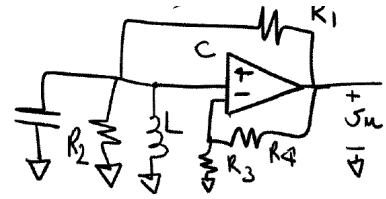
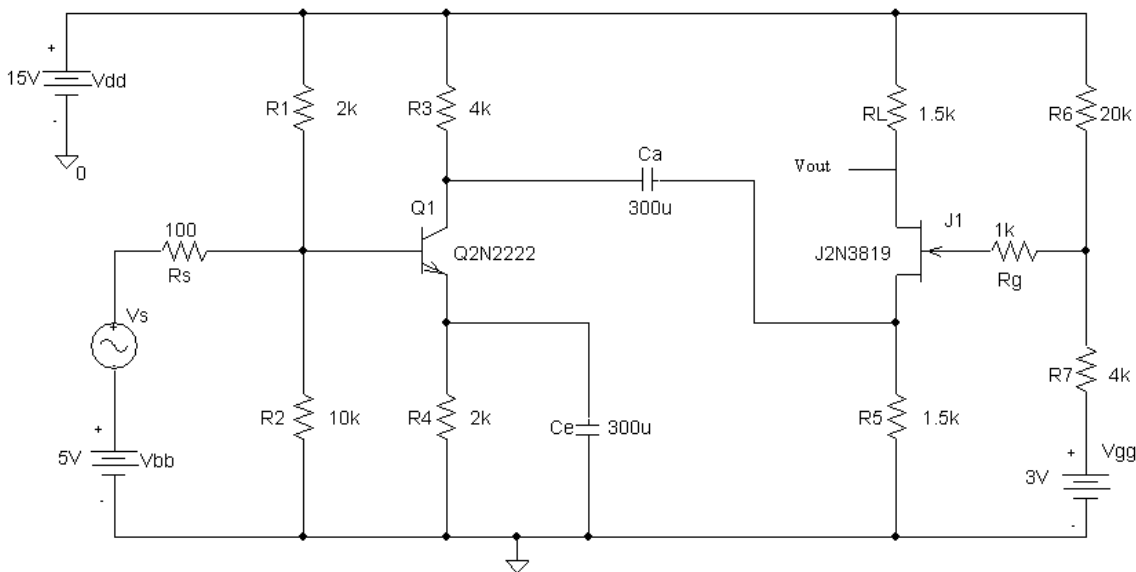


**Esame di Elettronica - Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni**  
29 gennaio 2015

1. Si consideri un amplificatore con amplificazione di tensione  $A_{v0}=2000$ ,  $R_{in} = 150 \text{ K}\Omega$ ,  $R_{out} = 1 \text{ K}\Omega$ , un polo a frequenza  $f_p = 1 \text{ KHz}$ . Si reazioni in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di  $1 \text{ M}\Omega$ , una resistenza di uscita maggiore di  $50 \text{ K}\Omega$ , e una banda di  $100 \text{ KHz}$ . Si consideri la resistenza del generatore nulla, e la resistenza del carico di  $100 \Omega$ .
2. Sia dato il circuito mostrato a lato. Verificare la possibilità che si inneschi un'oscillazione e a che frequenza. ( $L = 50 \mu\text{H}$ ,  $C = 4.7 \mu\text{F}$ ,  $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $R_3 = 3 \text{ K}\Omega$ ,  $R_4 = 5 \text{ K}\Omega$ ).

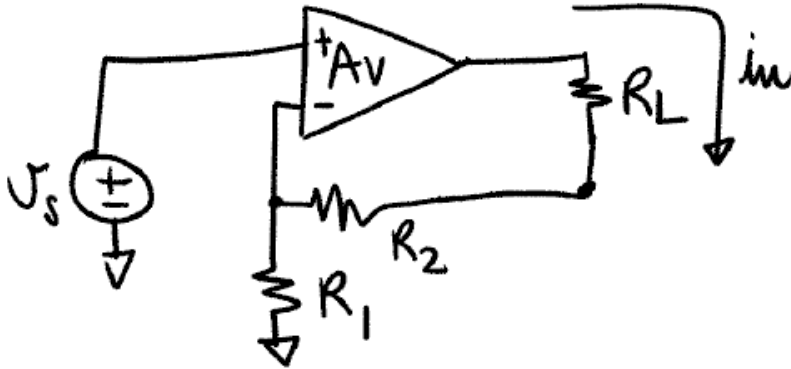


3. Con riferimento al circuito mostrato a lato, calcolare:
  - il punto di riposo dei due transistori Q1 e Q2 e i parametri del circuito di piccolo segnale.
  - la funzione di trasferimento a centro banda.
  - il limite superiore di banda
  - Si consideri  $V_p = V_{GS(off)} = -3 \text{ V}$
  - Note: il bipolare è un 2n2222 con  $h_{oe} = 0$  e  $h_{re} = 0$ . Il JFET è un 2N39819 con  $r_d$  infinita.

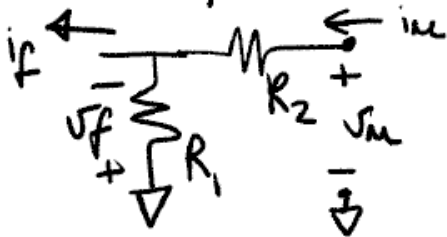


Esercizio 1

Scegliamo una reazione negativa con prelievo di CORRENTE e inserzione di TENSIONE.



Rete per il  $\beta$ :

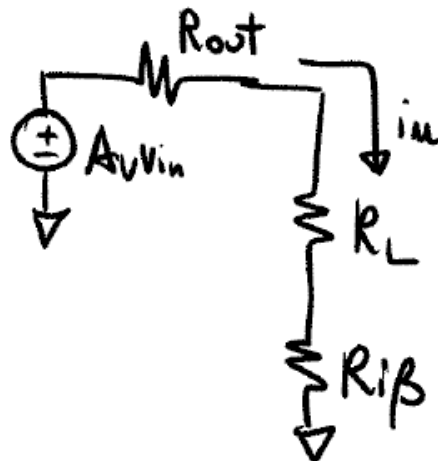
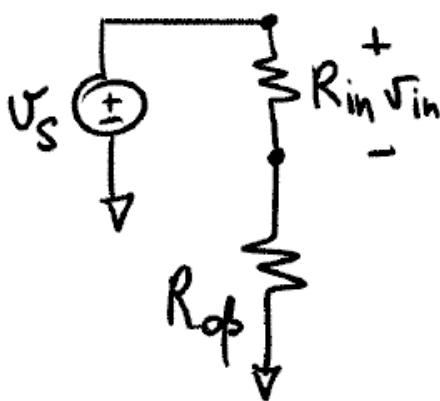


$$V_f = \beta i_u + R_o \beta i_f$$

$$V_u = R_{in} i_u + \cancel{V_f}$$

$$\beta = \left. \frac{V_f}{i_u} \right|_{i_f=0} = -R_1; \quad R_o \beta = \left. \frac{V_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1; \quad R_i \beta = \left. \frac{V_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R_1 + R_2$$

Rete x  $A_e$



$$A_e \triangleq \left. \frac{i_u}{V_s} \right|_{\beta=0} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_o \beta} A_v \frac{1}{R_L + R_i \beta + R_o u t}$$

$$1 - \beta A_e = 1 + \frac{R_1 \cdot R_{in}}{R_{in} + R_1} A_v \frac{1}{R_L + R_1 + R_2 + R_{out}}$$

$$f_H = (1 - \beta A_e) f_p \rightarrow \underline{1 - \beta A_e = 100}$$

$\uparrow$  100kHz                       $\uparrow$  1kHz

$$R_{IF} = (R_{in} + R_o \beta) (1 - \beta A_e) \rightarrow R_{IF} > 15 \text{ M}\Omega > 1 \text{ M}\Omega$$

$\uparrow$  150k $\Omega$                        $\uparrow$  100

quindi è sempre verificata se  $1 - \beta A_e = 100$

$$R_{OF} = (R_{out} + R_i \beta) (1 - \beta A_e) \Rightarrow R_{OF} > 100 \text{ k}\Omega$$

$\uparrow$  1k $\Omega$                        $\uparrow$   $R_L = 0$                        $\uparrow$  50k $\Omega$

> 100 perché  $A_e|_{R_L=0} > A_e$  Anche la condizione su  $R_{OF}$  è verificata se  $1 - \beta A_e = 100$

Per rispettare tutte le condizioni è sufficiente fare in modo che

$$1 - \beta A_e = 1 + \frac{R_1 \cdot R_{in}}{R_{in} + R_1} A_v \frac{1}{R_L + R_1 + R_2 + R_{out}} = 100$$

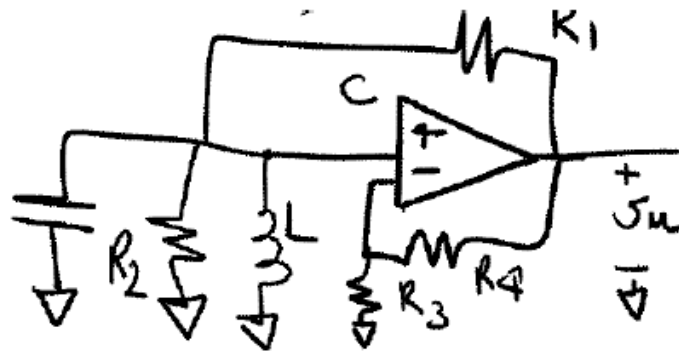
Scegliamo  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

otteniamo

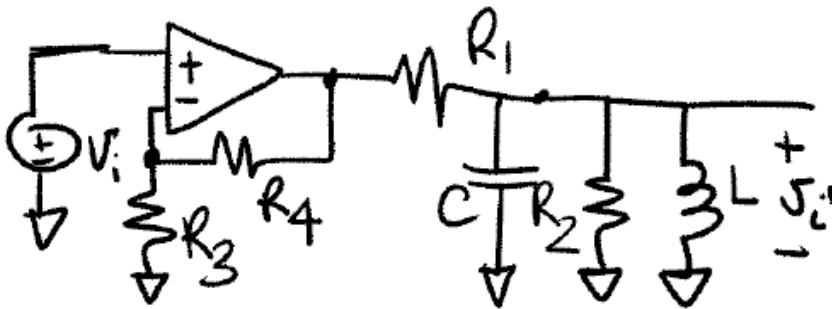
$$R_2 + R_1 + R_L + R_{out} = \frac{R_1 R_{in}}{R_{in} + R_1} A_v \frac{1}{99}$$

da cui  $R_2 = 178,3 \text{ k}\Omega$   $\rightarrow$   $R_{IF} = 16 \text{ M}\Omega$   
 $R_{OF} = 18,9 \text{ M}\Omega$

Esercizio 2



Apriamo l'anello di reazione e calcoliamo il  $\beta A_e$



$$\beta A_e = \frac{u_o'}{u_i'} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{\left[j\omega C + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega L}\right]^{-1}}{\left[j\omega C + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega L}\right]^{-1} + R_1}$$

$$= \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{\left[\frac{j\omega L + R_2 - R_2\omega^2 LC}{R_2 j\omega L}\right]^{-1}}{\left[\frac{j\omega L + R_2 - R_2\omega^2 LC}{R_2 j\omega L}\right]^{-1} + R_1}$$

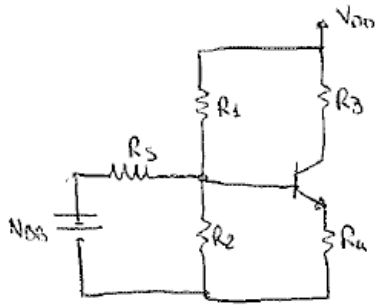
$$= \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_2 j\omega L}{R_2 j\omega L + R_1 R_2 + j R_1 \omega L - R_2 R_1 \omega^2 LC}$$

$$\angle \beta A_e = 0 \Rightarrow \omega^2 LC = 1 \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\beta A_e(\omega_0) = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 1.3331 \quad \left| f_0 = 10.4 \text{ KHz} \right.$$

### Esercizio 3

#### PUNTO DI RIPOSO BJT



H.p. sovrapposizione degli effetti e partitore pesante

$$V_B = V_{B1} + V_{B2}$$

$$V_{B1} = \frac{R_2 // R_S}{R_2 // R_S + R_1} \cdot V_{DD} \approx 0.68 \text{ V}$$

$$V_{B2} = \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_S} \cdot V_{BE} \approx 4.72 \text{ V}$$

$$V_B = V_{B1} + V_{B2} = 5.4 \text{ V}$$

$$V_{BE} = V_B - V_E \Rightarrow V_E = V_B - V_{BE} = V_B - V_S = 4.7 \text{ V}$$

$$I_E \approx I_C = \frac{V_E}{R_E} = 2.35 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_3 + R_E) \cdot I_C = 0.9 \text{ V}$$

VERIFICA H.P.  
PARTITORE PESANTE

$$P_{FE} = \frac{P_{FE,MAX} + P_{FE,MIN}}{2} \approx \frac{300 + 50}{2} = 155$$

$$I_{RS} = \frac{V_B - V_{BE}}{R_S} = 4 \text{ mA}$$

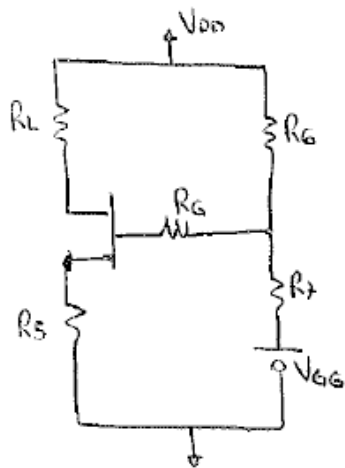
$$I_{R1} = \frac{V_{DD} - V_B}{R_1} = 4.8 \text{ mA}$$

$$I_{R2} = \frac{V_B}{R_2} = 0.54 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{FE}} \approx 15.16 \mu\text{A}$$

$$I_B \ll I_{RS}, I_{R1}, I_{R2} \quad \text{OK!}$$

## PUNTO DI RIPOSO JFET



Hp. Sovrapposizione degli effetti

$$V_G = V_{G1} + V_{G2}$$

$$V_{G1} = V_{DD} \cdot \frac{R_7}{R_6 + R_7} = 2.5V$$

$$V_{G2} = V_{GG} \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_7} = 2.5V$$

$$V_G = V_{G1} + V_{G2} = 5V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S \cdot I_{DS} \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = 0 \Rightarrow I_{DS} = 3.33mA \\ V_{GS} = -3V \Rightarrow I_{DS} = 5.33mA \end{array} \right.$$

Tracciando la retta sulle caratteristiche si ottiene

$$V_{GS} \cong -1.3V \quad I_{DS} \cong 4mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_L + R_S) \cdot I_{DS} = 3V$$

VERIFICA JFET  
IN SATURAZIONE

$$V_{GS} > V_{GSoff} = -3V \quad \text{OK!}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{GSoff} = 1.7V \quad \text{OK!}$$

CALCOLO PARAMETRI PICCOLO SEGNALE BJT

$$R_{pe} = \frac{R_{pe,max} + R_{pe,min}}{2} = \frac{300 + 50}{2} = 175$$

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

$$r_{b'e} @ 1mA = \frac{V_T \cdot R_{pe}}{I_c @ 1mA} = 4.55k\Omega$$

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

$$r_{hie} = r_{b'e} + r_{b'b'} = \frac{V_T \cdot R_{pe}}{I_c} + r_{b'b'} \cong 2.39k\Omega$$

$$f_T \cong 150 \text{ MHz}$$

$$g_m^{BJT} = \frac{I_c}{V_T} \cong 40.38 \text{ mS}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = (0.9 - 0.7) \text{ V} = 0.2 \text{ V}$$

$$C_{b'c} \cong 10 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m^{BJT}}{2\pi f_T} - C_{b'c} \cong 86 \text{ pF}$$

CALCOLO PARAMETRI PICCOLO SEGNALE JFET

$$g_m \cong 4.5 \text{ mS}$$

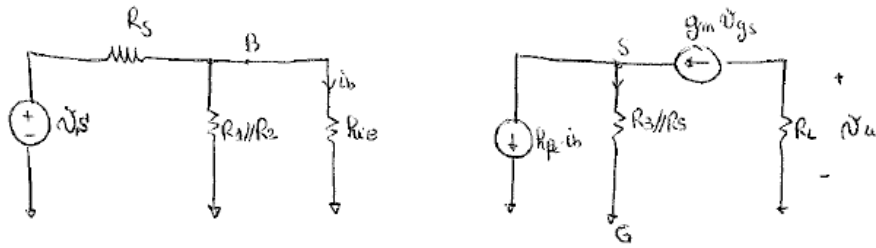
$$C_{iss} \cong 2.8 \text{ pF}$$

$$C_{rss} \cong 1.4 \text{ pF}$$

$$C_{GD} = C_{rss} = 1.4 \text{ pF}$$

$$C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.4 \text{ pF}$$

### GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$V_u = -R_L g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = -V_s \Rightarrow V_u = R_L g_m V_s$$

$$V_s = (R_3/R_s) \cdot (g_m V_{gs} - R_{fe} i_b)$$

$$V_s = R_3/R_s g_m V_{gs} - R_3/R_s R_{fe} i_b$$

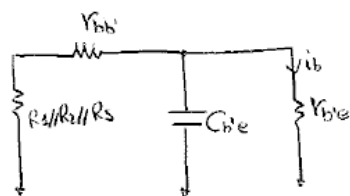
$$V_s = -R_3/R_s g_m V_s - R_3/R_s R_{fe} i_b$$

$$V_s = -\frac{R_3/R_s \cdot R_{fe} \cdot i_b}{1 + g_m R_3/R_s}$$

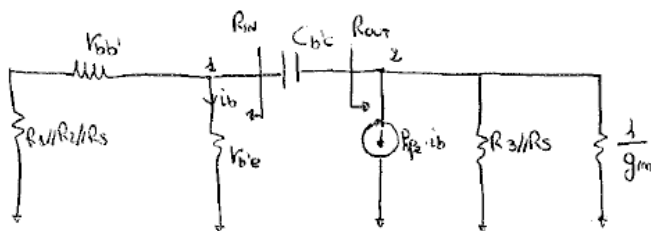
$$i_b = \frac{V_s}{R_s + (R_1/R_2 // R_{ie})} \cdot \frac{R_1/R_2}{R_1/R_2 + R_{ie}}$$

$$A_{CB} = \frac{V_u}{V_s} = -R_L g_m \frac{R_3/R_s R_{fe}}{1 + g_m R_3/R_s} \cdot \frac{1}{R_s + (R_1/R_2 // R_{ie})} \cdot \frac{R_1/R_2}{(R_1/R_2) + R_{ie}} \cong -83$$

### LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{V_{C_{b'e}}} = V_{b'e} // [V_{bb'} + R_1/R_2 // R_s] \cong 686 \Omega$$



$$R_{V_{C_{b'e}}} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out}$$

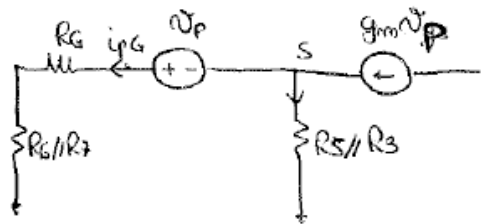
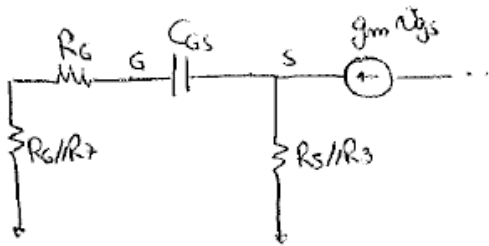


$$R_{in} = R_{V_{cb'e}} \approx 486 \Omega$$

$$R_{out} = R_3 // R_5 // \frac{1}{g_m} \approx 185 \Omega$$

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = - \frac{R_{out} R_2 \cdot i_b}{V_{b'e} \cdot i_b} \approx -16.72$$

$$R_{V_{cb'e}} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out} \approx 8.8 k\Omega$$



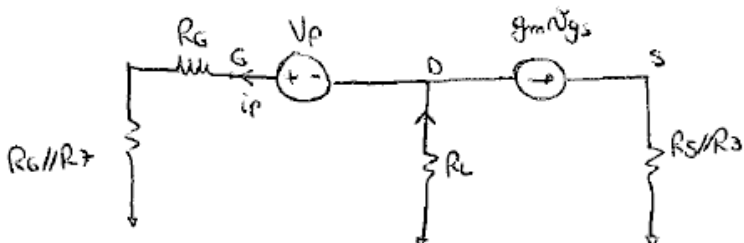
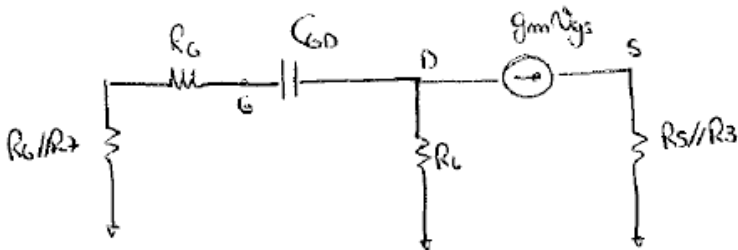
$$V_P = V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_G = (R_G + R_6 // R_7) \cdot i_p$$

$$V_S = (R_5 // R_3) (g_m V_P - i_p)$$

$$V_P = (R_G + R_6 // R_7) \cdot i_p - (R_5 // R_3) (g_m V_P - i_p)$$

$$R_{V_{G_{GS}}} = \frac{V_P}{i_p} = \frac{R_G + R_6 // R_7 + (R_5 // R_3) g_m}{1 + (R_5 // R_3) g_m} \approx 1.56 k\Omega$$



$$V_P = V_{GD} = V_G - V_D$$

$$V_G = (R_G + R_6 // R_7) i_p$$

$$V_D = -R_L (g_m V_{GS} + i_p)$$

$$V_s = R_s // R_3 \cdot g_m V_{gs}$$

(1.5)

$$V_{gs} = V_G - V_s = (R_G + R_6 // R_7) \cdot i_p - R_s // R_3 g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = \frac{(R_G + R_6 // R_7) i_p}{1 + R_s // R_3 \cdot g_m}$$

$$V_p = V_G - V_o$$

$$V_p = (R_G + R_6 // R_7) \cdot i_p + R_L \cdot i_p \left( g_m \frac{R_G + R_6 // R_7}{1 + R_s // R_3 g_m} + 1 \right)$$

$$R_{V_{C_{GD}}} = R_G + R_6 // R_7 + R_L \left( g_m \frac{R_G + R_6 // R_7}{1 + R_s // R_3 g_m} + 1 \right) \cong 10.8 k\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [C_{be} \cdot R_{V_{C_{be}}} + C_{bc} \cdot R_{V_{C_{bc}}} + C_{GS} \cdot R_{V_{C_{GS}}} + C_{GD} \cdot R_{V_{C_{GD}}}] } \cong 1.1 \text{ MHz}$$