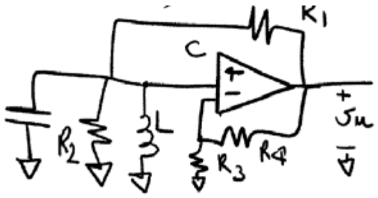
Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
23 giugno 2004

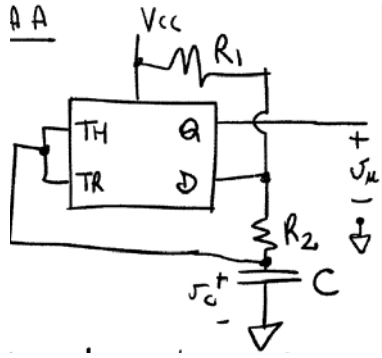
Parte A FILA A

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione A_{vo}=2000, R_{in} = 150 KΩ, R_{out} = 1 KΩ, un polo a frequenza f_p = 1 KHz. Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di 1 MΩ, una resistenza di uscita maggiore di 50 KΩ, e una banda di 100 KHz. Si consideri la resistenza del generatore nulla, e la resistenza del carico di 100 Ω.

2. Sia dato il circuito mostrato a lato. Verificare la possibilità che si inneschi un'oscillazione e a che frequenza. (L= 50 μH, C = 4.7 μF, R_1 = R_2 = 10 KΩ, R_3 = 3 KΩ, R_4 = 5 KΩ,).



3. 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 (R1 = 5 KΩ, R2 = 15 KΩ, C = 1 μF).



4. Realizzare la ROM a transistori nMOSFET a 2 ingressi che implementi la funzione logica Y=A+B. Disegnare il circuito completo al livello delle singole porte logiche.

Punteggio totale Parte A: 14

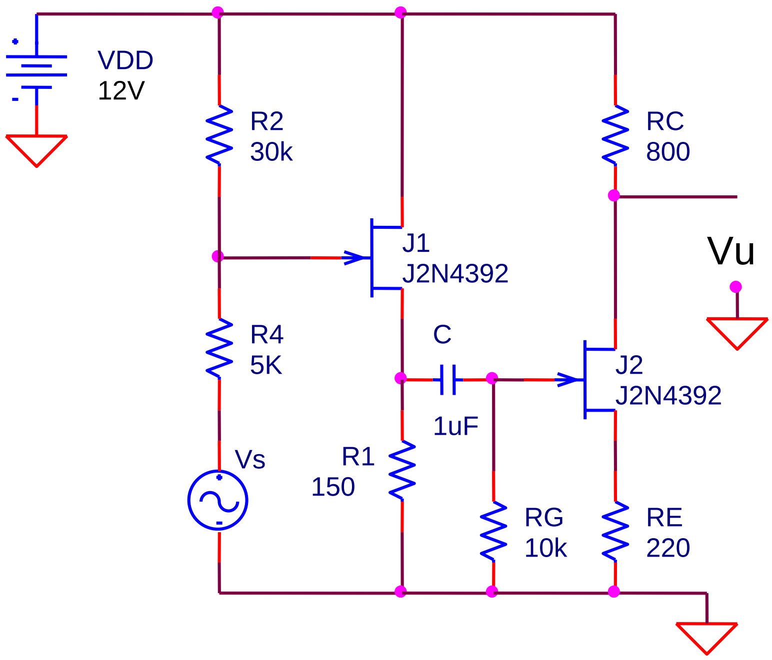
Parte B FILA A

Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori J2 e J3 e i parametri del circuito di piccolo segnale.
- la funzione di trasferimento a centro banda.
- il limite superiore di banda
- il limite inferiore di banda.

Si consideri V_p = $V_{GS(off)}$ = -4V

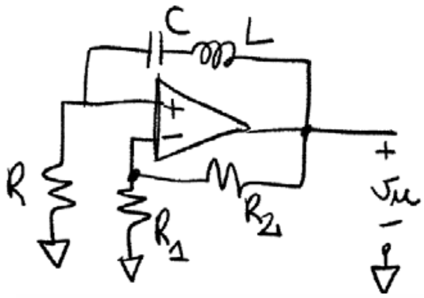
Punteggio totale Parte B: 14/30



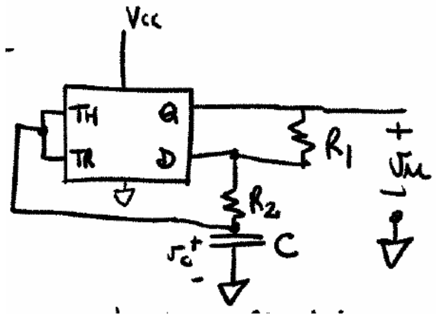
Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
23 giugno 2004

Parte A FILA B

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione A_{vo}=1200, R_{in} = 50 KΩ, R_{out} = 800 Ω, un polo a frequenza f_p = 150 Hz. Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di 10 MΩ, una resistenza di uscita maggiore di 100 KΩ, e una banda di 60 KHz. Si consideri la resistenza del generatore nulla, e la resistenza del carico di 200 Ω.



2. Sia dato il circuito mostrato a lato. Verificare la possibilità che si inneschi un'oscillazione e a che frequenza. (L= 33 μH, C = 10 μF, R_1 = R_2 = 10 KΩ, R = 5 KΩ).



3. 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 (R1 = 10 KΩ, R2 = 15 KΩ, C = 2 μF).

4. Realizzare la ROM a transistori npn a 2 ingressi che implementi la funzione logica Y=A xor B. Disegnare il circuito completo al livello delle singole porte logiche.

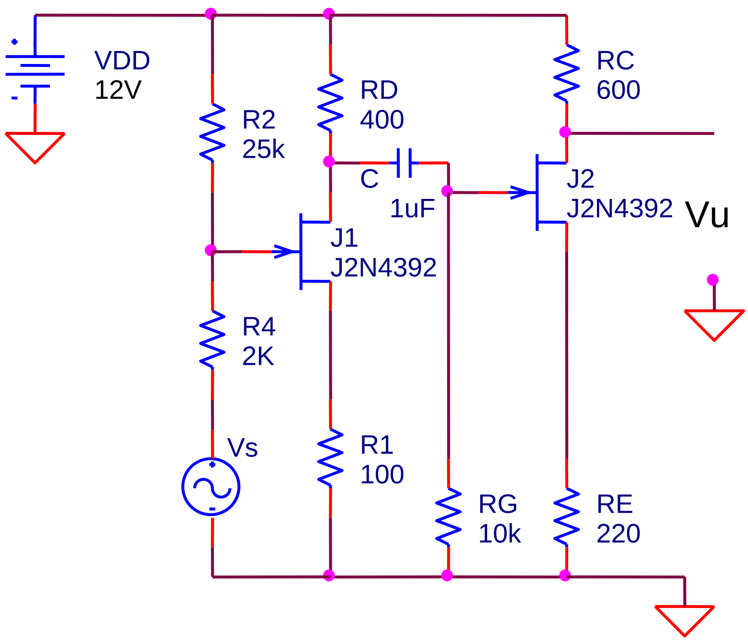
Punteggio totale Parte A: 14

Parte B FILA B

Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori J2 e J3 e i parametri del circuito di piccolo segnale.
- la funzione di trasferimento a centro banda.
- il limite superiore di banda
- il limite inferiore di banda.

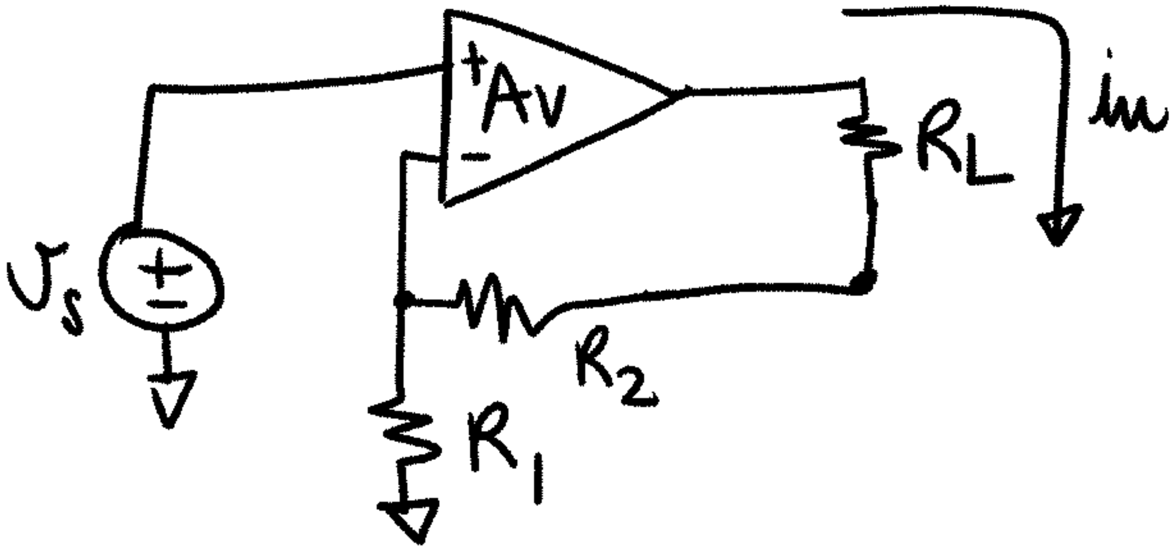
Si consideri $V_p = V_{GS(off)}$ = -4V



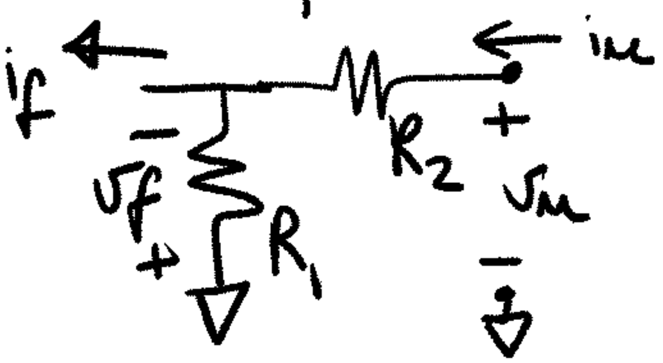
Punteggio totale Parte B: 14/30

① Fila A

Scegliamo una reazione negativa con prelievo di CORRENTE e inserzione di TENSIONE.



Rete per il β:

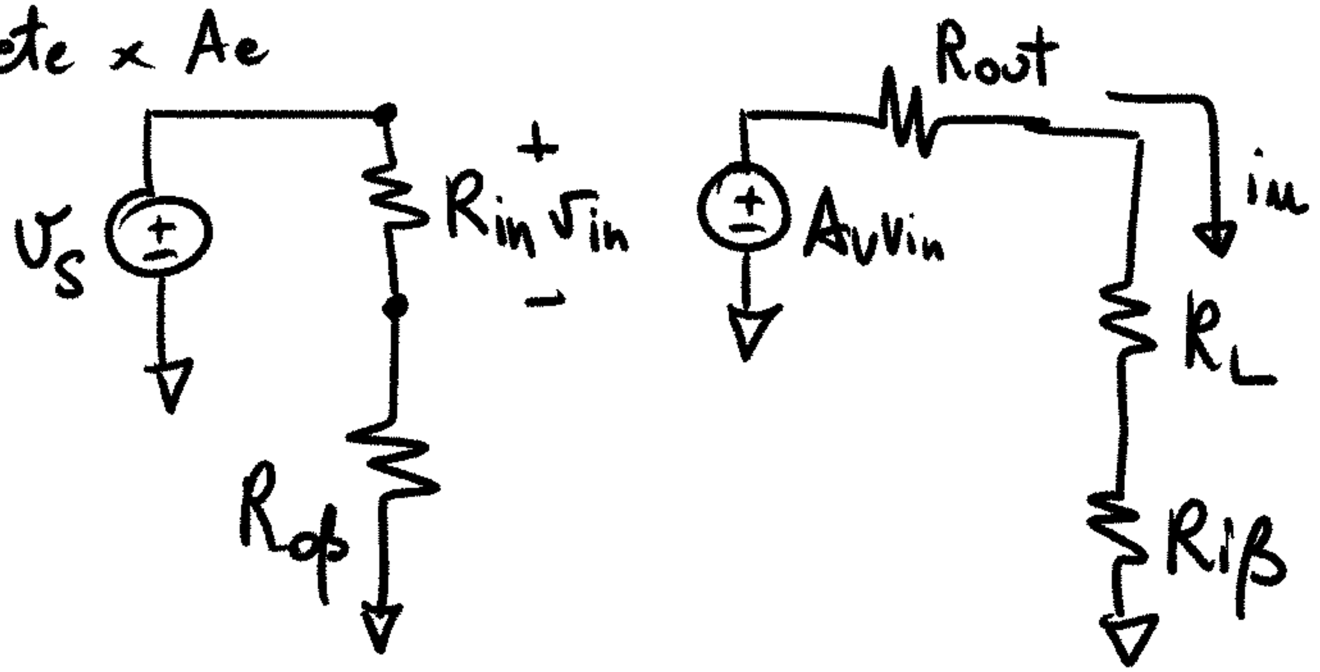


$v_f = \beta i_u + R_{o\beta} i_f$

$v_u = R_{in} i_u + \cancel{K i_f}$

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

Rete x Ae



$$A_e \triangleq \left.\frac{i_u}{v_S}\right|_{\beta=0} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}} A_V \frac{1}{R_L + R_{i\beta} + R_{out}}$$

$$1-\beta A_e = 1 + \frac{R_1 \cdot R_{in}}{R_{in}+R_1} A_V \frac{1}{R_L+R_1+R_2+R_{out}}$$

$$\underset{\substack{\uparrow \\ 100\,kHz}}{f_H} = (1-\beta A_e) \underset{\substack{\uparrow \\ 1\,kHz}}{f_p} \rightarrow \underline{1-\beta A_e = 100}$$

$$R_{IF} = \underset{\substack{\uparrow \\ 150\,k\Omega}}{(R_{in}+R_{o\beta})}\,\underset{\substack{\uparrow \\ 100}}{(1-\beta A_e)} \rightarrow R_{IF} > 15\,M\Omega > 1\,M\Omega$$

quindi è sempre verificata se $1-\beta A_e = 100$

$$R_{OF} = (R_{out} + R_{i\beta})\left(1 - \beta A_e\Big|_{R_L=0}\right) \Rightarrow R_{OF} > 100\,k\Omega$$

R_{out}: $1\,K\Omega$; $\hookrightarrow > 50\,k\Omega$

$1 - \beta A_e\Big|_{R_L=0}$: > 100 perché $A_e\Big|_{R_L=0} > A_e$

Anche la condizione su R_{OF} è verificata se $1-\beta A_e = 100$

Per rispettare tutte le condizioni è sufficiente fare in modo che

$$1 - \beta A_e = 1 + \frac{R_1 \cdot R_{in}}{R_{in} + R_1} A_V \frac{1}{R_L + R_1 + R_2 + R_{out}} = 100$$

scegliamo $\underline{R_1 = 10\,K\Omega}$

ottengo

$$R_2 + R_1 + R_L + R_{out} = \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_1} A_V \frac{1}{99}$$

da cui $\underline{R_2 = 178{,}3\,K\Omega} \rightarrow R_{IF} = 16\,M\Omega$

$R_{OF} = 18{,}9\,M\Omega$

Fila $\underline{B}$: Stesso procedimento - da cui si ottiene

$$f_H = f_P (1 - \beta A_e) \rightarrow 1 - \beta A_e = \frac{f_H}{f_P} = 400$$

f_H: $60\,KHz$; f_P: $150\,Hz$

$$R_{IF} = (R_{in} + R_o\beta)(1-\beta A_e) \rightarrow \text{SEMPRE VERO}$$

$10M\Omega$ $50k\Omega$ 400

[se $1-\beta A_e = 400$]

$$R_{oF} = (R_{out} + R_i\beta)(1-\beta A_{e\,R_L=0}) \Rightarrow \text{SEMPRE VERO}$$

$100k\Omega$ 800Ω 400

[se $1-\beta A_e = 400$]

$$1-\beta A_e = 1 + \frac{R_1 \cdot R_{in}}{R_{in} + R_1} A_V \frac{1}{R_L + R_1 + R_2 + R_{out}} = 400$$

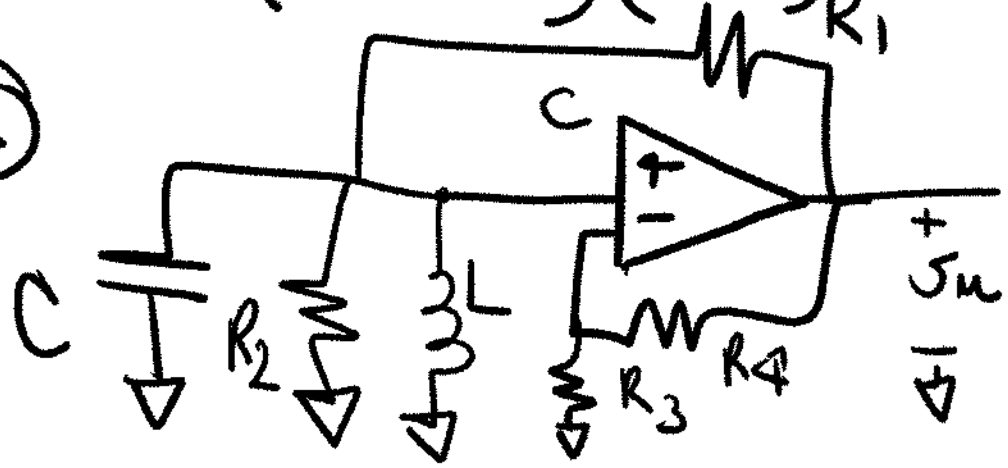
Scelgo $R_1 = 10k\Omega$

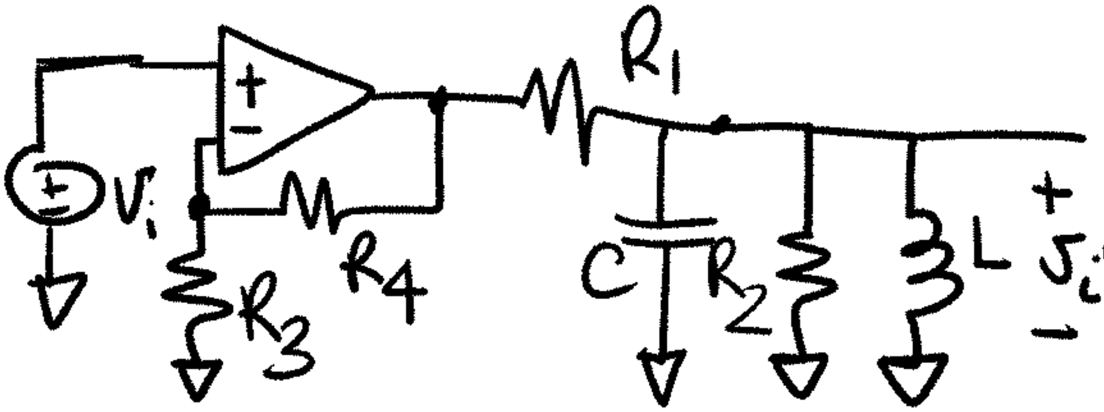
da cui $R_2 = 17.125 k\Omega$

$$R_{IF} = (50000 + 10000)\, 400 = 24 M\Omega$$

$$R_{oF} = (800 + 27125)(1 + 412) = 11.5 M\Omega$$

(2) FILA A





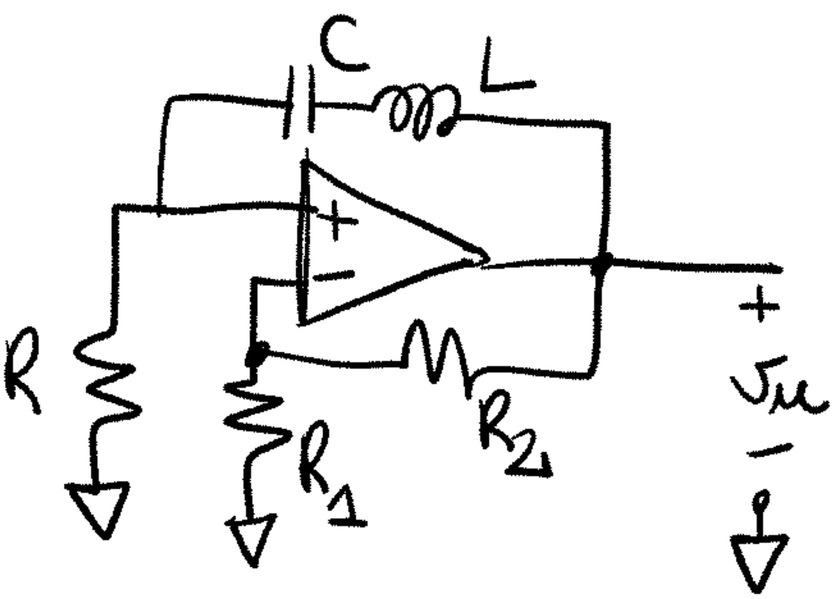
$$\beta A_e = \frac{v_i'}{v_i} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{\left[j\omega C + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega L}\right]^{-1}}{\left[j\omega C + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega L}\right]^{-1} + R_1}$$

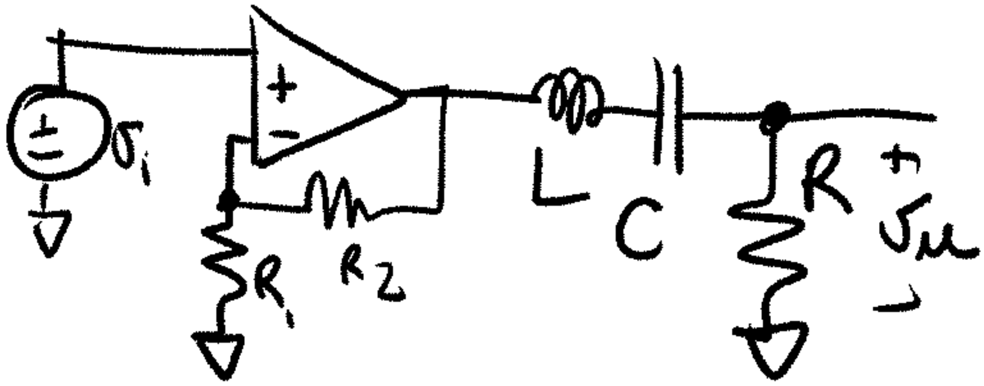
$$= \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{\left[\frac{j\omega L + R_2 - R_2\omega^2 LC}{R_2 j\omega L}\right]^{-1}}{\left[\frac{j\omega L + R_2 - R_2\omega^2 LC}{R_2 j\omega L}\right]^{-1} + R_1} =$$

$$= \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_2 j\omega L}{R_2 j\omega L + R_1 R_2 + jR_1\omega L - R_2 R_1 \omega^2 LC}$$

$$\angle \beta A_e = 0 \Rightarrow \omega^2 LC = 1 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{LC}$$

$$\beta A_e(\omega_0) = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 1{,}3331 \quad \Big| \quad f_0 = 10.4\,\text{KHz}$$





$$\beta A_e = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R}{R+j\omega L+\frac{1}{j\omega C}} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{j\omega RC}{1-\omega^2 LC+j\omega RC}$$

$$\angle \beta A = 0 \rightarrow \omega^2 LC = 1 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

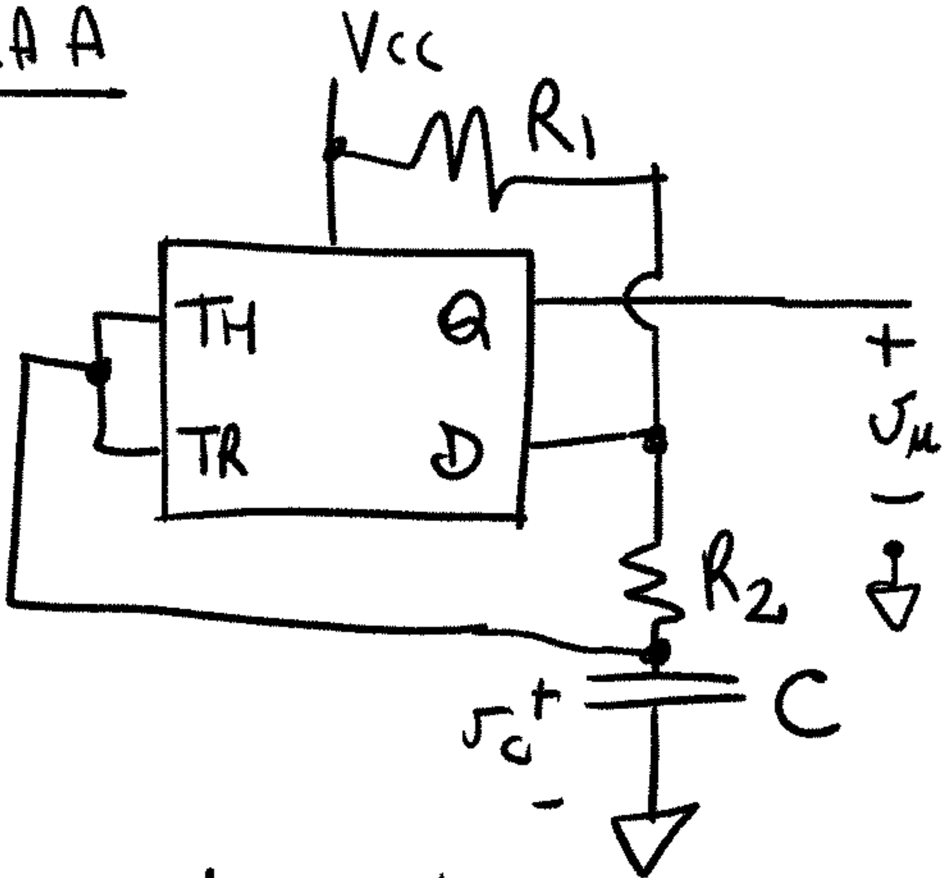
$$\beta A_e = 1+\frac{R_2}{R_1} = \underline{2>1}$$

Criterio di Barkhausen all'innesco <u>VERIFICATO</u>

$$\downarrow$$

$$f_0 = \underline{8.77\ \text{KHz}}$$

③ FILA A



supponiamo che per $t=0$ C sia scarica

$V_{TR}=0 \rightarrow \underline{\underline{Q=1}} \rightarrow$ C si carica a Vcc con costante di tempo $(R_1+R_2)C$

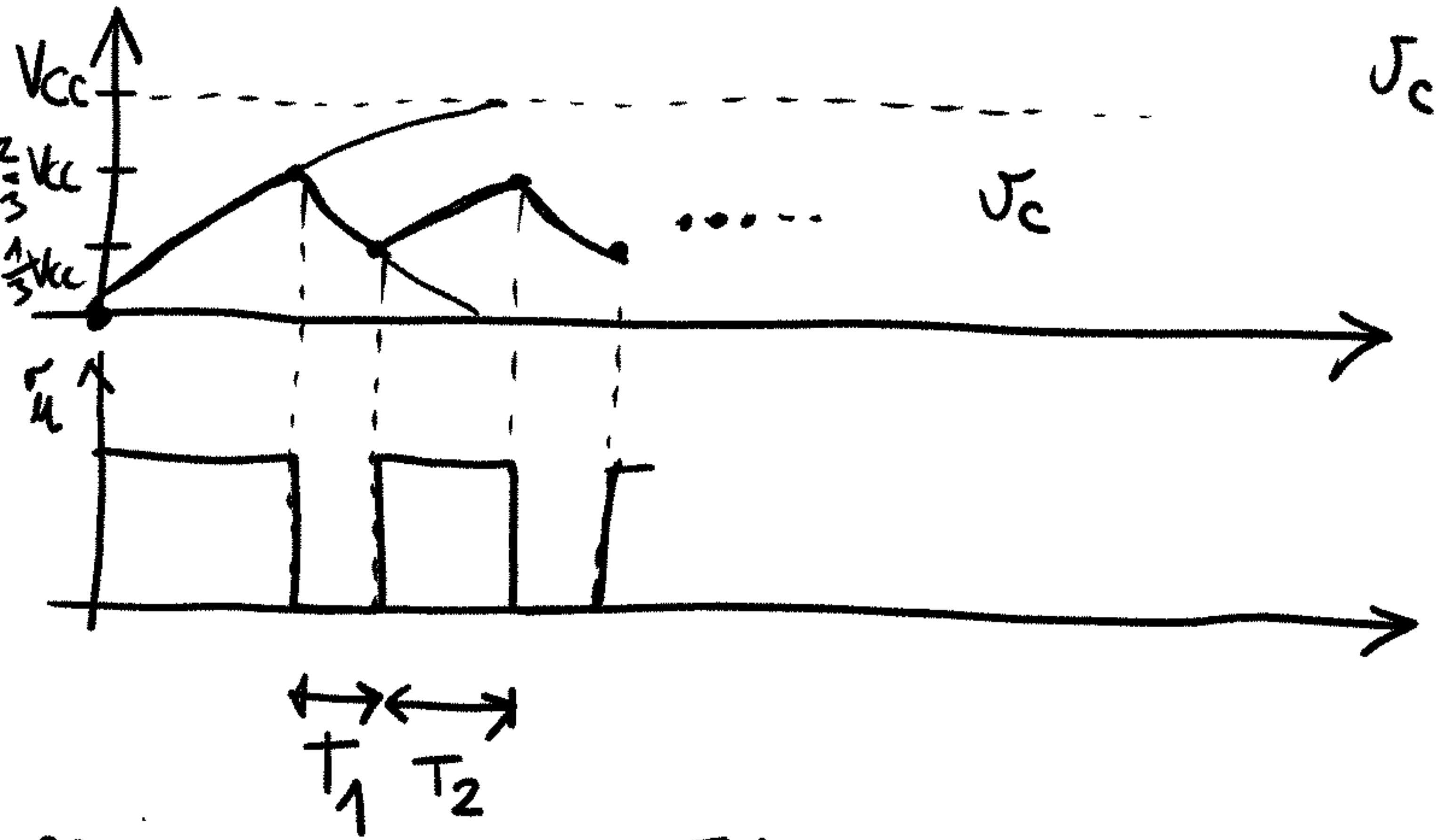
quando $v_C = \frac{2}{3}V_{CC}$ abbiamo

$v_H = v_C = \frac{2}{3}V_{CC} \rightarrow Q=0$

il condensatore si scarica con costante di tempo R_2C

quando $v_{TR} = v_C = \frac{1}{3}V_{CC} \rightarrow Q=1$ e C si carica di nuovo

⋮



scarica

$$\frac{1}{3}\cancel{V_{cc}} = \frac{2}{3}\cancel{V_{cc}}\, e^{-T_1/R_2C} \rightarrow T_1 = R_2 C \ln 2 = 10.4\,ms$$

carica

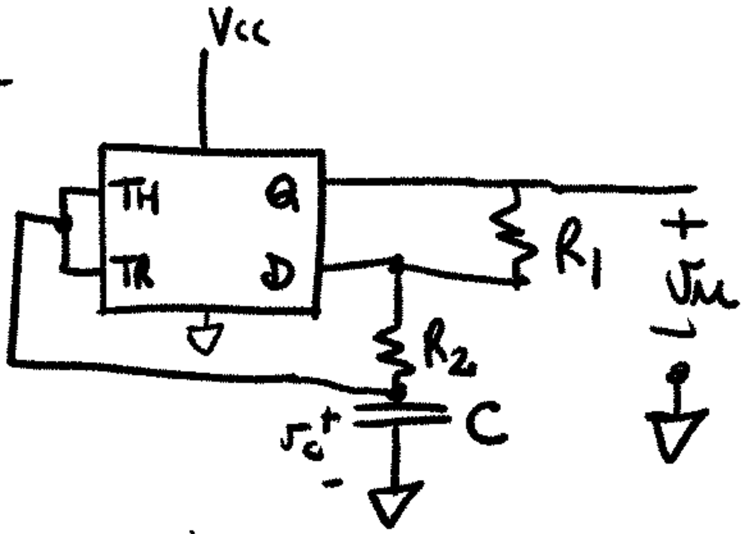
$$\frac{2}{3}\cancel{V_{cc}} = \frac{1}{3}\cancel{V_{cc}} + \left(\cancel{V_{cc}} - \frac{1}{3}\cancel{V_{cc}}\right)\left(1 - e^{-T_2/(R_1+R_2)C}\right)$$

$$1 = 2\left(1 - e^{-\frac{T_2}{(R_1+R_2)C}}\right)$$

$$T_2 = (R_1+R_2)C\ln 2 = 13.9\,ms$$

$T_1 + T_2 = 24.3\,ms$ $\qquad \delta = \frac{T_2}{T_1+T_2} = 0.57$

Fila B



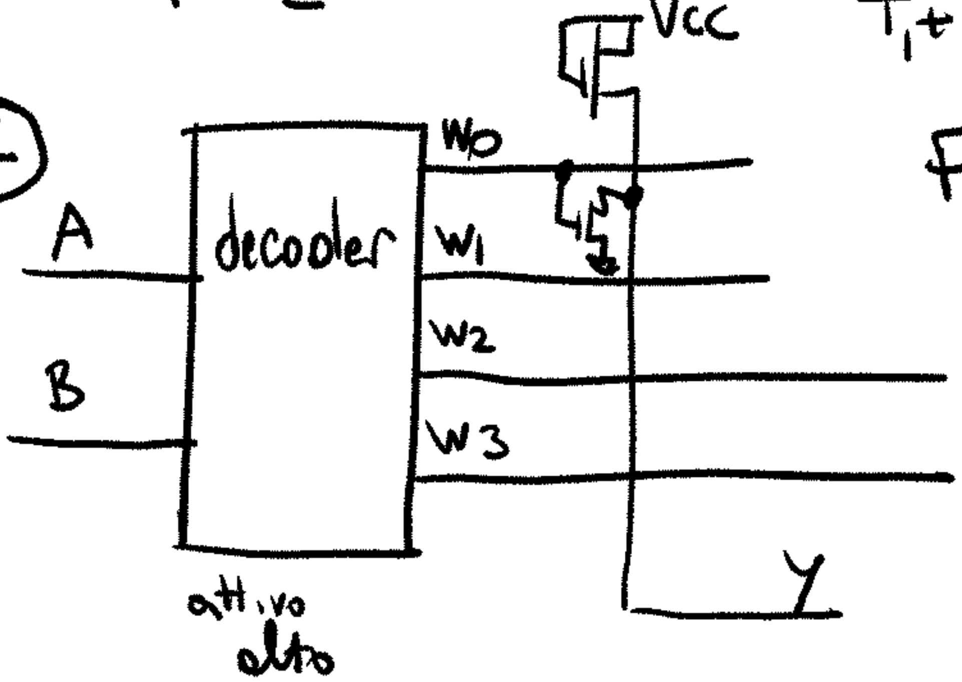
Il funzionamento è quello del circuito precedente, perché quando il condensatore si carica, la tensione su Q è sempre Vcc.

$$T_1 = R_2 C \ln 2 = 20.7 \text{ ms}$$

$$T_2 = (R_1 + R_2) C \ln 2 = 34.7 \text{ ms}$$

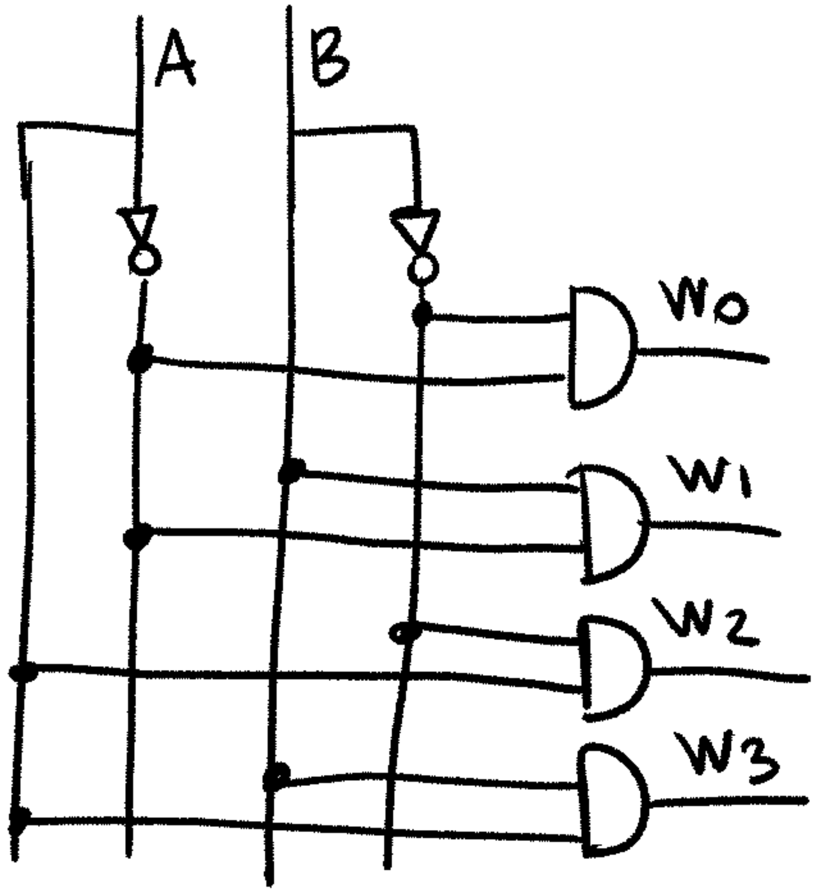
$$T = T_1 + T_2 = 48.6 \text{ ms} \qquad \delta = \frac{T_2}{T_1 + T_2} = \underline{0.714}$$

4

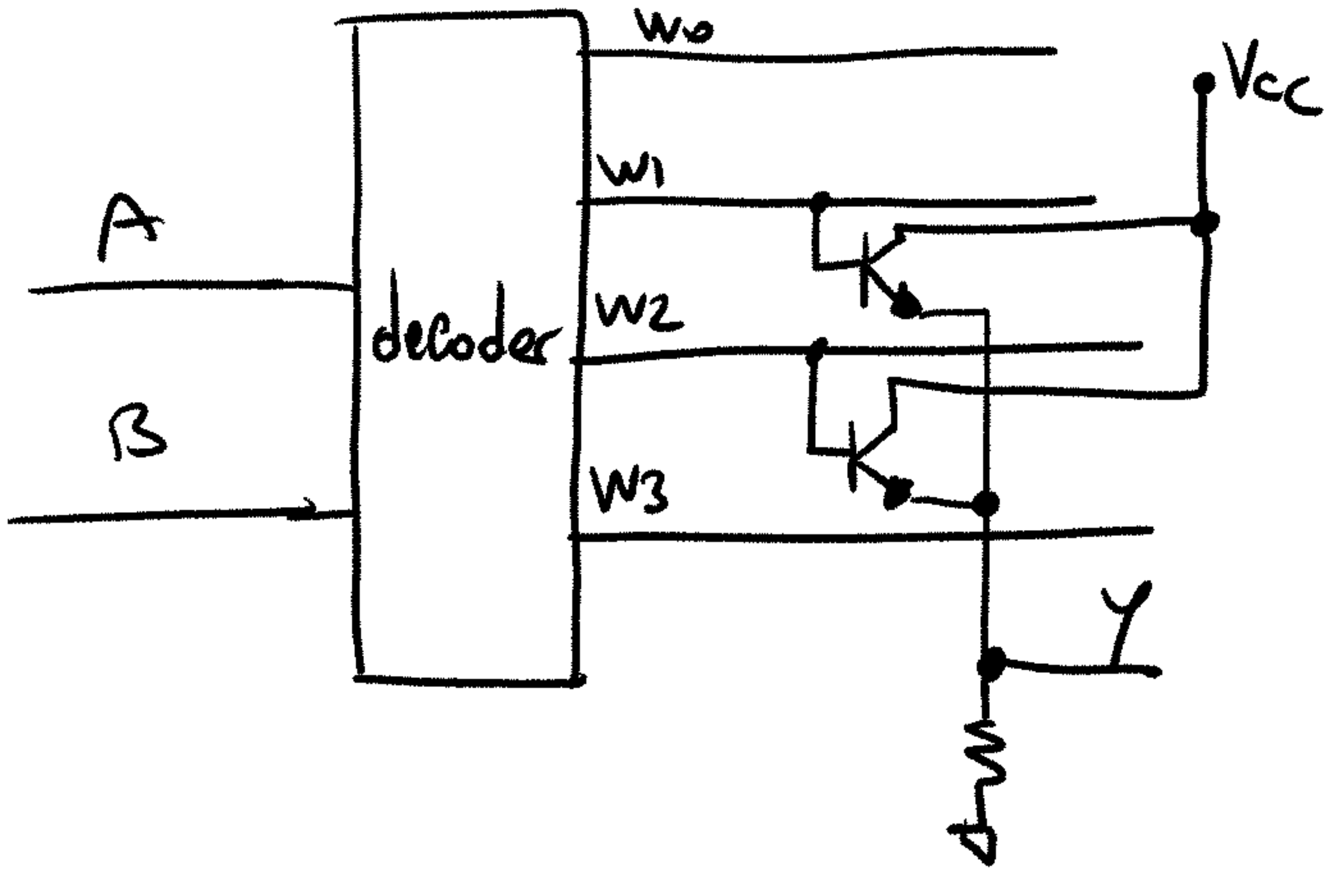


Fila A

decoder



Filo B il decoder come sopra



FILA A

$$V_{G1} = \frac{R_4}{R_2+R_4} \cdot V_{DD} = \frac{5}{35} \cdot 12 = 1.714\ V$$

$V_{GS1} = V_{G1} - R_1 \cdot I_{D1} \rightarrow$ da caratteristiche

V_{GS1}	I_{D1}
0	11.4 mA
-2	24.8 mA

$$\boxed{\begin{array}{l} I_{D1} \simeq 22\ mA \\ V_{GS1} \simeq -1.8\ V \end{array}}$$

$V_{DS1} = V_{DD} - V_G + V_{GS} = 8.49\ V$

$V_{DS1} > V_{GS1} - V_p \rightarrow$ OK SAT.

$\underset{8.49}{\shortparallel} \quad \underset{-1.8}{\shortparallel} \quad \underset{-4}{\shortparallel}$

$V_{G2} = 0 \qquad V_{GS2} = -R_E \cdot I_{D2}$

V_{GS2}	I_{D2}
0	0
-1	4.54 mA

$\rightarrow$ dalle caratteristiche

$$\boxed{\begin{array}{l} I_{D2} \simeq 10\ mA \\ V_{GS2} \simeq -2.6\ V \end{array}}$$

$V_{DS2} = V_{DD} - (R_C + R_E) I_{D2} = 1.8\ V > V_{GS2} - V_p \rightarrow$ OK SAT.

$\underset{-2.6}{\shortparallel} \quad \underset{-4}{\shortparallel}$

$g_{m1} \simeq \frac{50\ mA}{3.3\ V} = 15.15\ mS \qquad r_{d1} \simeq +\infty$

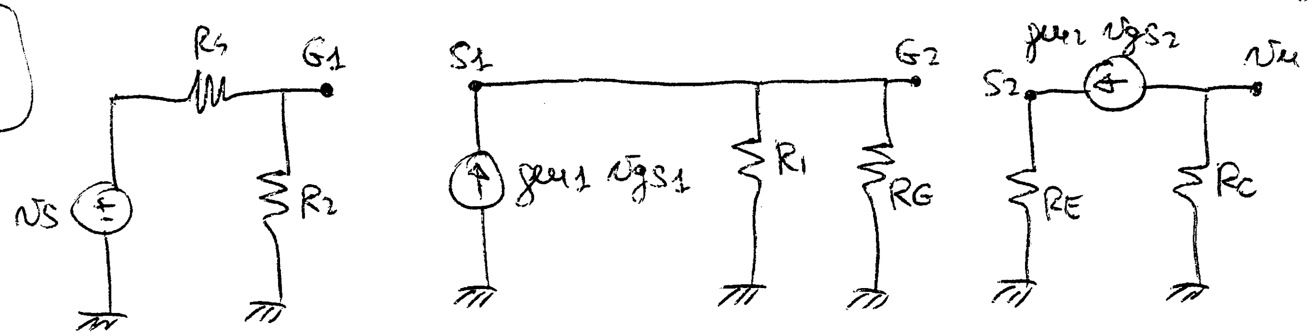
$g_{m2} \simeq \frac{42\ mA}{3.4\ V} = 12.35\ mS \qquad r_{d2} \simeq +\infty$

le caratteristiche di uscita sono praticamente orizzontali

$C_{gd1} = C_{rss} = 7\,pF \qquad C_{gs1} = C_{iss} - C_{rss} = 9\,pF$

$C_{gd2} = 5\,pF \qquad C_{gs2} = 8\,pF$

A_{vCB} :



$v_u = -g_{m2}\, v_{gs2}\, R_C$ $\qquad$ $R_1 // R_G = \dfrac{R_1 R_G}{R_1 + R_G} = 148\ \Omega$

$v_{gs2} = V_{G2} - V_{S2} = g_{m1}\, v_{gs1}\,(R_1 // R_G) - g_{m2}\, v_{gs2}\, R_E \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_{gs2} = \frac{g_{m1}(R_1//R_G)}{1 + g_{m2} R_E}\, v_{gs1}$$

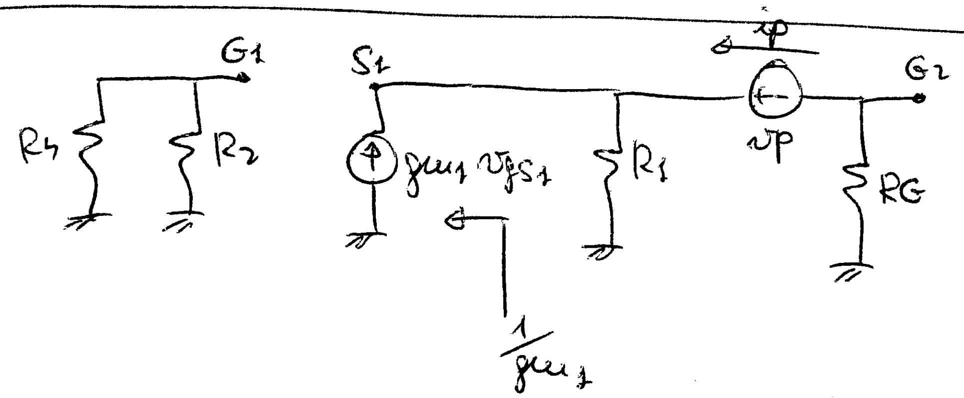
$v_{gs1} = V_{G1} - V_{S1} = \dfrac{R_2}{R_2 + R_4}\, v_s - g_{m1}\, v_{gs1}\,(R_1 // R_G) \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_{gs1} = \frac{R_2}{R_2 + R_5} \cdot \frac{1}{1 + g_{m1}(R_1//R_G)}\, v_s$$

$$A_v = \frac{v_u}{v_s} = -g_{m2} R_C \frac{g_{m1}(R_1//R_G)}{1 + g_{m2} R_E} \frac{R_2}{R_2 + R_5} \frac{1}{1 + g_{m1}(R_1//R_G)} = \underline{\underline{1.576}}$$

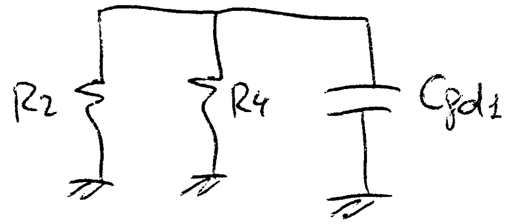
---

f_L :



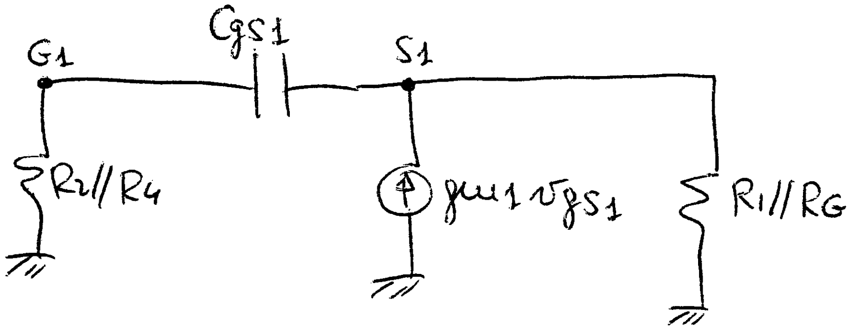
$$R_{vC} = \underbrace{\underbrace{\frac{1}{g_{m1}} // R_1}_{=\,46} + R_G}_{10046} \Rightarrow f_L = \frac{1}{2\pi \cdot R_{vC} \cdot C} = \underline{15.84\ Hz}$$

$\boxed{C_{gd1}:}$



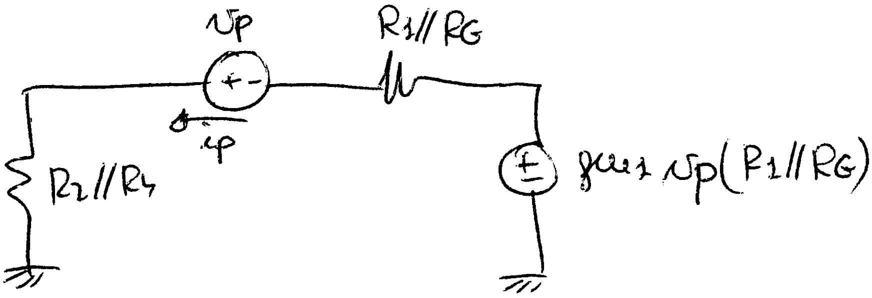
$R_{Vgd1} = R_2 // R_4 = \underline{\underline{4286\ \Omega}}$

$\boxed{C_{gs1}:}$



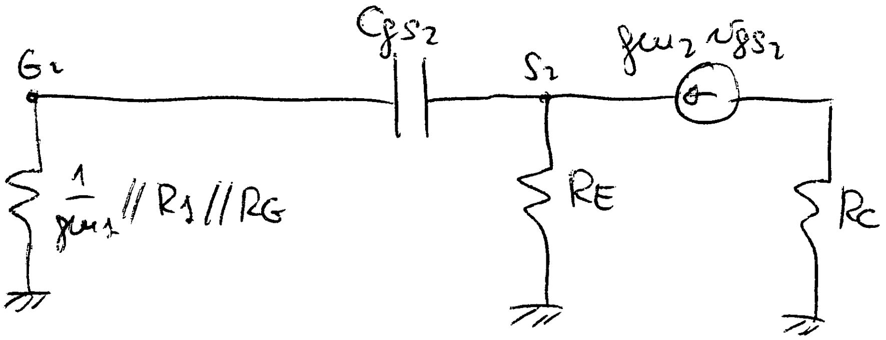
$\Rightarrow$

$\Rightarrow$



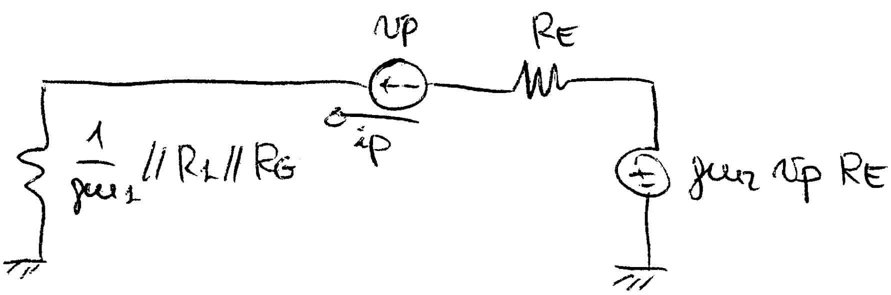
$$i_p = \frac{v_p\left(1 + g_{m1}(R_1//R_G)\right)}{R_2//R_4 + R_1//R_G} \Rightarrow R_{Vgs1} = \frac{R_4//R_2 + R_1//R_G}{1 + g_{m1}(R_1//R_G)} = \underline{\underline{1368\ \Omega}}$$

$\boxed{C_{gs2}:}$



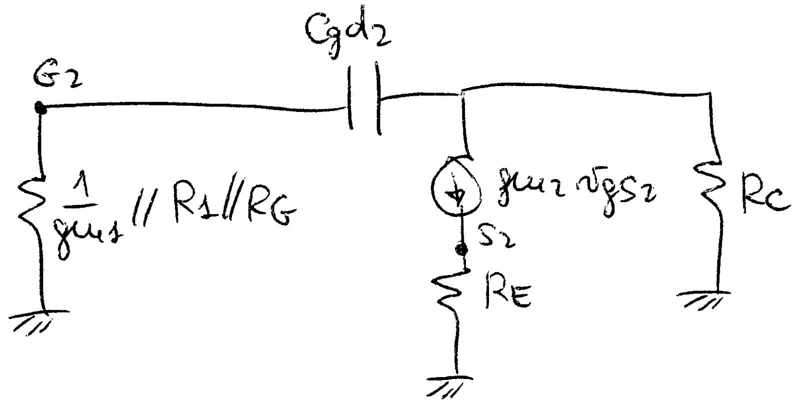
$\Rightarrow$

$\Rightarrow$



$$R_{Vgs2} = \frac{\frac{1}{g_{m1}} // R_1 // R_G + R_E}{1 + g_{m2} R_E} = \underline{\underline{71\ \Omega}}$$

$\boxed{C_{gd_2}:}$



$$R_{vgd_2} = R_{in}(1 - A_v) + R_{out}$$

$$R_{out} = R_C$$

$$R_{in} = \frac{1}{g_{m1}} // R_1 // R_G$$

$$A_v = \frac{-g_{m2} R_C}{1 + g_{m2} R_E}$$

$$R_{vgd_2} = R_C + \underbrace{\frac{1}{g_{m1}} // R_1 // R_G}_{46} \left(1 + \underbrace{\frac{g_{m2} R_C}{1 + g_{m2} R_E}}_{2.658}\right) = \underline{\underline{968\ \Omega}}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi \cdot (R_{vgs_1} \cdot C_{gs_1} + R_{vgs_2} \cdot C_{gs_2} + R_{vgd_1} C_{gd_1} + R_{vgd_2} C_{gd_2})} =$$

$$= \underline{\underline{3.33\ MHz}}$$

FILA B

$$V_{G1} = \frac{R_4}{R_2+R_4} V_{DD} = \frac{2}{27} \cdot 12 = 0.888\ V$$

$$V_{GS1} = V_{G1} - R_1 I_{S1}$$

V_{GS1}	I_{S1}
0	8.9 mA
−2	28.9 mA

→ dalle

caratteristiche $\boxed{\begin{array}{l} I_{D1} = 23\ mA \\ V_{GS1} = -1.6\ V \end{array}}$

È stato detto in aula di considerare J1 comunque in saturazione

$$V_{S1} = V_{G1} - V_{GS1} = 2.48\ V$$

$$V_{DS1} = V_{DD} - R_D I_{D1} - V_{S1} = 0.32\ V$$

$V_{G2} = 0$ $\qquad V_{GS2} = -R_E I_{D2}$

V_{GS2}	I_{D2}
0	0
−2	9.1 mA

→ dalle

caratteristiche $\boxed{\begin{array}{l} I_{D1} = 10\ mA \\ V_{GS1} = -2.6\ V \end{array}}$

$$V_{D2} = V_{DD} - R_C I_{D2} = 6V \rightarrow V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} =$$

$$= V_{DD} - R_C I_{D2} + V_{GS2} = 3.4\ V > \underbrace{V_{GS2}}_{-2.6} - \underbrace{V_p}_{-4} = 1.5V \Rightarrow \text{ok SAT.}$$

$$g_{m1} = 15.15\ mS \quad \left(\frac{50\ mA}{3.3\ V}\right) \qquad r_{d1} \simeq +\infty$$

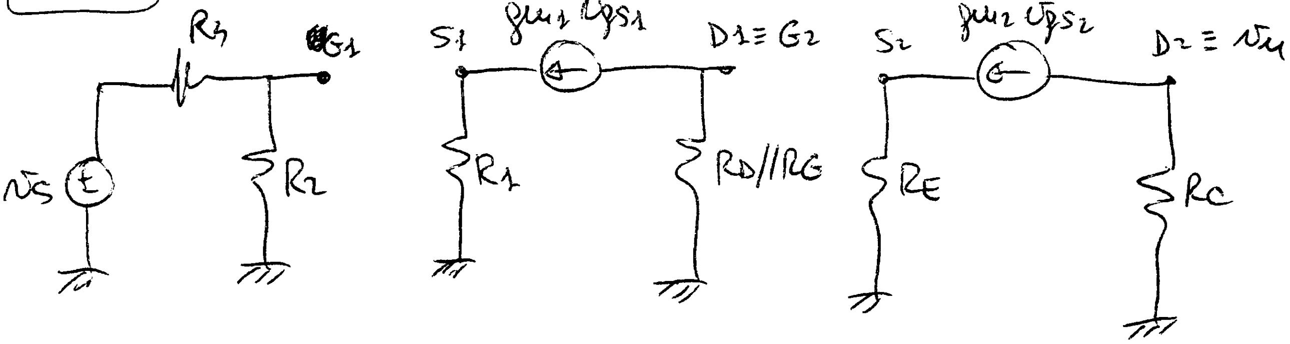
$$g_{m2} = \frac{52\ mA}{3.5V} = 12.35\ mS \qquad r_{d2} \simeq +\infty$$

le caratteristiche di uscita sono praticamente orizzontali

$C_{gd1} = C_{rss} = 7\ pF \qquad C_{gs1} = C_{iss} - C_{rss} = 9\ pF$

$C_{gd2} = 5\ pF \qquad C_{gs2} = 8\ pF$

AvCB



$$v_u = -g_{m2}\, v_{gs2}\, R_C$$

$R_D /\!/ R_G = 385\ \Omega$

$$v_{gs2} = V_{G2} - V_{S2} = -g_{m1}\, v_{gs1}\, R_D /\!/ R_G - g_{m2}\, v_{gs2}\, R_E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{gs2} = \frac{-g_{m1}\, v_{gs1}\, R_D /\!/ R_G}{1 + g_{m2} R_E}$$

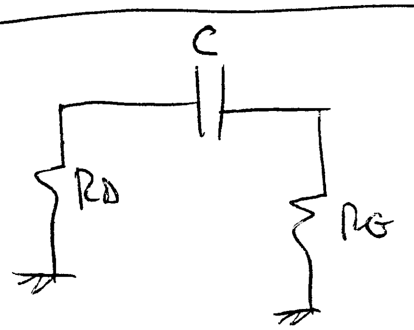
$$v_{gs1} = V_{G1} - V_{S1} = \frac{R_2}{R_2+R_4} v_s - g_{m1}\, v_{gs1}\, R_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{gs1} = \frac{\frac{R_2}{R_2+R_4} v_s}{1 + g_{m1} R_1}$$

$$\frac{v_u}{v_s} = A_v = +g_{m2} R_C \frac{g_{m1} R_D /\!/ R_G}{1+g_{m2} R_E} \frac{R_2}{R_2+R_4} \frac{1}{1+g_{m1} R_1} = \underline{\underline{4.28}}$$

---

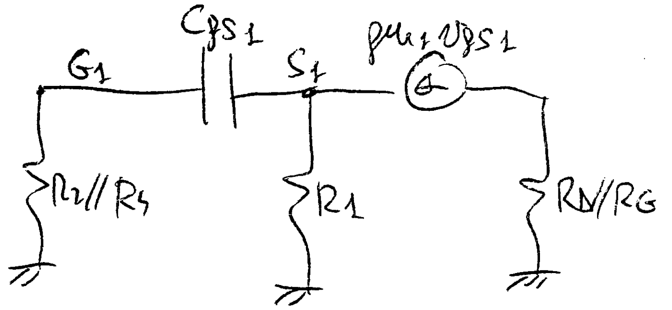
f_L



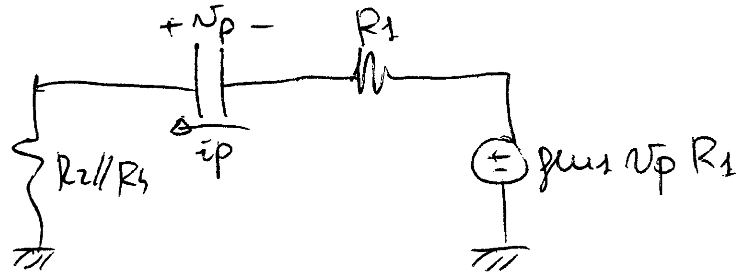
$$R_{VC} = R_D + R_G = 10400\ \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_{VC} \cdot C} = \underline{\underline{15.3\ Hz}}$$

C_{gs1}

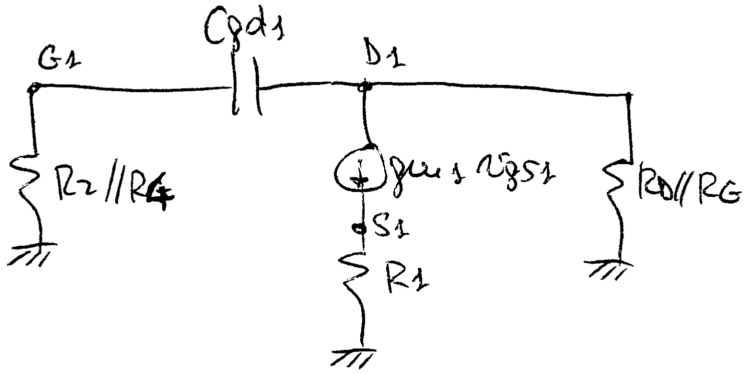


$R_2//R_4 = 1852$



$$R_{vgs1} = \frac{R_2//R_4 + R_1}{1+g_{m1}R_1} = \underline{\underline{776\ \Omega}}$$

C_{gd1}



$$R_{vgd1} = R_{in}(1-A_v) + R_{out}$$

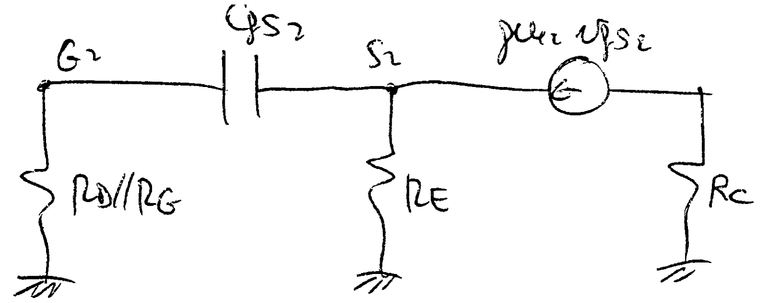
$$R_{out} = R_D//R_G$$

$$R_{in} = R_2//R_4$$

$$A_v = -\frac{g_{m1}\cdot R_D//R_G}{1+g_{m1}R_1}$$

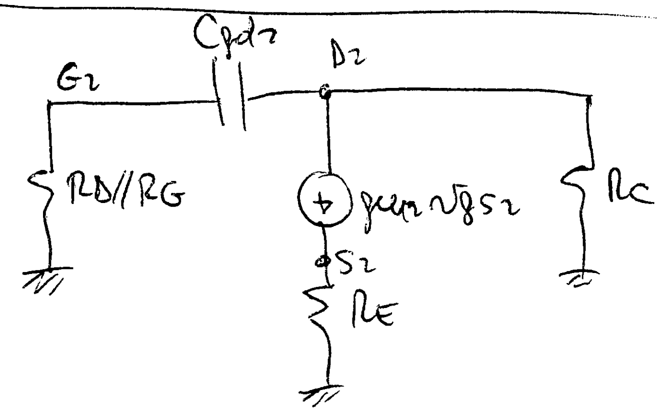
$$R_{vgd1} = R_D//R_G + R_2//R_4\left(1 + \underbrace{\frac{g_{m1}R_D//R_G}{1+g_{m1}R_1}}_{2.39}\right) = \underline{\underline{6532\ \Omega}}$$

C_{gs2}



$$R_{Ugs2} = \frac{R_D // R_G + R_E}{1 + g_{m2} R_E} = \underline{\underline{163\ \Omega}}$$

C_{gd2}



$$R_{Ugd2} = R_C + R_D // R_G \left(1 + \frac{g_{m2} R_C}{1 + g_{m2} R_E}\right) = \underline{\underline{1753\ \Omega}}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi \left(R_{Ugs1} \cdot C_{gs1} + R_{Ugd1} \cdot C_{gd1} + R_{Ugs2}\, C_{gs2} + R_{Ugd2} \cdot C_{gd2}\right)} =$$

$$= \underline{\underline{2.54\ \text{MHz}}}.$$
