

2^{do} Parcial de Electrónica 2
29/11/2005



Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
La prueba es sin material.
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1 : (40 puntos)

Para el circuito de la Fig.1:

- Hallar la frecuencia y condición de oscilación y el Q_{tanque} asumiendo que la impedancia de C_2 a la frecuencia de oscilación es mucho menor que la resistencia vista hacia R_E y Q_1 .
- Verificar que la hipótesis considerada en la parte a) es cierta.
- Si la curva de la Fig.2 relaciona G_m/g_{mQ} con x , siendo $x=E_x/V_T$ con E_x la fundamental del voltaje V_{BE} del transmisor Q_1 y las curvas están parametrizadas en $V_{\lambda}=I_{EQ}(R_E+(1-\alpha)R_S)$, donde R_S es la resistencia de base, que aquí vale cero, hallar la amplitud de oscilación en la salida V_{out} .
- Diseñe el capacitor de desacople C_{des2} .
- Explique el mecanismo de estabilización de amplitud en este circuito.
- Si el inductor no es ideal y tiene un factor de calidad Q_L , que condición debe cumplir Q_L para que éste no altere los resultados anteriormente calculados.

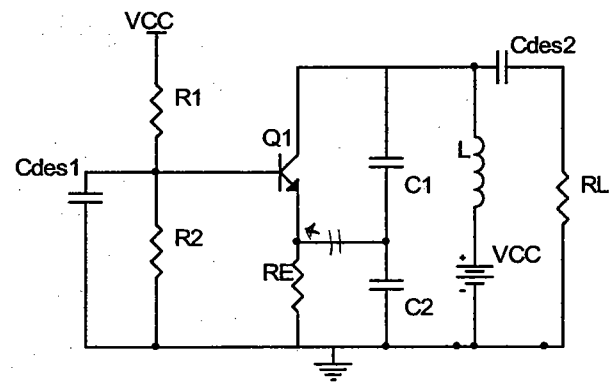


Figura 1

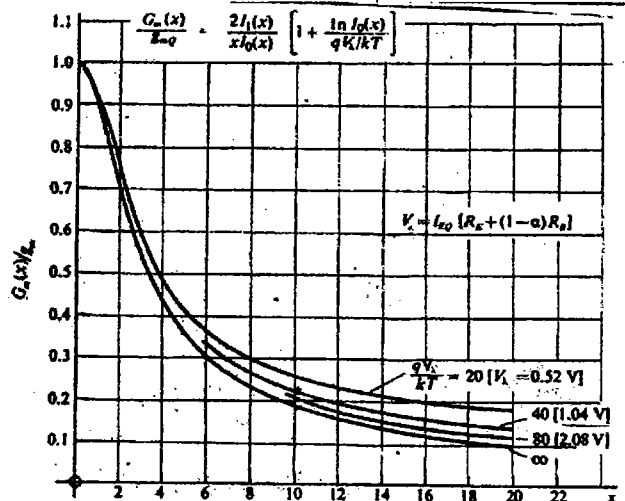


Figura 2

Datos:

$\beta=100$	$V_{BE}=0.7$	$VCC=5V$	$R_1=19k\Omega$	$R_2=10k\Omega$
$C_1=270pF$	$C_2=3.9nF$	$L=0.5\mu H$	$R_E=1k\Omega$	$R_L=1k\Omega$
				$C_{des1}=\infty$

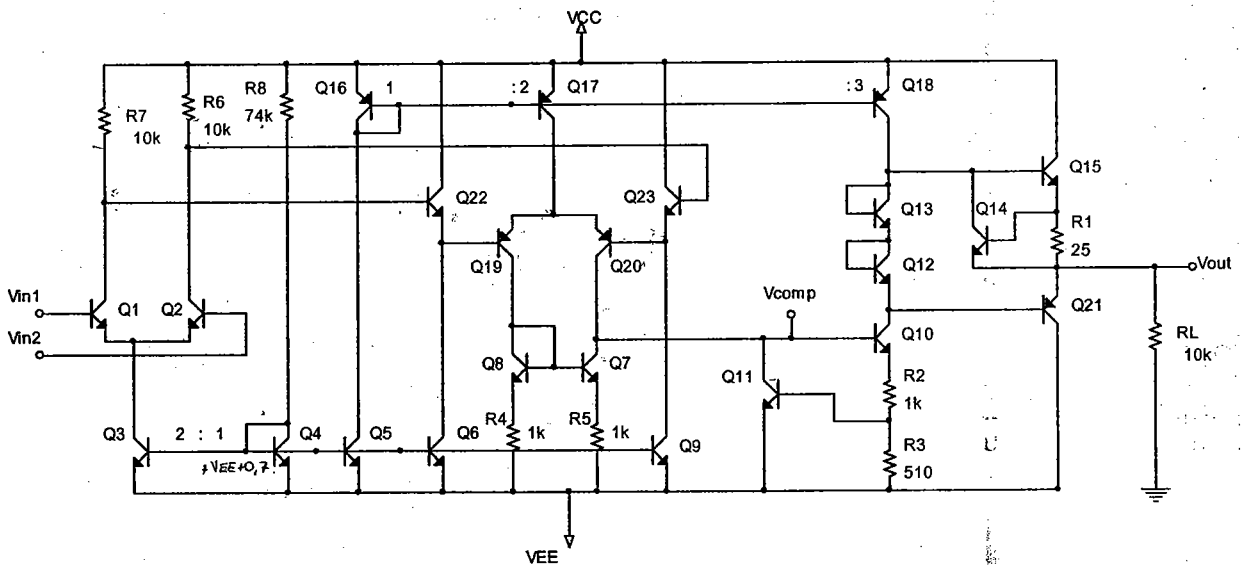
Problema 2 : (40 puntos)

El circuito de la figura es un amplificador operacional con compensación externa.

- Determine cual es la entrada no inversora.
- Determine la corriente de polarización de los transistores Q3, Q6, Q9, Q17 y Q18.
- Determine qué transistores implementan la protección contra cortocircuitos a la salida del amplificador, cómo la implementan y qué valores máximos de corriente puede entregar y tomar a la salida el amplificador.
- Determine el rango de entrada en modo común del amplificador.
- Determine la ganancia a bajas frecuencias del amplificador.
- La capacidad de compensación externa se conecta entre el pin Vcomp y el pin Vout. Determine el valor de la capacidad necesaria para tener un $f_T=10\text{MHz}$.

Datos:

- $V_{CC}=-V_{EE}=10\text{ V}$
- $V_{BE}=|V_{EB}|=0.7\text{ V}$, $V_{CESAT}=0.3\text{ V}$
- Tensión de Early: $V_A=\infty$, excepto para Q18 donde $V_A=25\text{ V}$
- $\beta=200$ excepto en Q15 y Q21 donde $\beta=50$



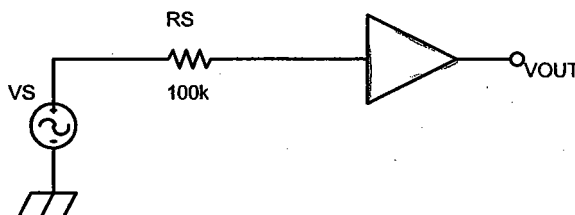
Problema 3 : (20 puntos)

Se desea amplificar la señal proveniente de un sensor V_s , que genera señales en la banda de 10Hz a 100Hz, con una resistencia de salida R de 100k, como se muestra en la Figura 1. Para ello se utiliza un amplificador de ganancia 100 cuya respuesta en frecuencia se supondrá es la de un filtro ideal con frecuencias de corte a 1Hz y 10kHz, y que tiene un ruido equivalente de entrada, con densidad espectral constante igual a $100\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$ @ 290°K, siendo la corriente de entrada que toma el amplificador despreciable. Llamemos A1 a este amplificador.

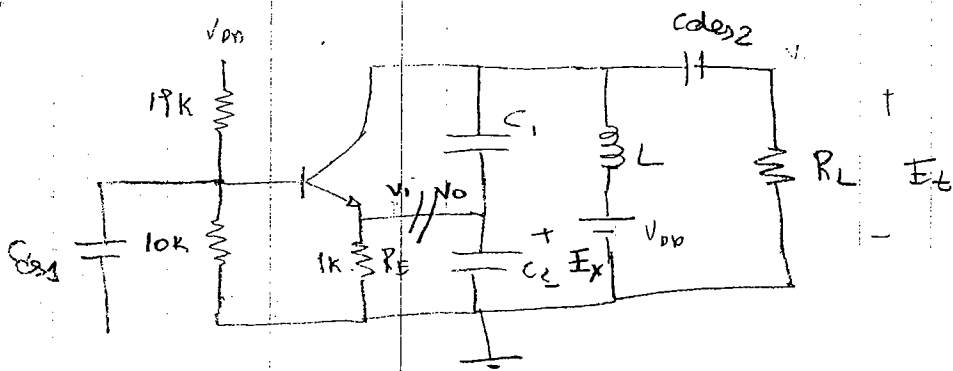
En lo que sigue se considerará siempre operación a 290°K.

- Determinar cuál es el mínimo valor eficaz de la señal de entrada V_s que es posible amplificar si se desea que el valor eficaz de señal sea siempre al menos 10 veces el valor eficaz del ruido.
- Existe la posibilidad de utilizar otro modelo de amplificador, (llamémosle A2) de igual ganancia, pero con una respuesta en frecuencia de filtro ideal entre 1Hz y 100 kHz y ruido equivalente de entrada, con densidad espectral constante igual a $10\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$ @ 290°K. ¿Es conveniente el cambio?. Explicar.
- Si a la salida del amplificador se coloca un filtro de ganancia 1, con respuesta, que asumamos se aproxima por la de un filtro ideal en la banda de señal de 10Hz a 100Hz del sensor, y cuyo ruido se considera despreciable frente a las señales que tendrá a su entrada, ¿Qué amplificador conviene usar A1 o A2? ¿Cuánto vale en este caso cuando se usa el amplificador más conveniente el mínimo valor eficaz de la señal medible, con el criterio de a)?

Datos: kT @ 290°K = 4×10^{-21} W.s

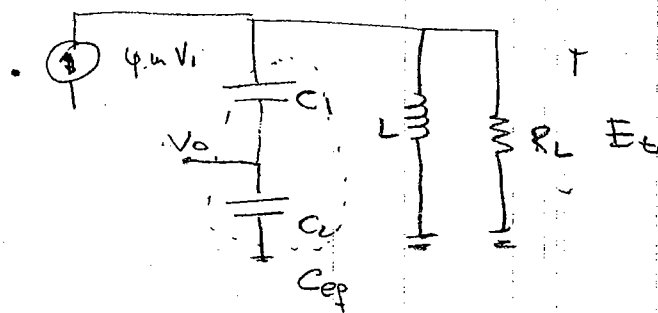


Ejercicio 1



a) Hipótesis $R_E \parallel 1/g_m \gg \frac{1}{sC_2}$ (1)

Entonces:



(1) $E_t = g_m V_i \cdot \frac{1}{sC_2} \parallel sL \parallel R_L$
 $= g_m V_i \cdot \frac{1}{sC_2 + \frac{1}{sL} + \frac{1}{R_L}}$

(2) $V_o = E_t \cdot \frac{\frac{1}{sC_2}}{\frac{1}{sC_1} + \frac{1}{sC_2}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} E_t = \frac{E_t}{N}$

(3) $C_{ep} = \frac{1}{\frac{1}{sC_1} + \frac{1}{sC_2}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_2}{N}$

De (1) y (3): $\frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^{\frac{1}{N}} \cdot g_m \cdot \left(\frac{1}{sC_{ep} + \frac{1}{sL} + \frac{1}{R_L}} \right) = A\beta$

$\text{Im}(A\beta) = 0 \rightarrow C_{ep} \omega j - j \frac{1}{\omega L} = 0 \rightarrow \boxed{\omega_{FB}^2 = \frac{1}{L C_{ep}} = \frac{N}{L \cdot C_2}}$

$$R_L(\beta) = 1 \rightarrow$$

$$I = \frac{G_m}{N} \cdot R_L \Rightarrow \boxed{G_m = \frac{N}{R}}$$

$$\boxed{A_{\text{tension}} = \frac{R_L}{\omega_3 L}}$$

$$\text{Si } N = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = 15.4 \rightarrow \omega_{\text{res}} = \sqrt{\frac{15.4}{0.5 \mu\text{F} \cdot 39 \text{ nF}}} = 8 \text{ PM rad/s.}$$

$$\boxed{f_{\text{res}} = 13 \text{ MHz}}$$

$$\frac{1}{R_E} + G_m = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{R_E} = \frac{2}{R_E}$$

$$\rightarrow G_m = \frac{15.4}{1 \text{ K}} = 15.4 \text{ mS}$$

$$\rightarrow A_{\text{tension}} = \frac{1 \text{ K}}{85 \text{ M} \cdot 0.5 \mu} = 22$$

se verificará por $R_E \parallel 1/g_m \gg \frac{1}{\omega C_2} \Big|_{\omega = \omega_{\text{res}}}$

$$R_E = 1 \text{ K} \left\{ \begin{array}{l} R_E \parallel 1/g_m \cong 6 \text{ S} \\ 1/g_m = 6 \text{ S} \end{array} \right.$$

$$\frac{1}{\omega_{\text{res}} C_2} = 2.9$$

$$\frac{1}{\omega_{\text{res}} C_2} \ll R_E \parallel 1/g_m$$

se verifica la hipótesis de (a)

$$\left. \begin{array}{l} V_{CC} = 5 \text{ V} \\ R_1 = 15 \text{ K} \\ R_2 = 10 \text{ K} \end{array} \right\}$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = 1.75 \text{ V}$$

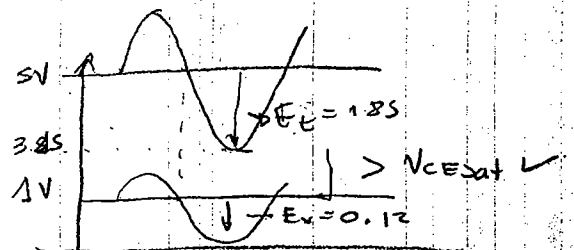
$$V_E = V_B - V_{BE} = 1.02 \text{ V}$$

$$g_{mQ}: I_{DQ} = \frac{V_E}{R_E} = 1.02 \text{ mA} \rightarrow g_{mQ} = \frac{I_{DQ}}{V_T} = 39 \text{ mS}$$

$$\frac{G_m}{g_{mQ}} = \frac{15.4 \text{ mS}}{39 \text{ mS}} = 0.39 \rightarrow X \cong 4 \text{ S.}$$

$$X = \frac{E_x}{V_T} \rightarrow E_x = 0.12 \text{ V.}$$

$$E_L = E_x \cdot N = 1.85 \text{ V}$$



d) Cds 2:

Para que Z_{Cds} sea despreciable respecto a R_L y se cumpla q' la caída de tensión en Z_{Cds} sea muy chuta se requiere que p':

$$\frac{1}{C_{ds} \cdot \omega_{13}} \ll R_L \rightarrow C_{ds} \gg \frac{1}{R_L \cdot \omega_{13}} \approx 11 \text{ pF}$$

\rightarrow $C_{ds} \gg 1,1 \text{ nF}$

e) $E_L \uparrow \rightarrow E_x \uparrow \rightarrow x \uparrow \rightarrow \phi_n \downarrow \rightarrow i_D \downarrow \rightarrow E_L \downarrow$
($g_m = \text{cte}$)

f) $Q_L \gg Q_{\text{tapa}} \rightarrow$ $Q_L \gg 220$

Frulli -

Evaluemos el ruido total a la entrada, sumando la contribución del ruido de la resistencia de salida del sensor y del ruido equivalente de entrada del operacional, en la banda del amplificador que es la que filtrará el ruido.

$$N_{\text{ruido rms total entrada}} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f + \frac{S_{\text{inop}} \cdot \Delta f}{\Omega}} \quad (I)$$

Donde S_{inop} es el ^{psd de} ruido equivalente de entrada del amplificador

$$\Rightarrow N_{\text{ruido rms total de entrada}} = 10.8 \mu\text{Vrms},$$

siendo $4 \mu\text{Vrms}$ la contribución de la resistencia y $10 \mu\text{Vrms}$ la contribución del amplificador

(y alternativamente a (I):

$$N_{\text{ruido rms total de entrada}} = \sqrt{N_{\text{rmsR}}^2 + N_{\text{rmsop}}^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{Mínima señal rms medible} = 10.8 \mu\text{Vrms}}$$

b) De (I):

$$N_{\text{ruido rms total entrada}} = \sqrt{4kTR + S_{\text{inop}} \cdot \Delta f}$$

El nuevo amplificador aumenta Δf aprox. 10 veces, lo que aumenta el factor $\sqrt{\Delta f}$ en 3.16, mientras que en el otro factor solo un término se divide en la misma proporción \rightarrow el ruido será mejor, pues el ruido de la resistencia se integra \rightarrow

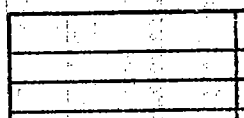
en un ancho de banda mejor y la reducción del ruido del amplificador no lo compensa.

En este nuevo caso el ruido total de entrada es: $13.6 \mu\text{Vrms}$ ($13.2 \mu\text{Vrms}$ debidos a la resistencia y $3.3 \mu\text{Vrms}$ del amplificador)

C) En este caso el ancho de banda se considera pero el ruido es igual para ambos amplificadores, desde 10Hz a 100Hz , por lo que conviene el amplificador A.

El nuevo ruido total de entrada es: $0.39 \mu\text{Vrms}$ ($0.38 \mu\text{Vrms}$ de la resistencia y $94 \mu\text{Vrms}$ del amplificador)

⇒ mínima señal $\approx 3.9 \mu\text{Vrms}$



Problema 2

(a)

$$V_{in1} \uparrow \Rightarrow I_{C1} \uparrow \Rightarrow N_{B22} \downarrow \Rightarrow N_{B19} \downarrow$$

$$\Rightarrow I_{C19} \uparrow \Rightarrow N_{B10} \downarrow \Rightarrow N_{B23} \uparrow \Rightarrow N_0 \uparrow$$

$\rightarrow V_{in1}$ es la entrada NO-INVERTIDA

(b)

$$I_{C4} = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_{RE}}{R_2} \rightarrow I_{C4} = 260 \mu A$$

$$\Rightarrow I_{C3} = 2 \times I_{C4} = 520 \mu A$$

$$I_{C6} = I_{C9} = I_{C4} = 260 \mu A$$

$$I_{C12} = 2 I_{C4} = 520 \mu A$$

$$I_{C18} = 3 I_{C4} = 780 \mu A$$

(c) La protección la implementa los transistores Q_{14} y Q_{15}

⊗ Protección contra corriente saliente:

Cuando I_L es tal que $I_L \times R_1 > V_{BE}$, Q_{14} se enciende \rightarrow toma corriente de la base de Q_{15} haciendo que I_L no pueda aumentar

⊗ Protección contra corriente entrante:

Cuando hay un pico de corriente entrante, Q_{15} está apagado \rightarrow la corriente por Q_{10} es

$$I_{C10} = I_{C18} + I_L / \beta_{21}$$

Papiro

⇒ wanto $V_{CE} \times R_3 > V_{BE}$ se enciende Q_{11} y forma corriente del nodo N_{b50}

⇒ N_{b50} y ⇒ $N_{out} \uparrow$ y por lo tanto

I_L (entrante) no aumenta más

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_L (out)_{max} = V_{BE} / R_3 = 28 \text{ mA} \\ I_L (in)_{max} = (V_{BE} / R_3 - I_{C18}) \times \beta_{21} = 29,6 \text{ mA} \end{array} \right.$$

(d)

$$V_{ICM} (inf) = V_{EE} + V_{CEsat3} + V_{BE1}$$

$$V_{ICM} (inf) = -9 \text{ V}$$

$$V_{ICM} (sup) = V_{CC} - R_7 I_{C3} - V_{CEsat1} + V_{BE1}$$

$$= 10,7 - 2,6 \text{ V} - 0,3 \text{ V}$$

$$V_{ICM} (sup) = +7,8 \text{ V}$$

(e)

$V_A = \infty \rightarrow$ tomar $R_0 = \infty$, excepto $R_{08} = 32 \text{ k}\Omega$ ($V_A = 25 \text{ V}$)

1^{er} etapa

$$\frac{N_{01}}{N_{in}} = g_{m1} \times (R_7 \parallel R_{21ae})$$

2^a etapa:

$$R_{22e} = r_{\pi 22} + (\beta + 1) r_{\pi 19} \quad \left(\begin{array}{l} \text{supones} \\ \text{entradas} \\ \text{lineales} \end{array} \right)$$

$$\frac{N_{02}}{N_{01}} = \frac{g_{m22} r_{\pi 19}}{g_{m22} r_{\pi 19} + 1} \times \frac{g_{m19} R_{3ae}}{1}$$

seguir por sí

$$r_{\pi 22} = r_{\pi 19} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow R_{22e} = (\beta + 1) r_{\pi 19} = 4 \text{ M}\Omega$$

$$g_{m22} \times r_{\pi 19} = \frac{I_{C22}}{V_T} \times \frac{\beta V_T}{I_{C19}} = \beta \Rightarrow g_{m22} r_{\pi 19} \gg 1$$

$$\rightarrow \frac{N_{02}}{N_{01}} = g_{m19} R_{3ae}$$

Proxim

(e) (sigue)

3ª etapa: $R_{V_{3e}} = \overbrace{6174}^{G_{174}} \overbrace{302k}^{302k} = 3094 \Omega$

$R_{C_{10}} = \underbrace{r_{o18}}_{32k} // \underbrace{\beta R_{23}}_{500k}$ (se presiona $R_{V_{1e}}$ multiplicador de V_{BE})

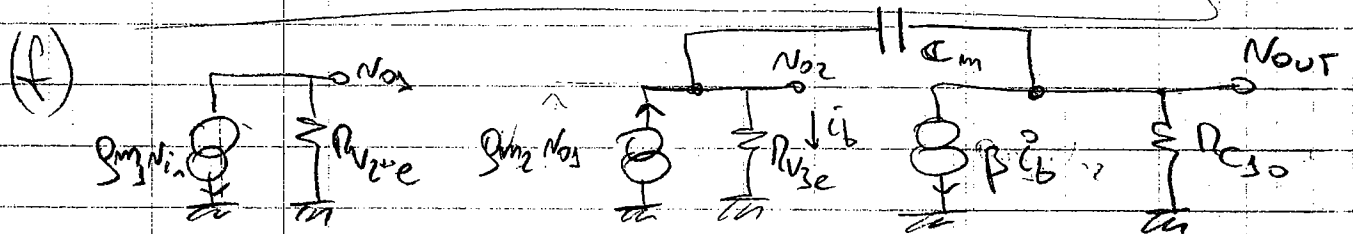
$\rightarrow \frac{N_{OUT}}{N_{O2}} = \frac{\beta R_{C_{10}}}{r_{iB} + (\beta + 1)(R_2 + R_3)}$ [MIENTRAS $I_{C_{23}} > 2,6mA$
 $\rightarrow g_{m_{23}} R_2 \gg 1$
 $\rightarrow N_{OUT} \approx N_{C_{10}}$]

$\rightarrow A_1 = \left| \frac{N_{O1}}{N_{20}} \right| \approx g_{m_1} R_7 = 100 \text{ V/V}$ ($R_7 \ll R_{V_{2e}}$)
 $\hookrightarrow g_{m_1} = 0,05 \text{ A/V}$

$A_2 = \left| \frac{N_{O2}}{N_{O1}} \right| \approx g_{m_{19}} R_{V_{3e}} = 3090 \text{ V/V}$
 $\hookrightarrow g_{m_{19}} = 0,03 \text{ A/V}$

$A_3 = \left| \frac{N_{OUT}}{N_{O2}} \right| = 19,4 \text{ V/V}$

$\rightarrow G_{DC} \approx 6 \times 10^6 \text{ V/V} \approx 135,5 \text{ dB}$



$\omega_{p10 \text{ dom.}} = \frac{1}{R_{V_{3e}} C_m \times A_3}$

$G_{DC} = g_{m_1} R_7 \times g_{m_{19}} R_{V_{3e}} \times A_3$

$\rightarrow \omega_T = \frac{g_{m_1} R_7 \times g_{m_{19}}}{C_m}$

$\Rightarrow C_m (f_T = 10 \text{ MHz}) = 15,9 \text{ nF}$

Repetir