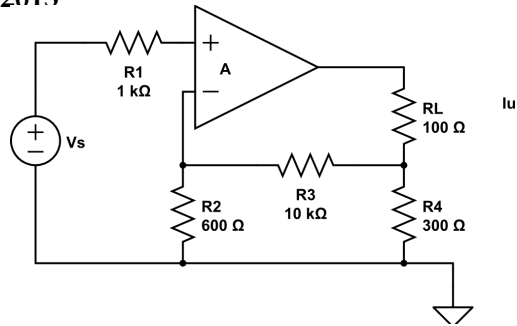
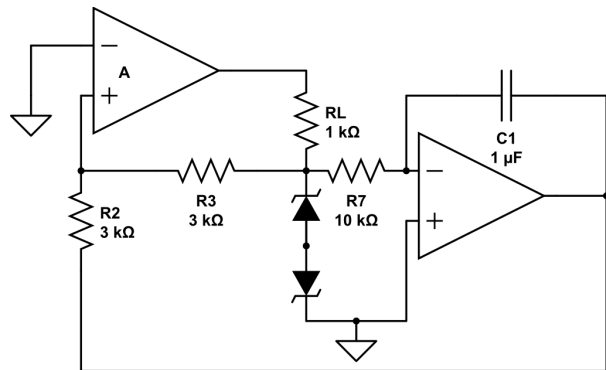


**Esame di Elettronica**  
**Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni**  
**12 Giugno 2013**

1. Calcolare l'impedenza di ingresso e di uscita del circuito a lato. L'amplificatore ha amplificazione di tensione a vuoto pari a 10000, resistenza di ingresso di 100 KW, resistenza di uscita di 100 W [6 punti]



2. Sia dato il circuito a lato. Ricavare la forma d'onda ottenuta in uscita, giustificando il procedimento. Disegnare e quotare correttamente l'andamento della tensione all'uscita dei due amplificatori operazionali sullo stesso asse dei tempi. Calcolare periodo e duty cycle della forma d'onda ( $R = 10 \text{ KW}$ ,  $C = 10 \text{ nF}$ ,  $R_1 = R_2 = 10 \text{ KW}$ ,  $V_Z = 4.7 \text{ V}$ ,  $V_R = 1 \text{ V}$ ). [6 punti]



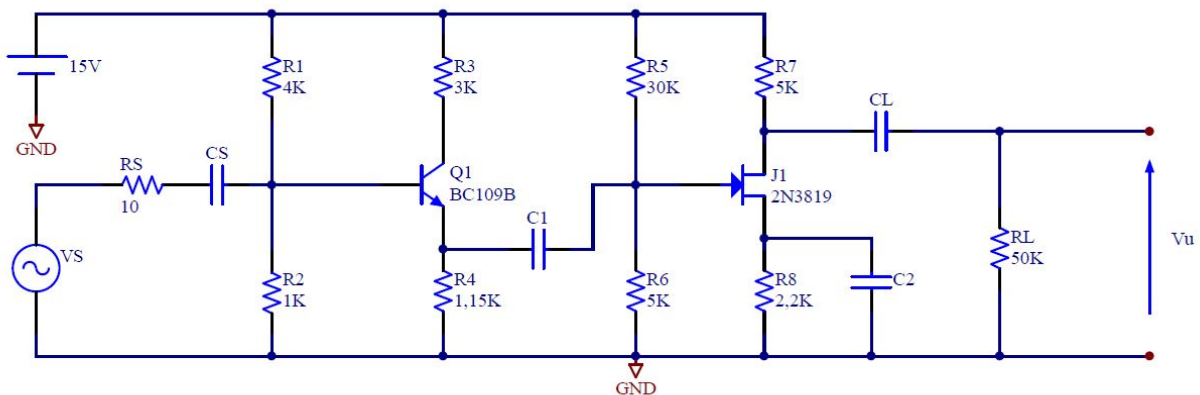
3.

Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

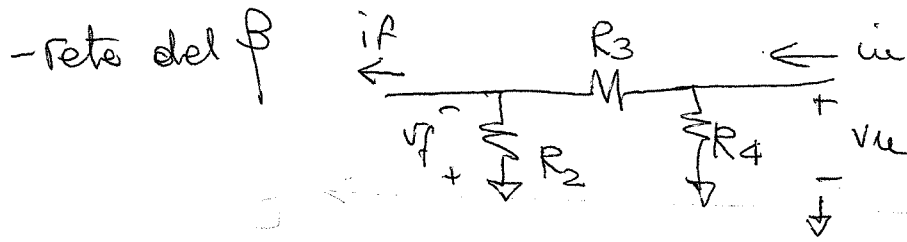
- il punto di riposo dei due transistori e i parametri del circuito di piccolo segnale [5 punti]
- l'amplificazione  $V_u/V_s$  a centrobanda, [4 punti]
- il limite superiore di banda [6 punti]

Note:

- Il BJT Q1 un BC109B con  $h_{oe}=h_{re}=0$ . Si consideri il BJT completamente resistivo.
- Il JFET J1 è un 2N3819 con  $r_d \rightarrow \infty$ ,
- Capacità  $C_s, C_1, C_2, C_L$  hanno valore praticamente infinito
- Si consideri  $V_{GS(off)} = -3V$



1) circuito con inserzione di tensione e prelievo di corrente



$$v_f = \beta i_u + R_{\beta} i_f$$

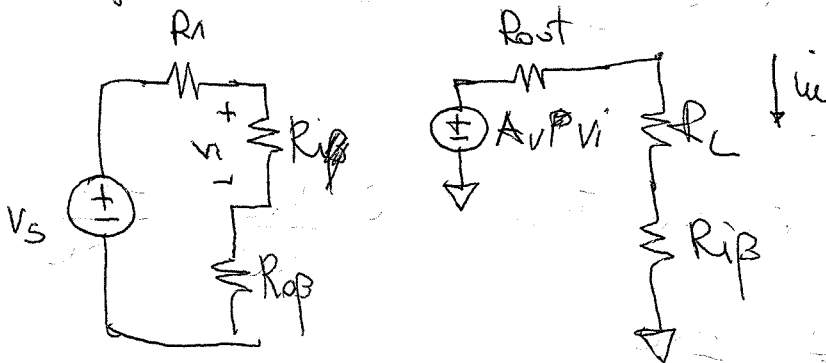
$$v_u = R_{i\beta} i_u + K i_f$$

$$\beta = \left. \frac{v_f}{i_u} \right|_{i_f=0} = \frac{-R_4 R_2}{R_2 + R_3 + R_4} = -16,51 \Omega$$

$$R_{\beta} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_2 \parallel [R_3 + R_4] = 567 \Omega$$

$$R_{i\beta} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R_4 \parallel [R_2 + R_3] = 291,7 \Omega$$

- Rete per  $A_e$



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_1 + R_{\beta\beta}} \cdot \frac{A_v}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}} = \frac{3}{10} \cdot 20 \Omega^{-1}$$

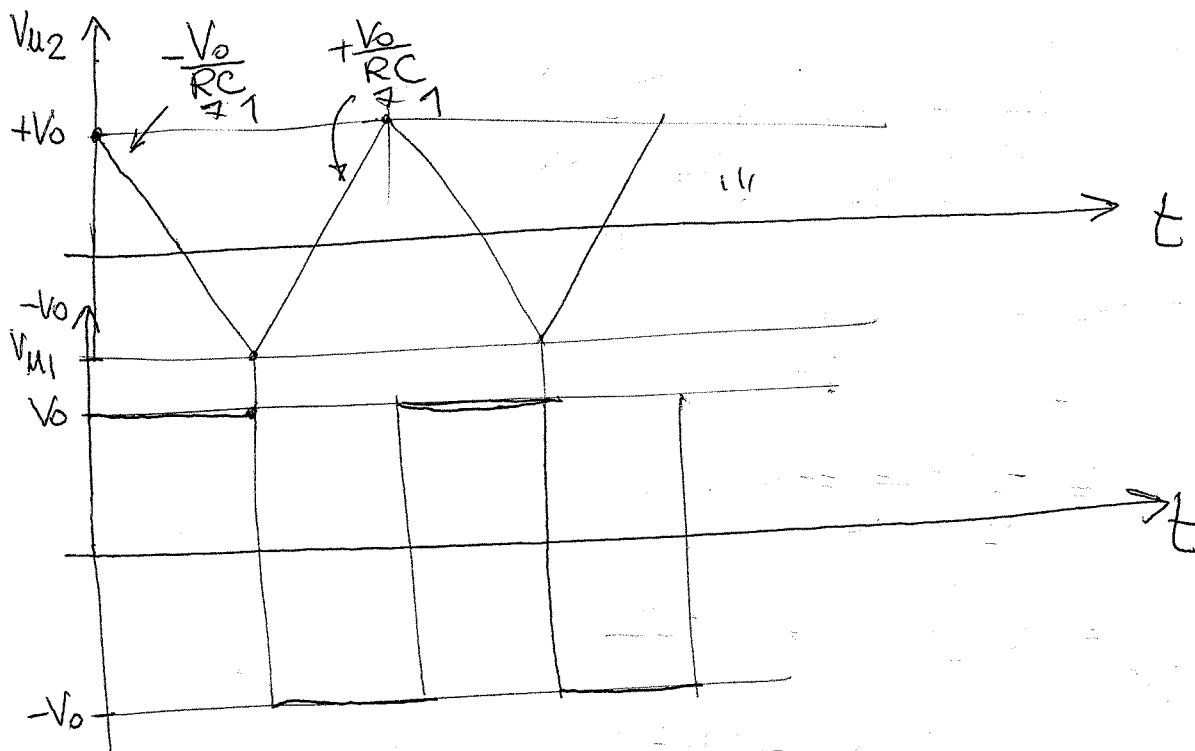
$$\beta A_e = \frac{3}{10} \cdot 20 = 330,7$$

$$R_{iF} = (R_1 + R_{\beta\beta} + R_i) (1 - \beta A_e) = \frac{10}{10} \cdot 33,7 \text{ M}\Omega$$

$$R_{oF} = (R_{out} + R_{i\beta}) (1 - \beta A_e) = \frac{20}{10} \cdot 163, \text{ K}\Omega$$

$R_L = 0$

2. Si tratta di un generatore d'onda triangolare



dove  $V_0 = 4.7V$

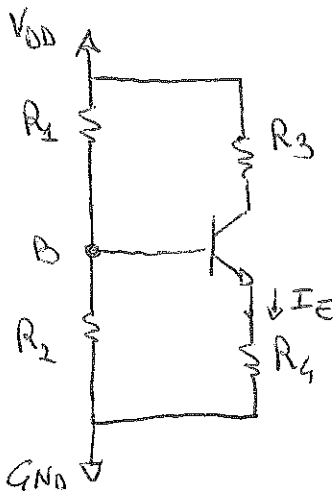
Soglie il trigger di Schmitt scatta se  $V_{u2} = +V_0 = V_2 + V_0$ , oppure se  $V_{u2} = -V_0$

la pendenza di  $V_{u2}$  all'uscita dell'integratore è  $-\frac{V_{u1}}{RC} = \pm \frac{V_0}{RC}$

semiperiodo  $\frac{T}{2} = \frac{2V_0 RC}{V_0 \cdot 71} = \frac{2RC}{71}$

$T = 4RC = 4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{0.4s}}$

# PUNTO DI RIPOSO BJT



① Hp partitore pesante

$$V_B = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V$$

② Hp BJT in zona attiva diretta

$$V_E = V_B - V_{BE} = 3V - 0,7V = 2,3V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_4} = \frac{2,3V}{1,15k\Omega} = 2mA$$

$$I_C \approx I_E = 2mA$$

$$V_C = V_{DD} - R_3 I_C = 9V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 9V - 2,3V = 6,7V$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_C > 0 \\ V_{CE} > V_{CE(sat)} \end{array} \right. \Rightarrow \text{Hp } \textcircled{2} \text{ verificata}$$

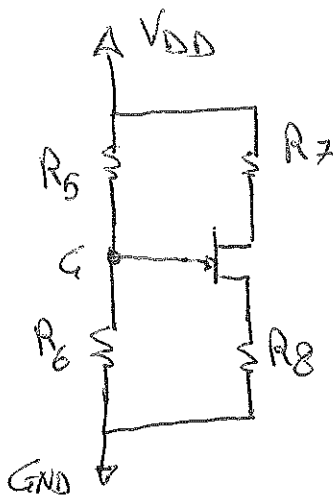
$$\beta_{FET,YP} = 290$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{FET,YP}} = 6,9\mu A$$

$$\Rightarrow I_B \ll I_{R_1, R_2} \Rightarrow \text{Hp } \textcircled{1} \text{ verificata}$$

$$I_{R_1, R_2} = \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} = 3V$$

# PUNTO DI LAVORO JFET



H<sub>0</sub> JFET in saturazione

$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_B}{R_S + R_B} = 2,143 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_8 I_{DS}$$

↓

$$I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_8}$$

per  $V_{GS} = 0 \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_G}{R_8} = 0,974 \text{ mA}$

per  $V_{GS} = -3 \text{ V} \Rightarrow I_{DS} = 2,34 \text{ mA}$

si ottiene quindi

$$V_{GS} = -1,825 \text{ V} \Rightarrow I_{DS} = 1,804 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = (V_{DD} - R_7 I_{DS}) - R_8 I_{DS} = V_{DD} - (R_7 + R_8) I_{DS} \approx 2 \text{ V}$$

Verifica dell'ipotesi

$$V_{GS} > V_{GS\text{off}} \quad -1,825 \text{ V} > -3 \text{ V} \quad \text{OK}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{GS\text{off}} \quad 2 \text{ V} > 1,75 \text{ V} \quad \text{OK}$$

# PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE

## JFET

$$g_m \approx 3,3 \text{ mS} \quad C_{iss} \approx 2,6 \text{ pF} \quad C_{rss} = 1,3 \text{ pF}$$

$$C_{GD} = C_{rss} = 1,3 \text{ pF} \quad C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1,3 \text{ pF}$$

## BJT

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

poiché  $I_c = 2 \text{ mA} \Rightarrow h_{ie} = 4,8 \text{ k}\Omega$

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

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

$$f_T = 145 \text{ MHz}$$

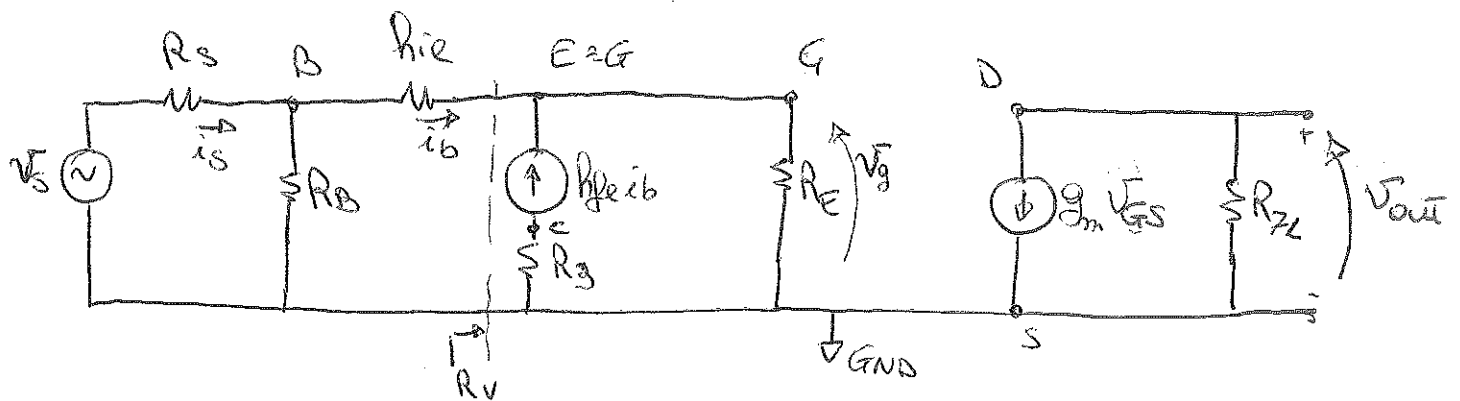
$$g_{m \text{ BJT}} = \frac{I_c}{V_T} = 76,92 \text{ mS}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = V_{CE} - V_{\gamma} = 6,7 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

$$C_{b'c} \approx 4,5 \text{ pF} \quad C_{b'e} = \frac{g_{m \text{ BJT}}}{2\pi f_T} - C_{b'c} = 79,93 \text{ pF}$$

# GUADAGNO DI CENTRO BANDEA

Il circuito equivalente sarà:



$$\text{con } R_B = R_1 // R_2 = 800 \Omega$$

$$R_E = R_4 // R_5 // R_6 = 906,7 \Omega$$

$$R_{7L} = R_7 // R_L = 4,54 \text{ k}\Omega$$

Dobbiamo calcolare  $A_v = \frac{V_{out}}{V_s}$

$$V_{out} = -R_{7L} \cdot g_m V_{GS} = -R_{7L} g_m V_G$$

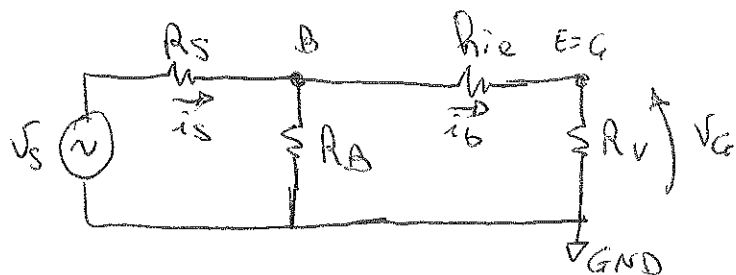
$$V_G = R_E (1 + \beta r_e) i_b$$

sostituendo

$$V_{out} = -R_{7L} \cdot g_m \cdot R_E (1 + \beta r_e) i_b \quad (1)$$

Possiamo ridisegnare il circuito considerando l'impedenza  $R_v$  vista tra E e GND

$$R_v = R_E (1 + h_{fe}) = 272,917 \text{ k}\Omega$$



$$i_b = i_s \frac{R_B}{R_B + h_{ie} + R_v}$$

Sostituendo nella formula (1)

$$V_{out} = -R_{ZL} \cdot g_m \cdot R_E (1 + h_{fe}) \cdot \frac{R_B}{R_B + h_{ie} + R_v} i_s \quad (2)$$

La  $i_s$  si calcola facendo  $V_S$  diviso la resistenza vista da  $V_S$

$$i_s = \frac{V_S}{R_S + [R_B \parallel (h_{ie} + R_v)]}$$

Sostituendo nella (2)

$$V_{out} = \frac{-R_{ZL} \cdot g_m R_E (1 + h_{fe}) \cdot \frac{R_B}{R_B + h_{ie} + R_v}}{R_S + [R_B \parallel (h_{ie} + R_v)]} V_S$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_S} = -14,54$$