Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
11 giugno 2019

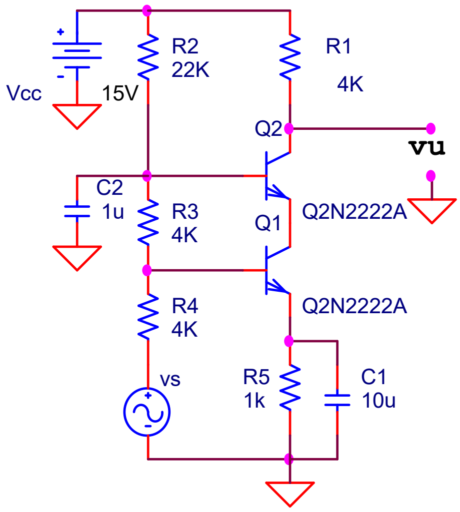
1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av=1000, Rin = 100KΩ, Rout = 100Ω. Si applichi una reazione in modo che la resistenza di uscita sia minore di 10Ω e la resistenza di ingresso maggiore di 2MΩ. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le nuove resistenze di ingresso e uscita.
2. Disegnare lo schema completo (fino al livello delle singole porte logiche) di una ROM 4x1 a diodi con decoder attivo alto che implementi la funzionle logica y=x1 AND x0.
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
- i limiti di banda superiore e inferiore.

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

– hoe = 0 in Q1 e Q2
– Q1 completamente resistivo



Esercizio 1

$A_V = 1000$ $\qquad R_{IF} > 2\,M\Omega$

$R_{out} = 100\,\Omega$ $\qquad R_{OF} < 10\,\Omega$

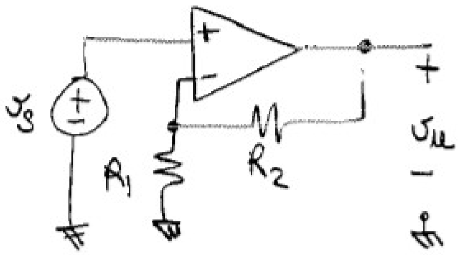
$R_{in} = 100\,K\Omega$

poiché $R_{IF} > R_{in}$ e $R_{OF} < R_{out}$ reazione <u>SP</u>

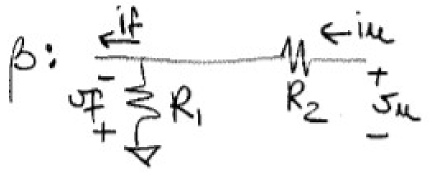
$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1 - \beta A_e)$$

$$R_{OF} = \frac{(R_{out} /\!/ R_{i\beta})}{1 - \beta A_e}$$

non conosciamo il valore di $R_{o\beta}$ e $R_{i\beta}$. La condizione $(1 - \beta A_e) > 20$ soddisfa sia $R_{IF} > 2M\Omega$, sia $R_{OF} < 10\,\Omega$



β:



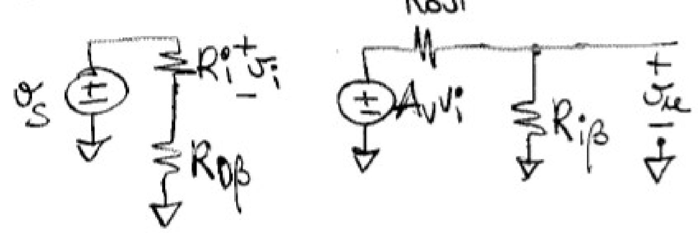
$v_f = \beta v_u + R_{o\beta} i_f$

$i_u = \frac{v_u}{R_{i\beta}} + \cancel{k_1 i_f}$

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

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

A_e:



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_V \frac{R_{i\beta}}{R_{out} + R_{i\beta}}$$

$$(1-\beta A_e) > 20 \rightarrow \beta A_e < -19$$

$$-\beta A_e = \frac{+R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_1}{R_1+R_{o\beta}} A_v \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} > 19$$

($R_{o\beta}$ ← $R_1 /\!/ R_2$)

poniamo $R_1 /\!/ R_2 < 5\,K\Omega$

abbiamo

$$\cdot 10^3 \frac{R_1}{R_1+R_2+R_{out}} > \frac{19 \cdot 105}{100}$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2+100} > \frac{19 \cdot 105}{10^5} = 2 \cdot 10^{-3}$$

scelgo $R_1 = 100\,\Omega$ (così $R_1 /\!/ R_2$ è sicuramente $< 5K\Omega$)

e ottengo $R_1+R_2+100 < \frac{R_1}{2 \cdot 10^{-3}} = 50\,K\Omega$

$$R_2 < 50000 - 100 - 100 = 49.8\,K\Omega$$

scelgo $\underline{R_2 = 49000\,\Omega}$

ottengo $R_{i\beta} = R_1 + R_2 = 49.1\,K\Omega$

$R_{o\beta} = R_1 /\!/ R_2 = 99.8\,\Omega$

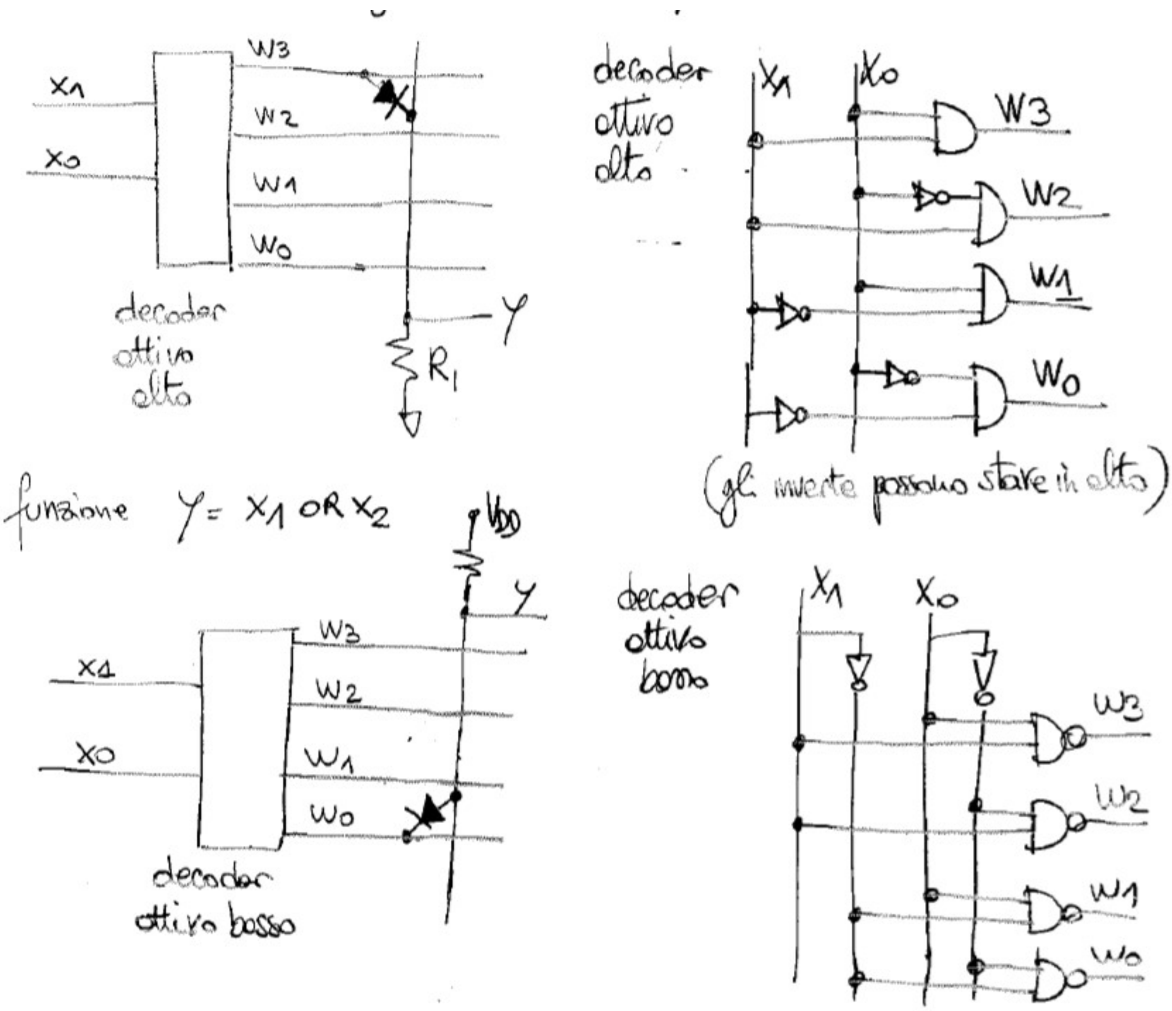
$$1-\beta A_e = 1 + \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_i}{R_i+R_{o\beta}} \cdot A_v \cdot \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} = 1 + \frac{10^2 \cdot 10^5}{10099.8} \cdot \cancel{10^3} \cdot \frac{1}{49.2 \cdot \cancel{10^3}} =$$

$$= \underline{\underline{20.12}}$$

$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) = \underline{2.014\,M\Omega}$

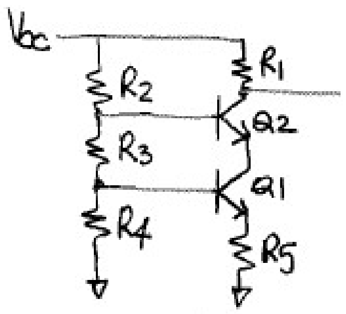
$R_{OF} = \frac{(R_{out} /\!/ R_{i\beta})}{(1-\beta A_e)} = \underline{4.96\,\Omega}$

Esercizio 2


decoder attivo alto
decoder attivo alto
(gli inverte possono stare in alto)
funzione Y = X1 OR X2
decoder attivo basso
decoder attivo basso
Y
R1
VDD
W3
W2
W1
W0

Esercizio 3

Punto di riposo:



ipotesi di partitore pesante per Q_1 e Q_2

$$V_{B1} = \frac{V_{cc} \cdot R_4}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 4}{30} = 2V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE_{ON}} = 1.3V$$

$$I_{E1} = V_{E1}/R_5 = 1.3mA \sim I_{C1} = I_{E2} \sim I_{C2}$$

$$h_{FE_1} = h_{FE_2} \cong 150$$

$$I_{B2} = I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE_1}} = \frac{1.3}{150} \cdot 10^{-3} = 9\mu A \ll \frac{V_{cc}}{R_2+R_3+R_4} = 0{,}5\,mA$$

partitore pesante verificato

$$V_{B2} = \frac{V_{cc}(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 8}{30} = 4V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE_{ON}} = 3.3V = V_{C1}$$

$$V_{CE_1} = V_{C1} - V_{E1} = 3{,}3 - 1{,}3 = \underline{2V}$$

$$V_{C2} = V_{cc} - R_1 I_{C2} = 15 - 4 \cdot 1{,}3 = 9.8V$$

$$V_{CE_2} = V_{C2} - V_{E2} = 9{,}8 - 3{,}3 = \underline{6{,}5V}$$

$$h_{fe_1} = h_{fe_2} \simeq 175 \quad (h_{fe} @ 1mA)$$

$$g_{m_1} = g_{m_2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0{,}05\,\Omega^{-1}$$

$$r_{\pi_1} = r_{\pi_2} = \frac{h_{fe_1}}{g_{m_1}} = \frac{175}{0{,}05} = 3500\Omega$$

r_b si può ricavare dal punto di lavoro con $I_C = 1mA$ dalle caratteristiche

$$r_b = 450\Omega$$

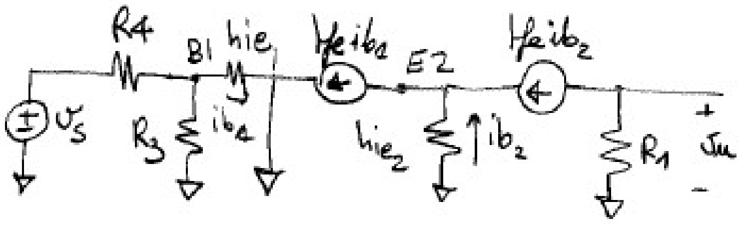
$$h_{ie_1} = h_{ie_2} = \underline{3950\Omega}$$

$f_T = 120\,MHz$

$C_\mu = 4.3\,pF$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\mu + C_\pi)} \rightarrow C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 62\,pF$$

Amplificazione a centro banda



$$i_{b2}(h_{fe}+1) = i_{b1} h_{fe} \rightarrow i_{b2} = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{v_S R_3}{R_3+R_4} \cdot \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}}$$

$$v_u = -h_{fe} R_1 i_{b2}$$

$$A_{V_{CB}} = \frac{v_u}{v_S} = -h_{fe} R_1 \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_3}{R_3+R_4} \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}} =$$

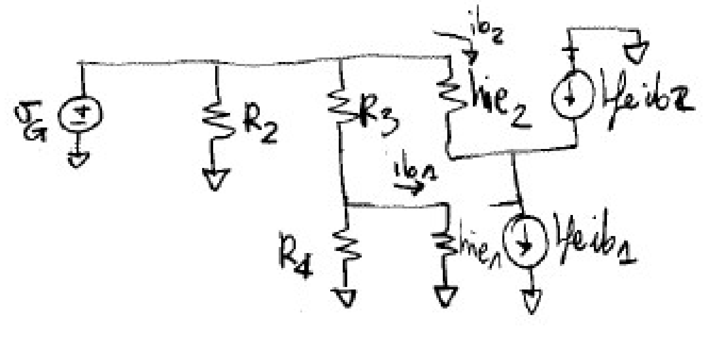
$$= -175 \cdot 4000 \cdot \frac{175}{176} \; \frac{4}{8} \; \frac{1}{2000+3950} = \underline{\underline{-58.5}}$$

limite inferiore di banda

$R_{V_{C_1}}$:

$$R_{V_{C_1}} = R_5 /\!/ \left[\frac{h_{ie} + R_3 /\!/ R_4}{h_{fe}+1}\right] = 32.7\,\Omega$$

$R_{V_{C_2}}$



$$i_{b_1} = \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} \cdot \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}}$$

$$i_{b_2} = \frac{h_{fe}\, i_{b1}}{h_{fe} + 1}$$

$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} + i_{b_2} =$$

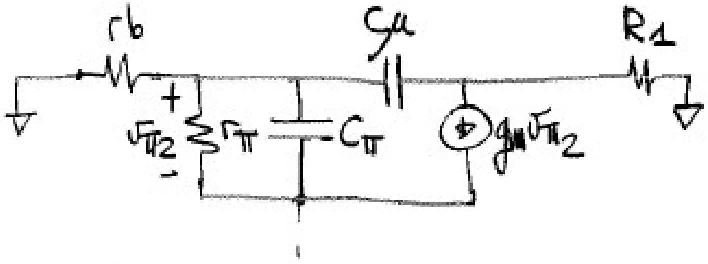
$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \, \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}} \cdot \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}}$$

$$R_{vC_2} = R_2 // \left[\frac{R_3 + R_4 // h_{ie1}}{1 + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \, \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}}} \right] = \underline{3372\ \Omega}$$

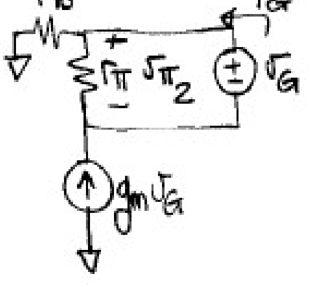
$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{vC_2} C_2} + \frac{1}{R_{vC_1} C_1} \right] = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{3372 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{32{,}7 \cdot 10^{-5}} \right] = 534\ Hz$$

---

limite superiore di banda



R_{vC_π}:

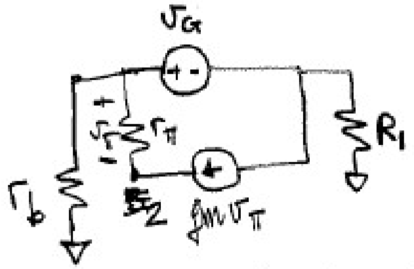


usando la sovrapposizione degli effetti

$$i_G = \frac{v_G}{r_\pi} + g_m v_G$$

$$R_{vC_\pi} = \frac{v_G}{i_G} = \frac{r_\pi}{1 + g_m r_\pi} = \frac{r_\pi}{1 + h_{fe}} = 19{,}88\ \Omega$$

$R_{V C_\mu}$



bilancio delle correnti al nodo E_2 $\frac{v_\pi}{r_\pi} + g_m v_\pi = 0 \rightarrow v_\pi = 0$

$R_{V C_\mu} = r_b + R_1 = 4450\,\Omega$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_{V C_\mu} C_\mu + R_{V C_\pi} C_\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{19{,}88 \cdot 62 \cdot 10^{-12} + 4450 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-12}} =$$

$= \underline{7.82\ \text{MHz}}$

Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
11 giugno 2019

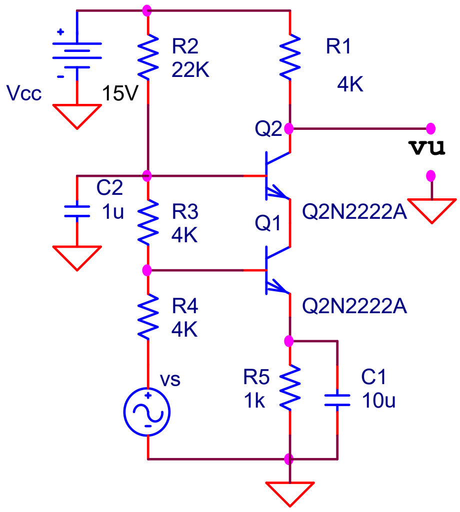
1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av=1000, Rin = 100KΩ, Rout = 100Ω. Si applichi una reazione in modo che la resistenza di uscita sia minore di 10Ω e la resistenza di ingresso maggiore di 2MΩ. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le nuove resistenze di ingresso e uscita.
2. Disegnare lo schema completo (fino al livello delle singole porte logiche) di una ROM 4x1 a diodi con decoder attivo alto che implementi la funzionle logica y=x1 AND x0.
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
- i limiti di banda superiore e inferiore.

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

– hoe = 0 in Q1 e Q2
– Q1 completamente resistivo



Esercizio 1

$A_V = 1000$ $\qquad$ $R_{IF} > 2M\Omega$

$R_{out} = 100\Omega$ $\qquad$ $R_{OF} < 10\Omega$

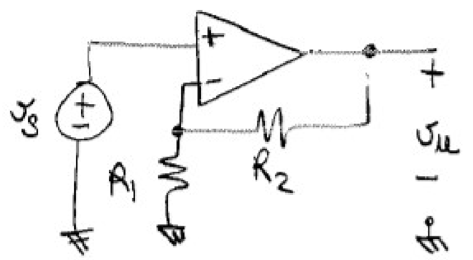
$R_{in} = 100k\Omega$

poiché $R_{IF} > R_{in}$ e $R_{OF} < R_{out}$ reazione <u>SP</u>

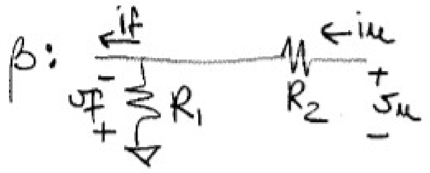
$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1-\beta A_e)$$

$$R_{OF} = \frac{(R_{out} // R_{i\beta})}{1-\beta A_e}$$

non conosciamo il valore di $R_{o\beta}$ e $R_{i\beta}$. La condizione $(1-\beta A_e) > 20$ soddisfa sia $R_{IF} > 2M\Omega$, sia $R_{OF} < 10\Omega$



β:



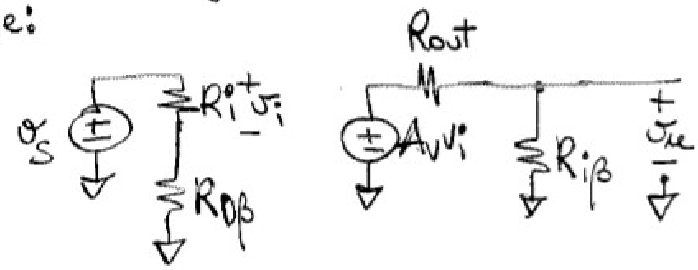
$$v_f = \beta v_u + R_{o\beta} i_f$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_{i\beta}} + ~~k_1 i_f~~$$

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

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

A_e:



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_V \frac{R_{i\beta}}{R_{out} + R_{i\beta}}$$

$$(1-\beta A_e) > 20 \rightarrow \beta A_e < -19$$

$$-\beta A_e = \frac{+R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_v \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} > 19$$

($R_{o\beta}$ ← $R_1 /\!/ R_2$)

poniamo $R_1 /\!/ R_2 < 5 K\Omega$

abbiamo

$$\cdot 10^3 \frac{R_1}{R_1+R_2+R_{out}} > \frac{19 \cdot 105}{100}$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2+100} > \frac{19 \cdot 105}{10^5} = 2 \cdot 10^{-3}$$

scelgo $R_1 = 100\,\Omega$ (così $R_1 /\!/ R_2$ è sicuramente $< 5 K\Omega$)

e ottengo $R_1+R_2+100 < \frac{R_1}{2 \cdot 10^{-3}} = 50 K\Omega$

$$R_2 < 50000 - 100 - 100 = 49.8 K\Omega$$

scelgo $\underline{R_2 = 49000\,\Omega}$

ottengo $R_{i\beta} = R_1 + R_2 = 49.1 K\Omega$

$R_{o\beta} = R_1 /\!/ R_2 = 99.8\,\Omega$

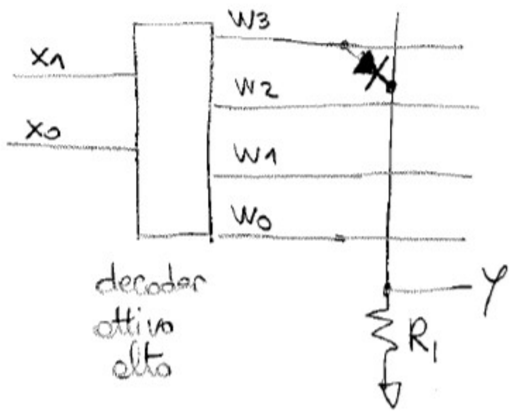
$$1-\beta A_e = 1 + \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} \cdot A_v \cdot \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} = 1 + \frac{10^2 \cdot 10^5}{10099.8} \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{49.2 \cdot 10^3} =$$

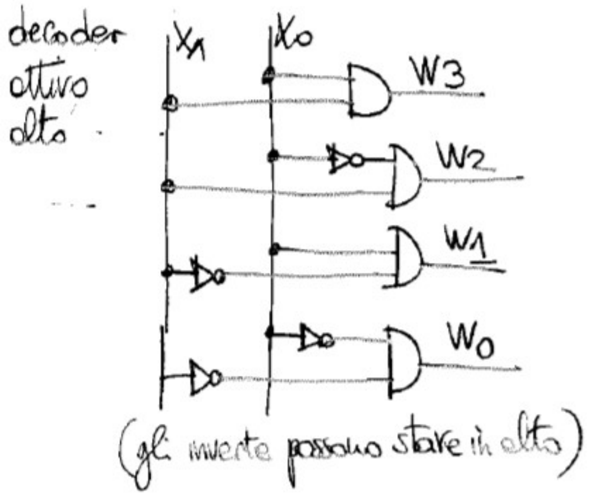
$$= \underline{\underline{20.12}}$$

$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) = \underline{2.014\,M\Omega}$

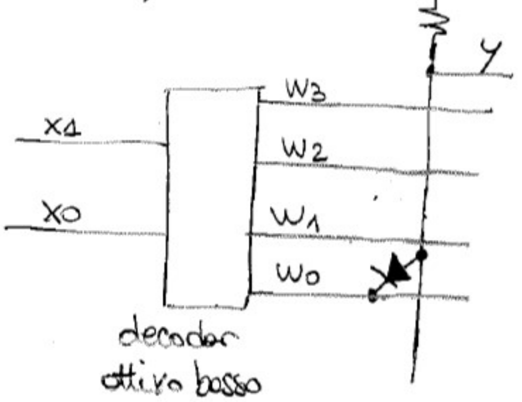
$R_{OF} = \frac{(R_{out} /\!/ R_{i\beta})}{(1-\beta A_e)} = \underline{4.96\,\Omega}$

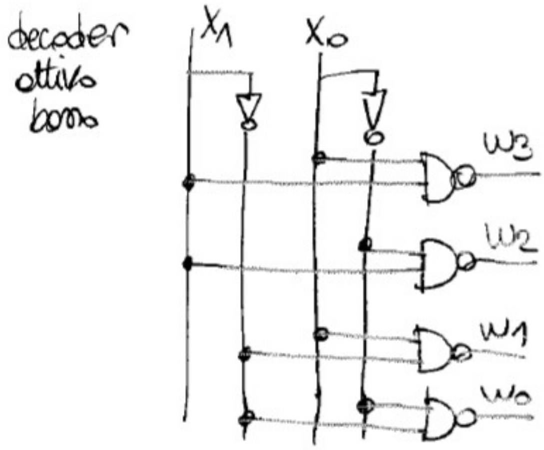
Esercizio 2





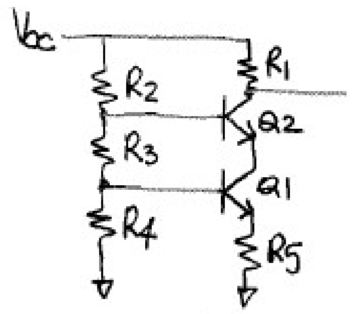
funzione $Y = X_1$ OR X_2





Esercizio 3

Punto di riposo:



ipotesi di partitore pesante per Q_1 e Q_2

$$V_{B1} = \frac{V_{cc} \cdot R_4}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 4}{30} = 2V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE_{ON}} = 1.3V$$

$$I_{E1} = V_{E1}/R_5 = 1.3mA \sim I_{C1} = I_{E2} \sim I_{C2}$$

$$h_{FE_1} = h_{FE_2} \cong 150$$

$$I_{B2} = I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} = \frac{1.3}{150} \cdot 10^{-3} = 9\mu A \ll \frac{V_{cc}}{R_2+R_3+R_4} = 0,5\,mA$$

partitore pesante verificato

$$V_{B2} = \frac{V_{cc}(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 8}{30} = 4V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE_{ON}} = 3.3V = V_{C1}$$

$$V_{CE_1} = V_{C1} - V_{E1} = 3,3 - 1,3 = \underline{\underline{2V}}$$

$$V_{C2} = V_{cc} - R_1 I_{C2} = 15 - 4 \cdot 1,3 = 9.8V$$

$$V_{CE_2} = V_{C2} - V_{E2} = 9,8 - 3,3 = \underline{\underline{6,5V}}$$

$$h_{fe1} = h_{fe2} \simeq 175 \quad (h_{fe} @ 1mA)$$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0,05\,\Omega^{-1}$$

$$r_{\pi1} = r_{\pi2} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} = \frac{175}{0,05} = 3500\Omega$$

r_b si può ricavare dal punto di lavoro con $I_C = 1mA$ dalle caratteristiche

$$r_b = 450\Omega$$

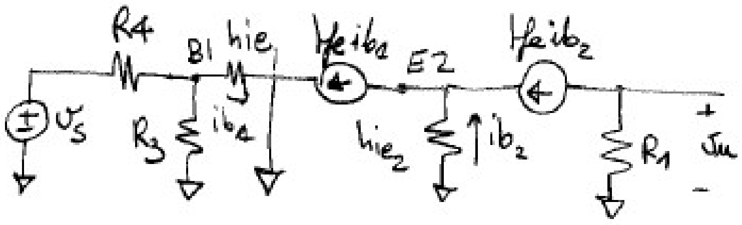
$$h_{ie1} = h_{ie2} = \underline{\underline{3950\Omega}}$$

$f_T = 120\,MHz$

$C_\mu = 4.3\,pF$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\mu + C_\pi)} \rightarrow C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 62\,pF$$

Amplificazione a centro banda



$$i_{b2}(h_{fe}+1) = i_{b1} h_{fe} \rightarrow i_{b2} = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{v_S R_3}{R_3 + R_4} \cdot \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}}$$

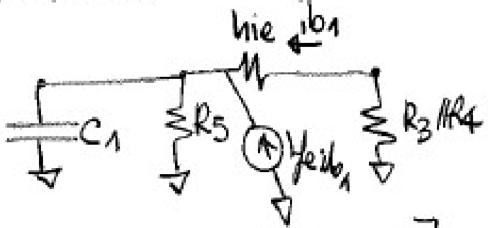
$$v_u = -h_{fe} R_1 i_{b2}$$

$$A_{VCB} = \frac{v_u}{v_S} = -h_{fe} R_1 \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_3}{R_3+R_4} \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}} =$$

$$= -175 \cdot 4000 \cdot \frac{175}{176} \cdot \frac{4}{8} \cdot \frac{1}{2000+3950} = -58.5$$

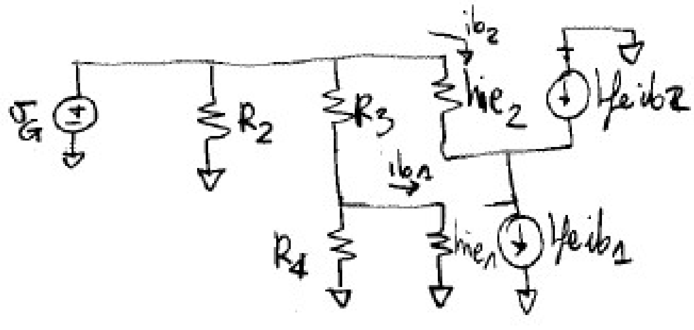
limite inferiore di banda

R_{VC_1}:



$$R_{VC_1} = R_5 /\!/ \left[\frac{h_{ie} + R_3 /\!/ R_4}{h_{fe}+1}\right] = 32.7\,\Omega$$

R_{VC_2}



$$i_{b_1} = \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} \cdot \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}}$$

$$i_{b_2} = \frac{h_{fe}\, i_{b1}}{h_{fe} + 1}$$

$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} + i_{b_2} =$$

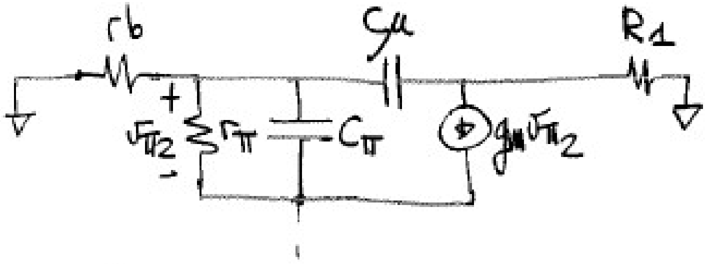
$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}} \cdot \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}}$$

$$R_{V_{C_2}} = R_2 // \left[\frac{R_3 + R_4 // h_{ie1}}{1 + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}}} \right] = \underline{3372\ \Omega}$$

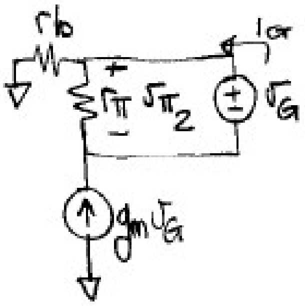
$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{V_{C_2}} C_2} + \frac{1}{R_{V_{C_1}} C_1} \right] = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{3372 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{32{,}7 \cdot 10^{-5}} \right] = 534\ Hz$$

---

limite superiore di banda



$R_{V_{C_\pi}}$:

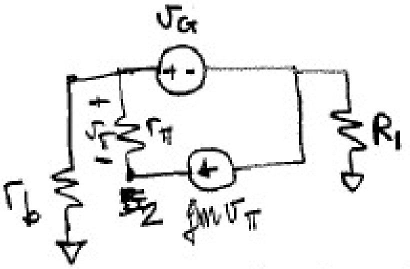


usando la sovrapposizione degli effetti

$$i_G = \frac{v_G}{r_\pi} + g_m v_G$$

$$R_{V_{C_\pi}} = \frac{v_G}{i_G} = \frac{r_\pi}{1 + g_m r_\pi} = \frac{r_\pi}{1 + h_{fe}} = 19{,}88\ \Omega$$

$R_{V C\mu}$



bilancio delle correnti al nodo E_2 $\frac{v_\pi}{r_\pi} + g_m v_\pi = 0 \rightarrow v_\pi = 0$

$$R_{V C\mu} = r_b + R_1 = 4450\,\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_{V C\mu} C_\mu + R_{V C\pi} C_\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{19{,}88 \cdot 62 \cdot 10^{-12} + 4450 \cdot 4.3 \cdot 10^{-12}} =$$

$$= \underline{7.82 \text{ MHz}}$$

Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
11 giugno 2019

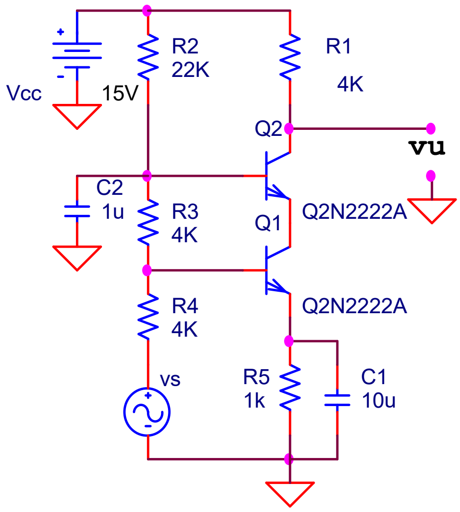
1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av=1000, Rin = 100KΩ, Rout = 100Ω. Si applichi una reazione in modo che la resistenza di uscita sia minore di 10Ω e la resistenza di ingresso maggiore di 2MΩ. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le nuove resistenze di ingresso e uscita.
2. Disegnare lo schema completo (fino al livello delle singole porte logiche) di una ROM 4x1 a diodi con decoder attivo alto che implementi la funzionle logica y=x1 AND x0.
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
- i limiti di banda superiore e inferiore.

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

– hoe = 0 in Q1 e Q2
– Q1 completamente resistivo



Esercizio 1

$A_V = 1000$ $\qquad R_{IF} > 2\,M\Omega$

$R_{out} = 100\,\Omega$ $\qquad R_{OF} < 10\,\Omega$

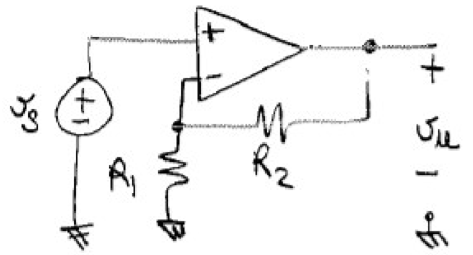
$R_{in} = 100\,K\Omega$

poiché $R_{IF} > R_{in}$ e $R_{OF} < R_{out}$ reazione <u>SP</u>

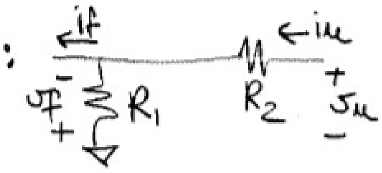
$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1 - \beta A_e)$$

$$R_{OF} = \frac{(R_{out} \,//\, R_{i\beta})}{1 - \beta A_e}$$

non conosciamo il valore di $R_{o\beta}$ e $R_{i\beta}$. La condizione $(1 - \beta A_e) > 20$ soddisfa sia $R_{IF} > 2M\Omega$, sia $R_{OF} < 10\,\Omega$



β:



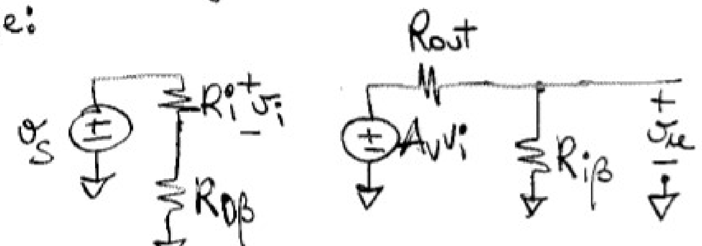
$$v_f = \beta v_u + R_{o\beta}\, i_f$$

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

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

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

A_e:



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}}\, A_V\, \frac{R_{i\beta}}{R_{out} + R_{i\beta}}$$

$$(1-\beta A_e) > 20 \rightarrow \beta A_e < -19$$

$$-\beta A_e = \frac{+R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{Ri}{Ri + R_{o\beta}} A_V \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} > 19$$

($R_{o\beta}$ ← $R_1 /\!/ R_2$)

poniamo $R_1 /\!/ R_2 < 5 K\Omega$

abbiamo

$$\cdot 10^3 \frac{R_1}{R_1+R_2+R_{out}} > \frac{19 \cdot 105}{100}$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2+100} > \frac{19 \cdot 105}{10^5} = 2 \cdot 10^{-3}$$

scelgo $R_1 = 100\,\Omega$ (così $R_1 /\!/ R_2$ è sicuramente $< 5K\Omega$)

e ottengo $R_1+R_2+100 < \frac{R_1}{2 \cdot 10^{-3}} = 50 K\Omega$

$$R_2 < 50000 - 100 - 100 = 49.8\,K\Omega$$

scelgo $\underline{R_2 = 49000\,\Omega}$

ottengo $R_{i\beta} = R_1 + R_2 = 49.1\,K\Omega$

$R_{o\beta} = R_1 /\!/ R_2 = 99.8\,\Omega$

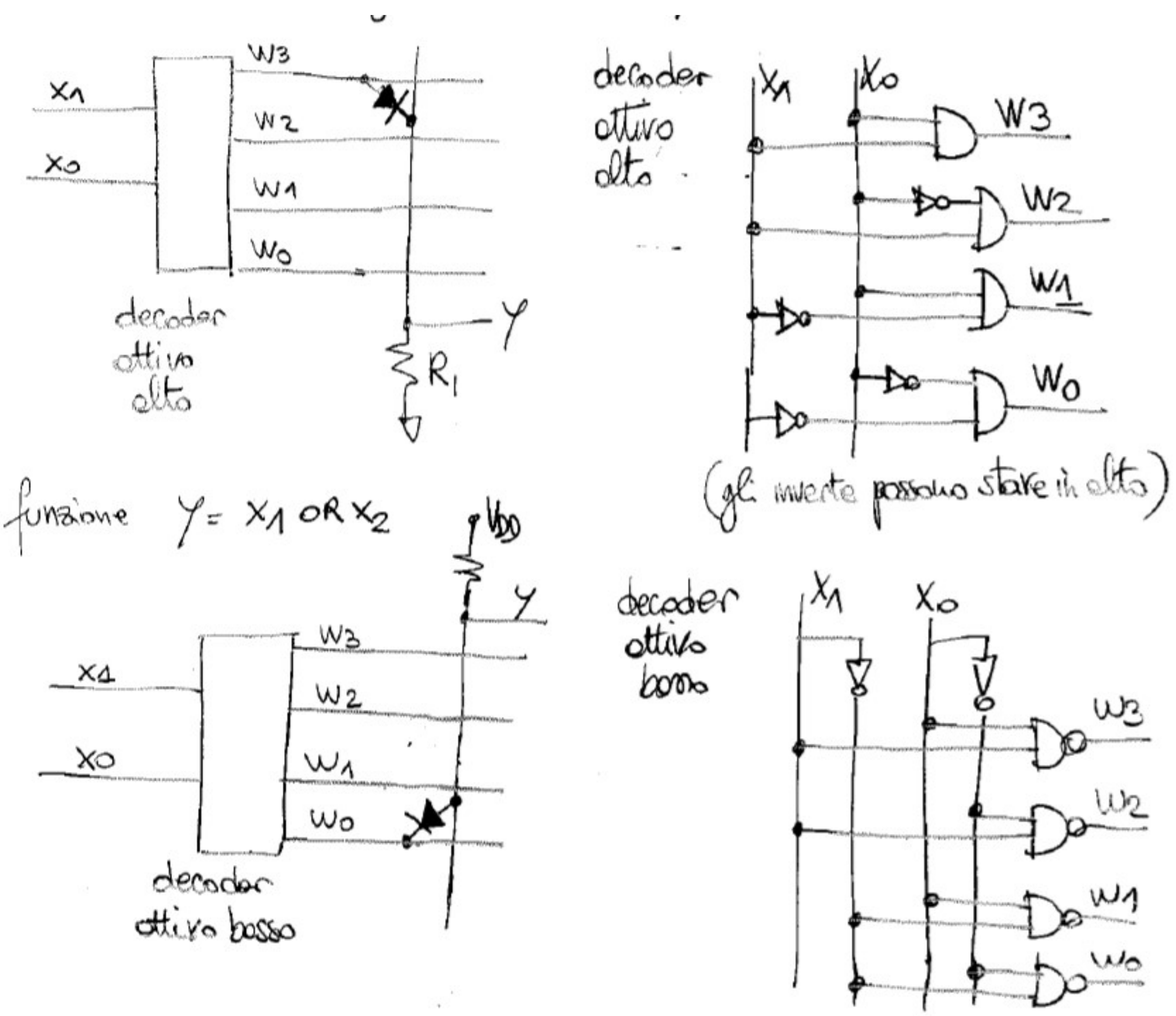
$$1-\beta A_e = 1 + \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} \cdot A_V \cdot \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} = 1 + \frac{10^2 \cdot 10^5}{10099.8} \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{49.2 \cdot 10^3} =$$

$$= \underline{\underline{20.12}}$$

$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) = \underline{2.014\,M\Omega}$

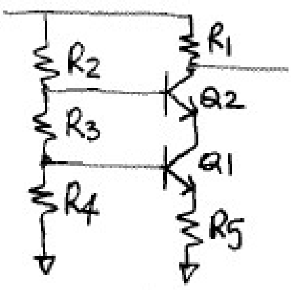
$R_{OF} = \frac{(R_{out} /\!/ R_{i\beta})}{(1-\beta A_e)} = \underline{4.96\,\Omega}$

Esercizio 2


decoder
attivo
alto
x1
x0
W3
W2
W1
W0
Y
R1
funzione Y = X1 OR X2
(gli inverter possono stare in alto)
VDD
decoder
attivo basso
X1
X0

Esercizio 3

Punto di riposo:



ipotesi di partitore pesante per Q_1 e Q_2

$$V_{B1} = \frac{V_{CC} \cdot R_4}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 4}{30} = 2V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE_{ON}} = 1{,}3V$$

$$I_{E1} = V_{E1}/R_5 = 1{,}3mA \sim I_{C1} = I_{E2} \sim I_{C2}$$

$$h_{FE_1} = h_{FE_2} \cong 150$$

$$I_{B2} = I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE_1}} = \frac{1{,}3}{150} \cdot 10^{-3} = 9\mu A \ll \frac{V_{CC}}{R_2+R_3+R_4} = 0{,}5\,mA$$

partitore pesante verificato

$$V_{B2} = \frac{V_{CC}(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 8}{30} = 4V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE_{ON}} = 3{,}3V = V_{C1}$$

$$V_{CE_1} = V_{C1} - V_{E1} = 3{,}3 - 1{,}3 = \underline{\underline{2V}}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_1 I_{C2} = 15 - 4 \cdot 1{,}3 = 9{,}8\,V$$

$$V_{CE_2} = V_{C2} - V_{E2} = 9{,}8 - 3{,}3 = \underline{\underline{6{,}5\,V}}$$

$$h_{fe_1} = h_{fe_2} \simeq 175 \quad (h_{fe} @ 1mA)$$

$$g_{m_1} = g_{m_2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0{,}05\,\Omega^{-1}$$

$$r_{\pi_1} = r_{\pi_2} = \frac{h_{fe_1}}{g_{m_1}} = \frac{175}{0{,}05} = 3500\Omega$$

r_b si può ricavare dal punto di lavoro con $I_C = 1mA$ dalle caratteristiche

$$r_b = 450\Omega$$

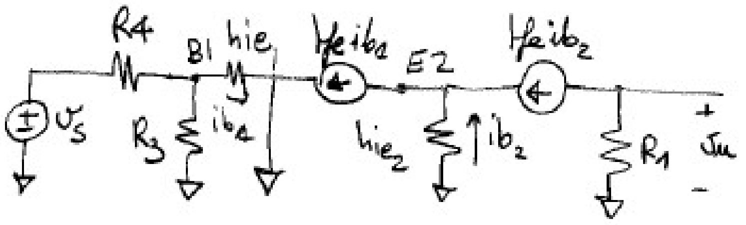
$$h_{ie_1} = h_{ie_2} = \underline{3950\Omega}$$

$f_T = 120\,MHz$

$C_\mu = 4.3\,pF$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\mu + C_\pi)} \rightarrow C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 62\,pF$$

Amplificazione a centro banda



$$ib_2(h_{fe}+1) = ib_1 h_{fe} \rightarrow ib_2 = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} ib_1$$

$$ib_1 = \frac{v_S R_3}{R_3 + R_4} \cdot \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}}$$

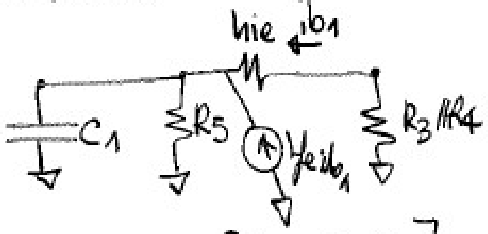
$$v_u = -h_{fe} R_1 ib_2$$

$$A_{V_{CB}} = \frac{v_u}{v_S} = -h_{fe} R_1 \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_3}{R_3 + R_4} \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}} =$$

$$= -175 \cdot 4000 \cdot \frac{175}{176} \; \frac{4}{8} \; \frac{1}{2000 + 3950} = \underline{\underline{-58.5}}$$

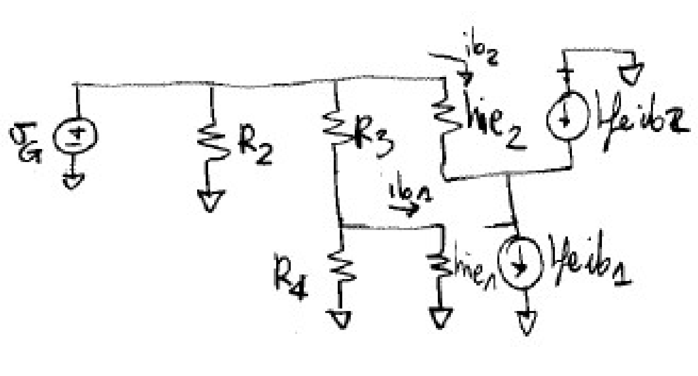
limite inferiore di banda

$R_{V_{C_1}}$:



$$R_{V_{C_1}} = R_5 /\!/ \left[\frac{h_{ie} + R_3 /\!/ R_4}{h_{fe}+1}\right] = 32.7\,\Omega$$

$R_{V_{C_2}}$



$$i_{b_1} = \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie_1}} \cdot \frac{R_4}{R_4 + h_{ie_1}}$$

$$i_{b_2} = \frac{h_{fe}\, i_{b_1}}{h_{fe} + 1}$$

$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie_1}} + i_{b_2} =$$

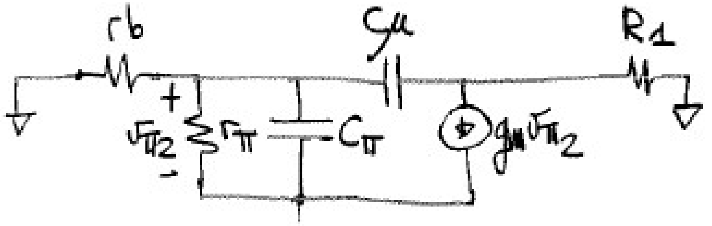
$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie_1}} + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_4}{R_4 + h_{ie_1}} \cdot \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie_1}}$$

$$R_{V_{C_2}} = R_2 // \left[\frac{R_3 + R_4 // h_{ie_1}}{1 + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_4}{R_4 + h_{ie_1}}} \right] = \underline{3372\,\Omega}$$

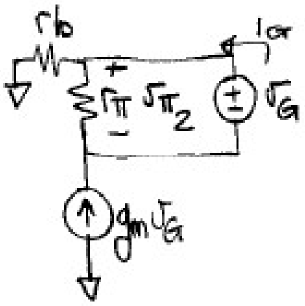
$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{V_{C_2}} C_2} + \frac{1}{R_{V_{C_1}} C_1}\right] = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{3372 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{32{,}7 \cdot 10^{-5}}\right] = 534\ Hz$$

---

limite superiore di banda



$R_{V_{C_\pi}}$:

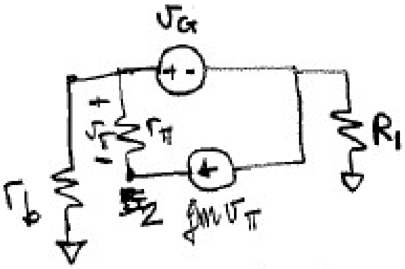


usando la sovrapposizione degli effetti

$$i_G = \frac{v_G}{r_\pi} + g_m v_G$$

$$R_{V_{C_\pi}} = \frac{v_G}{i_G} = \frac{r_\pi}{1 + g_m r_\pi} = \frac{r_\pi}{1 + h_{fe}} = 19{,}88\,\Omega$$

$R_{V C_\mu}$



bilancio delle correnti al nodo E_2 $\quad \frac{v_\pi}{r_\pi} + g_m v_\pi = 0 \rightarrow v_\pi = 0$

$$R_{V C_\mu} = r_b + R_1 = 4450\,\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_{V C_\mu} C_\mu + R_{V C_\pi} C_\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{19{,}88 \cdot 62 \cdot 10^{-12} + 4450 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-12}} =$$

$$= \underline{7.82\ \text{MHz}}$$

Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
11 giugno 2019

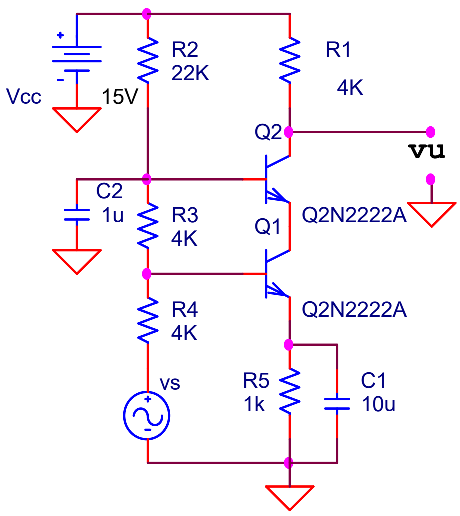
1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av=1000, Rin = 100KΩ, Rout = 100Ω. Si applichi una reazione in modo che la resistenza di uscita sia minore di 10Ω e la resistenza di ingresso maggiore di 2MΩ. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le nuove resistenze di ingresso e uscita.
2. Disegnare lo schema completo (fino al livello delle singole porte logiche) di una ROM 4x1 a diodi con decoder attivo alto che implementi la funzionle logica y=x1 AND x0.
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
- i limiti di banda superiore e inferiore.

Fare le seguenti ipotesi semplificative:

– hoe = 0 in Q1 e Q2
– Q1 completamente resistivo



Esercizio 1

$A_V = 1000$ $\quad$ $R_{IF} > 2\,M\Omega$

$R_{out} = 100\,\Omega$ $\quad$ $R_{OF} < 10\,\Omega$

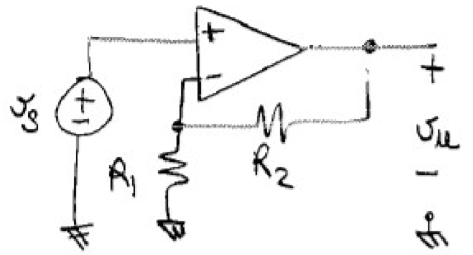
$R_{in} = 100\,K\Omega$

poiché $R_{IF} > R_{in}$ e $R_{OF} < R_{out}$ reazione <u>SP</u>

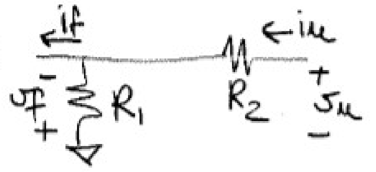
$$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1 - \beta A_e)$$

$$R_{OF} = \frac{(R_{out} /\!/ R_{i\beta})}{1 - \beta A_e}$$

non conosciamo il valore di $R_{o\beta}$ e $R_{i\beta}$. La condizione $(1 - \beta A_e) > 20$ soddisfa sia $R_{IF} > 2M\Omega$, sia $R_{OF} < 10\,\Omega$



β:



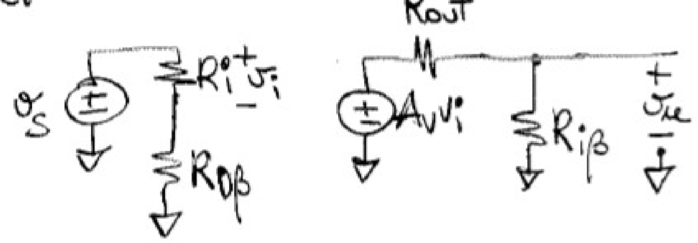
$$v_f = \beta v_u + R_{o\beta} i_f$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_{i\beta}} + \cancel{k_1 i_f}$$

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

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

A_e:



$$A_e = \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_V \frac{R_{i\beta}}{R_{out} + R_{i\beta}}$$

$$(1-\beta A_e) > 20 \rightarrow \beta A_e < -19$$

$$-\beta A_e = \frac{+R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_{o\beta}} A_v \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} > 19$$

($R_{o\beta} = R_1 /\!/ R_2$)

poniamo $R_1 /\!/ R_2 < 5\,K\Omega$

abbiamo

$$\cdot 10^3 \frac{R_1}{R_1+R_2+R_{out}} > \frac{19 \cdot 105}{100}$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2+100} > \frac{19 \cdot 105}{10^5} = 2 \cdot 10^{-3}$$

scelgo $R_1 = 100\,\Omega$ (così $R_1 /\!/ R_2$ è sicuramente $< 5\,K\Omega$)

e ottengo $R_1+R_2+100 < \frac{R_1}{2 \cdot 10^{-3}} = 50\,K\Omega$

$$R_2 < 50000 - 100 - 100 = 49.8\,K\Omega$$

scelgo $\underline{R_2 = 49000\,\Omega}$

ottengo $R_{i\beta} = R_1+R_2 = 49.1\,K\Omega$

$R_{o\beta} = R_1 /\!/ R_2 = 99.8\,\Omega$

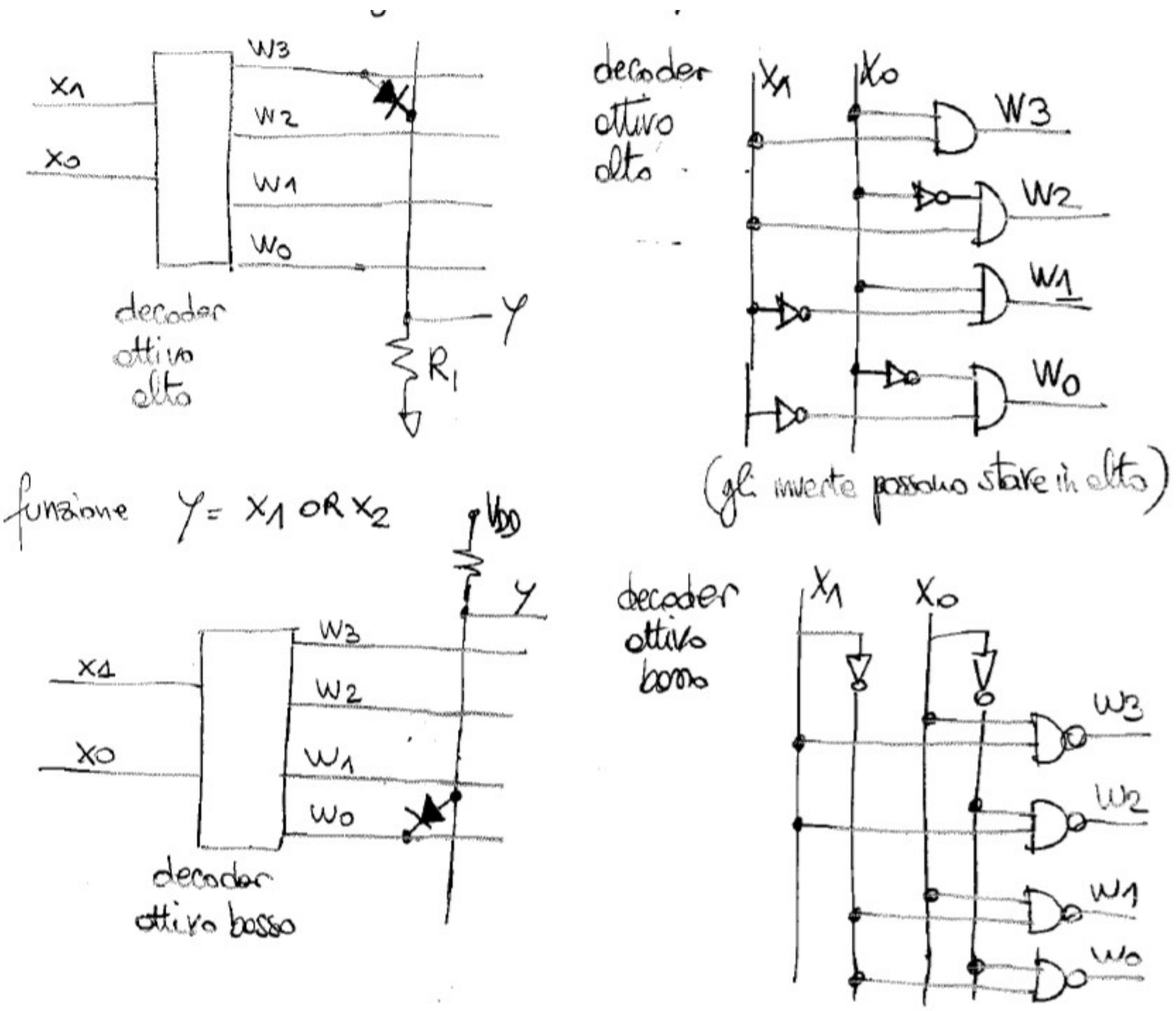
$$1-\beta A_e = 1 + \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} \cdot \frac{R_i}{R_i+R_{o\beta}} \cdot A_v \cdot \frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1+R_2+R_{out}} = 1 + \frac{10^2 \cdot 10^5}{10099.8} \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{49.2 \cdot 10^3} =$$

$$= \underline{\underline{20.12}}$$

$R_{IF} = (R_{in} + R_{o\beta})(1-\beta A_e) = \underline{2.014\,M\Omega}$

$R_{OF} = \frac{(R_{out} /\!/ R_{i\beta})}{(1-\beta A_e)} = \underline{4.96\,\Omega}$

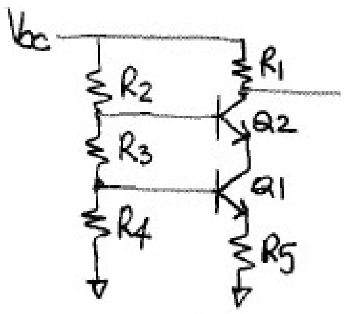
Esercizio 2



x1
x0
W3
W2
W1
W0
Y
R1
decoder attivo alto
decoder attivo alto
X1
X0
W3
W2
W1
W0
(gli inverter possono stare in alto)
funzione Y = X1 OR X2
VDD
Y
W3
W2
W1
W0
x1
x0
decoder attivo basso
decoder attivo basso
X1
X0
W3
W2
W1
W0

Esercizio 3

Punto di riposo:



ipotesi di partitore pesante per Q_1 e Q_2

$$V_{B1} = \frac{V_{CC} \cdot R_4}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 4}{30} = 2V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_{BE_{ON}} = 1{,}3V$$

$$I_{E1} = V_{E1}/R_5 = 1{,}3mA \sim I_{C1} = I_{E2} \sim I_{C2}$$

$$h_{FE_1} = h_{FE_2} \cong 150$$

$$I_{B2} = I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} = \frac{1{,}3}{150} \cdot 10^{-3} = 9\mu A \ll \frac{V_{CC}}{R_2+R_3+R_4} = 0{,}5\,mA$$

partitore pesante verificato

$$V_{B2} = \frac{V_{CC}(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4} = \frac{15 \cdot 8}{30} = 4V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_{BE_{ON}} = 3{,}3V = V_{C1}$$

$$V_{CE_1} = V_{C1} - V_{E1} = 3{,}3 - 1{,}3 = \underline{2V}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - R_1 I_{C2} = 15 - 4 \cdot 1{,}3 = 9{,}8\,V$$

$$V_{CE_2} = V_{C2} - V_{E2} = 9{,}8 - 3{,}3 = \underline{6{,}5\,V}$$

$$h_{fe_1} = h_{fe_2} \simeq 175 \ (h_{fe} @ 1mA)$$

$$g_{m_1} = g_{m_2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0{,}05\,\Omega^{-1}$$

$$r_{\pi_1} = r_{\pi_2} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} = \frac{175}{0{,}05} = 3500\Omega$$

r_b si può ricavare dal punto di lavoro con $I_C = 1mA$ dalle caratteristiche

$$r_b = 450\Omega$$

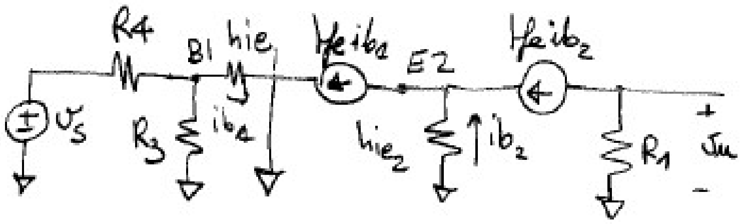
$$h_{ie_1} = h_{ie_2} = \underline{3950\Omega}$$

$f_T = 120\,MHz$

$C_\mu = 4.3\,pF$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\mu + C_\pi)} \rightarrow C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 62\,pF$$

Amplificazione a centro banda



$$i_{b2}(h_{fe}+1) = i_{b1} h_{fe} \rightarrow i_{b2} = \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{v_S R_3}{R_3 + R_4} \cdot \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}}$$

$$v_u = -h_{fe} R_1 i_{b2}$$

$$A_{V_{CB}} = \frac{v_u}{v_S} = -h_{fe} R_1 \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_3}{R_3+R_4} \frac{1}{R_3 /\!/ R_4 + h_{ie}} =$$

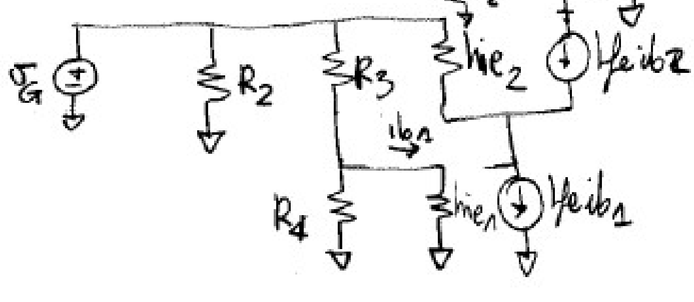
$$= -175 \cdot 4000 \cdot \frac{175}{176} \; \frac{4}{8} \; \frac{1}{2000+3950} = \underline{\underline{-58.5}}$$

limite inferiore di banda

$R_{V_{C1}}$:

$$R_{V_{C1}} = R_5 /\!/ \left[\frac{h_{ie} + R_3 /\!/ R_4}{h_{fe}+1}\right] = 32.7\,\Omega$$

$R_{V_{C2}}$



$$i_{b_1} = \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} \cdot \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}}$$

$$i_{b_2} = \frac{h_{fe}\, i_{b1}}{h_{fe} + 1}$$

$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} + i_{b_2} =$$

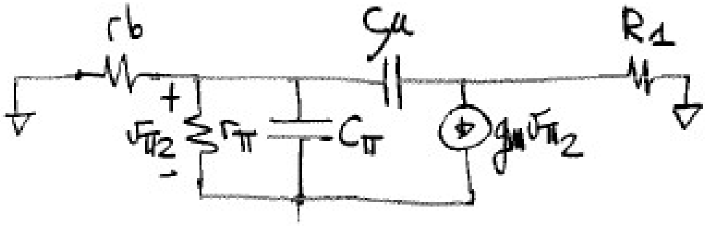
$$i_G = \frac{v_G}{R_2} + \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}} + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}} \cdot \frac{v_G}{R_3 + R_4 // h_{ie1}}$$

$$R_{V_{C_2}} = R_2 // \left[\frac{R_3 + R_4 // h_{ie1}}{1 + \frac{h_{fe}}{h_{fe}+1} \frac{R_4}{R_4 + h_{ie1}}} \right] = \underline{3372\ \Omega}$$

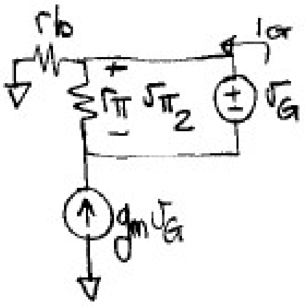
$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_{V_{C_2}} C_2} + \frac{1}{R_{V_{C_1}} C_1}\right] = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{3372 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{32{,}7 \cdot 10^{-5}}\right] = 534\ Hz$$

---

limite superiore di banda



$R_{V_{C_\pi}}$:

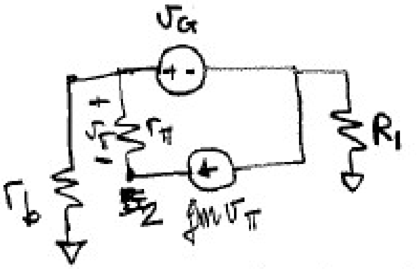


usando la sovrapposizione degli effetti

$$i_G = \frac{v_G}{r_\pi} + g_m v_G$$

$$R_{V_{C_\pi}} = \frac{v_G}{i_G} = \frac{r_\pi}{1 + g_m r_\pi} = \frac{r_\pi}{1 + h_{fe}} = 19{,}88\ \Omega$$

$R_{V_{C\mu}}$



bilancio delle correnti al nodo E_2 $\frac{v_\pi}{r_\pi} + g_m v_\pi = 0 \rightarrow v_\pi = 0$

$R_{V_{C\mu}} = r_b + R_1 = 4450\,\Omega$

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{1}{R_{V_{C\mu}}C_\mu + R_{V_{C\pi}}C_\pi} = \frac{1}{2\pi}\,\frac{1}{19{,}88\cdot 62\cdot 10^{-12} + 4450\cdot 4.3\cdot 10^{-12}} =$$

$= \underline{7.82\ \text{MHz}}$