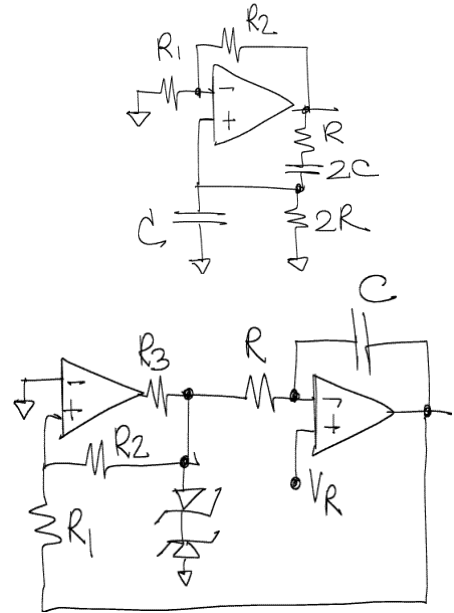


Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
28 gennaio 2009

Parte A

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione in continua $A_{v0} = 200$, $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$, $R_{out} = 500 \Omega$, un polo a frequenza $f_p = 2000 \text{ Hz}$. Inoltre sia $R_s = 1 \text{ K}\Omega$ la resistenza del generatore di segnale e $R_L = 200 \Omega$ la resistenza del carico. Si reazioni il circuito in modo da ottenere una resistenza di ingresso minore di $10 \text{ K}\Omega$ e una resistenza d'uscita compresa tra 10Ω e 20Ω .
2. Sia dato l'oscillatore a lato. Verificare il criterio di Barkhausen all'innesco e calcolare l'eventuale frequenza di oscillazione. Sia $R = 2 \text{ K}\Omega$, $C = 120 \text{ nF}$, $R_1 = 11 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 15 \text{ K}\Omega$.
3. 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 ($R = 10 \text{ K}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$, $R_1 = R_2 = 15 \text{ K}\Omega$, $V_Z = 4.7 \text{ V}$, $V_R = 2 \text{ V}$).
4. Ricavare e quotare una porta complessa CMOS che si comporti come un multiplexer da 3 a 1.



Punteggio totale Parte A: 14

Parte B

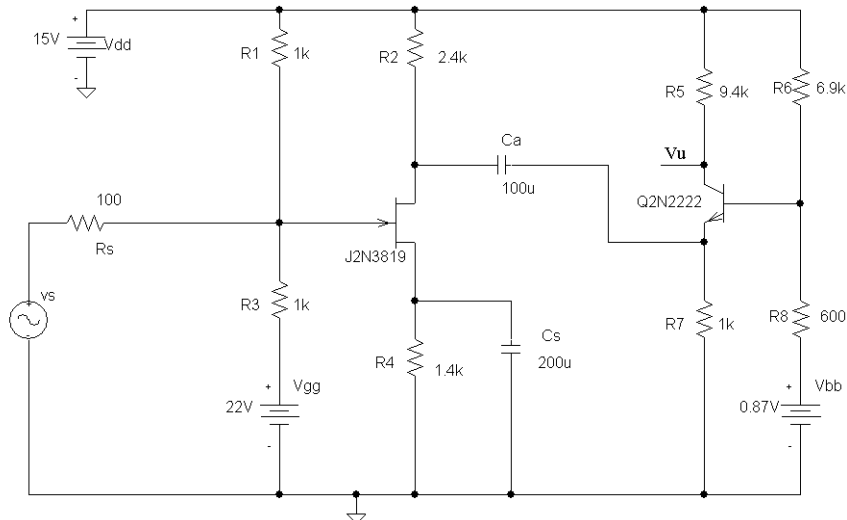
Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

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

NOTE:

- Il BJT è un 2N2222 con $h_{oe} = 0$;
- Il BJT si può considerare resistivo;
- Il JFET è un 2N3819 con $r_d \rightarrow \infty$.

Punteggio totale Parte B: 14.



①

$$f_p = 2000 \text{ Hz}$$

$$A_{vo} = 200$$

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

$$R_{out} = 500 \Omega$$

$$R_s = 1 \text{ K}\Omega$$

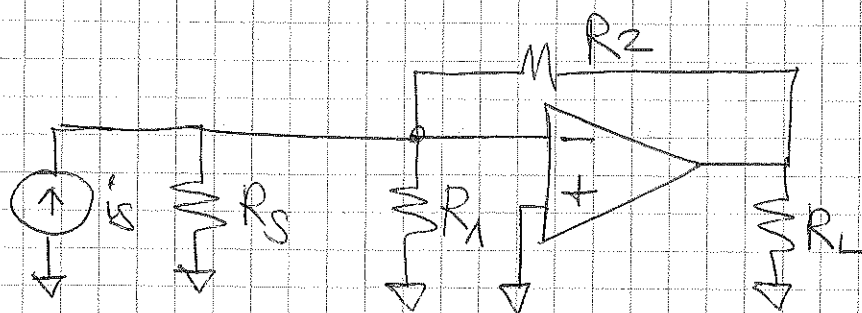
$$R_L = 200 \Omega$$

Vogliamo avere

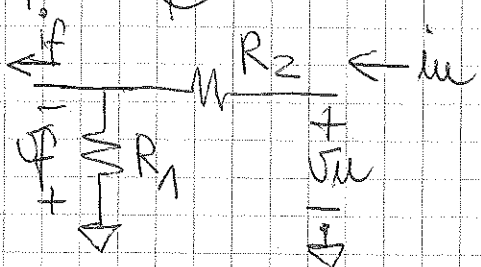
$$R_{IF} < 10 \text{ K}\Omega$$

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

Abbiamo bisogno di una reazione con prelievo di tensione e ~~inserazione~~ e inserazione di corrente



rete per il β



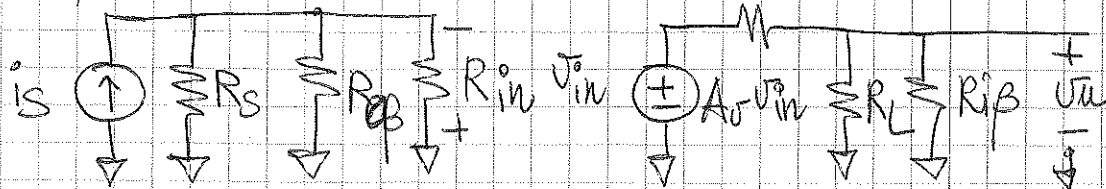
$$i_F = \beta v_u + \frac{v_F}{R_{o\beta}}$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_{i\beta}} + \cancel{R_{o\beta} i_F}$$

$$\beta = \left. \frac{i_F}{v_u} \right|_{v_F=0} = \frac{1}{R_2}; \quad R_{o\beta} = \left. \frac{v_F}{i_F} \right|_{v_u=0} = R_1 \parallel R_2; \quad R_{i\beta} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{v_F=0} = R_2$$

rete per A_e

$$A_e = \left. \frac{v_u}{i_s} \right|_{\beta=0} = (R_s \parallel R_{in} \parallel R_{o\beta}) A_v \frac{R_L \parallel R_{i\beta}}{R_L \parallel R_{i\beta} + R_{out}}$$



$$R_{iF} = \frac{(R_{oB} \parallel R_{in})}{1 - \beta A_e} \stackrel{111 \Omega}{<} 10 \text{ k}\Omega$$

$R_S \rightarrow \infty$

$$10 \Omega < R_{oF} = \frac{(R_{out} \parallel R_{i\beta})}{1 - \beta A_e} \stackrel{500 \Omega}{<} 20 \Omega$$

$R_L \rightarrow \infty$

Se poniamo $R_S = 1 - \beta A_e \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = 25$ e $R_{i\beta} = R_2 > 500 \Omega$

la seconda condizione è soddisfatta. ~~Assumendo molto molto grande~~
 Sicuramente è anche soddisfatta la prima, se non scegliamo R_2 troppo alta.

$$1 - \beta A_e \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = 1 + \frac{1}{R_2} (R_S \parallel R_{in} \parallel R_1 \parallel R_2) A_v \frac{R_L \parallel R_2}{R_L \parallel R_2 + R_{out}} = 25$$

se poniamo $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ abbiamo

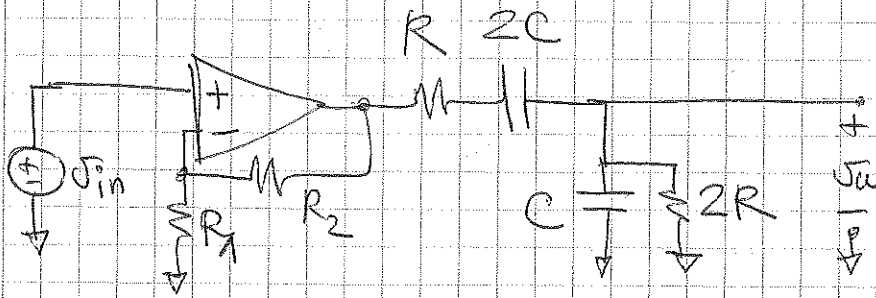
$$\frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_{in}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{A_v}{25} \cdot \frac{R_L \parallel R_2}{R_L \parallel R_2 + R_{out}} \cdot \frac{1}{R_2}$$

da cui $R_1 = 90,9 \text{ k}\Omega$

$$\text{abbiamo } R_{iF} = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in}}{1 + \frac{1}{R_2} (R_{in} \parallel R_1 \parallel R_2) A_v \frac{R_L \parallel R_2}{R_L \parallel R_2 + R_{out}}} = \frac{988}{1 + 49,26} = 19,65 \Omega$$

$$R_{oF} = \frac{R_{out} \parallel R_2}{25} = \frac{333}{25} = 13,32$$

② Apriamo l'anello di reazione



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

$$\beta A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{2RCs}{4RC^2s^2 + 1 + 2RCs} =$$

$$= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{2RCs}{4RC^2s^2 + 8RCs + 1}$$

$$\beta A(j\omega) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{2j\omega RC}{-4RC\omega^2 + 8jRC\omega + 1}$$

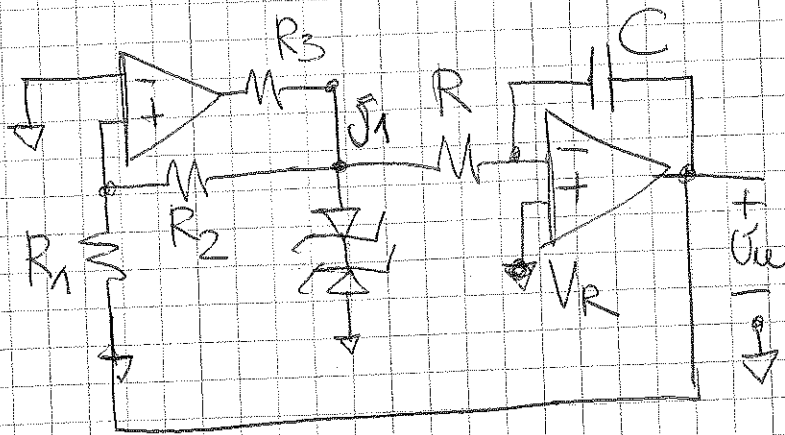
$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{2RC}} \quad \text{fase nulla} \quad \omega_0 = \frac{1}{2 \cdot 2000 \cdot 120 \cdot 10^{-9} \cdot 2\pi} = 332 \text{ Hz}$$

$$|\beta A(j\omega_0)| = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{4}$$

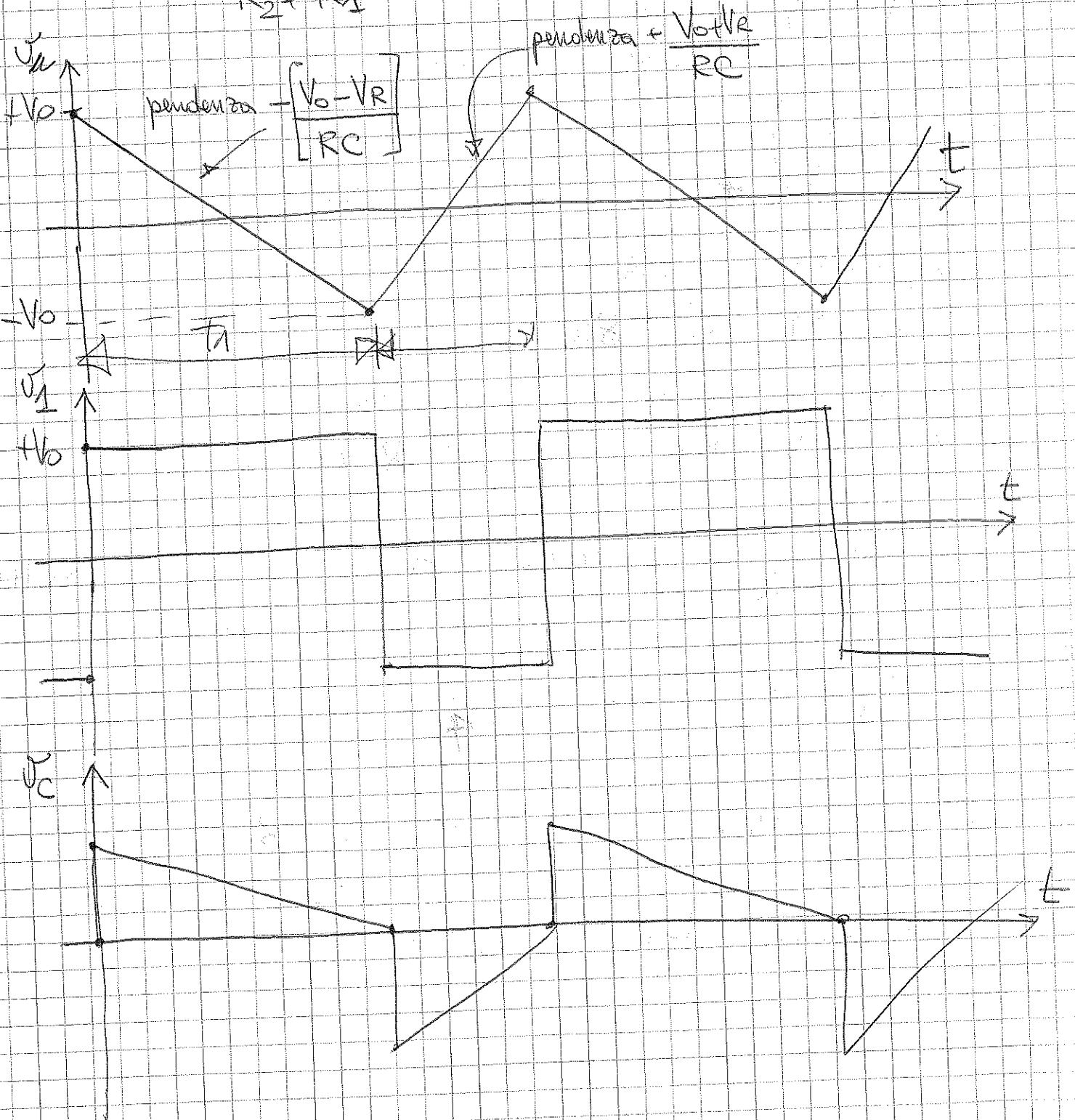
per avere $|\beta A(j\omega_0)| > 1 \rightarrow \frac{R_2 > 3R_1}{15k\Omega > 22k\Omega \text{ No}}$

l'oscillazione NON SI INNESCA

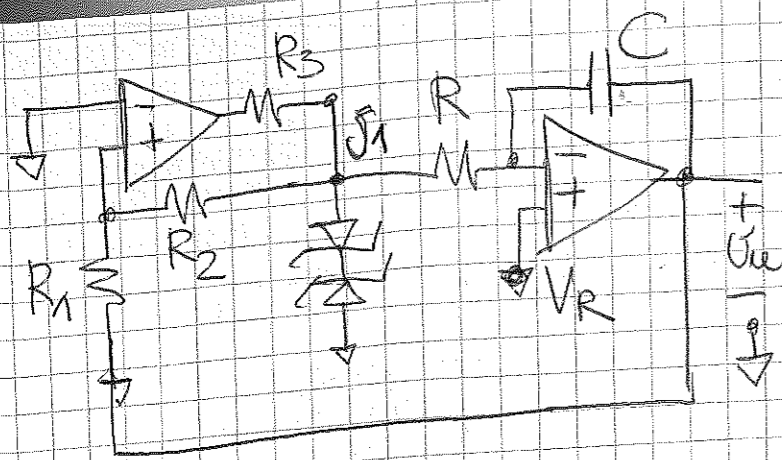
(3)



$$V_t = \frac{R_2 V_u + R_1 V_1}{R_2 + R_1} \quad V_t = 0 \text{ se } V_u = -V_1 \frac{R_1}{R_2} = -V_1$$

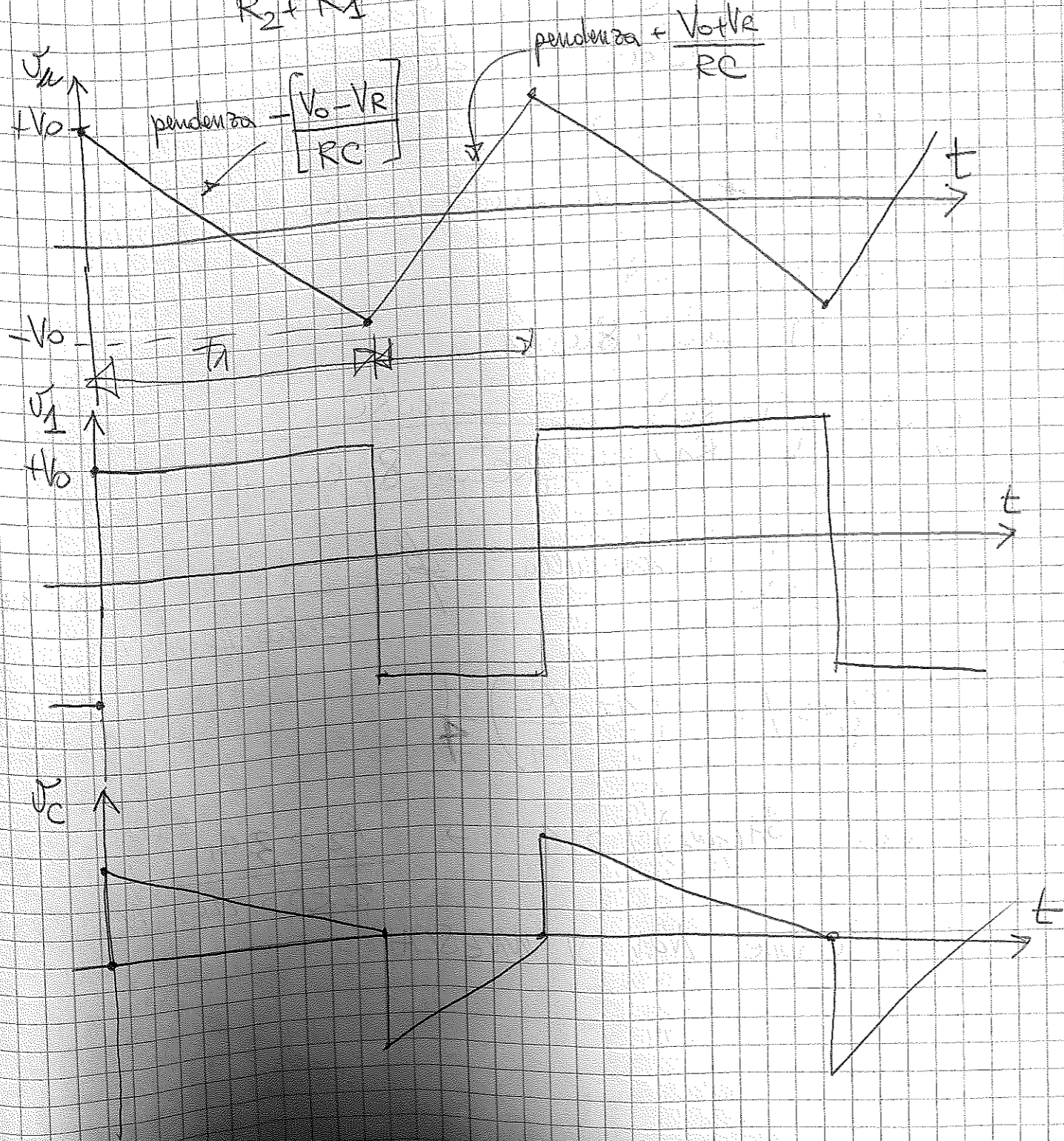


3



$$U_f = \frac{R_2 U_u + R_1 U_1}{R_2 + R_1}$$

$$U_f = 0 \text{ se } U_u = -U_1 \frac{R_1}{R_2} = -U_1$$



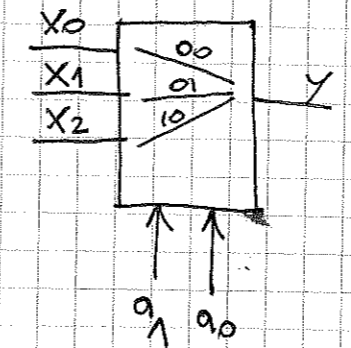
$$T_1 = \frac{2V_0}{V_0 - V_R} \cdot RC = \frac{2 \cdot 5,4}{5,4 - 2} \cdot 10^{-8} = 3,174 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$T_2 = \frac{2V_0}{V_0 + V_R} \cdot RC = \frac{2 \cdot 5,4}{5,4 + 2} = 1,459 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

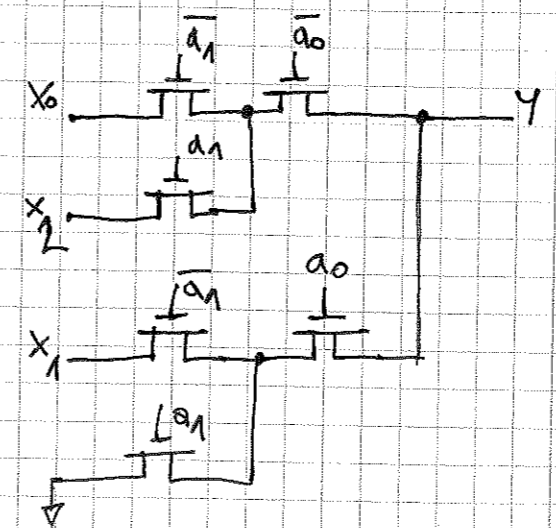
$$T = T_1 + T_2 = 4,636 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

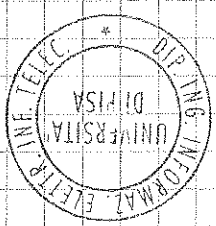
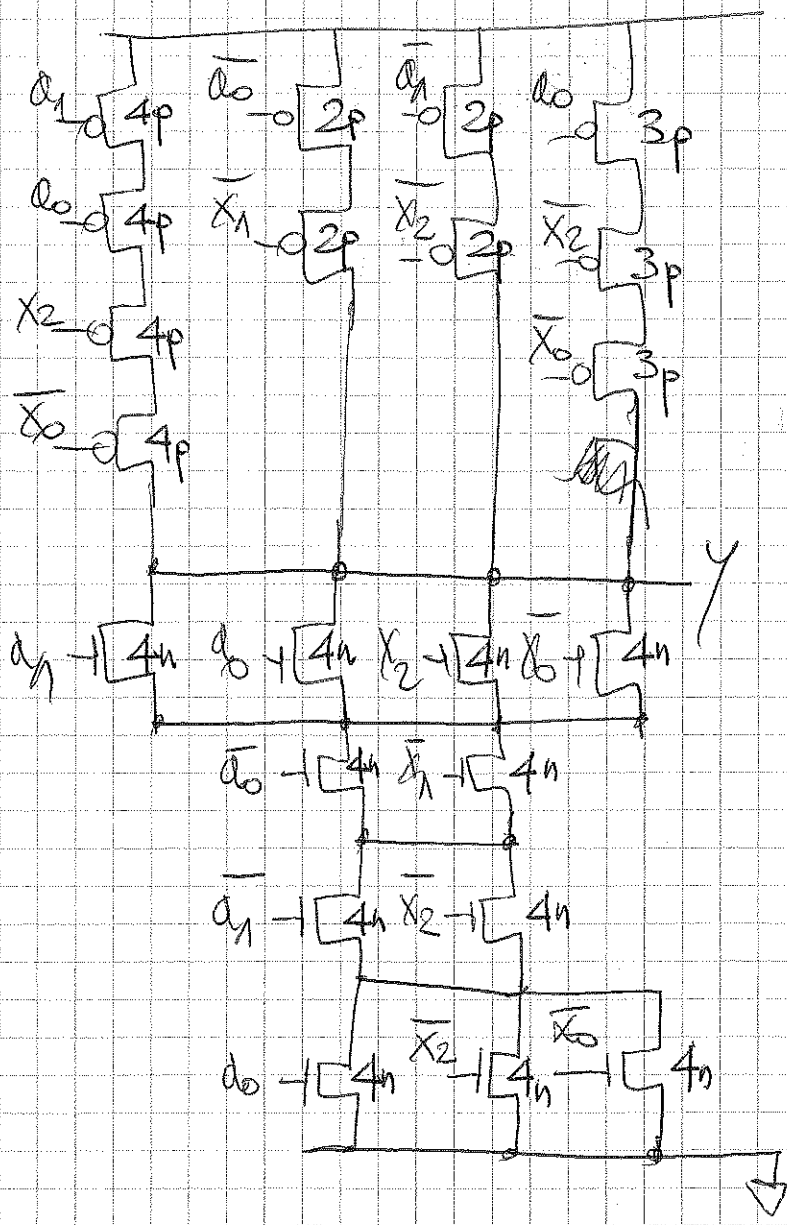
$$\delta = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 0,685$$

4



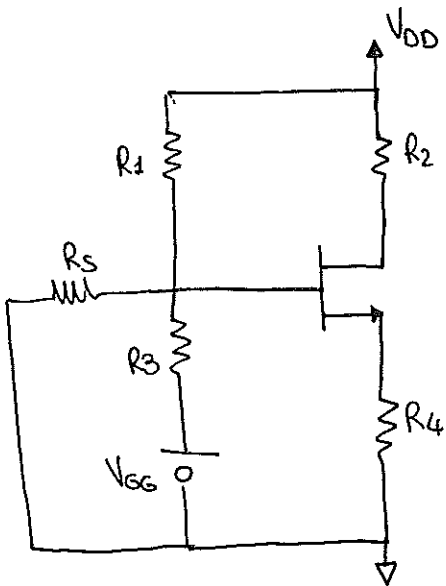
$a_1 a_0$	Y
00	X_0
01	X_1
10	X_2
11	0





PARTE B

PUNTO DI RIPOSO JFET:



... Sovrapposizione degli effetti:

$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_3 // R_5}{R_1 + R_3 // R_5} + V_{GG} \cdot \frac{R_1 // R_5}{R_3 + R_1 // R_5} \cong 3,08 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_4 \cdot I_{DS}$$

$$I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_4}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = -1 \text{ V} \Rightarrow I_{DS} \cong 2,9 \text{ mA} \\ V_{GS} = -2 \text{ V} \Rightarrow I_{DS} \cong 3,7 \text{ mA} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow V_{GS} = -1,5 \text{ V}; I_{DS} \cong 3,2 \text{ mA}$$

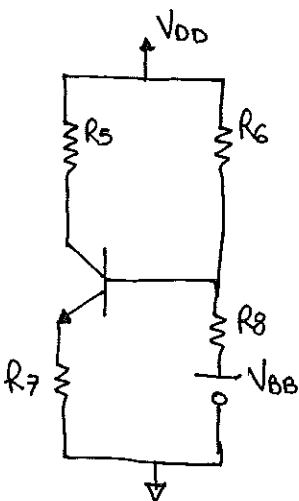
$$V_{DS} = V_{DD} - (R_2 + R_4) \cdot I_{DS} \cong 2,88 \text{ V}$$

VERIFICA HP. JFET
IN SATURAZIONE:

$$V_{GS} > V_{GS\text{off}} = -3 \text{ V} \Rightarrow \text{OK}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{GS\text{off}} = 1,5 \text{ V} \Rightarrow \text{OK}$$

PUNTO DI RIPOSO BJT:



Hp. P.P. + sovrapposizione degli effetti

$$V_B = V_{DD} \cdot \frac{R_8}{R_6 + R_8} + V_{BB} \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_8} \cong 2 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,3 \text{ V}$$

$$I_C \cong I_E = \frac{V_E}{R_7} = 1,3 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_5 + R_7) \cdot I_C = 1.5 \text{ V}$$

VERIFICA HP. DI

PARTITORE PESANTE:
$$h_{FE} = \frac{300 + 50}{2} = 175$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 7,4 \mu\text{A}$$

$$I_{R_6} = \frac{V_{DD} - V_B}{R_6} = 1,9 \text{ mA} \quad I_{R_8} = I_{R_6}$$

$$I_B \ll I_{R_8}, I_{R_6} \Rightarrow \text{OK}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE JFET

$$g_m \cong 4 \text{ mS}; \quad C_{iss} \cong 2,7 \text{ pF}; \quad C_{rss} \cong 1,3 \text{ pF}$$

$$C_{GD} = C_{rss} = 1,3 \text{ pF}; \quad C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1,4 \text{ pF}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE BJT

$$h_{FE} = \frac{50 + 300}{2} = 175$$

$$r_{ie} @ 1 \text{ mA} = \frac{2 \text{ k}\Omega + 8 \text{ k}\Omega}{2} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{b'e} @ 1 \text{ mA} = \frac{V_T \cdot h_{FE}}{I_C @ 1 \text{ mA}} = 4,55 \text{ k}\Omega$$

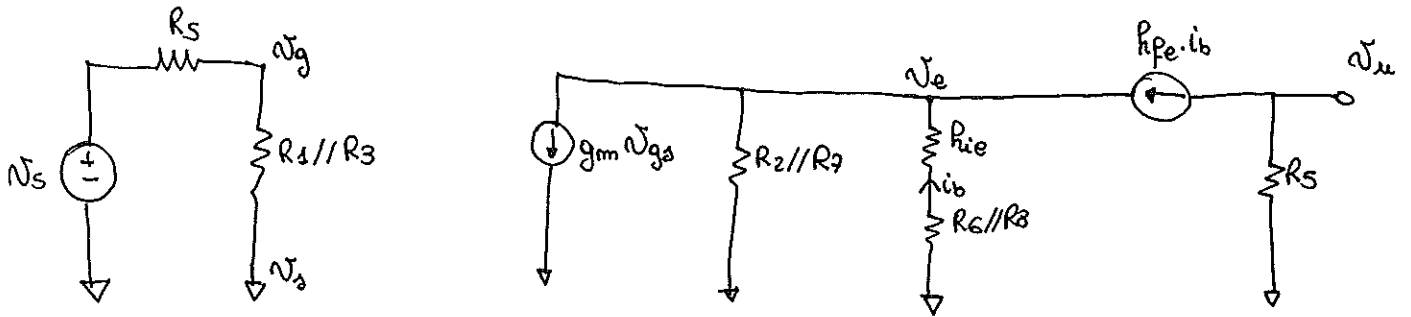
$$r_{bb'} = r_{ie} - r_{b'e} = 450 \Omega$$

$$r_{b'e} = \frac{V_T \cdot h_{FE}}{I_C} = 3,5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{ie} = r_{bb'} + r_{b'e} = 3,95 \text{ k}\Omega$$

$$f_T \approx 110 \text{ MHz}$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$v_u = -R_5 h_{fe} \cdot i_b \quad (1)$$

$$\begin{cases} i_b = -\frac{v_e}{R_6 // R_8 + h_{ie}} \\ v_e = (R_2 // R_7) [(h_{fe} + 1) \cdot i_b - g_m v_{gs}] \end{cases}$$

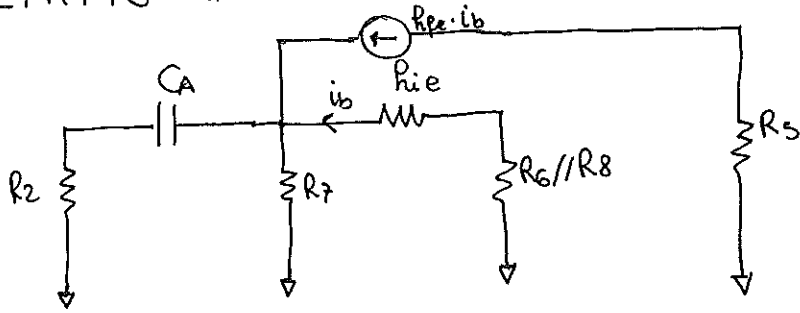
$$i_b = \frac{(R_2 // R_7) g_m v_{gs}}{(R_6 // R_8) + h_{ie} + (R_2 // R_7) (h_{fe} + 1)} \quad (2)$$

$$v_{gs} = R_1 // R_3 \cdot \frac{v_s}{R_s + R_1 // R_3} \quad (3)$$

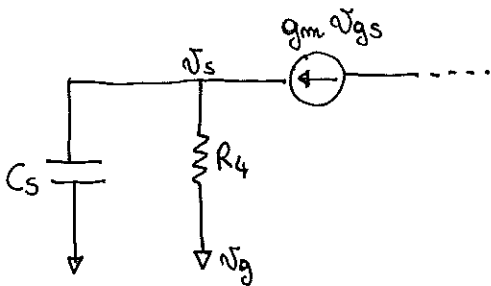
Da (1), (2) e (3) si ricava:

$$A_{ce} = \frac{v_u}{v_s} = -R_5 \cdot h_{fe} \frac{R_2 // R_7 \cdot g_m}{R_6 // R_8 + h_{ie} + R_2 // R_7 (h_{fe} + 1)} \cdot \frac{R_1 // R_3}{R_s + R_1 // R_3} \approx$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA:



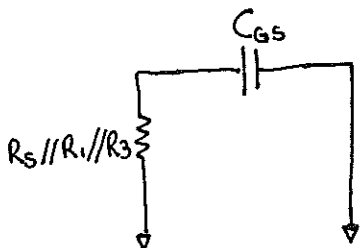
$$R_{VCA} \Big|_{C_S \text{ CORTO}} = R_2 + \left[R_7 \parallel \left(\frac{h_{ie} + R_6 \parallel R_8}{R_{pe} + 1} \right) \right] \cong 2,42 \text{ K}\Omega$$



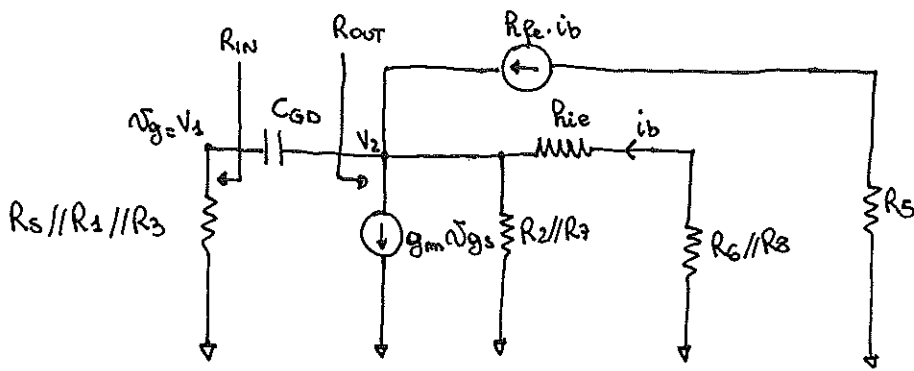
$$R_{VCS} \Big|_{C_A \text{ CORTO}} = R_4 \parallel \frac{1}{g_m} \cong 211,8 \Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_A \cdot R_{VCA}} + \frac{1}{C_S \cdot R_{VCS}} \right] \cong 4,4 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:



$$R_{VGS} = R_5 \parallel R_1 \parallel R_3 \cong 83,3 \Omega$$



$$R_{IN} = R_{VGS} = R_S // R_1 // R_3 \cong 83,3 \Omega$$

$$R_{OUT} = R_2 // R_7 // \left[\frac{R_{ie} + R_6 // R_8}{R_{fe} + 1} \right] \cong 24,7 \Omega$$

$$A_V = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-i_b \cdot (R_{ie} + R_6 // R_8)}{V_{gs}}$$

LEGGE AL NODO 2 :

$$g_m V_{gs} = (R_{fe} + 1) \cdot i_b - \frac{V_2}{R_2 // R_7}$$

$$V_{gs} = \left[\frac{R_{fe} + 1}{g_m} + \frac{(R_{ie} + R_6 // R_8)}{(R_2 // R_7) g_m} \right] i_b$$

$$A_V = - \frac{(R_{ie} + R_6 // R_8)}{\frac{R_{fe} + 1}{g_m} + \frac{(R_{ie} + R_6 // R_8)}{(R_2 // R_7) \cdot g_m}} \cong -0,0987$$

$$R_{VGD} = R_{IN} (1 + |A_V|) + R_{OUT} \cong 116,22 \Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [C_{GS} \cdot R_{GS} + C_{GD} \cdot R_{VGD}]} \cong 594 \text{ MHz}$$