TEMA 1: BOLETÍN DE EJERCICIOS

INTRODUCCIÓN A LA INSTRUMENTACIÓN

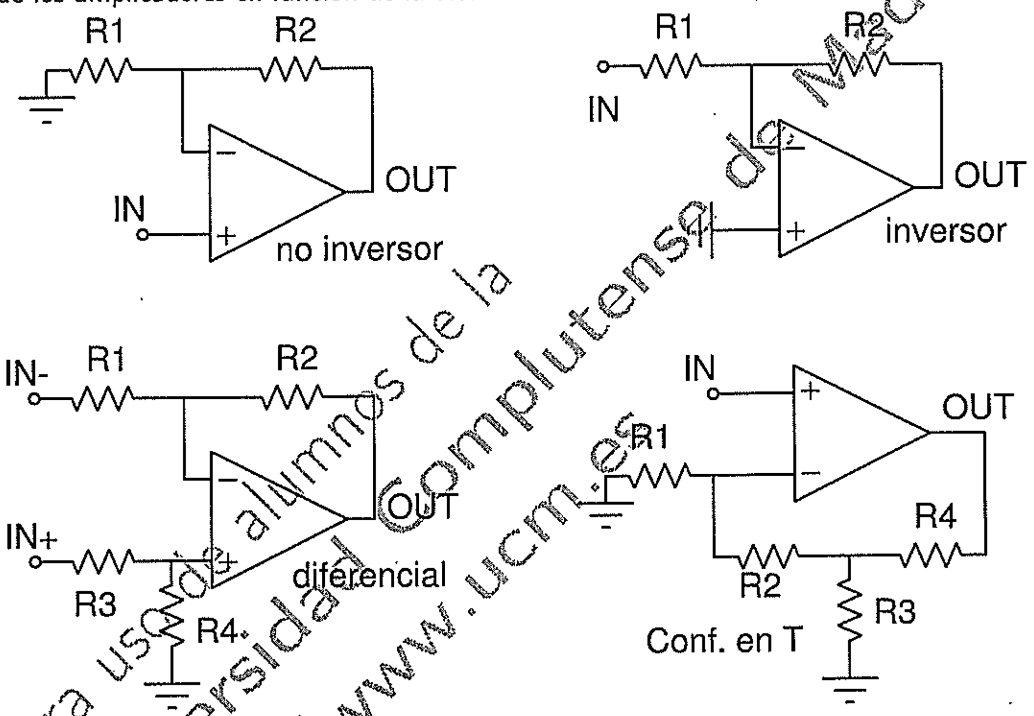
1. Si el ancho de banda es 10 kHz, determine el valor eficaz del ruido térmico en una resistencia
   - (a) de 10 kΩ a 35 ºC.
   - (b) de 10 kΩ a -200 ºC
   - (c) de 100 MΩ a 500 ºC
   - (d) de 1 MΩ a 400 K.
2. Determine el valor eficaz del ruido asociado a una fuente de corriente en la que circula una corriente de
   - (a) 1 mA con un ancho de banda de 10 kHz.
   - (b) 10^{-6} A en el intervalo $f_0 = 5$kHz, $f_1 = 20$ kHz.
   - (c) 1 nA para frecuencias por debajo de 20 kHz.

   En todos los casos, determine la ratio entre el valor eficaz del ruido y el de la corriente continua.
3. A través de un diodo a 65 ºC circula una corriente de 500 μA. Sabiendo que el diodo tiene una resistencia parásita de 100 Ω, determine el valor eficaz del ruido en el intervalo de frecuencias 0-100 kHz.
4. Un diodo ideal se pone en paralelo con una resistencia de 1 MΩ para trabajar a temperatura ambiente. A través de él circula una corriente de 1 mA. Determine al valor eficaz del ruido en el rango 0-2.5 kHz.
5. Determine el ruido observado en la salida de un amplificador operacional ideal a temperatura ambiente debido al ruido térmico de las resistencias en configuraciones no inversora e inversora con $R_1 = 10\ k\Omega$ y $R_2 = 100\ k\Omega$, donde R_2 es la resistencia conectada a la salida del amplificador.
6. Determine el ancho de banda máximo del filtro LP que hay que colocar a la salida de un sensor resistivo para que el valor eficaz del ruido sea menor de 1μV. Dicho sensor tiene un valor típico de 100 kΩ y trabaja a una temperatura de 55 ºC.
7. Al estudiar una resistencia se observa que, además del ruido térmico, aparece un ruido rosa describible como $\Delta v_n^2 = K \cdot f^{-a} \cdot \Delta f$.
   - (a) Expresar la tensión eficaz del ruido rosa para frecuencias superiores a 1 kHz.
   - (b) Suponiendo que $K = 10^{-10}$ V^2·Hz^{a-1} y que $a = 1.3$, determine el valor eficaz de dicho ruido.
   - (c) Si la resistencia es de 1 kΩ y está a 40 ºC, determine la tensión eficaz total del ruido (En este caso, suponga que no hay ruido térmico más allá de 1 MHz)

8. Una fuente de alimentación con resistencia de salida R_O se conecta en paralelo con un condensador C con el objeto de eliminar el ruido. En esta fuen, existe un ruido blanco intrínseco modelable como $\Delta v_{n,S}^2 = A^2 \cdot \Delta f$. Demuestre, que en estas circunstancias, la potencia total de ruido a la salida es $v^*_{eff,n,S} = \frac{1}{2}\frac{A}{\sqrt[4]{R_O C}}$.

9. Descargue la hoja XLS con los datos de distintos sensores reales y calcule en ellos los parámetros característicos (Alcance, salida a fondo de escala, sensibilidad y no linealidad) en los intervalos pedidos.
https://drive.google.com/open?id=0B17O83ggPsojVm1Gd3k1elFTWnM

10. Se construyen amplificadores de varios tipos basados en amplificadores operacionales y resistencias: No inversor, inversor, diferencial y con estructura en T. Determine la incertidumbre en la ganancia de los amplicadores en función de la toleracia de las resistencias, α.



11. Determine la frecuencia de oscilación de un puente de Wien ideal suponiendo que todas las resistencias son distintas. A partir de estos datos, determine la incertidumbre en la frecuencia suponiendo que la tolerancia de condensadores y resistencias es del 5%. ¿Y si la tolerancia de las resistencias fuese del 1% y la de los condensadores del 10%?

Soluciones

1. a) 1.30 μV, b) 0.63 μV, c) 206.5 μV, d) 14.9 μV

2. a) $i_{n,eff} = 1.79\ nA$, $\frac{i_{n,eff}}{I} = 1.79 \cdot 10^{-4}\%$, b) $i_{n,eff} = 69.3\ pA$, $\frac{i_{n,eff}}{I} = 6.93 \cdot 10^{-3}\%$, c) $i_{n,eff} = 2.53\ pA$, $\frac{i_{n,eff}}{I} = 0.25\%$

3. Ruido térmico asociado a la resistencia: $v_{n,th} = 0.431\ \mu V$, Ruido de disparo: $i_{n,sh} = 4\ nA$, $v_{n,sh} = i_{n,sh} \cdot R = 0.400\ \mu V$, $v_{n,TOT} = \sqrt{v_{n,th}^2 + v_{n,sh}^2} = 0.589\ \mu V$

4. Desde el punto de vista del ruido, el sistema se puede modelar como una fuente de corriente de ruido con valor eficaz de 895 pA en paralelo con una resistencia de 1 MΩ. El ruido de disparo domina sobre el térmico.

5. En ambas configuraciones el nivel de ruido es similar con $v_{out,n}^2 = \left(-\frac{R_2}{R_1} \cdot v_{n,R1}^2 + v_{n,R2}^2\right)$ con lo que $v_{out,n} = 0,04268 \cdot \sqrt{BW}\ \mu V$, siendo BW el ancho de banda que no se ha indicado en el enunciado.

6. $BW \leq \frac{(10^{-6})^2}{4k_B \cdot T \cdot R} = 552\ Hz$

7. a) $v_{n,eff,pink} = \sqrt{\frac{K}{1000^{1-a}}}$ siempre y cuando $a > 1$. b) $v_{n,eff,pink} = 3,55\ \mu V$. c) $v_{n,eff,tot} = \sqrt{v_{n,eff,pink}^2 + v_{n,eff,th}^2} = 5,46\ \mu V$.

8. Se deja al alumno. Debe considerar que estamos frente a un sistema RC midiendo entre resistencia y condensador.

9. Consultar la hoja XLS adjunta https://drive.google.com/open?id=0B17O83ggRsojWVRySkh1TndqTTg

10. a y b) $(\Delta G)^2 = \frac{R_2^2}{R_1^2} \cdot \left[\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2\right]$. Para c), consultar apuntes de tema 2. Para d), operar desde el principio.

11. Si llamamos R_S y C_S al par de elementos en serie, y R_P y C_P al par de elementos en paralelo, la frecuencia de oscilación es $f_{OSC} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{R_S C_S R_P C_P}}$ y comienza a oscilar cuando la ganancia es superior a $K = 1 + \frac{R_S}{R_P} + \frac{C_P}{C_S}$. De todo esto se deduce que $\left(\frac{\Delta fosc}{fosc}\right)^2 = \left(\frac{\Delta R_S}{2R_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_P}{2R_P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_S}{2C_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_P}{2C_P}\right)^2$

Tema 1: Ejercicios

(1) $\Delta f = 10KHz$ $\qquad V_{n\,eff} = \int_{BW} \sqrt{dV_n^2} = \int_{BW} \sqrt{4 K_B R \cdot T \cdot \Delta f}$

a) $R = 10K\Omega$ $\quad T = 35°C = 35 + 273,15 = 308,15K$

$$V_{n\,eff} = \int_{BW} \sqrt{dV_n^2} = \int_{BW} \sqrt{4K_B \cdot R \cdot T \cdot \Delta f} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10K \cdot 308,15 \cdot 10K} = 1,3\,\mu V$$

b) $R = 10K\Omega$ $\quad T = -200°C = 73,15K$

$$V_{n\,eff} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10K \cdot 73,15 \cdot 10K} = 0,635\,\mu V$$

c) $R = 100M\Omega$ $\quad T = 500°C + 273 = 773,15$

$$V_{n\,eff} = \sqrt{4 \cdot 1,38\, 10^{-23} \cdot 100M \cdot 773,15 \cdot 10K} = 206,6\,\mu V$$

d) $R = 1M\Omega$ $\quad T = 400K$

$$V_{n\,eff} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1M \cdot 400 \cdot 10K} = 14,86\,\mu V$$

(2) • $i_{n\,eff}$ (valor eficaz asociado a la fuente de corriente)

• $\frac{i_{n\,eff}}{I}$ [%] (ratio entre el valor eficaz de ruido y el de la corriente continua)

$$i_{n\,eff} = \sqrt{\int_{BW} di_n^2} = \sqrt{\int_{BW} 2q \cdot I \cdot \Delta f} \qquad q = 1,6 \cdot 10^{-19}\,C$$

a) $1mA$ $\quad BW = 10KHz$

$$i_{n\,eff} = \sqrt{\int_{BW} 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1m \cdot 10K} = 1,78\,nA$$

* Tener cuidado con la calculadora, ya que redondea el resultado. !!!

$$\frac{i_{n\,eff}}{I} = 1,788 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 1,78 \cdot 10^{-4}\,\%$$

b) $10^{-6}A$ $\quad f_0 = 5KHz$ $\quad f_1 = 20KHz \longrightarrow \Delta f = f_1 - f_0 = 15KHz$

$$i_{n\,eff} = \sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-6} \cdot 15K} = 69,3 \cdot pA$$

$$\frac{i_{n\,eff}}{I} = \frac{69,3\,p}{10^{-6}} = 6,92 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 6,92 \cdot 10^{-3}\,\%$$

c) $1nA \quad f_r \leq 20KHz$

$$i_{n_{eff}} = \sqrt{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1n \cdot 20K} = 2{,}53\ pA$$

$$\frac{i_{n_{eff}}}{I} = 2{,}53 \cdot 10^{-3} \times 100 = 0{,}25\%$$

(3) $T_{Diodo} = 65°C \quad I_D = 500\mu A$

$R_{parasita} = 100\Omega \qquad \Delta f = 100KHz - 0Hz = 100KHz$

1º- Calculamos el ruido termico asociado a la R parasita:

$$V_{n_{th}} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot \Delta f} = \sqrt{4 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 100 \cdot (65+273{,}15) \cdot 100K} = 0{,}432\ \mu V$$

2º Calculamos el disparo en el semiconductor (diodo):

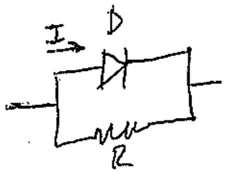
$$i_{n_{sh}} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I \cdot \Delta f} = \sqrt{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 500\mu \cdot 100K} = 4\ nA$$

$$V_{n_{sh}} = i_{n_{sh}} \cdot R = 4n \cdot 100 = 0{,}4\ \mu V$$

3º Sumamos el ruido en la Resistencia y en el diodo:

$$V_{n_{TOT}} = V_{n_{th}} + V_{n_{sh}} = \sqrt{0{,}432^2 \mu V + 0{,}4^2 \mu V} = 0{,}588\ \mu V$$

(4)



$T = 25°C \qquad I = 1mA \qquad \Delta f = 2{,}5KHz - 0Hz = 2{,}5KHz$

$R = 1M\Omega$

Ruido termico de la R:

$$V_{n_{th}} = \sqrt{4K_B \cdot R \cdot T \cdot \Delta f} = \sqrt{4 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot (273{,}15+25) \cdot 2{,}5K} = 6{,}4\ \mu V$$

Ruido en el semiconductor:

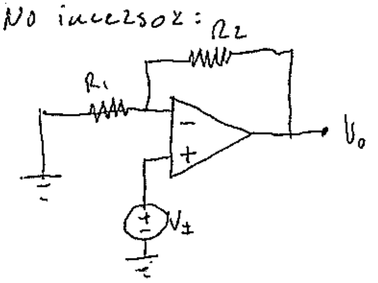
$$i_{sh} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I \cdot \Delta f} = \sqrt{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1m \cdot 2{,}5K} = 0{,}894\ pA \rightarrow V_{n_{sh}} = i_{sh} \cdot R = 8{,}94 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{6} = 894\ \mu V$$

* El ruido de disparo domina sobre el termico.

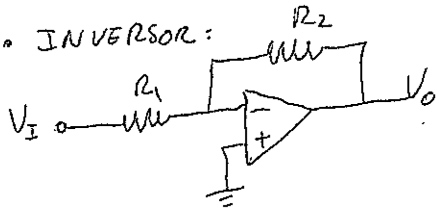
$$V_{n_T} = \sqrt{V_{Th}^2 + V_{Sh}^2} = 894\ \mu V$$

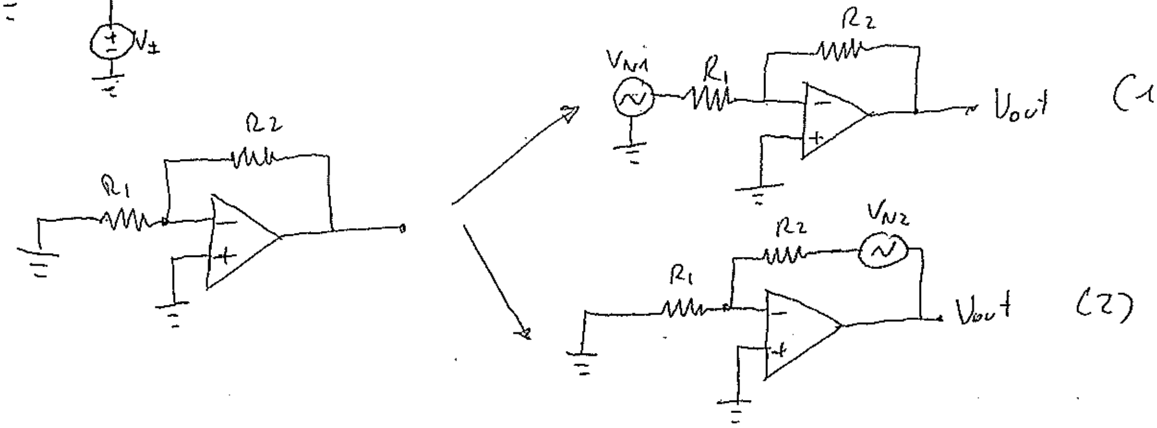
(5) $R_1 = 10K\Omega$ $\quad R_2 = 100K\Omega$

• No inversor:



• INVERSOR:





* En el primer caso V_{N1}:

$$V_{out_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{N1}$$

* En el segundo caso V_{N2}:

$$V_{out_2} = V_{N2}$$

$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2} = -\frac{R_2}{R_1} V_{N1} + V_{N2}$$

* Tenemos Vout estadísticamente le elevamos al cuadrado:

$$V_{out}^2 = -\frac{R_2}{R_1} V_{NR_1}^2 + V_{NR_2}^2$$

$$V_{NR_1} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10K \cdot 298,15 \cdot BW} = 12 \cdot 10^{-9} \sqrt{BW} \ V$$

$$V_{NR_2} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100K \cdot 298,15 \cdot BW} = 40 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{BW} \ V$$

$$V_{out} = \sqrt{\frac{100K}{10K} \cdot (12 \cdot 10^{-9})^2 \cdot BW + (40 \cdot 10^{-9})^2 \cdot BW} = 12\sqrt{BW} \ nV$$

(6) BW↑↑? Filtro LP $\quad V_{neff} = 1\mu V \quad R_s = 100K\Omega \quad T = 55°C + 273,15 = 328,15K$

$$V_{neff} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} \rightarrow V_{neff}^2 = 4K_B \cdot R \cdot T \cdot BW \rightarrow BW = \frac{V_{neff}^2}{4K_B \cdot R \cdot T}$$

$$BW = \frac{(1\mu)^2}{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100K \cdot 328,15} = 552 \ Hz \longrightarrow BW \leq 552 \ Hz$$

7) Ruido rosa : $\Delta V_n^2 = K \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta f$

a) Tensión eficaz del ruido rosa $f > 1KHz$

$$V_{neff\,pink} = \sqrt{\int_{BW} K \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta f} = \sqrt{\frac{K \cdot f^{1-\alpha}}{\alpha - 1}} = \sqrt{\frac{K \cdot 1000^{+1-\alpha}}{\alpha - 1}}$$ siendo $\alpha > 1$

b) Determinar dicho ruido, siendo $K = 10^{-10}\ V^2 \cdot Hz^{\alpha - 1}$ y $\alpha = 1,3$

$$V_{neff\,pink} = \sqrt{\frac{10^{-10} \cdot 1000^{1-1,3}}{1,3 - 1}} = 6,477\ \mu V$$

c) Tensión eficaz total de ruido, si añadimos una $R = 1K\Omega$, supongamos $f > 1MHz$

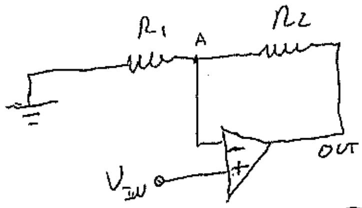
$$V_{N_{ef}TH} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1K \cdot 313,15 \cdot 10^{6}} = 4,157\ \mu V$$

$$V_{neffP} = 6,477\ \mu V$$

$$V_{neffT} = \sqrt{V_{NeffP}^2 + V_{NeffTH}^2} = 7,696\ \mu V$$

(10)

NO INVERSOR:

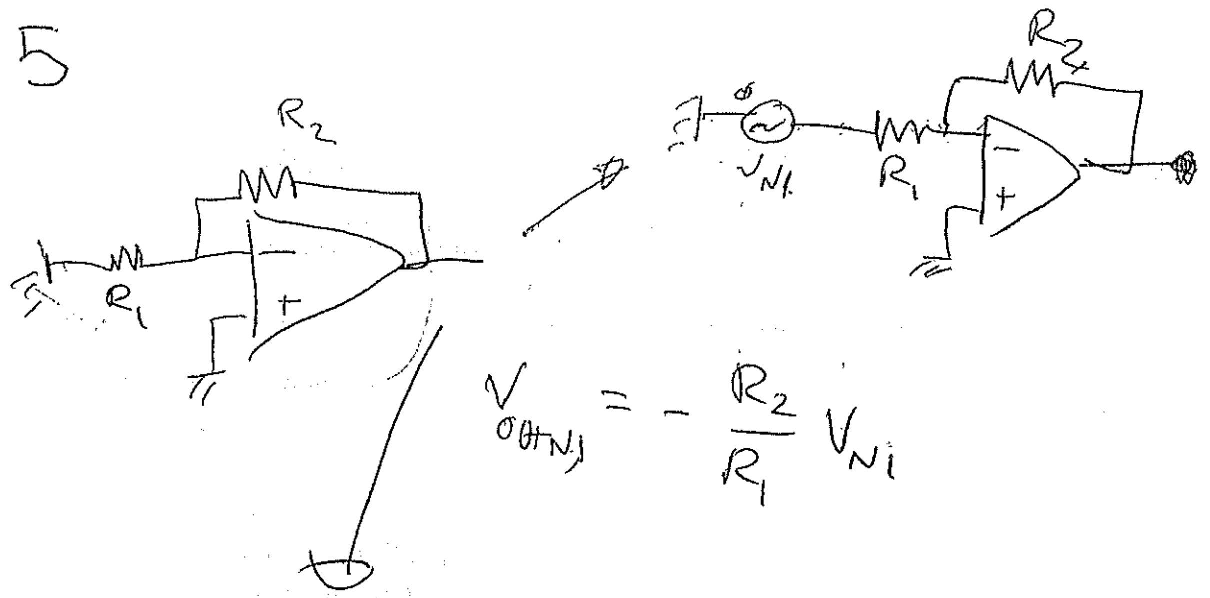


$$\left.\begin{aligned} \frac{V_A - 0}{R_1} &= \frac{V_{OUT} - V_A}{R_2} \\ V_{IN} &= V_A \end{aligned}\right\} \quad \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

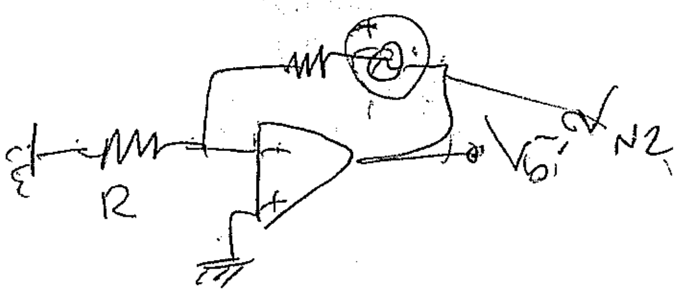
$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \qquad \Delta G = \sqrt{S_{R_1}^2 \cdot \Delta R_1^2 + S_{R_2}^2 \cdot \Delta R_2^2}$$

$$\left.\begin{aligned} S_{R_1} &= \frac{\partial G}{\partial R_1} = -\frac{r_2}{r_1^2} \\ S_{R_2} &= \frac{\partial G}{\partial R_2} = 1/r_1 \\ \Delta R_1 &= R_1 \cdot \alpha \\ \Delta R_2 &= R_2 \cdot \alpha \end{aligned}\right\} \quad \Delta G = \sqrt{\frac{r_2^2}{r_1^4} \cdot \Delta R_1^2 + \frac{1}{r_1^2} \Delta R_2^2} =$$

5



$$V_{o(+N_1)} = -\frac{R_2}{R_1} V_{N1}$$



---

1) Difer

$$G_D = \frac{R_4 (R_2 + R_1)}{R_1 (R_3 + R_4)} - \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Delta G_D = \sqrt{\underbrace{S_{R1}^2}_{} \cdot \Delta R_1^2 + S_{R2}^2 \cdot \Delta R_2^2 + \ldots}$$

$$S_{R_1} = \frac{\partial G_D}{\partial R_1} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1^2 (R_3 + R_4)}$$

$$\Delta R_1 = R_1 \cdot TOL$$

$$S_{R2} = -\frac{R_3}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

$$S_{R3} = \text{—}$$

$$S_{R4} = \text{—}$$

$$\zeta = \int \ldots = \frac{K \cdot f^{1-\alpha}}{\alpha - 1}$$

```
          pc := "0000" & ir(7 DOWNTO 0);        -- pc <-- <ir>
        END IF;

      WHEN "1001" =>                            -- JN
        IF nz(1) = '1' THEN
          pc := "0000" & ir(7 DOWNTO 0);        -- pc <-- <ir>
        END IF;

      WHEN "1010" =>                            -- JNN
        IF nz(1) = '0' THEN
          pc := "0000" & ir(7 DOWNTO 0);        -- pc <-- <ir>
        END IF;

      WHEN OTHERS =>                            -- STOP
        stop := '1';

    END CASE;
  -- visualiza pc, ac y nz
      WRITE(l,cpc);
      WRITE(l, pc);
      WRITE(l,cac);
      WRITE(l, ac);
      WRITE(l,cnz);
      WRITE(l,nz);
      WRITELINE(OUTPUT,l);
   END LOOP;

  -- visualiza las  primeras posiciones de memoria
    FOR i IN 0 TO 30 LOOP                       --
      WRITE(l,i);                               --
      WRITE(l, c);                              --
      WRITE(l, mem(i));                         --
      WRITELINE(OUTPUT, l);                     --
    END LOOP;                                   --
  END IF;
 END PROCESS;
END comportamiento;
```

7.2.1. Paquete utilidad

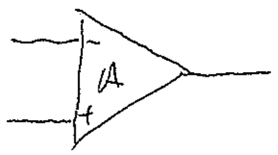
```
PACKAGE utilidad IS
```

⑤ Amplificador
Ideal → $A = \infty$

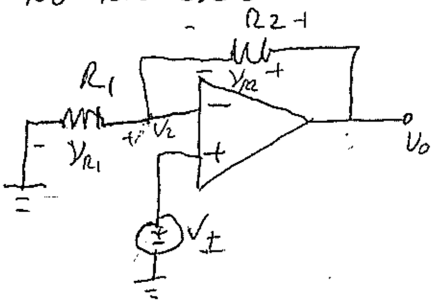
$T = 25°C + 273,15 = 298,15 K$

$R_1 = 10 K\Omega$

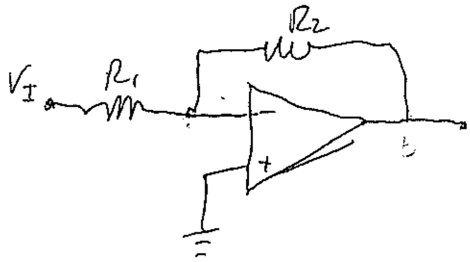
$R_2 = 100 K\Omega$



- No inversor



- Inversora



$$V_{nR_1} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10K \cdot 298,15 \cdot BW} = 12 \sqrt{BW}\ nV$$

$$V_{nR_2} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100K \cdot 298,15 \cdot BW} = 40,5 \sqrt{BW}\ nV$$

- $$V_{n_{Tot}}^2 = V_{nR_1}^2 + V_{nR_2}^2 \rightarrow V_{n_{Tot}} = \sqrt{V_{nR_1}^2 + V_{nR_2}^2} = \sqrt{12 \cdot 10^{-9^2} \cdot BW + 40,5 \cdot 10^{-9^2} \cdot BW} =$$

$$\sqrt{BW\left((12 \cdot 10^{-9})^2 + (40,5 \cdot 10^{-9})^2\right)} = 0,0412 \sqrt{BW}\ \mu V$$

$$V_{out,n}^2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{nR_1}^2 + V_{nR_2}^2$$

0

⑥ BW?? Filtro LP $V_{neff} = 1\mu V$ $R_s = 100 K\Omega$ $T = 55°C + 273,15 = 328,15$

$$V_{neff} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} \rightarrow V_{neff}^2 = 4K_B\, R \cdot T \cdot BW \rightarrow BW = \frac{V_{neff}^2}{4K_B \cdot R \cdot T}$$

$$BW = \frac{(1\mu)^2}{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100K \cdot 328,15} = 552\ Hz \rightarrow BW \leq 552\ Hz$$

(7) ruido rosa : $\Delta V_n^2 = K \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta f$

a) Tensión eficaz del ruido rosa $f > 1\,kHz$

$$V_{np\,eff} = \sqrt{\int_{BW} K \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta f} = \sqrt{K \cdot \frac{f^{1-\alpha}}{1-\alpha}} = \simeq \sqrt{\frac{K \cdot 1000^{1-\alpha}}{\cancel{\alpha-1}}} \quad \alpha > 1$$

¿?

$$\int x^{-\alpha} \cdot dx = \frac{x^{1-\alpha}}{1-\alpha}$$

b) $K = 10^{-10} \cdot V^2 Hz^{\alpha-1} \quad \alpha = 1,3$

No puede dar negativo

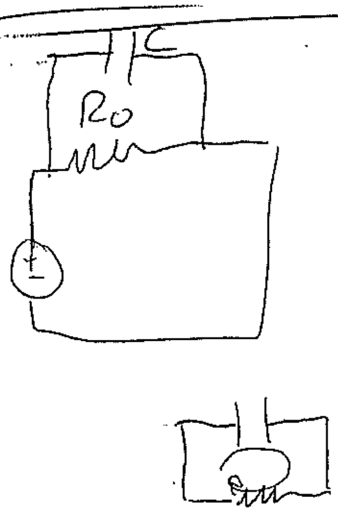
$$V_{np\,eff} = \sqrt{\frac{10^{-10} \cdot 1000^{1-1,3}}{-1+1,3}} = \cancel{\ldots 10^{-11}}$$
$6,477\,\mu V$

$$\int_{BW} \cdot K \cdot f^{-\alpha} \cdot$$

c) $V_{NTH} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1k \cdot 313,15 \cdot 10^{6}} = 4,157\,\mu V$

---

(8)

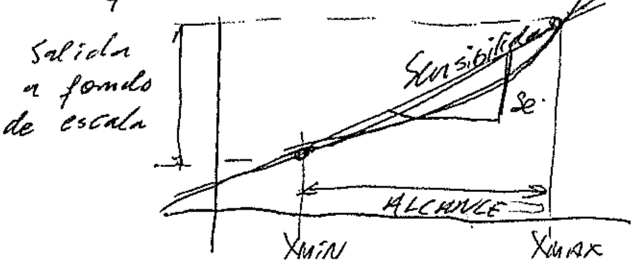


$$\Delta V_{ns}^2 = A^2 \Delta f$$

$$V^{*}_{eff,n,s} = \frac{1}{2} \frac{A}{\sqrt{R_o C}} \rightarrow V_{eff}^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{A^2}{R_o C}$$

$$V_{n\,eff} = \int_{BW} \Delta V_{ns}^2 = \int_{BW} A^2 \cdot \Delta f = A^2 \cdot (f)$$

Alcance, salida a fondo de escala, sensibilidad, no linealidad

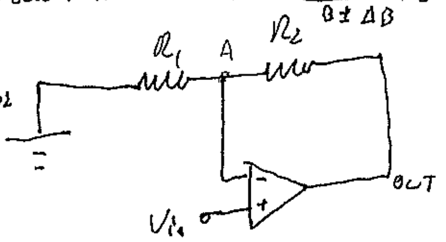


$$N.L = \frac{H}{X_{MAX} - X_{MIN}}$$

*Como son tolerancias: $\frac{A\pm\Delta A}{B\pm\Delta B} = \frac{A}{B}\left(1\pm\sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2+\left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2}\right)$

10

No inversor



$$\left.\begin{aligned} \frac{V_A - 0}{R_1} &= \frac{V_{out}-V_A}{R_2} \\ V_{in} &= V_A \end{aligned}\right\} \quad \frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out}-V_{in}}{R_2} \rightarrow$$

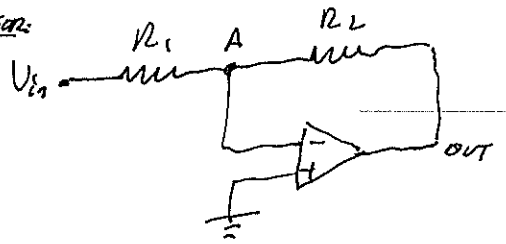
$$V_{in}(R_1+R_2) = V_{out}\cdot R_1$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1+\frac{R_2}{R_1}$$

$$G\pm\Delta G = 1+\frac{R_2\mp\Delta R_2}{R_1\pm\Delta R_1} = 1+\frac{R_2}{R_1}\pm\underbrace{\frac{R_2}{R_1}\sqrt{\left(\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2\right)}}_{\Delta G}$$

$$\Delta G = \frac{R_2}{R_1}\sqrt{\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2}$$

Inversor:

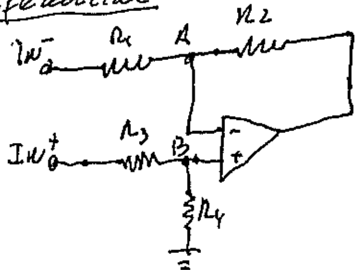


$$\left.\begin{aligned} \frac{V_A - V_{in}}{R_1} &= \frac{V_{out}-V_A}{R_2} \\ V_A &= 0 \end{aligned}\right\} \quad -\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out}}{R_2} \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$G\pm\Delta G = -\frac{R_2\pm\Delta R_2}{R_1\pm\Delta R_1} = -\frac{R_2}{R_1}\pm\frac{R_2}{R_1}\sqrt{\left(\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2\right)}$$

$$\Delta G = \frac{R_2}{R_1}\sqrt{\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2}$$

Diferencial



$$\left.\begin{aligned} V_A &= V_B \\ \frac{V_B - V_{in}}{R_1} &= \frac{V_{out}-V_B}{R_2} \\ \frac{V_B - V_{in}}{R_3} &= \frac{0-V_B}{R_4} \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} & R_2V_B - R_2V_{in} = R_1V_{out} - R_1V_B \\ & R_4V_B - R_4V_{in} = -R_3V_B \rightarrow V_B = \frac{R_4V_{in}}{R_4+R_3} \\ & V_B(R_1+R_2) = R_1V_{out} + R_2V_{in} \rightarrow \end{aligned}$$

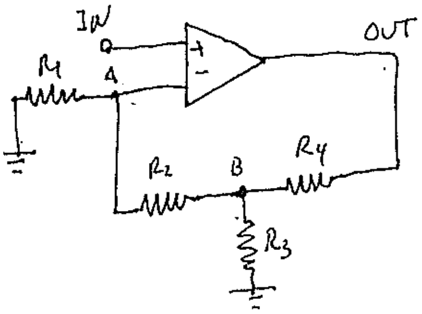
$$\rightarrow \frac{R_4V_{in}}{R_4+R_3}(R_1+R_2) = R_1V_{out}+R_2V_{in} \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_4(R_2+R_1)}{R_1(R_4+R_3)} - \frac{R_2}{R_1}$$

$$\left.\begin{aligned} \Delta R_4\Delta R_2 &= R_4\cdot R_2\cdot\sqrt{\left(\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2} \\ \Delta R_4+\Delta R_3 &= (R_4+R_3)\sqrt{(\Delta R_4)^2+(\Delta R_3)^2} \end{aligned}\right\} \quad \frac{R_4\cdot R_2}{R_4+R_3}\sqrt{\left(\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2+(\Delta R_4)^2+(\Delta R_3)^2}$$

$$\Delta\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2}{R_1}\sqrt{\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2}$$

$$\Delta G = \left(\frac{R_4(R_2+R_1)}{R_1(R_4+R_3)}-\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\sqrt{\left(\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)^2+\left(\frac{\left(\frac{(\Delta R_2)^2+(\Delta R_1)^2}{R_2+R_1}\right)^2+(\Delta R_4)^2+(\Delta R_3)^2}{R_4+R_3}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2+\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2}$$

Configuración T:



$$\left.\begin{array}{l} V_{in} = V_A \\[2ex] \dfrac{V_A - 0}{R_1} = \dfrac{V_B - V_A}{R_2} \\[2ex] \dfrac{0 - V_B}{R_3} = \dfrac{V_{out} - V_B}{R_4} \end{array}\right\} \rightarrow -R_4 V_B = R_3 V_{out} - R_3 V_B \rightarrow V_B (R_3 - R_4) = R_3 V_{out} \rightarrow$$

$$\rightarrow V_B = \frac{R_3}{R_3 - R_4} V_{out}$$

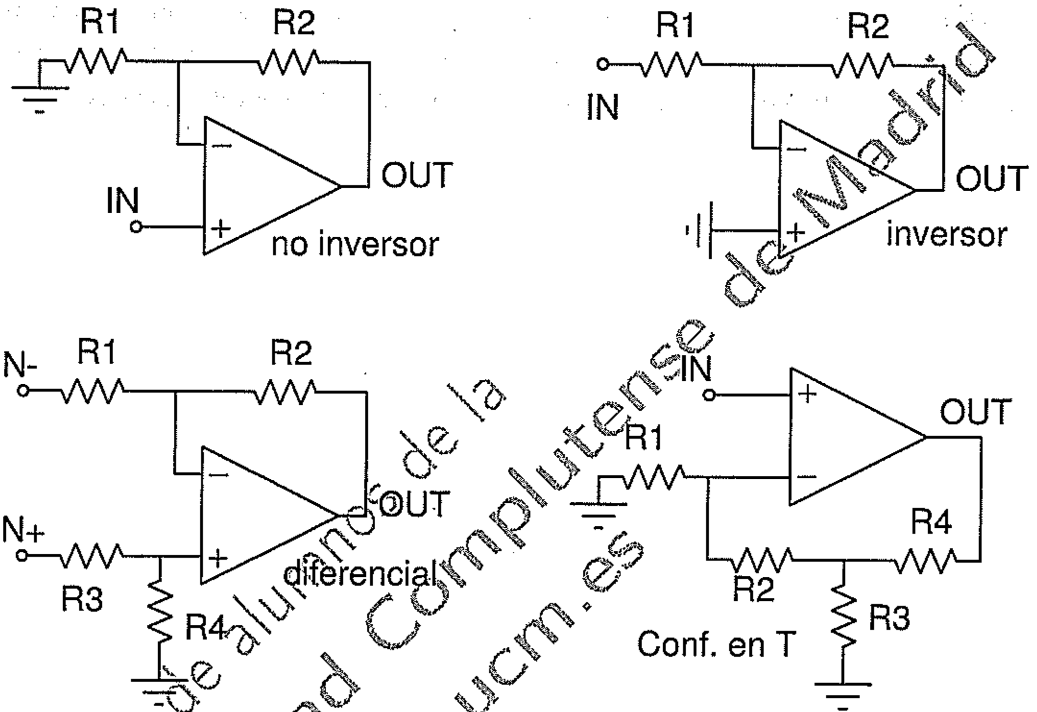
$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{R_3}{R_2 (R_3 - R_4)} - \frac{V_{in}}{R_2} \rightarrow V_{in} (R_2 + R_1) = \frac{R_3 R_1}{R_3 - R_4} V_{out} \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{(R_2 + R_1)(R_3 - R_4)}{R_3 \cdot R_1}$$

9

TEMA 2: BOLETÍN DE EJERCICIOS

ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

1. Determina cómo afecta a la tensión de salida de los siguientes circuitos el hecho de que el amplificador operacional tenga una tensión de *offset* de la entrada, V_{OS}, una corriente de polarización de la entrada, I_B, con sentido hacia dentro del op amp ysimilar para ambas entradas, y un producto ganancia-ancho de banda igual a GBW Hz. En el caso del amplificador operacional, suponer todas las resistencias iguales.



2. Un amplificador operacional tiene una tensión de offset de la entrada igual a 1 mV cuando se alimenta entre 0V y 10V. Determine su tensión de *offset* con una alimentación única de 15V sabiendo que su PSRR es positiva y de 85 dB.

3. Un amplificador diferencial se construye con resistencias de 20 kΩ. El amplificador operacional interno tiene una tensión de offset de 0.1 mV y una corriente de polarización de 10 nA. Determine la tensión de *offset* de la salida con todas la entradas a tierra.

4. Se coloca un sensor resistivo de valor típico de 500 Ω en serie entre dos resistencias de 10 kΩ y se polariza todo el conjunto con una fuente de 10 V. ¿Cuál es la caída de tensión entre los extremos de la resistencia? A continuación, se mide la caída de tensión entre los extremos de la resistencia con un amplificador diferencial con resistencias de 40 kΩ y referencia a tierra. ¿Qué valor se muestra en la salida de éste?

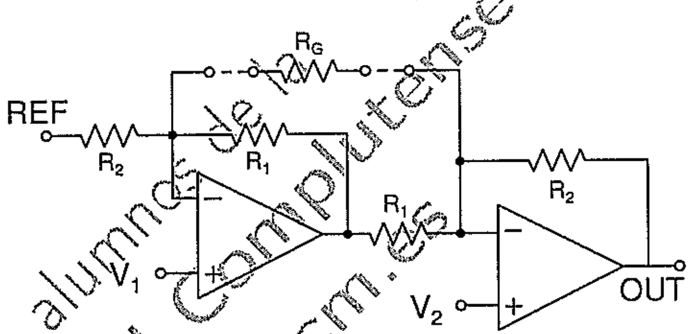
5. Se dispone de un amplificador de instrumentación con ecuación característica $G = 1 + \frac{49k}{R_G}$. Determine el valor de R_G necesario para obtener una ganancia de a) 100 b) 10 c) 1,5 d) 1. En cada caso,

calcule la incertidumbre en la ganancia suponiendo que usamos resistencias con una tolerancia del 1%.

6. Un amplificador de instrumentación con ecuación $G = 1 + \frac{50k}{R_G}$ y CMRR de 80 dB se configura con una resistencia $R_G = 4,7\ k\Omega$. A continuación, se mide la diferencia de tensión entre dos puntos A (no inversor) y B (inversor). En un caso, $A = 1\ V$ y $B = 0.99\ V$ y en otro, $A = 6,54\ V$ y $B = 6,53\ V$. En ambos casos, determine la salida exacta del amplificador.

7. El mismo amplificador del ejercicio anterior tiene una tensión de *offset* de la entrada de 100 μV y en la salida de 250 μV. Con la misma R_G, ¿cuál es la tensión de salida con todas las entradas a 0 V? A continuación, medimos con este amplificador la diferencia de tensión entre dos puntos A y B con tensiones de 0 y 0,01 V. ¿Cuál es la tensión de salida?. Volvemos a medir conmutando las entradas, ¿cuál es el valor de la salida? ¿y cuál es el valor medio de los valores absolutos?. Divida este valor por la ganancia diferencial, ¿qué obtiene?

8. Demuestre que el dispositivo de la figura adjunta es un amplificador de instrumentación. A pesar de tener menos elementos que la estructura de tres op amps, es mucho menos popular. ¿A qué podría deberse esto?



9. Un sensor resistivo de 1 kΩ que trabaja a temperatura ambiente se excita con una fuente de corriente conocida y se amplifica con un amplificador de instrumentación de ganancia 10. La salida de este amplificador se envía a un conversor A/D en el que se exige que el nivel r.m.s de ruido no sea superior a 5 μV. ¿Se cumple el requerimiento? Si no fuera así, ¿cómo lo solucionaría?. Suponga que el ruido térmico de la resistencia no va más allá de 1 MHz.

10. Al alimentar una referencia de tensión con 10 V, sin carga en la salida y a 27 ºC se obtiene una tensión nominal de 5,00 V. Sabiendo que el coeficiente de regulación de línea es de -86 dB, el de carga 0,001 V/mA y el TC de 20 μV/K, determine la salida con a) alimentación de 15 V, b) con una resistencia de carga de 1 kΩ, c) a 55 ºC d) Dándose las tres circunstancias a la vez.

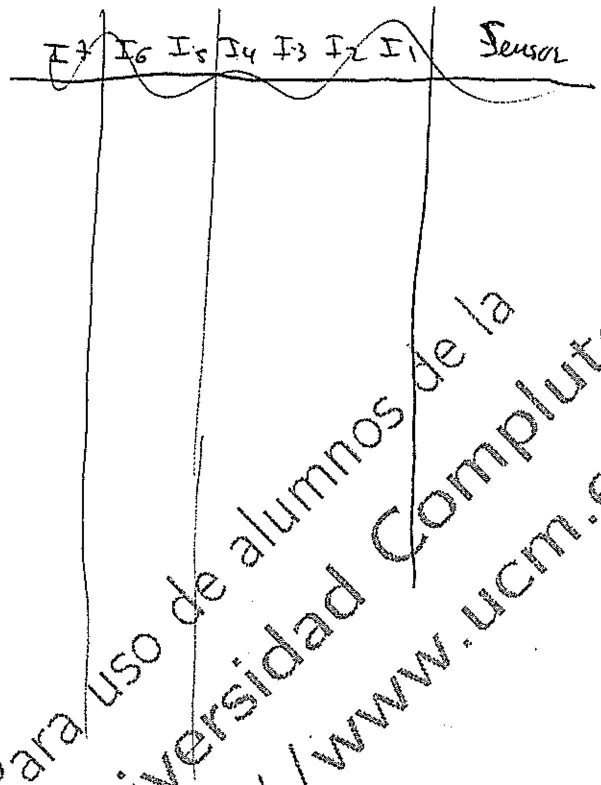
11. Una referencia de tensión se polariza con entrada 10 V, sin resistencia de carga y a 10 ºC dando una salida de 2,048 V. Sin variar el resto de parámetros, se observa que la salida es 2,051 con una tensión de alimentación de 25 V; 2,046 V con una resistencia de carga de 470 Ω; 2,040 a 85 ºC. Determine el coeficiente de regulación de línea, de carga y el coeficiente térmico.

12. Se dispone de switches analógicos DG202 de Maxim Integrated para variar la ganancia de un amplificador no inversor entre 1, 5, 10, 20 y 50. Se trabajará a temperatura ambiente y con alimentaciones de $\pm 15\ V$.

    (a) Si $R_1 = 4.7k\Omega$, determine los valores necesarios de R_2 para conseguir las ganancias requeridas, siendo ésta la resistencia que cierra el bucle de realimentación.

    (b) Determinar el valor mínimo de R_1necesario para que el error introducido en la ganancia por la planitud (flatness) del switch sea menor de 0.5%.

13. Es necesario multiplexar 8 sensores con un único sistema de medida cuya impedancia de entrad es infinita. Construya el sistema utilizando a) switches analógicos SPST b) switches analógicos SPDT.



Soluciones

1. La solución:

		Contribución al offset			
	Entrada-salida	V_{OS}	I_B	Polo	$K =$
a)	$(1+K)\cdot V_{IN}$	$(1+K)\cdot V_{OS}$	$-R_2 \cdot I_B$	$\frac{GBW}{1+K}$	$\frac{R_2}{R_1}$
b)	$-K \cdot V_{IN}$	$(1+K)\cdot V_{OS}$	$-R_2 \cdot I_B$	$\frac{GBW}{1+K}$	$\frac{R_2}{R_1}$
c)	Ver teoría	$2 \cdot V_{OS}$	0	—	—
d)	$(1+K)\cdot V_{IN}$	$(1+K)\cdot V_{OS}$	$\left[R_2 - R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_3}\right] \cdot I_B$	$\frac{GBW}{1+K}$	$\frac{R_4}{R_3} + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} + \frac{R_2 R_4}{R_3 R_1}$

2. 1.281 mV

3. Usando la expresión de 1c), se deduce que la tensión de offset es 0.2 mV. Las corrientes de polarización se cancelan entre sí.

4. 243,9 mV. Al conectar el amplificador, 242,4 mV.

5. a) 495 Ω, b) 5444 Ω, c) 98 kΩ, d) Dejarla en abierto. $S_{G,RG} = \frac{49000}{R_G^2}$, $\Delta G = |S_{G,RG}| \cdot \Delta R_G = \frac{49000}{R_G^2} \cdot R_G \cdot TOL = \frac{49000}{R_G} \cdot TOL = (G-1) \cdot TOL$, con $TOL = 0,01$. Por tanto, $G = 100 \rightarrow \Delta G = 0.99$, $G = 10 \rightarrow \Delta G = 0.09$, $G = 1.5 \rightarrow \Delta G = 0.005$, $G = 1 \rightarrow \Delta G = 0$.

6. $G_D = 11,638$; $G_C = G_D/10^4$; $V_{OUT,1} = 117,54$ mV; $V_{OUT,2} = 123,99$ mV.

7. $V_{OUT} = G_D \cdot V_{OS,IN} + V_{OS,OUT} = 1,414$ mV; $V_{OUT,B} = G_D \cdot 100\ mV + 1,414 = 1165,24$ mV; $V_{OUT,C} = G_D \cdot (-100)\ mV + 1,414 = -1162,42$ mV; El valor medio es $1163,83$ mV; Al dividir, se obtiene 100 mV.

8. $V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G}\right) \cdot (V_2 - V_1) + V_{REF}$. Esta estructura tiene, sobre todo, el problema de que no es posible alcanzar la ganancia unidad. Por otro lado, los caminos entre las entradas y la salida es muy distinto, y esto puede comprometer el comportamiento en frecuencia.

9. Tras la amplificación, el nivel de ruido es 40,7 μV, muy por encima de lo buscado. Operando, se deduce que el ancho de banda permitido es $\Delta f = \frac{1}{4k_B T R} \cdot \left(\frac{v_{n,th}}{G}\right)^2 = \frac{1}{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{5 \cdot 10^{-6}}{10}\right)^2 = 15,1\ kHz$.

10. El incremento es a) 0,25 mV; b) -5 mV; c) 0,56 mV; d) -4,19 mV.

11. LR = 74 dB; Lo. R.= $-0.46\ \frac{mV}{mA}$; $TC = -106\ \frac{\mu V}{K}$

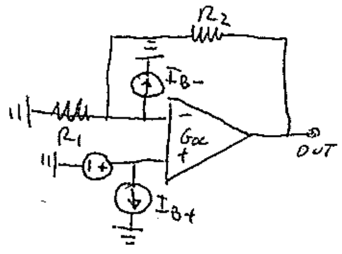
Tema 2: Ejercicios

(1)

a) No Inversor:

Ent.-Salid: $V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in} = (1+K) V_{in}$

$V_{out} = \underbrace{\frac{K \cdot V_{in}}{1 + K \cdot G_{oc}^{-1}}}_{\text{Cambio ganancia}} + \underbrace{\frac{K V_{os} + R_2 I_B}{1 + K \cdot G_{oc}^{-1}}}_{\text{Salida no nula}}$



V_{os}: $V_{out} = (1+K) V_{os}$

I_B: $V_{out} = R_2 I_B$

polo: $\frac{GBW}{1+K}$ $\quad K = \frac{R_2}{R_1}$

b) Inversor

Ent-Sal: $-K \cdot V_{in}$ $\quad K = \frac{R_2}{R_1}$

V_{os}: $(1+K) V_{os}$

I_B: $-R_2 \cdot I_B$

polo: $GBW / 1+K$

c) Diferencial:

Ent-sal: $V_{out} = \left(\frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 (R_3 + R_4)} - \frac{R_2}{R_1}\right) V_1 + \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 (R_3 + R_4)} (V_2 - V_1) + \frac{R_4 (R_1 + R_2)}{R_1 (R_3 + R_4)} V_{RE}$

V_{os}: $2 V_{os}$

I_B: 0

polo: —

K = —

(2)

$V_{os} = 1\,mV$

$V_{Rango} = 0V - 10V$

$V = 15V \quad PSRR = 85 dB$

¿Ni idea sin formula?

$PSRR(dB) = 20 \log_{10}\left(\frac{\Delta U_{fuente} \cdot A_v}{\Delta V_{ios}}\right) [dB]$

(3) usamos V_{os} del amplifi. diferencial:

~~$V_{os} = R \cdot V_{os}$~~

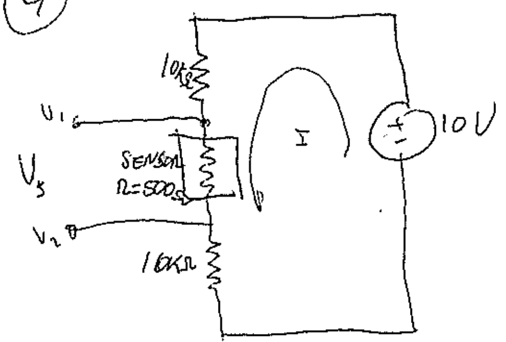
$R = 20K\Omega$

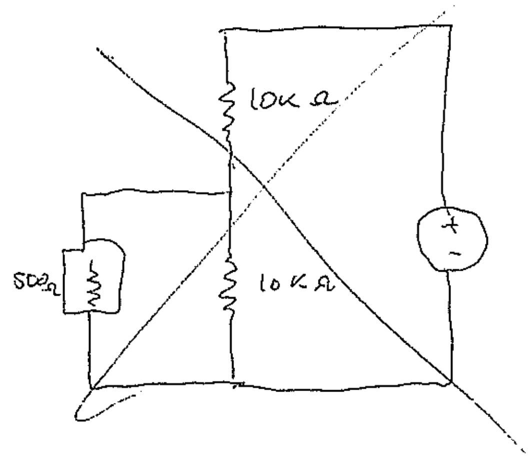
$V_{osint} = 0{,}1mV$

$I_B = 10\,nA$

$V_{os} = 2 \cdot V_{osint} = 0{,}2\,mV$

(4)



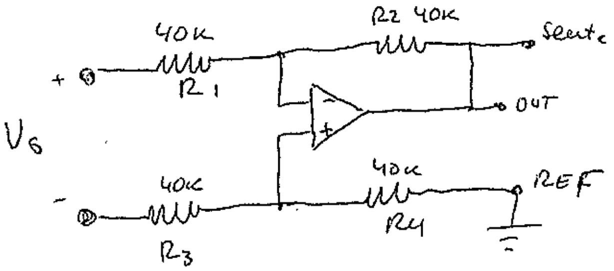


$-10V + 10K \cdot I + V_S + 10K \cdot I = 0$

$R_T = 10k + 500 + 10k = 20{,}5\,k\Omega$

$V_S = 10V - 20K \cdot I = 243{,}9\,mV$

$I = \frac{10V}{R_T} = 0{,}487\,mA$



$$V_{out} = \left(\frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} - \frac{R_2}{R_1}\right) V_1 + \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} \cdot (V_2 - V_1) + \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} V_R$$

$V_{out} = (V_2 - V_1) + V_{REF} = 243{,}9\,mV + V_R = 243{,}9\,mV$

¿ V_{OUT} ? ¿ Donde hay perdidas en el amplificador?

(5) Amp. Instrumentacional

$$G = 1 + \frac{49K}{R_G} \rightarrow \cancel{R_G \cdot G = R_G + 49K}$$

$R \rightarrow 1\,\%$ tolerancia $\rightarrow TOL = 0{,}01$

$$R_G (G-1) = 49K \rightarrow R_G = \frac{49K}{G-1}$$

$\cancel{a)\ R_G = \frac{49K}{100-1} = 494{,}94}$

Tolerancia:

$$\Delta G = \left|S^{G}_{R_G}\right| \Delta R_G = \frac{49K}{R_G^2} \cdot R_G \cdot TOL = \frac{49K}{R_G} \cdot TOL = (G-1)\,TOL\ \cancel{\Delta G}$$

$$\Delta G = (G-1)\,TOL$$

a) $G = 100$

$R_G = 494{,}94\ \Omega$

$\Delta G = 0{,}99$

b) $G = 10$

$R_G = 5444{,}444\ \Omega$

$\Delta G = 0{,}09$

c) $G = 1{,}5$

$R_G = 98K\ \Omega$

$\Delta G = 0{,}005$

d) $G = 1$

$R_G = 0 \rightarrow$ Abierto

(6) Amp. int.

$$G = 1 + \frac{50K}{R_G}$$

$$CMRR = 80\,dB$$

$$R_G = 4{,}7K\Omega$$

$V_A \rightarrow$ no inversor V_+

$V_B \rightarrow$ inversor V_-

$$CMRR = 20\log_{10}\left(\frac{G_D}{G_{CM}}\right)$$

G_{d}: ganancia diferencial

G_{CM}: ganancia modo común

$$G_d = \frac{U_0}{U_+ - U_-} \qquad G_{C} = \frac{U_0}{U_C}$$

$$G_D = 1 + \frac{50K}{\underset{\uparrow\,4{,}7K}{R_G}} = 11{,}638$$

$$CMRR = 20\log_{10}\left(\frac{G_D}{G_{CM}}\right) \rightarrow \cancel{10^{CMRR} = 10^{20}\cdot\frac{G_D}{G_{CM}} \rightarrow G_{CM} = \frac{G_D\cdot 10^{20}}{10^{80}}}$$

$$\cancel{G_{CM} = G_D \cdot 10^{20} \cdot 10^{80}}$$

$$\frac{CMRR}{20} = \log_{10}\left(\frac{G_D}{G_{CM}}\right) \rightarrow 10^{\frac{CMRR}{20}} = \frac{G_D}{G_{CM}} \Rightarrow \cancel{G_{CM} =}$$

$$G_{CM} = \frac{G_D}{10^{\frac{CMRR}{20}}} \; {}_{80\,dB} = 0{,}0011638$$

$$G_d = \frac{U_0}{U_+ - U_-} \rightarrow U_{out} = G_d \cdot (U_+ - U_-) =$$

a) $V_{A+} = 1\,V$, $V_{B-} = 0{,}99\,V$

$$U_{out_D} = G_d\,(U_A - U_+) = 116{,}38\,mV$$

$$U_{out_{CM}} = G_{CM}\cdot V_A = 1{,}1638\,mV$$

$V_{OUT} = 117{,}5438\,mV$

¿Sería así V_{CM}?

~~¿Daría lo mismo en los dos casos, me fallan las fórmulas?~~

b) $V_{A+} = 6{,}54\,V$, $V_{B-} = 6{,}53\,V$

$$V_{out} = G_D\,(0{,}01) + \underbrace{G_{CM}\cdot 6{,}54}_{7{,}6\,mV} = 123{,}99\,mV$$

(7) Amp. intrum.

$$G = 1 + \frac{50K}{R_G}$$

$R_G = 4{,}7K$

$G_D = 11{,}638$

$G_{CM} = 11{,}638 \cdot 10^{-4}$

$U_{OS_I} = 100 \mu V$

$U_{OS_O} = 250 \mu V$

a) $V_{IN} = 0 \rightarrow V_{out} = G_D \cdot V_{OS,I} + V_{OS,OUT} = 11{,}638 \cdot 100 \mu V + 250 \mu V = 1{,}4138 mV$

b) $U_A = 0 \; V$

$U_B = 0{,}1 \; V$

$$V_{out_A} = G_D \left(\underset{0}{V_A} - \underset{0,1}{U_B} \right) + 1{,}414 mV = 1165{,}24 mV$$

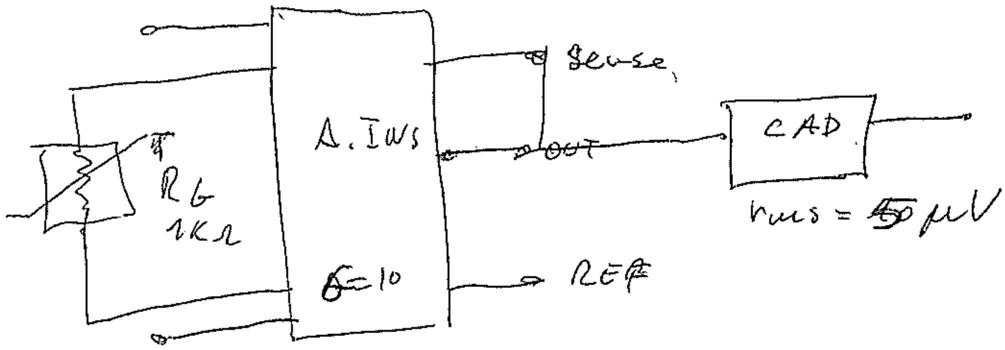
$$V_{out_B} = G_D (V_B - V_A) + 1{,}414 mV = -1162{,}386 mV$$

$$\cancel{V_M = \sqrt{(1165{,}24 mV)^2 + (-1162{,}386 mV)^2} =}$$

$$V_M = \frac{|1165{,}24| mV + |-1162{,}386| mV}{2} = 1163{,}813 mV$$

$$\frac{V_M}{G_D} = 100 mV$$

(9)



$u_{t_{RG}} = 1 MHz$

(10) Referencias de tensión: D 31

$V_{DP} = 10V \rightarrow T = 27°C$

$V_{NOMINAL} = 5V$

$Lin\,R = -86\,dB$

$Load\,R = 0{,}001\ V/mA$

$TC = 20\ \mu V/K$

a) Alimentación de $15V \rightarrow$ de $10V$ a $15V$

$$Lin\,R = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{cc}} \Rightarrow \Delta V_{out} = \Delta V_{cc} \cdot Lin\,R = (15-10) \cdot 10^{-86/20} = 0{,}25\,mV$$

b) Con una resistencia de carga $1K\Omega$: $I = V/R$

$$Load\,R = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{out}} \rightarrow \Delta V_{out} = Load\,R \cdot \Delta I_{out} = 0{,}001 \frac{V}{mA} \cdot -5\,mA = -5\,mV$$

$$\Delta I_{out} = \frac{V}{R=0} - \frac{V}{R=1K\Omega} = -5\,mA$$

c) $T_2 = 55°C + 273 = 328\,K$, $T_1 = 27°C + 273 = 300\,K$ $\Big\}$ $\Delta T = 328K - 300K = 28K$

$$TC = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta T} \rightarrow \Delta V_{out} = TC \cdot \Delta T = 20 \frac{\mu V}{K} \cdot 28K = 0{,}56\,mV$$

d) Si se dan las tres anteriores:

$$\Delta V_{out_T} = \Delta V_{out_a} + \Delta V_{out_b} + \Delta V_{out_c} = 0{,}25\,mV + 5\,mV + 0{,}56\,mV = 4{,}19\,mV$$

(11)

$\left.\begin{array}{l} V_{DD} = 10V \\ t = 10°C \Rightarrow 283K \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{Principal}} V_{out} = 2{,}048V$

$V_{DD} = 25V \rightarrow V_{out} = 2{,}051V$ (Variando la fuente)

$R_C = 470\,\Omega \rightarrow V_{out} = 2{,}046V$ (Resistencia de carga)

$T = 85°C \rightarrow V_{out} = 2{,}040V$ (Temperatura)

- Coef. de Reg. de Línea:

$$LR = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{cc}} = \frac{-2{,}048 + 2{,}051}{-10 + 25} = 0{,}2m \rightarrow 20 \lg 0{,}0002 = -74\,dB$$

¿~~-74 dB o 64 dB~~?

?

- Reg. Carga:

$$LOR = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{out}} = \frac{-2{,}048V + 2{,}046V}{\Delta I_{out}} = \frac{-2\,mV}{\Delta I_{out}} = -0{,}46\,\frac{mV}{mA}$$

$\Delta I_{out} = -\frac{10}{0} + \frac{10}{470} = 0{,}02127\,A = 21{,}27\,mA$ ¿?

$$\Delta I_{out} = \frac{2{,}046\,V}{0{,}47}$$?

- Coeficiente Térmico TC:

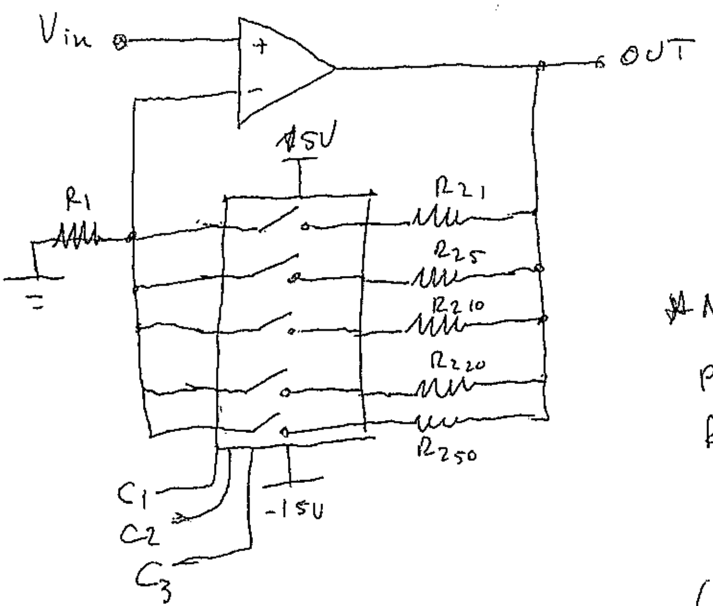
$$TC = \frac{-2{,}048 + 2{,}040}{\underset{(-283 + 358)}{(-10 + 85)}} = -106\,\frac{\mu V}{K}$$

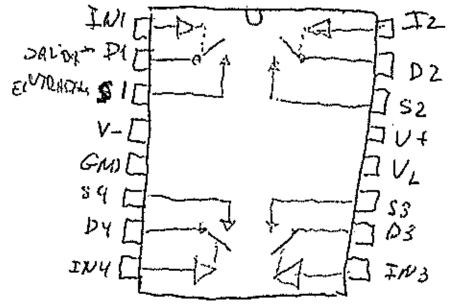
(12)

a) DG202 →

LOGIC	SWITCH
0	OFF
1	ON

$R_1 = 4{,}7K\Omega$





0 1
10
11
100
111

* Necesitamos dos DG202, primero hacemos los calculos de R_{2x}.

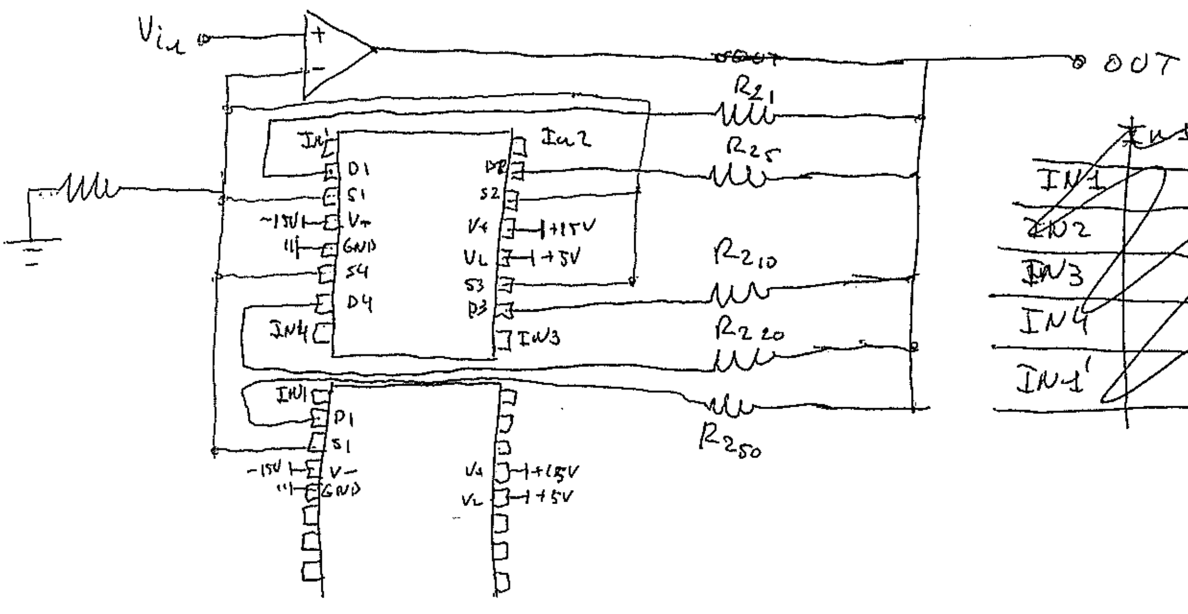
IN1 → ~~A~~ 1 → G 1
IN2 → 1

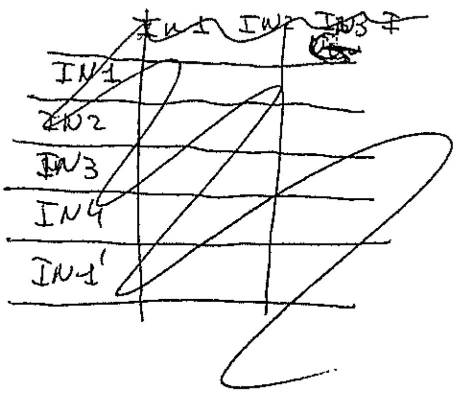
Suponemos que $V_{in} = 1$ $G = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)$

~~G = 1 ... Vastin~~ $G = \frac{R_2}{R_1} + 1 \Rightarrow R_2 = (G-1)R_1$

* $G = 1 \to R_2 = 0 = R_{21}$
* $G = 5 \to R_2 = (5-1)\,4{,}7K = 18{,}8\,K\Omega = R_{25}$
* $G = 10 \to R_2 = (10-1)\,4{,}7K = 42{,}3K\Omega = R_{210}$
* $G = 20 \to R_2 = (20-1)\,4{,}7K = 89{,}3K\Omega = R_{220}$
* $G = 50 \to R_2 = (50-1)\,4{,}7K = 230{,}3K\Omega = R_{250}$

IN1	IN2	IN3	IN4	IN1'	G
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	5
0	0	1	0	0	10
0	0	0	1	0	20
0	0	0	0	1	50





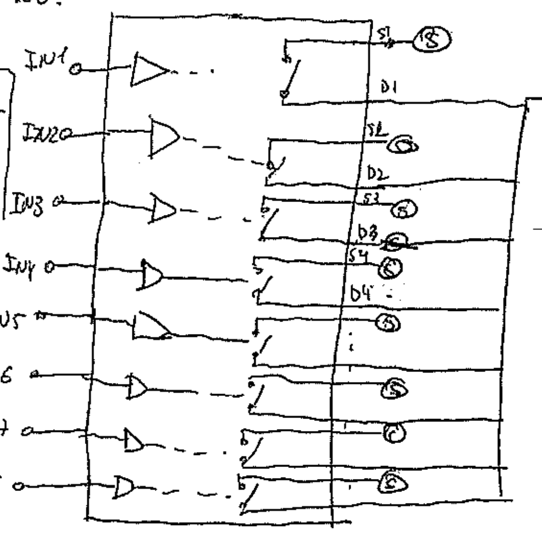
13

a) SPST: simple pole / simple through

b) SPDT: simple pole / doble through

a) SPST-NO:

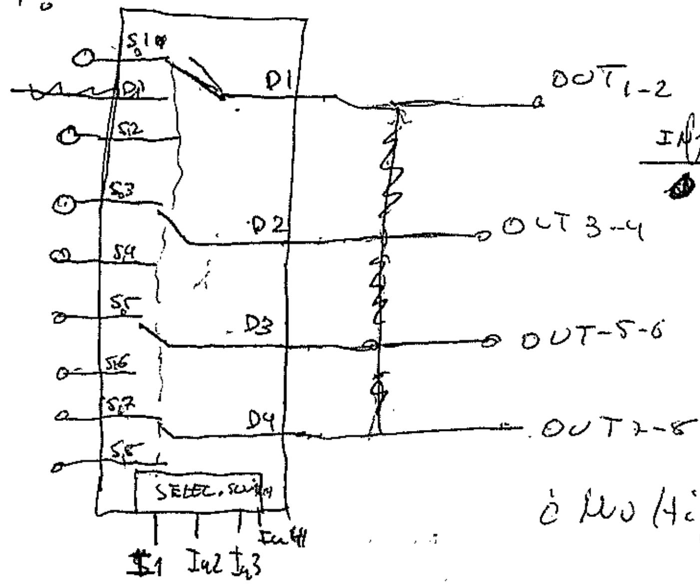
LOGIC	SWITCH
0	OFF
1	ON

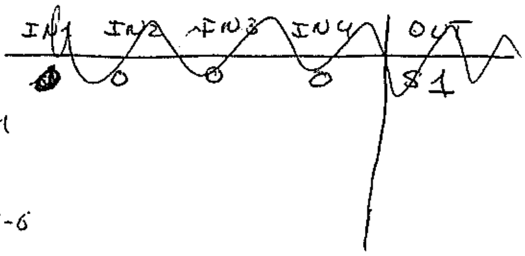


IN→ IN1	IN2	3	4	5	6	7	8	OUT
1	0	0	0	0	0	0	0	S1
0	1	0	0	0	0	0	0	S2
0	0	1	0	0	0	0	0	S3
6	0	0	1	0	0	0	0	S4
0	0	0	0	1	0	0	0	S5
6	0	0	0	0	1	0	0	S6
0	0	0	0	0	0	1	0	S7
0	0	0	0	0	0	0	1	S8

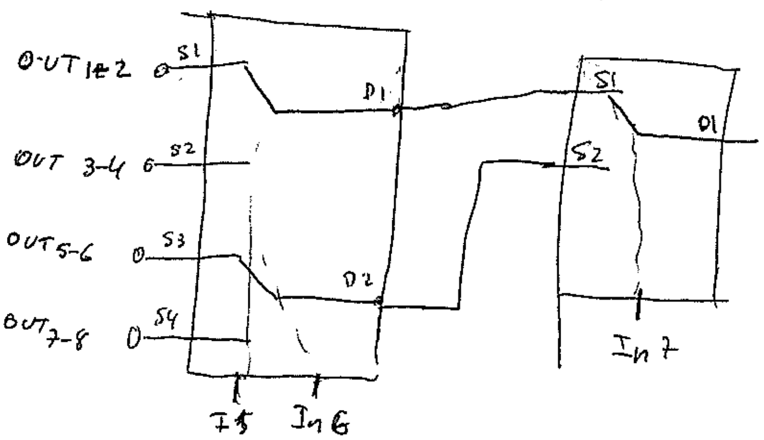
b) SPDT:

LOGIC	SW
0	OFF
1	ON





¿ Multiplexal de verdad ?



I7	I6	I5	I4	I3	I2	I1	S
			0	0	0	0	
			0	0	0	1	

(12) b) * Flatness : es una resistencia parasita + una tolerancia

TEMA 3: BOLETÍN DE EJERCICIOS

SENSORES RESISTIVOS

1. Se disponen de varios sensores resistivos que dependen de una variable x y cuya forma es:

	a	b	c	d
$R(x)$	$K \cdot \frac{1+a\cdot x}{1+b\cdot x}$	$K \cdot \exp\left(\frac{ax}{x+b}\right)$	$K \cdot x^a$	$K_0 + K \cdot \tanh(a \cdot x)$

   Exprese estas relaciones de la forma $R(x) \approx R_0 + \alpha \cdot (x - x_0) + \beta \cdot (x - x_0)^2 + O\left[(x - x_0)^3\right]$. $x_0 = 0$ para los casos *a*, *b* y *d*, y $x_0 = x_0$ para el caso *c*.

2. En las trasparencias se ha supuesto siempre que, en el puente resistivo, el sensor se encuentra unido a tierra y la resistencia patrón junto a la referencia de tensión. ¿Se ve afectada la sensibilidad si las resistencias intercambian su posición?

3. En un divisor de tensiones, $V_O(x) = \frac{R_S(x)}{R+R_S(x)} \cdot V_{REF}$. Determine qué condición debe cumplir R para que $\frac{\partial V_0}{\partial x}$ alcance un valor absoluto máximo en torno a $x = 0$.

4. Suponga que coloca en paralelo el sensor R_S con una resistencia patrón R y que el paralelo se excita con una fuente de corriente I_{REF}. Mediremos la tensión entre los extremos del paralelo. Demuestre que la resistencia R de máxima linealidad es igual a la del caso cons resistencias en serie y referencia de tensión.

5. Sabiendo que el platino tiene coeficientes $\alpha_1 = 3902\ ppm/K$ y $\alpha_2 = -0.5775\ ppm/K^2$ y el níquel $\alpha_1 = 5845\ ppm/K$ y $\alpha_2 = 6.65\ ppm/K^2$, determine, si existen, los valores que permiten linealizar la Pt100 y la Ni120.

6. A partir de los datos mostrados en teoría ($\alpha_1 = 5485\ ppm/K$, $\alpha_2 = 6.65\ ppm/K^2$, $\alpha_3 = 2.805 \cdot 10^{-3}\ ppm/K^3$), determine el incremento de la resistencia Ni120 entre 0 ºC y 100 ºC y la sensibilidad media calculada entre los extremos del intervalo.

7. Se dispone de una NTC con características $R_{25} = 10\ k\Omega$ y $B_{25/85} = 3200\ K$. Determine la resistencia del sensor a 0 ºC y a 50ºC. Asimismo, determine el valor de la resistencia que permite su linealización.

8. Se ha medido una NTC a 0 y 100 ºC dando valores de 3463 y 80202 Ω. Determine los coeficientes R_{25} y B.

9. Una LDR presenta una resistencia de 3 kΩ cuando es iluminada con un foco de luz situado a 50 cm. Cuando se pone a 25 cm, la resistencia es de 1090,5 Ω. Determine el coeficiente α de la fotorresistencia.

10. Una galga extensiométrica (G.E.) de 350 Ω a 23 ºC y factor de galga 2 puede sufrir hasta 30.000 microdeformaciones. Tiene, asimismo, un coeficiente térmico de 120 ppm/ºC. Suponiendo que se pone en la parte inferior de un puente de Wheatstone alimentado con 5.00 V y que se mide la diferencia de tensiones, V_{AB}, a dicha temperatura, determine la sensibilidad del sistema en $\mu V/\mu\varepsilon$. A continuación, determine cuál es la salida máxima en tensión que se observaría antes de que se deforme. Finalmente, suponga que la temperatura cae bruscamente a -20 ºC y determine el error cometido en la medida si no se corrige este efecto.

11. Con los datos anteriores, y suponiendo que V_{AB} se conecta a la entrada de un amplificador de instrumentación INA111 para que el rango posible de valores de V_{AB} se transforme en 0-5 V. ¿Qué tensión habría que aplicar al terminal de referencia del amplificador?

Soluciones

1. Las soluciones serían:a) $K+K\cdot(a-b)\cdot x+K\cdot b(b-a)\cdot x^2+...$, b) $K+\frac{K\cdot a}{b}x+\frac{1}{2}\cdot\frac{(a-2)\cdot K\cdot a}{b^2}\cdot x^2+...$, c) $K\cdot x_0^a+a\cdot K\cdot x_0^{a-1}\cdot(x-x_0)+\frac{1}{2}\cdot K\cdot x_0^{a-2}\cdot a\cdot(a-1)\cdot(x-x_0)^2+\ldots$, d) $K_0+a\cdot K\cdot x+0\cdot x^2+\ldots$

2. En el primer caso, se sabe que $V_1(x)=\frac{R_S(x)}{R+R_S(x)}\cdot V_{REF}$ con lo que el punto medio es $V_1(0)=\frac{R_S(0)}{R_S(0)+R}\cdot V_{REF}$, $S_x^{V1}=\frac{\partial V_1}{\partial x}$. Si se intercambian posiciones, la tensión del punto central es: $V_2(x)=\frac{R}{R+R_S(x)}\cdot V_{REF}=V_{REF}-\frac{R_S(x)}{R+R_S(x)}\cdot V_{REF}=V_{REF}-V_1(x)\rightarrow S_x^{V2}=\frac{\partial(V_{REF}-V_1)}{\partial x}=-\frac{\partial V_1}{\partial x}=-S_x^{V1}$. En otras palabras, sólo se produce un cambio de signo.

3. Por comodidad, usaremos la expresión $V_1(x)=\frac{R}{R+R_S(x)}\cdot V_{REF}$, que se demostró equivalente en el ejercicio anterior. Se puede deducir que:

$$S_x^{V1}=\frac{\partial V_1}{\partial x}=-\frac{R}{(R+R_S(x))^2}\cdot\frac{\partial R_S}{\partial x}\cdot V_{REF}.$$

Cuando x=0, se cumple que $S_{x=0}^{V1}=-\frac{R}{(R+R_S(0))^2}\cdot\frac{\partial R_S}{\partial x}\cdot V_{REF}$Y el punto en el que este parámetro alcanza un valor absoluto máximo es aquél en el que $\frac{\partial S_{x=0}^{V1}}{\partial R}=V_{REF}\cdot\frac{\partial R_S}{\partial x}\cdot\frac{R-R_S(0)}{(R+R_S(0))^3}$. Es fácil ver que esta expresión se anula en $R=R_S(0)$.

4. Basta con hacer el equivalente Thevenin del paralelo $V_{REF}+R$ para reducir el problema al visto en teoría.

5. En el caso de la Pt100, $R_{T0}=100\Omega$:

$$R_{PT100}(T)=100\cdot\left[1+\frac{3902}{10^6}\cdot T-\frac{0.5775}{10^6}\cdot T^2\right]=100+0.3902\cdot T-5.775\cdot10^{-5}\cdot T^2$$

con lo que $\alpha=0.3902$ y $\beta=-5.775\cdot10^{-5}$. Al ser β negativo, no es posible linealizar.
En el caso de la Ni120,

$$R_{Ni120}(T)=120\cdot\left[1+\frac{5485}{10^6}\cdot T+\frac{6.65}{10^6}\cdot T^2\right]=120+0.6582\cdot T+7.98\cdot10^{-4}\cdot T^2$$

En este caso, sí que podrían cumplirse los requisitos:

$$R=\frac{\alpha^2}{\beta}-R_{T0}=\frac{0.6582^2}{7.98\cdot10^{-4}}-120=429.9\,\Omega$$

6. 120 y 193,80 Ω. La sensibilidad es ~~938 mV/K~~ 738 mΩ/K

7. T = 0ºC: $R_{NTC}=26,73\ k\Omega$, $R=18,94\ k\Omega$; T = 50ºC: $R_{NTC}=4,35\ k\Omega$, $R=2,89\ k\Omega$

8. $B=3200\ K$, $R_{25}=30\ k\Omega$ → $R_{25}=1,295K$

9. $\alpha=0,73$

10. $\Delta V_{AB}=\frac{1}{4}\cdot V_{REF}\cdot\frac{\Delta R}{R_0}=\frac{1}{4}\cdot V_{REF}\cdot K\cdot\frac{\Delta L}{L_0}=\frac{5}{2}\cdot\frac{\Delta L}{L_0}$, $\frac{\Delta V_{AB}}{\Delta L/L_0}=\frac{5}{2}$. $\Delta V_{AB,MAX}=\pm\frac{5}{2}\cdot30000=\pm75000\ \mu V$. $R(T=-20ºC)=350\cdot[1+120\cdot10^{-6}\cdot(-20-23)]=348,194\ \Omega\rightarrow2580\ \mu\varepsilon$

11. $G = 1 + \frac{50}{R_G}$, $G_{REQ} = \frac{5}{2 \cdot 0.075} = 33,33$, $R_G = 1546\,\Omega$. REF = 2.5 V.

$$5 \doteq V_{REF} + \left(1 + \frac{50K}{R_G}\right) \to V_{REF} = 5 - \left(1 + \frac{50K}{R_G}\right)(V_2 - V_1)$$

$$0 = V_{REF} + \left(1 + \frac{50K}{R_G}\right) \to V_{REF} = -\left(1 + \frac{50K}{R_G}\right)(V_2 - V_1)$$

$$\to V_{REF1} = V_{REF2}$$

$$\to 5 - \left(1 + \frac{50K}{R_G}\right)$$

$$\alpha = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta T} = \frac{\frac{193,833 - 120}{120}}{100 - 0} =$$

$$R = R_{Tc} \cdot \frac{B - 2T_c}{B + 2T_c}$$

$$R_{25} = 3,463K \cdot \exp\left(\frac{3200}{298} - \frac{3200}{273}\right) = 1295,3$$

$$R_{25} = 80202 \cdot \exp\left(\frac{3200}{298} - \frac{3200}{373}\right) =$$

$$\cancel{R_{LDR}(L) = R_0\left(\frac{L_0}{L}\right)^{a}}$$

$$\cancel{3K = R_0\left(\frac{L_0}{50\,cm}\right)^{a}}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(350 - 348,1194)}{350} =$$

$$R_{LDR} = R_0 - \frac{a \cdot R_0}{L_0}(L - L_0) + \frac{a(a+1)R_0}{2L_0^2}(L - L_0)^2 + \ldots$$

Tema 3: sensores resistivos

① $R(x) \approx R_0 + \alpha(x-x_0) + \beta(x-x_0)^2 + O[(x-x_0)^3]$

$x_0 = 0 \rightarrow a, b, d$

$x_0 = 1 \rightarrow c$

a) $R(x) = K \cdot \frac{1+ax}{1+bx}$

$\alpha = \frac{dR(x)}{dx} = \frac{K(a-b)}{(b\cdot x+1)^2}\Big|_{x_0=0} = K(a-b)$

$\beta = \frac{d^2R(x)}{dx^2} = -\frac{bK(a-b)}{(bx+1)^3}\Big|_{x_0=0} = -bK(a-b) = bK(b-a)$

$R(x) \approx K + K(a-b)\cdot(x-\cancel{x_0}) + bK(b-a)\cdot(x-\cancel{x_0})^2 + \dots$

b) $R(x) = K \cdot \exp\left(\frac{ax}{x+b}\right)$

$\alpha = \frac{dR(x)}{dx} = \frac{a\,b\,K\cdot e^{\frac{ax}{b+x}}}{(b+x)^2}\Big|_{x_0=0} = \frac{a\cancel{b}K}{b^{\cancel{2}}} = \frac{aK}{b}$

$\beta = \frac{d^2R(x)}{dx^2} = \frac{abK\cdot e^{ax/b+x}\cdot((a-2)b-2x)}{(b+x)^4}\Big|_{x=0} = \frac{a\cancel{b}K\cdot(a-2)\cancel{b}}{b^{\cancel{4}2}}$

$= \cancel{\frac{K a^2 + 2a}{b^2}} = \frac{Ka(a-2)}{b^2}$

$R(x) = K + \frac{aK}{b}\cdot x + \frac{1}{2}\frac{Ka(a-2)}{b^2}x^2 + \dots$

c) $R(x) = K\cdot x^a$

$\alpha = \frac{dR(x)}{dx} = a\cdot K\cdot x^{a-1}$

$\beta = \frac{d^2R(x)}{dx^2} = (a-1)\,aK\cdot x^{a-2}$

$R(x) = K\cdot x_0^a + a\cdot K\cdot x^{a-1}\cdot(x-1) + \frac{1}{2}(a-1)\,aK\cdot x^{a-2}\cdot(x-1)^2 + \dots$

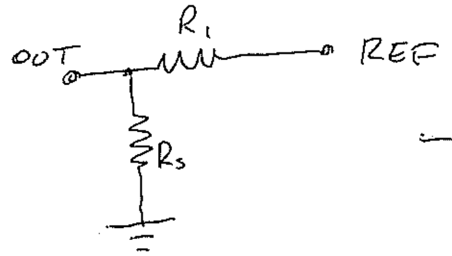
d) $R(x) = K_0 + K\cdot\tanh(a\cdot x)$

$\alpha = \frac{dR(x)}{dx}\Big|_{x=0} = aK$

$\beta = \frac{d^2R(x)}{dx^2} = -2a^2K\,\mathrm{tgh}(ax)\,\mathrm{sech}^2(ax)\Big|_{x=0} = -2a^2K$

$R(x) = K_0 + aK\cdot x + 0x^2 + \dots$

(2)



$$V_{OUT} = \frac{R_s}{R_s + R} \cdot V_{REF}$$

$$R(s) = R_{s0} + \alpha \cdot x$$

$$R = R_{s0}$$

$$\cancel{\frac{V_{out}}{V_{REF}} = \frac{R_{s0} + \alpha x}{2R_{s0} + \alpha x} = \frac{R_{s0}}{2R_{s0} + \alpha x} + \frac{\alpha x}{2R_{s0} + \alpha x}}$$

$$V_1(x) = \frac{R_s(x)}{R + R_s(x)} V_{REF} \rightarrow S_x^{V_1} = \frac{\partial V_1(x)}{\partial x}$$

Int. posiciones:

$$V_2(x) = \frac{R}{R_s(x) + R} V_{REF} = V_{REF} - \frac{R(s)}{R + R(s)} = V_{REF} - V_1(x)$$

$$S_x^{V_2} = \frac{\partial V_2(x)}{\partial x} = \frac{-\partial V_1(x)}{\partial x}$$

* Solo cambia el signo.

(3) Es equivalente

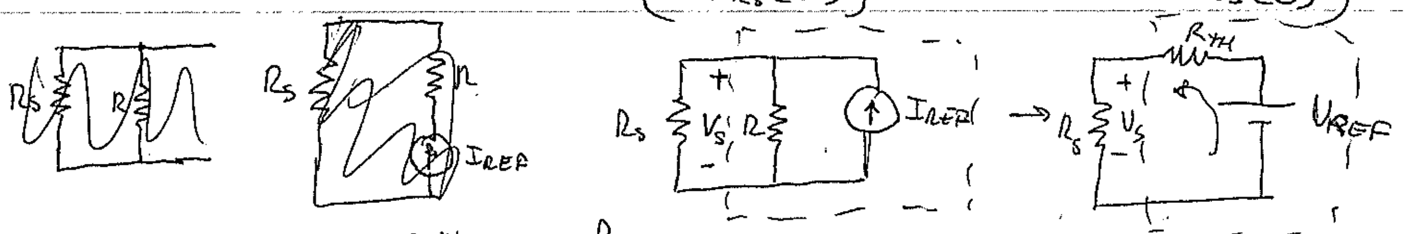
$$V_1(x) = \frac{R}{R + R_s(x)} V_{REF} \qquad V_0(x) = \frac{R_s(x)}{R + R_s(x)} V_{REF}$$ (Maximo...

$$S_x^{V_1} = \frac{\partial V_1}{\partial x} = -\frac{R}{(R + R_s(x))^2} \frac{\partial R_s}{\partial x} \cdot V_{REF}$$

$$x = 0 \rightarrow S_{x=0}^{V_1} = -\frac{R}{(R + R_s(0))^2} \cdot \frac{\partial R_s}{\partial x} \cdot V_{REF}$$

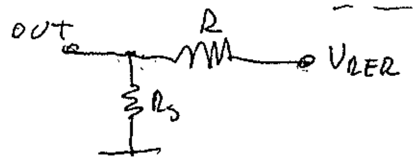
$$\text{Max: } \frac{\partial S_{x=0}^{V_1}}{\partial R} = V_{REF} \cdot \frac{\partial R_s}{\partial x} \cdot \frac{R - R_s(0)}{(R + R_s(0))^3}$$ (Esta exp. se anula si $R = R_s(0)$)

(4)



$$R_{TH} = R$$

$$V_{REF} = I_{REF} \cdot R$$



Serie: $V_s = \frac{R_s}{R + R_s} V_{REF} = \frac{R_s}{R + R_s} \cdot V_{REF} \rightarrow R = \frac{R_s \cdot V_{REF} - R_s V_s}{V_s}$

Paralelo: $V_s = R \cdot i_{REF} \left(\frac{R_s}{R + R_s}\right) = V_{REF} \cdot \frac{R_s}{R + R_s} \rightarrow \boxed{R = \frac{R_s \cdot V_{REF} - R_s V_s}{V_s}}$

⑤ Pt → $\alpha_1 = 3902\ ppm/K$, $\alpha_2 = -0,5775\ ppm/K^2$

Ni → $\alpha_1 = 5845\ ppm/K$, $\alpha_2 = 6,65\ ppm/K^2$

Pt100 → $R = 100\ \Omega$ $\qquad$ ppm = 10^6 partes por millón

Ni 120 → $R = 120\ \Omega$

$$R = R_0\,(1 + \underbrace{\alpha_1}_{\text{positivo}}(T - T_0) + \underbrace{\alpha_2 (T-T_0)^2 + \dots}_{\text{Términos despreciables en el rango.}})$$

* Pt100 : $\alpha_1 = \frac{3902}{10^6}\left[\frac{1}{K}\right]$ $\qquad \alpha_2 = -\frac{0,5775}{10^6}\left[\frac{1}{K^2}\right]$

$$R_{Pt100}(T) = 100\left[1 + \frac{3902}{10^6}T - \frac{0,5775}{10^6}T^2\right] = \cancel{100 + 0,3902T - 5,775 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 100 + 0,3902T - 5,775 \cdot 10^{-5}T^2$$

* Ni120 : $\alpha_1 = \frac{5845}{10^6}\left[\frac{1}{K}\right]$ $\qquad \alpha_2 = \frac{6,65}{10^6}\left[\frac{1}{K^2}\right]$

$$R_{Ni120} = 120\left[1 + \frac{5845}{10^6}T + \frac{6,65}{10^6}T^2\right] = 120 + \underbrace{0,7014}_{\alpha}T + \underbrace{7,98 \cdot 10^{-4}}_{\beta}T^2$$

* Ver linealización:

- Pt100: Al ser β negativo, no es posible ~~hacer~~ linealizar.
- Ni120: tenemos $\alpha = 0,7014$ $\quad \beta = 7,98 \cdot 10^{-4}$

  Podemos linealizar con una R:

$$R = \frac{\alpha^2}{\beta} - R_{T0} = \frac{0,7014^2}{7,98 \cdot 10^{-4}} - 120 = 496,49\ \Omega$$

* En el ejercicio pone que Ni120 su $\alpha_1 = 5845\left[\frac{1}{K}\right]$, es 5485.

⑥ $\alpha_1 = 5485\ ppm/K$ $\alpha_2 = 6{,}65\ ppm/K^2$ $\alpha_3 = 2{,}805 \cdot 10^{-5}\ ppm/K^3$

$Ni120 \rightarrow 0°C \rightarrow 100°C$

$$R_{Ni120} = 120\left(1 + \frac{5485}{10^6}(T-T_0) + \frac{6{,}65}{10^6}(T-T_0)^2 + \frac{2{,}805\cdot10^{-5}}{10^6}(T-T_0)^3\right) =$$

$$\cancel{= 120 + 0{,}6585\,T + 7{,}98\cdot10^{-4}\,T^2 + 3\cdot10^{-9}\cdot T^3}$$

$$= 120 + 0{,}6585(T-T_0) + 7{,}98\cdot10^{-4}(T-T_0)^2 + 3\cdot10^{-9}(T-T_0)^3 =$$

$R_{Ni120}(T=0°) = 120$

$$\cancel{R_{Ni120}(T=373K) = 120 + 245{,}6205 + 111{,}025 + 0{,}18568 = 476{,}8\,\Omega}$$

$R_{Ni120}(T = 373K = 100°C) = 120 + 65{,}85 + 7{,}98 + 0{,}003 = 193{,}833\,\Omega$

$T - T_0 = 373 - 273 = 100$

* Sensibilidad:

Tenemos $R = R_0 + R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$, comparando con la expresión

$R = R_0 + \Delta R \rightarrow \Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta T} = R_0 \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta T} = \frac{\frac{193{,}833 - 120}{120}}{100 - 0} = 6{,}15\ m°C^{-1}$$

$S = 120 \cdot \alpha = 738{,}33\ m\Omega/°C$

Tema 3:

(8) NTC: cuando aumenta la T° la resistencia baja, por tanto:

$T = 0°C \rightarrow R = 80202\ \Omega$

$R_{NTC} = R_{TC} \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_C}\right)$

$T = 100°C \rightarrow R = 3463\ \Omega$

$T = 0°C = 273\ K$

$$R_{TC} = \frac{80202}{\exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{298}\right)}$$

$T = 100°C = 373\ K$

$$R_{TC} = \frac{3463}{\exp\left(\frac{B}{373} - \frac{B}{298}\right)}$$

$B = 3200\ k$

$R_{25} = 30\ K\Omega$

(9) $R_0 = 3\ K\Omega \longrightarrow L_0 = 50\ cm$

$R_{LDR} = 1090{,}5\ \Omega \rightarrow L = 25\ cm$

* Tiene truco, al reducir la distancia a la mitad, el flujo de la luz aumenta 4 veces pues toda la energía se reparte entre la superficie esférica, cuya superficie es proporcional al radio al cuadrado. $L_0 = 50\ cm$ $\quad L = 25\ cm = \frac{L_0}{4}$

$$R_{LDR}(L) = R_0\left(\frac{L_0}{L}\right)^{\alpha} \Rightarrow \lg\frac{R_{LDR}}{R_0} = \alpha \cdot \lg\left(\frac{L_0}{L_0/4}\right) \rightarrow$$

$\alpha = 0{,}73$

(7) NTC: $R_{25} = 10K\Omega$ $B_{25/85} = 3200K \rightarrow T_c = 25\,°C$

$T_0 = 0°C$ $T = 50°C$

$T = 0°C \rightarrow R_{NTC} = R_{TC} \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_c}\right) = 10K \cdot \exp\left(\frac{3200\cancel{K}}{273\cancel{K}} - \frac{3200\cancel{K}}{298\cancel{K}}\right) =$

$= 26,734\ K\Omega$

$T = 50°C \rightarrow R_{NTC} = 10K \cdot \exp\left(\frac{3200\cancel{K}}{323\cancel{K}} - \frac{3200\cancel{K}}{298\cancel{K}}\right) = 4,355\ K\Omega$

* Resistencia para su linealización:

$$R = R_{NTC} \cdot \frac{B - 2T_c}{B + 2T_c}$$

- $T_c = 0°C = 273K \rightarrow R = 26,734k \cdot \frac{B - 2 \cdot 273}{B + 2 \cdot 273} = 18,94\ K\Omega$

- $T_c = 50°C = 323K \rightarrow R = 4,355k \cdot \frac{B - 2 \cdot 323}{B + 2 \cdot 323} = 2,892\ K\Omega$

(8) NTC

$T = 0°C \rightarrow R_{NTC} = 3463\ \Omega$ $B?$ $R_{25}?$

$T = 100°C \rightarrow R_{NTC} = 80202\ \Omega$

$T_c = 25°C$

Utilizamos: $R_{NTC} = R_{TC} \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_c}\right)$

$T = 0°C = 273K \rightarrow 3,463k = R_{TC} \cdot \exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{25+273}\right) \rightarrow R_{TC} = \frac{3,463k}{\exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{298}\right)}$

$T = 100°C = 373k \rightarrow 80,202k = R_{TC} \cdot \exp\left(\frac{B}{373} - \frac{B}{298}\right)$

$80,202k = \frac{3,463k}{\exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{298}\right)} \cdot \exp\left(\frac{B}{373} - \frac{B}{298}\right) \Rightarrow \frac{80,202k}{3,463k} = \frac{\exp\left(\frac{B}{373} - \frac{B}{298}\right)}{\exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{298}\right)}$

$\ln \frac{80,202k}{3,463k} = \frac{B}{373} - \cancel{\frac{B}{298}} - \frac{B}{273} + \cancel{\frac{B}{298}} \rightarrow \left(\frac{B}{373} - \frac{B}{273}\right) = \ln 23,159) \cdot 373 \cdot 273) \rightarrow$

$\rightarrow (273 - 373)B = \ln 23,159 \cdot 373 \cdot 273 \rightarrow$ ~~B = 3,2k~~ $B = 3200\,°K$ Distinto de los expresados pregunta

$R_{TC=25°C} = \frac{3,463k}{\exp\left(\frac{3200}{273} - \frac{3200}{298}\right)} = \frac{3,463K}{\exp(0,9833566)} = \boxed{1,295\ K\Omega}$

¿No sale bien? Preguntar

(9) $R_{LDR} = 3\,K\Omega \rightarrow L = 50$ cm

$R_{LDR} = 1090{,}5\,\Omega \rightarrow L = 25$ cm

$R_0 = 3K\Omega \rightarrow L_0 = 50$ cm

$R_{LDR} = 1090{,}5\,\Omega \rightarrow L = 25$ cm

$\cancel{R_{LDR}(L) = R_0\left(\frac{L_0}{L}\right)^{\alpha} \rightarrow \log R_{LDR} = \alpha \cdot \log\left(R_0 \frac{L_0}{L}\right) \rightarrow}$

$$R_{LDR}(L) = R_0\left(\frac{L_0}{L}\right)^{\alpha} \approx R_0 - \frac{\alpha \cdot R_0}{L_0}(L - L_0) \rightarrow \alpha = -1{,}273$$

* Como α no puede ser negativo $\alpha + 2 = 0{,}727$

* Me lo he inventado, pero tiene lógica.

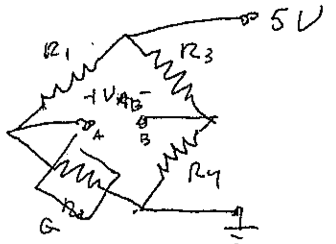
(10) Galga extensiométrica:

$350\,\Omega \rightarrow 23\,°C$

~~$\mu\varepsilon = 30000$ ppm $\Rightarrow$ ... $\varepsilon =$~~

$K = 2 \rightarrow \varepsilon = 30000\,\mu\varepsilon = 30000 \cdot 10^{-6}$ m/m

coef. térmico$_1$ $= 120$ ppm/°C $= \alpha_1$



* Este montaje es $\frac{1}{4}$ de puente, por tanto ponemos $\frac{1}{4}$.

* Diferencia de tensión: ΔV_{AB}

$$\Delta V_{AB} = \frac{1}{4} V_{REF} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{1}{4} \cdot V_{REF} \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot K = \cancel{\frac{1}{4} V_{REF}\, \varepsilon K}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 5 \cdot 2 \cdot \frac{\Delta L}{L} = 2{,}5 \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

* Sensibilidad: $S = \dfrac{\Delta V_{AB}}{\frac{\Delta L}{L}} = 2{,}5\ \dfrac{\mu V}{\mu\varepsilon}$

* $\Delta V_{AB,max}$ antes de la deformación: puede ser positiva y negativa

$$\Delta V_{AB,max} = \pm\, S_{AB} \cdot \varepsilon = \pm\, 2{,}5 \cdot 30000\,\mu\varepsilon = \pm 75000\,\mu V$$

* Caída de Temperatura a $-20\,°C$

$$R(T = -20\,°C) = 350 \cdot \left[1 + \frac{120}{10^6} \cdot (-20 - 23)\right] = 348{,}194\,\Omega$$

$$= R\left[1 + \alpha_1 \cdot (T - T_0)\right]$$

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(350 - 348{,}194)}{350} = 2580\,\mu\varepsilon$$

$V = -0,075\,U \rightarrow 0\,V$

(11) $\Delta V_{AMAX} = 75000\ \mu V = \pm 0,075\ V$

$0,075\,U \rightarrow 5\,V$

Amp. Ins $\rightarrow V_{OUT} = V_{REF} + \left(1 + \frac{2R_2}{R_G}\right) \cdot (U_2 - U_1)$

INA111 $\rightarrow R_1 = 10\,K\Omega$

$R_2 = 25\,K\Omega$

$G = 1 + \frac{50\,K\Omega}{R_G}$

$V = 0,075 \rightarrow 5V \rightarrow 5 = V_{REF} + \left(1 + \frac{2 \cdot 25K}{RG}\right) \cdot (0,075) \rightarrow V_{REF_1} = 5 - \left(1 + \frac{50K}{RG}\right) 0,075$

$V = -0,075 \rightarrow 0U \rightarrow 0 = V_{REF} + \left(1 + \frac{2 \cdot 25K}{RG}\right)(-0,075) \rightarrow V_{REF_2} = -\left(1 + \frac{50K}{RG}\right)(-0,075)$

$\cancel{V_{REF_1} = U_{REF_2} \rightarrow 5 - \left(1 + \frac{50K}{RG}\right) 0,075 = -\left(\frac{50K}{RG} + 1\right)}$

$V_{REF_1} = U_{REF_2} \rightarrow 5 - \left(1 + \frac{50K}{RG}\right)(0,075) = -\left(1 + \frac{50K}{RG}\right)(-0,075) \rightarrow R_G = 1,5464$

$\boxed{R_G = 1,5464\,K\Omega}$ $\boxed{V_{REF} = 2,5\,V}$

$V_{REF} = -\left(1 + \frac{50K}{1,5464K}\right) \cdot (-0,075) = 2,5\,V$

TEMA 4: BOLETÍN DE EJERCICIOS

SENSORES GENERADORES DE SEÑAL

1. Se dispone de un sensor con salida en corriente y que se quiere acondicionar con un op amp para que éste dé una salida entre 0 y 5 V si el sensor va de 0 a 2 nA. ¿Cómo lo haría usted sabiendo que no tiene resistencias de más de 1 MΩ?

2. Supongamos que el sensor tiene una resistencia de salida de 100 MΩ y el operacional una tensión de offset de 1 mV. ¿Qué le ocurre a la salida?

3. Un termopar tipo J se mide con un amplificador de instrumentación de ganancia 150 mostrando éste una salida igual a 2.7424 V. ¿Cuál es la diferencia de temperatura entre los extremos del termopar? Si medimos la temperatura de la unión fría con una PT100 que arroja un valor igual a $109,05\ \Omega$, ¿cuál es la temperatura del otro extremo?

4. Sin embargo, al recurrir a la hoja de calibración del termopar J, ¿cuál sería la temperatura real de la unión caliente?

5. Se desea acondicionar un termopar tipo B, con temperatura de unión fría fijada a 25 ºC, para que mida temperaturas entre 1000 y 1800 ºC. A la primera temperatura, la salida es 0 V y, a la segunda, 5 V. Determine la ganancia del amplificador y la tensión DC en la salida que hay que corregir.

6. Una placa plana de 10 μm de espesor hecha de un semiconductor tipo n, con 10^{14} cm^{-3} impurezas, está expuesta a un campo magnético de 0,5 mT en la direccion perpendicular al plano. Si hacemos que circule por ella una corriente de 3 mA paralelamente a la superficie plana, ¿cuál es la tensión Hall que aparece en la dirección perpendicular a la corriente y al campo?

7. Se ha creado un solenoide de 600 vueltas y 30 cm de longitud con núcleo de aire ($\mu_r = 200$). Una corriente desconocida lo atraviesa. Para medirla, insertamos un sensor DRV5053 OA, cuya relación de salida es $V_{OUT} = 1.000\ V - 11\frac{mV}{mT} \cdot B$ al alcance del solenoide. Se mide una tensión de 826,38 mV. Determine la corriente que atraviesa el solenoide. Generalice la ecuación que relaciona la corriente del solenoide con la tensión de salida.

8. Imagine que dispone de un piezoeléctrico no excitado exteriormente. Determine la impedancia Thévenin asociada al piezoeléctrico y cuál es su frecuencia de resonancia. Desprecie las resistencia. ¿Qué ocurre si lo conectamos con un cable de longitud L y con capacidad por unidad de longitud C_L?

Soluciones

1. Idealmente, necesitaríamos una resistencia de 2.5 GΩ, que no existen. Sin embargo, con una configuración en T con dos resistencias de 1 MΩ y 400,3 Ω se obtendría el mismo resultado.

2. Aparece un offset en la salida de valor $\left(1 + \frac{2.5\cdot 10^9}{100\cdot 10^6}\right) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 26 \quad \text{mV}$.

3. $\Delta T = \frac{2.7424}{150\cdot 51.5\cdot 10^{-6}} = 355,0\ ^{\circ}C$. $T_1 = \frac{109.05-100.0}{0.3905} = 23,2\ ^{\circ}C$, $T_2 = 378,2\ ^{\circ}C$

4. $\Delta V = \frac{2.7424}{150} = 18,282\ mV$. De acuerdo con la hoja de calibración, para $\Delta T = 355\ ^{\circ}C$, $\Delta V = 18,262\ mV$, y para $\Delta T = 356\ ^{\circ}C$, $\Delta V = 18,318\ mV$. Por interpolación, $\Delta T = 355,4\ ^{\circ}C$, $T_2 = 355,4 + 23,2 = 378,6\ ^{\circ}C$.

5. A $1000 - 25 = 975\ ^{\circ}C$, $V_{TH} = 4,608\ mV$, y a $1800 - 25 = 1775\ ^{\circ}C$, $V_{TH} = 13,304\ mV$. $G = \frac{5}{8,696\cdot 10^{-3}} = 575$. Para que la salida sea 0 V a 1000 ºC, hay que corregir $4,608 \cdot 10^{-3} \cdot 575 = 2,6496\ V$.

6. $V_H = \pm \frac{0.5\cdot 10^{-3}\cdot 3\cdot 10^{-3}}{1.602\cdot 10^{-19}\cdot 10\cdot 10^{-6}\cdot 10^{22}} = 93,6\ \mu V$

7. 31,4 mA. $V_{OUT} = 1 - \alpha \cdot \frac{N}{L} \cdot \mu_R \cdot \mu_0 \cdot I \rightarrow V_{OUT} = 1 - 5,5292 \cdot I$, $I = 0.18086 \cdot (1 - V_{OUT})$

8. $Z(s) = \frac{1+LC\cdot s^2}{s\cdot[1+L\cdot(C//C_p)\cdot s^2]} \cdot (C + C_p)$. $f_R = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L\cdot(C//C_p)}}$. En ese caso, la frecuencia cambia a $f_R^* = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L\cdot(C//(C_p+C_L\cdot L))}}$

Tema 4: sensores generadores:

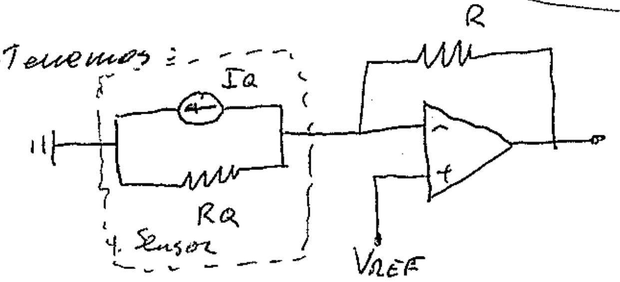
① Sensor → 0 a 2nA

Salida → 0 a 5 V

* Solo disponemos de resistencias menores a 1 MΩ

$$V_{out} = 5V = R \cdot I_0 \rightarrow R = \frac{5V}{2nA} = 2,5\ G\Omega$$

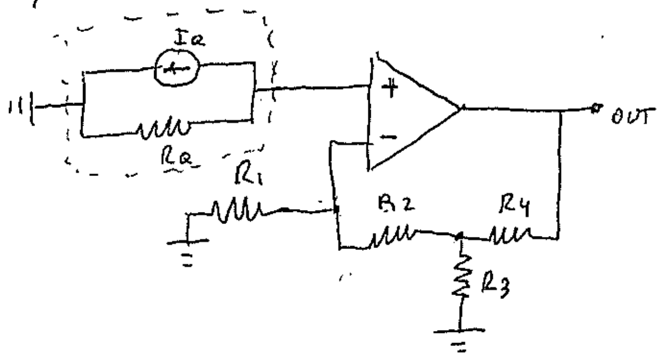
Tenemos:



$V_{out} \approx V_{REF} + R \cdot I_a$

no dice nada de V_{REF}, por tanto la tomamos como 0.

* En los apuntes pone que R es reemplazable por un configuración en T. Ejercicios Tema 2, sale la configuración en T.



$$\boxed{R_T = R_2 - R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_3}}$$

Si $R_T = 2,5\ G$, damos el valor maximo a R_1 y $R_2 = 1\ M\Omega$

$$R_3 (R_2 - R_1 - R_T) - R_1 R_2 = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1 - R_T} = \frac{1M \cdot 1M}{1M - 1M - 2,5G}$$

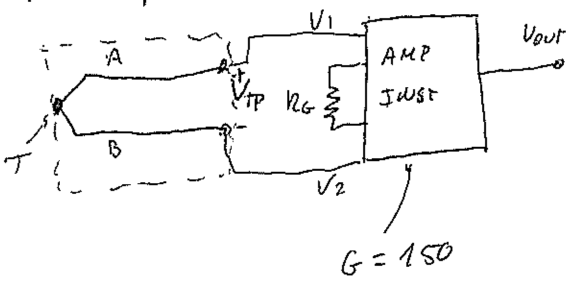
$$\boxed{R_3 = 400\ \Omega}$$

② $R_Q = 100\ M\Omega$ $\quad V_{os_{op}} = 1\ mV$ $\quad R = 2,5\ G\Omega$

$$V_{out} \approx V_{in}(1) + R \cdot \underbrace{I_a}_{\frac{V_{in}}{R_Q}} = V_{in} + \frac{R \cdot V_{in}}{R_Q} = V_{in}\left(1 + \frac{R}{R_Q}\right) = V_{in} \cdot 26$$

$$V_{OS,out} = V_{os_{op}} \cdot \left(1 + \frac{R}{R_Q}\right) = 1m \cdot 26 = 26\ mV$$

③ Termopar tipo J → Campo de medida 0 a 750 °C → Sensibilidad$_{25°C}$ = 51,5 μV/°C



a) ~~$V_{TP} \approx \Delta S$~~

$$V_{TP} \approx (S_A - S_B)\cdot(T_2 - T_1) = S\cdot\Delta T$$

$$V_{out} = G\cdot V_{TP} = G\cdot S\cdot\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{V_{out}}{G\cdot S}$$

$$\Delta T = \frac{V_{out}}{G\cdot S} = \frac{2,7424\ V}{150\cdot 51,5\,\mu V/°C} = 355\ °C$$

b) Pt100: buscamos en el T3, la tabla de RTD y sacamos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

rango: -260 a 900

$$\alpha_1 = 3902\ ppm/K \qquad R_0 = 100\,\Omega \rightarrow T_0 = 0\,°C$$

$$R_{Pt100} = R_0(1 + \alpha_1(T - T_0))$$

siendo $R_{Pt100} = 109,05\,\Omega$

* Calculamos la T° en la parte fría

$$R_{Pt100} = R_0 + R_0\alpha_1(T - \cancel{T_0}) \rightarrow T = \frac{R_{Pt100} - R_0}{R_0\alpha} \Rightarrow$$

$$T_{\text{parte fría}} = \frac{109,05 - 100}{100\cdot\frac{3902}{10^{-6}}} = \frac{9,05}{0,3902} = 23,2\ °C$$

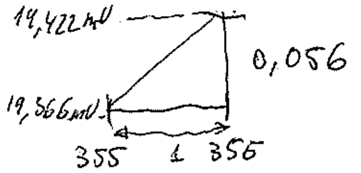
* ~~Cuando~~ se mide tensión en un circuito, se crea el equivalente a un termopar. Si el circuito está a diferente temp., aparece una tensión adicional que falsea la medida: Pt100 + cables de Cu y T° no uniforme.

$$T_2 = T_1 + \Delta T = 23,2\,°C + 355\,°C = 378,2\,°C$$

(4) De acuerdo a la hoja de calibración

$\Delta T = 355°C \rightarrow \Delta V = 19,366\ mV$

$\Delta T = 356°C \rightarrow \Delta V = 19,422\ mV$



$y = 0,056m \cdot x + a$

$19,366mV = 0,056m \cdot 355 + a \rightarrow a = -0,514\ m$

$y = 0,056 \cdot 10^{-3} x - 0,514 \cdot 10^{-3}$

* Salida del termopar:

$$\Delta V = \frac{2,7424}{150} = 0,01828 = 18,282\ mV$$

$$18,282 \cdot 10^{-3} = 0,056 \cdot 10^{-3} \cdot x - 1,618 \cdot 10^{-3} \rightarrow x = \frac{18,282 \cdot 10^{-3} + 1,618 \cdot 10^{-3}}{0,056 \cdot 10^{-3}}$$

$\Delta T = 355,357°C$

$T_2 = 355,357°C + 23,2°C = 378,557°C$

(5) Termopar tipo B → medir $1000°C$ y $1800°C$
$\downarrow$ 0V, $\downarrow$ 5V

* La unión fría indica que se pierde Temperatura en la unión, en este caso 25°C.

* V_{TH} lo sacamos de la tabla de calibración

$T_{min} = 1000 - 25 = 975°C \longrightarrow V_{TH_1} = 4,608\ mV$

$T_{max} = 1800 - 25 = 1775°C \longrightarrow V_{TH_2} = 13,304\ mV$

$$G = \frac{5}{(13,304 - 4,608) 10^{-3}} = 575$$

* Error a corregir:

$G \cdot V_{TH_1} = 575 \cdot 4,608\ mV = 2,65\ V$

6 $h = 10\,\mu m$ Sensor efecto hall.

Tipo N: $n = 10^{16}\,cm^{-3} = 10^{16}\,\cancel{cm^{-3}} \cdot \frac{10^{6}\,m^{-3}}{1\,cm^{-3}} = 10^{22}\,m^{-3}$

Impurezas $= 10^{16}\,cm^{-3}$

$B = 0,5\,mT$

$I_0 = 3\,mA$

$$V_H = \pm \frac{B \cdot I_0}{q \cdot h \cdot n} = \frac{0,5m \cdot 3m}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10\mu \cdot 10^{22}} = 93,75\,mV$$

7 solenoide: $N = 600$ vueltas

$l = 0,3\,m$

$\mu_r = 200$

Sensor: DRV5053OA: $V_{out} = 1,000 - 11\frac{mV}{mT} \cdot B$

$V_{out} = 826,38 \cdot 10^{-3}\,V$ ~~tabla~~

* Calculamos el campo magnetico

$$826,38 \cdot 10^{-3} = 1 - 11\frac{mV}{mT} \cdot B \rightarrow B = \frac{-826,38 \cdot 10^{-3} + 1}{11\frac{mV}{mT}} = 15,78\,mT$$

$B = 0,01578\,T$

* Para calcular i:

$$B = \frac{\mu_r \mu_0 N}{l} \cdot i \rightarrow i = \frac{B \cdot l}{\mu_r \mu_0 N} = \frac{0,01578 \cdot 0,3}{200 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 600} = 31,39\,mA$$

$$\boxed{i = 31,39\,mA}$$

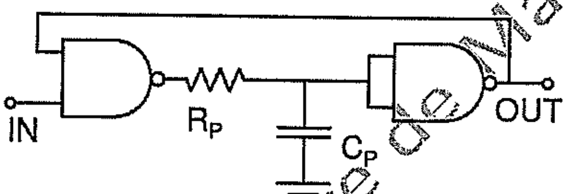
$$V_{out} = 1 - 11\frac{mV}{mT} \cdot \frac{\mu_r \mu_0 N}{l} I \rightarrow V_{out} = 1 - 5,529\,m\,I = 1 - 5,529 \cdot 10^{-3} \cdot I$$

TEMA 5: BOLETÍN DE EJERCICIOS

SENSORES CAPACITIVOS

1. Un monoestable con salida normalmente 0 V responde con un pulso de tensión $+V_{REF}$ y duración T_P ante flancos de subida o bajada en la entrada. El monoestable se coloca a la salida de un oscilador de relajación de periodo $T = \alpha \cdot R \cdot C$, donde R y C forman el núcleo del oscilador. La salida del monoestable se coloca a la entrada de un filtro LP. Determine la relación entre C y la tensión de salida del filtro. ¿Cuál es el mínimo valor de C que se puede medir?

2. En particular, el circuito monoestable es el de la figura. Si las puertas, alimentadas entre 0 y $+V_{REF}$ conmutan en $k \cdot V_{REF}$, con $k = 0.5$, ¿Cuál es el tiempo T_P?



3. Se desea crear un filtro BP tal que, a partir de una señal cuadrada que oscila entre 0 y V_{REF}, con frecuencia f, se genere una señal sinusoidal a dicha frecuencia. Si la ganancia a frecuencia f es 1, ¿cuál debe ser la atenuación en el siguiente armónico para que la THD[1] de la salida sea menor que el 0.1%?

4. Determine la relación entre la componente DC y el primer armónico de una señal cuadrada de periodo T y ciclo de trabajo $0 \leq \alpha \leq 1$. Determine la relación entre la componente DC y el primer armónico.

5. Se intenta medir el desfase con comparadores, una puerta XOR y un microcontrolador. En éste, se han implementado dos contadores activados por interrupción: uno se activa con flanco de subida y se termina con flanco de bajada en la señal externa, y el otro se activa a la inversa. En el primer contador, se obtiene un valor de 3656 y, en el otro, 8233. Determine el desfase, y el margen de error en la medida[2].

6. Se construye un condensador cilíndrico de radios 1 y 2 cm y 4 m de longitud que se coloca en un pozo de agua con el objeto de medir el nivel desde el exterior del pozo. Relacione la capacidad del condensador con la distancia del nivel de agua a la superficie del suelo. La permitividad dieléctrica del agua es 80.

7. Tras unos periodos de lluvias y de fuertes sequías, el sensor muestra una capacidad algo mayor de la prevista. ¿Por qué podría ser?

[1] *Total Harmonic Distortion*. *Grosso modo*, se puede entender como la amplitud del primer armónico frente a la de la frecuencia fundamental.

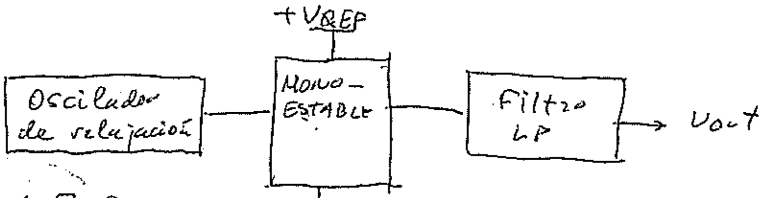
[2] No tome en cuenta los posibles retrasos en el microcontrolador.

Soluciones

1. $V_{OUT} = \frac{2 \cdot V_{REF} \cdot T_P}{\alpha R} \cdot \frac{1}{C}$. Como $V_{OUT} \leq V_{REF}$, $C \geq \frac{2 \cdot T_P}{\alpha \cdot R}$
2. $T_P = R_P \cdot C_P \ln 2$
3. En una señal cuadrada, el armónico fundamental tiene amplitud $2 \cdot V_{REF}/\pi$, y el armónico más importante, el tercero, tiene amplitud $2 \cdot V_{REF}/3\pi$. Por tanto, debe haber al menos una atenuación de $\frac{1000}{3} = 333.3 \equiv 50,4\ dB$ a una frecuencia de $3 \cdot f$.
4. $V_{DC} = \alpha \cdot V_{REF}$, $V_1 = \frac{V_{REF}}{\pi} \cdot (1 - \cos(2\pi \cdot \alpha))$, $\frac{V_1}{V_{DC}} = \frac{1/\alpha}{\pi} \cdot (1 - \cos(2\pi \cdot \alpha))$
5. Tiempo en alta, proporcional a 3656.5 ± 0.5. Tiempo en baja, 8233.5 ± 5. Periodo, a 11890 ± 1, desfase medio: $\pi \cdot \frac{3656.5}{11890} = 0.9661...$, error relativo: $\sqrt{\left(\frac{0.5}{3656.5}\right)^2 + \left(\frac{1}{11890}\right)^2} \simeq 0.016\%$
6. $C(x) = \frac{2\pi\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln 2} \cdot \left[H - \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}\right) \cdot x\right] = 6.421 \frac{nF}{m} \cdot \left[4 - \frac{79}{80} \cdot x\right] = 25.68\ nF - 6.34 \cdot x\ nF$.

Tema 5: sensores capacitivos

(1)



$T = \alpha \cdot R \cdot C$ .... T_P

* Oscilador de relajación:

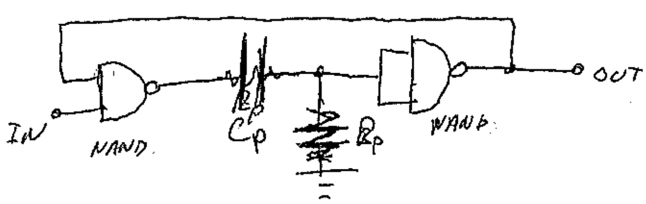
$T = \alpha \cdot R \cdot C$

* Este dos viene q.e pasa dos veces flanco de subida y bajada

$$V_{out} = \frac{V_{REF} \cdot T_P}{T} = \frac{2 V_{REF} \cdot T_P}{\alpha \cdot R} \cdot \frac{1}{C}$$

Como $V_{OUT} \leq V_{REF} \rightarrow C \geq \frac{2 T_P}{\alpha R}$

(2)

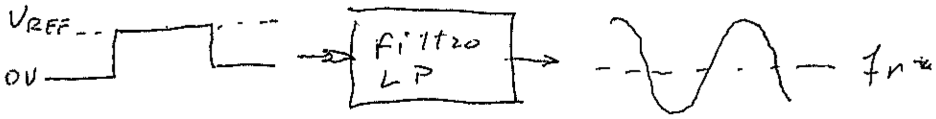


IN → 0V ≯ V_{REF}

* Página del foro q.e pone Mario, te da el resultado directamente

$T_P = 0{,}69 \cdot RC = \ln 2 \cdot R \cdot C$

(3) Filtro BP



THD < 0,1%

* Salida del filtro: $A_1 = \frac{2 \cdot V_{REF}}{\pi}$, el armónico más importante, el tercero, $A_3 = \frac{2 \cdot V_{REF}}{3\pi}$.

* Por tanto, debe haber al menos una atenuación: $A_t = \frac{1000}{3} = 333{,}3 \equiv 50{,}4\,dB$ a una frecuencia de $3f$.

* Fuera de temario

(4) $V_{DC} = \alpha \cdot V_{REF}$

$$V_1 = \frac{V_{REF}}{\pi}\left(1-\cos(2\pi\alpha)\right)$$

$$\frac{V_1}{V_{DC}} = \frac{1}{\alpha\cdot\pi}\left(1-\cos(2\pi\alpha)\right)$$

(6) $R_{int} = 1\ cm$ $\qquad\qquad \varepsilon_{H_2O} = 80$

$R_{ext} = 2cm = 0{,}02\ m$

$H = 4\ m$

$$C = \frac{2\pi\cdot\varepsilon\cdot H}{\ln(R_{ext}) - \ln(R_{int})}$$

* sensor de nivel de líquido: $\left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_r} - \frac{1}{\varepsilon_r}\right)$

$$C(x) = \frac{2\pi\,\varepsilon_r\varepsilon_0\cdot\left(H - x\left(1-\frac{1}{\varepsilon_r}\right)\right)}{\ln R_{ext} - \ln R_{int}} \approx \frac{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot 80}{\ln 2{,}02}\left(4 - x\left(\frac{79}{80}\right)\right) =$$

$$= 6{,}421\ nF\left(4 - \frac{79}{80}x\right) = 25\ nF - 6\ nF\cdot x$$

(7) Debido a las gran humedad en periodos de lluvia y a la poca humedad en las fuertes sequías, el sensor a podido variar su permitividad, la cual se transmite linealmente a la capacidad. O ha podido variar sus dimensiones, en este caso el comportamiento es menos claro.

TEMA 7: BOLETÍN DE EJERCICIOS

CIRCUITOS S/H Y DE CAPACIDADES CONMUTADAS

1. Se dispone de un circuito S/H simple, como el de la figura adjunta, que consta de dos op amps con tensiones de offset en el rango de ± 1 mV. Determine el rango de valores esperables en la tensión de offset de salida del bloque. ¿Y si el primero tuviera una tensión de offset entre -1 y 3 mV y el segundo entre -2 y 1 mV?

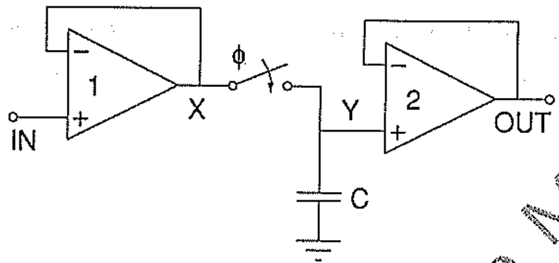


Figura 1: Circuito S/H simple.

2. El op amp de salida en la figura 1 tiene una corriente de polarización de la entrada (sentido entrante) de 10 nA. Si el condensador es de 470 nF, ¿cuánto tiempo puede retenerse la señal sin que cambie más de 0.2 mV? Y si se conecta a una ADC cuya tensión no puede variar más de 0,5 mV en 10 μs, ¿Cuál es el valor mínimo de C?

3. En el circuito de la figura 1,se usa como conmutador un simple transistor NMOS de longitud L, anchura W, tensión umbral V_{TH} y capacidad de óxido por unidad de superficie C^*_{OX}. Si la señal de reloj varía entre $\pm V_{CC}$ y el condensador de retención es C_H, ¿cuál es el cambio esperable en la salida debido al efecto pedestal?

4. Demos valores numéricos al ejercicio anterior. ¿Cuál es el máximo cambio esperable si $V_{CC} = 10\ V$, $C^*_{OX} = 4{,}2\ mF/m^2$, $V_{TH} = 0{,}57\ V$, $W = 0{,}36\ \mu m$, $L = 10\ \mu m$ y $C = 100\ pF$?

5. Demuestre que los circuitos de las figuras adjuntas tienen como relación entrada-salida $V_{OUT}(n+1) = \frac{C_2}{C_1+C_2} \cdot V_{OUT}(n) + \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot V_{IN}(n)$.

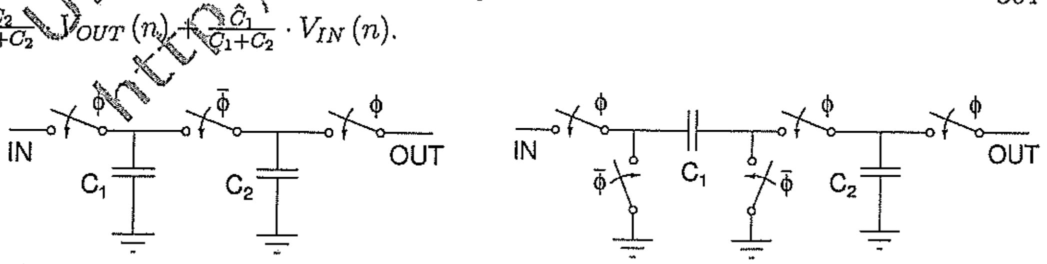


Figura 2: Circuito S/H simple.

6. Demuestre que el circuito de la figura 3 tiene una relación entrada-salida $V_{OUT}(n+1) = \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot V_{IN}(n) + \frac{C_2}{C_1+C_2} \cdot V_{OUT}(n)$. ¿Cuál es su transformada z? ¿Y qué objetivo tiene?

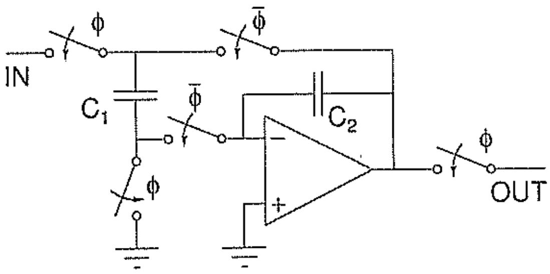


Figura 3: Un circuito misterioso (Fig. 11.19 de Carusone, Johns & Martin)

7. Ahora, determine la ecuación de diferencias asociada a los circuitos de las figuras adjuntas. ¿Cuáles son sus funciones de transferencia? ¿Y qué ocurre si cortocircuitamos IN1 e IN2 en la figura inferior?

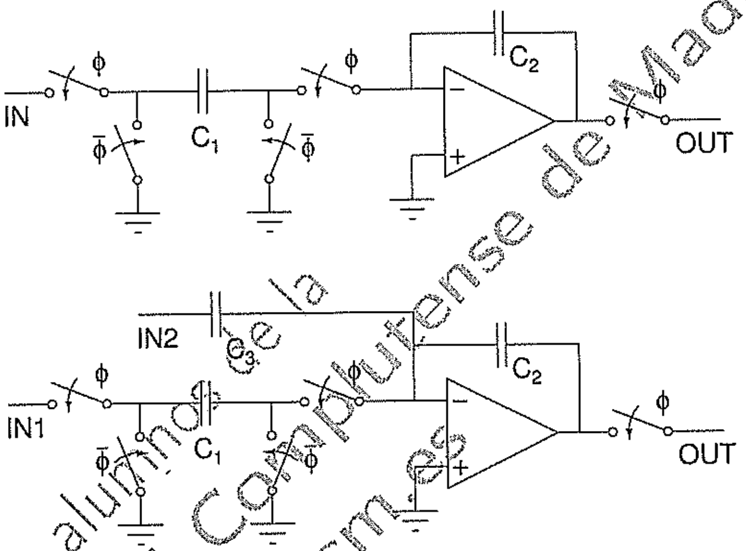


Figura 4: Más circuitos misteriosos (Fig. 14.13-14.14 de Carusone, Johns & Martin)

Soluciones

1. En el primer caso, $V_{OS} = \pm 1{,}41\ mV$. En el segundo, $V_{OS} = 0{,}5 \pm 2{,}5\ mV$.

2. No más de 9,4 ms en el primer caso. En el segundo caso, no menos de 200 pF.

3. $\Delta V_{OUT} \approx -\frac{1}{2}\frac{C_{OX}\cdot W\cdot L}{C} \cdot (V_{CC} - V_{IN} - V_{TH})$

4. El máximo cambio esperable ocurre si $V_{IN} \sim -V_{CC}$ (que nunca se puede alcanzar, por cierto) y sería $\Delta V_{OUT} \approx -1{,}47\ mV$.

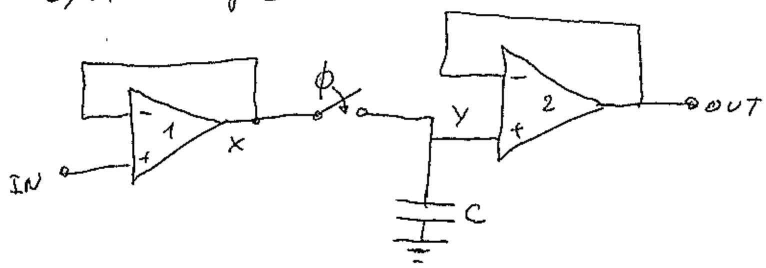
5. Lo son.

6. Es un filtro LP de transformada $\frac{V_{OUT}(z)}{V_{IN}(z)} = \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot \frac{z^{-1}}{1-\frac{C_2}{C_1+C_2}\cdot z^{-1}}$.

7. $V_{OUT}(n+1)) = V_{OUT}(n) - \frac{C_1}{C_2} \cdot V_{IN}(n)$, $V_{OUT}(n+1)) = V_{OUT}(n) - \frac{C_1}{C_2} \cdot V_{IN1}(n) - \frac{C_1}{C_3} \cdot V_{IN2}(n+1)$.
   Al cortocircuitarlos, se obtiene: $V_{OUT}(n+1)) = V_{OUT}(n) - \frac{C_1}{C_2} \cdot V_{IN}(n) - \frac{C_1}{C_3} \cdot V_{IN}(n+1)$

Tema 7: Circuitos S/H y de capacidades conmutadas:

① S/H simple



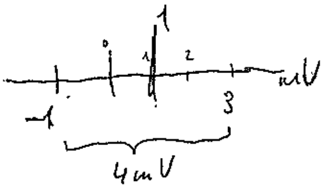
a) $V_{os} = \pm 1\,mV$

Hacemos la modulo de los dos amplificadores:

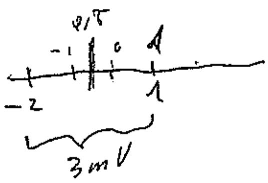
$$V_{OS} = \pm\sqrt{V_{os_1}^2 + V_{os_2}^2} = \pm\sqrt{(1mV)^2 + (1mV)^2} = \pm 1{,}41\,mV$$

b) $V_{oss_1} \Rightarrow -1mV \to 3mV \to V_{os_1} = \pm 4mV$

$V_{os2} \Rightarrow -2mV \to 1mV \to V_{os2} = \pm 3mV$



$\frac{4mV}{2} = 2mV - 3 = 1mV$

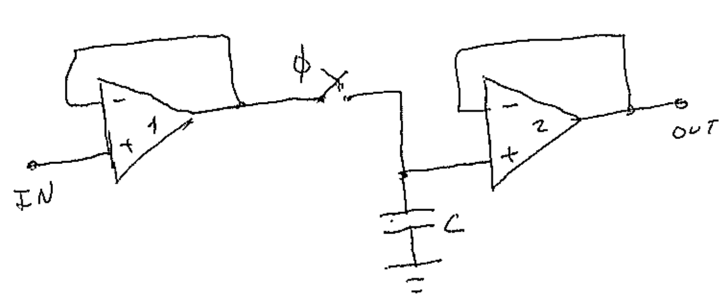


$\frac{3mV}{2} = 1{,}5\,mV - 1 = -0{,}5\,mV$

$$\frac{\pm\sqrt{4^2+3^2}}{2} = \pm 2{,}5\,mV$$

$$V_{os} = 1 - 0{,}5 \pm 2{,}5\,mV = 0{,}5 \pm 2{,}5\,mV$$

②



a) $I_p = 10\,nA$ $\quad \Delta V = 0{,}2\,mV$

$C = 470\,nF$

$$I = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{I}$$
$$C = \frac{Q}{\Delta V} \rightarrow Q = \Delta V \cdot C$$
$$t = \frac{\Delta V \cdot C}{I} = \frac{0{,}2\,mV\ 470\,nF}{10\,nA} = 9{,}4\,ms$$

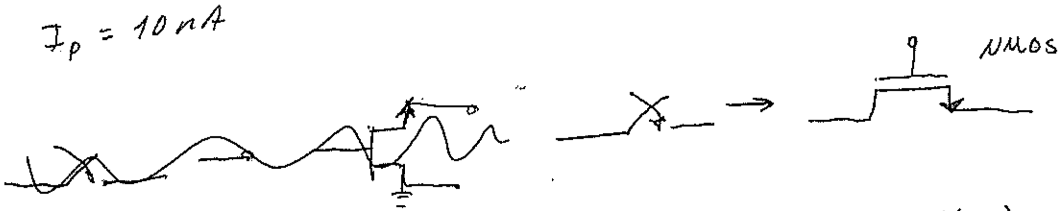
b) $\Delta V = 0{,}5\,mV$

$t = 10\,\mu s$

$I_p = 10\,nA$

$$I = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = I \cdot t$$
$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{I \cdot t}{\Delta V} = \frac{10\,nA \cdot 10\,\mu s}{0{,}5\,mV} = 200\,pF$$

③



* Efecto pedestal: $Q_{NMOS} = -\varepsilon_{ox} \cdot \dfrac{W \cdot L}{t_{ox}} \left(V_{cc} - V_{in} - V_{TH}\right)$

$$Q_{EF} = \frac{1}{2} \cdot Q_{NMOS} = -\frac{1}{2} \underbrace{\frac{\varepsilon_{ox}}{t_{ox}}}_{C_{ox}^{*}} W L \left(V_{cc} - V_{in} - V_{TH}\right)$$

$$\Delta V_{out} = \frac{Q_{EF}}{C} = -\frac{1}{2} \frac{C_{ox}^{*} \cdot W L}{C} \left(V_{cc} - V_{in} - V_{TH}\right)$$

④ $V_{cc} = 10\,V$, $C_{ox}^{*} = 4{,}2\,mF/m^2$, $V_{TH} = 0{,}57\,V$, $W = 0{,}36\,\mu m$, $L = 10\,\mu m$, $C = 100\,pF$

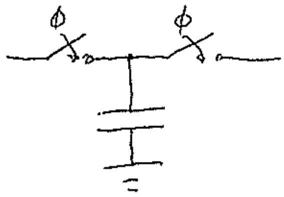
$$\Delta V_{out} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{4{,}2\,mF/m^2 \cdot 0{,}36\,\mu m \cdot 10\,\mu m}{100\,pF} \cdot \left(10 - 0{,}57 - \overset{(-10)}{V_{in}}\right) =$$

* El maximo ocurriria en $V_{in} = -V_{cc}$, que nunca se puede alcanzar

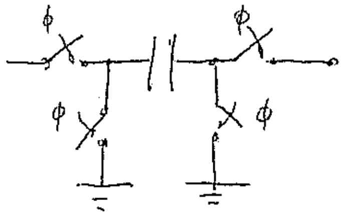
$\approx 1{,}4689\,mV$

(5) Lo son, ~~siendo demostrado~~

Ya q.e:

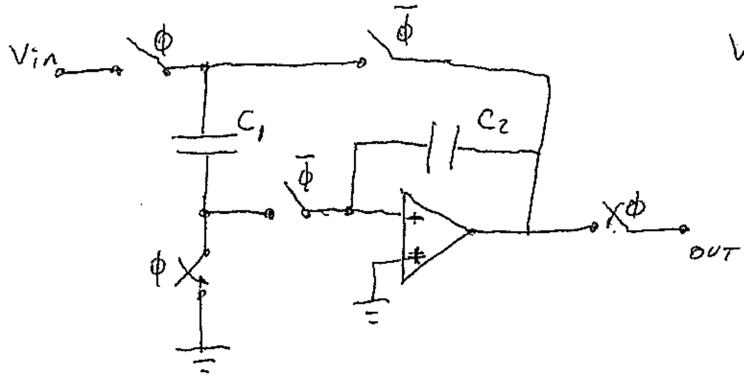


$\equiv$



en ambos casos $R_{eq} = \frac{T}{C}$

(6)



No lo demuestro, $V_{out}(n+1) = \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot V_{in}(n) + \frac{C_2}{C_1+C_2} V_{out}(n)$

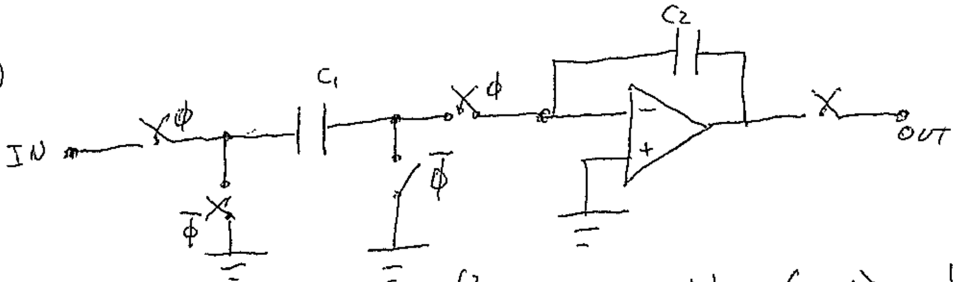
Transformada Z:

$$\frac{V_{out}(z)}{V_{in}(z)} = \frac{C_1}{C_1+C_2} \cdot \frac{z^{-1}}{1 - \frac{C_2}{C_1+C_2} z^{-1}}$$

* Es un filtro L.P.

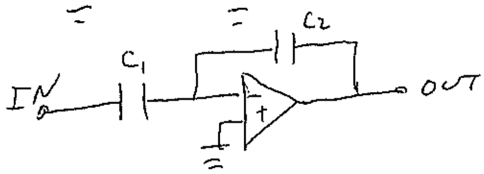
(7)

a)

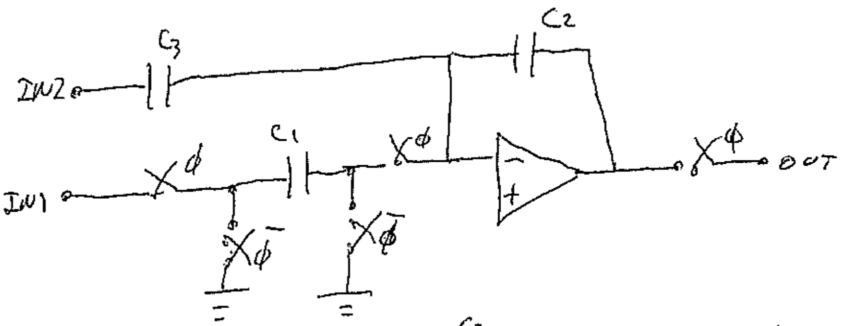


$$V_{out}(n+1) = V_{out}(n) - \frac{C_1}{C_2} V_{in}$$

$\phi = 1$

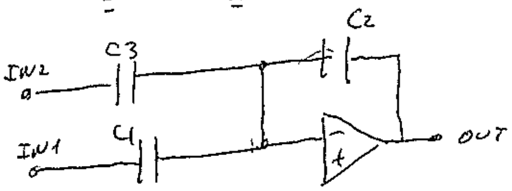


b)



$$V_{out}(n+1) = V_{out}(n) - \frac{C_1}{C_2} V_{in_1}(n) - \frac{C_1}{C_3} V_{in_2}(n+1)$$

$\phi = 1$



* Si cortocircuitamos IN 1 y IN 2:

$$V_{out}(n+1) = V_{out}(n) - \frac{C_1}{C_2} V_{in}(n) - \frac{C_1}{C_3} V_{in}(n+1)$$

TEMA 8: BOLETÍN DE EJERCICIOS

Conversores D/A y A/D

1. Es conveniente saber como calcular los datos asociados a un DAC a partir de su caracterización experimental. Se invita al alumno a descargar el fichero enlazado, bien en formato Open Document, bien en formato XLSX. En él, el alumno puede generar supuestos datos de un DAC de 3 bits de resolución tras introducir los siguientes parámetros de entrada:

   a) Tensiones de referencia que determinan el rango de tensiones de salida, $V_{REF,+}$ y $V_{REF,-}$. Normalmente, $V_{REF,-}$ es 0 V pero se introduce para dar más generalidad.

   b) Errores de offset y ganancia en LSB

   c) La fluctuación máxima permitida entre el valor real y la relación entrada-salida lineal entre los extremos del rango.

2. Vamos a estudiar el caso de una red R/2R de un modo alternativo. Supongamos que estamos estudiando la red siguiendo el procedimiento mostrado en la figura adjunta: A partir de una resistencia de valor $a_n \cdot R$, creamos otra de valor $a_{n+1} \cdot R$ agregando una resistencia de valor R y otra de valor $2 \cdot R$.

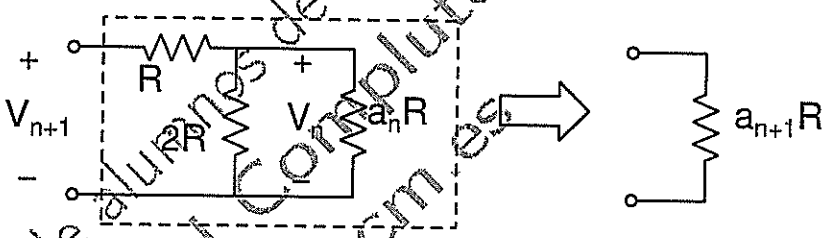


Figura 1: La red R/2R como una red de impedancias.

   a) Determine la relación que existen entre la resistencia $a_{n+1} \cdot R$ y la inmediatamente anterior, $a_n \cdot R$.

   b) Determine qué le ocurre a la impedancia de la red si el primer término, $a_0 \cdot R$, es $2 \cdot R$.

   c) Determine la relación que existe entre V_{n+1} y V_n.

   d) Particularicé al caso en que a_0 es $2 \cdot R$.

3. Un conversor D/A de tipo R/2R de 8 bits de resolución se completa con un amplificador operacional con slew rate de valor $3\ V/\mu s$. Determine el margen mínimo que hay que dar al conversor para que se complete la transición entre dos valores de salida sabiendo que la referencia es de $5\ V$.

4. Se han caracterizado 4 conversores A/D con una resolución de 12 bits y con una referencia de tensión unipolar de 3,3 V. Los datos experimentales se encuentran en una hoja de cálculo, bien en formato Open Document, bien en formato XLSX. A partir de un ajuste de mínimos cuadrados, determine los errores de *offset* y de ganancia. Asimismo, determine el error absoluto del ADC.

5. Se han estudiado las características de tres muestras de un ADC tipo SAR de 12 bits de resolución mediante el test de la rampa y mediante el de la sinusoide. En ambos casos, se introducía una onda, bien triangular, bien sinusoidal, entre -0,1 y 5,1 V de batido. Se tomaron al azar 10^6 muestras y se anotaron el número de veces que aparecía cada uno de los 4096 posibles valores (Hoja en formato ODS o en formato XLSX). Estudie estos datos, y determine cuáles son las características de cada muestra.
Nota: Grosso modo, podemos considerar que el número de apareciones N está dentro del margen estadístico si está dentro del intervalo $N_{PREV} \pm 2\sqrt{N_{PREV}}$, siendo N_{PREV} el número de veces que debe aparecer teóricamente.

6. Un conversor A/D de 16 bits trabaja entre 0 y 5 V se encuentra trabajando a una frecuencia de muestreo de 100 kHz. Determine la forma de la potencia espectral del ruido.

7. Una de las grandes ventajas de los conversores A/D tipo doble rampa es su gran inmunidad al ruido de la entrada. ¿Por qué? Asimismo, también permiten rechazar interferencias cuya frecuencia principal es conocida. ¿Cómo se haría?

8. Deseamos conocer la resolución mínima de un ADC apropiado para los casos siguientes:

   a) Hay que medir una tensión entre 0 y 5 V con una incertidumbre menor de 1 mV.

   b) Una tensión entre 1 y 3 V con una incertidumbre menor de 50 μV.

   c) Una tensión entre 0 y 3,3 V con una incertidumbre menor del 0,05 %.

9. Es muy común usar Arduinos para instrumentación electrónica. Sabiendo que tienen integrados ADCs de 10 bits de resolución, ¿cuál es la precisión máxima que vamos a conseguir en la medida? Expresar el resultado en tantos por ciento.

Soluciones

1. Las soluciones deberían en uno de los recuadros de la hoja de cálculo.

2. $a_{n+1} \cdot R = R\frac{3 \cdot a_n + 2}{a_n + 2}$. Si $a_0 = 2$, todos los coeficientes son iguales a 2 y la impedancia es constante sea cual sea el número de etapas que se añadan. $V_{n+1} = \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{a_n}\right) \cdot V_n$. Particularizando a $a_0 = 2$, $a_n = 2 \rightarrow V_{n+1} = 2 \cdot V_n$.

3. El peor escenario aparece cuando hay que pasar de 0x00 a 0xFF. El tiempo requerido es $T = \frac{(2^8-1)}{3} \cdot \frac{5}{2^8} = 1660\, ns$.

4. La solución se encuentra en la segunda parte de la hoja de cálculo.

5. En teoría, los datos de la rampa, excluidos los extremos, debían ser más o menos iguales al ser la probabilidad de cada valor idéntica. En el de la función seno, la probabilidad es proporcional a $[2048^2 - (N - 2048)^2]^{-1/2}$.
   En el primer conversor, se aprecia que algunos valores no aparecen: Hay códigos perdidos. En el segundo, no hay códigos perdidos pero las desviaciones son muy grandes. Debe ser muy no lineal. En el último, el ajuste es prácticamente perfecto ya que está dentro del margen estadístico.

6. $V_{LSB} = {}^5/_{2^{16}} = 76,3\ \mu V$, $P_{TOT} = {}^{V_{LSB}^2}/_{12} = 4,85 \cdot 10^{-10}\ V^2$, $P(f) = 4,85 \cdot 10^{-15}\ {}^{V^2}/_{Hz}$ si $f \in [-50\ kHz,\ 50\ kHz]$, 0 en caso contrario. $P(f) = 4,85 \cdot 10^{-10} / 100 \cdot 10^3 = 4,85 \cdot 10^{-15}\ V^2/Hz$

7. Al integrar, el ruido desaparece. Por otra parte, en caso de que el tiempo de carga de la primera fase coincida con el periodo de la interferencia, el efecto de ésta desaparece al ser integrada.

8. a) $N_{MIN} = 13$, $N_{ACONS} = 15$, b) $N_{MIN} = 16$, $N_{ACONS} = 18$, c) $N_{MIN} = 11$, $N_{ACONS} = 13$

9. No es recomendable utilizarlo para medir con mayor precisión que 8 bits. Por tanto, en la práctica la incertidumbre mínima es $2^{-8} \cdot 100 = 0,4\,\%$.

Tema 8: Conversores D/A y A/D

$OUT(LSB) = \frac{OUT(V) - V_{REF}}{V_{LSB}}$

1. Datos de entrada

$+V_{REF} = 5V$ $\quad V_{LSB} = \frac{V_{REF} - V_{REF-}}{2^N}$

$-V_{REF} = 0V$

Error offset $= 0,34$ LSB

Error ganancia $= 0,33$ LSB

Fluctuación máx $= 0,2$ LSB

DAC → 3 bits

$N = 3$

Datos experimentales

Entrada	OUT (V)	OUT (LSB)
0	0,213	0,34
1	0,785	1,256
2	1,460	2,336
3	2,296	3,673
4	2,825	4,52
5	3,455	5,528
6	4,069	6,511
7	4,794	7,670

a) Error de offset: $E_{OS} = \frac{V_{00...0}}{V_{REF}} \cdot 2^N = \frac{0,213}{5} 2^3 = 0,3408$ LSB

Error de ganancia: $E_{GN} = \frac{V_{11...1} - V_{00...0}}{V_{LSB}} - (2^N - 1) =$

$= \frac{V_{111} - V_{000}}{V_{REF}} \cdot 2^N - (2^N - 1) = 0,330$ LSB

b) Fluctuación maxima

$DNL_{MAX}(3) = 0,290$

$DNL_{MAX} = |V_{CORR}(K+1) - V_{CORR}(K) - 1|$ = Hacemos los calculos y cogemos el maximo de la tabla

$V_{CORR}(K) = V_{out}(K) - E_{OS} - E_{GN} \cdot \frac{K}{2^N - 1} \Rightarrow V_{CORR}(1) = 1,256 - 0,3408 - 0,33 \frac{1}{8-1}$

$= 0,869$

* Hacemos la tabla entera.

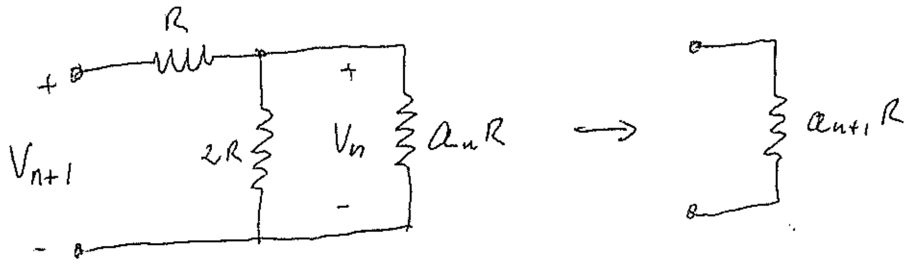
$INL(K) = |V_{CORR}(K) - K| \Rightarrow INL(1) = 0,131$ → cogemos la maxima

$INL(MAX(3)) = 0,192$

$N_{EFF} = N - \log_2(DNL_{MAX}) = 3 - \frac{\log 0,290}{\log 2} = 4,78$

$N_{REL} = N - \log_2(INL_{MAX}) = 3 - \frac{\log 0,192}{\log 2} = 5,38$

(2)



$$a_{n+1} \cdot R = R \cdot \frac{3a_n + 2}{a_n + 2}$$

(3) CDA → R/2R de 8 bits

* Amp. slew rate: amplificador con mayor ~~tasa~~ rango máximo de cambio de la tensión de salida por lo que limita la velocidad de funcionamiento

3 V/μs

* El peor caso aparece cuando hay que pasar de 0x00 a 0xFF

$$T = \frac{2^N - 1}{V} \cdot \frac{V_{REF}}{2^N} = \frac{2^8 - 1}{3\ V/\mu s} \cdot \frac{5V}{2^8} = 1,66\ \mu seg$$

(4) 4 CA/D → Resolución 12 bits $V_{REF} = 3,3\ V$

$$V_{LSB} = \frac{V_{REF}}{2^N} = \frac{3,3}{2^{12}} = 0,805\ mV$$

(5) ~~3~~ - CAD tipo SAR → Resolución = 12 bits

La probabilidad : $\left(2048^2 - (N-2048)^2\right)^{-1/2}$

1- CAD : se aprecia que algunos valores no aparecen, hay códigos perdidos

2- CAD: no hay códigos perdidos, pero las desviaciones son muy grandes

3-CAD: El ajuste es pract. perf. ya que está dentro del margen estad.

(6) CAD → N = 16 bits 0 y 5V $f_r = 100\,KHz$

$$V_{LSB} = \frac{5}{2^{16}} = 76,293\,\mu V$$

$$Pot = \frac{V_{LSB}^2}{12} = \frac{76,293\mu^2}{12} = 4,85\cdot 10^{-10}\,V^2$$

$$P(f) = \frac{PoT}{f_r} = \frac{4,85\cdot 10^{-10}}{100K} = 4,85\cdot 10^{-15}\,V^2/Hz$$

$P(f) = 4,85\cdot 10^{-15}\,V^2/Hz$ si $f \in [-50KHz, 50KHz]$, 0 en c.c.

(7) A/D doble rampa → gran inmunidad al ruido en la entrada.

a) Porque al integrar, el ruido desaparece

b) Tb rechaza interferencias. En el caso de que el tiempo de carga de la primera fase coincida con el periodo de interferencia, el efecto de esta desaparece al ser integrada.

(8) a) $V_- = 0V$ $V_{LSB} = 1mV$
$V_+ = 5V$

$$\longrightarrow N = \frac{\lg\left(\frac{V+}{V_{LSB}}\right)}{\lg 2} = 12,28 \simeq 13$$

$N_{min} = 13$ bits $N_{ACONS} = 13 + 2 = 15$ bits

b) $V_- = 1V$ $V_{LSB} = 50\mu V$
$V_+ = 3V$

$$\longrightarrow N = \frac{\lg \frac{V+}{V_{LSB}}}{\lg 2} = 15,87 \simeq 16$$

$N_{min} = 16$ bits $N_{ACONS} = 16+2 = 18$ bits

c) $V_- = 0$
$V_+ = 3,3V$
$INCERT = 0,05\%$

$$V_{LSB} = \frac{3,3\cdot 0,05}{100} = 0,00165$$

$$N = \frac{\lg \frac{V+}{V_{LSB}}}{\lg 2} = 10,96 \simeq 11$$

$N_{min} = 11$ $N_{ACONS} = 13$ bits

(9) ADCs → 10 bits

* No es muy recomendable utilizarlos para medir con mayor precisión de 8 bits.

Incertidumbre $= 2^{-8} \cdot 100 = 0,39\ \%$