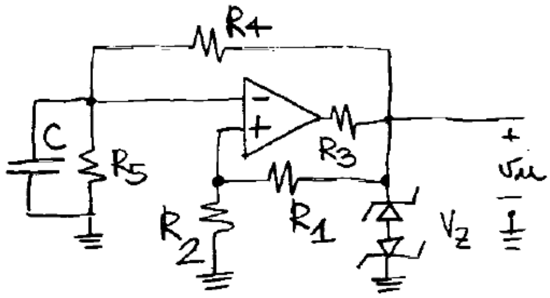
Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
4 settembre 2015

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione A_{v0}=2000, 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 uguale a 10 MΩ, una resistenza di uscita minore di 10 Ω. Si consideri la resistenza del generatore nulla, e la resistenza del carico di 200 Ω. Si calcoli la nuova amplificazione del sistema. [6 punti]

2. Del generatore d'onda quadra mostrato a lato, calcolare frequenza, ampiezza e duty cycle della forma d'onda in uscita, giustificando il procedimento. Disegnare e quotare, sullo stesso asse dei tempi, l' andamento delle tensioni di ciascun ingresso dell'operazionale e dell'uscita. R1=50 KΩ, R2=R4=R5=10 KΩ, R3=1KΩ, C=47 nF, VZ=5.6 V.[6 punti]

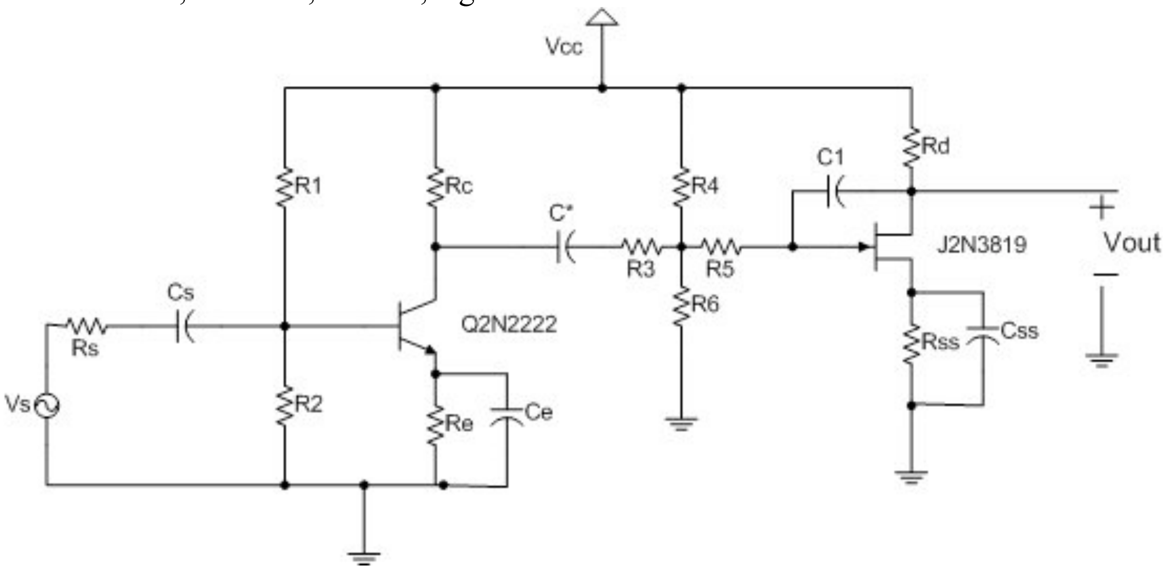


3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:

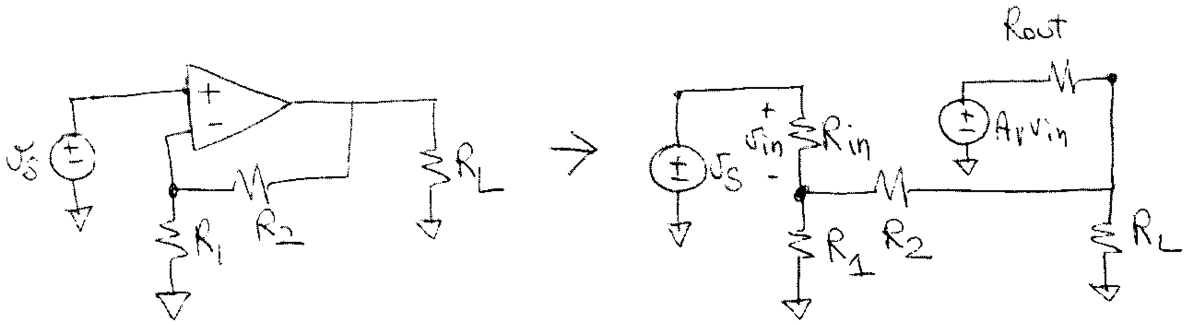
- il punto di riposo dei due transistori e i parametri del ircuito di piccolo segnale.[5punti]
- la funzione di trasferimento a centro banda.[4 punti]
- il limite superiore di banda [6 punti]

Si consideri Css e Ce → ∞ , rd → ∞ , hoe = 0, Vgsoff del JFET = -3V. Vcc=15 V.

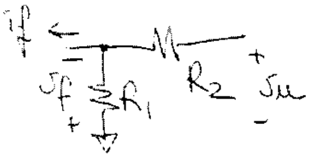
Rs = 10 KΩ
Cs = 1μF
R1 = 10 KΩ
R2 = 5 KΩ
Rc = 3 KΩ
Re = 2 KΩ
C* = 1 μF
R3 = 1 KΩ
R4 = 100 KΩ
R5 = 1 KΩ
R6 = 10 KΩ
C1 = 10 pF
Rd = 1 KΩ
Rss = 500 Ω



1) Reazione con inserzione SERIE e prelievo parallelo



Rete del β



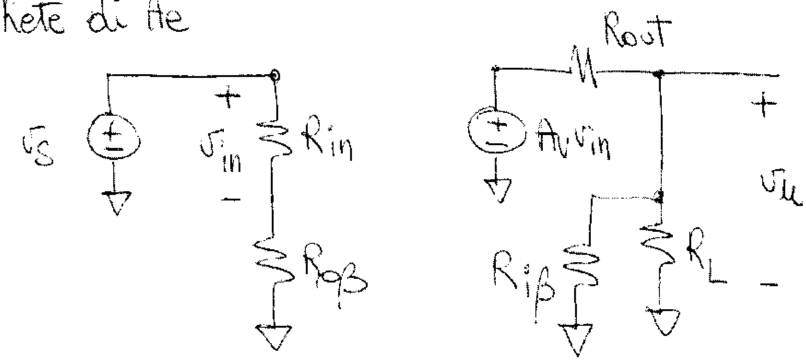
$$v_f = \beta v_u + R_{o\beta} i_f$$

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

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

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

Rete di Ae



$$v_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}} v_S \qquad v_u = A_v v_{in} \frac{R_L /\!/ R_{i\beta}}{R_{out} + R_L /\!/ R_{i\beta}}$$

$$A_e = \left.\frac{v_u}{v_S}\right|_{\beta=0} = A_v \frac{R_L /\!/ R_{i\beta}}{R_{out} + R_L /\!/ R_{i\beta}} \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}}$$

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

$$= \left[R_{in} + R_{o\beta}\right]\left[1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_v \frac{R_L // R_{i\beta}}{R_{out} + R_L // R_{i\beta}} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}}\right] =$$

$$= \underbrace{R_{in}}_{50K} + R_{o\beta} + \frac{R_1}{R_1+R_2} \underbrace{A_v}_{2000} \frac{R_L // R_{i\beta}}{\underbrace{R_{out}}_{800} + \underbrace{R_L}_{200} // R_{i\beta}} \underbrace{R_{in}}_{50K}$$

poniamo $R_1 + R_2 = R_{i\beta} = 1000\ \Omega$

abbiamo

$$R_{IF} = R_{in} + \underbrace{R_{o\beta}}_{R_1 // R_2} + \frac{R_1}{1000} \times A_{2000} \times \frac{167}{967}\ 50000 =$$

$$R_{IF} = 50000 + R_1 // R_2 + R_1 \cdot 17270$$

possiamo sicuramente trascurare $R_1 // R_2$ nelle somma (da verificare)

se poniamo $R_{IF} = 10\ M\Omega$ otteniamo $R_1 = 576\ \Omega$

quindi $R_2 = 424\ \Omega$

si può verificare che $\overset{244\Omega}{R_1 // R_2}$ è quindi trascurabile nelle somma

$$R_{oF} = \frac{(R_{out} // R_{i\beta})}{(1 - \beta A_e|_{R_L \to \infty})} = \frac{800 // 1000}{1 + \frac{R_1}{\underbrace{R_1+R_2}_{1000}} A_v \frac{\overset{1000}{R_{i\beta}}}{\underbrace{R_{i\beta} + R_{out}}_{1800}} \frac{\overset{50K}{R_{in}}}{R_{in} + R_{i\beta}}} = \frac{444}{637} = 0.7\ \Omega$$

$$A_e = 343.7$$

$$\beta = -0.576$$

$$1 - \beta A_e = 200$$

$$A_{F0} = \frac{A_e}{1 - \beta A_e} = 1.718$$

$$f_H = f_P(1 - \beta A_e) = 150 \times 200 = 30\ KHz$$

$$A_F^{(\omega)} = \frac{A_{F0}}{\left(1 + j\frac{\omega}{2\pi f_H}\right)}$$

Esercizio 2

Soglie

$$v_A = \frac{(V_z + V_\gamma) R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(5,6+0,6)\,10}{60} = 1{,}033\,V$$

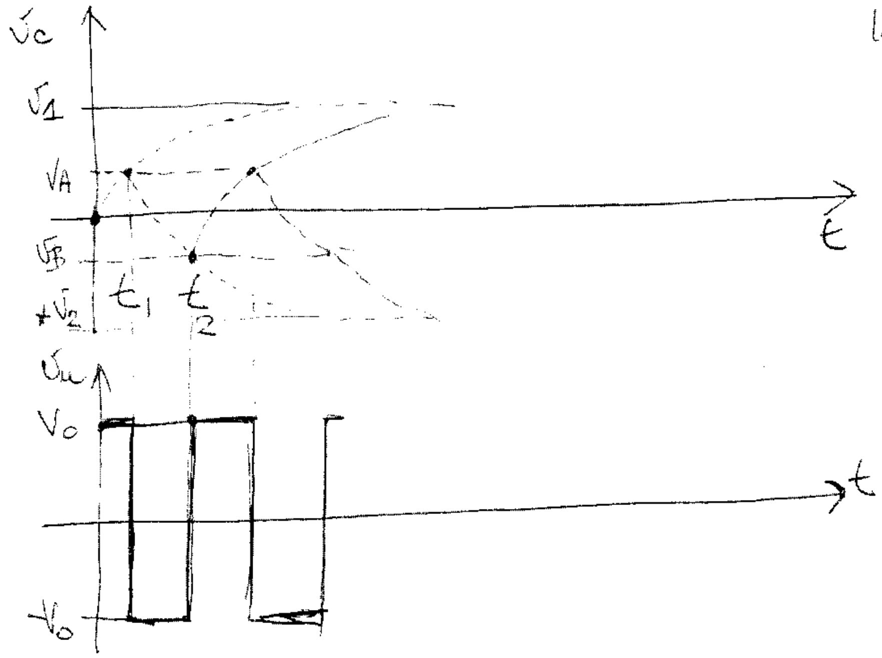
$$v_B = -1{,}033\,V$$

$$\tau \text{ (carica e scarica)} = R_4 /\!/ R_5\, C = 5000 \cdot 47 \cdot 10^{-9} = 0{,}235\ ms$$

Asintoti nella carica della capacità

$$v_1 = \frac{(V_z+V_\gamma) R_5}{R_5 + R_4} = 3{,}1\,V \qquad v_2 = -3{,}1\,V$$

supponiamo che in $t=0$ la capacità sia scarica e $v_u = +V_z + V_\gamma = V_0$



Si ottiene un'onda quadra di ampiezza V_0 e di periodo T dove

$$\frac{T}{2} = t_2 - t_1$$

Scarica: per $t_1 < t < t_2$

$$v_c(t) = (V_A - v_2)\, e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} + v_2$$

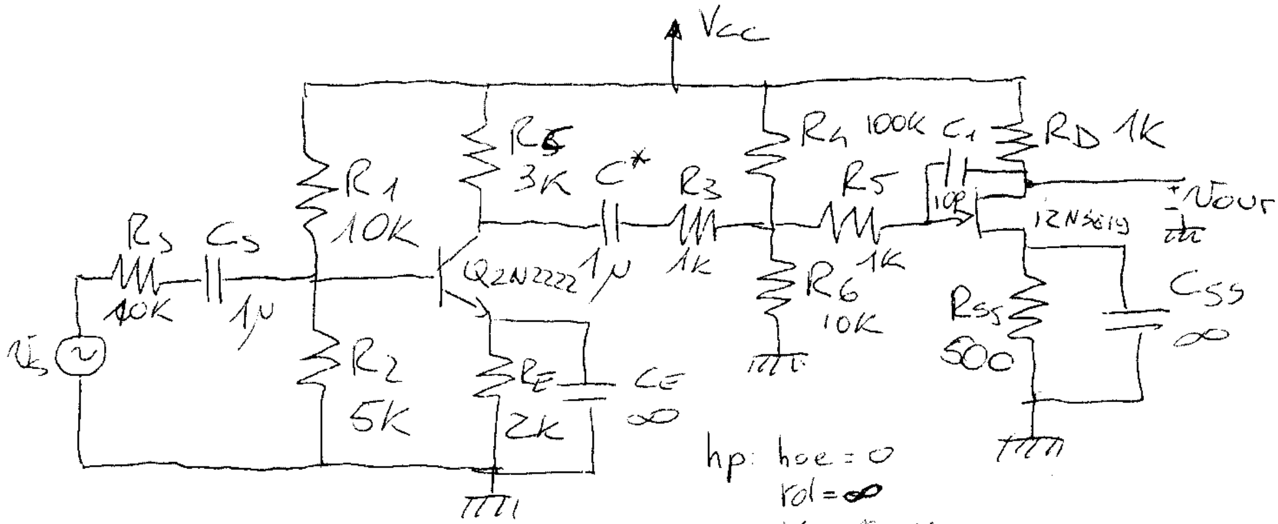
per t_2 abbiamo

$$v_B = v_C(t_2) = (v_A - v_2)\, e^{-\frac{\overbrace{t_2-t_1}^{T/2}}{\tau}} + v_2$$

$$\tau \ln\left(\frac{v_B + v_2}{v_A + v_2}\right) = -T/2$$

$$T = 2\tau \ln\left(\frac{v_A + v_2}{v_B + v_2}\right) = 0.47\cdot 10^{-3} \ln\left(\frac{1{,}033+3{,}1}{-1{,}033+3{,}1}\right) = 0{,}325\ ms$$

Esercizio 3

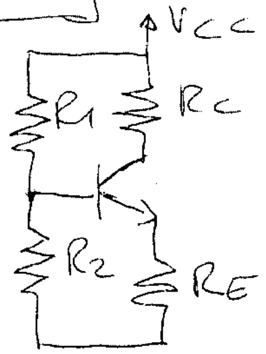


hp: $h_{oe} = 0$
$r_d = \infty$
$V_{GS\,off} = -3V$

PUNTO DI RIPOSO

I due stadi sono disaccoppiati dalla capacità C^*, quindi studiamo due circuiti separati.

$\boxed{\text{BJT.}}$



Facciamo come al solito l'ipotesi di partitore pesante. $I_B \ll I_{R_1,R_2}$

$V_G = \frac{V_{cc}}{R_1+R_2}\cdot R_2 \simeq 5V$

Segue $V_E = V_G - V_\gamma = 4{,}3\ V$, da cui

$I_E = \frac{V_E}{R_E} = 2{,}15\ mA$

$V_{CE} = V_{cc} - (R_C + R_E) I_E = 4{,}25\ V$ (BJT in zona attiva diretta)

$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$ $\quad h_{FE}@2{,}15mA \simeq 150$ (da caratteristiche)

$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 14{,}3\ \mu A$

$I_{R_1,R_2} = \frac{V_{cc}}{R_1+R_2} = 1\ mA$

} Verificato partitore pesante

Calcoliamo i parametri di piccolo segnale.

$h_{fe} \simeq 175$ (da caratteristiche)

Calcolo di r_b

$h_{ie}@1mA = 5K\Omega = r_b + \frac{h_{fe}}{g_m@1mA} = r_b + \frac{175}{1mA/25{,}9mV} \Rightarrow$

$r_b = 450\ \Omega$

$h_{ie}@2{,}15mA = r_b + r_\pi = r_b + \frac{V_T}{I_C} h_{fe} = 2{,}55\ K\Omega$

$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 83\ mS$

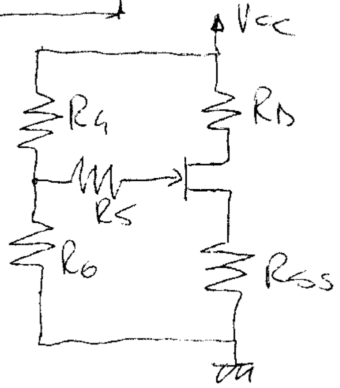
$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3{,}55\ V$

$f_T \simeq 150\ MHz$

$C_\mu = 5\ pF$

$C_\pi = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_\mu = 83\ pF$

$\boxed{\text{JFET}}$



$V_{GSoff} = -3$

$V_G = \frac{V_{CC}}{R_4 + R_6} \cdot R_6 = 1{,}36V$

$V_{GS} = V_G - R_{SS} I_{DS}$

$\begin{cases} V_{GS} = -1\ V \\ I_{DS} = 4{,}8\ mA \end{cases}$

$V_{DS} = V_{CC} - (R_D + R_S) I_{DS} = 7{,}65V$

$V_{DS} \geq V_{GS} - V_{GSoff}$ per la zona di saturazione

$7{,}65V \geq 2V$ verificata!

$g_m = 4{,}7\ mS$

$C_{iss} \simeq 2{,}5\ pF$ $C_{rss} \simeq 1{,}2\ pF$

$C_{GS} \simeq 1{,}3\ pF$ $C_{GD} \simeq 1{,}2\ pF$

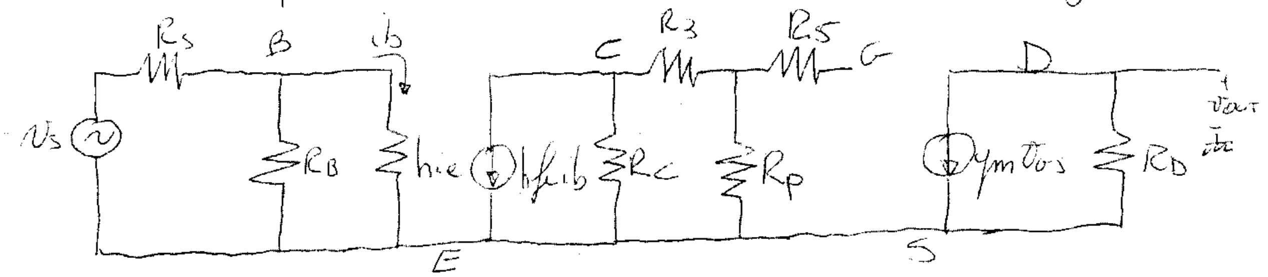
I valori sono presi da caratteristiche e sono solo indicativi

Amplificazione a centro banda

Prima di tutto dobbiamo verificare il ruolo delle varie capacità presenti nel circuito.

- C_E e C_{SS} sono da considerare sempre corto circuiti, hanno un valore molto alto di capacità.
- C_S e C^* sono capacità di disaccoppiamento e dato il loro valore è ragionevole pensare che intervengano alle basse frequenze.
- La capacità C_1 ha un valore dell'ordine dei pF, quindi comparabile con le capacità intrinseche del JFET e del BJT. L'unico effetto che ha è di finire in parallelo a C_{GD}, quindi in pratica è come avere un JFET con una $C'_{GD} = C_{GD} + C_1 = 11,2\,pF$.

Il circuito per lo studio a centrobanda è il seguente



$R_B = R_1 // R_2 = 3,33\,K\Omega$

$R_P = R_4 // R_G \simeq 9\,K\Omega$

$v_{OUT} = -g_m v_{GS} R_D$

$v_{GS} = v_G = -h_{fe}\, i_b \cdot \left[\frac{R_C \cdot R_P}{R_C + R_3 + R_P} \right]$

$$i_b = \frac{v_S}{R_S + R_B // h_{ie}} \cdot \frac{R_B // h_{ie}}{h_{ie}}$$

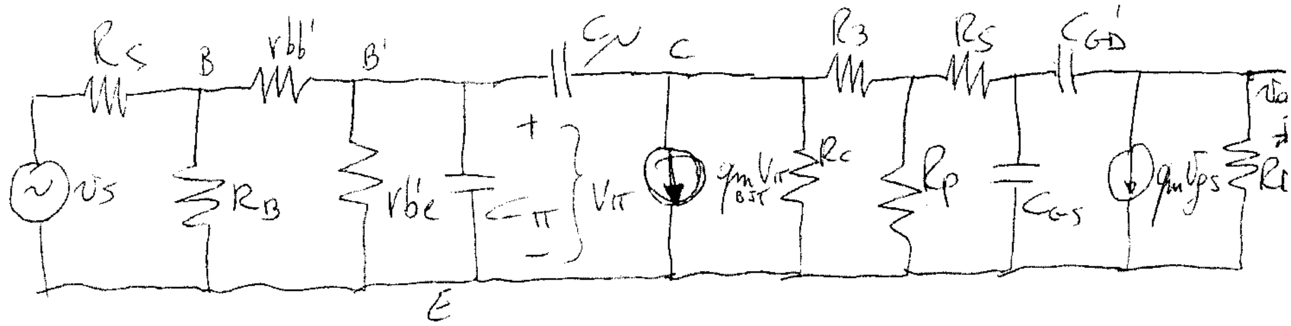
$$v_{OUT} = \frac{g_m R_D h_{fe} (R_C \cdot R_P)}{R_C + R_3 + R_P} \cdot \frac{R_B // h_{ie}}{h_{ie} (R_S + R_B // h_{ie})} \cdot v_S$$

Da cui infine:

$$A_{CB} = \frac{v_{OUT}}{v_S} = 84,5$$

Frequenza di taglio superiore

Disegnamo il circuito alle alte frequenze.



Cominciamo con $R_{VC\pi}$ ($r_{b'e} = r_\pi$ e $r_{bb} = r_b$)

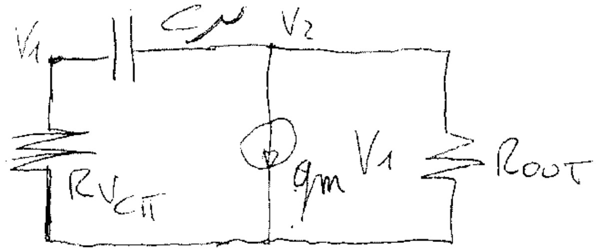
$$R_{VC\pi} = r_{b'e} // [r_{bb'} + R_B // R_S] =$$

$$r_{b'e} = r_\pi = 2{,}1\ K\Omega$$

$$r_{bb'} = r_b = 450\ \Omega$$

$$R_{VC\pi} = 1{,}22\ K\Omega$$

Vediamo adesso il contributo di C_μ



$$R_{OUT} = R_C // [R_3 + (R_P)] = 2{,}3\ K\Omega$$

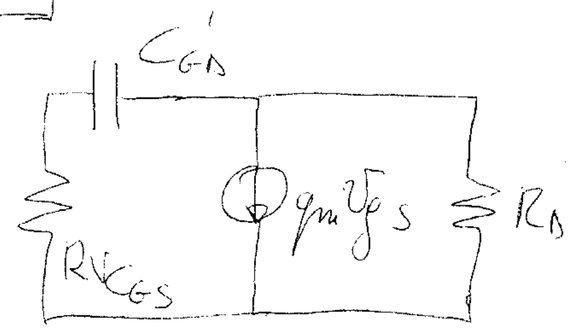
$$A_V = g_m R_{OUT} = 190$$

$$R_{VC\mu} = R_{VC\pi}(1 + A_V) + R_{OUT} = 236{,}5\ K\Omega$$

$\boxed{C_{GS}}$

$$R_{VC_{GS}} = R_S + [R_P // (R_3 + R_C)] = 3{,}77\ K\Omega$$

$\boxed{C'_{GD}}$



Con lo stesso procedimento usato per C_N troviamo

$$RVC'_{GD} = RV_{CGS}(1 + g_m R_D) + R_D = 22{,}5\ K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{RVC_\pi C_\pi + RV_{C_N} C_N + RV_{CGS}\cdot C_{GS} + RVC'_{GD}\cdot C'_{GD}}\right) = 121\ KHz$$