

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
25/02/09

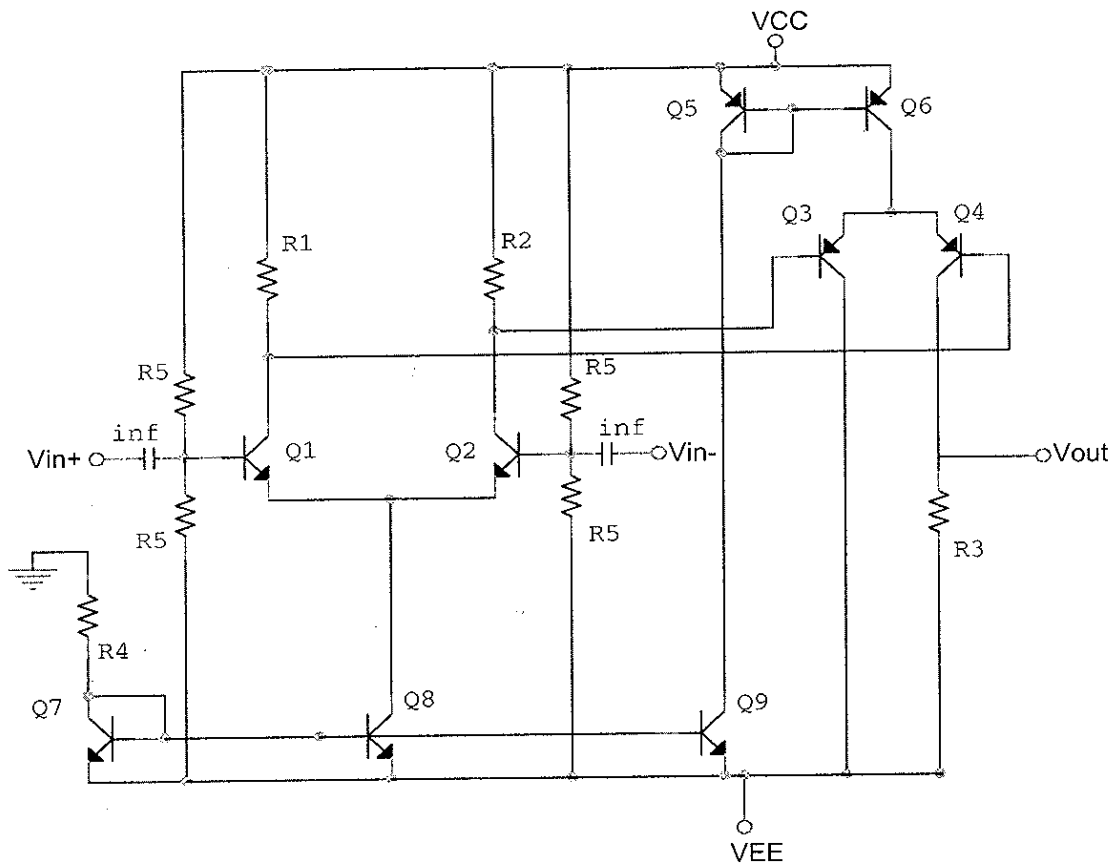
Resolver cada problema en hojas separadas.
 Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
 La prueba es sin material.
 Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

PROBLEMA 1 (40 puntos)

Para el amplificador de la figura calcular:

- La corriente de polarización de cada transistor.
- La Ganancia a frecuencias medias $v_{out}/(v_{in+} - v_{in-})$.
- Resistencia diferencial de entrada.
- Excursión a la salida.

Se asumirá que $V_{CC} = -V_{EE} = 15V$, y todos los transistores tienen $\beta = 100$, tensión de Early infinita, $V_{BE} = V_{EB} = 0.6V$ y $V_{CEsat} = V_{ECsat} = 0.3V$.
 $R_1 = R_2 = 22\text{ k}\Omega$, $R_3 = 56\text{ k}\Omega$, $R_4 = 27\text{ k}\Omega$, $R_5 = 4.7\text{ k}\Omega$



PROBLEMA 2 (40 puntos)

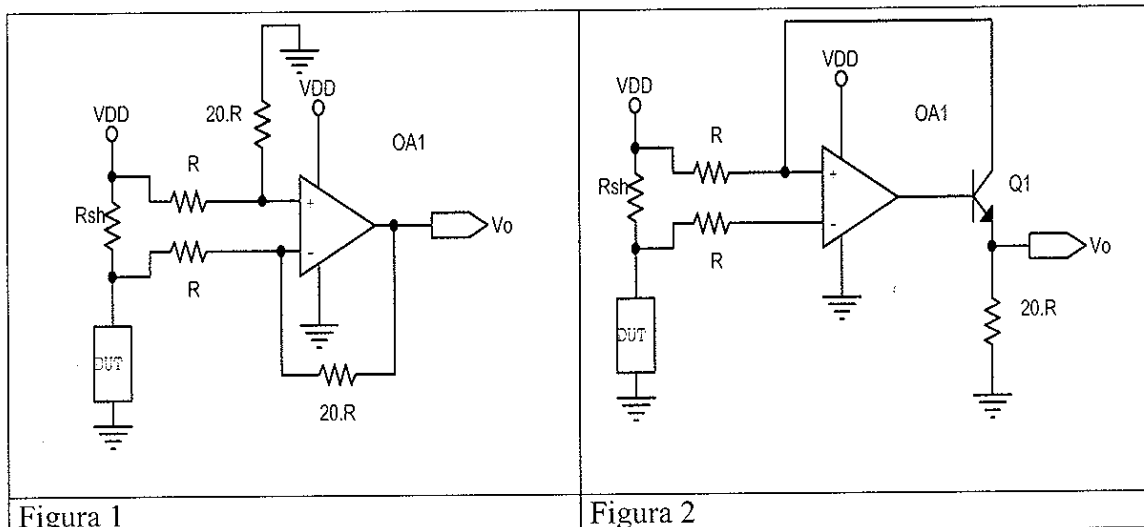
El circuito de la Figura 1 es utilizado para medir la corriente continua consumida I_{DD} por el bloque DUT (Device Under Test).

RSH es una resistencia pequeña, mucho menor que R y tal que la caída que aparece en ella debida a la corriente a medir no altera el funcionamiento del DUT.

- a) Determinar la relación entre la tensión de salida V_o y la corriente consumida I_{DD} considerando el amplificador operacional ideal.
- b) Indicar que condición debe cumplir el rango de entrada en modo común del amplificador para que el circuito funcione correctamente
- c) Si la excursión de salida (“output swing”) del amplificador va entre $0.3V$ y $V_{DD}-0.5V$, indicar el rango de corrientes que puede medir correctamente el dispositivo.

A los efectos de mejorar la corriente *mínima* medible por el dispositivo se utiliza el circuito de la Fig. 2, donde el transistor los datos usuales ($\beta \gg 1$, tensión base emisor en zona activa V_{BE} , tensión de saturación V_{CESAT}).

- d) Determinar la relación entre la tensión de salida V_o y la corriente consumida I_{DD} considerando el amplificador operacional ideal.
- e) Determinar cuál es el rango de corrientes medibles si el amplificador tiene la excursión de salida indicada en c). ¿ Porqué se logra una ventaja respecto al circuito anterior ?
- f) ¿Qué condición tiene que cumplir el rango de entrada en modo común del operacional en este nuevo circuito, para que el mismo funcione correctamente en todo el rango hallado en e) ?
- g) Si el operacional tiene tensión de offset típica V_{off} y máxima V_{offmax} , corriente de polarización típica I_{bias} y máxima $I_{biasmax}$ y corriente de offset típica I_{offset} y máxima $I_{offsetmax}$, determinar el máximo error absoluto en la corriente medida. A los efectos de esta parte suponer que el DUT se comporta como una fuente de corriente ideal de valor I_{DD} .



PREGUNTA (20 ptos)

El circuito de la figura se utiliza para conectar y desconectar la resistencia R_L a una fuente de alimentación V_{DD1} . Las fuentes de alimentación V_{DD1} y V_{DD2} son del mismo valor pero independientes.

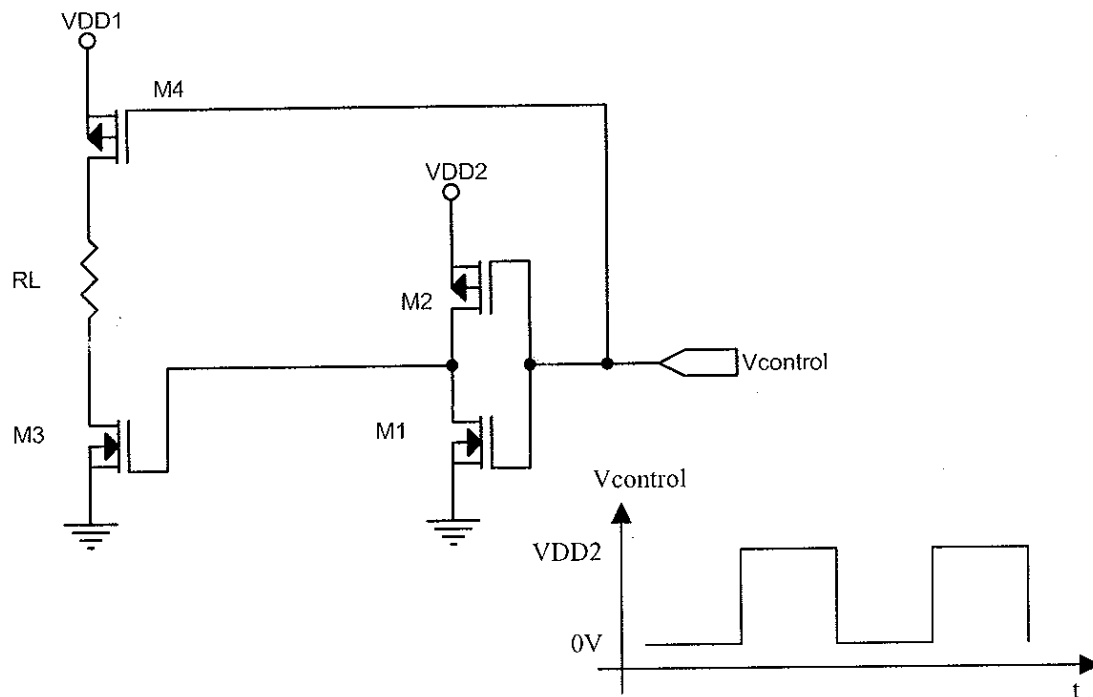
- Indicar cuál es la mínima resistencia R_L que se puede manejar si se desea que la tensión aplicada a R_L cuando esta está conectada difiera de V_{DD} en menos de un 1%.
- Si R_L se conecta y desconecta cíclicamente, permaneciendo 0.5ms conectada y 0.5ms desconectada, estimar la potencia consumida de la fuente de alimentación V_{DD2} .

Datos: Transistores MOS:

$$V_{tn}=|V_{tp}|=0.9V, \beta_n=\beta_p=10\text{mA/V}^2, \delta_n=\delta_p=0$$

Capacidad gate-source: 50pF

$$V_{DD1} = V_{DD2} = 5V.$$



1



(a) $V_{R4} = 0 - V_{EE} - V_{BE}$

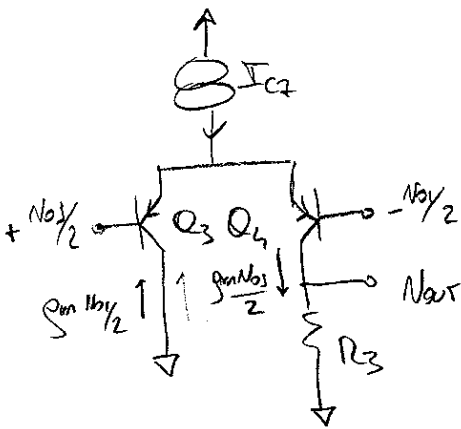
$\Rightarrow I_{C7} = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R4} = 0,53 \text{ mA}$

$Q7, Q8, Q9$ espejo de corriente $\Rightarrow I_{C8} = I_{C9} = I_{C7}$

$I_{C3} = I_{C2} = I_{C7}/2$

$Q5, Q6$ espejo $\Rightarrow I_{C5} = I_{C6} = I_{C7} \Rightarrow I_{C3} = I_{C4} = I_{C7}/2$

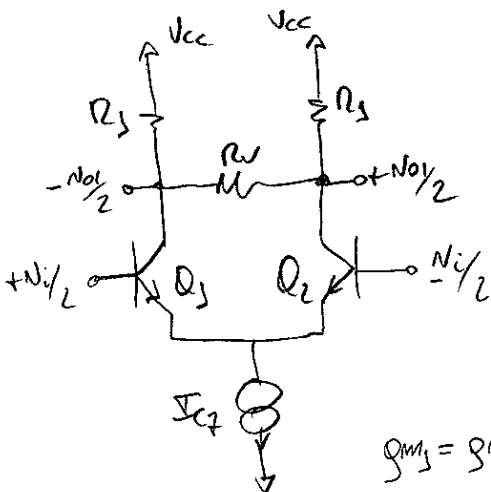
(b)



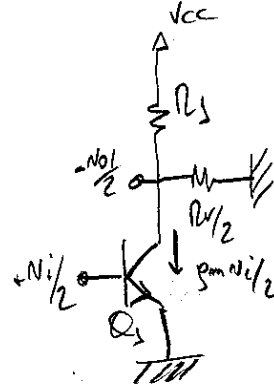
$g_m = g_{m3} = g_{m4} = \frac{I_{C7}}{2V_T} = 10,3 \text{ mA/V}$

$N_{out} = \frac{g_m N_{ol}}{2} R3$

$R_{W \text{ dif}} = 2r_{\pi} = \frac{4\beta V_T}{I_{C7}} = 19,4 \text{ k}\Omega$



partes al medio



$\left(\frac{R3}{2} = r_{\pi}\right)$
 $f_{Nol/2} = -g_m Ni/2 (R3/r_{\pi})$

$\Rightarrow N_{out} = g_m^2 R3 (R3/r_{\pi}) \frac{Ni}{2}$

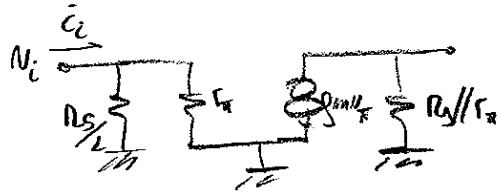
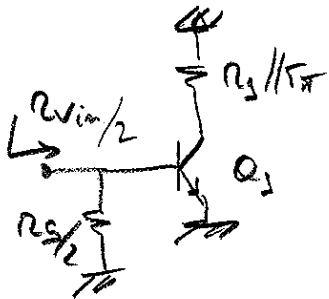
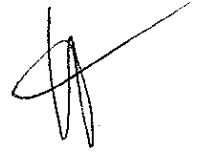
$N_i = N_{in+} - N_{in-}$

$\Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{in+} - N_{in-}} = \frac{g_m^2 R3 (R3/r_{\pi})}{2}$

$\Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{in+} - N_{in-}} = 20 \times 10^3 \text{ V/V} = 86 \text{ dB}$

(c) Resistencia diferencial:

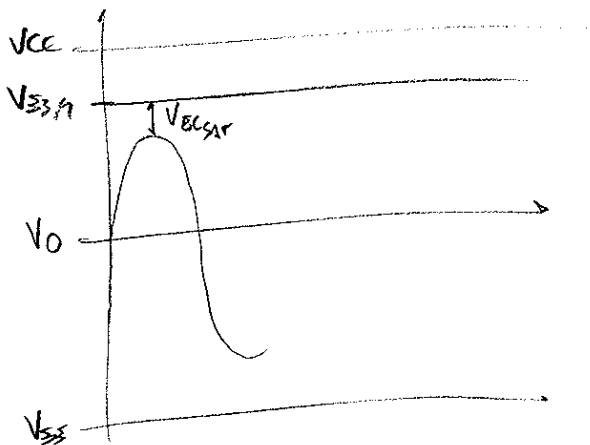
uso el circuito partido al medio:



$$R_{Win} = 2 \left(\frac{R_E}{2} \parallel r_{\pi} \right) = 3,78 \text{ k}\Omega$$

(A) $V_{ODC} = V_{EB} + R_E \frac{I_{E2}}{2} = -66,7 \text{ mV} \approx 0 \text{ V}$

$$\begin{aligned} V_{E3,4} &= V_{C3,2} + V_{ES} \\ V_{C3,2} &= V_{CC} - R_C \frac{I_{C2}}{2} = 9,5 \text{ V} \end{aligned} \Rightarrow V_{E3,4} = 9,7 \text{ V}$$



• Por arriba:

$$N_{op} = V_{E3,4} - V_{ECSAT} - V_{ODC}$$

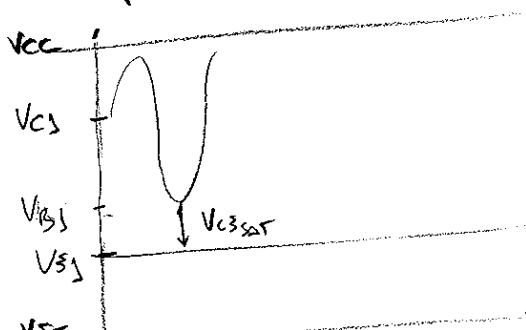
$$N_{op} = 9,4 \text{ V}$$

COND. q' (limite)

• Por debajo:

$$N_{bp} = V_{ODC} - V_{ES} = 15 \text{ V}$$

Verifico q' no limite arriba &



la 1er etapa:

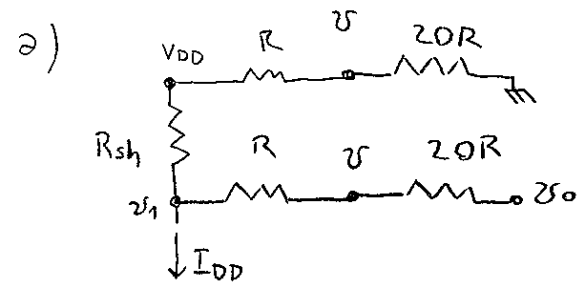
$$V_{B3} = 0 \text{ V} \Rightarrow V_{E3} = -0,6 \text{ V}$$

$$\bullet N_{csp} \leq V_{CC} - V_{C3} = 5,9 \text{ V}$$

$$\bullet N_{csp} \leq V_{C3} - V_{ECSAT} - V_{E3} = 9,4$$

$$N_{op} = g_m R_E N_{csp} \Rightarrow N_{csp} \leq \frac{N_{op}}{g_m R_E} = 16 \text{ mV} / \text{NO LIMITE}$$

Problema 2 ($v = v^+ = v^-$ en todo el problema)



$$\frac{V_{DD}}{21R} = \frac{v}{20R} \Rightarrow v = \frac{20}{21} V_{DD} \quad (*)$$

$$\frac{v_1 - v}{R} = \frac{v - v_o}{20R} \Rightarrow v_o = -20(v_1) + 21v \Rightarrow \quad (*)$$

$$\Rightarrow v_o = 20(V_{DD} - v_1)$$

$$\frac{V_{DD} - v_1}{R_{sh}} = I_{DD} + \frac{v_1 - \frac{20}{21} V_{DD}}{R} \Rightarrow v_1 = \frac{V_{DD}}{\frac{1}{R_{sh}} + \frac{1}{R}} - I_{DD} + \frac{20}{21} \frac{V_{DD}}{R}$$

$$\Rightarrow v_o = \frac{RR_{sh}}{R+R_{sh}} \cdot 20 \left(\frac{V_{DD} + I_{DD}}{21R} \right)$$

b) $ICMR = \frac{V^+ + V^-}{2} \Rightarrow \frac{20}{21} V_{DD} = ICMR \Rightarrow ICMR_{min} \leq \frac{20}{21} V_{DD} \leq ICMR_{max}$

$v^+ = v^- = v$

c) $0,3V = \frac{RR_{sh}}{R+R_{sh}} \cdot 20 \left(\frac{V_{DD} + I_{DD}^{min}}{21R} \right) \leftarrow OSW_{min}$

$V_{DD} - 0,5V = \frac{RR_{sh}}{R+R_{sh}} \cdot 20 \left(\frac{V_{DD} + I_{DD}^{max}}{21R} \right) \leftarrow OSW_{max}$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{DD}^{min} = \frac{R+R_{sh}}{R \cdot R_{sh}} \cdot 0,3V - \frac{V_{DD}}{21R} \\ I_{DD}^{max} = \frac{R+R_{sh}}{R \cdot R_{sh}} \cdot \frac{(V_{DD} - 0,5V)}{20} - \frac{V_{DD}}{21R} \end{cases}$$

d) $\frac{V_{DD} - v}{R_{sh}} = I_{DD} \Rightarrow v = V_{DD} - I_{DD} R_{sh}$

$I_{CQ1} = \frac{V_{DD} - v}{R}$

$\Rightarrow I_{CQ1} = I_{DD} \cdot \frac{R_{sh}}{R}$

$\Rightarrow v_o = 20R_{sh} I_{DD}$

además: $v_o = I_{CQ1} \cdot 20R$

e) $v_{o,A0} = v_o + 0,6V = 20R_{sh} I_{DD} + 0,6V$

$\bullet 0,3V = 20R_{sh} I_{DD}^{min} + V_{BE} \Rightarrow I_{DD}^{min} = \frac{0,3V - V_{BE}}{20R_{sh}} (< 0) \Rightarrow I_{DD}^{min} = 0$

$\bullet V_{DD} - 0,5V = 20R_{sh} I_{DD}^{max} + V_{BE} \Rightarrow I_{DD}^{max} = \frac{V_{DD} - 0,5V - V_{BE}}{20R_{sh}}$

$\bullet V_{DD} - I_{DD} R_{sh} - 20R_{sh} I_{DD} = V_{CE} > V_{CESAT} \Rightarrow I_{DD}^{max} = \frac{V_{DD} - V_{CESAT}}{21R_{sh}}$

$\Rightarrow I_{DD}^{max} = \min \left\{ \frac{V_{DD} - 0,5V - V_{BE}}{20R_{sh}}, \frac{V_{DD} - V_{CESAT}}{21R_{sh}} \right\}$

BS

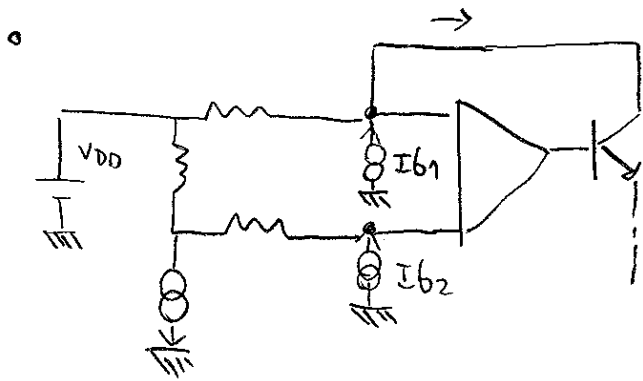
$$f) V_{DD} - I_{DD} R_{sh} \in [I_{CMR_{min}}, I_{CMR_{max}}]$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{CMR_{max}} \geq V_{DD}$$

$$V_{DD} - \min \left\{ \frac{V_{DD} - 0,5V - V_{BE}}{20}, \frac{V_{DD} - V_{CE_{SAT}}}{21} \right\} > I_{CMR_{min}}$$

g) aplicando superposición:

$$\bullet V_{off} : -20 \cdot V_{off} = V_{off}$$



contribución de I_{b2} :

$$- \frac{(R + R_{sh}) I_{b2}}{R} \cdot 20R = V_{off}^{I_{b2}}$$

contribución de I_{b1} :

$$I_{b1} \cdot 20R = V_{off}^{I_{b1}}$$

$$I_{b1} = I_b + I_{off}/2$$

$$I_{b2} = I_b - I_{off}/2$$

$$\Rightarrow V_{off}^{I_b} = 20R \left[(I_{b1} - I_{b2}) - \frac{R_{sh}}{R} I_{b2} \right] =$$

$$= 20R \left[I_{off} - \frac{R_{sh}}{R} \left(I_b - \frac{I_{off}}{2} \right) \right] =$$

$$= 20R \left[I_{off} \cdot \left(1 + \frac{R_{sh}}{2R} \right) - \frac{R_{sh}}{R} I_b \right]$$

BS

$$\Rightarrow \text{error} = V_{off}^{I_b} \Big|_{\substack{I_{off} = I_{off_{max}} \\ I_b = -I_{bias_{max}}}} + V_{off}^{V_{off}} \Big|_{V_{off} = -V_{off_{max}}} =$$

$$= 20 V_{off_{max}} + 20R \left[I_{off_{max}} \left(1 + \frac{R_{sh}}{2R} \right) + \frac{R_{sh}}{R} I_{bias_{max}} \right]$$