Problema 10.4ver1

El circuito de la figura 10.4.1 es un convertidor tensión-corriente si se verifica $R_1 = R_2 + R_3$. La resistencia de salida en estas condiciones es $R_{out} = \infty$. a) Calcular el efecto de I_B y V_{IO} en la corriente de carga. i_{out} b) ¿Queda afectada la resistencia de salida?. c) Calcule la deriva de i_{out} con la temperatura.

Nota: Tome el AO1 ideal, salvo: : $I_B = 80nA$, $\dfrac{\Delta I_B}{\Delta T} = 0{,}1nA/^oC$. Tome el AO2 ideal, salvo $V_{IO} = 1mV$, $\dfrac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = 50\mu V/^oC$. $R_2 = R_3 = 10k\Omega$ y $R_1 = 20k\Omega$.

Solución:
El análisis en este caso es más simple (el AO1 solo tiene I_B, y el AO2 solo V_{IO}) que en 10.4 y se puede hacer en un solo paso con el circuito de la figura 10.4.2bis.

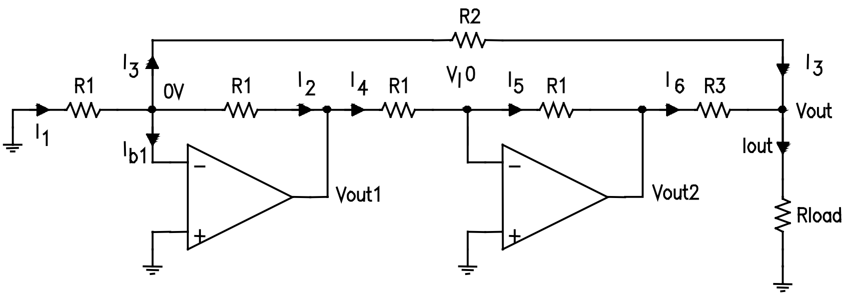

Figura 10.4.2bis

Planteando el balance de corrientes en el circuito se deduce:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= I_{B1} + I_2 + I_3 \\ I_4 &= I_5 \\ I_3 + I_6 &= i_{out} \end{aligned}\right\} \rightarrow \begin{aligned} &0 = I_{B1} + \frac{0 - v_{out1}}{R_1} + \frac{0 - v_{out}}{R_2} \\ &\frac{v_{out1} - V_{IO}}{R_1} = \frac{V_{IO} - v_{out2}}{R_1} \\ &\frac{0 - v_{out}}{R_2} + \frac{v_{out2} - v_{out}}{R_3} = i_{out} \end{aligned}$$

Despejando v_{out2} de la segunda ecuación se obtiene:

$$v_{out2} = 2V_{IO} - v_{out1}$$

De la primera ecuación:

$$v_{out1} = \left(I_{B1} - \frac{v_{out}}{R_2} \right) \cdot R_1$$

Sustituyendo el valor de v_{out1} en la expresión de v_{out2}:

$$v_{out2} = 2V_{IO} - \left(I_{B1} - \frac{v_{out}}{R_2} \right) \cdot R_1$$

Si se sustituye ahora el valor que se ha obtenido para v_{out2} en la tercera ecuación del balance de corrientes, se llega a:

$$i_{out} = -\frac{v_{out}}{R_2} + \frac{2V_{IO} - \left(I_{B1} - \frac{v_{out}}{R_2} \right) \cdot R_1 - v_{out}}{R_3}$$

Sustituyendo en esta última expresión la relación que existe entre las resistencias $R_1 = R_2 + R_3$, se obtiene:

$$i_{out} = -\frac{v_{out}}{R_2} + \frac{2V_{IO}}{R_3} - I_{B1} \frac{R_1}{R_3} + v_{out} \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3} - v_{out} \frac{1}{R_3}$$

Operando, los términos en v_{out} desaparecen y la expresión final resulta:

$$i_{out} = \frac{2V_{IO}}{R_3} - I_{B1} \frac{R_1}{R_3}$$

b) Recuerde que la ecuación genérica para un convertidor de tensión-corriente es:

$$i_{out} = A_G \cdot v_{in} - \frac{1}{R_o} v_{out}$$

Sin embargo, puede apreciarse que el término adicional no depende de la tensión de carga v_{out} (tampoco de v_{in}; es un término constante), por lo que la resistencia de salida no se ve afectada y continua siendo $R_{out} = \infty$.

c) Tomando incrementos en la expresión de i_{out}, se tiene:

$$\Delta i_{out} = \frac{2}{R_3}\Delta V_{IO} - \frac{R_1}{R_3}\Delta I_{B1}$$

La deriva con la temperatura es $\Delta i_{out} / \Delta T$. Dividiendo la expresión anterior por ΔT:

$$\frac{\Delta i_{out}}{\Delta T} = \frac{2}{R_3}\cdot\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} - \frac{R_1}{R_3}\cdot\frac{\Delta I_{B1}}{\Delta T}$$

Con los datos del enunciado:

$$\frac{\Delta i_{out}}{\Delta T} = \frac{2}{10k}\cdot\frac{50\mu V}{^\circ C} - \frac{20k}{10k}\cdot\frac{0{,}1nA}{^\circ C} = 10{,}2\,\frac{nA}{^\circ C}$$

Problema 10.5ver1

En el circuito de la figura 10.5.1

a) Calcular R_2 para que la transresistencia, v_{out} / i_{in} , sea $-0{,}1V / nA$.
b) El AO utilizado tiene una tensión de offset despreciable y unas corrientes de polarización, a 25ºC, de: $I_B = 1nA$ e $I_{IO} = 0{,}2nA$. Determine el error que esto produce en la tensión de salida.
c) Además de los datos del apartado anterior, se tiene que $\frac{\Delta I_B}{\Delta T} = \frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} = 100\,pA/{}^{o}C$. Determine la deriva en la tensión de salida ($\frac{\Delta v_{out}}{\Delta T}$).
d) El AO utilizado tiene unas corrientes de polarización despreciables y una tensión de offset, a 25ºC, de $V_{IO} = 1mV$. Determine el error que esto produce en la tensión de salida.

Solución:
Con el sentido de referencia de la figura 10.5.2bis, el balance de corriente en el nudo A es:

$$i_{in} + i_2 = i_1$$

$$i_{in} + \frac{v_{out} - v_A}{R_2} = \frac{v_A}{R_1}$$

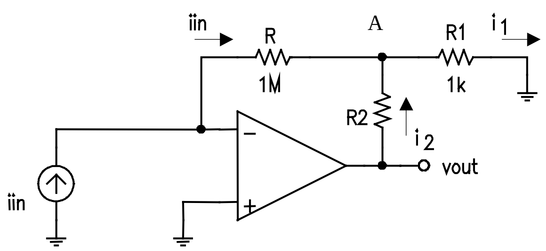

Figura 10.5.2bis

Por otra parte, como $v^- = 0V$, la tensión en el nudo A es:

$$v_A = -i_{in} \cdot R$$

Sustituyendo:

$$i_{in} + \frac{v_{out} + i_{in} \cdot R}{R_2} = -\frac{i_{in} \cdot R}{R_1}$$

Operando:

$$\frac{v_{out}}{i_{in}} = -R_2 \cdot \left(1 + \frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right)$$

Sustituyendo valores e igualando a $-0{,}1V / nA$, se obtiene:

$$R_2 \approx 99k\Omega$$

b) En este caso la corriente en R es: $i_{in} - I_B$, como muestra la figura 10.5.3bis:

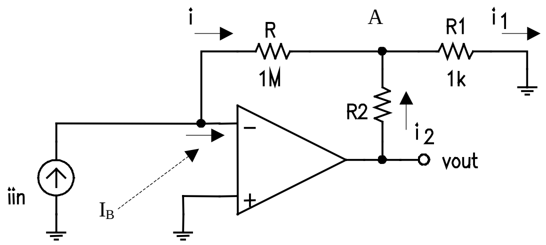

Figura 10.5.3bis

El balance de corriente en el nudo A es ahora:

$$i + i_2 = i_1 \qquad \Rightarrow \qquad i_{in} - I_B + i_2 = i_1$$

Repitiendo el mismo proceso del apartado a):

$$v_{out} = -R_2 \cdot \left(1 + \frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right) \cdot i_{in} + R_2 \cdot \left(1 + \frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right) \cdot I_B$$

El segundo término representa el error cometido. Note que la sensibilidad del circuito frente a la señal es la misma que frente a la corriente I_B:

$$error = R_2 \cdot \left(1 + \frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right) \cdot I_B = 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot I_B$$

En el peor caso: $I_B = 1{,}2nA$, y $error = 0{,}12V$.

c) Si $I_B(T) = I_B(25^o C) + \frac{\Delta I_B}{\Delta T}\Delta T$, el error es:

$$error = 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot I_B(T) = 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot \left[I_B(25^o C) + \frac{\Delta I_B}{\Delta T}\Delta T\right] =$$
$$= 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot \left[1{,}2nA + 0{,}1\left(\frac{nA}{^o C}\right)\Delta T\right]$$

Es decir:

$$v_{out} = -0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot i_{in} + 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot 1{,}2nA + 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot 0{,}1\left(\frac{nA}{^o C}\right)\Delta T$$

Si i_{in} no depende de la temperatura, los dos primeros términos de la ecuación anterior son constantes con la temperatura. Por tanto, un incremento en la temperatura provoca un incremento en la tensión de salida de:

$$\Delta v_{out} = 0{,}1\left(\frac{V}{nA}\right) \cdot 0{,}1\left(\frac{nA}{^o C}\right)\Delta T$$

y la deriva con la temperatura en la tensión de salida es:

$$\frac{\Delta v_{out}}{\Delta T} = 0{,}01\left(\frac{V}{^o C}\right)$$

d) El circuito es el de la figura 10.5.2bis, pero $v^- = V_{IO}$, en lugar de 0V.

Siguiendo el mismo proceso que en el apartado a), el balance de corriente en el nudo A es:

$$i_{in} + i_2 = i_1$$

$$i_{in} + \frac{v_{out} - v_A}{R_2} = \frac{v_A}{R_1}$$

Pero ahora, la tensión en el nudo A es:

$$v_A = V_{IO} - i_{in} \cdot R$$

Sustituyendo:

$$i_{in} + \frac{v_{out} - (V_{IO} - i_{in} \cdot R)}{R_2} = \frac{V_{IO} - i_{in} \cdot R}{R_1}$$

Operando se tiene:

$$v_{out} = -R_2 \cdot \left(1 + \frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right) \cdot i_{in} + V_{IO} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Ahora el error vale:

$$error = 1mV \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 0{,}1V$$

Problema 10.8ver1

Suponiendo que en el circuito de la figura 10.8.1, el AO2 tiene una ganancia finita y función de la frecuencia, *a(jf)*, y que el AO1 es ideal, a) calcular la resistencia de entrada de $R_{in}(jf)$ del circuito en función de *a(jf)*. b) Representar el diagrama de Bode de $R_{in}(jf)$, indicando con claridad el valor de la función en los puntos más característicos.

Solución:

Si el AO2 tiene una ganancia finita, el circuito a considerar es el de la figura 10.8.2bis. Se ha introducido un generador auxiliar de test para calcular la resistencia de entrada como $R_{in} = v_{test} / i_{test}$.

Como el AO1 es ideal, $v_{out} = v_{test}$. En cambio, para el AO2, como la ganancia es finita, $v_{AO2}^{+} \neq v_{AO2}^{-}$. En este caso:

$$v_{out2} = av_d = a \cdot \left(v_{AO2}^{+} - v_{AO2}^{-}\right) = a \cdot \left(v_{test} - v_{out2}\right)$$

Operando y agrupando variables:

$$v_{out2} = v_{test} \frac{a}{1+a}$$

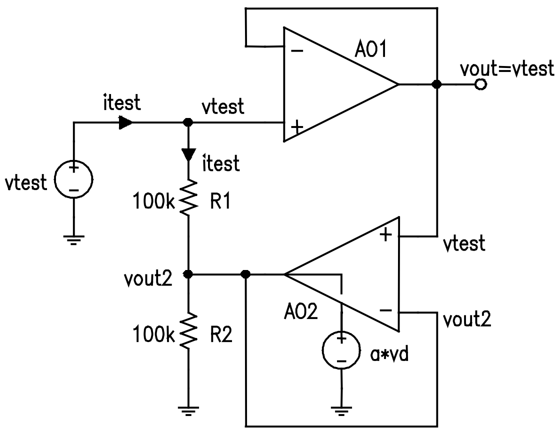

Figura 10.8.1bis

La corriente i_{test} en R_1 se calcula:

$$i_{test} = \frac{v_{test} - v_{out2}}{R_1}$$

Sustituyendo v_{out} en la expresión anterior:

$$i_{test} = \frac{v_{test} - v_{test}\dfrac{a}{1+a}}{R_1} = \frac{1}{R_1} v_{test}\left(1 - \frac{a}{1+a}\right)$$

Operando y agrupando variables:

$$R_{in} = \frac{v_{test}}{i_{test}} = R_1(1+a)$$

b) Tomando *a* en función de la frecuencia:

$$R_{in} = R_1(1 + a(jf)) = R_1\left(1 + \frac{a_o}{1 + j\dfrac{f}{f_a}}\right) = R_1\left(\frac{1 + j\dfrac{f}{f_a} + a_o}{1 + j\dfrac{f}{f_a}}\right)$$

Sacando factor común $(1+a_o)$ en el numerador y suponiendo $f_a(1+a_o) \approx f_a a_o = f_t$, se tiene, finalmente:

$$R_{in} = R_1(1+a_o)\cdot\left(\frac{1 + j\dfrac{f}{f_t}}{1 + j\dfrac{f}{f_a}}\right)$$

La figura 10.8.3bis muestra la representación de Bode (solo módulo de esta función).

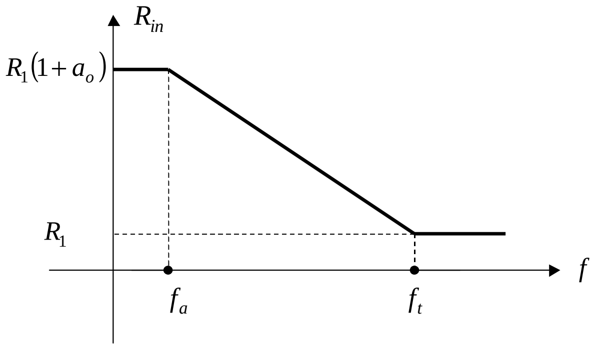

Figura 10.8.3bis

La asíntota para $f \to 0$ se puede calcular directamente de la expresión anterior:

$$R_{in}\Big|_{f\to 0} = R_1(1+a_o)\cdot\left(\frac{1+j0}{1+j0}\right) = R_1(1+a_o)$$

Para calcular la asíntota $f \to \infty$, se divide la expresión inicial por *f*:

$$R_{in}\Big|_{f\to\infty} = R_1(1+a_o)\cdot\left.\left(\frac{\dfrac{1}{f}+j\dfrac{1}{f_t}}{\dfrac{1}{f}+j\dfrac{1}{f_a}}\right)\right|_{f\to\infty} = R_1(1+a_o)\cdot\left.\left(\frac{0+j\dfrac{1}{f_t}}{0+j\dfrac{1}{f_a}}\right)\right| = R_1(1+a_o)\cdot\left(\frac{f_a}{f_t}\right)$$

Suponiendo, de nuevo que $f_a(1+a_o) \approx f_a a_o = f_t$, resulta:

$$R_{in}\Big|_{f\to\infty} = R_1(1+a_o)\cdot\left(\frac{f_a}{f_t}\right) \approx R_1$$