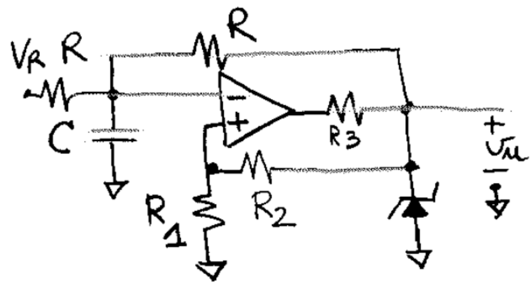
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
6 febbraio 2017

1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_{vo}=10^4$, f_p=100 Hz, R_{in} = 1 MΩ, R_{out} = 500 Ω. Si reazioni l'amplificatore in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di 10 MΩ, una resistenza di uscita maggiore di 50 KΩ, e limite superiore di banda f_H = 20 KHz. Si supponga che il carico sia una resistenza R_L = 5 KΩ. [6/30]
2. Sia dato il circuito mostrato a lato. Ricavare il periodo dell'onda rettangolare ottenuta in uscita e duty cycle, giustificando il procedimento. Disegnare l'andamento della tensione sul condensatore e all'uscita del circuito nel tempo, sullo stesso asse dei tempi (R = 1 KΩ, C = 3.3 μF, R_1 = R_3 = 2KΩ, R_2 = 8 KΩ, V_Z = 5 V, V_R = -2 V). [6/30]



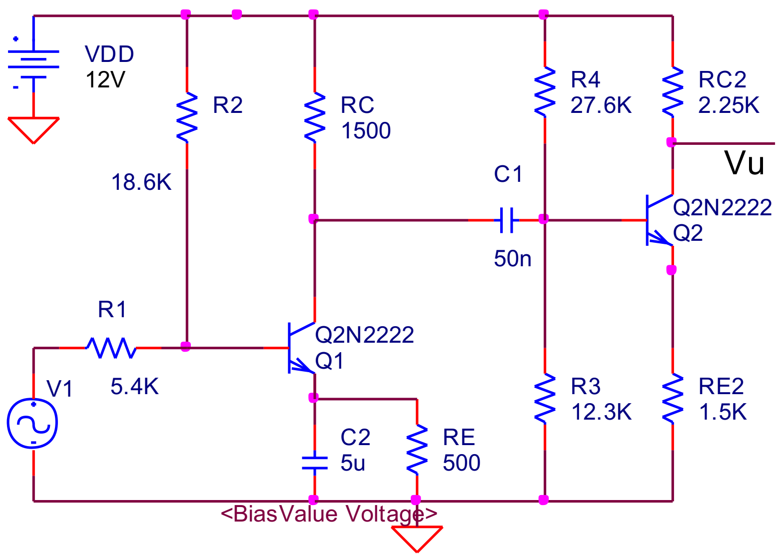
3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori Q1 e Q2 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

- Q2 totalmente resistivo (non considerare le capacità del circuito di piccolo segnale).
- Q1 e Q2 hanno h_{oe} nullo

[15/30]



Esercizio 1

$R_{in} = 1\,M\Omega$ $\quad R_L = 5\,K\Omega$

$R_{out} = 500\,\Omega$

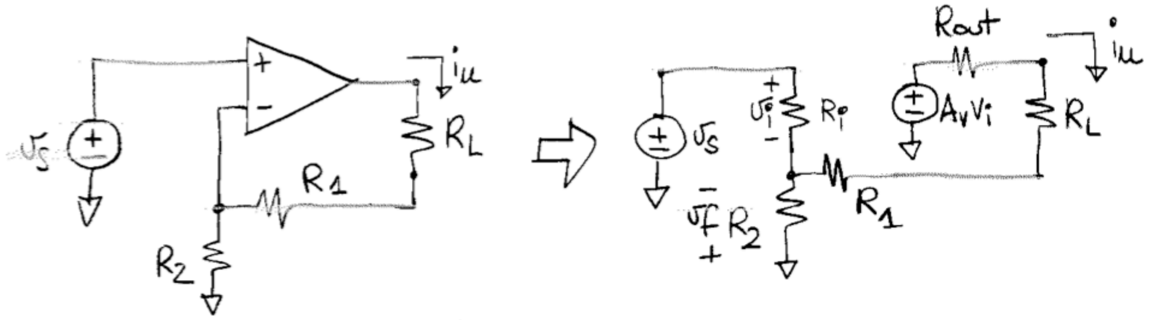
$A_v = 10^4$

$f_p = 100\,Hz$

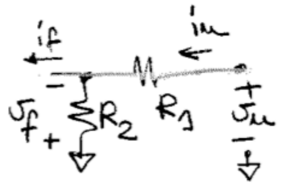
Vogliamo ottenere $R_{IF} > 10\,M\Omega$, e $R_{OF} > 50\,K\Omega$, $f_H = 20\,kHz$ quindi abbiamo bisogno di una reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione

$$f_H = (1-\beta A_e) f_p \rightarrow (1-\beta A_e) = \frac{f_H}{f_p} = 200$$

circuito :



rete del β



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

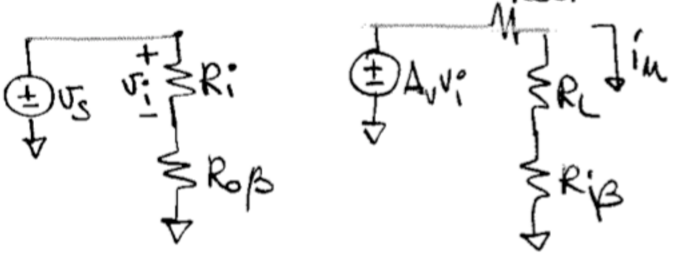
$$v_u = R_{i\beta} i_u + \cancel{K\, i_f}$$

$$\beta = \left.\frac{v_f}{i_u}\right|_{i_f=0} = -R_2$$

$$R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_2$$

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

Rete per Ae



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}} = \frac{R_i}{R_i + R_2} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_1 + R_2}$$

$$R_{IF} = (R_i + R_{o\beta})(1 - \beta A_e) = (10^6 + R_{o\beta})(200) > \underline{10\,M\Omega}$$ SEMPRE VERIFICATO

$$R_{OF} = \underbrace{(R_1 + R_2 + R_{out})}_{500}\underbrace{\left(1 - \beta A_e\Big|_{R_L=0}\right)}_{>200} \geq 50\,k\Omega$$ sempre

$$1 - \beta A_e = 200 \rightarrow \beta A_e = -199$$

$$R_2 \frac{R_i}{R_i + R_2} \overset{10^4}{A_v} \frac{1}{\underbrace{R_{out} + R_L}_{5500} + R_1 + R_2} = 199$$

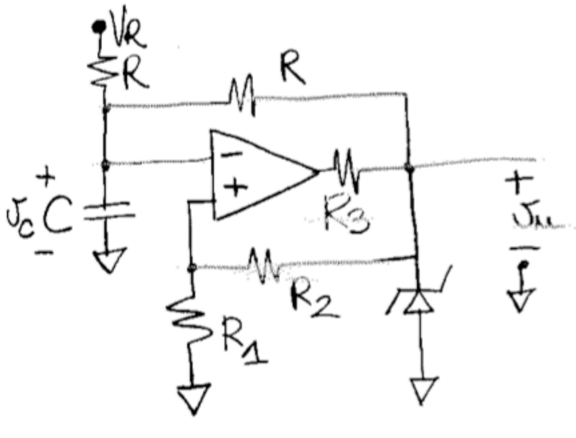
dovrebbe essere molto semplice trovare una coppia di R_1 e R_2

poniamo $\underline{R_2 = 1K\Omega}$

$$\frac{10^3 \cdot 10^6}{1001000} \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{6500 + R_1} = 199$$

$$6500 + R_1 = 50201 \rightarrow \underline{R_1 = 43701\ \Omega}$$

Esercizio 2



$R_1 = 2K\Omega = R_3$

$R_2 = 8K\Omega$

$V_Z = 5V$

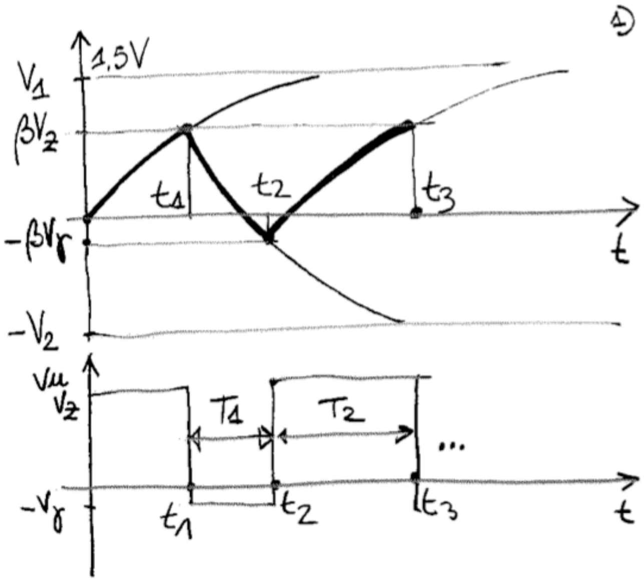
$V_R = -2V$

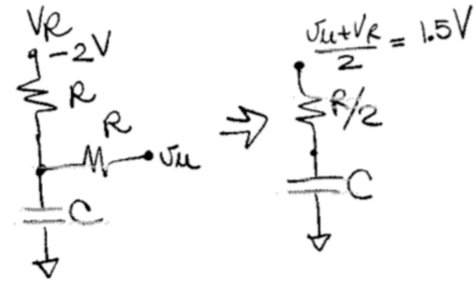
$R = 1K\Omega$

$C = 3.3\mu F$

poniamo che a $t=0$ $\underline{v_C = 0}$. e $v_u = +V_z \rightarrow v_+ = \beta \overset{1V}{\overset{\shortparallel}{v_u}} \left[\beta = \frac{R_1}{R_1+R_2} = 0.2\right]$

1) la tensione sulla capacità C sale esponenzialmente





costante di tempo
$\tau = \frac{RC}{2} = \underline{1.65\ ms}$

asintoto $\frac{v_u+V_R}{2} = 1.5V = V_1$

$$v_C = \underset{\substack{\uparrow \\ 1.5}}{V_1}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

$$v_c(t_1) = \beta V_u \rightarrow \beta V_u = V_1\left(1 - e^{-t_1/\tau}\right) = 1 - \frac{\beta V_u}{V_1} = e^{-t_1/\tau}$$

$$t_1 = -\tau \ln\left(1 - \frac{\beta V_u}{V_1}\right) =$$

$$= -\tau \ln\left(\frac{1}{3}\right) = \tau \ln 3 = \underline{1{,}81\ ms}$$

per $t > t_1$ $\quad v_u = -V_\gamma = 0.7V$

$v_+ = \beta v_u = -\beta V_\gamma = -0.14V$

nuovo asintoto per $v_C = \frac{V_R + v_u}{2} = \frac{V_R - V_\gamma}{2} = -1.35V = V_2$

$t > t_1$

$$v_C = \beta V_z + (V_2 - \beta V_z)\left(1 - e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}\right)$$

$$v_C(t_2) = -\beta V_\gamma$$

$$-\beta V_\gamma = \beta V_z + (V_2 - \beta V_z)\left(1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{\tau}}\right)$$

$$-\beta V_\gamma - \cancel{\beta V_z} - V_2 + \cancel{\beta V_z} = -(V_2 - \beta V_z)\, e^{-\frac{t_2-t_1}{\tau}}$$

$$+\frac{\beta V_\gamma + V_2}{V_2 - \beta V_z} = e^{-\frac{t_2-t_1}{\tau}} \rightarrow t_2 - t_1 = \tau \ln\left[+\frac{V_2 - \beta V_z}{V_2 + \beta V_\gamma}\right] =$$

$$T_1 = t_2 - t_1 = \tau \ln\left[+\frac{-1{,}35 - 1}{-1{,}35 + 0{,}14}\right] = 1{,}09 \text{ ms}$$

$t > t_2$

$$v_C = -\beta V_\gamma + (V_1 + \beta V_\gamma)\left(1 - e^{-\frac{t-t_2}{\tau}}\right)$$

$$v_C(t_3) = \beta V_z$$

$$\beta V_z = -\beta V_\gamma + (V_1 + \beta V_\gamma)\left(1 - e^{-\frac{t_3-t_2}{\tau}}\right)$$

$$\beta V_z + \cancel{\beta V_\gamma} - V_1 - \cancel{\beta V_\gamma} = -(V_1 + \beta V_\gamma)\, e^{-\frac{t_3-t_2}{\tau}}$$

$$\frac{V_1 - \beta V_z}{V_1 + \beta V_\gamma} = e^{-\frac{t_3-t_2}{\tau}} \rightarrow t_3 - t_2 = \tau \ln\left(\frac{V_1 + \beta V_\gamma}{V_1 - \beta V_z}\right)$$

$$T_2 = t_3 - t_2 = \tau \ln\left[\frac{1.5 + 0.14}{1.5 - 1}\right] = \underline{1.96 \text{ ms}}$$

$$T = T_1 + T_2 = 1{,}09 + 1{,}96 = 3{,}05 \text{ ms}$$

$$\delta = T_2/T = \underline{0.64}$$

Esercizio 3

Punto di riposo

$$I_{12} = \frac{V_{DD}}{R_1+R_2} = \frac{12}{24\cdot 10^3} = 0.5\ mA$$

$$V_{B1} = I_{12}\cdot R_1 = 2.7\ V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 2\ V$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E}} = 4\ mA \simeq I_{C1} \qquad V_{CB1} = 3.3\ V$$

$$V_{C1} = V_{DD} - R_C\cdot I_{C1} = 12 - 6 = 6\ V$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 4\ V$$

Dal datasheet, per $I_{C1} = 4\ mA$, $h_{FE_1} \cong 180$

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} = 22.2\ \mu A \ll I_{12}$$ Partitore Pesante OK

$$I_{34} = \frac{V_{DD}}{R_3+R_4} = \frac{12}{39.9\cdot 10^3} = 0.3\ mA$$

$$V_{B2} = I_{34}\cdot R_3 = 3.69\ V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_\gamma \cong 3\ V \qquad V_{CB2} = 3.81\ V$$

$$I_{C2} \cong \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 2\ mA \qquad h_{FE2} \cong 160$$

$$V_{C2} = V_{DD} - R_{C2}\cdot I_{C2} = 12 - 4.5 = 7.5\ V$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 4.5\ V$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE2}} = \frac{2\cdot 10^{-3}}{160} = 12.5\ \mu A \ll I_{34}$$ Partitore Pesante OK

$h_{oe1} = h_{oe2} = 0$ vedi testo

Per hfe possiamo anche prendere il valore @ 1mA:

$$h_{fe1} \simeq h_{fe2} \simeq \frac{h_{fe}[1mA]_{min} + h_{fe}[1mA]_{max}}{2} = 175$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 15.38 \cdot 10^{-2} \ \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 1} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} = \frac{175}{15.38 \cdot 10^{-2}} = 1138 \ \Omega$$

$$r_b \cong 450 \ \Omega$$

$$h_{ie1} = r_{\pi 1} + r_b = 1588 \ \Omega$$

Dalle caratteristiche $C_{\mu 1} \cong 5\,pF$, $f_{T1} \cong 200\,MHz$;

$$f_{T1} = \frac{g_{m1}}{2\pi (C_{\mu 1} + C_{\pi 1})} \Rightarrow C_{\pi 1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{\mu 1} = 117\,pF$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 7.69 \cdot 10^{-2} \ \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 2} = \frac{h_{fe2}}{g_{m2}} = \frac{175}{7.69 \cdot 10^{-2}} = 2275 \ \Omega$$

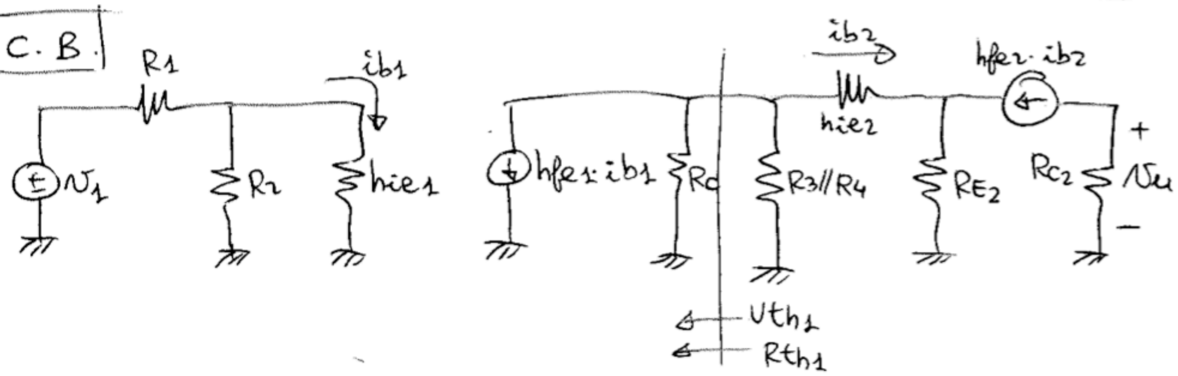
$$h_{ie2} = r_{\pi 2} + r_b = 2725 \ \Omega$$

[Dalle caratteristiche $C_{\mu 2} \cong 5\,pF$, $f_{T2} \simeq 140\,MHz$;

$$C_{\pi 2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{\mu 2} = 82\,pF$$]

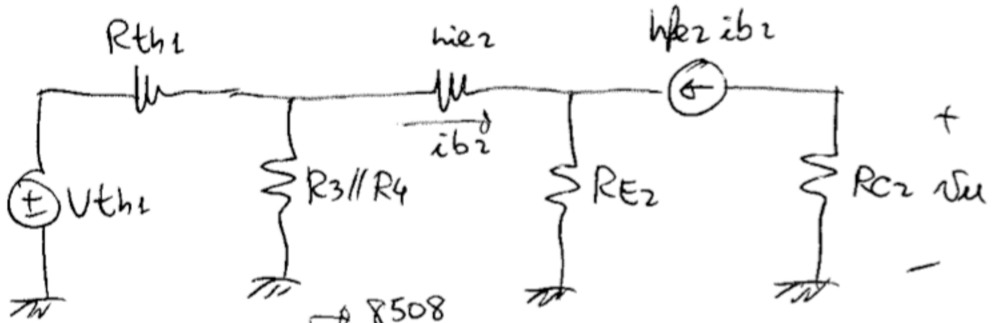
NON RICHIESTO DAL TESTO

C. B.



$$\frac{V_{th1}}{V_s} = \frac{-R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{h_{fe1} \cdot R_c}{\underbrace{R_1 /\!/ R_2}_{4185} + h_{ie1}} = -35.24$$

$$R_{th1} = R_c = 1500 \ \Omega$$

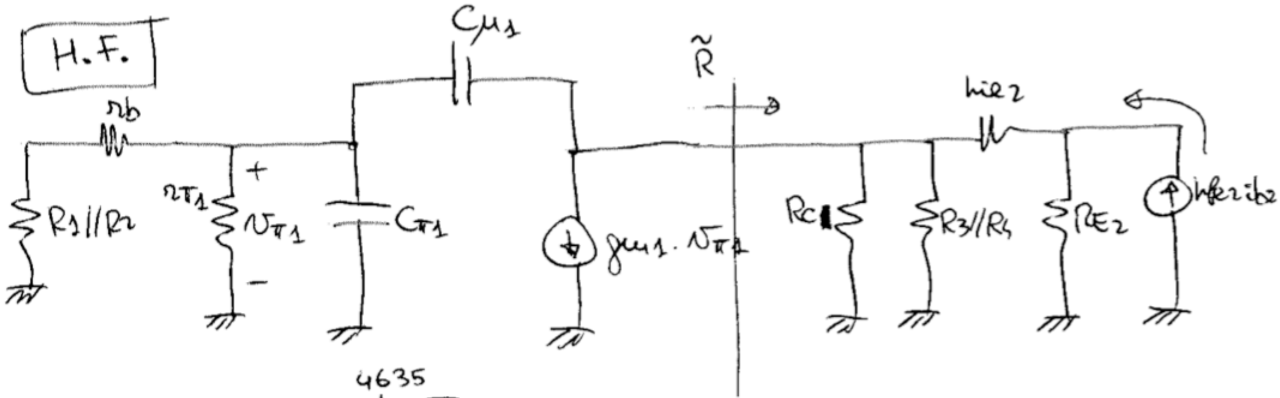


$$\frac{v_u}{V_{th1}} = \frac{\overbrace{R_3//R_4}^{8508}}{R_{th1}+R_3//R_4} \cdot \frac{-h_{fe2}\cdot R_{C2}}{\underbrace{R_{th1}//R_3//R_4}_{1275} + h_{ie2} + R_{E2}\left(h_{fe2}+1\right)} =$$

$$= -0.85 \cdot 1.47 = -1.25$$

$$A_v = \frac{v_u}{v_1} = \frac{V_{th1}}{v_1} \cdot \frac{v_u}{V_{th1}} = 35.24 \times 1.25 = \underline{\underline{44.05}}$$

$\boxed{\text{H.F.}}$



$$R_{v\pi1} = r_{\pi1} // \left[\overbrace{r_b + R_1//R_2}^{4635}\right] = 914\ \Omega$$

$$\tilde{R} = R_c // \underbrace{R_3//R_4// \left(h_{ie2} + R_{E2}\left(h_{fe2}+1\right)\right)}_{8245} = 1269\ \Omega$$

$$R_{v\mu1} = R_{v\pi1}\left(1 + g_{m1}\cdot\tilde{R}\right) + \tilde{R} = 180.57\ \text{K}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\left[R_{v\pi1}\cdot C_{\pi1} + R_{v\mu1}\cdot C_{\mu1}\right]^{-1} = \underline{\underline{157.61}}\ \text{KHz}$$