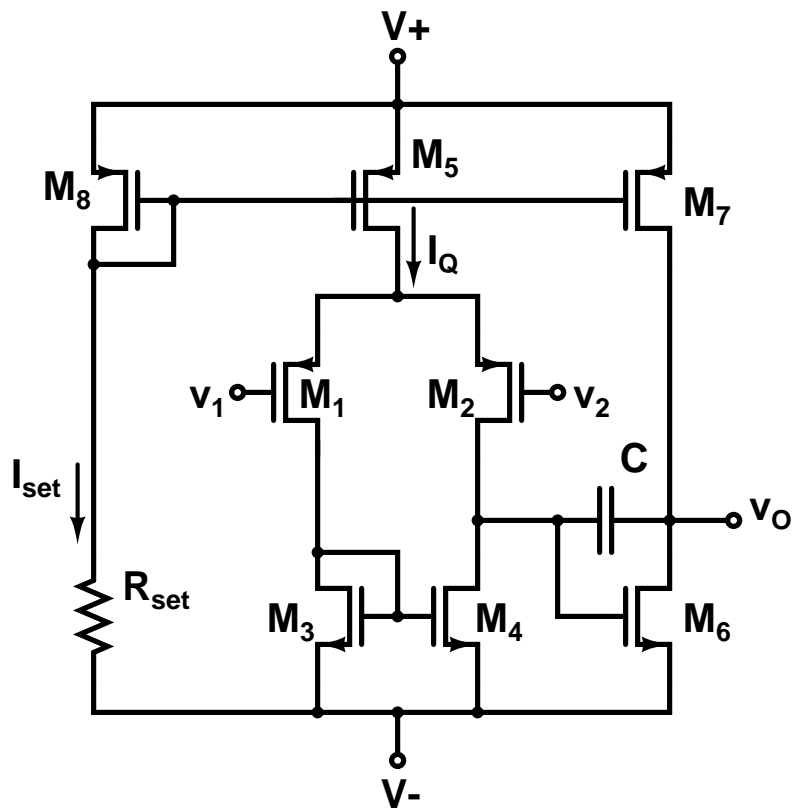


Análisis del mc14573 CMOS Opamp

Manuel Toledo
ECE Department
University of Puerto Rico
Mayaguez, Puerto Rico

14 de noviembre de 2012



1. Análisis DC

$$\begin{aligned}
 V_+ - V_- &= v_{SG,8} + I_{set}R_{set} \\
 i_{D,8} &= I_{set} = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_8 (v_{SG,8} - |V_{tp}|)^2 \\
 v_{SG,8} &= \sqrt{\frac{I_{set}}{\frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_8}} + |V_{tp}| \\
 V_+ - V_- &= \sqrt{\frac{I_{set}}{\frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_8}} + |V_{tp}| + I_{set}R_{set} \\
 I_Q &= \frac{(W/L)_5}{(W/L)_8} I_{set} & I_{D7} &= \frac{(W/L)_7}{(W/L)_8} I_{set} \\
 I_{D,1} &= I_{D,2} = I_{D,3} = I_{D,4} = \frac{1}{2} I_Q \\
 I_{D,6} &= I_{D,7}
 \end{aligned}$$

- Dados los parámetros del transistor y el valor de R_{set} , se puede resolver para obtener I_{set} .
- Dados los parámetros del transistor, $\left(\frac{W}{L}\right)_8$ y el valor deseado de I_{set} , el valor apropiado de R_{set} puede obtenerse si.
- Dados los parámetros del transistor y el valor deseado de I_{set} , se puede determinar la relación entre $\left(\frac{W}{L}\right)_8$ y R_{set} .

Transconductancias g_m y r_O

$$\begin{aligned}
 g_{m1,2} &= 2\sqrt{\frac{\mu_p C_{ox}}{2} (W/L)_{1,2} \frac{I_Q}{2}} \\
 g_{m3,4} &= 2\sqrt{\frac{\mu_n C_{ox}}{2} (W/L)_{3,4} \frac{I_Q}{2}} \\
 g_{m6} &= 2\sqrt{\frac{\mu_n C_{ox}}{2} (W/L)_7 I_{D7}} \\
 r_{O5} &= \frac{1}{\lambda_p I_Q} \\
 r_{O1} &= r_{O2} = \frac{1}{\lambda_p \frac{I_Q}{2}} = 2r_{O6} \\
 r_{O3} &= r_{O4} = \frac{1}{\lambda_n \frac{I_Q}{2}} \\
 r_{O6} &= \frac{1}{\lambda_p I_{D7}} \\
 r_{O7} &= \frac{1}{\lambda_n I_{D7}}
 \end{aligned}$$

2. Ganancia de voltaje diferencial

El opamp tiene dos etapas.

- Etapa diferencial:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= -\frac{v_d}{2} & v_2 &= +\frac{v_d}{2} \\
 i_{d,1} &= i_{d,3} = i_{d,4} = g_{m1} \frac{v_d}{2} \downarrow \\
 i_{d,2} &= -g_{m2} \frac{v_d}{2} = g_{m1} \frac{v_d}{2} \uparrow \\
 A_{v1} &= \frac{v_{g,4}}{v_d} = (i_{d,2} + i_{d,4})(r_{O4} \parallel r_{O2}) = -g_{m1}(r_{O4} \parallel r_{O2})
 \end{aligned}$$

- Segunda etapa:

$$A_{v2} = \frac{v_{d,6}}{v_{g,6}} = -g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6})$$

- Ganancia diferencial:

$$A_v = \frac{v_o}{v_d} = g_{m1}(r_{O4} \parallel r_{O2})g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6})$$

El signo positivo confirma que la entrada + del opamp es la conectada al gate de $M2$.

3. f_t y “slew-rate”

Frecuencia de ganancia unitaria

Aplicando el teorema de Miller al condensador de C ,

$$C_{eq} = C(1 - A_M) = C(1 + g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6}))$$

Polo dominante, debido a C_{eq} :

$$f_p = \frac{1}{2\pi C_{eq}(r_{O2} \parallel r_{O4})} \simeq \frac{1}{2\pi \times g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6})C \times (r_{O2} \parallel r_{O4})}$$

Frecuencia de ganancia unitaria es igual a f_p multiplicado por la ganancia:

$$\begin{aligned}
 f_t &= \frac{1}{2\pi \times g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6})C \times (r_{O2} \parallel r_{O4})} g_{m1}(r_{O4} \parallel r_{O2})g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6}) \\
 &= \boxed{f_t = \frac{g_{m1}}{2\pi C}}
 \end{aligned}$$

Slew-rate

$$\begin{aligned}
 SR &= \left. \frac{dv_o}{dt} \right|_{max} = A_2 \times \left. \frac{dv_{g,6}}{dt} \right|_{max} = A_2 \frac{I_Q}{C_{eq}} \\
 &= \frac{I_Q}{g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6})C(g_{m,6}(r_{O7} \parallel r_{O6}))} \\
 &= \boxed{SR = \frac{I_Q}{C}}
 \end{aligned}$$

4. Operación de modo común

Ganancia de modo común

La ganancia de modo común es cero debido a la naturaleza diferencial de la salida de la primera etapa.

Valores mínimo y máximo del voltaje de modo común

- Los transistores $M1$, $M2$, $M3$ y $M4$ deben operar en saturación.
- Para $M1$, $M2$, $M3$ y $M4$, $I_D = I_Q/2$.
- M_5 también debe operar en saturación.
- Definición de V_{OV} (*overdrive voltage*) para $M3$ y valor de V_{G3} ,

$$I_D = \frac{I_Q}{2} = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_3 (v_{GS,3} - V_{tn})^2 = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_3 V_{OV,3}^2$$

$$V_{OV,3} = \sqrt{\frac{I_Q/2}{\frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_3}} = V_{G3} - V_- - V_{tn}$$

$$V_{G3} = V_{OV,3} + V_- + V_{tn}$$

- Valor mínimo de V_{CM} es el valor mínimo de V_{G1} que mantiene a $M1$ y $M3$ saturados,

$$V_{SG,1} - |V_{tp}| = V_{S,1} - V_{G,1} - |V_{tp}| \leq V_{SD,1} = V_{S,1} - V_{D,1}$$

$$V_{G,1} + |V_{tp}| \geq V_{D1} = V_{D3} = V_{G3}$$

$$V_{CM,min} = V_{G1,min} = V_{G3} - |V_{tp}| \Rightarrow \boxed{V_{CM} \geq V_- + V_{OV,3} + V_{tn} - |V_{tp}|}$$

- Valor máximo de V_{CM} ; $M1$ y M_5 deben operar en saturación con corrientes iguales a $I_Q/2$ y I_Q , respectivamente.

$$I_{D5} = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_5 (v_{SG,5} - |V_{tp}|)^2 = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_5 V_{OV,5}^2$$

$$V_{OV,5} = \sqrt{\frac{I_Q}{\frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_5}}$$

$$V_{SD,5} = V_+ - V_{D5} \geq V_{OV,5} \Rightarrow V_{D5} \leq V_+ - V_{OV,5}$$

$$I_{D1} = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (v_{SG,1} - |V_{tp}|)^2 = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_1 V_{OV,1}^2$$

$$V_{OV,1} = \sqrt{\frac{I_Q/2}{\frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_1}} = V_{SG,1} - |V_{tp}| = V_{D5} - V_{G1} - |V_{tp}|$$

$$V_{G1} = V_{D5} - V_{OV,1} - |V_{tp}|$$

$$V_{G1,max} = V_{CM,max} = V_{D5,max} - V_{OV,1} - |V_{tp}| = V_+ - V_{OV,5} - V_{OV,1} - |V_{tp}|$$

- Rango de V_{CM} :

$$\boxed{V_- + V_{OV,3} + V_{tn} - |V_{tp}| \leq V_{CM} \leq V_+ - V_{OV,5} - V_{OV,1} - |V_{tp}|}$$

Rango del voltaje de salida

M_6 y M_7 debe operar saturados, con

$$\begin{aligned} V_+ - V_O &= V_{SD,7} \geq V_{SG,7} - |V_{tp}| = \\ V_O - V_- &= V_{DS,6} \geq V_{GS,6} - V_{tn} \end{aligned}$$

En modo común,

$$\begin{aligned} I_{D7} &= \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_7 (v_{SG,7} - |V_{tp}|)^2 = \frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_7 V_{OV,7}^2 \\ V_{OV,7} &= \sqrt{\frac{I_{D7}}{\frac{\mu_p C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_7}} \\ I_{D6} &= \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_6 (v_{GS,6} - V_{tn})^2 = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_6 V_{OV,6}^2 \\ V_{OV,6} &= \sqrt{\frac{I_{D6}}{\frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_6}} \end{aligned}$$

$$\boxed{V_- + V_{OV,6} \leq V_O \leq V_+ - V_{OV,7}}$$