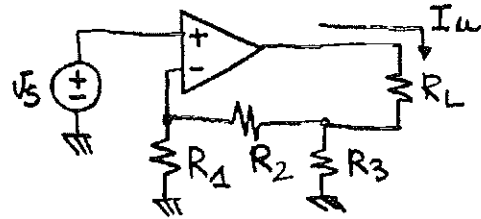
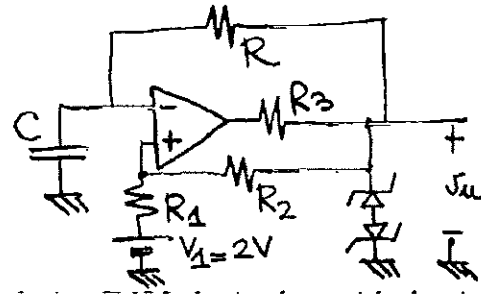


Parte A

1. Calcolare, giustificando il procedimento, la funzione di trasferimento e l'impedenza di uscita del circuito a lato. L'amplificatore differenziale sia un amplificatore di tensione con  $A_v=1000$ ,  $R_{in}=100\text{ K}\Omega$ ,  $R_{out}=100\Omega$ . La resistenza del carico sia  $R_L=500\Omega$ . Altri dati:  $R_1 = 1\text{ K}\Omega$ ,  $R_2=10\text{ K}\Omega$ ,  $R_3 = 2.2\text{ K}\Omega$ .



2. Ricavare, giustificando il procedimento, duty cycle, tensione massima, tensione minima, e periodo della forma d'onda rettangolare all'uscita del circuito disegnato a lato. Si consiglia di considerare, per  $t=0$ , il condensatore scarico e l'uscita dell'operazionale alta.  $R_1=R_2=R_3=1\text{ K}\Omega$ ,  $R=10\text{ K}\Omega$ ,  $C=47\text{nF}$ ,  $V_z=5.6\text{ V}$ ,  $V_\gamma=0.7\text{ V}$ .



3. Disegnare e quotare lo schema di una porta logica CMOS che implementi la funzione logica  $Y = \overline{(ABC)} + \overline{(AB)}$

4. Disegnare, fino al dettaglio delle singole porte logiche, lo schema di un multiplexer a 4 ingressi.

Punteggio totale Parte A: 14

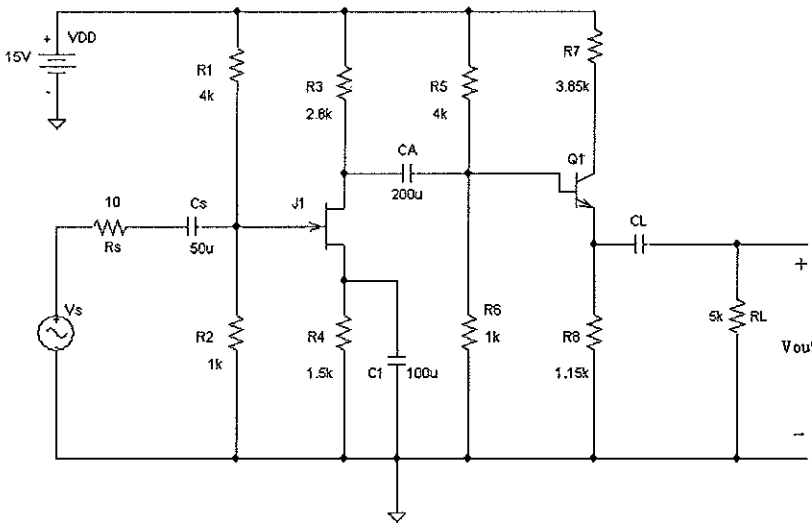
Parte B

Con riferimento al circuito mostrato sotto, calcolare:

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

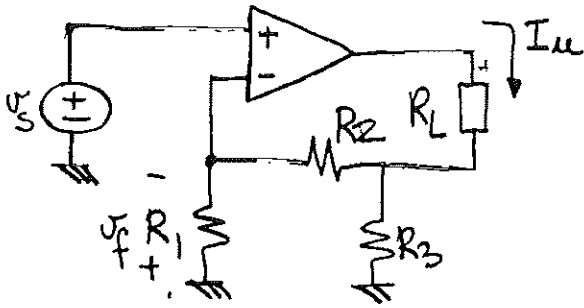
NOTE: Il JFET è un 2N3819 con  $r_d \rightarrow \infty$  ed è resistivo, il BJT è un BC109B con  $h_{oe}=h_{re}=0$ . Il condensatore  $C_L$  ha valore praticamente infinito. Si consideri  $V_p = V_{GS(off)} = -3\text{ V}$

Punteggio totale Parte B: 14



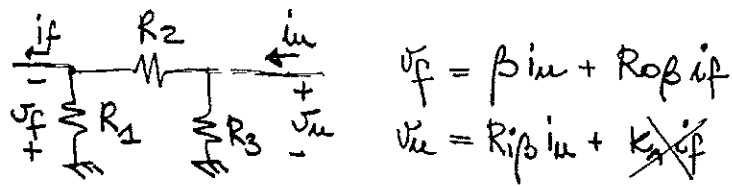
Parte A -

Esercizio 1



la reazione è SS

rete per  $\beta$



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

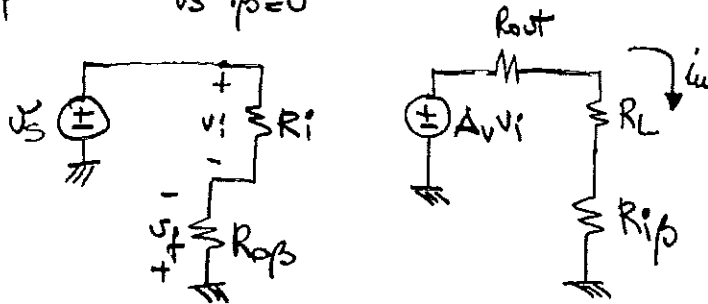
$$v_u = R_i \beta i_u + \cancel{K_A v_f}$$

$$\beta = \left. \frac{v_f}{i_u} \right|_{i_f=0} = - \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = -167 \Omega$$

$$R_o \beta = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{i_u=0} = R_1 \parallel (R_2 + R_3) = 924 \Omega$$

$$R_i \beta = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R_3 \parallel (R_1 + R_2) = 1.83 \text{ k}\Omega$$

rete per  $A_e = \left. \frac{i_u}{v_s} \right|_{\beta=0}$



$$A_e = \left. \frac{i_u}{v_s} \right|_{\beta=0} = \frac{R_i}{R_i + R_o \beta} A_v \frac{1}{R_o \beta + R_L + R_i \beta} = 0.407 \Omega^{-1}$$

$$A_F = \frac{i_u}{v_s} = \frac{A_e}{1 - \beta A_e} = 5.9 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

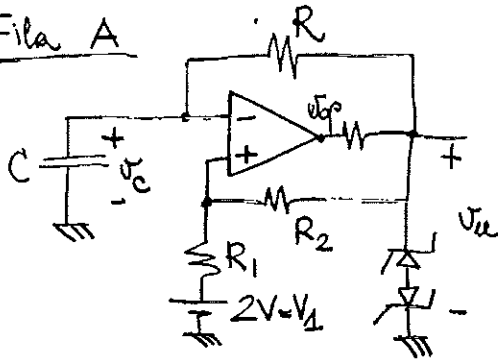
Resistenza d'uscita

calcolo  $A_e$  escludendo  $R_L$  ( $R_L=0$ )  $A_e' = 0.513 \Omega^{-1}$

$$R_{OF} = (R_{out} + R_i \beta)(1 - \beta A_e') = 1840 \cdot 86.67 = 159 \text{ K}\Omega$$

ESERCIZIO 2

Fila A



per  $t=0$   $V_C=0$   $V_{op}=V_{CC} \rightarrow V_u = V_2 + V_1 = V_0$

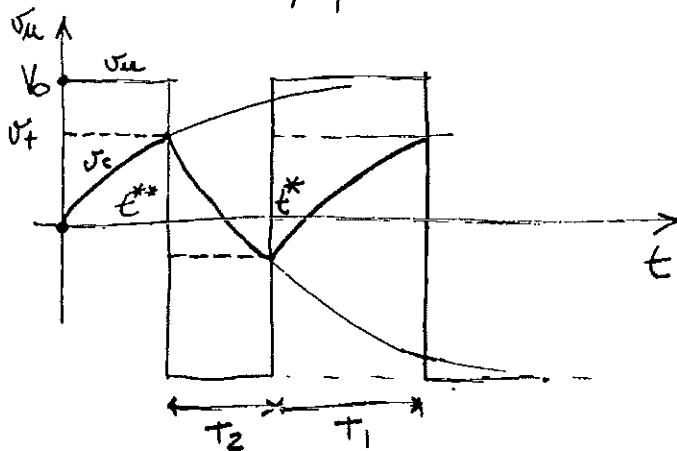
$$V_0 = 5.6 + 0.7 \cdot 6.3V$$

$$V^+ = \frac{R_1 V_0 + R_2 V_1}{R_1 + R_2}$$

$$V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 = 4.15V = V_{T1}$$

$$V^- = V_C = 0V$$

la capacità si carica esponenzialmente con costante di tempo  $\tau = RC$  e oscillato  $+V_0$ ; quando  $V^- = V^+$  il comparatore commuta



quando  $V_u = -V_0$

$$V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (-V_0) + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 = -2.15V = V_{T2}$$

e così via

Calcoliamo  $T_1$   $V_C(t) = V_{iniz} + (V_f - V_{iniz}) \left(1 - e^{-\frac{t-t_{iniz}}{RC}}\right)$

$$t = t_{iniz} + T_1$$

$$V_C(t^* + T_1) = +V_{T2} + (V_0 - V_{T2}) \left(1 - e^{-\frac{T_1}{\tau}}\right)$$

$$V_{T1} = V_{T2} + (V_0 - V_{T2}) \left(1 - e^{-\frac{T_1}{\tau}}\right)$$

$$V_{T1} - V_0 = (V_{T2} - V_0) e^{-\frac{T_1}{\tau}}$$

$$T_1 = \tau \ln \left( \frac{V_{T2} - V_0}{V_{T1} - V_0} \right) = \tau \ln \left( \frac{-2,15 - 6,3}{4,15 - 6,3} \right) = 470 \mu\text{s} \cdot 1,37 = \underline{643 \mu\text{s}}$$

calcoliamo  $T_2$

$$V_C(t_{**} + T_2) = V_{T1} + (-V_0 - V_{T1}) (1 - e^{-T_2/\tau})$$

$\parallel$   
 $V_{T2}$

$$V_{T2} + V_0 = (V_0 + V_{T1}) e^{-T_2/\tau}$$

$$T_2 = \tau \ln \left( \frac{V_0 + V_{T1}}{V_0 + V_{T2}} \right) = 470,10^{-6} \cdot \ln \left( \frac{6,3 + 4,15}{6,3 - 2,15} \right) = \underline{434 \mu\text{s}}$$

periodo  $T = T_1 + T_2 = \underline{1,08 \text{ ms}}$

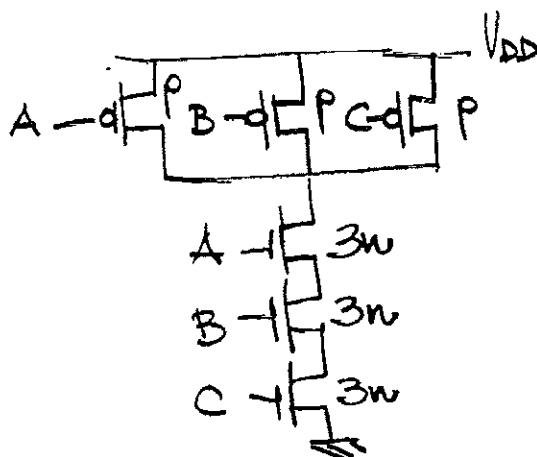
duty cycle  $\delta = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \underline{0,6}$

### ESERCIZIO 3

$$Y = \overline{ABC} + \overline{AB} =$$

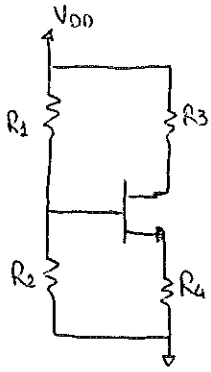
$$Y = \overline{ABC}$$

	AB			
C	00	01	11	10
0	1	1	1	1
1	1	1	0	1



ESERCIZIO 4: La risposta può trovarsi sul libro di testo o sugli appunti del corso.

## PUNTO DI RIPOSO JFET



$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V$$

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

$$\begin{cases} V_{GS1} = 0 \\ V_{GS2} = -3V \end{cases} \quad \begin{cases} I_{DS1} = 2mA \\ I_{DS2} = 4mA \end{cases}$$

$$V_{GS} \cong -1.5V \quad I_{DS} \cong 3mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_3 + R_4) I_{DS} = 2.1V$$

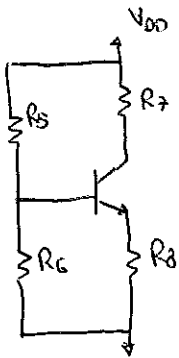
VERIFICA HP.

JFET IN SATURAZIONE

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

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{GS\text{off}} = 1.5V \quad \text{OK!}$$

## PUNTO DI RIPOSO BJT



HP. PARTITORE PESANTE

$$V_B = V_{DD} \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6} = 3V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2.3V$$

$$I_C \cong I_E = \frac{V_E}{R_8} = 2mA$$

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_7 + R_8) \cdot I_C = 5V$$

VERIFICA HP.  
PARTITORE PESANTE

$$R_{fe_{typ}} = 290$$

$$I_B = \frac{I_C}{R_{fe_{typ}}} \approx 6.9 \mu A$$

$$I_{R1} = \frac{V_{DD} - V_B}{R_1} = 3 mA$$

$$I_{R2} = \frac{V_B}{R_2} = 3 mA$$

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

CALCOLO PARAMETRI PICCOLO SEGNALE

- JFET

$$g_m \approx 4 mS$$

$$C_{iss} \approx 2.6 pF$$

$$C_{rss} \approx 1.4 pF$$

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

$$C_{GS} = C_{iss} - C_{rss} = 1.2 pF$$

- BJT

$$R_{fe_{typ}} = 300$$

$$R_{ie@2mA} = 4.8 k\Omega$$

poiché  $I_C = 2 mA$ , questa è la  $R_{ie}$

$$R_{b'e@2mA} = \frac{V_T \cdot R_{fe}}{I_C@2mA} = 3.9 k\Omega$$

$$R_{bb'} = R_{ie} - R_{b'e} = 900 \Omega$$

$$f_T \approx 145 MHz$$

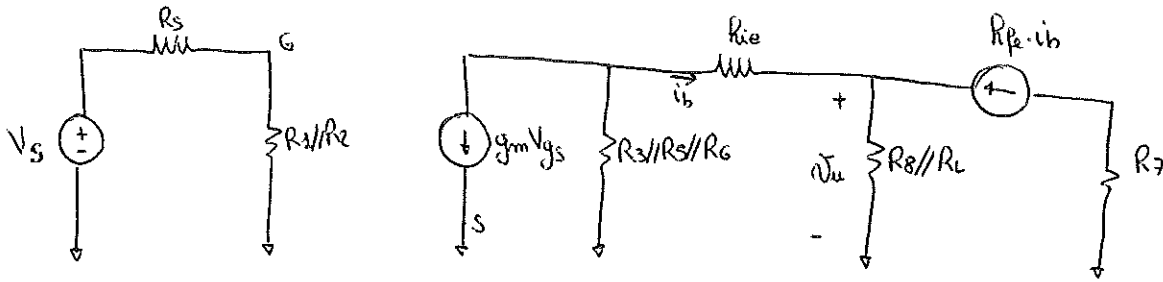
$$g_m^{BJT} = \frac{I_C}{V_T} = 76.92 mS$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = V_{CE} - V_B = 4.3 V$$

$$C_{b'c} \approx 4.9 pF$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m^{BJT}}{2\pi f_T} - C_{b'c} \approx 79.53 pF$$

GUADAGNO A CENTRO BANDA



$$V_u = R_8 // R_L (P_{pe} + 1) \cdot i_b$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = V_g$$

$$R_3 // R_s // R_g (-g_m V_g - i_b) = r_{be} \cdot i_b + R_8 // R_L (P_{pe} + 1) \cdot i_b$$

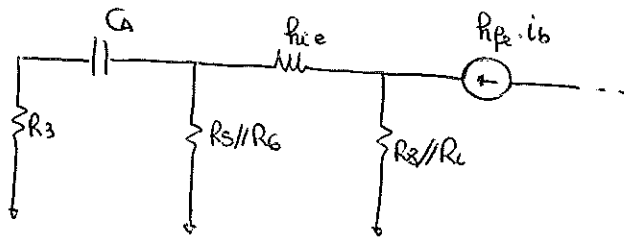
$$i_b = \frac{-g_m V_g R_3 // R_s // R_g}{R_3 // R_s // R_g + r_{be} + R_8 // R_L (P_{pe} + 1)}$$

$$V_g = \frac{R_1 // R_2}{R_s + R_1 // R_2} \cdot V_s$$

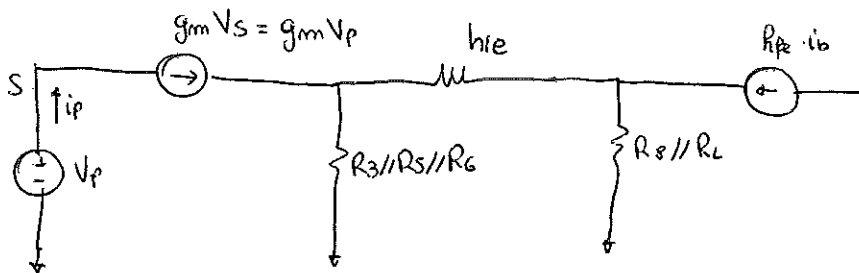
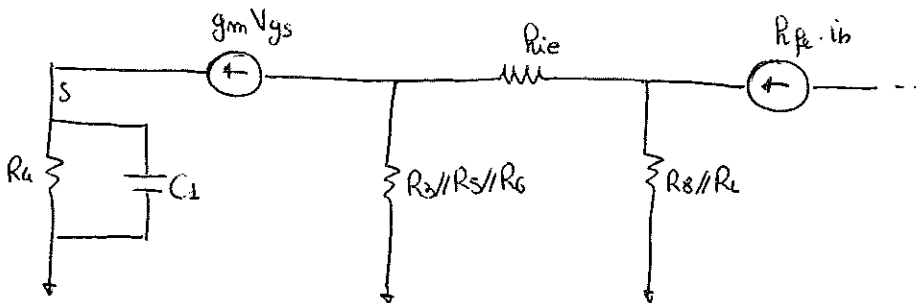
$$A_{CB} = \frac{V_u}{V_s} = - R_8 // R_L (P_{pe} + 1) \cdot \frac{g_m R_3 // R_s // R_g}{R_3 // R_s // R_g + r_{be} + R_8 // R_L (P_{pe} + 1)} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_s + R_1 // R_2} \cong - 2.4$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA

$$R_{V_{CS}} \Big|_{C_A, C_1 \text{ corto}} = R_5 + R_1 // R_2 \cong 0.81 \text{ k}\Omega$$



$$R_{V_{CA}} \Big|_{C_S, C_1 \text{ corto}} = R_3 + R_5 // R_G // \left[ r_{pie} + R_L // R_2 (R_{fe} + 1) \right] \cong 3.6 \text{ k}\Omega$$



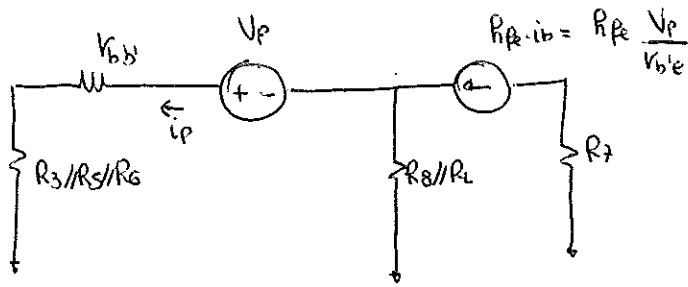
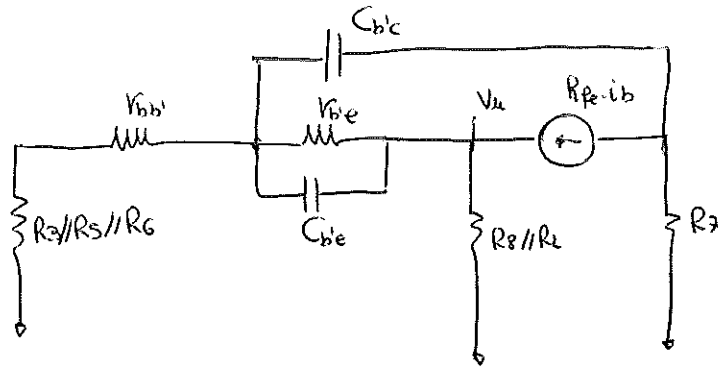
$$i_p = g_m V_s = g_m V_p$$

$$R_{V_{CS}} \Big|_{C_S, C_A \text{ corto}} = R_4 // \frac{1}{g_m} \cong 0.214 \text{ k}\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{C_S \cdot R_{V_{CS}}} + \frac{1}{C_A \cdot R_{V_{CA}}} + \frac{1}{C_1 \cdot R_{V_{CS}}} \right] = 11.6 \text{ Hz}$$



# LIMITE SUPERIORE DI BANDA

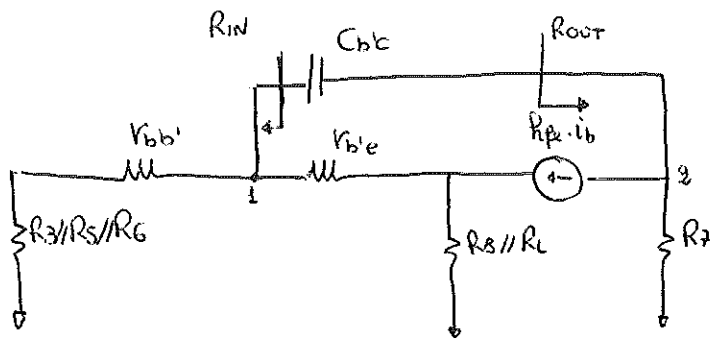


$$V_p = (v_{bb'} + R_3//R_5//R_6) \cdot i_p - R_8//R_L \left( h_{fe} \frac{V_p}{v_{b'e}} - i_p \right)$$

$$V_p \left[ 1 + R_8//R_L \frac{h_{fe}}{v_{b'e}} \right] = (v_{bb'} + R_3//R_5//R_6 + R_8//R_L) i_p$$

$$v_{b'e} = \frac{h_{fe}}{g_m^{BJT}} \quad \Rightarrow \quad g_m^{BJT} = \frac{h_{fe}}{v_{b'e}}$$

$$R_{vC_{b'e}} = \frac{V_p}{i_p} = \left[ \frac{v_{bb'} + R_3//R_5//R_6 + R_8//R_L}{1 + (R_8//R_L \cdot g_m^{BJT})} \right] // v_{b'e} \cong 33.4 \Omega$$



$$R_{V_{C_{b'c}}} = R_{IN} (1 + |A_V|) + R_{OUT}$$

$$R_{IN} = [v_{bb'} + R_3 // R_5 // R_6] // [v_{be} + R_8 // R_L (R_{\beta} + 1)] \approx 1.514 \text{ k}\Omega$$

$$R_{OUT} = R_7 = 3.85 \text{ k}\Omega$$

$$A_V = \frac{V_2}{V_1} = - \frac{R_7 \cdot R_{\beta}}{v_{be} + R_8 // R_L (R_{\beta} + 1)} \approx -4.048$$

$$R_{V_{C_{b'c}}} = R_{IN} (1 + |A_V|) + R_{OUT} = 11.5 \text{ k}\Omega$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi (R_{V_{C_{b'e}}} \cdot C_{b'e} + R_{V_{C_{b'c}}} \cdot C_{b'c})} \approx 2.7 \text{ MHz}$$