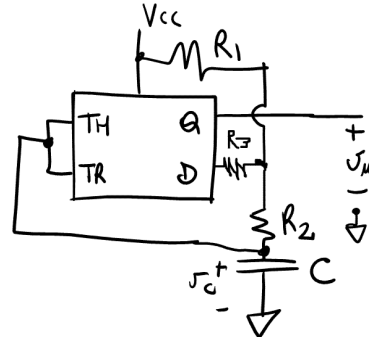


Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
25 febbraio 2020

1. Si consideri un amplificatore di tensione con $A_v = 1000$ e polo $\omega_p = -100 \text{ rad/s}$, $R_{in} = 2 \text{ M}\Omega$, $R_{out} = 1 \text{ M}\Omega$. Si reazioni in modo da ottenere un amplificatore con impedenza di ingresso di $80 \text{ M}\Omega$ e impedenza di uscita maggiore di $10 \text{ M}\Omega$. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le resistenze di ingresso e uscita così ottenute, e il limite superiore di banda del sistema.

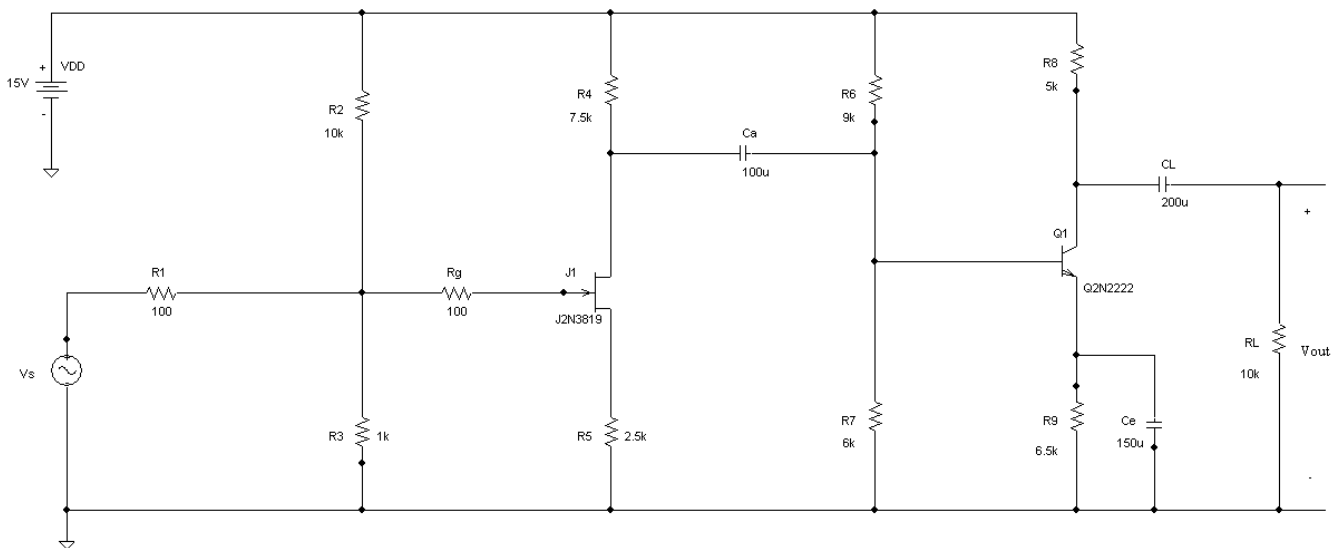
2. Sia dato il circuito a lato, con un timer LM555. Calcolare la forma d'onda generata dal circuito, giustificando il procedimento, e rappresentare la tensione di uscita e la tensione sulla capacità sullo stesso asse dei tempi, quotando i punti rilevanti ($R_1 = 5 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 7 \text{ K}\Omega$, $R_3 = 2 \text{ K}\Omega$, $C = 33 \mu\text{F}$).



3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
 - il punto di riposo dei due transistori,
 - l'amplificazione V_{out}/V_s a centrobanda,
 - il limite inferiore di banda e il limite superiore di banda

NOTE:

- Il BJT è un Q2N2222 con $h_{oe}=0$;
- Il BJT si può considerare resistivo;
- Il JFET è un 2N3819 con $r_d \rightarrow \infty$

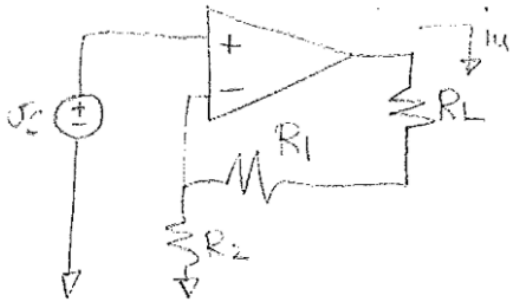


Esercizio 1

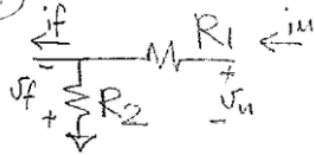
$$R_{in} = 2 M\Omega \Rightarrow R_{IF} = 80 M\Omega$$

$$R_{out} = 1 M\Omega \Rightarrow R_{OF} > 10 M\Omega$$

Reazione con prelievo di corrente e interazione di tensione.



rete per il β

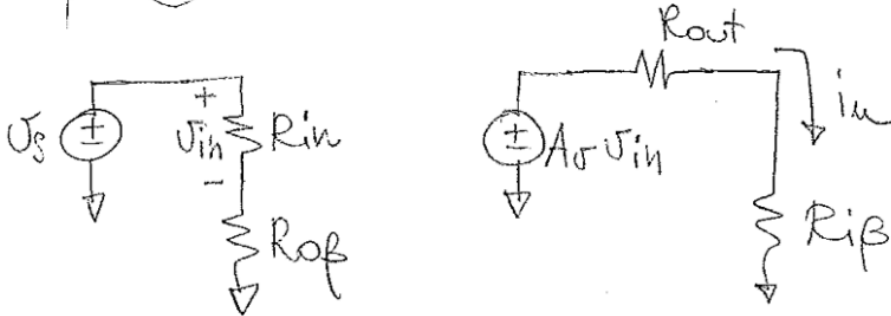


$$i_f = \beta i_u + R_{of} i_f$$

$$v_u = R_{if} i_u + K i_f$$

$$f = \left. \frac{v_f}{i_u} \right|_{i_f=0} = -R_2 ; R_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_2, R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R_1$$

rete per A_e consideriamo $R_L=0$



$$A_e = \left. \frac{i_u}{v_s} \right|_{\beta=0} = \frac{A_v}{R_{out} + R_{if}} \times \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{of}}$$

$$R_{IF} = (R_{in} + R_{of}) (1 - \beta A_e) = 80 M\Omega$$

$$R_{OF} = (R_{if} + R_{out}) (1 - \beta A_e) > 10 M\Omega$$

per soddisfare R_{OF} è sufficiente che $(1 - \beta A_e) sia \gg 10$

RIF per primo:

(2)

poniamo $R_{of} = R_2 \ll R_{in \text{ out}}$

dobbiamo avere $1 - \beta A_e = 40 \Rightarrow \beta A_e = 39$

$$-\beta A_e = \frac{R_2 A_V}{R_{out} + R_1 + R_2} \cdot \underbrace{\frac{R_{in}}{R_{in} + R_2}}_{\sim 1} = 39$$

scegliamo $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

$$R_2 A_V = 39 \left(R_{out} - R_1 \right)$$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $1 \text{ M}\Omega \quad 1 \text{ k}\Omega$

$$R_2 = \frac{39 \cdot 10^6}{10^3} = 39 \text{ k}\Omega$$

$$R_{IF} = 2.039 \cdot 10^6 \left(1 + \frac{39 \cdot 10^6}{1,04 \cdot 10^6} \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{2.039 \cdot 10^6} \right) = 77,03 \text{ M}\Omega$$

$$R_{of} = 1,04 \cdot 10^6 \left(1 + \frac{39 \cdot 2}{1,04 \cdot 2.039} \right) = 59,29 \text{ M}\Omega$$

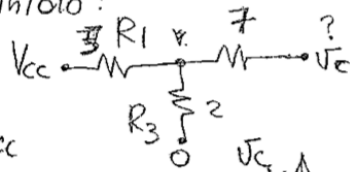
$$f_H = (1 - \beta A_e) f_p = \frac{100}{2\pi} \left(1 + \frac{39 \cdot 2}{1,04 \cdot 2.039} \right) = 601 \text{ Hz}$$

Esercizio 2

carica : costante di tempo $\tau_1 = (R_1 + R_2) C = 12,33 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0,396 \text{ s}$
da $\frac{1}{3} V_{cc}$ a $\frac{2}{3} V_{cc}$

scarica : costante di tempo $\tau_2 = (R_2 + R_1 \parallel R_3) C =$
 $= \left(7 + \frac{10}{7} \right) 33 \cdot 10^{-3} = 0,27 \text{ s}$

asintoto:



$$V_A = \frac{R_3 V_{CC}}{R_1 + R_3} = \frac{2}{7} V_{CC}$$

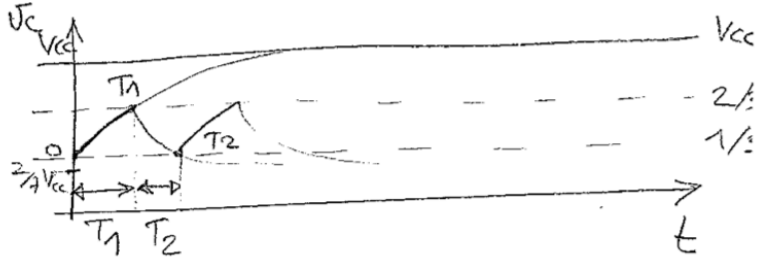
per $t=0$ sia $V_C = \frac{1}{3} V_{CC}$

Tempo di carica

$$V_C(t) = V_{CC} \left(\frac{1}{3} - \frac{2}{7} \right) e^{-t/\tau_1} + \frac{2}{7} V_{CC}$$

$$V_C(T_1) = \frac{2}{3} V_{CC}$$

$$\frac{2}{3} = 1 - \frac{2}{7} e^{-T_1/\tau_1} \rightarrow T_1 = \tau_1 \ln 2 = 0,274 \text{ s}$$



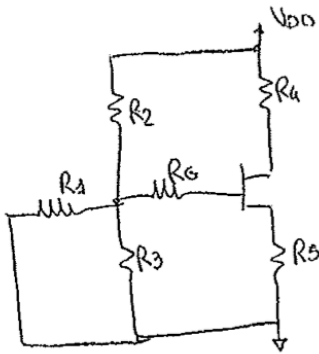
Tempo di scarica

$$V_C(t) = \left(\frac{2}{3} V_{CC} - \frac{2}{7} V_{CC} \right) e^{-\frac{(t-T_1)}{\tau_2}} + \frac{2}{7} V_{CC}$$

$$V_C(T_2) = \frac{1}{3} V_{CC} \rightarrow \frac{1}{3} = \frac{8}{21} e^{-\frac{T_2-T_1}{\tau_2}} + \frac{2}{7} = \frac{1}{21} = \frac{8}{21} e^{-\frac{T_2-T_1}{\tau_2}} \rightarrow T_2 = T_1 + \tau_2 \ln 8 = 0,57 \text{ s}$$

Esercizio 3

PUNTO DI RIPOSO JFET



$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_1/R_3}{R_1/R_3 + R_2} = 0,835 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - R_S \cdot I_{DS} \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

DALE CARATTERISTICHE

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = 0 \Rightarrow I_{DS} \approx 0,05 \mu\text{A} \\ V_{GS} = -3 \text{ V} \Rightarrow I_{DS} \approx 1,25 \mu\text{A} \end{array} \right. \Rightarrow$$

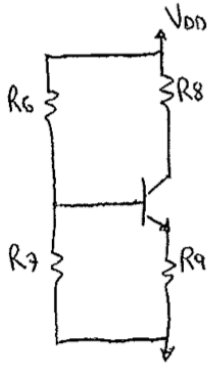
$$\begin{array}{l} V_{GS} \approx -2,165 \text{ V} \\ I_{DS} \approx 0,92 \mu\text{A} \end{array}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) I_{DS} = 5,8 \text{ V}$$

VERIFICA Hp. JFET IN SATURAZIONE

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} > V_{GS,off} = -3 \text{ V} \Rightarrow \text{OK} \\ V_{DS} > V_{GS} - V_{GS,off} = 0,835 \Rightarrow \text{OK} \end{array} \right.$$

PUNTO DI RIPOSO BJT



$$V_B = V_{DD} \cdot \frac{R_7}{R_6 + R_7} = 6V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 5.3V$$

$$I_E \cong I_C = \frac{V_E}{R_9} = 0.815mA$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_8 + R_9) \cdot I_C = 5.628V$$

VERIFICA Hp. PARTITORE PESANTE

$$h_{FE} \cong 150 \text{ DAL GRAFICO}$$

$$I_B \cong \frac{I_C}{h_{FE}} \cong 5.43 \mu A$$

$$I_{R6} \cong I_{R7} = \frac{V_B}{R_7} = 1 \mu A$$

$$I_B \ll I_{R6}, I_{R7} \text{ OK}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE JFET

$$g_m \cong 2.5 mS$$

$$C_{iss} \cong 2 pF$$

$$C_{rss} \cong 0.9 pF$$

$$C_{GD} = C_{rss} = 0.9 pF$$

$$C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.1 pF$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE BJT

$$R_{pe} = \frac{50 + 300}{2} = 175$$

$$R_{ie} @ 1 \mu A = \frac{2 + 8}{2} = 5 k\Omega$$

$$V_{b'e} @ 1 \mu A = \frac{V_T \cdot R_{pe}}{I_C @ 1 \mu A} = 4.55 k\Omega$$

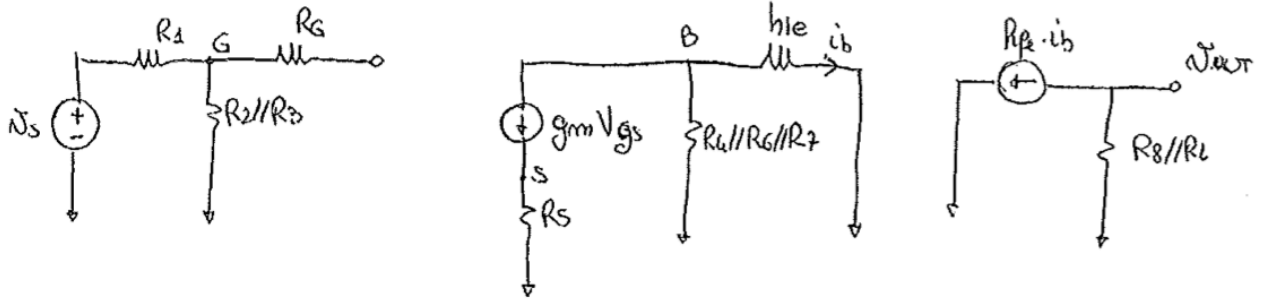
$$V_{bb'} = R_{ie} - V_{b'e} = 450 \Omega$$

$$V_{b'e} = \frac{V_T \cdot R_{pe}}{I_C} = 5.58 k\Omega$$

$$R_{ie} = V_{b'e} + V_{bb'} = 6.03 k\Omega$$

$$f_T \cong 80 MHz$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$\dot{V}_{out} = -R_8 // R_L \cdot R_{\beta} \cdot i_b$$

$$i_b = -g_m \dot{V}_{gs} \cdot \frac{R_4 // R_6 // R_7}{R_4 // R_6 // R_7 + h_{ie}}$$

$$\dot{V}_{gs} = \dot{V}_s \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} \dots$$

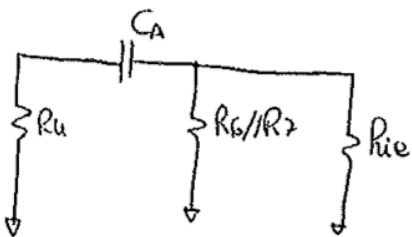
$$\dot{V}_s = R_s \cdot g_m \cdot \dot{V}_{gs}$$

$$\dot{V}_{gs} = \dot{V}_s \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} - R_s g_m \dot{V}_{gs}$$

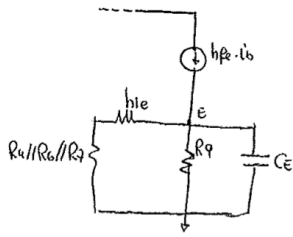
$$\dot{V}_{gs} = \frac{1}{1 + R_s g_m} \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} \cdot \dot{V}_s$$

$$A_{co} = \frac{\dot{V}_{out}}{\dot{V}_s} = R_8 // R_L \cdot R_{\beta} \cdot g_m \cdot \frac{R_4 // R_6 // R_7}{R_4 // R_6 // R_7 + h_{ie}} \cdot \frac{1}{1 + R_s g_m} \cdot \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} \cong 52$$

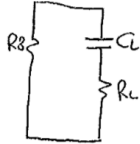
LIMITE INFERIORE DI BANDA



$$R_{VCA} = R_4 + R_6 // R_7 // h_{ie} = 9.75 \text{ k}\Omega$$



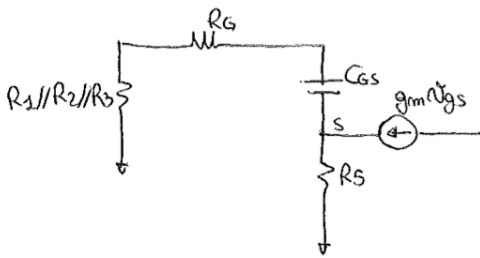
$$R_{V_{CE}} = R_9 \parallel \left[\frac{h_{ie} + R_4 \parallel R_6 \parallel R_7}{h_{fe} + 1} \right] \cong 47.6 \Omega$$



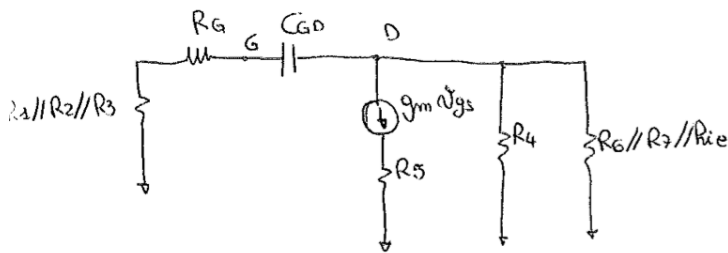
$$R_{V_{CL}} = R_8 + R_L = 15 \text{ k}\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{V_{CE}} \cdot C_A} + \frac{1}{R_{V_{CE}} \cdot C_E} + \frac{1}{R_{V_{CL}} \cdot C_L} \right] \cong 22 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{V_{GS}} = (R_5 + R_G + R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) / (1 + g_m R_5) = 371 \Omega$$



$$R_{V_{GD}} = R_4 \parallel R_6 \parallel R_7 \parallel h_{ie} + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 + R_G) \left[1 + \frac{g_m (R_4 \parallel R_6 \parallel R_7 \parallel h_{ie})}{1 + g_m R_5} \right]$$

$$\cong 2.035 \Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (C_{GS} \cdot R_{V_{GS}} + C_{GD} \cdot R_{V_{GD}})} \cong 71 \text{ MHz}$$