PARCIAL DE ELECTRONICA FUNDAMENTAL

01/07/2019

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 (30 puntos)

El circuito de la figura es un amplificador de la señal detectada por el fotodiodo Pd. Esta señal esta dada por una corriente inversa en el fotodiodo (i_{PD}) con una componente continua (I_{PD}) y una componente de señal, sinusoidal, ($i_{pd} = \hat{\imath}_{pd}\ .sen(\omega t)$): $i_{PD} = I_{PD} + \hat{\imath}_{pd}\ .sen(\omega t)$, donde la amplitud $\hat{\imath}_{pd}$ puede variar entre 0 y un valor máximo $\hat{\imath}_{pd\,MAX}$. Ambos operacionales son del mismo modelo y se supondrán ideales salvo donde se indique lo contrario.

a) Determinar qué debe cumplir Rz para que el Zener funcione correctamente en zona Zener. En lo que resta del problema se supondrá que Rz cumple con lo aquí hallado.

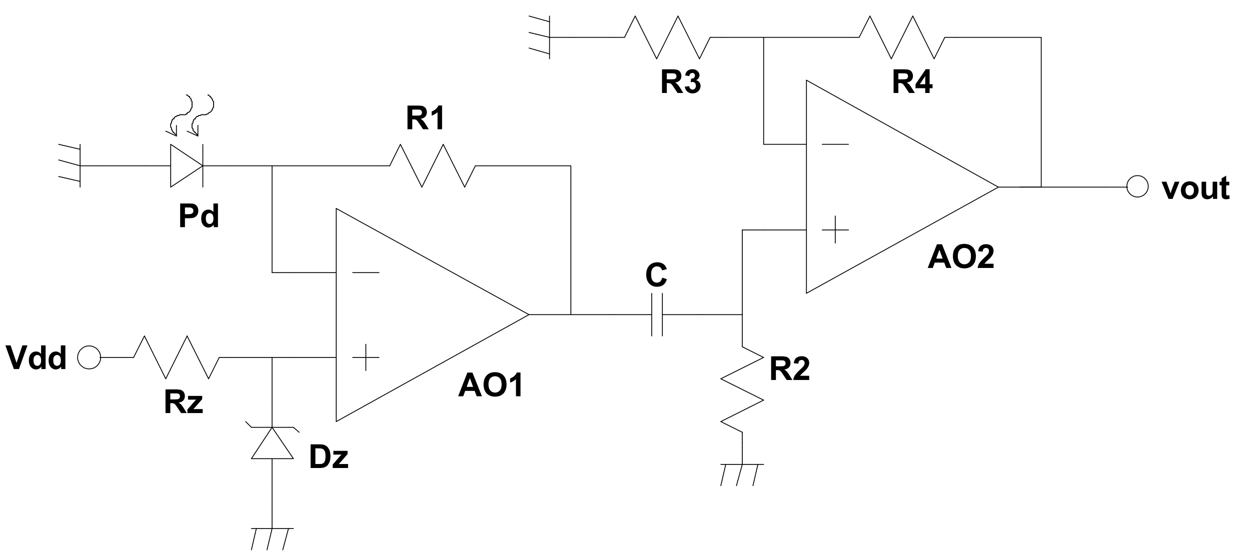
b) Determinar ($vout/i_{pd}$) en la banda pasante del amplificador.

c) Indicar qué debe cumplir el rango de entrada en modo común (ICMR) para cada uno de los operacionales para que el circuito funcione correctamente.

d) Si los operacionales tienen tensión de offset (V_{offset}), corriente de bias I_{BIAS} y corriente de offset I_{OFFSET}, determinar en el peor caso cuanto varía la tensión de salida vout debido a ello.

e) Asumiendo que la frecuencia de corte superior está fijada por AO2, y que el f_T de los operacionales es 1.5 MHz, determine entre qué frecuencias se tiene la banda pasante del amplificador.

Datos: $I_{PD} = \hat{\imath}_{pd\,MAX}$ =100 nA, Vdd=10 V,
Zener: P_Z=0.1 W, V_Z = 5.2 V, I_{ZT} =1 mA, r_Z = 0,
R1=1.2 MΩ, R2= (R3 en paralelo con R4), R3=1 kΩ, R4=47 k, C=4.7 uF.



PROBLEMA 2 (28 puntos)

Un circuito tiene como especificación tener dos modos de funcionamiento, pudiendo entregar a una carga RL, que puede variar entre 200 Ω y 2 kΩ, pulsos a tensión constante o a corriente constante. Los pulsos son definidos por la tensión de control Vcont que es una onda cuadrada entre 0 y V_{DD}.

a) Para el modo de tensión constante se utiliza el circuito de la Fig. 1.

i) ¿Entre qué valores puede variar la tensión sobre RL cuando Vcont está en V_{DD}?

ii) Si accidentalmente se cortocircuita RL , ¿ qué corriente pasa por el transistor M1 ?

b) El circuito para el modo de corriente constante se construirá utilizando la llave de la Fig. 2. Graficar la variación de la conductancia de la llave, cuando Vo ≈ Vi, en función de Vi, para $0 <= Vi <= V_{DD}$. Indicar claramente para que rango de valores de Vi conduce cada transistor.

c) La llave de la parte b) se utiliza en el circuito de la Fig. 3 para implementar el modo de corriente constante. ¿Cuánto vale la máxima caída de tensión a través de los transistores M1 y M2 (es decir entre su source y drain) ? Indicar para qué condición de RL se tiene esta caída.

Datos transistores: $\beta_n = \beta_p = 25\ mA/V^2$, $V_{t0n} = |V_{t0p}| = 1\ V$, $\delta_n = \delta_p = 0.5$, tensión de Early infinita.
$V_{DD} = 5\ V$, $I = 2\ mA$, $R_{AUX} = 1.25\ k\Omega$.

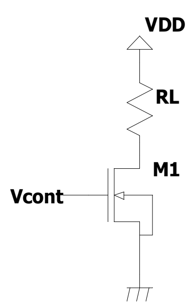
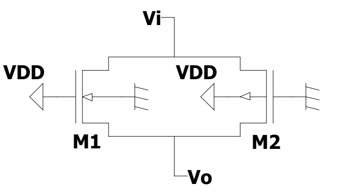
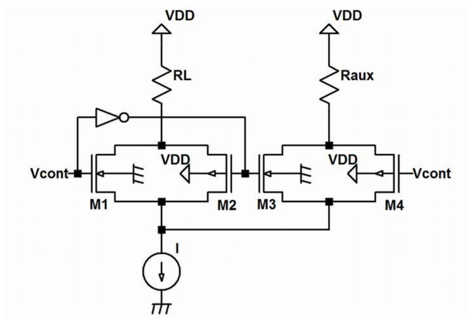
		

Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3

PROBLEMA 3 (30 puntos)

a) Suponiendo que la tensión en v_{OUT} es tal que M2 está saturado, determinar la corriente por R_L (de aquí en más llamada Iout) y la resistencia de salida en el circuito de la Fig. 1.

b) i) Suponiendo que la tensión en Vref y en v_{OUT} es tal que M2 y M3 están saturados, determinar Iout y la resistencia de salida en el circuito de la Fig. 2.
ii) ¿ qué tiene que cumplir Vref para que el circuito funcione como se indica ?

c) En el circuito de la Fig. 3, suponiendo que las tensiones son tales que todos los transistores están saturados, determine la ganancia v_{out}/v_i a frecuencias medias en función de los datos del problema.

Datos: En todo el problema se supondrán conocidos los siguientes datos: VDD, I, RL y datos de los transistores: nMOS: β_n, V_{t0n}, δ_n, tensión de Early: V_{An}; pMOS: β_p, V_{t0p}, δ_p, tensión de Early: V_{Ap}, C_i infinito, R_F se supondrá suficientemente grande como para que se pueda despreciar su efecto en señal.

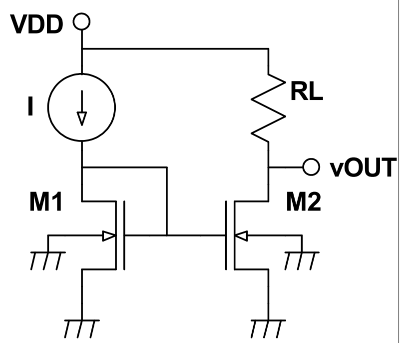


Fig. 1

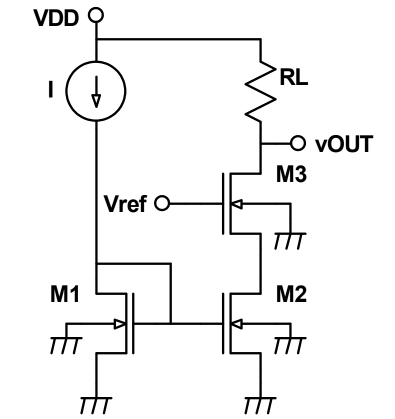


Fig. 2

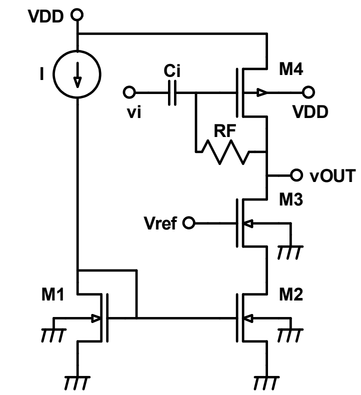
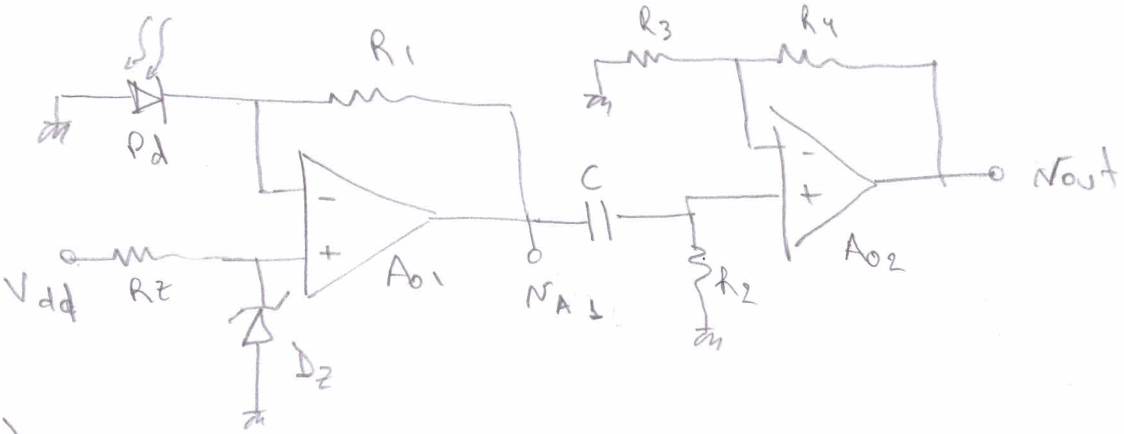


Fig. 3

PREGUNTA (12 puntos)

Un circuito digital CMOS tiene un consumo de 10W operando a 120MHz alimentado de 3.3V, el cuál se reparte en 20% de consumo estático y 80 % de consumo dinámico. La potencia disipada por camino directo entre VDD y VSS se considera despreciable.
En esta situación, el camino crítico (máximo retardo), tiene un retardo que corresponde a medio período de reloj, mientras que el retardo máximo admisible es de un período de reloj.
Se desea reducir el consumo operando con una menor tensión de alimentación.
Se supondrá que la tensión de alimentación es en todos los casos mucho mayor que la tensión umbral de los transistores de la tecnología. ¿Cuál es la mínima potencia que se puede consumir y con que tensión de alimentación se alcanzaría si se desprecia la dependencia del consumo estático con la tensión de alimentación?

Problema 1



a)

$P_z = 0{,}1\,W$

$V_Z = 5{,}2\,V$

$I_{ZT} = 1\,mA$

$r_Z = 0$

$V_{dd} = 10\,V$

$$P_z = V_z \cdot I_z = V_z \cdot \frac{(V_{dd} - V_z)}{R_z} < 0{,}1\,W$$

$$I_z = \frac{V_{dd} - V_z}{R_z} > I_{ZT}$$

$\Longrightarrow$

$$\frac{V_z \cdot (V_{dd} - V_z)}{0{,}1\,W} < R_z < \frac{V_{dd} - V_z}{I_{ZT}} \Rightarrow 250\,\Omega < R_z < 4{,}8\,k\Omega .$$

b)

$$i_{PD} = I_{PD} + \hat{i}_{pd}\, \text{sen}(wt)$$

$$i_{pd} = \hat{i}_{pd} \cdot \text{sen}(wt)$$

$$v_{A1} = V_Z + i_{PD} \cdot R_1 = \underbrace{V_z + I_{PD} \cdot R_1}_{V_{A1}} + \underbrace{i_{pd} R_1}_{v_{a1}}$$

$$v_{out} = v_{a1} \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} + 1\right) = i_{pd} \cdot R_1 \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

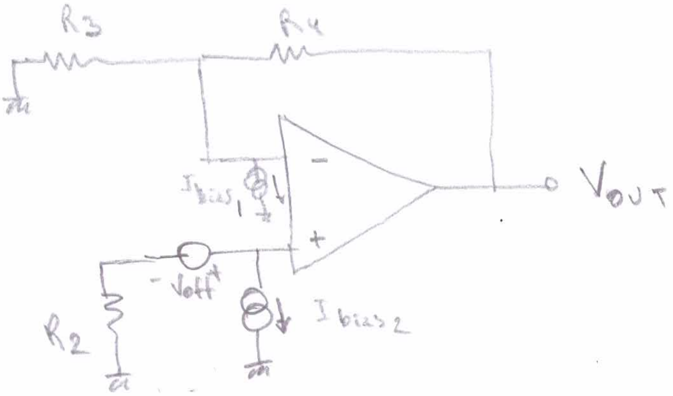
$$\boxed{\frac{v_{out}}{i_{pd}} = R_1 \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)}$$

c) Para A_{O1} $v_{cm} = V_z \Rightarrow ICMR_{min} < V_z < ICMR_{máx}$

Para A_{O2} en la banda pasante $v_{cm} = \hat{i}_{pd}\, \text{sen}(wt)\, R_1$

$$\Rightarrow ICMR_{min} < -\hat{i}_{pd\,MÁX} R_1 \quad , \quad ICMR_{MAX} > \hat{i}_{pd\,Máx} R_1$$

d) Debido a C la continua de v_{A1} no aparece en v_{out} $\Rightarrow$ analizo solo AO_2



Aplico superposición

$I_{bias1}, I_{bias2} = \phi$, $V_{off} \neq \phi$

$$\frac{V_{off}}{R_3} = \frac{V_{OUT} - V_{off}}{R_4} \Rightarrow V_{OUT} = V_{off}\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

$I_{bias1} \neq 0$, $I_{bias2} \neq 0$, $V_{off} = \phi$

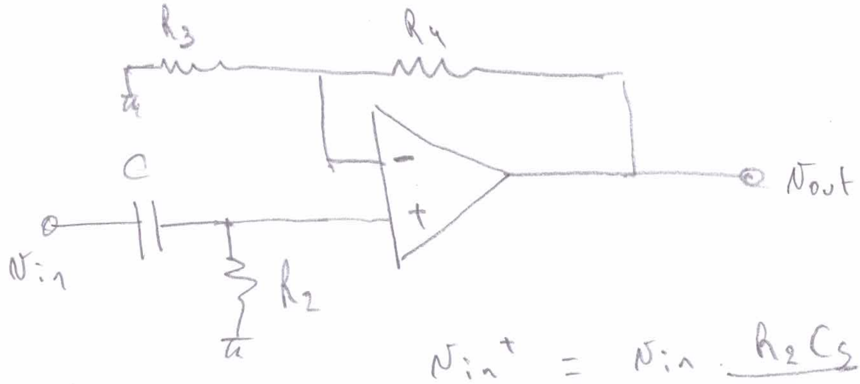
como $R_2 = R_3 // R_4 \Rightarrow V_{OUT} = (I_{bias1} - I_{bias2}) R_4$

$$= I_{OFFSET} \cdot R_4$$

$$\boxed{V_{out} = V_{off}\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) + I_{OFFSET} R_4}$$

peor caso cuando ambos términos (V_{off}, I_{OFFSET}) tienen el mismo signo

e)

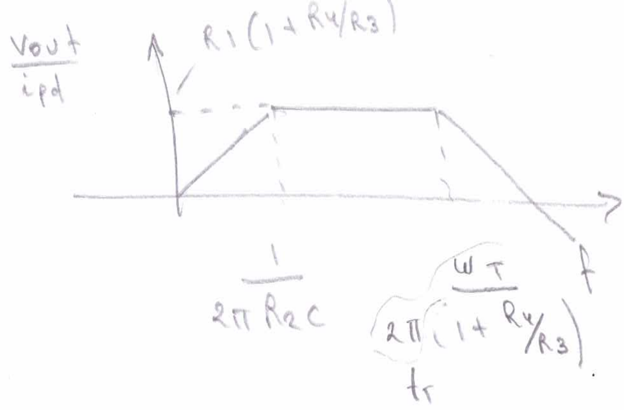


$f_T = 1{,}5\ \text{MHz}.$

$$v_{in}^{+} = v_{in} \cdot \frac{R_2 C s}{(R_2 C s + 1)}$$

$$v_{out} = v_{in}^{+} \cdot \frac{\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)}{1 + s/\left(\frac{w_T}{(1 + R_4/R_3)}\right)}$$

e)



Banda passante $\frac{1}{2\pi R_2 C} < f < \frac{f_T}{(1+R_4/R_3)}$

Problema 2 - Electrónica Fundamental 2019

a) i) Supongo zona lineal: $I = \beta(V_G - V_{T\phi})V_D$, si $V_G - V_{T\phi} \gg \frac{1+\delta}{2} \cdot V_D$

Por otro lado $I = \frac{V_{DD} - V_D}{R_L}$, entonces $\beta(V_G - V_{T\phi})V_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R_L}$.

$$V_D = \frac{V_{DD}}{1 + \beta R_L (V_G - V_{T\phi})}$$

$\longrightarrow$ Si $R_L = 200\Omega$: $V_D = 0{,}24V$

Si $R_L = 2k\Omega$: $V_D = 25mV$

Verifico • zona lineal: $V_P = \frac{V_G - V_{T\phi}}{1+\delta} = 2{,}67V$ y $V_D < V_P$ se cumple.

• no corte: $V_G > V_{T\phi}$ porque $5V > 1V$

• $V_G - V_{T\phi} \gg \frac{1+\delta}{2} \cdot V_D$: $4V \gg 0{,}18V$ ✓

ii) Si $V_D = V_{DD} \longrightarrow$ M1 satura:

$$I = 25\frac{mA}{V^2} \cdot \frac{(5V - 1V)^2}{2(1+0{,}5)} = 133mA$$ y $V_D = 5V > V_P = 2{,}67V$.

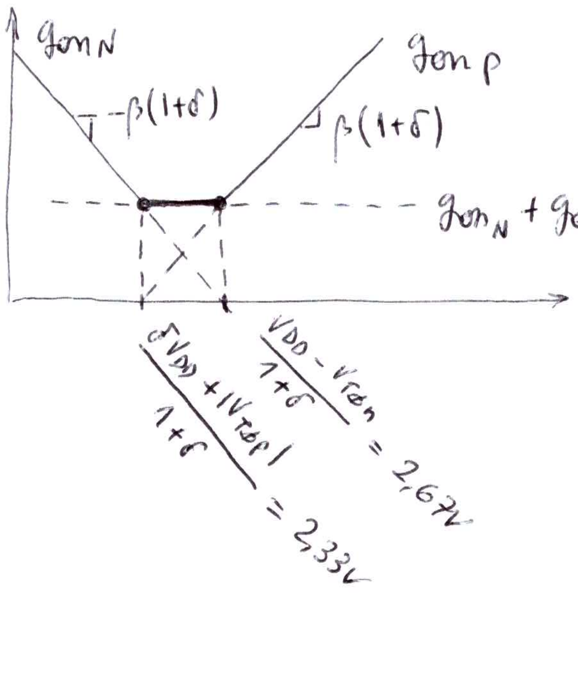
b) $g_{on\,N} = \left.\frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{DS}}\right|_{V_{DS}\approx 0} = \beta\left(V_{DD} - V_{T\phi n} - (1+\delta)V_i\right)$ si NMOS en zona lineal $V_i < \frac{V_{DD} - V_{T\phi}}{1+\delta}$

$$g_{on\,p} = \beta\left(V_{BG} - |V_{T\phi p}| - (1+\delta)V_{BS}\right) = \beta\left[V_{DD} - |V_{T\phi p}| - (1+\delta)(V_{DD} - V_i)\right] =$$

$$= \beta\left(V_i(1+\delta) - |V_{T\phi p}| - \delta V_{DD}\right)$$

si PMOS en zona lineal $V_{DD} - V_i < \frac{V_{DD} - |V_{T\phi p}|}{1+\delta} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_i > \frac{V_{DD}\delta + |V_{T\phi p}|}{1+\delta}$



$g_{on_N} + g_{on\,p} = \beta\left[(1-\delta)V_{DD} - V_{T\phi n} - |V_{T\phi p}|\right]$

Si $0 \leq V_i \leq 2{,}67V$, conduce NMOS

Si $2{,}33V \leq V_i \leq 5V$, conduce PMOS

c) $I = cte \Rightarrow$ máxima V_{DS} ocurre para g_{on} mínima

$$g_{on}^{mín} = \beta\left([1-\delta]V_{DD} - V_{T0n} - |V_{T0p}|\right) = 25\frac{mA}{V^2}\left(0{,}5\times 5V - 1V - 1V\right) = 12{,}5\,mS$$

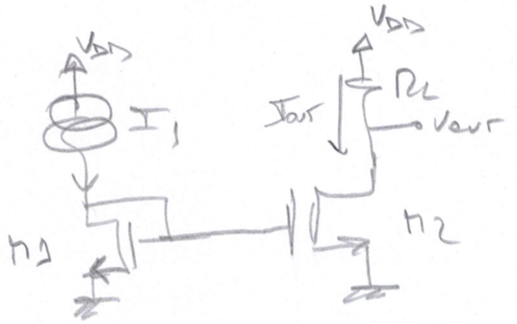
$$V_{DS}^{máx} = \frac{I}{g_{on}^{mín}} = \frac{2mA}{12{,}5mS} = 0{,}16V$$

$$\left.\begin{array}{l} V_{DD} - V_i = R_L I \\ 2{,}33V \leq V_i \leq 2{,}67V \end{array}\right| \Rightarrow R_L \leq \frac{5V - 2{,}33V}{2mA} = 1{,}34\,k\Omega$$

$$R_L \geq \frac{5V - 2{,}67V}{2mA} = 1{,}17\,k\Omega$$

ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL — PARCIAL 2019

(a)



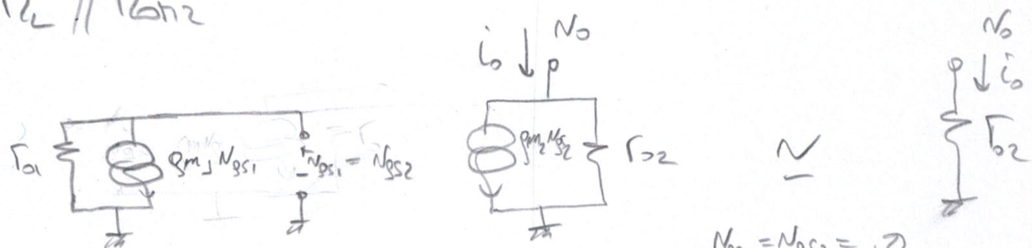
$V_{GS1} = V_{GS2}$

$\Rightarrow I_{D2} = \frac{\beta_n}{2(1+\delta_n)} (V_{GS2} - V_{t0n})^2 = I_{D1}$

$\Rightarrow \boxed{I_{out} = I_1}$

(b) i) $R_{out} = R_L // R_{on2}$

R_{on2}:

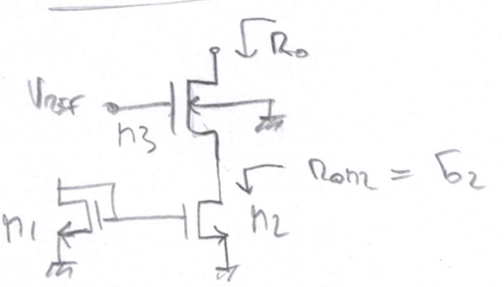


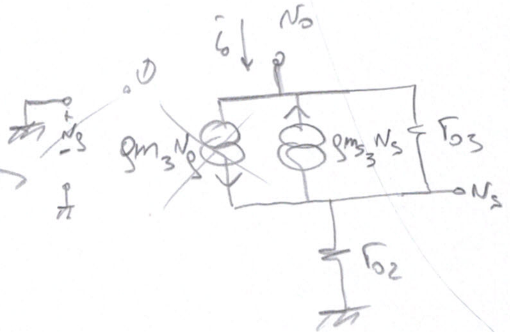
$v_{gs1} = v_{gs2} = 0$

$\Rightarrow R_{on2} = r_{o2} = \frac{V_{An}}{I_1}$ $\Rightarrow \boxed{R_{out} = R_L // r_{o2}}$

(b) i) Dado que M2 está saturado $\xrightarrow{(a)} I_{D2} = I_1$ además como $I_S = I_D$ para cualquier R_{OS} $\Rightarrow \boxed{I_{out} = I_1}$

$\boxed{R_{out} = R_L // R_o}$





$g_{ms} = (1+\delta) g_m$

$\Downarrow$

$g_{ms} = \sqrt{2(1+\delta)\beta I_D}$

$v_g = 0 \Rightarrow g_m v_g = 0$

$\Rightarrow \begin{cases} i_o = \frac{v_o - v_s}{r_{o3}} - g_{ms3} v_s \\ v_s = i_o r_{o2} \end{cases} \xRightarrow[r_{o2} = r_{o3}]{} i_o r_o = v_o - i_o r_o - g_{ms3} i_o r_o^2$

$\Rightarrow v_o = i_o r_o (2 + g_{ms3} r_o) \Rightarrow \boxed{R_o = r_o(2 + g_{ms3} r_o)} \Rightarrow \boxed{R_{out} = R_L // r_o(2+g_{ms3} r_o)}$

ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL — PARCIAL 2019

(b) ii)

V_{ref} mínimo — V_{ref} / M2 SAT y V_{RSF} / M3 SAT — V_{ref} máximo

VER PRÓX. HOJA

$$M2 \text{ SAT} \iff V_{D_2} > \frac{V_{G2} - V_{ton}}{1+\delta_n} \underset{\text{eq. } I_{D_2}}{=} \sqrt{\frac{2 I_{out}}{(1+\delta_n)\beta_n}}$$

$$V_{D_2} = V_{S_3}$$

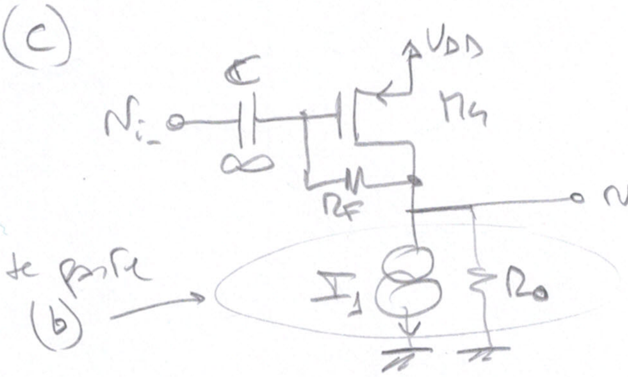
$$V_{GS_3} \;/\; \overset{I_{D_3}}{I_{out}} = \frac{\beta_n}{2(1+\delta_n)} \left(V_{GS_3} - V_{tn}\right)^2$$

$$\rightarrow \sqrt{\frac{2(1+\delta_n) I_{out}}{\beta_n}} = \underbrace{V_{GS_3}}_{V_{RSF} - V_{S_3}} - V_{ton} - \delta_n V_{S_3} = V_{RSF} - V_{ton} - (1+\delta_n) V_{S_3}$$

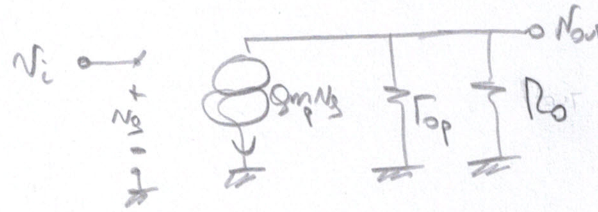
$$\Rightarrow V_{S_3} = \frac{V_{RSF} - V_{ton}}{1+\delta_n} - \sqrt{\frac{2 I_{out}}{(1+\delta_n)\beta_n}} > \sqrt{\frac{2 I_{out}}{(1+\delta_n)\beta_n}}$$

$$\rightarrow \boxed{V_{RSF} > 2\sqrt{\frac{2(1+\delta_n) I_{out}}{\beta_n}} + V_{ton}}$$

(c)



$\sim$



$$\rightarrow \boxed{\frac{v_{out}}{v_{i-}} = -g_{mp}\left(r_{op} /\!/ R_o\right)}$$

$$g_{mp} = \sqrt{\frac{2\beta_p I_{out}}{(1+\delta_p)}} \qquad r_{op} = \frac{V_{Ap}}{I_{out}}$$

$$R_o = r_{on}\left(2 + g_{ms_3} r_{on}\right)$$

$$g_{ms_3} = \sqrt{2\beta_n (1+\delta_n) I_{out}} \qquad r_{on} = \frac{V_{An}}{I_{out}}$$

(b) ii) V_{ref}^{max} / M3 SAT

$$\left.\begin{array}{l} V_{D_3} > \dfrac{V_{G3} - V_{t0n}}{1+\delta_n} = \dfrac{V_{REF} - V_{t0n}}{1+\delta_n} \\ V_{D_3} = V_{DD} - R_L I_{OUT} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{REF} < (V_{DD} - R_L I_{OUT})(1+\delta_n) + V_{t0n}}$$

PARCIAL ELECTRONICA FUNDAMENTAL 1/7/19

PREGUNTA

$$P_{tot}\left(@ \begin{array}{l} f = 120\,\pi\,Hz \\ V_{DD} = 3.3V \end{array}\right) = 10W$$

$$P_{din} = 8W, \quad P_{estatico} = 2W$$

$$t_d(@ V_{DD} = 3.3V) = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$$

$$t_{dmax} = T = 2 \cdot t_d(@ V_{DD} = 3.3V)$$

$$t_d \propto \frac{1}{V_{DD}} \Rightarrow V_{DDmin} = \frac{3.3V}{2}$$

$$\Rightarrow \left.\begin{array}{l} P_{min\,din} = C_{ef} \cdot f \cdot V_{DDmin}^2 \\ C_{ef} = \dfrac{P_{din}}{f \cdot V_{DD}^2} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{min\,din} = \left(\frac{V_{DDmin}}{V_{DD}}\right)^2 \cdot P_{din} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot P_{din}$$

$$\rightarrow P_{min\,din} = \frac{8W}{4} = 2W$$

$$P_{totmin} = P_{min\,din} + P_{estatico} = \underline{\underline{4W}}$$