

Parte A **FILA A**

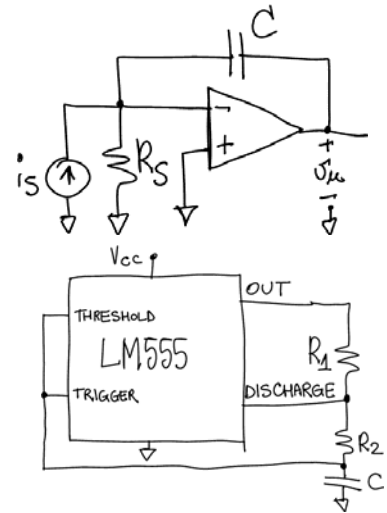
1. Si consideri il circuito a lato: l'amplificatore ha amplificazione di tensione $A_v=100$, $R_{in} = 200 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 0 \Omega$. Inoltre sia $R_s = 1 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $C = 1 \mu\text{F}$. Ricavare l'espressione della resistenza di ingresso in funzione della frequenza

2. Descrivere il funzionamento del circuito a lato e disegnare e quotare correttamente l'andamento della tensione di uscita ($C = 47 \text{ nF}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, $V_{CC}= 5 \text{ V}$). Supporre che all'istante iniziale il condensatore sia scarico.

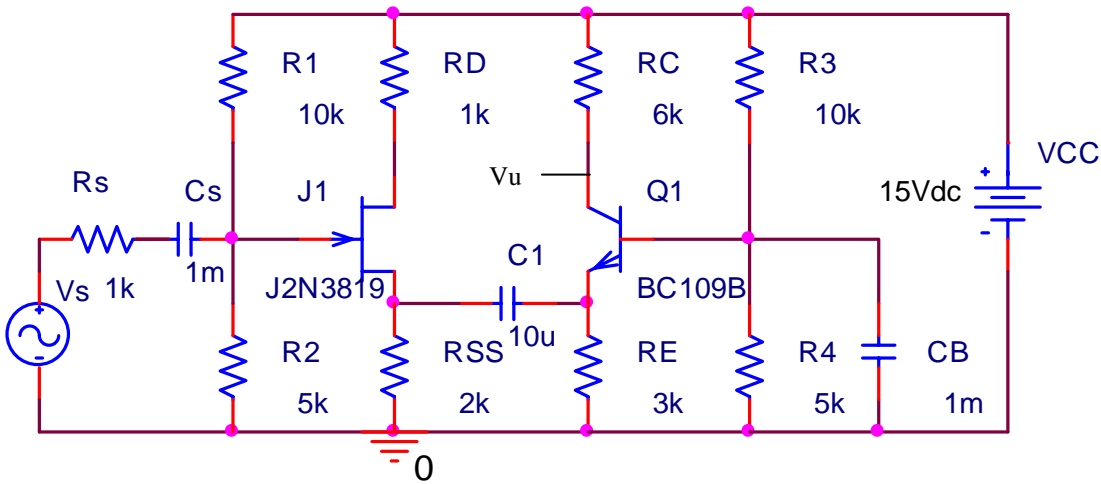
3. Si ricavi il circuito e si quotino i parametri di un filtro con due poli reali di valore $sp_1 = - 2000 \text{ rad/s}$ e $sp_2 = - 2000 \text{ rad/s}$ e nessuno zero. E' necessario giustificare il procedimento.

4. Disegnare e quotare una porta complessa CMOS che implementi la funzione logica $Y = (A + B)(\bar{B} + C)$.

Punteggio totale Parte A: 14



Parte B



Con riferimento al circuito in alto, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori J1 e Q1 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

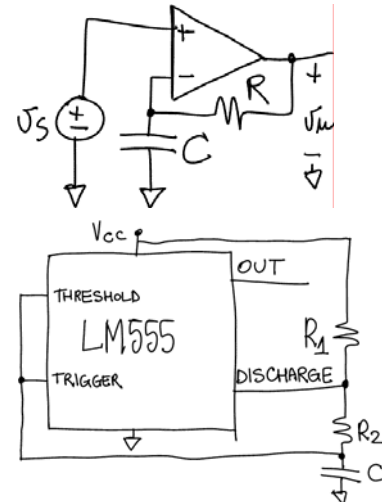
Assunzioni semplificative:

- il JFET è un 2N3819 con $V_{gs_off} = -2 \text{ V}$ completamente **resistivo** e con r_d infinita
- il BJT è un BC109B con h_{oe} nulla

Punteggio totale Parte B: 14/30

Parte A **FILA B**

1. Si consideri il circuito a lato: l'amplificatore ha amplificazione di tensione $A_v=100$, $R_{in} = 200 \text{ K}\Omega$, $R_{out} = 0 \Omega$. Inoltre sia $R=2 \text{ K}\Omega$ e $C = 1\mu\text{F}$. Ricavare l'espressione della resistenza di ingresso in funzione della frequenza



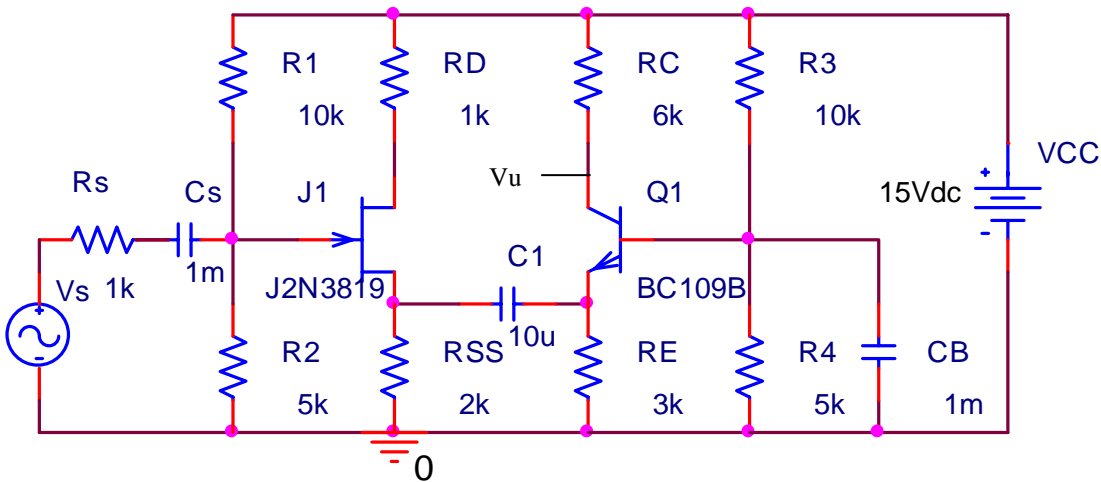
2. Descrivere il funzionamento del circuito a lato e disegnare e quotare correttamente l'andamento della tensione di uscita ($C = 47 \text{ nF}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, $V_{CC} = 5 \text{ V}$). Supporre che all'istante iniziale il condensatore sia scarico.

3. Si ricavi il circuito e si quotino i parametri di un filtro con due poli reali di valore $sp_1 = -2000 \text{ rad/s}$ e $sp_2 = -2000 \text{ rad/s}$ e due zeri nell'origine. E' necessario giustificare il procedimento.

4. Disegnare e quotare una porta complessa CMOS che implementi la funzione logica $Y = CD(E + \bar{C}) + E\bar{D}$.

Punteggio totale Parte A: 14

Parte B



Con riferimento al circuito in alto, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori J1 e Q1 e i parametri del circuito di piccolo segnale
- la funzione di trasferimento a centro banda
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

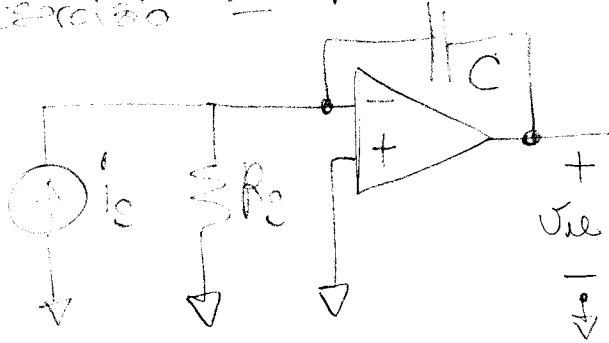
Assunzioni semplificative:

- il JFET è un 2N3819 con $V_{gs_off} = -2 \text{ V}$ completamente **resistivo** e con r_d infinita
- il BJT è un BC109B con h_{oe} nulla

Punteggio totale Parte B: 14/30

Parte A

Esercizio 1 - File A



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

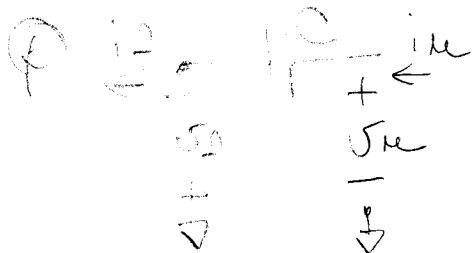
$C = 1\ \mu\text{F}$

$\beta = 100$

$R_{in} = 200\text{ k}\Omega$

$r_{out} = 0\ \Omega$

Realizzare con prelievo di tensione e iniezione di corrente

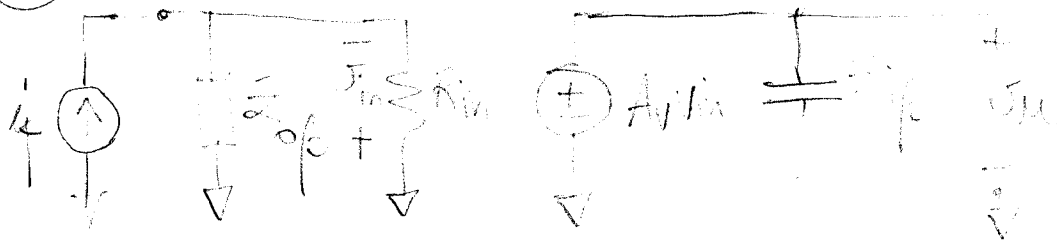


$i_f = \beta i_u + \frac{v_f}{Z_{of}}$

$i_u = \frac{v_u}{Z_{if}} + \beta i_f$

$\beta = \left. \frac{i_f}{i_u} \right|_{v_f=0} = \beta$ $Z_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{v_u=0} = \frac{1}{Cs}$ $Z_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_f=0} = \frac{1}{Cs}$

(Ae)



Calcolo di Ae $v_{in} = -i_p (Z_{of} \parallel R_{in})$

$i_u + \beta i_u = -A_v (Z_{of} \parallel R_{in}) i_p$

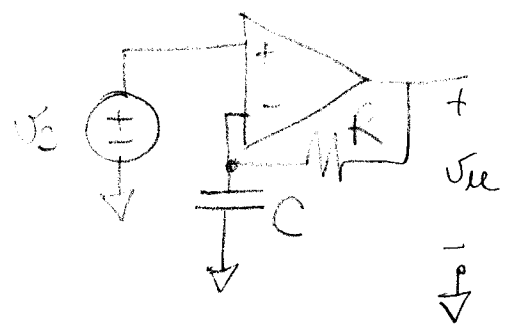
$A_e = v_u / i_p = -A_v (Z_{of} \parallel R_{in})$

$Z_{IF} = \frac{R_{in} \parallel Z_{of}}{1 - \beta A_e} = \frac{R_{in} \frac{1}{Cs}}{R_{in} + \frac{1}{Cs}} \cdot \frac{1}{1 - Cs \frac{R_{in}}{1 + R_{in} Cs} A_v} =$

$$Z_{if} = \frac{R_{in}}{1 + R_{in}Cs} \cdot \frac{1 + R_{in}Cs}{1 + R_{in}(1 + A_v)Cs}$$

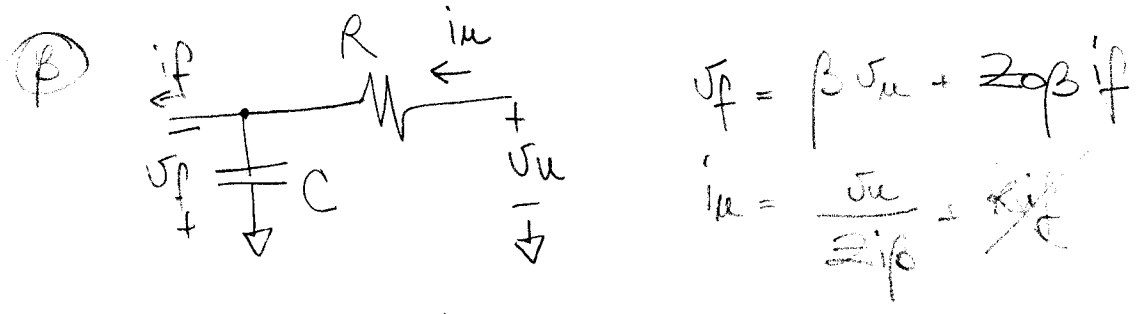
$$Z_{if} = \frac{R_{in}}{1 + R_{in}(1 + A_v)Cs} = \frac{200 \text{ K}\Omega}{1 + 20.2 \text{ s}}$$

Es. 1 - File B



- $A_v = 100$
- $R_{in} = 200 \text{ K}\Omega$
- $R_{out} = 0 \Omega$
- $R = 2 \text{ K}\Omega$
- $C = 1 \mu\text{F}$

Iniezione di tensione e prelievo di tensione



$$v_f = \beta v_u + Z_{of} i_f$$

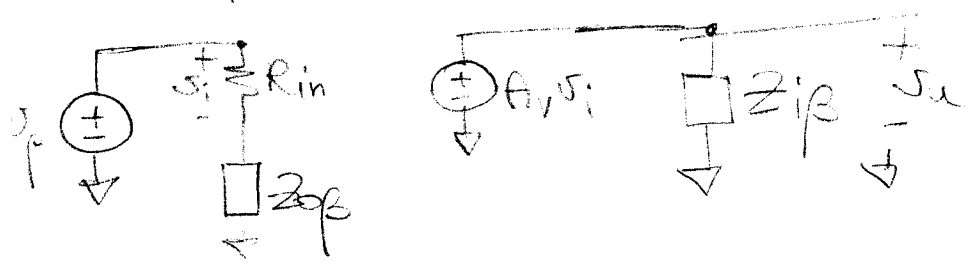
$$i_u = \frac{v_u}{Z_{if}}$$

$$\beta = \left. \frac{v_f}{v_u} \right|_{i_f=0} = - \frac{\frac{1}{Cs}}{\frac{1}{Cs} + R} = - \frac{1}{1 + RCs}$$

$$Z_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{v_u=0} = R \parallel \frac{1}{Cs} = \frac{R}{1 + RCs}$$

$$Z_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R \parallel \frac{1}{Cs} = \frac{1 + RCs}{Cs}$$

A0



$$v_i = \frac{R_{in}}{R_{in} + Z_{\beta}} v_p \rightarrow v_u = A_v v_i = \frac{A_v R_{in}}{R_{in} + Z_{\beta}} v_p \quad (3)$$

$$A_e = \left. \frac{v_u}{v_p} \right|_{\beta=0} = \frac{A_v R_{in}}{R_{in} + \frac{R}{1+RCs}}$$

$$Z_{IF} = (R_{in} + Z_{\beta})(1 - \beta A) =$$

$$= \left(R_{in} + \frac{R}{1+RCs} \right) \left(1 + \frac{1}{RCs+1} \cdot \frac{A_v R_{in}}{R_{in} + \frac{R}{1+RCs}} \right) =$$

$$= \left(R_{in} + \frac{R}{1+RCs} \right) \left(1 + \frac{A_v R_{in}}{R_{in}(RCs+1) + R} \right)$$

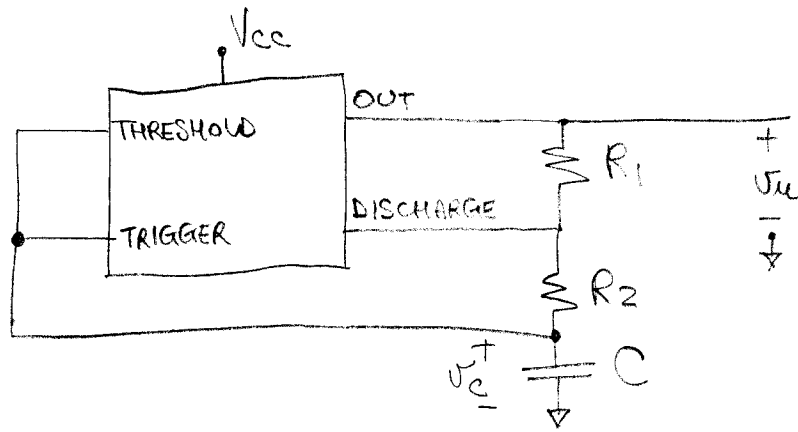
$$= \left(\frac{R_{in}(1+RCs) + R}{1+RCs} \right) \left(\frac{R_{in}(RCs+1+A_v) + R}{R_{in}(1+RCs) + R} \right) =$$

$$= \frac{R + R_{in}(1+A_v) + R_{in}RCs}{1+RCs} = (R + R_{in}(1+A_v)) \frac{1 + \frac{R_{in}RC}{R + R_{in}(1+A_v)} s}{1+RCs} =$$

$$= 20.2 \text{ M}\Omega \frac{1 + 2 \cdot 10^{-5} s}{1 + 2 \cdot 10^{-3} s}$$

Esercizio 2

Fila A

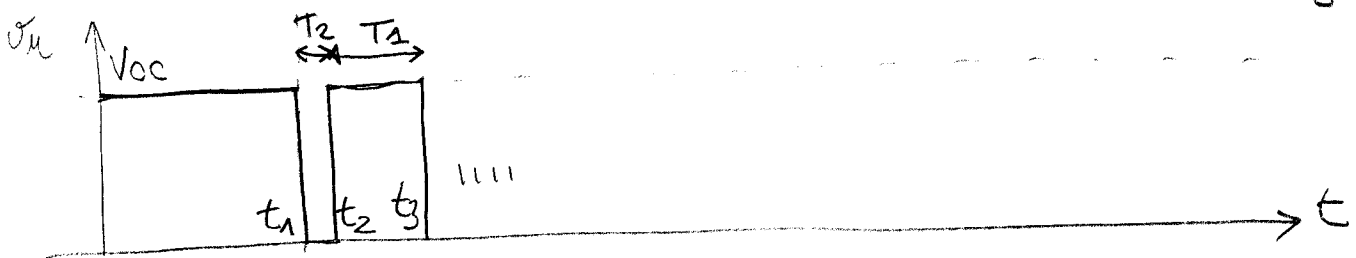
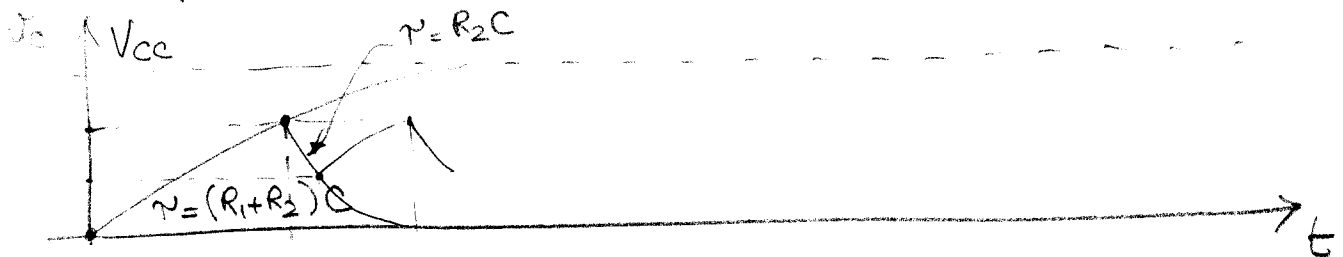


Se $V_c > \frac{2}{3} V_{cc}$ $OUT \rightarrow 0$ $V_u = 0 V$

se $V_c < \frac{1}{3} V_{cc}$ $OUT \rightarrow 1$ $V_u = V_{cc}$

per $t=0$ abbiamo $V_c = 0 \rightarrow OUT \rightarrow 1$ $V_u = V_{cc}$

la capacità C si carica con asintoto V_{cc} e resistenza $R_1 + R_2$



quando V_c raggiunge $\frac{2}{3} V_{cc}$ l'uscita va a 0 e discharge è collegato a massa. La capacità si scarica con asintoto 0V e resistenza R_2 .

Quando V_c raggiunge $\frac{1}{3} V_{cc}$ l'uscita commuta di nuovo e va a 1 ($V_u = V_{cc}$).

La capacità C si carica con asintoto V_{cc} e resistenza $R_1 + R_2$.

A questo punto l'andamento si riproduce periodicamente.

calcoliamo gli istanti di tempo indicati con t_1, t_2, t_3

$$t_1: v_c(t) = V_{cc} \left[1 - e^{-\frac{t}{(R_1+R_2)C}} \right]$$

$$v_c(t_1) = \frac{2}{3}V_{cc} = V_{cc} \left[1 - e^{-\frac{t_1}{(R_1+R_2)C}} \right]$$

$$e^{-\frac{t_1}{(R_1+R_2)C}} = \frac{1}{3}$$

$$t_1 = (R_1+R_2)C \ln 3 = 20 \cdot 10^3 \cdot 47 \cdot 10^{-9} \ln 3 = 1,03 \text{ ms}$$

$$t_2: v_c(t) = \frac{2}{3}V_{cc} e^{-\frac{(t-t_1)}{R_2C}}$$

$$v_c(t_2) = \frac{1}{3}V_{cc} = \frac{2}{3}V_{cc} e^{-\frac{(t_2-t_1)}{R_2C}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\frac{t_2-t_1}{R_2C}} \Rightarrow t_2 = t_1 + R_2C \ln 2 = 1,356 \text{ ms}$$

$$T_2 = t_2 - t_1 = R_2C \ln 2 = 0,326 \text{ ms}$$

$$t_3: v_c(t) = \frac{2}{3}V_{cc} \left[1 - e^{-\frac{t-t_2}{(R_1+R_2)C}} \right] + \frac{1}{3}V_{cc}$$

$$v_c(t_3) = \frac{2}{3}V_{cc} = \frac{2}{3}V_{cc} \left[1 - \exp\left[-\frac{t_3-t_2}{(R_1+R_2)C}\right] \right] + \frac{1}{3}V_{cc}$$

$$\frac{1}{3}V_{cc} = \frac{2}{3}V_{cc} \exp\left[-\frac{t_3-t_2}{(R_1+R_2)C}\right]$$

$$t_3 = t_2 + (R_1+R_2)C \ln 2 = 2,008 \text{ ms}$$

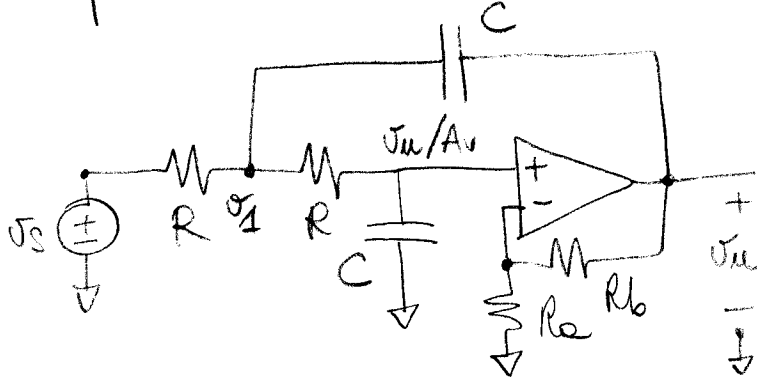
$$T_1 = t_3 - t_2 = (R_1+R_2)C \ln 2 = 0,652 \text{ ms}$$

$$T = T_1 + T_2 = \underline{0,978 \text{ ms}}$$

Per la fila B la soluzione è identica.

Esercizio 3 File A

Si può ottenere con un filtro passabasso di Sallen-Key



$$A_v = 1 + \frac{R_b}{R_a}$$

Per semplicità scegliamo un solo tipo di resistenze e capacità per il filtro.

$$v_s \left(\frac{2}{R} + Cs \right) - \frac{v_s}{R} - \frac{v_u}{A_v R} - v_u Cs = 0$$

$$\frac{v_u}{A_v} = \frac{1}{RCs + 1} v_s \rightarrow v_s = (RCs + 1) \frac{v_u}{A_v}$$

$$(RCs + 1)(2 + RCs) \frac{v_u}{A_v} - v_s - \frac{v_u}{A_v} - v_u RCs = 0$$

$$v_u \left[(RCs + 1)(2 + RCs) - 1 - A_v RCs \right] = v_s A_v$$

$$v_u \left[RC^2 s^2 + (3 - A_v) RCs + 1 \right] = v_s A_v$$

$$\frac{v_u}{v_s} = \frac{A_v}{RC^2 s^2 + (3 - A_v) RCs + 1} = \frac{H_0}{\left(\frac{s}{\omega_{p1}} - 1 \right) \left(\frac{s}{\omega_{p2}} - 1 \right)}$$

eguagliando le due espressioni, coefficiente a coefficiente, otteniamo

$$RC^2 = \frac{1}{\omega_{p1} \omega_{p2}} = \frac{1}{4 \cdot 10^6} \rightarrow RC = \frac{1}{2000}$$

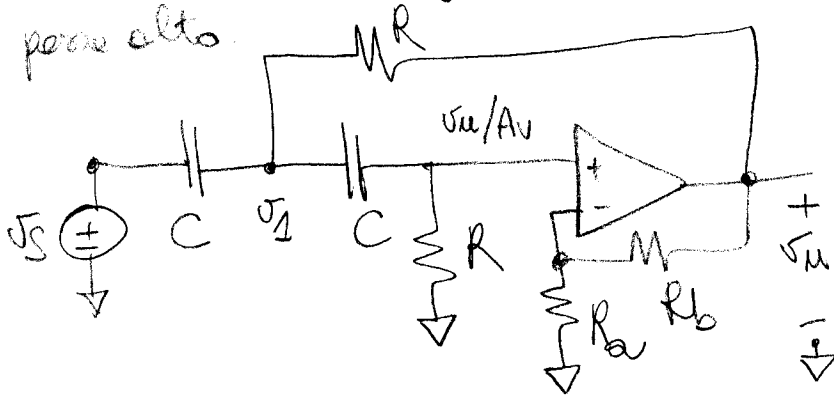
$$(3 - A_v) RC = -\frac{1}{\omega_{p1}} + \frac{1}{\omega_{p2}} = \frac{1}{1000}$$

scelgo $C = 1 \mu F \rightarrow R = \frac{1}{2000 \cdot 10^{-6}} = 500 \Omega$ $(3 - A_v) = 2 \rightarrow A_v = 1$
 $R_b = 0$
 $R_a \rightarrow \infty \parallel$

File B

(7)

posso ottenere le singolarità volute con una cella di Sallen Key
per un alto.



$$V_1 \left(2Cs + \frac{1}{R} \right) - V_2 Cs - \frac{V_u}{Av} Cs - \frac{V_u}{R} = 0$$

$$\frac{V_u}{Av} = \frac{RCs}{RCs + 1} V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{(RCs + 1)}{RCs} \frac{V_u}{Av}$$

$$\frac{(RCs + 1)(2RCs + 1)}{RCs} \frac{V_u}{Av} - V_2 RCs - \frac{V_u}{Av} RCs - \frac{V_u}{R} = 0$$

$$V_u \left[(RCs + 1)(2RCs + 1) - RCs^2 - Av RCs \right] = V_s Av RCs^2$$

$$\frac{V_u}{V_s} = \frac{Av RCs^2}{RCs^2 + (3 - Av)RCs + 1}$$

poiché i poli e l'espressione del denominatore sono gli stessi
che nel caso B posso prendere gli stessi valori per i componenti

$$R = 500 \Omega = R_a = R_b$$

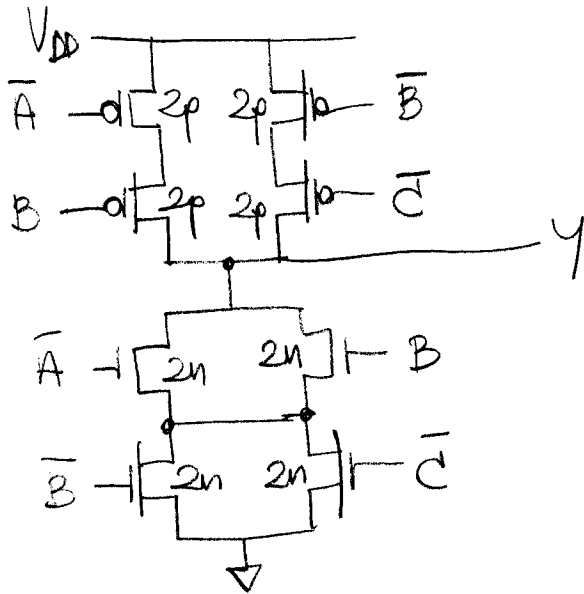
$$C = 1 \mu F$$

Esercizio 4

File A $Y = (A+B)(\bar{B}+C) = A\bar{B} + \cancel{BB} + AC + BC$

	AB			
c	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	0	1	1	1

$Y = A\bar{B} + BC$

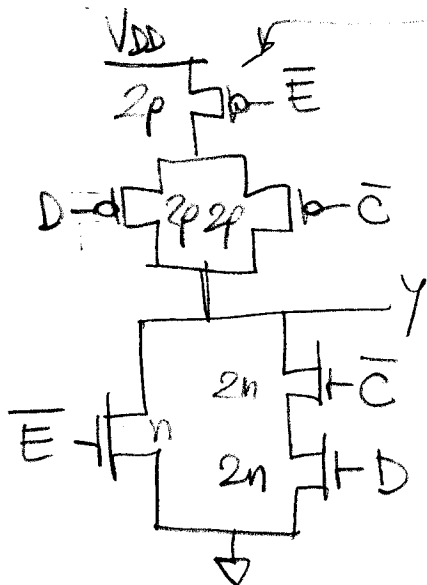


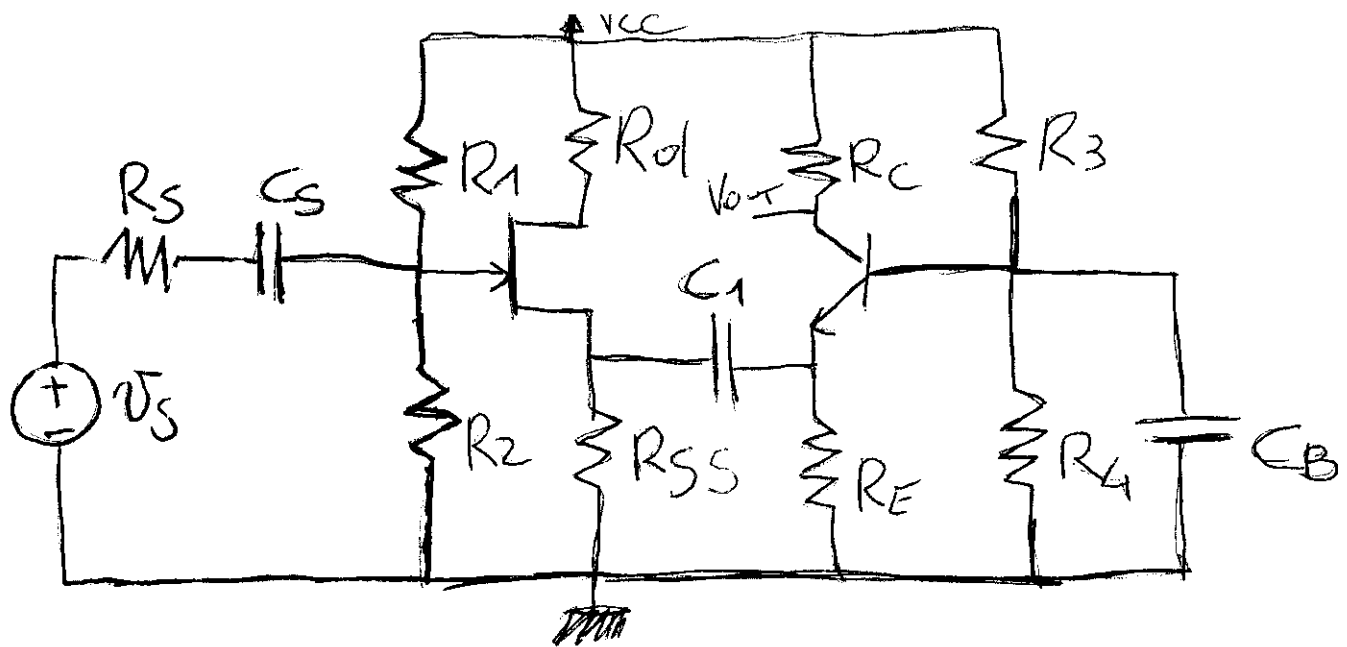
File B $Y = CDE + (\bar{C}) + ED\bar{C} = CDE + \cancel{C\bar{C}} + ED\bar{C}$

	CD			
E	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	1	0	1	1

$Y = CE + \bar{D}E$

oppure $\bar{Y} = \bar{E} + \bar{C}D$





BJT: BC109B

JFET: 2N3819

Punto di riposo

JFET $V_{GS\text{off}} = -2\text{V}$ $V_p = -3,5\text{V}$

$$V_G = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = 5\text{V}, \quad V_S = +R_{SS} I_{DS}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 - R_{SS} I_{DS}$$

Da caratteristiche $V_{GS} \approx -0,8$ e $I_{DS} \approx 2,9\text{mA}$

$$V_{GS} = V_{CC} - (R_{SS} + R_d) I_{DS} = 6,3\text{V}$$

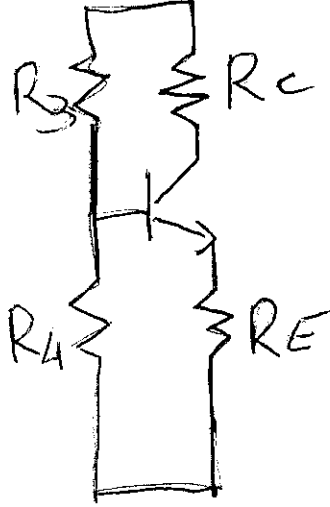
$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_{GS\text{off}} \quad \boxed{6,3 > 1,3} \quad \text{OK!}$$

$$g_m = 4 \text{ mS}$$

$$C_{iss} \approx 2,5\text{pF} \quad C_{rss} \approx 1,2\text{pF}$$

$$C_{os} = 1,3\text{pF} \quad C_{GD} = 1,2\text{pF}$$

BJT $V_{CC} = 15V$



H_p : partitore resistente

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_3 + R_4} \cdot R_4 = 5V \Rightarrow V_E = V_B - V_{BE} = 4,3$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_E} = 1,43 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C = 2,13V$$

$V_{CE} > V_{CE_{SAT}}$ OK!

$$h_{FE} = 275 \quad (995 \cdot h_{FE @ 2 \text{ mA}})$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 5,19 \mu A$$

$$I_{R_3, R_4} = \frac{V_{CC}}{R_3 + R_4} = 1 \text{ mA} \quad \boxed{\text{P.P. OK}}$$

$$V_{CB} = V_{CE} + V_{EB} = 1,43V$$

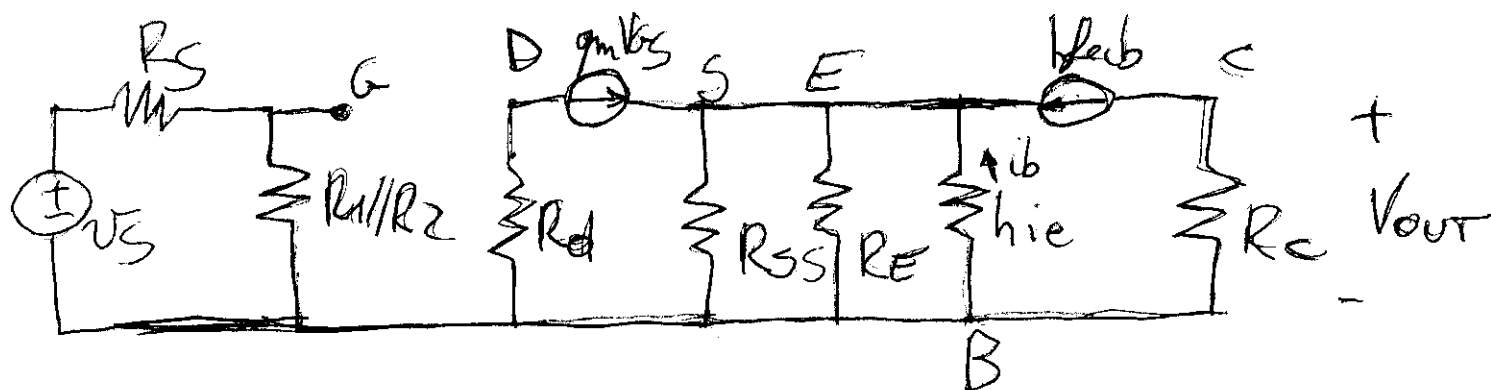
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 55 \text{ mS}, \quad h_{fe} \approx 300$$

$$h_{ie}^* = r_b + \frac{V_T}{I_B^*} \Rightarrow r_b = 900 \quad \text{e} \quad h_{ie} = 5,4 \text{ k}\Omega$$

$$f_T \approx 135 \text{ MHz} \quad C_{\mu} = 6,5 \text{ pF} \quad r_{\pi} = 5,45 \text{ k}\Omega$$

$$C_{\pi} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{\mu} = 58,4 \text{ pF}$$

ACB



$$V_{OUT} = -h_{fe} i_b R_C$$

$$(h_{fe} + 1) i_b + g_m V_{OS} + \frac{h_{ie} i_b}{R_S \parallel R_E} = 0$$

$$i_b = - \frac{g_m V_{OS}}{h_{fe} + 1 + \frac{h_{ie}}{R_S \parallel R_E}}$$

$$V_{OS} = V_G - V_S = \frac{V_S}{R_S + R_1 \parallel R_2} \cdot R_1 \parallel R_2 - g_m V_{OS} \left[R_S \parallel R_E \parallel \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} \right]$$

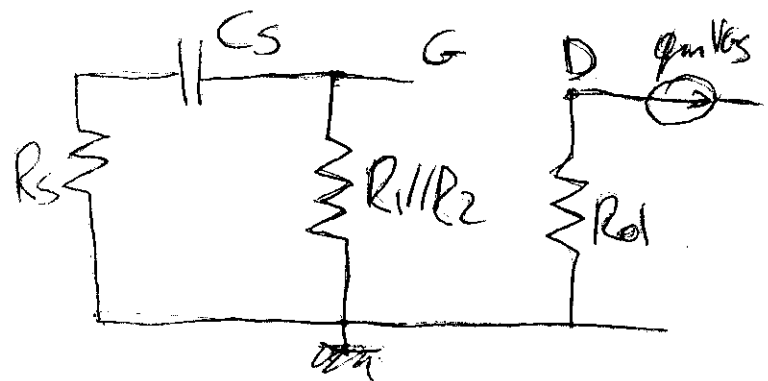
$$= \frac{V_S}{R_S + R_1 \parallel R_2} \cdot R_1 \parallel R_2 \cdot \frac{1}{1 + g_m \left[R_S \parallel R_E \parallel \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} \right]}$$

$$V_{OUT} = -h_{fe} R_C \left[\frac{g_m}{h_{fe} + 1 + \frac{h_{ie}}{R_S \parallel R_E}} \cdot \frac{\frac{R_1 \parallel R_2}{R_S + R_1 \parallel R_2}}{1 + g_m \left[R_S \parallel R_E \parallel \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} \right]} \right] V_S$$

$$A_{CB} \approx 16,8$$

f_L

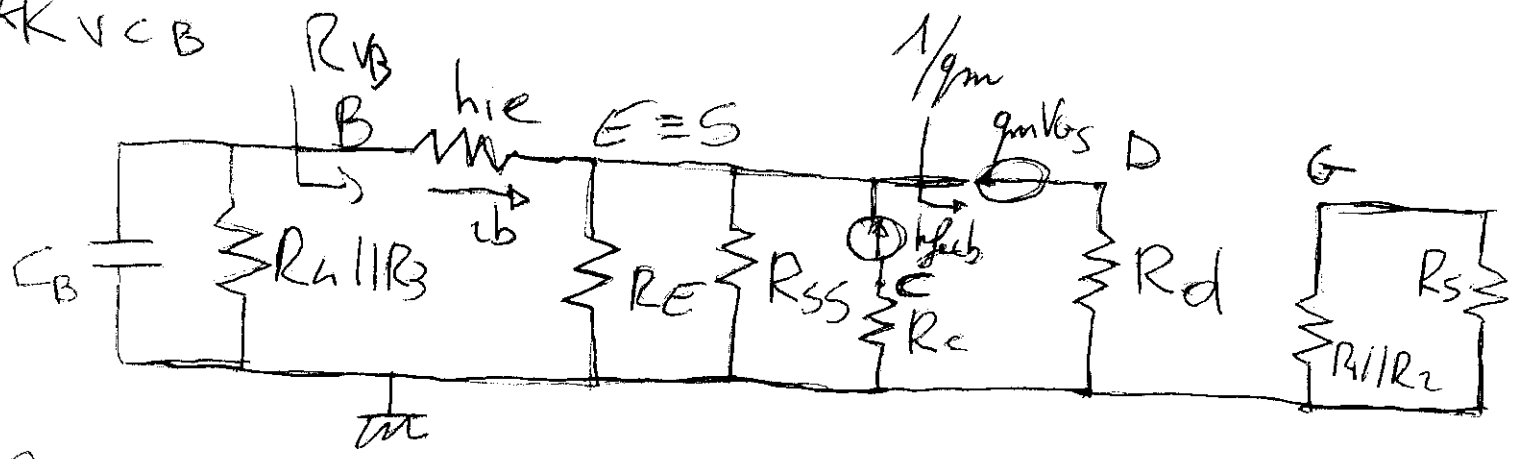
* R_{VCS}



$$R_{VCS} = R_s + R_1 || R_2$$

$$R_{VCS} = 4,3 \text{ k}\Omega$$

* R_{VCB}

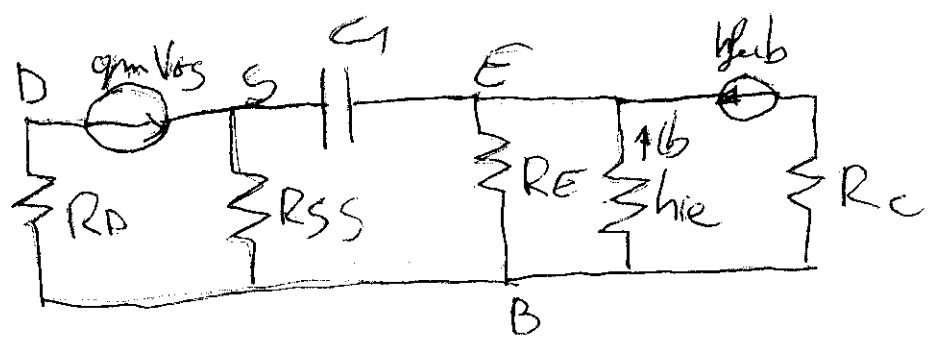


$$R_{VCB} = R_4 || R_3 || R_{VB}$$

$$R_{VB} = h_{ie} + (R_E || R_{SS} || \frac{1}{g_m}) (h_{fe} + 1) \approx 68,7 \text{ k}\Omega$$

$R_{VCB} \approx \text{[scribble]} \text{ k}\Omega$

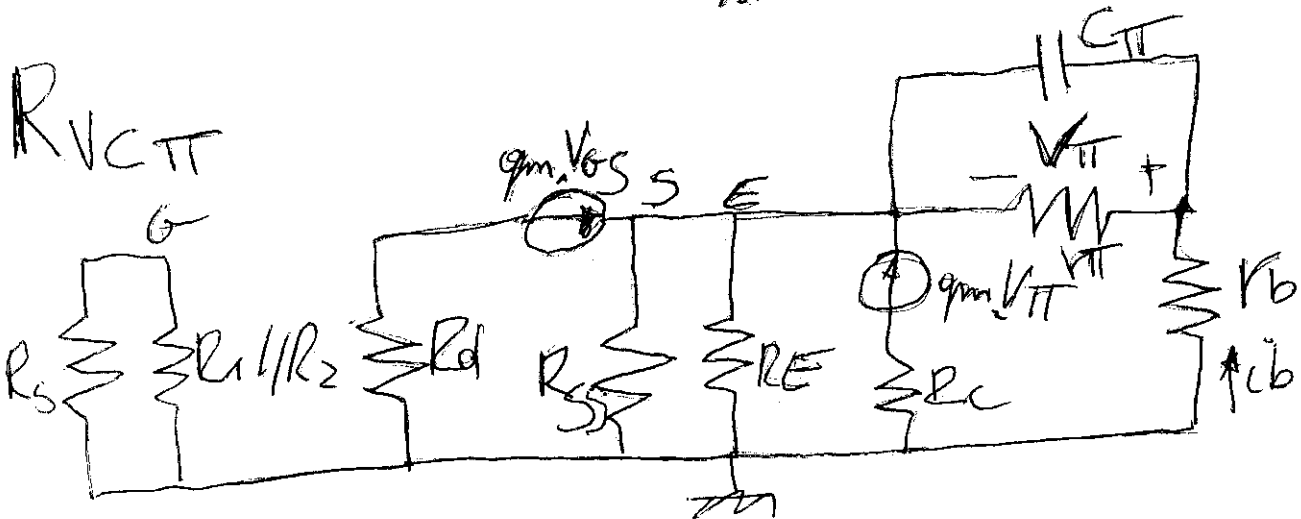
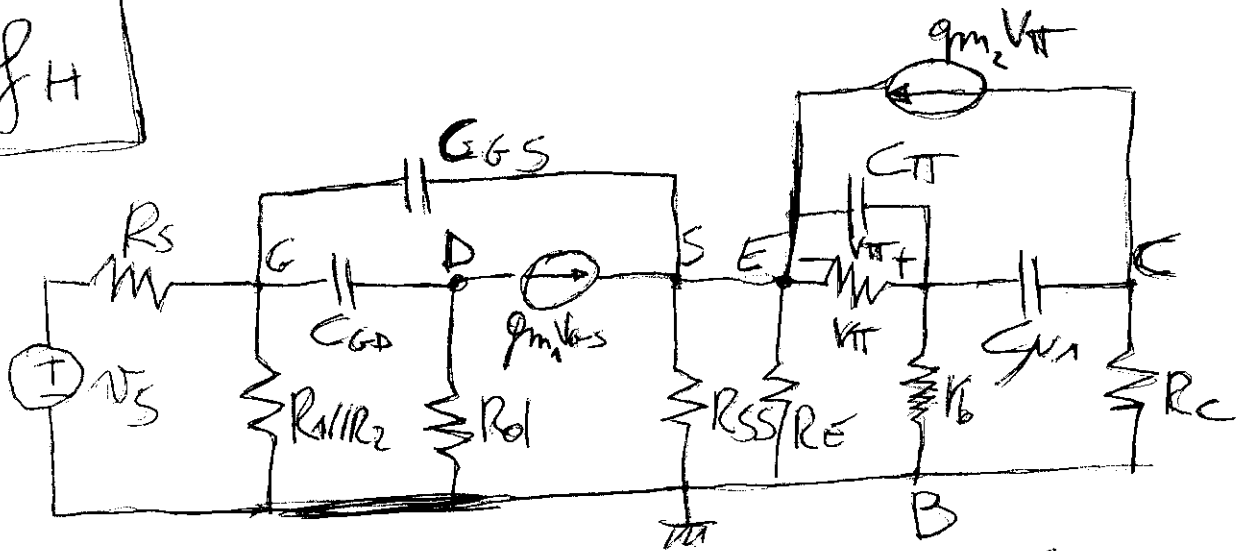
* R_{VC1}



$$R_{VC1} = R_{SS} || \frac{1}{g_m} + R_E || \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} = 243,7 \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{R_{V_{GS}} C_{GS}} + \frac{1}{R_{V_{CB}} C_{CB}} + \frac{1}{R_{V_{C1}} C_1} \right] = 66 \text{ Hz}$$

f_H



$$R_{V_{C\pi}} = v_{\pi} / i_p$$

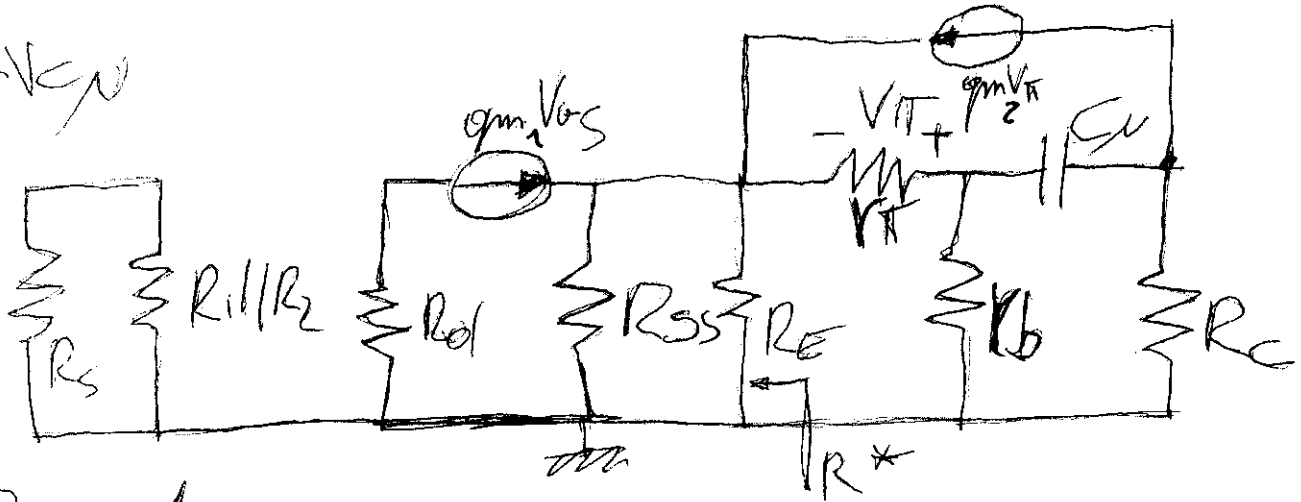
Per il calcolo di R^* togliamo v_{π} e mettiamo un generatore v_p .

$$v_p = \left(\frac{1}{g_{m1}} \parallel R_{SS} \parallel R_E \right) (i_p - g_{m2} v_p) + R_B i_p$$

$$R^* = \frac{R_B + \left(\frac{1}{g_{m1}} \parallel R_{SS} \parallel R_E \right)}{1 + g_{m2} \left(\frac{1}{g_{m1}} \parallel R_{SS} \parallel R_E \right)}$$

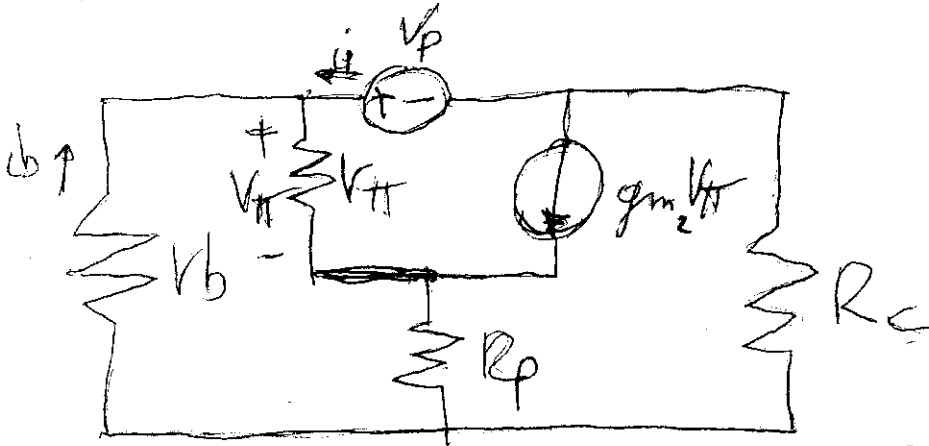
$$R_{V_{C\pi}} = 894 \Omega$$

$R_{V_{GS}}$



$$R_p = \frac{1}{g_{m1}} || R_{SS} || R_E = 207 \Omega$$

Risistemando il circuito si ha:



Con le solite procedure calcoliamo R_{in} , R_{out} , A_v

$$R_{in} = R_B || \left[V_{\pi} + R_p \left(1 + g_{m2} V_{\pi} \right) \right] = 888 \Omega$$

$$R_{out} = R_C = 6 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = - \frac{g_{m2} R_C}{1 + R_p \left(g_{m2} + \frac{1}{V_{\pi}} \right)} = -26,56$$

$$30,47$$

$$R_{V_{GS}} = R_{out} + R_{in} (1 - A_v) = 1 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (R_{V_{GS}} C_{GS} + R_{V_{GS}} C_{\pi})} = \text{[scribble]} = 783 \text{ kHz}$$