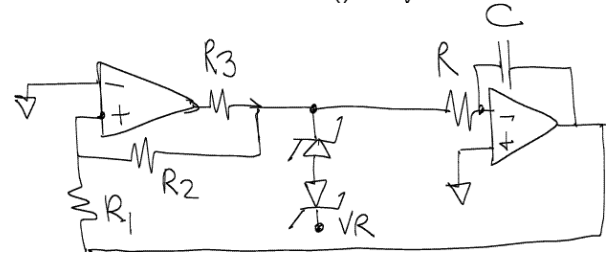
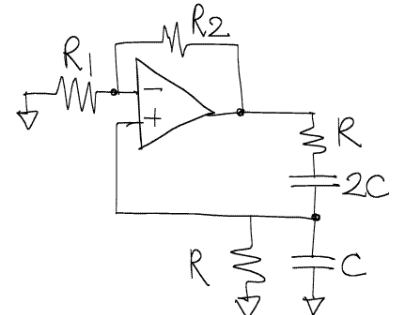


Parte A **FILA A**

- Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{v0}=1000$, $R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 100 \Omega$, un polo a frequenza $f_p = 100 \text{ Hz}$. Inoltre sia $R_s = 2 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 100 \Omega$ la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso compresa tra $1 \text{ M}\Omega$ e $2 \text{ M}\Omega$ e una resistenza di uscita maggiore di $100 \text{ K}\Omega$.
- Sia dato l'oscillatore a lato. Verificare il criterio di Barkhausen all'innescio e calcolare l'eventuale frequenza di oscillazione. Sia $R=1 \text{ K}\Omega$, $C = 100 \text{ nF}$, $R_1=10 \text{ K}\Omega$, $R_2=20 \text{ K}\Omega$.
- 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 ($R = 10 \text{ K}\Omega$, $C = 47 \text{ nF}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, $V_Z = 4.7 \text{ V}$, $V_R = 2 \text{ V}$).
- Disegnare fino al livello delle singole porte logiche una ROM a diodi che si comporti come un multiplexer da 4 a 1.



Punteggio totale Parte A: 14

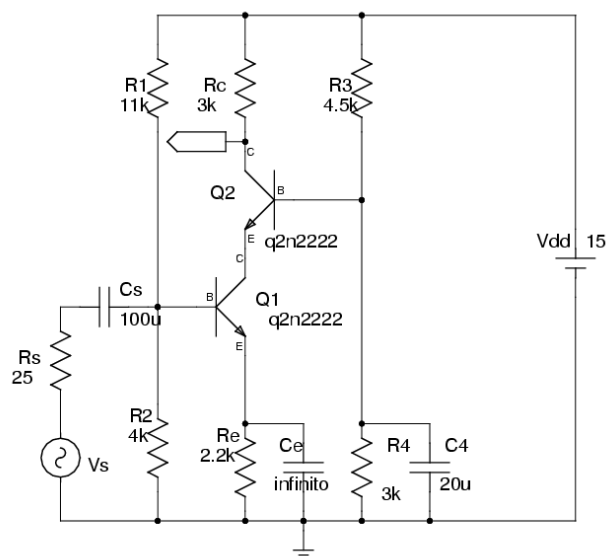
Parte B **FILA A**

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
- il limite inferiore di banda

Assunzioni semplificative:

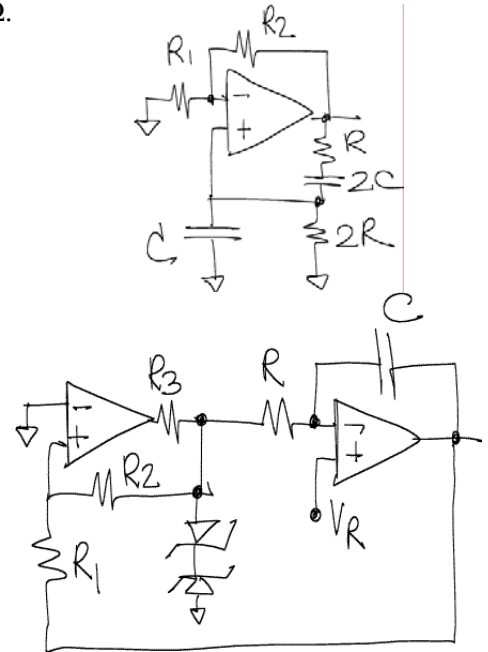
- considerare $h_{oe} = 0$ per i due transistori.



Punteggio totale Parte B: 14/30

Parte A **FILA B**

- Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{v0} = 200$, $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$, $R_{out} = 200 \Omega$, un polo a frequenza $f_p = 1000 \text{ Hz}$. Inoltre sia $R_s = 1 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 100 \Omega$ la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso minore di $100 \text{ K}\Omega$ e una resistenza d'uscita compresa tra 10Ω e 20Ω .
- Sia dato l'oscillatore a lato. Verificare il criterio di Barkhausen all'innescio e calcolare l'eventuale frequenza di oscillazione. Sia $R = 1 \text{ K}\Omega$, $C = 100 \text{ nF}$, $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 15 \text{ K}\Omega$.
- 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 ($R = 10 \text{ K}\Omega$, $C = 47 \text{ nF}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, $V_Z = 4.7 \text{ V}$, $V_R = 2 \text{ V}$).
- Ricavare e quotare una porta complessa CMOS che si comporti come un multiplexer da 4 a 1.



Punteggio totale Parte A: 14

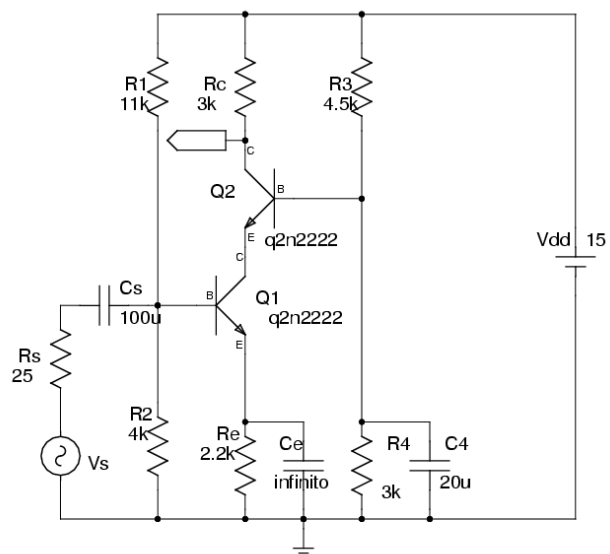
Parte B **FILA B**

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
- il limite inferiore di banda

Assunzioni semplificative:

- considerare $h_{oe} = 0$ per i due transistori.



Punteggio totale Parte B: 14/30

1.

Fila A

$f_c = 100 \text{ Hz}$

$F_{10} = 1000$

$R_{in} = 100 \text{ K}\Omega$

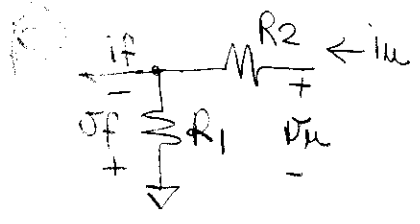
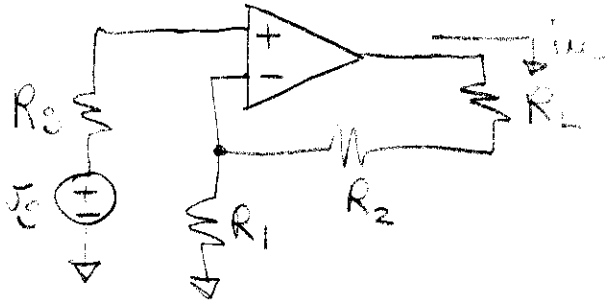
$R_{out} = 100 \Omega$

$R_L = 100 \Omega$

$R_s = 2 \text{ K}\Omega$

$1 \text{ M}\Omega < R_{IF} < 2 \text{ M}\Omega$
 $R_{OF} > 100 \text{ K}\Omega$

È necessaria una reazione con prelievo di corrente e inserzione di tensione

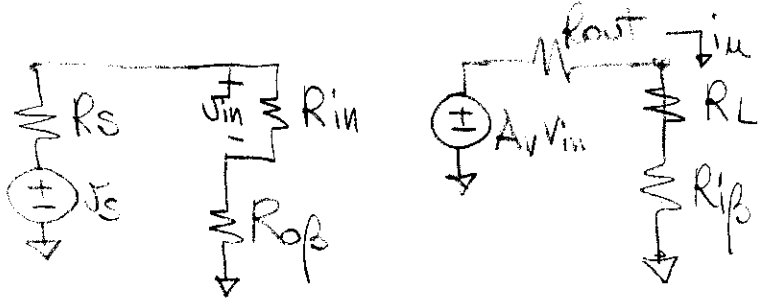


$v_u' = \beta i_u + R_{of} i_u'$
 $v_u = R_1 i_u' + R_2 i_u'$

$\beta = \left. \frac{v_u'}{i_u} \right|_{v_u=0} = -R_1$

$R_{of} = \left. \frac{v_u'}{i_u'} \right|_{i_u=0} = R_1$

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



$A_e = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s + R_{of}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}}$

$R_{IF} = (R_{in} + R_{of}) (1 - \beta A_e |_{R_s=0})$

$R_{OF} = (R_{out} + R_{i\beta}) (1 - \beta A_e |_{R_L=0})$

possiamo scegliere $1 - \beta A_e|_{R_S=0} = 10$ e $R_{o\beta} < R_{in} = 100 \text{ k}\Omega$ ②
 in modo da soddisfare la condizione su R_{IF} .

inoltre $R_{i\beta} > 10 \text{ k}\Omega$ per soddisfare la condizione su R_{oF}

Poniamo

$$1 - \beta A_e|_{R_S=0} = 10 \Rightarrow -\beta A_e|_{R_S=0} = 9$$

$$R_1 \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}} = 9$$

$\begin{matrix} \nearrow 100 \text{ k} \\ R_{in} \\ \uparrow \\ R_1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \uparrow \\ 1000 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \uparrow \\ 100 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \uparrow \\ 100 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \uparrow \\ R_1 + R_2 \end{matrix}$

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

$$\frac{100}{101} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{1.2 + R_2} = 9$$

$$1.2 + R_2 = \frac{100000}{101 \cdot 9} \Rightarrow R_2 = 108.8 \text{ k}\Omega$$

ricalcoliamo $R_{IF} = (10^5 + 10^3) \left(1 + \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{110000} \right) = 1.01 \text{ M}\Omega$

$$R_{oF} = (100 + 109800) \left(1 + \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_S + R_{o\beta}} A_v \frac{1}{R_{out} + R_{o\beta}} \right) = 1.08 \text{ M}\Omega$$

Fila B

$$f_p = 1 \text{ kHz}$$

$$A_{v0} = 200$$

$$R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_{out} = 100 \Omega$$

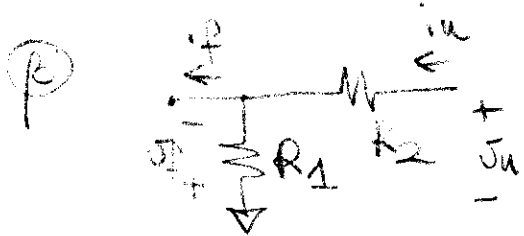
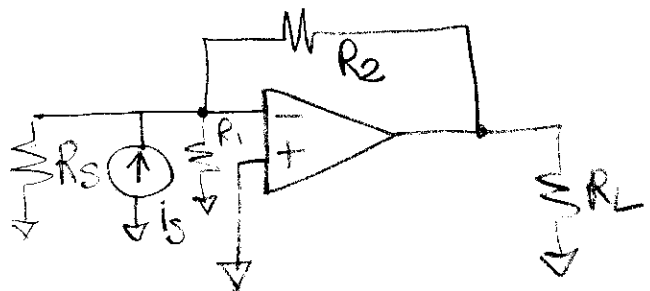
$$R_L = 100 \Omega$$

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{IF} < 100 \text{ k}\Omega$$

$$10 \Omega < R_{oF} < 20 \Omega$$

È necessaria una reazione con prelievo di tensione
 e iniezione di corrente.



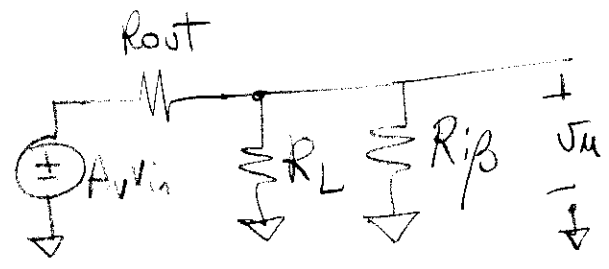
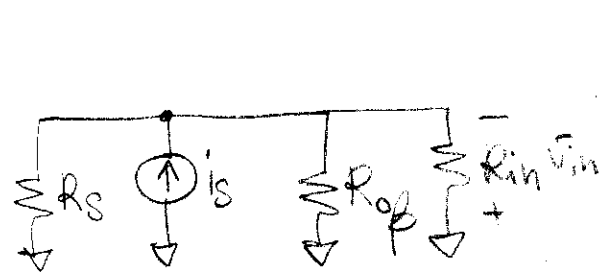
$$i_B = \beta i_E + \frac{V_{BE}}{R_{o\beta}}$$

$$i_E = \frac{V_{BE}}{R_{i\beta}} + \alpha i_B$$

$$\beta = \left. \frac{i_B}{i_E} \right|_{V_{BE}=0} = \frac{1}{R_2}$$

$$R_{o\beta} = \left. \frac{V_{BE}}{i_B} \right|_{i_E=0} = R_1 // R_2$$

$$R_{i\beta} = \left. \frac{V_{BE}}{i_E} \right|_{i_B=0} = R_2$$



$$A_e \equiv \frac{V_u}{i_E} = - (R_2 // R_{o\beta} // R_{in}) A_v \frac{R_L // R_{i\beta}}{R_{out} + R_L // R_{i\beta}}$$

$$R_{iF} = \frac{(R_{o\beta} // R_{in})}{1 - \beta A_e} \approx 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_{oF} = \frac{R_{out} // R_{i\beta}}{1 - \beta A_e} \in (10^2, 200 \Omega)$$

se $R_{i\beta} > 200 \Omega$
 $\infty < R_{out} // R_{i\beta} < 200 \Omega$

possiamo porre $1 - \beta A_e |_{R_L \rightarrow \infty} = 10$ e $R_{i\beta} > 200 \Omega$ per soddisfare la condizione su R_{oF} , inoltre possiamo avere $R_{o\beta} < 200 \text{ k}\Omega$ per soddisfare la condizione su R_{iF}

$$1 - \beta A_e \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = 1 + \frac{1}{R_2} (R_S \parallel R_{o\beta} \parallel R_{in}) A_v \frac{R_{i\beta}}{R_{out} + R_{i\beta}} = 10$$

$$\frac{200}{200} \rightarrow \frac{A_v}{R_2} (R_S \parallel R_{o\beta} \parallel R_{in}) \frac{R_{i\beta}}{R_{i\beta} + R_{out}} = 9$$

\uparrow 1K \uparrow $R_1 \parallel R_2$ \uparrow 1M Ω \uparrow R_2 \uparrow 200

$$\frac{A_v}{g(R_2 + R_{out})} = \frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{in}} + \frac{1}{R_2}$$

Scegliamo $R_2 = 1\text{K}\Omega$ in modo da soddisfare tutte le condizioni precedenti

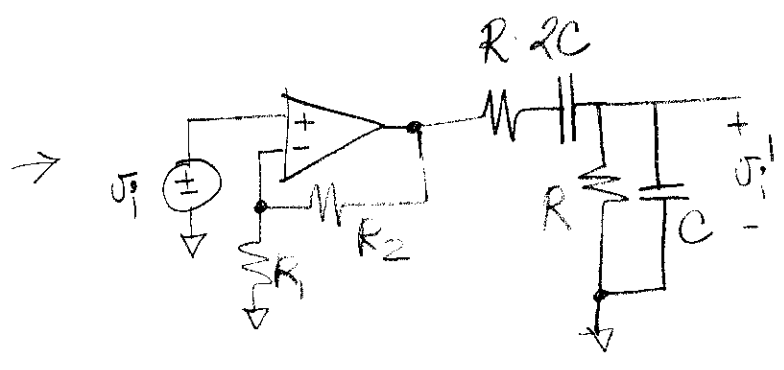
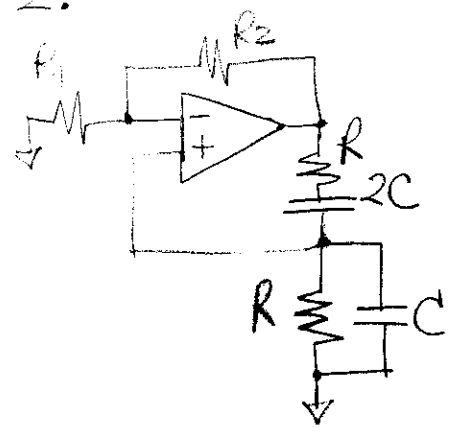
$$\frac{200}{9 \cdot 1200} = \frac{1}{1000} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{10^6} + \frac{1}{1000} \rightarrow R_1 = 60,54\Omega$$

$$R_{iF} = (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in}) / \left[1 + \frac{1}{R_2} (R_S \parallel R_{o\beta} \parallel R_{in}) A_v \frac{R_L \parallel R_{i\beta}}{R_{out} + R_L \parallel R_{i\beta}} \right] = 12,5\Omega$$

\uparrow 90,9 \uparrow 1K

$$R_{oF} = R_{out} \parallel R_{i\beta} / \left[1 + \frac{1}{R_2} (R_S \parallel R_{o\beta} \parallel R_{in}) A_v \frac{R_{i\beta}}{R_{out} + R_{i\beta}} \right] = 16,67\Omega$$

2. Fila A



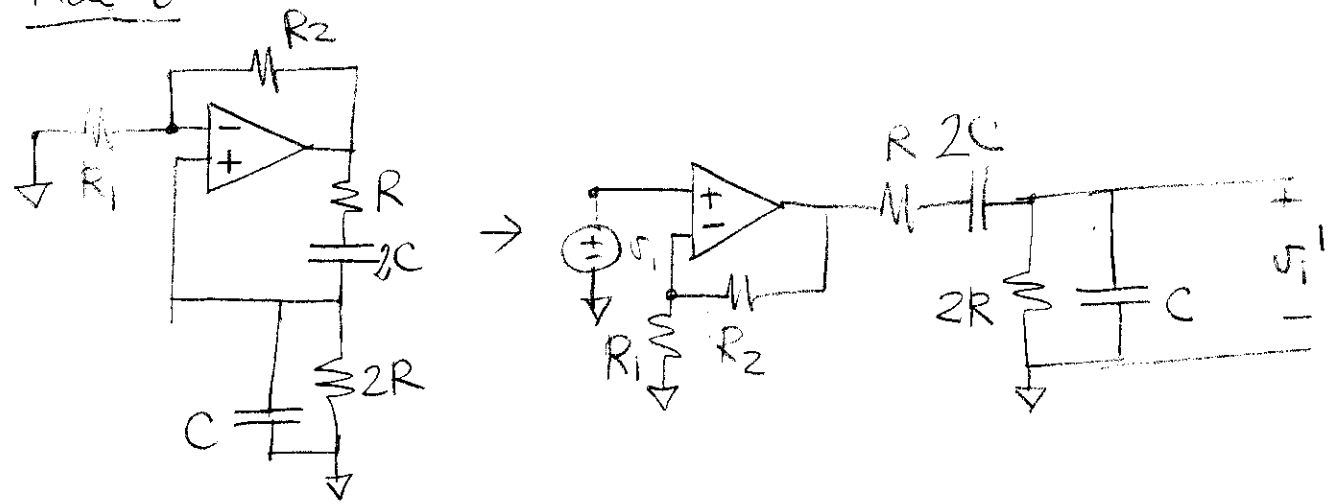
$$\beta A_e = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{\frac{R}{RCs + 1}}{\frac{R}{RCs + 1} + R + \frac{1}{2Cs}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{2RCs}{2RCs + (2RCs + 1)(RCs + 1)}$$

$$= \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{j\omega 2RC}{1 + 5j\omega RC - 2\omega^2 R^2 C^2}$$

$$\angle \beta A_e = 0 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2} RC} \rightarrow 7.07 \text{ Krad/s}$$

$$\beta A(\omega_0) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{2}{5} = \frac{10 + 20}{10} \cdot \frac{2}{5} = 1.2 > 1$$

File B



$$\beta A_e = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{2R \left(\frac{1}{Cs} \right)}{2R + \frac{1}{Cs}} = \frac{2R}{2RCs + 1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{\frac{2R \left(\frac{1}{Cs} \right) + R + \frac{1}{2Cs}}{2R + \frac{1}{Cs}} R_1}$$

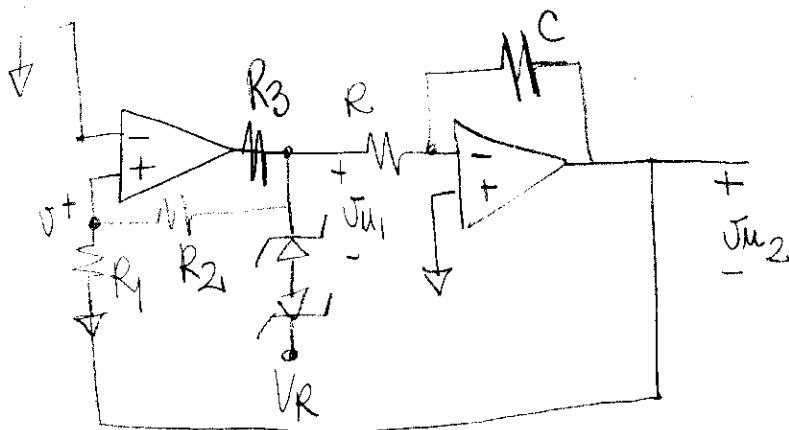
$$\beta A_e = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{4RCs}{4RCs + (3RCs + 1)^2} = \frac{4RCs}{4RC^2s^2 + 8RCs + 1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$f_{TE}(j\omega) = \frac{j\omega 4RC}{- \omega^2 RC^2 + j\omega 8RC + 1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\angle f_{TE}(j\omega_0) = 0 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{2RC} = 5000 \text{ rad/s}$$

$$|f_{TE}(j\omega_0)| = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{25}{20} = \underline{\underline{1.25 > 1}}$$

3. Fila A



$$\begin{aligned} V_R &= 2 \text{ V} \\ V_2 &= 4.7 \text{ V} \\ V_1 &= 0.7 \text{ V} \\ R_1 &= R_2 = 10 \text{ k}\Omega \\ R &= 10 \text{ k}\Omega \\ C &= 47 \text{ nF} \\ RC &= 4.7 \cdot 10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

v_{U1} può assumere 2 valori

$$V_A = V_2 + V_1 + V_R = 7.4 \text{ V}$$

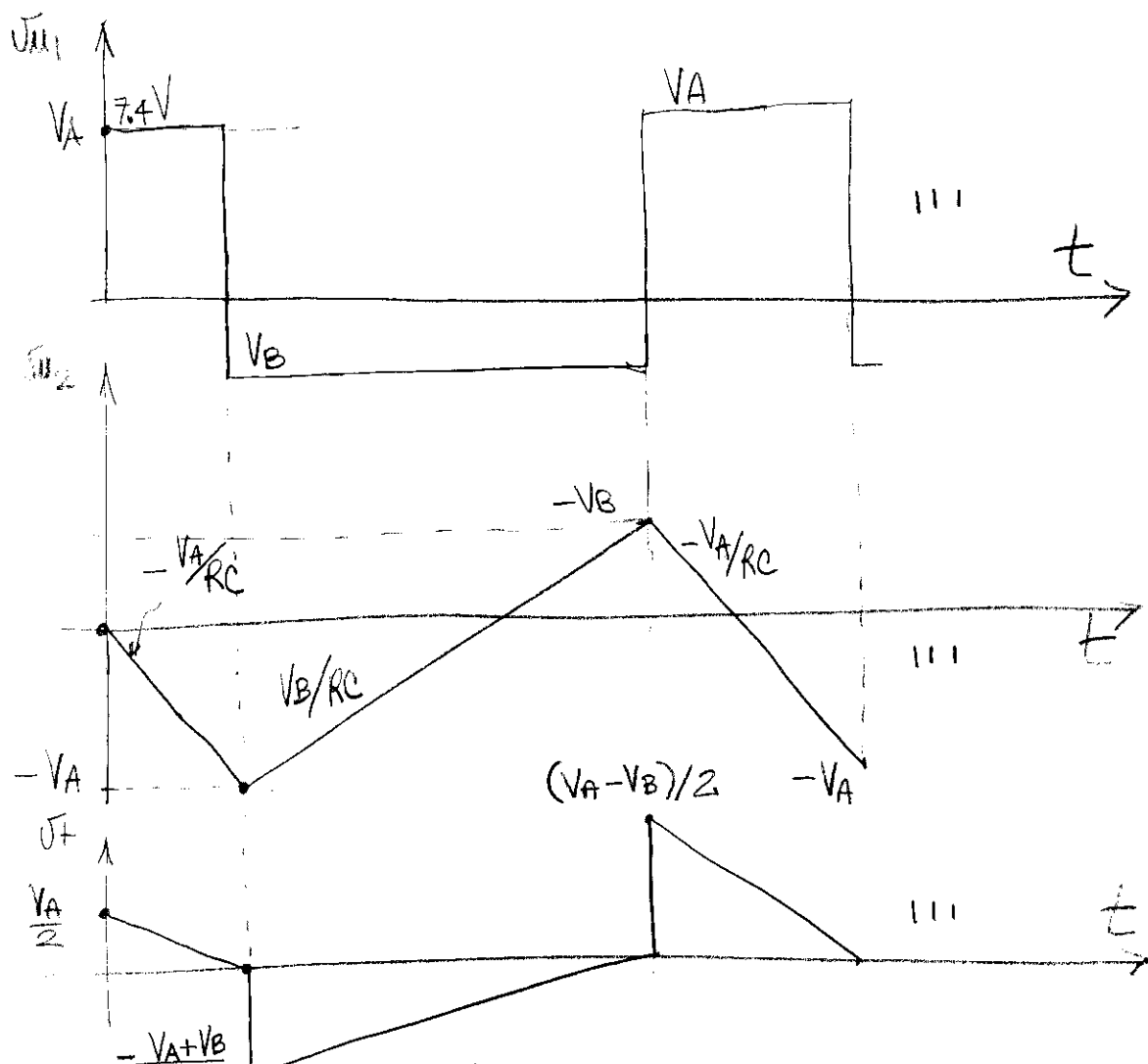
$$V_B = -V_2 - V_1 - V_R = -3.4 \text{ V}$$

$$v^+ = \frac{v_{U1} R_1 + v_{U2} R_2}{R_1 + R_2}$$

Se $v^+ = 0$ abbiamo $\underline{\underline{v_{U2} = -\frac{R_1}{R_2} v_{U1} = -v_{U1}}}$

se $v_{U1} = V_A \rightarrow \frac{dv_{U2}}{dt} = -\frac{V_A}{RC}$

se $v_{U1} = V_B \rightarrow \frac{dv_{U2}}{dt} = -\frac{V_B}{RC}$



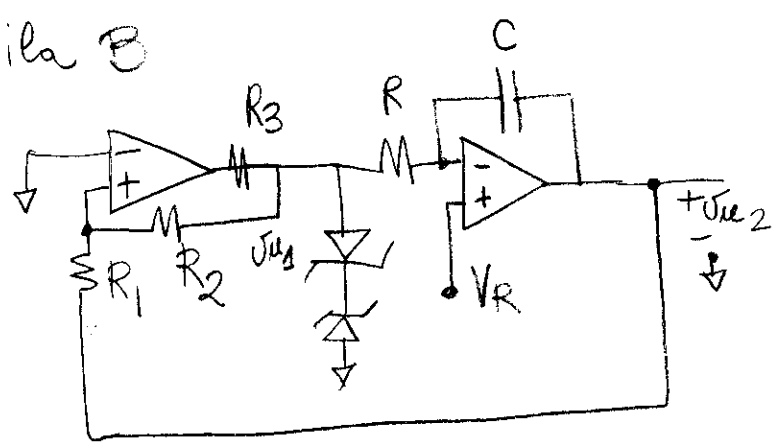
potencial a $t=0$ $u_{M1} = V_A$ $u_{M2} = 0 \Rightarrow u^+ = V_A/2$

$$T_1 = \frac{-V_B + V_A}{|V_A|/RC} = \frac{3.4 + 7.4}{7.4} \cdot 4.7 \cdot 10^{-4} = 0.686 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{V_A - V_B}{|V_B|/RC} = \frac{7.4 + 3.4}{3.4} \cdot 4.7 \cdot 10^{-4} = 1.49 \text{ ms}$$

$$T = T_1 + T_2 = 2.176 \text{ ms} \quad \delta = T_1/T = 0.315$$

Fila B



- $V_2 = 4.7 \text{ V}$
- $V_R = 2 \text{ V}$
- $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ K}\Omega$
- $C = 47 \text{ nF}$
- $RC = 4.7 \cdot 10^{-4} \text{ s}$

Soglie per la commutazione

$$V_T = \frac{V_{u1}R_1 + V_{u2}R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{u1} + V_{u2}}{2}$$

quando $V_T = 0 \rightarrow V_{u2} = -V_{u1}$

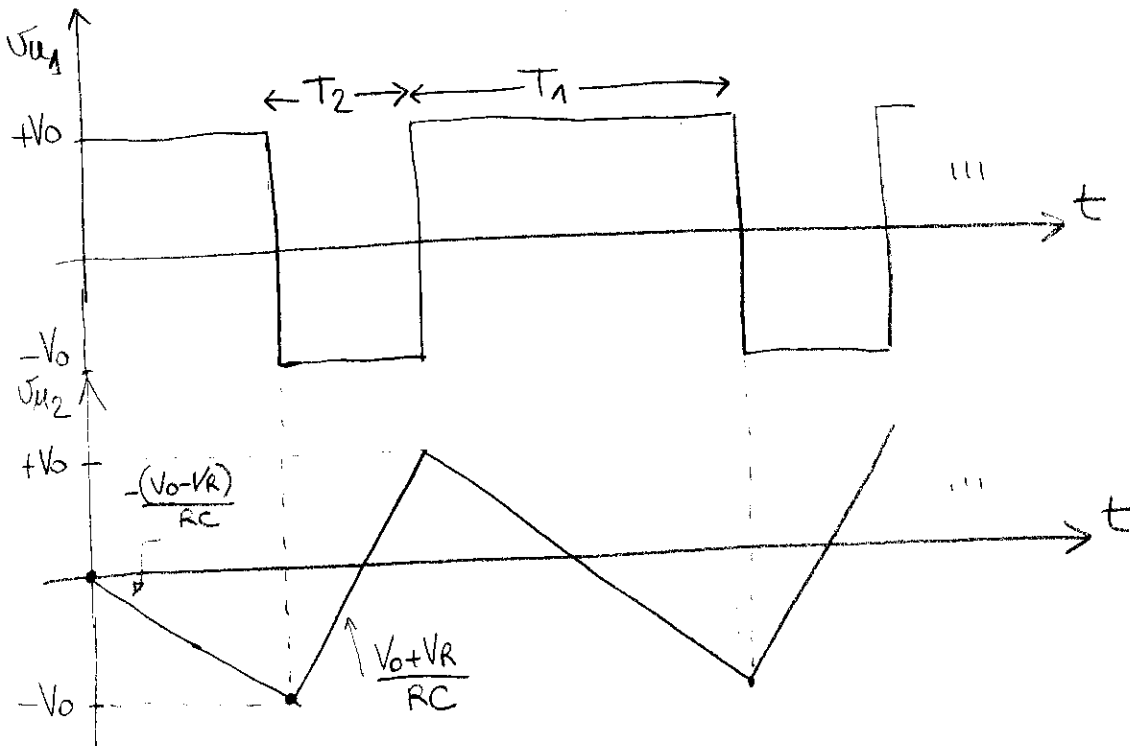
se $V_{u1} = V_0 = V_2 + V_f \rightarrow V_{u2} = -V_0$

se $V_{u1} = -V_0 \rightarrow V_{u2} = +V_0$

se $V_{u1} = +V_0 \rightarrow \frac{dV_{u2}}{dt} = \frac{-(V_{u1} - V_R)}{RC} = \frac{-(V_0 - V_R)}{RC}$

se $V_{u1} = -V_0 \rightarrow \frac{dV_{u2}}{dt} = -\frac{(V_{u1} - V_R)}{RC} = \frac{V_0 + V_R}{RC}$

poniamo a $t=0$
 $V_{u1} = +V_0$
 $V_{u2} = 0$

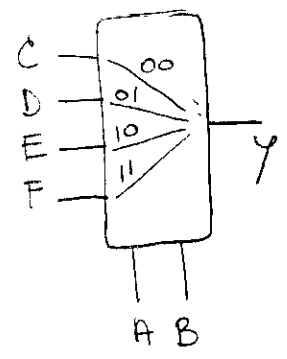


$$T_1 = \frac{2V_0}{V_0 - V_R} RC = \frac{2 \cdot 5,4}{5,4 - 2} \cdot 4,7 \cdot 10^{-4} = 1,49 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{2V_0}{V_0 + V_R} RC = \frac{2 \cdot 5,4}{5,4 + 2} \cdot 4,7 \cdot 10^{-4} = 0,686 \text{ ms}$$

$$T = T_1 + T_2 = 2,176 \text{ ms} \quad \delta = \frac{T_1}{T} = 0,685$$

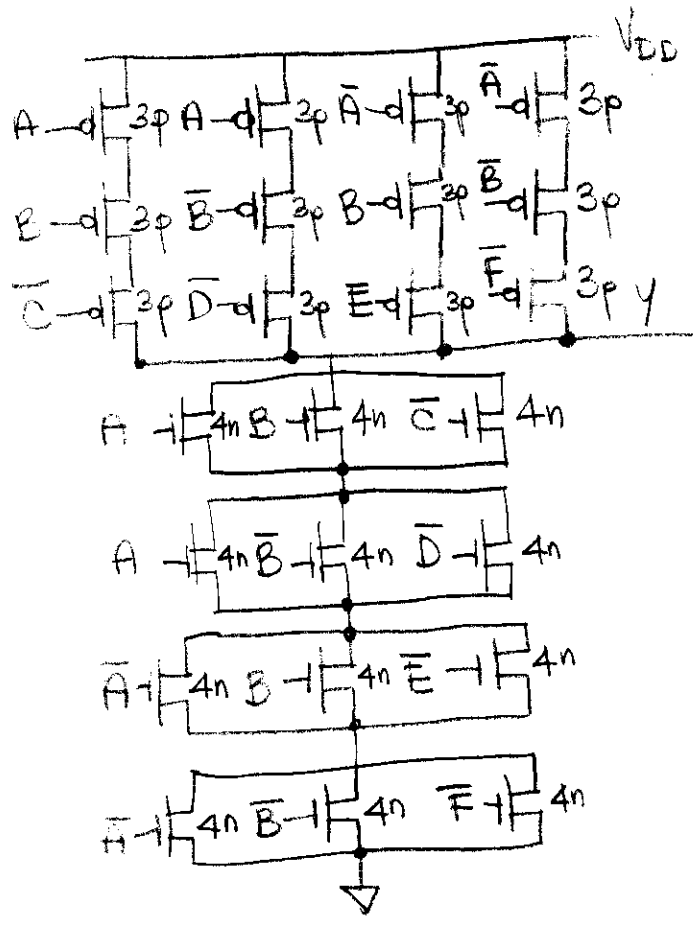
4. Un multiplexer da 4 a 1 è rappresentato dalla seguente rete combinatoria



$$Y = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}BD + A\bar{B}E + ABF$$

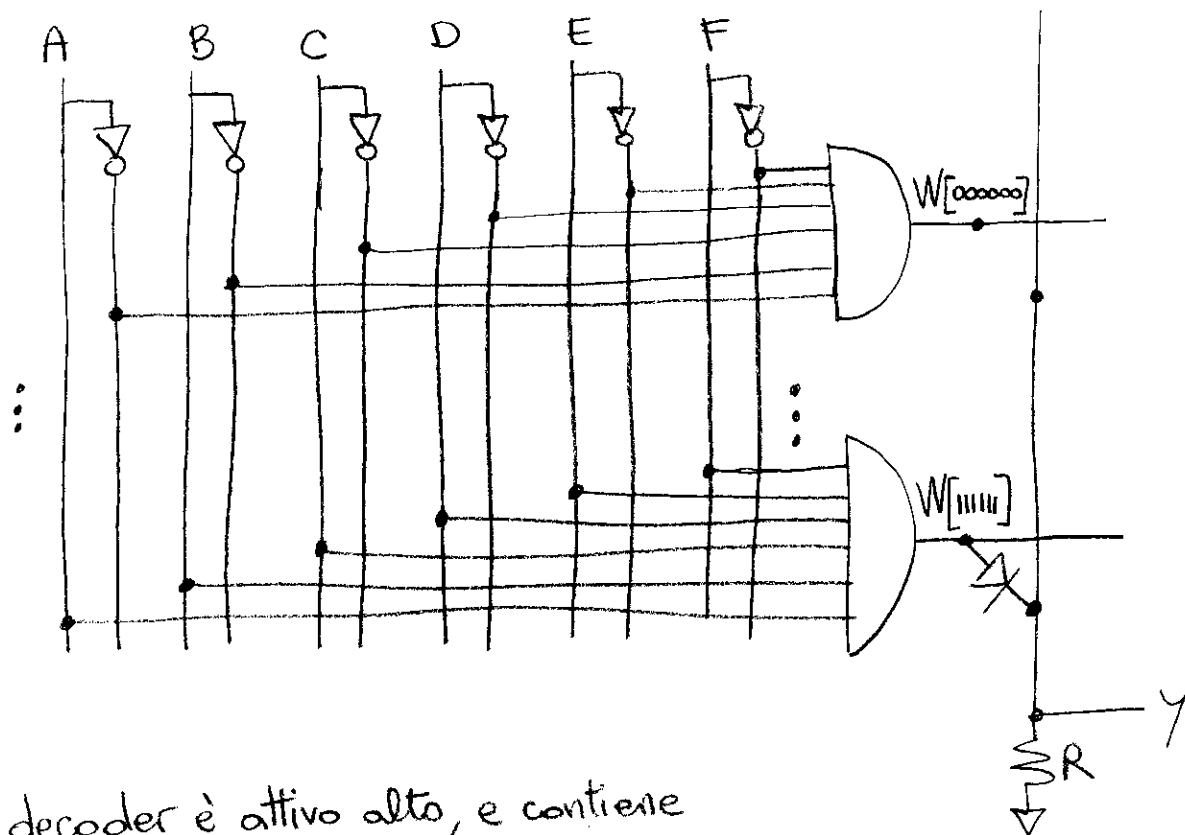
La rete combinatoria può essere implementata con una porta complessa CMOS (Fila A) o con una ROM a diodi (Fila B)

Porta complessa CMOS: disegniamo prima la PUN e poi ricaviamo la PDN



ROM Abbiamo bisogno di una ROM a 6 ingressi (A,B,C,D,E,F) e 1 uscita, [quindi con $2^6 = 64$ word line]

(10)



il decoder è attivo alto, e contiene

6 inverter [per i 6 ingressi] +

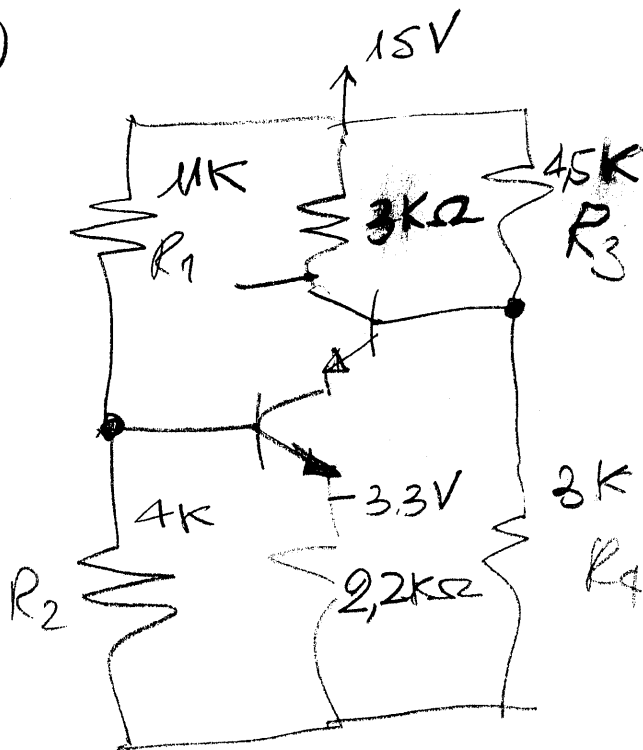
2^6 porte and a 6 ingressi [per le word line]

una porta AND è ottenuta da una porta NAND a 6 ingressi seguita da 1 inverter.

Dobbiamo poi descrivere dove bisogna posizionare i diodi nel piano OR:

- All'uscita di tutte le AND che hanno in ingresso \bar{A} , \bar{B} , C e una qualunque altra configurazione degli altri ingressi [8 word line]
- All'uscita di tutte le AND che hanno in ingresso \bar{A} , B, D e una qualunque altra configurazione degli altri ingressi [8 word line]
- All'uscita di tutte le AND che hanno in ingresso A, \bar{B} , E e una qualunque altra configurazione degli altri ingressi [8 word line]
- All'uscita di tutte le AND che hanno in ingresso A, B, F e una qualunque altra configurazione degli altri ingressi [8 word line]

①



$$I_{R12} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{R34} = \frac{V_{CC}}{R_3 + R_4} = 2 \text{ mA}$$

$$V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4 \text{ V} \rightarrow V_{E1} = V_{B1} - V_{BE} = 3.3 \text{ V}$$

$$I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_E} = 1.5 \text{ mA} \Rightarrow h_{FE} = 150 \Rightarrow I_B = 10 \mu\text{A} \ll I_{R12}$$

$$I_B \ll I_{R34}$$

$$V_{B2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6 \text{ V} \rightarrow V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = 5.3 \text{ V}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_C I_C = 10.5 \text{ V} \Rightarrow V_{CE2} = 4.5 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = 13 \text{ V}$$

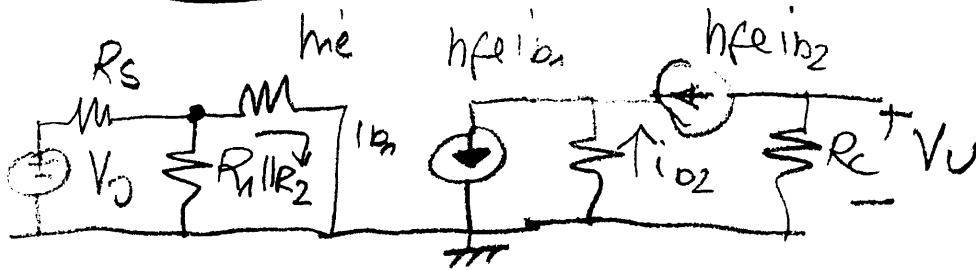
$$\beta_{m1} = 57.8 \text{ mS} = \beta_{m2} = \frac{I_C}{V_{BE}} \quad r_b = 450 \Omega$$

$$h_{ie1} = 450 + \frac{h_{FE}}{\beta_{m1}} = 3471 \Omega = h_{ie2}; \quad r_o = r_{o2} = \frac{V_A}{I_E} = 33 \text{ K}\Omega$$

$$f_{T1} = f_{T2} \approx 120 \text{ MHz}; \quad C_{u1} = 7 \text{ pF}; \quad C_{u2} = 5 \text{ pF} \rightarrow C_{\pi1} = 70 \text{ pF}; \quad C_{\pi2} = 72 \text{ pF}$$

②

A_{CB}



$$i_{b1} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + h_{ie1}} \cdot \frac{V_s}{R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie1} + R_s}$$

$$i_{b2} = \frac{h_{fe1} i_{b1}}{1 + h_{fe2}}$$

$$V_o = \frac{-R_c h_{fe2} h_{fe1} i_{b1}}{1 + h_{fe2}}$$

$$= \frac{-R_c h_{fe2} h_{fe1}}{1 + h_{fe2}} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + h_{ie1}} \cdot \frac{1}{R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie1} + R_s}$$

$$= -148$$

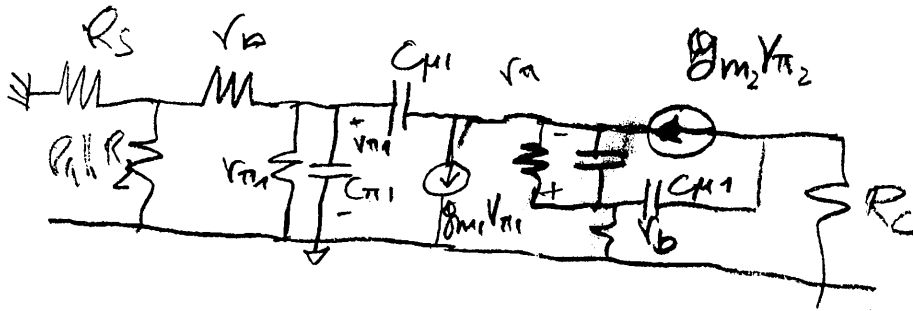
f_L

$$R_{VCS} = R_s + R_2 \parallel R_1 \parallel (h_{ie1}) = 1617 \Omega$$

$$R_{VC4} = R_4 \parallel R_3 = 1800 \Omega$$

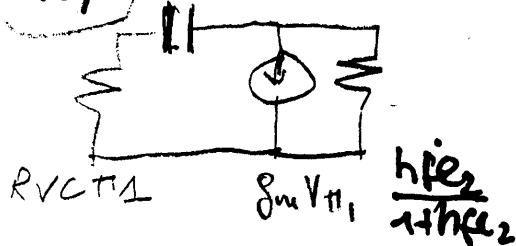
$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{VCS} C_s} + \frac{1}{R_{VC4} C_4} \right] = 5 \text{ Hz}$$

3) f_H



$$R_{VC\pi 1} = r_{\pi 1} \parallel (R_b + R_1 \parallel R_2 \parallel R_S) = 410,3 \Omega$$

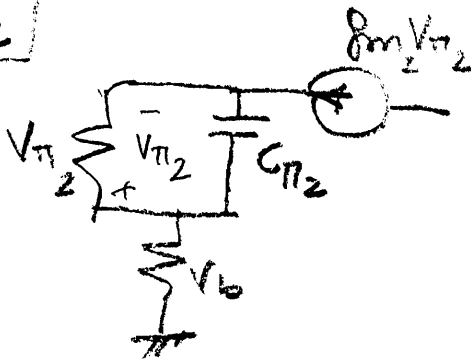
$R_{VC\mu 1}$



$$R_{VC\mu 1} = R_{VC\pi 1} \left(1 + \frac{g_{m1} h_{ie1}}{\beta h_{fe1}} \right) + \frac{h_{ie2}}{\beta h_{fe2}}$$

$$= 898 \Omega$$

$R_{VC\pi 2}$



$$R_{VC\pi 2} = r_{\pi 2} \parallel \frac{1}{g_{m2}} = 17 \Omega$$

$R_{VC\mu 2}$

$$R_{VC\mu 2} = R_c + R_b = 3450 \Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{R_{VC\pi 1} C_{\pi 1} + R_{VC\mu 1} C_{\mu 1} + R_{VC\pi 2} C_{\pi 2} + R_{VC\mu 2} C_{\mu 2}} \right) = 3,02 \text{ MHz}$$