



Electrónica Analógica

Ejercicios

Versión: 2015-10-23

Capítulo 8: **Aplicaciones del AO en z. no-lineal.**

Referencias:

Texto base: *Circuitos Electrónicos. Análisis simulación y diseño*,
de Norbert R. Malik. Capítulo 2: Amplificadores
Operacionales.

Otros: Elaborados por los profesores de la materia.

Control de versiones

- 2015-10-23: fecha de la versión de los contenidos. En el curso 2016-17 se cambia la referencia del capítulo a la actual, Capítulo 8, según el plan de la asignatura en este curso.
Esta versión incorpora un código orientativo para la preparación y estudio de los ejercicios. Se tienen las siguientes categorías y recomendaciones (calificadas entre uno y dos asteriscos):
 - **(*) Ejercicios básicos:** estos ejercicios son aconsejables para la primera aproximación a este tema. Sirven como estudio de los conceptos básicos y técnicas de análisis (o diseño) correspondientes.
 - **(**) Ejercicios fáciles:** su resolución necesita de un conocimiento y una capacidad operativa algo más exigente que los ejercicios básicos. Se aconseja abordarlos después de haber alcanzado un cierto grado de soltura con los ejercicios básicos.

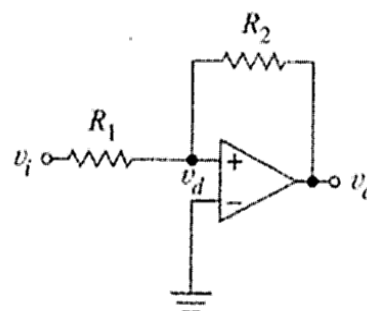
Nota: Algunos problemas están extraídos de uno de los textos base (Malik). Así, ciertas figuras se referencian con la numeración (P2.XX) que se corresponde con la usada en dicho texto. En estos casos, los enunciados han podido ser cambiados ligeramente.

NL-1.-()** Un termómetro electrónico produce una tensión de salida en mV dada por la expresión: $v_s(T)=30+3T$, en donde T es la temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

- Diseñe un circuito que, usando un comparador simple con una tensión de referencia de 5V, active su salida a nivel alto cuando la T supere los 50°C .
- Suponga ahora que el OP usado como comparador tiene, según sus datos de catálogo, una tensión de *offset* de 5mV. ¿Qué incertidumbre introduce este dato a la hora de determinar a qué temperatura se activa el circuito?

NL-2.-(*) Al comparador Schmitt de la figura adjunta (derecha) le entra una forma de onda triangular de 10V de pico. Dibuje las formas de onda en entrada y salida, indicando todos los valores esenciales de las mismas (en tiempos y valores).

Datos: $V_P=V_M=10\text{V}$, $R_1=2,4\text{k}\Omega$, $R_2=4,7\text{k}\Omega$.



NL-3.-(*) El comparador del ejercicio anterior (NL-2) se construye con un AO tipo 741, cuyo $\text{SR} = 0,5\text{V}/\mu\text{s}$. ¿A partir de qué frecuencia de la señal triangular de entrada la señal de salida también es aparentemente triangular?

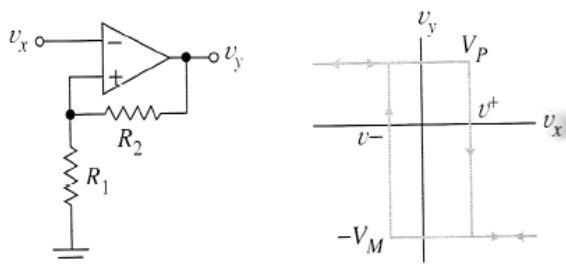
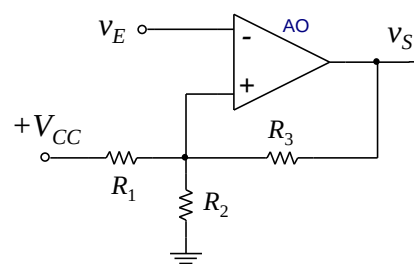


FIGURA P2.82

NL-4.-(*) Determine los valores de la f. de t. del comparador Schmitt de la figura P2.82 supuestos diferentes los valores de las tensiones de saturación V_P y V_M .

NL-5.-()** El circuito de la figura adjunta se ha construido usando un operacional de características ideales, con alimentación simétrica ($\pm V_{CC}$) a 10V, y tres resistores, R_1 , R_2 y R_3 .

- Obtenga las expresiones de las tensiones de conmutación, y del ancho y valor central del ciclo de histéresis en función de los tres resistores.
- Dibuje la función de transferencia, en el caso de que los tres resistores fuesen iguales.



Capítulo 6:

Aplicaciones en zona no-lineal

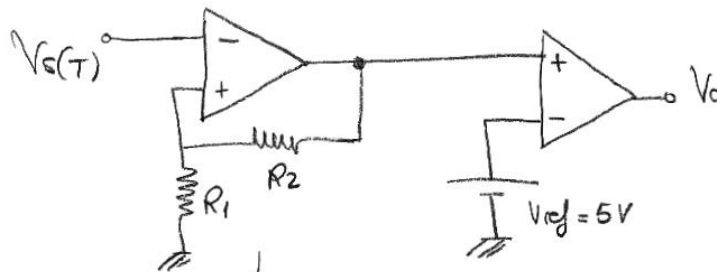
Soluciones a los ejercicios propuestos

NL-1.-

- a) Cto que encienda un comparador simple con $V_{ref} = 5V$, active su salida a nivel alto cuando $T > 50^\circ C$

$$\text{Con } T > 50^\circ C \rightarrow V_s(T) > 180mV$$

Hay que amplificar $V_s(T)$, con Ganancia $G = \frac{5}{180 \cdot 10^{-3}} = 27.7$



$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 27.7 \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 26.7 \quad \left\{ \begin{array}{l} R_1 = 1k\Omega \\ R_2 = 26.7k\Omega \end{array} \right.$$

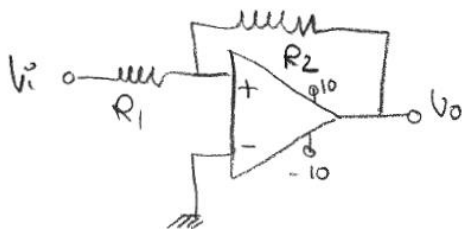
- b) Si el OP del comparador tiene $V_{offset} = 5mV$, ¿qué incertidumbre introduce este dato a la hora de determinar a qué temp se activa el cto?

La incertidumbre de 5mV en la entrada del comparador, debida al offset, corresponde a una variación de Temperatura de

$$\Delta T = 0.06^\circ C$$

$$\Delta V_s(T) = 0.18mV$$

NL-2.-



Primero ponemos la F.T.

$$\text{Si } V_i = 1V, V_o = V_{cc} = 10V$$

$$V_- = 0$$

$$V_+ = \frac{V_i - 10}{R_1 + R_2} \cdot R_2 + 10$$

Conmutación:

$$\frac{V_i - 10}{7.5} \cdot 4.7 = -10 \rightarrow \underline{\underline{V_i = -5.1}}$$

Si $V_i \downarrow$, $V_o = -V_{cc} = -10$

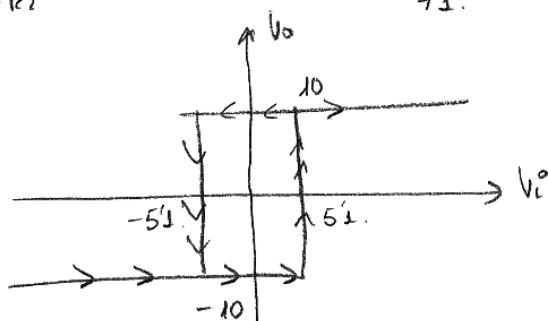
$$V_- = 0$$

$$V_+ = \frac{V_i + 10}{R_1 + R_2} \cdot R_2 - 10$$

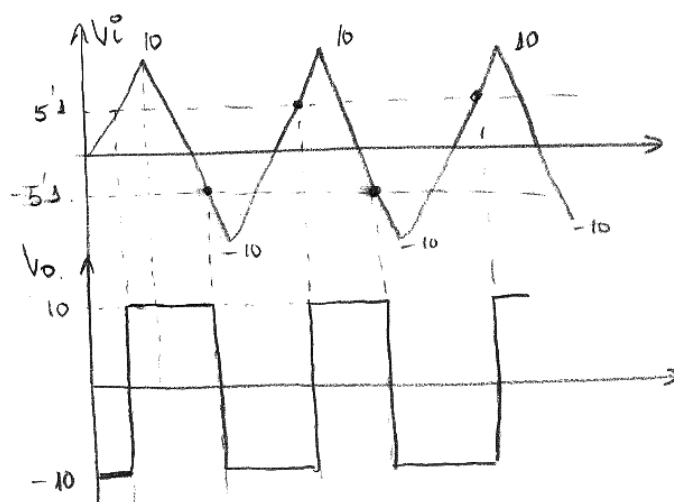


Commutación en

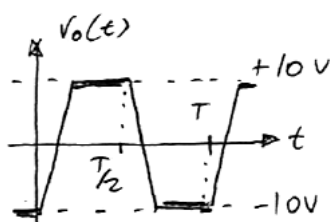
$$\frac{V_i + 10}{7.1} \cdot 4.7 = 10 \rightarrow V_i = 5.1 \text{ V}$$



Las formas de onda pedidas son, por lo tanto:



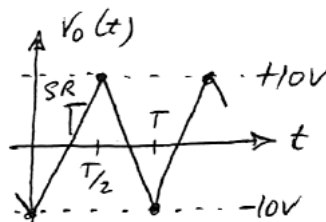
NL-3.-



Salida con S.R.

[Nota: V_i y V_o simétricos]

Si $f \uparrow \Rightarrow$



El S.R. afecta a los flancos de subida de la señal de salida.

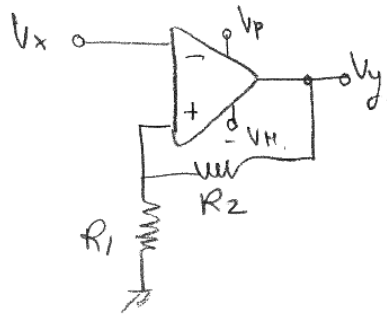
Si la f de la entrada sube, llegará un momento en que NO HABRÁ parte plana en $V_o(t)$.

Observando la $V_o(t)$ en el límite, al llegar a ser triangular, se cumple:

$$\text{en } \frac{T}{2} \Rightarrow \Delta V = V_f - V_i = +10 - (-10) = 20 \text{ V} \Rightarrow m = S.R. = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{20 \text{ V}}{T/2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{2 \cdot \Delta V}{S.R.} = \frac{40 \text{ V}}{0.5 \text{ V}/\mu\text{s}} = 80 \mu\text{s} \Rightarrow \boxed{f = \frac{1}{T} = \frac{1}{80 \mu\text{s}} = 12.5 \text{ kHz}}$$

NL-4.-



del ser inversor:

$$* \text{ Si } V_x \uparrow\uparrow, V_y = -V_H$$

$$V_- = V_x$$

$$V_+ = \frac{-V_H \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

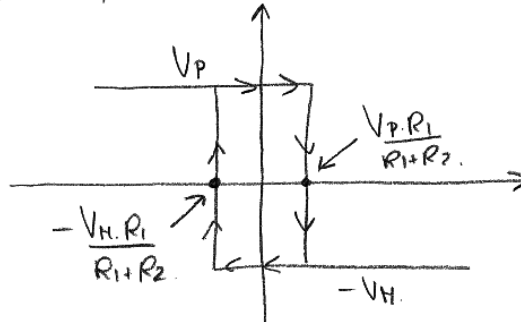
$$\text{Conmuta en } V_x = \frac{-V_H \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$* \text{ Si } V_x \downarrow\downarrow, V_y = V_P$$

$$V_- = V_x$$

$$V_+ = \frac{V_P \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad \left. \begin{array}{l} V_- = V_x \\ V_+ = \frac{V_P \cdot R_1}{R_1 + R_2} \end{array} \right\} \text{ Conmuta en } V_x = \frac{V_P \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

Por lo tanto, la función de transferencia queda:



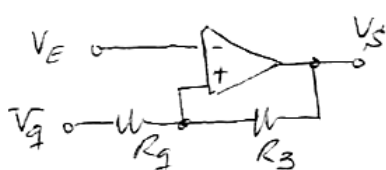
NL-5.-

a).-

En el do. dado, el resistor R_3 tiene como función realimentar V_S a la entrada V^+ . Por otro lado, los resistores R_1 y R_2 , junto con $+V_{CC}$, aportan una V_{ref} a V^+ . Es conveniente simplificar la red $[+V_{CC}, R_1, \text{ y } R_2]$ mediante su eq. Thévenin:

$$+V_{CC} \text{ --- } R_1 \text{ --- } V_x \quad \left. \begin{array}{l} R_2 \text{ --- } \text{GND} \\ \Rightarrow \\ R_{th} = (R_1 \parallel R_2) = R_g \end{array} \right\} \begin{array}{l} V_{th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_g \\ \text{Circuit equivalent: } V_g \text{ --- } R_g \text{ --- } V_x \end{array}$$

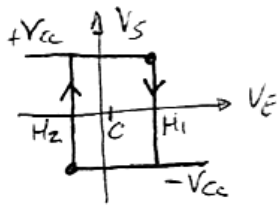
El comparador, inversor, se reduce al do. siguiente:



$$V^- = V_g$$

$$V^+ = V_g \cdot \frac{R_3}{R_g + R_3} + V_S \cdot \frac{R_g}{R_g + R_3}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Conmutaciones en} \\ V^+ = V^- \end{array} \right\} \begin{array}{l} V_S = +V_{CC} \\ V_S = -V_{CC} \end{array}$$



$$\begin{aligned}
 \bullet (H_1) &\rightarrow V_S = +V_{CC} \Rightarrow V_{H1} = V_T \frac{R_3}{R_T + R_3} + V_{CC} \frac{R_4}{R_T + R_3} \\
 \bullet (H_2) &\rightarrow V_S = -V_{CC} \Rightarrow V_{H2} = V_T \frac{R_3}{R_T + R_3} - V_{CC} \frac{R_4}{R_T + R_3}
 \end{aligned}$$

• Ancho del ciclo de Histeresis: $W_H = V_{H1} - V_{H2} = 2 V_{CC} \frac{R_4}{R_T + R_3}$

• Valor central del ciclo de Hist.: $V_C = \frac{1}{2} (V_{H1} + V_{H2}) = V_T \frac{R_3}{R_T + R_3}$

en donde los valores de V_T y R_T vienen dados por las expresiones (*)

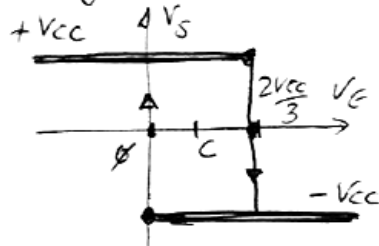
b).-

Si $R_1 = R_2 = R_3 \Rightarrow R_T = \frac{R}{2}$ y $V_T = \frac{V_{CC}}{2}$

Además:

$$\begin{aligned}
 V_{H1} &= \left(\frac{V_{CC}}{2}\right) \cdot \frac{R}{R/2 + R} + V_{CC} \frac{R/2}{R/2 + R} = \frac{V_{CC}}{3} + \frac{V_{CC}}{3} = \frac{2V_{CC}}{3} \\
 V_{H2} &= \left(\frac{V_{CC}}{2}\right) \cdot \frac{R}{R/2 + R} - V_{CC} \frac{R/2}{R/2 + R} = \frac{V_{CC}}{3} - \frac{V_{CC}}{3} = 0
 \end{aligned}$$

La f. de t. quedaría:



Con un $W_H = \frac{2V_{CC}}{3}$ y $V_C = \frac{V_{CC}}{3}$