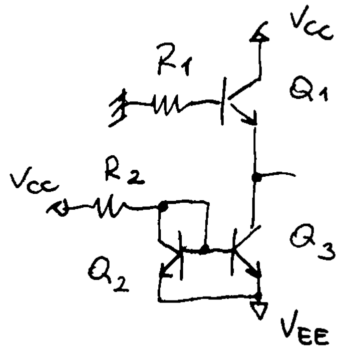
$$\frac{R_3 /\!/ R/3}{R + R_3 /\!/ R/3} = \frac{R_3}{3R + 2R_3} = \frac{1}{8} \quad ; \quad R_3 = R/2$$

la massima corrente si ha per $v_{IN} = 16V$ e $v_U = 4V$

Quindi

$$\frac{v_{INMAX} - v_{UMAX} - E_0}{R} = I_{IN}(max) \qquad \text{da cui} \quad R = 11\,k\Omega$$

(2)



Poiché Q_2 e Q_3 sono identici e hanno la stessa V_{BE}, anche le correnti relative saranno uguali.

Ipotesi: Q_1, Q_2 e Q_3 in zona attiva diretta.

Quindi

$$\frac{V_{cc} - V_{EE} - V_{BEon}}{R_2} = I_{B2} + I_{B3} + I_{C2} = (h_{FE} + 2)\, I_{B2}$$

$$I_{B2} = \frac{V_{cc} - V_{EE} - V_{BEon}}{R_2\,(h_{FE}+2)} = 49.86\,\mu A \qquad I_{C2} = I_{C3} = I_{E1} = 4.986\,mA$$

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{h_{FE}+1} = 49.37\,\mu A \qquad I_{C1} = h_{FE}\, I_{B1} = 4.937\,mA$$

Verifiche

$V_{CE2} = V_{BEon} = 0.7V$

Ok hp

$V_{CE1} = + R_1 I_{B1} + V_{BEon} + V_{cc} = 12.75\,V$

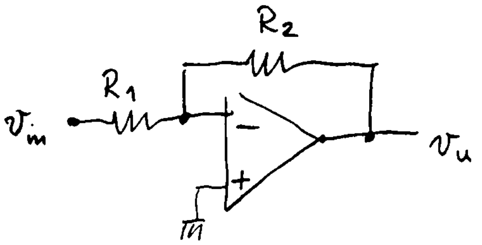
$V_{CE2} = - R_1 I_{B1} - V_{BEon} - V_{EE} = 11.25\,V$

Calcolo dei parametri per piccoli segnali

$$h_{ie1} = r_{bb'} + \frac{V_T}{I_{C1}} \cdot h_{fe} = 1153\,\Omega$$

$$h_{ie2} = h_{ie3} = r_{bb'} + \frac{V_T}{I_{C2}}\, h_{fe} = 1143\,\Omega$$

③ Singolo stadio



$R_1 = 10\,k\Omega$; $R_2 = 20\,k\Omega$

Sbilanciamento

$$V_U = -V_{io}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + I_2 R_2$$

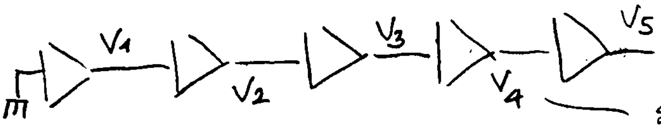
Determino max e min sbilanciamento

$$V_U = -V_{io}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + \left(I_B - \frac{I_o}{2}\right) R_2$$

$$\max V_{UO} = |V_{io}|\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + I_B R_2 + \frac{|I_o|}{2} R_2 = 10\,mV$$

$$\min V_{UO} = -|V_{io}|\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + I_B R_2 - \frac{|I_o|}{2} R_2 = -2{,}5\,mV$$

Caso di 5 moduli in cascata



sbilanciamento del solo modulo 5

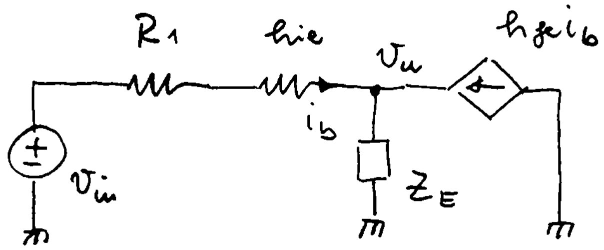
solo 4

$$V_{uot} = V_5 - 2V_4 + 4V_3 - 8V_2 + 16V_1$$

$$\max V_{uot} = 21\,V_{uo\,max} - 10\,V_{uo\,min} = 235\,mV$$

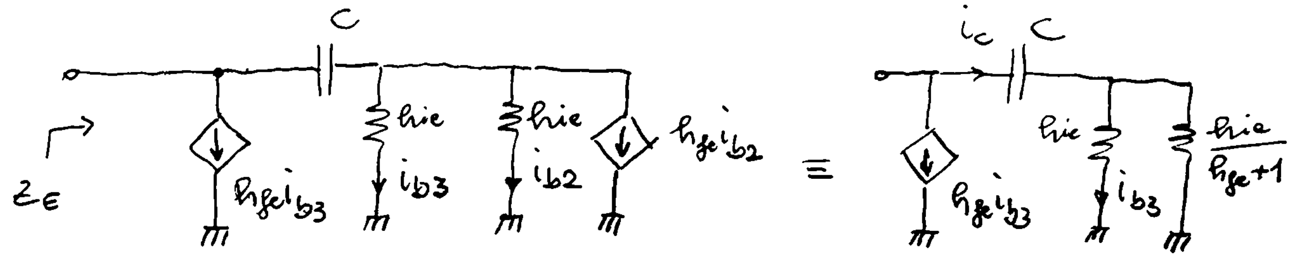
④ Circuito per piccoli segnali

Modellando con Z_E e' impedenza vista dall'uscita verso Q_2 e Q_3 si ha

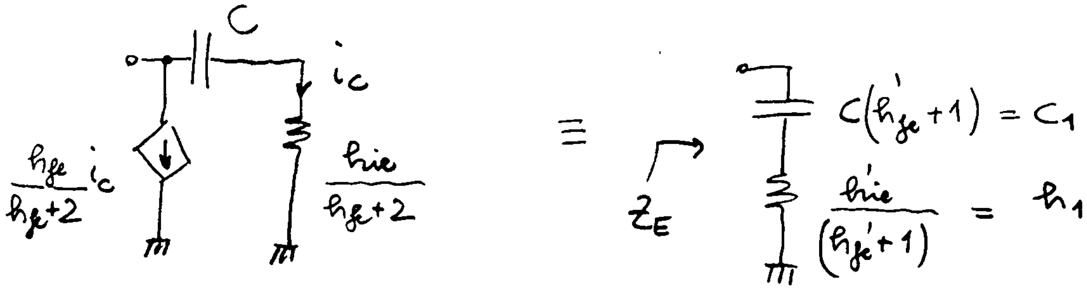


$$v_u = \frac{Z_E(h_{fe}+1)}{R_1 + h_{ie} + Z_E(h_{fe}+1)} v_{in}$$

Circuito per Z_E



$$i_c = i_{b3}\left[1 + \frac{h_{ie}}{h_{ie}}(h_{fe}+1)\right] = i_{b3}(h_{fe}+2)$$



$$h'_{fe} = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+2} \quad ; \quad h'_{ie} = \frac{h_{ie}}{h_{fe}+2}$$

Quindi $A_\infty = \dfrac{h_1(h_{fe}+1)}{R_1 + h_{ie} + h_1(h_{fe}+1)} = 0.2 \quad (-13.98\ dB)$

$A_0 = 1 \quad (Z_E \to \infty)$

Polo: $\dfrac{1}{C_1\left(h_1 + \dfrac{R_1 + h_{ie}}{h_{fe}+1}\right)} = 484.0\ Mrad/s \quad (64.30\ MHz)$

Zero: $\dfrac{1}{h_1 C_1}$ (valore di $-s$ per cui $Z_E = 0$) $= 2.02\ Grad/s\ (321.5\ MHz)$

Diagramma di ampiezza

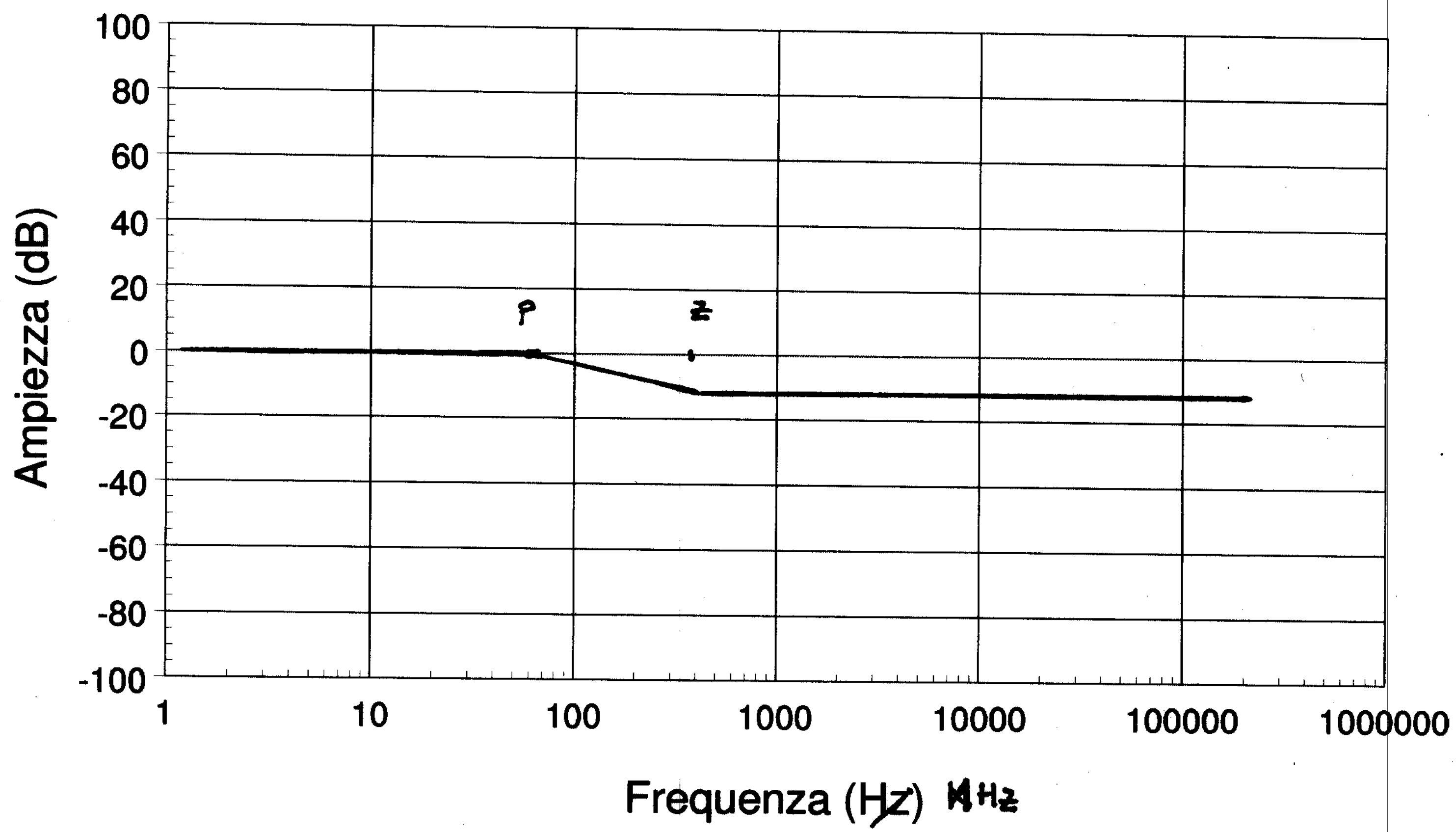
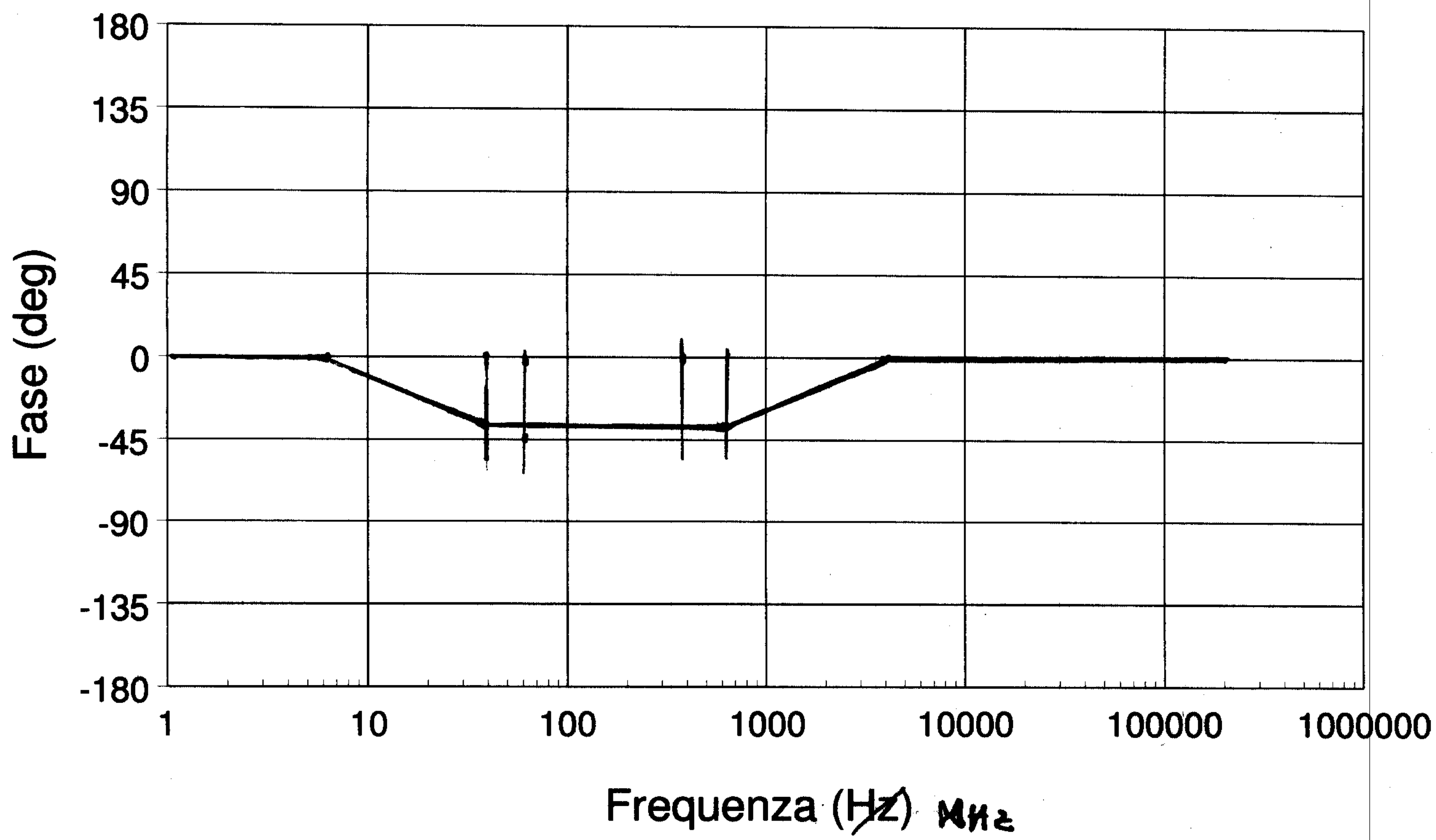


Diagramma di fase



(5) Rispetto a un taglio sul $\oplus$ dell'operazionale

$$bA = \left(1+\frac{R_B}{R_A}\right)\cdot\frac{Z_2}{Z_1+Z_2} = \left(1+\frac{R_B}{R_A}\right)\cdot\frac{R_2C_1s}{R_2C_1s+(1+R_1C_1s)(1+R_2C_2s)}$$

$$bA(j\omega) = \left(1+\frac{R_B}{R_A}\right)\cdot\frac{j\omega R_2C_1}{1+j\omega(R_2C_1+R_1C_1+R_2C_2)-\omega^2R_1C_1R_2C_2}$$

Condizioni di Barkhausen all'innesco

$$\omega_{in} = \sqrt{\frac{1}{R_1R_2C_1C_2}} = 1\,\text{Krad/s} \quad (159\,\text{Hz}) \qquad \text{fase nulla}$$

$$|bA|_{\omega=\omega_{in}} = \left(1+\frac{R_B}{R_A}\right)\cdot\frac{R_2C_1}{R_2C_1+R_1C_1+R_2C_2} = 13\cdot\frac{200\mu}{200\mu+1000\mu+1000\mu}$$

$$= \frac{13}{11} > 1 \quad (\text{innesco})$$

A regime posso approssimare la condizione di v_{UMAX} con quella per cui gli zener sono al limite di conduzione.
In questa situazione:

$$v_{UMAX}\cdot\frac{R_B}{R_A+R_B} = V_Z + V_{DON} = 6\,V \quad \text{da cui}$$

$$v_{UMAX} = \frac{13}{12}\cdot 6 = 6{,}5\,V$$

NB: la condizione sulla fase non cambia, pertanto
$\omega_{osc} = \omega_{in}$