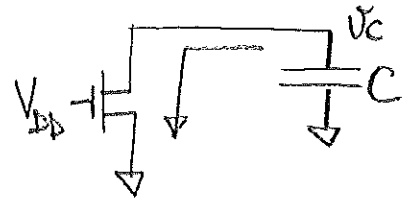


Esame di Elettronica  
 Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni  
 25 giugno 2008  
 Parte A

1. Sia dato un amplificatore con  $A_{v0} = 1000$ , un polo  $s_p = -10 \text{ Krad/s}$   $R_{in}=1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_{out}=200 \Omega$ . Imporre una reazione in modo da ottenere una banda passante di 100 KHz, resistenza d'ingresso minore di 100 K $\Omega$  e una resistenza di uscita maggiore di 1 K $\Omega$ .
2. Disegnare e dimensionare un oscillatore di Colpitts a frequenza 1 MHz, usando un amplificatore con  $A_v = -10$ ,  $R_{in}$  praticamente infinita,  $R_{out}=200 \Omega$ . Giustificare in dettaglio il procedimento.
3. Disegnare e quotare la porta logica complessa CMOS che implementi la seguente funzione logica  $Y = AB + BD + AC + \overline{D}$  con il minimo numero di transistori.
4. Calcolare il tempo necessario per scaricare una capacita' di valore 100 nF con un nMOSFET di pull down con  $k_n=1 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_T=0.5 \text{ V}$ . Ipotizzare che la capacita' sia inizialmente carica a  $V_{DD}= 5 \text{ V}$ , e che possa essere considerata scarica quando la tensione ai suoi capi sia 0.5 V. La tensione applicata al gate dell'nMOSFET sia  $V_{DD}$ . Giustificare in dettaglio il procedimento.



Punteggio totale Parte A: 14

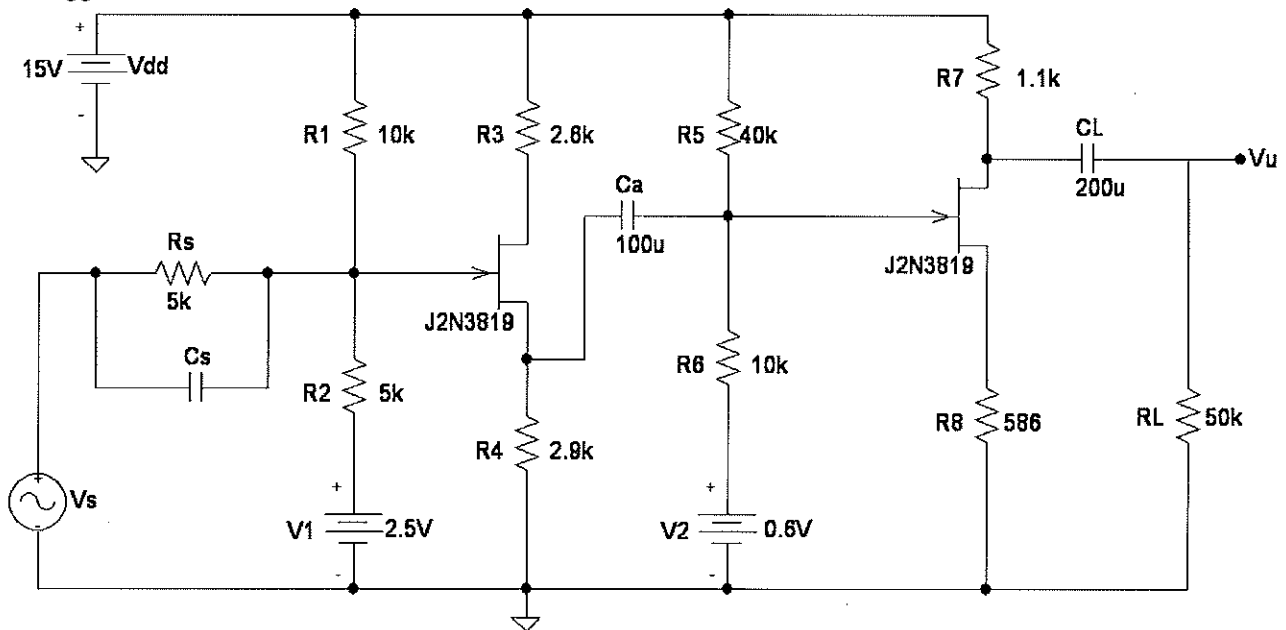
Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione  $V_u/V_s$  a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

NOTA: I JFET sono 2N3819 con  $r_d \rightarrow \infty$ .

Punteggio totale Parte B: 14.



Es. 1

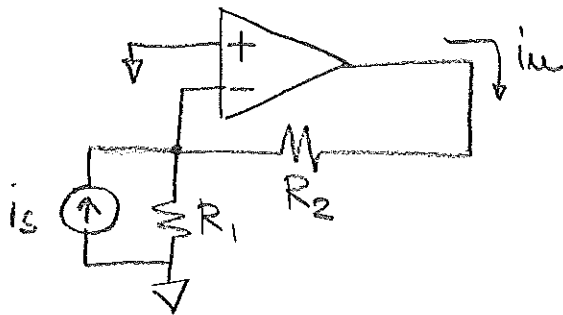
①

|                              |  |                                     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|
| $A_{v0} = 1000$              |  | $\rightarrow f_H = 100 \text{ kHz}$ |
| $s_p = -10 \text{ krad/s}$   |  | $R_{IF} < 100 \text{ k}\Omega$      |
| $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$ |  | $R_{OF} > 1 \text{ k}\Omega$        |
| $R_{out} = 200 \Omega$       |  |                                     |

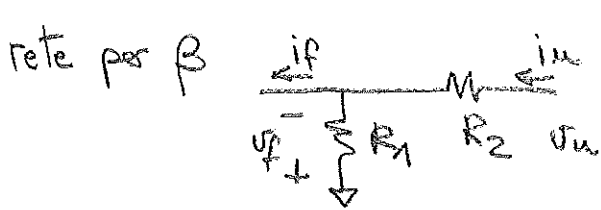
Dobbiamo imporre una reazione negativa parallelo-serie

$$f_H = f_p (1 - \beta A_{e0}) \rightarrow 1 - \beta A_{e0} = \frac{f_H 2\pi}{\omega_p} = \frac{10^5 \cdot 6.28}{10^4} = 62.8$$

con questo valore di  $\beta$  sono automaticamente soddisfatte le condizioni sulle  $R_{IF}$  e  $R_{OF}$



visto che non sono presenti altre indicazioni, poniamo carico nullo ( $R_L = 0$ ) e  $R_s \rightarrow \infty$ .

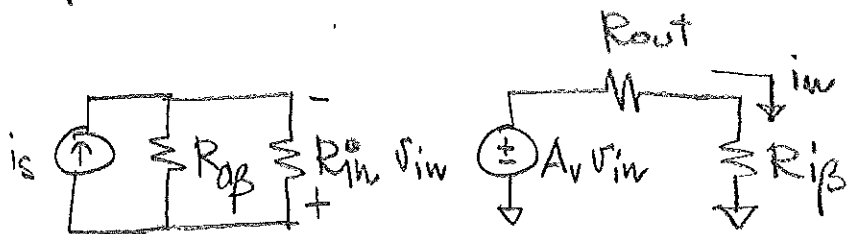


$$i_f = \beta i_u + v_f / R_{of}$$

$$v_u = R_1 i_f + v_f$$

$$\beta = \left. \frac{i_f}{i_u} \right|_{v_f=0} = 1 \quad R_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1 \quad R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_f=0} = R_2$$

rete per  $A_e$



$$A_e = \left. \frac{i_u}{i_s} \right|_{\beta=0} = - \frac{A_{v0} (R_{of} \parallel R_{in}^*)}{R_{out} + R_{if}} = - A_{v0} \frac{R_1 \parallel R_{in}}{R_{out} + R_2}$$

$\uparrow$   
200

$$1 - \beta A_e = 62.8 \rightarrow A_e = -63.8 \quad \text{poniamo } R_1 \ll R_{in} \rightarrow R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

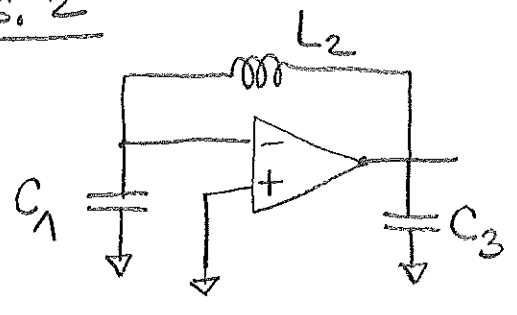
$$\frac{-A_{v0} R_1}{R_{out} + R_2} = -63.8 \rightarrow R_1 = \frac{63.8 \cdot 200}{1000} = 7.66 \Omega$$

Verifica

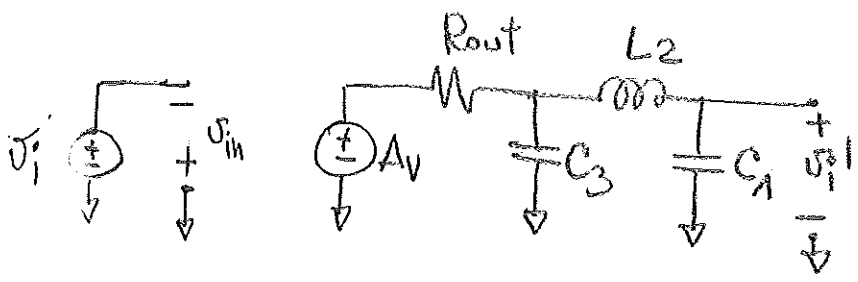
$$R_{IF} = \frac{R_{o\beta} // R_{in}}{(1 - \beta A_{e\omega})} = \frac{76,56}{63,8} = 1,2 \Omega$$

$$R_{oF} = (R_{out} + R_2)(1 - \beta A_{e\omega}) = 1200 \cdot 63,8 = \underline{76,56 \text{ k}\Omega}$$

Es. 2



Calcoliamo il guadagno d'anello



$$\beta A_e = \frac{A_v}{R_{out} + \frac{1}{\frac{1}{C_3 s} \left( L_2 s + \frac{1}{C_1 s} \right)}} \cdot \frac{\frac{1}{C_3 s}}{\frac{1}{C_3 s} + L_2 s + \frac{1}{C_1 s}} \cdot \frac{\frac{1}{C_1 s}}{\frac{1}{C_1 s} + L_2 s}$$

corrente nella maglia di uscita
partitore

$$\beta A_e = \frac{A_v}{R_{out} \left[ \frac{1}{C_3 s} + L_2 s + \frac{1}{C_1 s} \right] + \frac{1}{C_3 s} \left( L_2 s + \frac{1}{C_1 s} \right)} \frac{1}{C_3 s^2} \frac{1}{\frac{1}{C_1 s} + L_2 s}$$

Teorema dei 3 punti  $\frac{1}{C_3 s} + L_2 s + \frac{1}{C_1 s} = 0$

$$\omega_0 - \frac{1}{C_3 \omega_0} + L_2 \omega_0 - \frac{1}{C_1 \omega_0} = 0$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_1}\right) \frac{1}{L_2}} = \omega_0$$

$$\omega_0 = 6.28 \text{ Mrad/s}$$

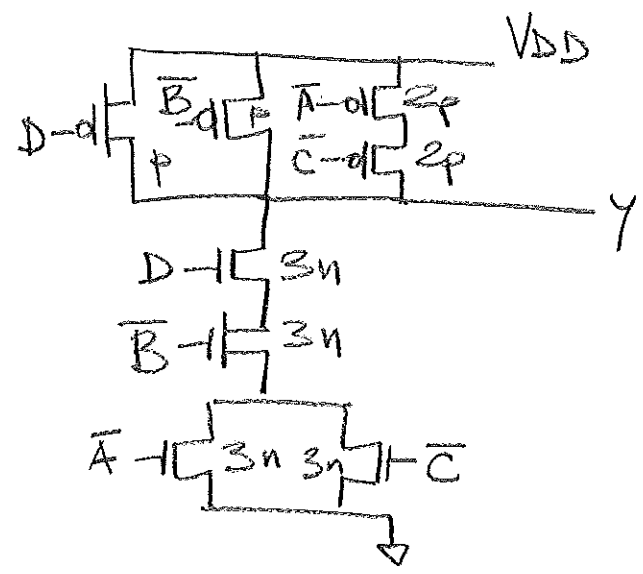
poniamo  $C_1 = C_3 = C = 47 \text{ nF} \rightarrow L_2 = \frac{2}{C \omega_0^2} = 1.08 \mu\text{H}$

Es 3

$$Y = AB + BD + AC + \bar{D}$$

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
|    | AB |    |    |    |
| D  | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 01 | 0  | 1  | 1  | 0  |
| 11 | 0  | 1  | 1  | 1  |
| 10 | 1  | 1  | 1  | 1  |

$$Y = \bar{D} + B + AC$$



Es 4,

finche  $V_{DS} > V_{GS} - V_T \rightarrow v_c > V_{DD} - V_T = 4.5\text{V}$  il transistorore e in zona di saturazione e si scarica a corrente costante

$$I = \frac{K}{2} (V_{DD} - V_T)^2 = \frac{1}{2} (4.5)^2 = 10.125 \text{ mA}$$

$V_c = 4.5\text{V}$  dopo un tempo

$$\tau = \frac{V_T C}{I} = \frac{0.5 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{10.125 \cdot 10^{-3}} = 4.93 \mu\text{s}$$

4

Successivamente il transistoro entra in zona triodo.

In questa regione possiamo approssimare il suo funzionamento con quello di una resistenza equivalente  $R^*$

$$I = K_n (V_{GS} - V_T) V_{DS} \rightarrow R^* = \frac{1}{K_n (V_{DD} - V_T)} = \underline{\underline{222 \Omega}}$$

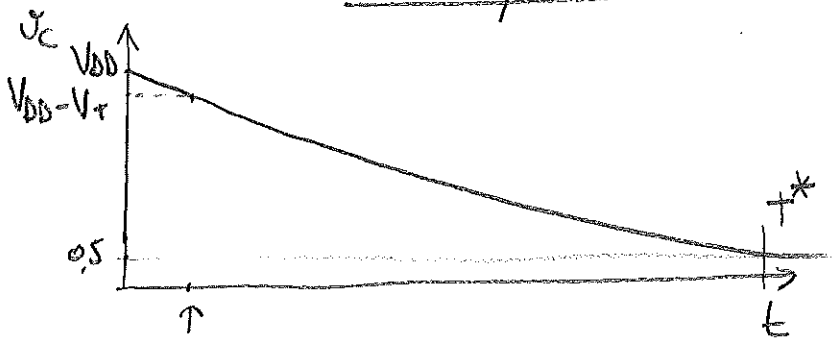
la scarica è esponenziale del tipo

$$V_C(t) = (V_{DD} - V_T) e^{-\frac{t - \tau}{R^* C}}$$

per  $t = t^*$  sia  $V_C(t^*) = 0,5 V$ .

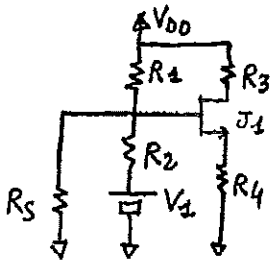
$$0,5 = 4,5 e^{-\frac{t^* - \tau}{RC}}$$

$$t^* = \tau + RC \ln 9 = 4,93 \cdot 10^{-6} + 222 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 2,19 = \underline{\underline{53,6 \mu s}}$$



## PARTE B

### PUNTO DI RIPOSO DI J1:



Per la sovrapposizione degli effetti:

$$V_{G1} = V_{DD} \frac{R_2 // R_5}{R_1 + R_2 // R_5} + V_2 \frac{R_1 // R_5}{R_2 + R_1 // R_5} = 4V$$

Relazione fra  $V_{GS}$  e  $I_{DS}$ :

$$V_{GS1} = V_{G1} - R_4 I_{DS1} \Rightarrow I_{DS1} = \frac{V_{G1} - V_{GS1}}{R_4}$$

Calcolo di due punti a caso:

$$V_{GS1}^I = -1V \Rightarrow I_{DS1}^I = 1,7mA$$

$$V_{GS1}^{II} = -2V \Rightarrow I_{DS1}^{II} = 2,2mA$$

Dal metodo grafico, si ricava:

$$V_{GS1} \approx -2,8V, \quad I_{DS1} \approx 2mA$$

Calcolo di  $V_{DS}$ :

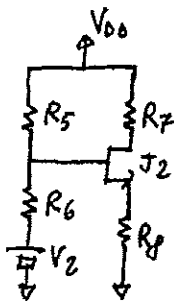
$$V_{DS1} = V_{DD} - (R_3 + R_4) I_{DS1} = 4V$$

Verifica H<sub>1</sub> J1 in Z.S.:

$$V_{GS1} > V_P \quad OK$$

$$V_{DS1} > V_{GS1} - V_P = 1,2V \quad OK$$

### PUNTO DI RIPOSO DI J2:



Per la sovrapposizione degli effetti:

$$V_{G2} = V_{DD} \frac{R_6}{R_5 + R_6} + V_2 \frac{R_5}{R_5 + R_6} = 3,48V$$

Relazione fra  $V_{GS}$  e  $I_{DS}$ :

$$V_{GS2} = V_{G2} - R_8 I_{DS2} \Rightarrow I_{DS2} = \frac{V_{G2} - V_{GS2}}{R_8}$$

Calcolo di due punti a caso:

$$V_{GS2}^I = -1V \Rightarrow I_{DS2}^I = 7,6mA$$

$$V_{GS2}^{II} = -2V \Rightarrow I_{DS2}^{II} = 9,4mA$$

Dal metodo grafico, si ricava:

$$V_{GS2} \approx -0,6V, \quad I_{DS2} \approx 7mA$$

Calcolo di  $V_{DS}$ :

$$V_{DS2} = V_{DD} - (R_F + R_D) I_{DS2} \cong 3,2 \text{ V}$$

Verifica  $H_f$ . J2 in Z.S:

$$V_{GS2} > V_P \text{ OK}$$

$$V_{DS2} > V_{GS2} - V_P = 2,4 \text{ V OK}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE DI J1:

$$g_{m1} \cong 3,5 \text{ mS}, C_{oss} \cong 2,5 \text{ pF}, C_{tss} \cong 4,3 \text{ pF}$$

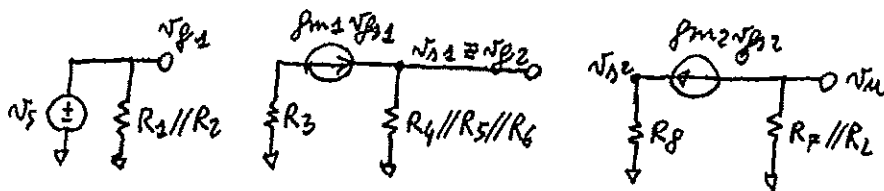
$$C_{GD1} = C_{tss} = 4,3 \text{ pF}, C_{GS1} = C_{oss} - C_{tss} = 1,2 \text{ pF}$$

PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE DI J2:

$$g_{m2} \cong 5,5 \text{ mS}, C_{oss} \cong 3 \text{ pF}, C_{tss} \cong 1,5 \text{ pF}$$

$$C_{GD2} = C_{tss} = 1,5 \text{ pF}, C_{GS2} = C_{oss} - C_{tss} = 1,5 \text{ pF}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



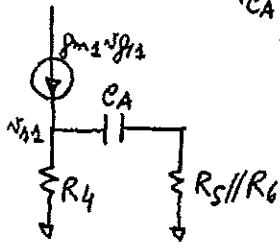
$$\begin{cases} v_u = - (R_F // R_L) g_{m2} v_{g2} \\ v_{g2} = R_8 g_{m2} (v_{g2} - v_{g1}) \Rightarrow v_{g2} = \frac{R_8 g_{m2}}{1 + R_8 g_{m2}} v_{g1} \\ v_{g2} = v_{g1} = g_{m1} (v_{g1} - v_{g2}) (R_4 // R_5 // R_6) \Rightarrow v_{g2} = \frac{g_{m1} (R_4 // R_5 // R_6)}{1 + g_{m1} (R_4 // R_5 // R_6)} v_{g1} \\ v_{g1} = v_s \end{cases}$$

Da cui:

$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_s} = - \frac{g_{m1} (R_4 // R_5 // R_6)}{1 + g_{m1} (R_4 // R_5 // R_6)} \frac{g_{m2} (R_F // R_L)}{1 + R_8 g_{m2}} \cong -1,24$$

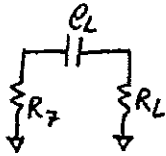
LIMITE INFERIORE DI BANDA:

$R_{VEA}$ :



$$R_{VEA} \Big|_{C_A \text{ corto}} = R_5 // R_6 + R_4 // \frac{1}{g_{m1}} \approx 8,26 \text{ K}\Omega$$

$R_{VEL}$ :

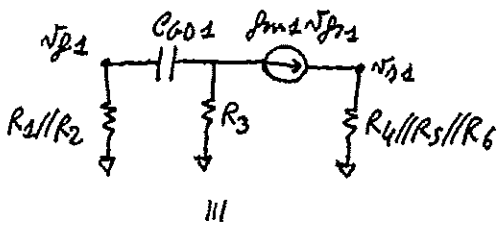


$$R_{VEL} \Big|_{C_A \text{ corto}} = R_L + R_7 = 51,1 \text{ K}\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{C_A R_{VEA}} + \frac{1}{C_L R_{VEL}} \right] \approx 0,2 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:

$R_{G02}$ :



Indichiamo con:

$$R^I = R_1 // R_2$$

$$R^{II} = R_3$$

$$R^{III} = R_4 // R_5 // R_6$$

$$v_{gs1} = R^I \cdot i_p$$

$$v_{d2} = v_g - v_p = -R^{II} (g_{m2} v_{gs2} + i_p)$$

$$v_{gs2} = R^{III} g_{m2} v_{gs1}$$

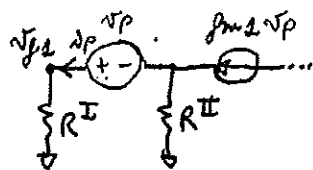
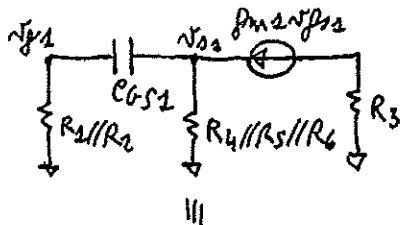
$$v_{gs1} = v_g - v_{d2} = \frac{R^I \cdot i_p}{1 + g_{m2} R^{III}}$$

$$v_p = v_g - v_d = R^I + R^{II} \left[ 1 + \frac{R^I g_{m2}}{1 + g_{m2} R^{III}} \right] i_p$$

$$R_{G02} = \frac{v_p}{i_p} = R^I + R^{II} \left[ 1 + \frac{R^I g_{m2}}{1 + g_{m2} R^{III}} \right] \approx 9,52 \text{ K}\Omega$$



$R_{VGS1}$ :



Quanto a  $R^I = R_1 // R_2$   
 $R^{II} = R_4 // R_5 // R_6$

Allora:  $v_{g2} = v_p$

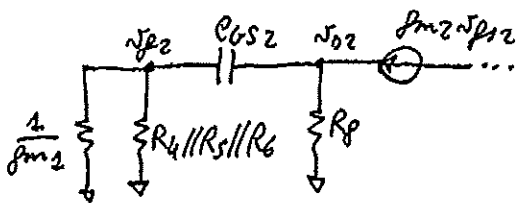
$v_{g2} = R^I \cdot i_p$

$i_{g2} = R^{II} (g_{m1} v_p - i_p)$

Quindi:  $v_{g2} = v_p = R^I i_p - R^{II} (g_{m1} v_p - i_p) \Rightarrow$

$\Rightarrow R_{VGS1} = \frac{v_p}{i_p} = \frac{R^I + R^{II}}{1 + g_{m1} R^{II}} \approx 646 \Omega$

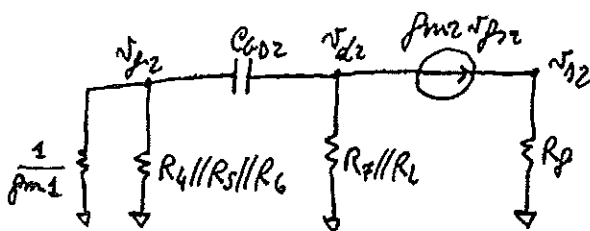
$R_{VGS2}$ :



Si può riutilizzare la formula precedente, sostituendo con  $R^I = R_4 // R_5 // R_6 // \frac{1}{g_{m1}}$  e  $R^{II} = R_p$ . Risulta allora:

$R_{VGS2} = \frac{R^I + R^{II}}{1 + g_{m2} R^{II}} \approx 198 \Omega$

$R_{VGS3}$ :



Anche in questo caso si può riutilizzare la stessa formula usata per la  $R_{VGS1}$ ; questo volta si pone:

$R^I = R_4 // R_5 // R_6 // \frac{1}{g_{m1}}$

$R^{II} = R_7 // R_8$

$R^{III} = R_9$

E quindi:

$R_{VGS3} = R^I + R^{II} \left[ 1 + \frac{R^I g_{m2}}{1 + g_{m2} R^{III}} \right] \approx 1,68 \text{ k}\Omega$

Da cui:

$f_H = \frac{1}{2\pi [C_{GS1} R_{VGS1} + C_{GD1} R_{VGD1} + C_{GS2} R_{VGS2} + C_{GD2} R_{VGD2}]} \approx 4,59 \text{ MHz}$