

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 k Ω a 35 $^{\circ}$ C.
 - (b) de 10 k Ω a -200 $^{\circ}$ C
 - (c) de 100 M Ω a 500 $^{\circ}$ C
 - (d) de 1 M Ω 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.

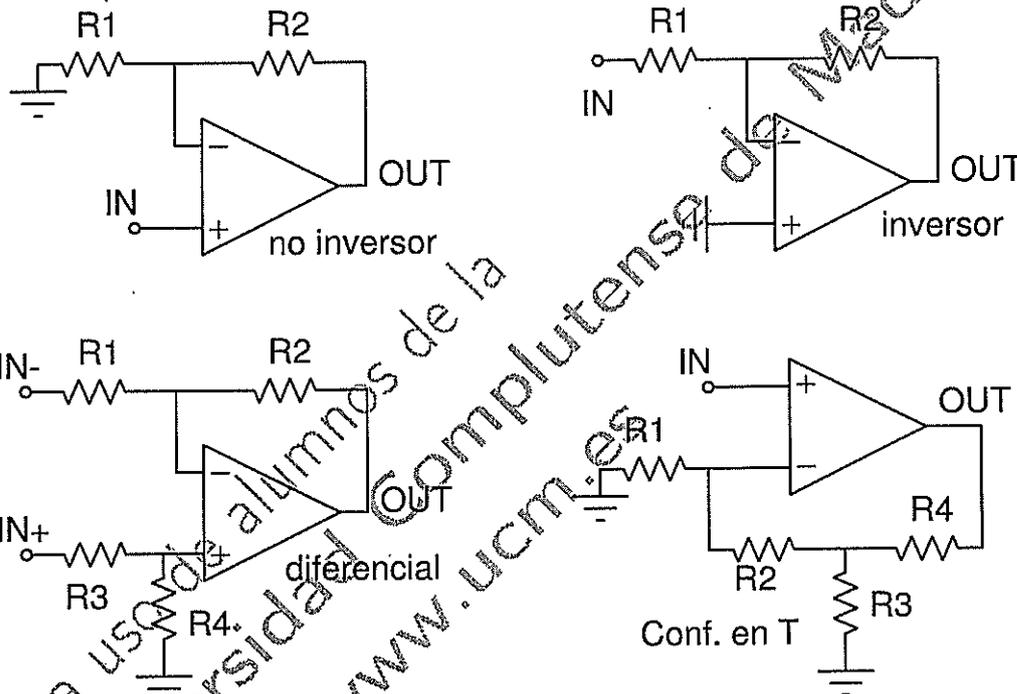
En todos los casos, determine la ratio entre el valor eficaz del ruido y el de la corriente continua.

3. A través de un diodo a 65 $^{\circ}$ C circula una corriente de 500 μ A. 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 M Ω 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 Ω y $R_2 = 100$ k Ω , 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 1 μ V. Dicho sensor tiene un valor típico de 100 k Ω y trabaja a una temperatura de 55 $^{\circ}$ C.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

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 fuente, 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 $v_{eff,n,S}^* = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{R_O C}}$.
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=0B17O83ggPsojVm1Gd3k1eFTWnM>
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 amplificadores en función de la tolerancia 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%?

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Soluciones

1. a) $1.30 \mu V$, b) $0.63 \mu V$, c) $206.5 \mu V$, d) $14.9 \mu V$
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 $1 M\Omega$. El ruido de disparo domina sobre el térmico.
5. En ambas configuraciones el nivel de ruido es similar con $v_{out,n}^2 = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)^2 v_{p,R1}^2 + v_{n,R2}^2$ 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) $(\Delta G)^2 = \frac{R^2}{R_1^2} \cdot \left[\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 \right]$. 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 $\left(\frac{\Delta f_{OSC}}{f_{OSC}}\right)^2 = \left(\frac{\Delta R_S}{2R_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_P}{2R_P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_S}{2C_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_P}{2C_P}\right)^2$.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, teal-colored font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background that points to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Tema 1: Ejercicios

① $\Delta f = 10 \text{ kHz}$ $V_{n, \text{eff}} = \int_{\text{BW}} \sqrt{dV_n^2} = \int_{\text{BW}} \sqrt{4k_B R \cdot T \cdot \Delta f}$

a) $R = 10 \text{ k}\Omega$ $T = 35^\circ\text{C} = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ K}$

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

b) $R = 10 \text{ k}\Omega$ $T = -200^\circ\text{C} = 73,15 \text{ K}$

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

c) $R = 100 \text{ M}\Omega$ $T = 500^\circ\text{C} + 273 = 773,15$

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

d) $R = 1 \text{ M}\Omega$ $T = 400 \text{ K}$

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

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

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

$$i_{n, \text{eff}} = \sqrt{\int_{\text{BW}} di_n^2} = \sqrt{\int_{\text{BW}} 2q \cdot I \cdot \Delta f}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

a) 1 mA $\text{BW} = 10 \text{ kHz}$

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

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\frac{i_{n, \text{eff}}}{I} = \frac{1,78 \text{ nA}}{1 \text{ mA}} = 1,78 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0,178 \%$$

c) $1 \mu A \quad f_r < 20 \text{ KHz}$

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

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

③ $T_{\text{Diodo}} = 65^\circ\text{C} \quad I_D = 500 \mu\text{A}$

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

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

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

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

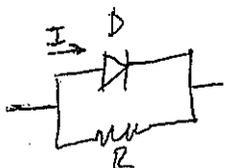
$$i_{nsh} = \sqrt{2 \cdot q \cdot I \cdot \Delta f} = \sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 500 \mu \cdot 100 \text{K}} = 4 \text{ nA}$$

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

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

$$V_{\text{TOT}} = V_{nR} + V_{nsh} = \sqrt{0,432^2 \mu\text{V} + 0,4^2 \mu\text{V}} = 0,588 \mu\text{V}$$

④



$T = 25^\circ\text{C} \quad I = 1 \text{mA} \quad R = 1 \text{M}\Omega$

$\Delta f = 2,5 \text{KHz} - 0 \text{Hz} = 2,5 \text{KHz}$

Ruido termico de la R:

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

Ruido en el semiconductor:

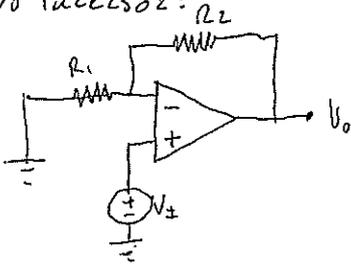
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

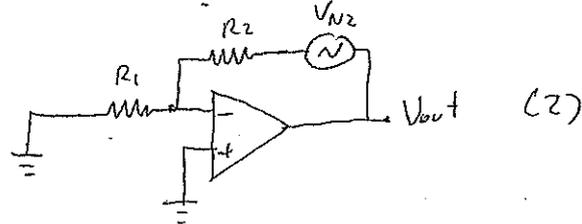
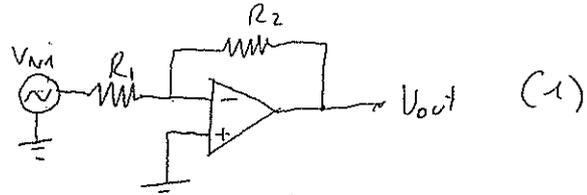
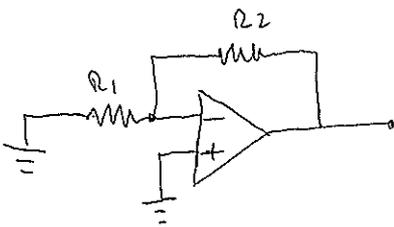
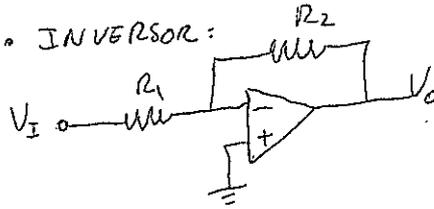
Cartagena99

5) $R_1 = 10k\Omega$ $R_2 = 100k\Omega$

• No inductor: R_2



• INVERSOR: R_2



* En el primer caso V_{NI} :

$$V_{out1} = -\frac{R_2}{R_1} V_{NI}$$

* En el segundo caso V_{NI} :

$$V_{out2} = V_{NI}$$

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

* Tenemos V_{out} estadísticamente le elevamos al cuadrado:

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

$$V_{NR1} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10k \cdot 298,15 \cdot BW} = 12 \cdot 10^{-9} \sqrt{BW} \text{ V}$$

$$V_{NR2} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100k \cdot 298,15 \cdot BW} = 40 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{BW} \text{ V}$$

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

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

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

1. 12

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\textcircled{7} \text{ Ruido rosa: } \Delta U_n^2 = K \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta f$$

a) Tensión eficaz del ruido rosa $f > 1 \text{ kHz}$

$$V_{\text{neffpink}} = \sqrt{\int_{BW} K \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta f} = \sqrt{\frac{K \cdot f^{1-\alpha}}{\alpha-1}} = \sqrt{\frac{K \cdot 1000^{1-\alpha}}{\alpha-1}} \quad \text{siendo } \alpha > 1$$

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

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

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

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

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

$$V_{\text{neffT}} = \sqrt{V_{\text{neffP}}^2 + V_{\text{neffTH}}^2} = 7,696 \mu\text{V}$$

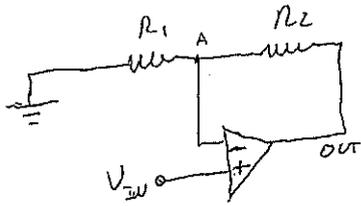
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

10

NO INVERSION:



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

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

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

$$S_{R_1} = \frac{\partial G}{\partial R_1} = -\frac{R_2}{R_1^2}$$

$$S_{R_2} = \frac{\partial G}{\partial R_2} = \frac{1}{R_1}$$

$$\Delta R_1 = R_1 \cdot \alpha$$

$$\Delta R_2 = R_2 \cdot \alpha$$

$$\Delta G = \sqrt{\frac{R_2^2}{R_1^4} \cdot \Delta R_1^2 + \frac{1}{R_1^2} \Delta R_2^2} =$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

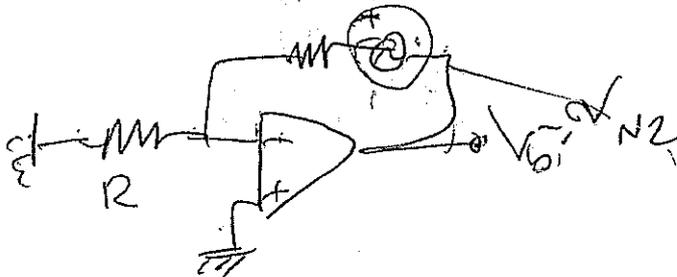
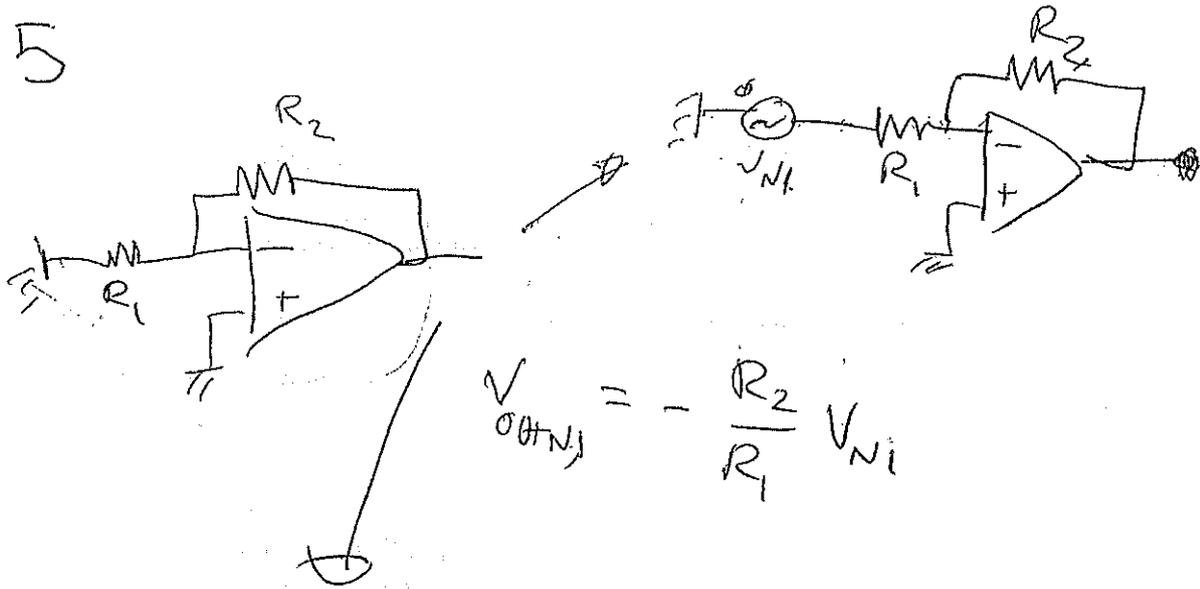
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized 'C' or a wave. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

5



~~10~~ Difer

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

$$\Delta G_d = \sqrt{S_{R_1}^2 \cdot \Delta R_1^2 + S_{R_2}^2 \cdot \Delta R_2^2 + \dots}$$

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

$$\Delta R_1 = R_1 \cdot \text{TOL}$$

$$S_{R_3} = \dots$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

PACKAGE utilidad IS

7.2.1. Paquete utilidad

```

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

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

WHEN "1010" =>
  -- JNN
  IF nz(!) = '0' THEN
    pc := "0000" & it(7 DOWNT0 0);
    -- pc <-- <it>
  END IF;
  WHEN OTHERS =>
    stop := '1';
  -- STOP
END CASE;

```

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



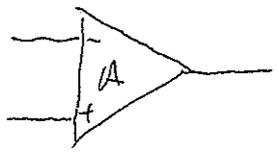
5

Amplificador Ideal $\rightarrow A = \infty$

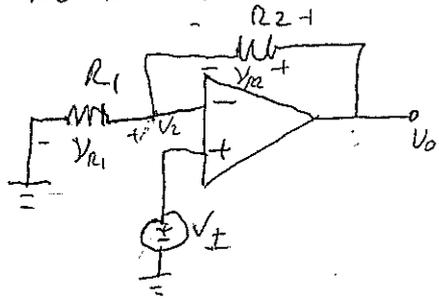
$T = 25^{\circ}C + 273,15 = 298,15 K$

$R_1 = 10 K\Omega$

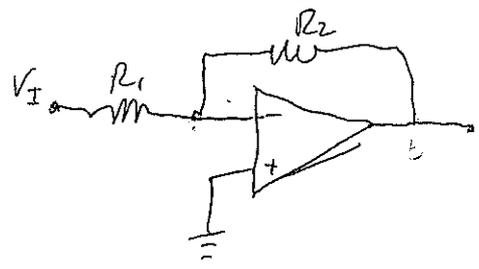
$R_2 = 100 K\Omega$



No inversor



INVERSOR



$V_{nR1} = \sqrt{4 \cdot K_B \cdot R \cdot T \cdot BW} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10 K \cdot 298,15 \cdot BW} = 12 \sqrt{BW} \text{ nV}$

$V_{nR2} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100 K \cdot 298,15 \cdot BW} = 40,5 \sqrt{BW} \text{ nV}$

$V_{n_{tot}}^2 = V_{nR1}^2 + V_{nR2}^2 \rightarrow V_{n_{tot}} = \sqrt{V_{nR1}^2 + V_{nR2}^2} = \sqrt{12 \cdot 10^{-9} \cdot BW + 40,5 \cdot 10^{-9} \cdot BW} = 0,042 \sqrt{BW} \mu V$

o

$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{nR1} + V_{nR2}$

no

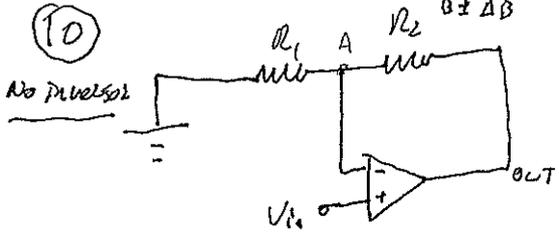


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

* COMO SON TOLERANCIAS:

$$\frac{\Delta A}{A} \pm \frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta}{B} \left(1 \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2} \right)$$



$$\frac{V_A - 0}{R_1} = \frac{V_{out} - V_A}{R_2}$$

$$V_{in} = V_A$$

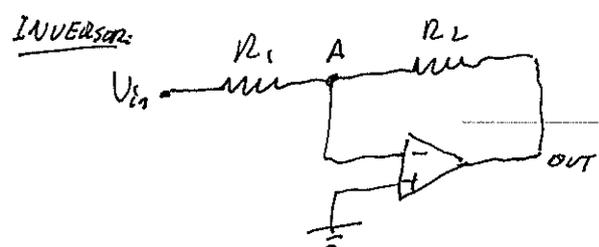
$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_2} \rightarrow$$

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

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

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

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



$$\frac{V_A - V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_A}{R_2}$$

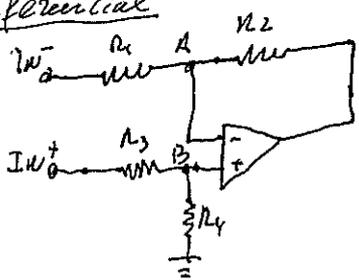
$$V_A = 0$$

$$-\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out}}{R_2} \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

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

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

Diferencial



$$V_A = V_B$$

$$\frac{V_B - V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_B}{R_2}$$

$$\frac{V_B - V_{in}}{R_3} = \frac{0 - V_B}{R_4}$$

$$R_2 V_B - R_2 V_{in} = R_1 V_{out} - R_1 V_B$$

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

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

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

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

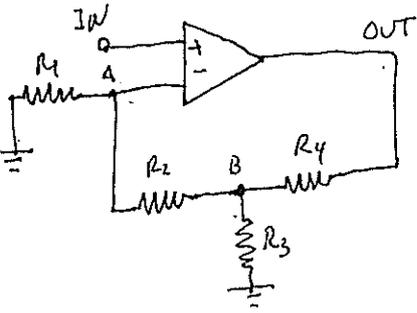
$$\frac{R_4 \cdot R_2}{R_4 + R_3} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + (\Delta R_4)^2 + (\Delta R_3)^2}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Configuración T:



$$V_{in} = V_A$$

$$\frac{V_A - 0}{R_1} = \frac{V_B - V_A}{R_2}$$

$$\frac{0 + V_B}{R_3} = \frac{V_{out} - V_B}{R_4}$$

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

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

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

9

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

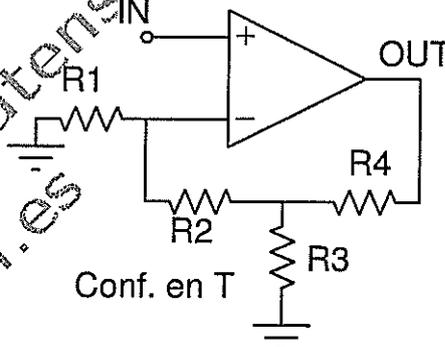
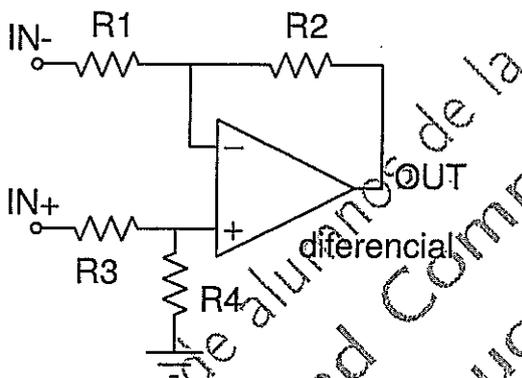
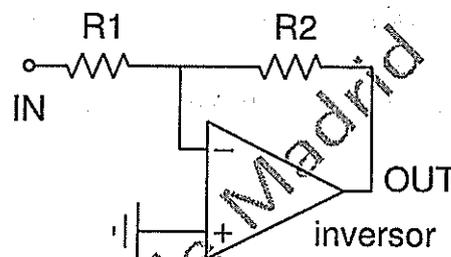
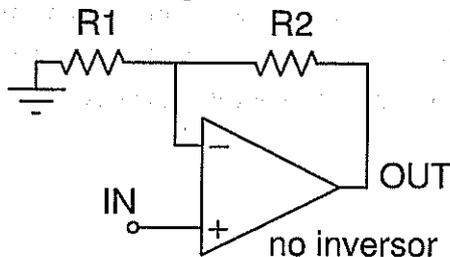
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

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 y similar 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.



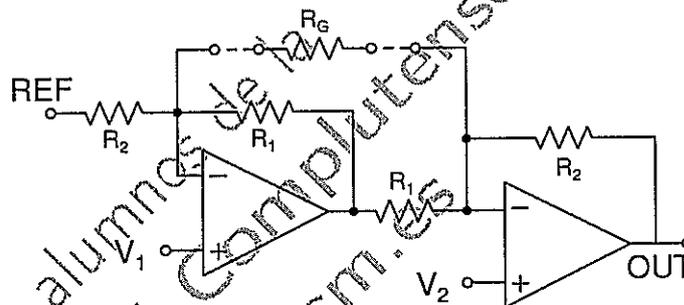
2. Un amplificador operacional tiene una tensión de *offset* de la entrada igual a 1 mV cuando se alimenta entre 0V y 10V. Determine su tensión de *offset* con una alimentación única de 15V sabiendo que su $PSRR$ es positiva y de 85 dB.
3. Un amplificador diferencial se construye con resistencias de 20 k Ω . 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 las entradas a tierra.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

- 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.
- El mismo amplificador del ejercicio anterior tiene una tensión de *offset* de la entrada de $100 \mu V$ y en la salida de $250 \mu V$. 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?
- 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?



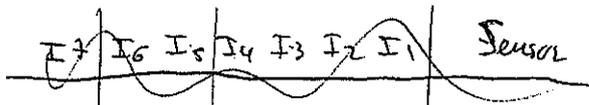
- Un sensor resistivo de $1 k\Omega$ que trabaja a temperatura ambiente se excita con una fuente de corriente conocida y se amplifica con un amplificador de instrumentación de ganancia 10. La salida de este amplificador se envía a un convertor A/D en el que se exige que el nivel r.m.s de ruido no sea superior a $5 \mu V$. ¿Se cumple el requerimiento? Si no fuera así, ¿cómo lo solucionaría?. Suponga que el ruido térmico de la resistencia no va más allá de $1 MHz$.
- Al alimentar una referencia de tensión con $10 V$, sin carga en la salida y a $27^\circ C$ se obtiene una tensión nominal de $5,00 V$. Sabiendo que el coeficiente de regulación de línea es de $-86 dB$, el de $-0,01 V/V$ a $100 \mu V/K$, determine la salida con a) alimentación de $15 V$, b) con

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

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 $\pm 15\text{ V}$.
- (a) Si $R_1 = 4.7\text{ k}\Omega$, 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_1 necesario 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 entrada es infinita. Construya el sistema utilizando a) switches analógicos SPST b) switches analógicos SPDT.



Para uso de alumnos de la
 Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es>

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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)	$(1 + K) \cdot V_{IN}$	$(1 + K) \cdot V_{OS}$	$R_2 - R_1 - \frac{R_1 R_2}{R_3} \cdot I_B$	$\frac{GBW}{1+K}$	$\frac{R_4}{R_3} + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_3 R_1}$	

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 k Ω , d) Dejarla en abierto. $S_{G,RC} = \frac{49000}{R_G^2}$, $\Delta G = |S_{G,RC}| \cdot \Delta R_G = \frac{49000}{R_G^2} \cdot R_G \cdot TOL = \frac{49000}{R_G} \cdot TOL = (G - 1) \cdot TOL$, 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. $G_D = 11,638$; $G_C = G_D/10^4$; $V_{OUT,D} = 117,54$ 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 μ V, 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 = $-106 \frac{\mu V}{K}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Tema 2: Ejercicios

①

a) Inversor =

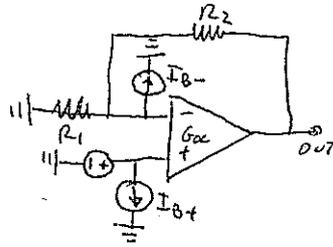
Ent.-Salid: $V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in} = (1 + K) V_{in}$

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

I_B : $V_{out} = R_2 I_B$

polo: $\frac{GBW}{1+K}$

$K = \frac{R_2}{R_1}$



$$V_{out} = \underbrace{\frac{K \cdot V_{in}}{1 + K \cdot G_{OL}}}_{\text{Cambio ganancia}} + \underbrace{\frac{K V_{os} + R_2 I_B}{1 + K \cdot G_{OL}}}_{\text{Señales no útiles}}$$

b) Inversor

Ent.-Sal: $-K \cdot V_{in}$

$K = \frac{R_2}{R_1}$

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

$V_{os} = 1 \text{ mV}$

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

$V = 15V$ PSRR = 85dB

¿Wii iden sin formula?

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

③ Usamos V_{os} del amplifi. diferencial:

$$V_{os} = 2 \cdot V_{osint}$$

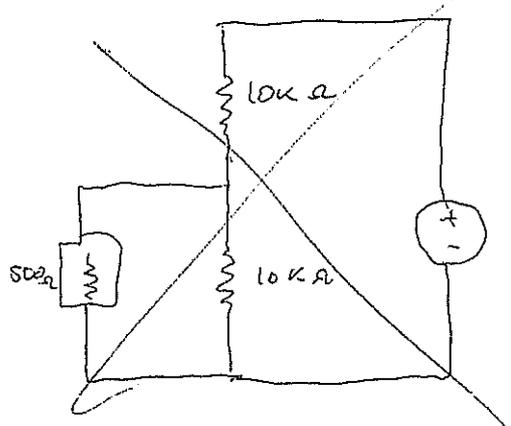
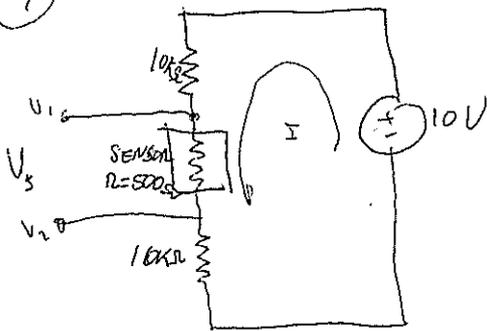
$$R = 20k\Omega$$

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

$$I_D = 10\mu A$$

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

④

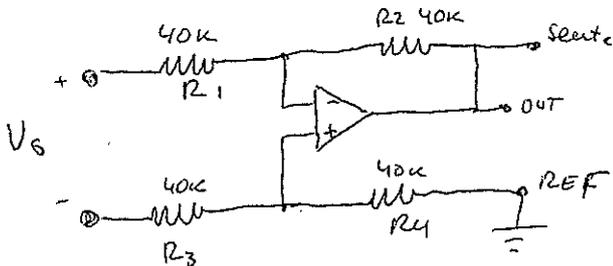


$$-10V + 10k \cdot I + V_S + 10k \cdot I = 0$$

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

$$V_S = 10V - 20k \cdot I = 243,9mV$$

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



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

$$V_{out} = (V_2 - V_1) + V_{REF} = 243,9mV + 0 = 243,9mV$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5) Amp. Instrumental

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

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

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

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

Tolerancia:

$$\Delta R_G = \frac{49k}{R_G^2} \cdot R_G \cdot TOL = \frac{49k}{R_G} \cdot TOL = (G-1) TOL$$

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

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) $G = 1$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

6) Amp. int.
 $G = 1 + \frac{50K}{R_G}$

$CMRR = 80 \text{ dB}$

$R_G = 4,7K\Omega$

$V_A \rightarrow$ no inversor V_+

$V_B \rightarrow$ inversor V_-

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

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

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

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

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

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

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

$U_{out_d} = G_d (U_+ - U_-) = 116,38 \text{ mV}$
 $U_{out_{cm}} = G_{CM} \cdot V_A = 1,1638 \text{ mV}$

$V_{out} = 117,5438 \text{ mV}$

¿Será así U_{cm} ?

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



7) Amp. introum.

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

$$R_G = 4,7K$$

$$G_D = 11,638$$

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

$$V_{os_s} = 100 \mu V$$

$$V_{os_o} = 250 \mu V$$

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

$$b) V_{MAX} \quad V_{A+} = 0 V$$

$$V_B = 0,01 V$$

$$V_{out_A} = G_D \left(\begin{array}{c} U_A - U_B \\ \uparrow \quad \downarrow \\ 0 \quad 0,01 \end{array} \right) + 1,414 mV = 1165,24 mV$$

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

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

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

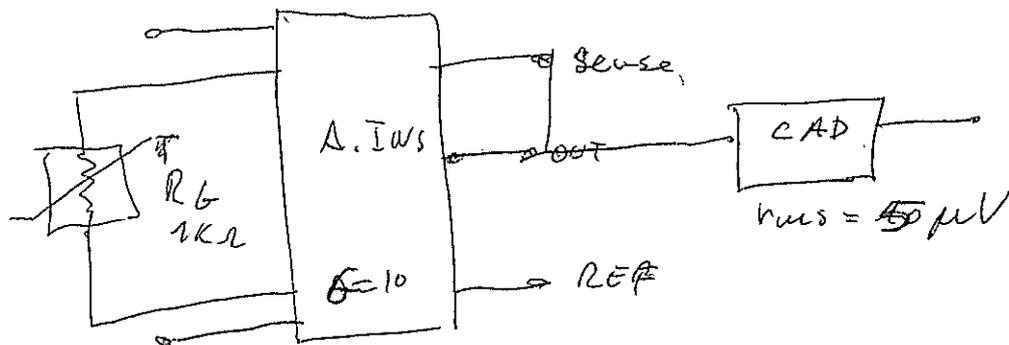
$$\frac{G_D V_M}{V_M} = 100 mV$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

9



$f_{osc} = 100 \text{ kHz}$
 $\omega + R_C = 1 \text{ MHz}$

10

Referencias de tension: D31

$V_{DD} = 10 \text{ V} \rightarrow T = 27^\circ \text{ C}$

$V_{NOMINAL} = 5 \text{ V}$
 $\Delta_{in} R = -86 \text{ dB} \rightarrow$

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

$TC = 20 \mu\text{V/K}$

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

$\Delta_{in} R = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta V_{cc}} \Rightarrow \Delta U_{out} = \Delta V_{cc} \cdot \Delta_{in} R = (15-10) \cdot 10^{-86/20} = 0,25 \mu\text{V}$

b) Con una resistencia de carga 1kΩ: $I = V/R$

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

$\Delta I_{out} = \frac{V}{R} - \frac{V}{R=1k\Omega} = -5 \text{ mA}$

c) + - error (bias = 2.28 μV)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$\Delta U_{out_T} = \Delta U_{out_a} + \Delta U_{out_b} + \Delta U_{out_c} = 0,25 \mu\text{V} + 5 \mu\text{V} + 0,56 \mu\text{V} = 4,19 \mu\text{V}$



11

$$\left. \begin{matrix} V_{DD} = 10V \\ T = 10^\circ C \Rightarrow 283K \end{matrix} \right\} \text{Principal} \rightarrow V_{out} = 2,048V$$

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

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

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

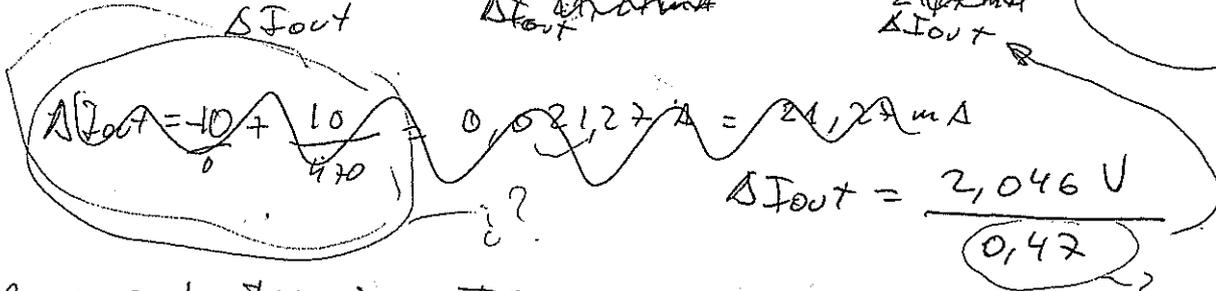
Coef. de Reg. de Línea:

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

~~(-74 dB a 64 dB)~~

Reg. carga:

$$LOR = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{out}} = \frac{-2,048V + 2,046V}{\Delta I_{out}} = \frac{-2 \mu V}{21,2 \mu A} = -0,094 \frac{\mu V}{\mu A}$$



Coeficiente termico TC:

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

(-283 + 358)

Cartagena99

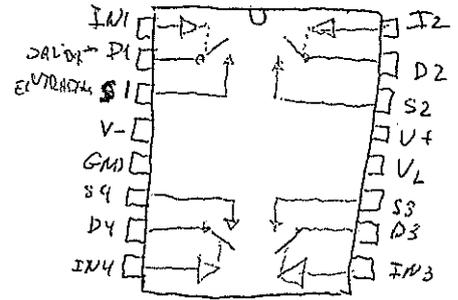
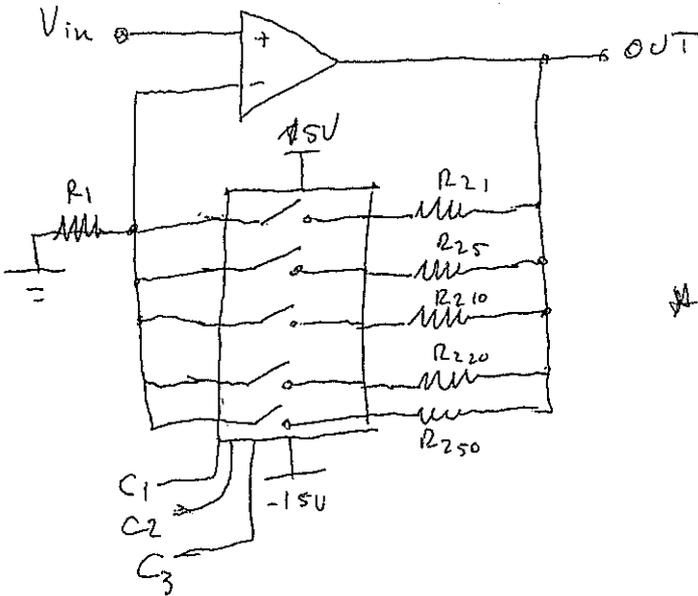
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

12 a) DG202 →

LOGIC	SWITCH
0	OFF
1	ON

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



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



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

~~Por lo tanto~~ $G = \frac{R_2}{R_1} + 1 \Rightarrow R_2 = (G - 1) R_1$

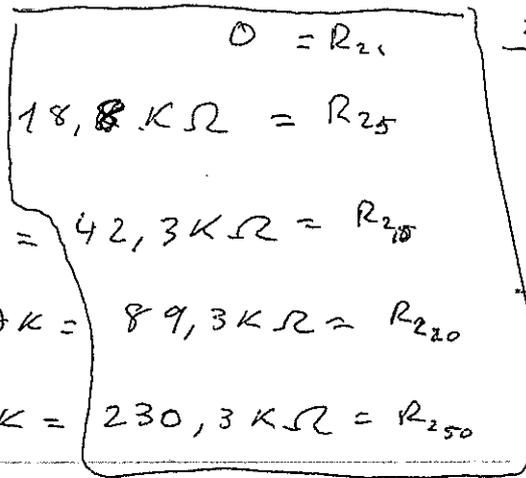
* $G = 1 \rightarrow R_2 = 0$

* $G = 5 \rightarrow R_2 = (5 - 1) 4,7 K = 18,8 K\Omega = R_{25}$

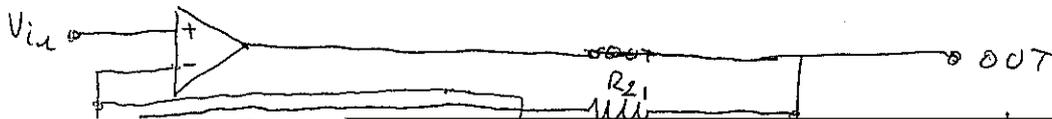
* $G = 10 \rightarrow R_2 = (10 - 1) 4,7 K = 42,3 K\Omega = R_{210}$

* $G = 20 \rightarrow R_2 = (20 - 1) 4,7 K = 89,3 K\Omega = R_{220}$

* $G = 50 \rightarrow R_2 = (50 - 1) 4,7 K = 230,3 K\Omega = R_{250}$



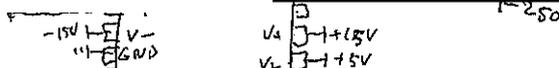
IN1	IN2	IN3	IN4	IN5	G
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	.5
0	0	1	0	0	10
0	0	0	1	0	20
0	0	0	0	1	50



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

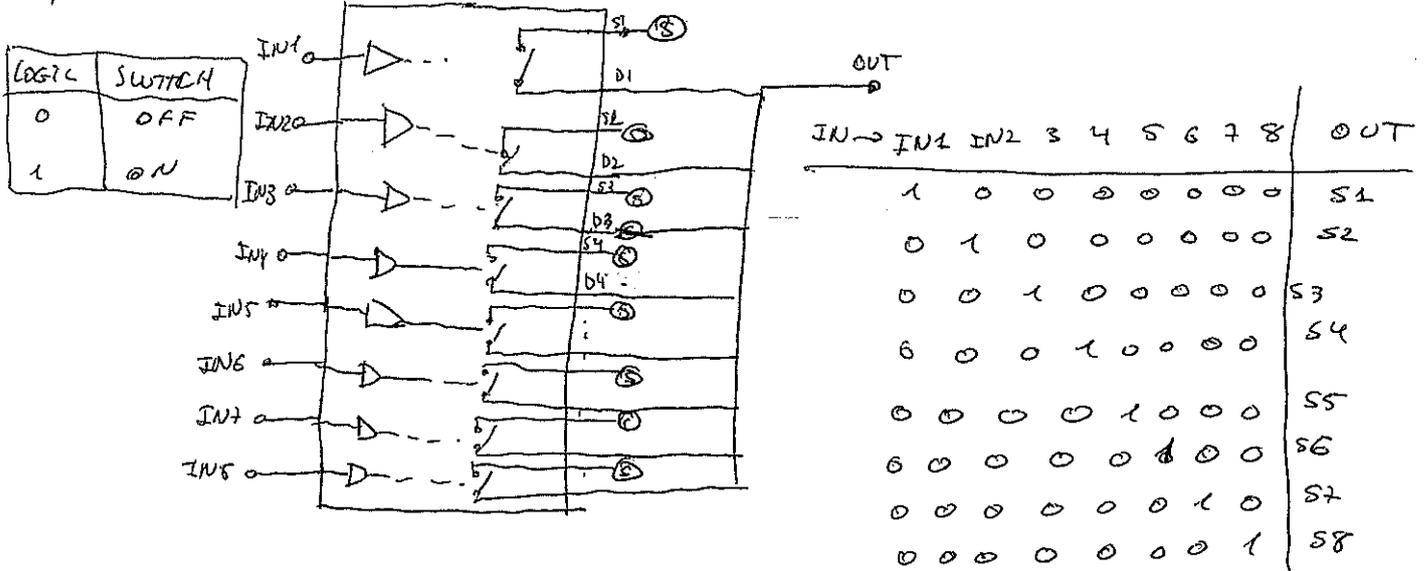
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

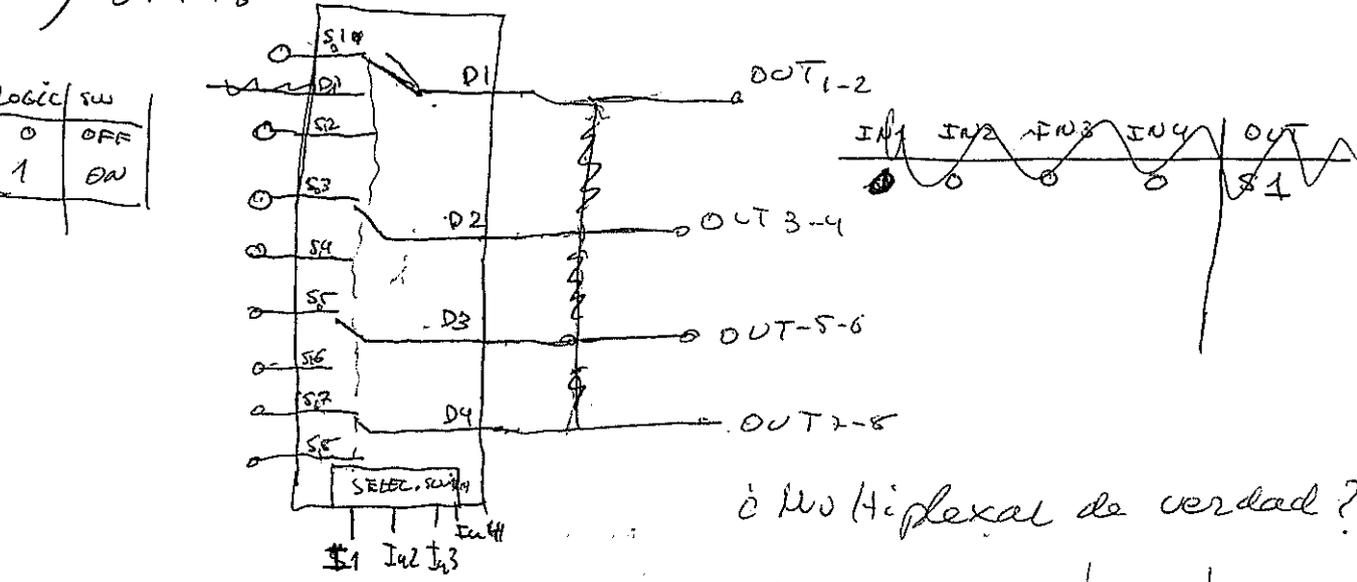


- 13 a) SPST: simple pole / simple through
 b) SPDT: simple pole / double through

a) SPST-NO:



b) SPDT:



¿No Multiplexal de verdad?

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue background that resembles a stylized map of the city of Cartagena. Below the text is a horizontal orange bar with a slight gradient.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

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

2. En las transparencias 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 $\frac{\partial V_O}{\partial x}$ 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 con resistencias en serie y referencia de tensión.
5. Sabiendo que el platino tiene coeficientes $\alpha_1 = 3902 \text{ ppm/K}$ y $\alpha_2 = -0.5775 \text{ ppm/K}^2$ y el níquel $\alpha_1 = 5845 \text{ ppm/K}$ y $\alpha_2 = 6.65 \text{ ppm/K}^2$, determine, si existen, los valores que permiten linealizar la Pt100 y la Ni120.
6. A partir de los datos mostrados en teoría ($\alpha_1 = 5485 \text{ ppm/K}$, $\alpha_2 = 6.65 \text{ ppm/K}^2$, $\alpha_3 = 2.805 \cdot 10^{-4} \text{ ppm/K}^3$), determine el incremento de la resistencia Ni120 entre 0°C y 100°C y la sensibilidad media calculada entre los extremos del intervalo.
7. Se dispone de una NTC con características $R_{25} = 10 \text{ k}\Omega$ y $B_{25/85} = 3200 \text{ K}$. Determine la resistencia del sensor a 0°C y a 50°C . Asimismo, determine el valor de la resistencia que permite su linealización.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

10. Una galga extensiométrica (G.E.) de 350Ω a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ y factor de galga 2 puede sufrir hasta 30.000 microdeformaciones. Tiene, asimismo, un coeficiente térmico de $120 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. 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 $\mu\text{V}/\mu\epsilon$. 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 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $0\text{-}5 \text{ V}$. ¿Qué tensión habría que aplicar al terminal de referencia del amplificador?

Para uso de alumnos de la
Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es>

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Soluciones

- Las soluciones serían: a) $K + K \cdot (a-b) \cdot x + K \cdot b(b-a) \cdot x^2 + \dots$, b) $K + \frac{K \cdot a}{b} x + \frac{1}{2} \cdot \frac{(a-2) \cdot K \cdot a}{b^2} \cdot x^2 + \dots$, c) $K \cdot x_0^a + a \cdot K \cdot x_0^{a-1} \cdot (x - x_0) + \frac{1}{2} \cdot K \cdot x_0^{a-2} \cdot a \cdot (a-1) \cdot (x - x_0)^2 + \dots$, d) $K_0 + a \cdot K \cdot x + 0 \cdot x^2 + \dots$
- 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 $V_1(0) = \frac{R_S(0)}{R_S(0)+R} \cdot V_{REF}$, $S_x^{V_1} = \frac{\partial V_1}{\partial x}$. Si se intercambian posiciones, la tensión del punto central es: $V_2(x) = \frac{R}{R+R_S(x)} \cdot V_{REF} = V_{REF} - \frac{R_S(x)}{R+R_S(x)} \cdot V_{REF} = V_{REF} - V_1(x) \rightarrow S_x^{V_2} = \frac{\partial(V_{REF}-V_1)}{\partial x} = -\frac{\partial V_1}{\partial x} = -S_x^{V_1}$. En otras palabras, sólo se produce un cambio de signo.
- 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:

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

Cuando $x=0$, se cumple que $S_{x=0}^{V_1} = -\frac{R}{(R+R_S(0))^2} \cdot \frac{\partial R_S}{\partial x} \cdot V_{REF}$ Y el punto en el que este parámetro alcanza un valor absoluto máximo es aquél en el que $\frac{\partial S_{x=0}^{V_1}}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} \left(-\frac{R}{(R+R_S(0))^2} \cdot \frac{\partial R_S}{\partial x} \cdot V_{REF} \right) = 0$. Es fácil ver que esta expresión se anula en $R = R_S(0)$.

- Basta con hacer el equivalente Thevenin del paralelo $V_{REF} + R$ para reducir el problema al visto en teoría.
- En el caso de la Pt100, $R_{T0} = 100 \Omega$:

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

con lo que $\alpha = 0.3902$ y $\beta = -5.775 \cdot 10^{-5}$. Al ser β negativo, no es posible linealizar.

En el caso de la Ni120,

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

En este caso sí que podrían cumplirse los requisitos:

$$R = \frac{\alpha^2}{\beta} - R_{T0} = \frac{0.6582^2}{7.98 \cdot 10^{-4}} - 120 = 429.9 \Omega$$

- 120 y 193,80 Ω . La sensibilidad es $738 \mu\Omega/K$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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.

$$5 = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{50k}{R_G}\right) \rightarrow V_{REF} = 5 - \left(1 + \frac{50k}{R_G}\right)(V_2 - V_1)$$

$$0 = V_{REF} + \left(1 + \frac{50k}{R_G}\right) \cdot \dots \rightarrow V_{REF} = - \left(1 + \frac{50k}{R_G}\right)(V_2 - V_1)$$

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

$\rightarrow 5 - \left(1 + \frac{50k}{R_G}\right)$

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

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

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

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

$$R_{L0}(L) = R_0 \cdot \dots$$

$$\epsilon = \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(350 - 348,194)}{350} = \dots$$

$$R_1 = R_0 - \frac{a \cdot R_0}{L - L_0} + a(a+1)R_0$$

Para uso de alumnos de la Universidad Complutense de Madrid
http://www.ucm.es



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Tema 3: sensores resistivos

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

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

$x_0 = 1 \rightarrow c$

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

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

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

$R(x) \approx R_0 + k(a-b) \cdot (x-x_0) + bk(b-a) \cdot (x-x_0)^2 + \dots$

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

$\alpha = \frac{dR(x)}{dx} = \frac{abk \cdot e^{\frac{ax}{b+x}}}{(b+x)^2} \Big|_{x_0=0} = \frac{abk}{b^2} = \frac{ak}{b}$

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

$R(x) = k + \frac{ak}{b} \cdot x + \frac{1}{2} \frac{ka(a-2)}{b^2} x^2 + \dots$

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

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

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

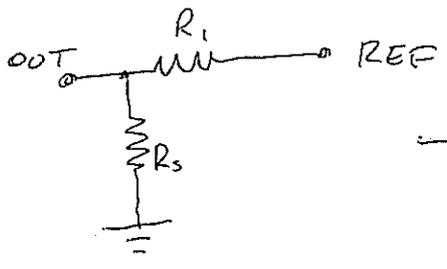
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



$\beta = \frac{d^2R(x)}{dx^2} = -2a^2k \cdot \frac{1}{x^3} \Big|_{x=0} = -2a^2k$

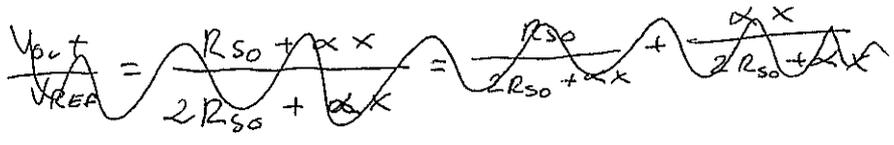
2



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

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

$$R = R_{s0}$$



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

Int. posiciones:

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

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

* Solo cambia el signo.

3

Es equivalente

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

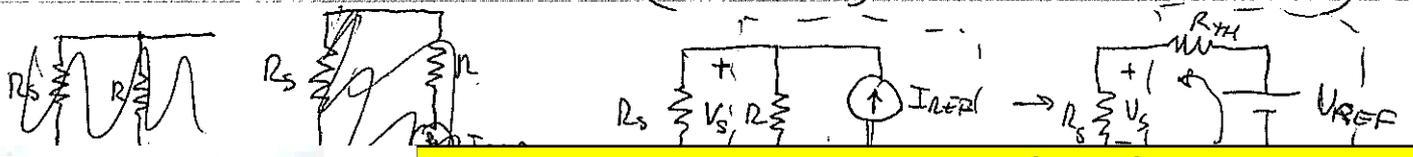
$$V_0(x) = \frac{R_s(x)}{R + R_s(x)} V_{REF} \quad (\text{Maximización})$$

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

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

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

4



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

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

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

Pt100 → $R = 100 \Omega$

$\text{ppm} = 10^6$ partes por millón

Ni120 → $R = 120 \Omega$

$$R = R_0 \left(1 + \underbrace{\alpha_1}_{\text{positivo}} (T - T_0) + \underbrace{\alpha_2 (T - T_0)^2}_{\text{Terminos despreciables en el rango}} \right)$$

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

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

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

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

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

* Ver linealización:

• Pt100: Al ser β negativo, no es posible ~~hacer~~ linealizar.

• Ni120: tenemos $\alpha = 0,7014$ $\beta = 7,98 \cdot 10^{-4}$

Podemos linealizar con una R:

$$R = \frac{\alpha^2}{\beta} - R_{T_0} = \frac{0,7014^2}{7,98 \cdot 10^{-4}} - 120 = 496,49 \Omega$$

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

$$Ni120 \rightarrow 0^\circ \rightarrow 100^\circ C$$

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

$$= 120 + 0,6585 T + 7,98 \cdot 10^{-4} T^2 + 3 \cdot 10^{-9} T^3$$

$$= 120 + 0,6585(T-T_0) + 7,98 \cdot 10^{-4}(T-T_0)^2 + 3 \cdot 10^{-9}(T-T_0)^3 =$$

$$R_{Ni120}(T=0^\circ) = 120$$

$$R_{Ni120}(T=373K) = 120 + 245,6205 + 114,025 + 0,18568 = 479,8163 \Omega$$

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

$$T - T_0 = 373 - 273 = 100$$

* Sensibilidad =

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

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

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

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

$$S = 120 \cdot \alpha = 738,33 \text{ m}\Omega/\text{K}^\circ$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Tema 3:

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

$$T = 0^\circ\text{C} \rightarrow R = 80202 \Omega$$

$$T = 100^\circ\text{C} \rightarrow R = 3463 \Omega$$

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

$$T = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$$

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

$$B = 3200 \text{ K}$$

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

$$T = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$$

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

9) $R_0 = 3 \text{ K} \Omega \rightarrow L_0 = 50 \text{ cm}$

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

* Tiene truco, al reducir la distancia a la unidad, 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. $L_0 = 50 \text{ cm}$ $L = 25 \text{ cm} = \frac{L_0}{2}$

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

$$\alpha = 0,73$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background that points to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

7) NTC: $R_{25} = 10\text{K}\Omega$ $B_{25/25} = 3200\text{K} \rightarrow T_e = 25^\circ\text{C}$
 $T_p = 0^\circ\text{C}$ $T = 50^\circ\text{C}$

$$T = 0^\circ\text{C} \rightarrow R_{NTC} = R_{T_c} \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_c}\right) = 10\text{K} \cdot \exp\left(\frac{3200\text{K}}{273\text{K}} - \frac{3200\text{K}}{298\text{K}}\right) = 26,734\text{K}\Omega$$

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

* Resistencia para su linealización:

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

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

• $T_c = 50^\circ\text{C} = 323\text{K} \rightarrow R = 4,355\text{K} \cdot \frac{B - 2 \cdot 323}{B + 2 \cdot 323} = 2,892\text{K}\Omega$

8) NTC

$$T = 0^\circ\text{C} \rightarrow R_{NTC} = 3463\Omega$$

$$T = 100^\circ\text{C} \rightarrow R_{NTC} = 80202\Omega$$

$$T_c = 25^\circ\text{C}$$

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

$$T = 0^\circ\text{C} = 273\text{K} \rightarrow 3,463\text{K} = R_{T_c} \cdot \exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{25+273}\right) \rightarrow R_{T_c} = \frac{3,463\text{K}}{\exp\left(\frac{B}{273} - \frac{B}{298}\right)}$$

$$T = 100^\circ\text{C} = 373\text{K} \rightarrow 80,202\text{K} = R_{T_c} \cdot \exp\left(\frac{B}{373} - \frac{B}{T_c}\right)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

9) $R_{LDR} = 3 \text{ k}\Omega \rightarrow L = 50 \text{ cm}$

$R_{LDR} = 1040,5 \Omega \rightarrow L = 25 \text{ cm}$

$R_0 = 3 \text{ k}\Omega \rightarrow L_0 = 50 \text{ cm}$

$R_{LDR} = 1040,5 \Omega \rightarrow L = 25 \text{ cm}$

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

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

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

Ma lo he inventado, pero tiene lógica.

10) Galga extensiométrica \rightarrow

$350 \Omega \rightarrow 23^\circ \text{C}$

~~$K_E = 30000 \text{ ppm} \rightarrow \Delta L = E \cdot L$~~

$K = 2 \rightarrow E = 30000 \mu\epsilon = 30000 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}$

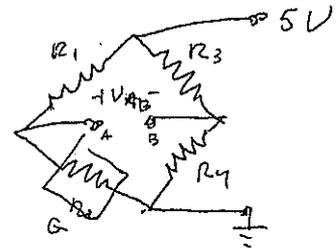
Coef. termico, $= 120 \text{ ppm}/^\circ\text{C} = \alpha_1$

* Diferencia de tensión: ΔV_{AB}

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

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

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



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$E = \frac{1}{R} \cdot \Delta R = \frac{1}{350} (370 - 348) = 0,063$

11 $\Delta V_{MAX} = 75000 \mu V = \pm 0,075 V$
 $V_{REF} = -0,075 V \rightarrow 0 V$
 $V_{REF} = 0,075 V \rightarrow 5 V$

Amp. Inv $\rightarrow V_{OUT} = V_{REF} + \left(1 + \frac{2R_2}{R_G} \right) \cdot (V_2 - V_1)$

INA 111 $\rightarrow R_1 = 10 K\Omega$
 $R_2 = 25 K\Omega$

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

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

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

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

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

$R_G = 1,5464 K\Omega$

$V_{REF} = 2,5 V$

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background that points to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

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 M Ω ?
2. Supongamos que el sensor tiene una resistencia de salida de 100 M Ω 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 Ω , ¿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 $^{\circ}\text{C}$, para que mida temperaturas entre 1000 y 1800 $^{\circ}\text{C}$. A la primera temperatura, la salida es 0 V y, a la segunda, 5 V. Determine la ganancia del amplificador, 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 dirección 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 $V_{OUT} \approx 1.000 \text{ V} - 11 \frac{\text{mV}}{\text{mT}} \cdot B$ 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.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

Soluciones

1. Idealmente, necesitaríamos una resistencia de $2.5 \text{ G}\Omega$, que no existen. Sin embargo, con una configuración en T con dos resistencias de $1 \text{ M}\Omega$ y $400,3 \text{ }\Omega$ se obtendría el mismo resultado.
2. Aparece un offset en la salida de valor $\left(1 + \frac{2.5 \cdot 10^9}{100 \cdot 10^6}\right) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 26 \text{ mV}$.
3. $\Delta T = \frac{2.7424}{150 \cdot 51.5 \cdot 10^{-6}} = 355,0 \text{ }^\circ\text{C}$. $T_1 = \frac{109.05 - 100.0}{0.3905} = 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 378,2 \text{ }^\circ\text{C}$
4. $\Delta V = \frac{2.7424}{150} = 18,282 \text{ mV}$. De acuerdo con la hoja de calibración, para $\Delta T = 355 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta V = 18,262 \text{ mV}$, y para $\Delta T = 356 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta V = 18,318 \text{ mV}$. Por interpolación, $\Delta T = 355,4 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 355,4 + 23,2 = 378,6 \text{ }^\circ\text{C}$.
5. A $1000 - 25 = 975 \text{ }^\circ\text{C}$, $V_{TH} = 4,608 \text{ mV}$, y a $1800 - 25 = 1775 \text{ }^\circ\text{C}$, $V_{TH} = 13,304 \text{ mV}$. $G = \frac{5}{8,696 \cdot 10^{-3}} = 575$. Para que la salida sea 0 V a $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, hay que corregir $4,608 \cdot 10^{-3} \cdot 575 = 2,6496 \text{ V}$.
6. $V_H = \pm \frac{0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{22}} = 93,6 \text{ }\mu\text{V}$
7. $31,4 \text{ mA}$. $V_{OUT} = 1 - \alpha \cdot \frac{N}{L} \cdot \mu_R \cdot \mu_0 \cdot I \rightarrow V_{OUT} = 1 - 5,5292 \cdot I$, $I = 0.18086 \cdot (1 - V_{OUT})$
8. $Z(s) = \frac{1+LC \cdot s^2}{s \cdot [1+L \cdot (C//C_p) \cdot s^2]} \cdot (C + C_p)$. $f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L \cdot (C//C_p)}}$. En ese caso, la frecuencia cambia a $f_R^* = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L \cdot (C//C_p + C_L \cdot L)}}$

Para uso de alumnos de la
 Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es>

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

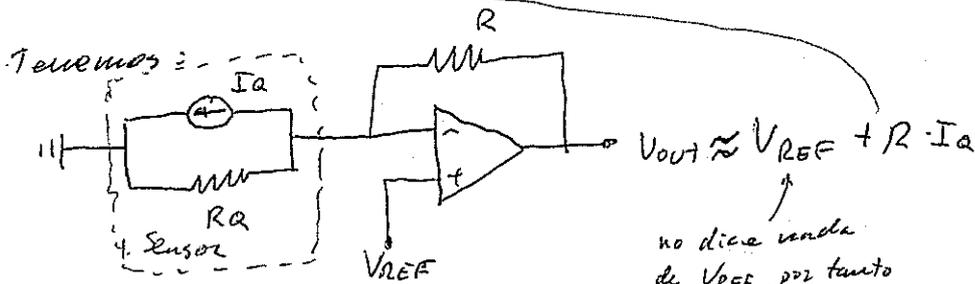
Tema 4: sensores generalizados:

① Sensor $\rightarrow 0$ a $2 \mu A$

Salida $\rightarrow 0$ a $5 V$

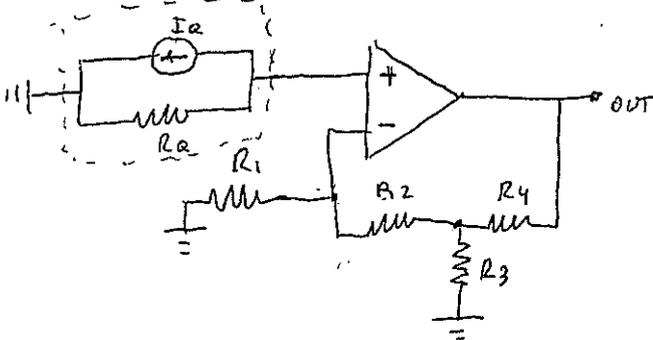
* Solo disponemos de resistencias menores a $1 M\Omega$

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



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.



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

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

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

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

$$R_3 = 400 \Omega$$

② $R_Q = 100 M\Omega$

$V_{os_{op}} = 1 mV$

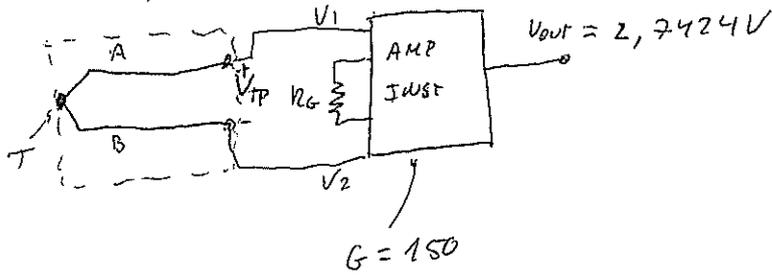
$R = 2,5 G\Omega$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3) Termopar tipo J → Campo de medida 0 a 750°C → Sensibilidad $\frac{5,15 \mu V}{^{\circ}C}$ a 25°C



a) $V_{TP} \approx 5,15 \mu V$

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

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

$$\Delta T = \frac{V_{out}}{G \cdot S} = \frac{2,7424 V}{150 \cdot 5,15 \mu V / ^{\circ}C} = 355 ^{\circ}C$$

b) Pt100: buscamos en el T3, la tabla de RTD y sacamos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$
 rango: -260 a 900

$$\alpha_1 = 3902 \text{ ppm/K} \quad R_0 = 100 \Omega \rightarrow T_0 = 0 ^{\circ}C$$

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

* Calculamos la T° en la parte fría siendo $R_{Pt100} = 109,05 \Omega$

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

$$T = \frac{109,05 - 100}{100 \cdot \frac{3902}{10^{-6}}} = \frac{9,05}{0,3902} = 23,2 ^{\circ}C$$

* Cuando se mide tensión en un circuito, se crea el equivalente a un termopar. Si el circuito está a diferente temp., a parece una tensión adicional que falsea la medida:

Cartagena99

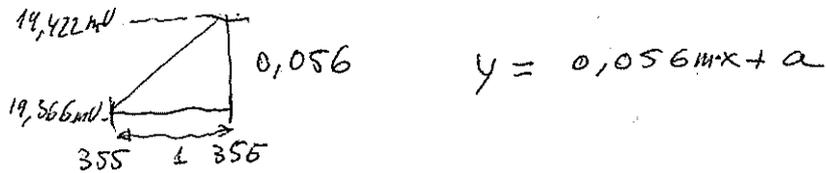
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

④ De acuerdo a la hoja de calibración

$$\Delta T = 355^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta V = 19,366 \text{ mV}$$

$$\Delta T = 356^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta V = 19,422 \text{ mV}$$



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

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

* Salida del termopar:

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

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

$$\Delta T = 355,357^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 355,357^{\circ}\text{C} + 23,2^{\circ}\text{C} = 378,557^{\circ}\text{C}$$

⑤ Termopar tipo B \rightarrow medir 1000°C y 1800°C
 \downarrow \downarrow
 0V 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

$$T_{\text{min}} = 1000 - 25 = 975^{\circ}\text{C} \rightarrow V_{TH_1} = 4,608 \text{ mV}$$

$$T_{\text{max}} = 1800 - 25 = 1775^{\circ}\text{C} \rightarrow V_{TH_2} = 13,304 \text{ mV}$$

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

6) $\mu = 10 \mu\text{m}$

Sensor efecto hall.

Tipo N:

Impurezas = $10^{16} \text{ cm}^{-3} \rightarrow n = 10^{16} \text{ cm}^{-3} = 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \frac{10^6 \text{ m}^{-3}}{10^{21} \text{ cm}^{-3}} = 10^{22} \text{ m}^{-3}$

$B = -0,5 \text{ mT}$

$I_0 = 3 \text{ mA}$

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

7) solenoide: $N = 600$ vueltas

$l = 0,3 \text{ m}$

$\mu_r = 200$

Sensor: DRU50530A; $V_{out} = 1,000 - 11 \frac{\text{mV}}{\text{mT}} \cdot B$

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

* Calculamos el campo magnetico

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

$B = 0,01578 \text{ T}$

* Para calcular i :

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

$i = 31,39 \mu\text{A}$

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

Cartagena99

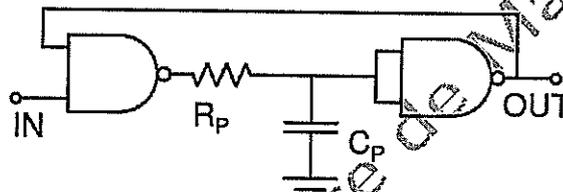
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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 THD¹ 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 medida².
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 pozo.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Soluciones

1. $V_{OUT} = \frac{2 \cdot V_{REF} \cdot T_P}{\alpha \cdot R} \cdot \frac{1}{C}$. 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 $\frac{1000}{3} = 333.3 \equiv 50,4 \text{ dB}$ 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 . Período, a 11890 ± 1 , desfase medio: $\pi \cdot \frac{3656.5}{11890} = 0.9661\dots$, error relativo: $\sqrt{\left(\frac{0.5}{3656.5}\right)^2 + \left(\frac{1}{11890}\right)^2} \approx 0.016\%$
6. $C(x) = \frac{2\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln 2} \cdot \left[H - \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \cdot x \right] = 6.421 \frac{nF}{m} \cdot \left[4 - \frac{79}{80} \cdot x \right] = 25.68 \frac{nF}{m} - 6.34 \cdot x \text{ nF}$.

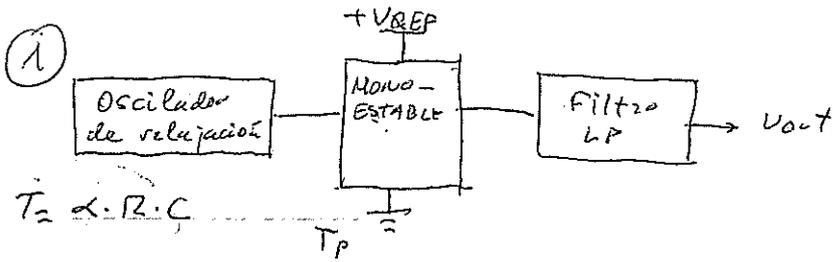
Para uso de alumnos de la
 Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es>

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Tema 5: sensores capacitivos



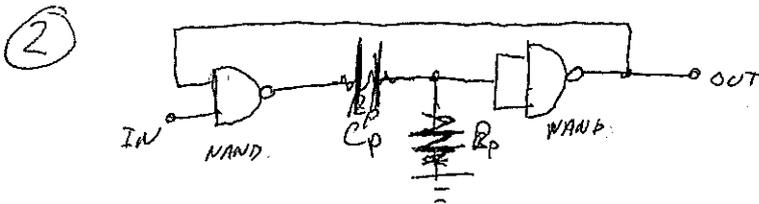
* Oscilador de relajación:

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

* Este dos veces que pasa dos veces flanco de subida y bajada

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

Como $V_{out} \leq V_{REF} \rightarrow C \geq \frac{2 \cdot T \cdot P}{\alpha \cdot R}$

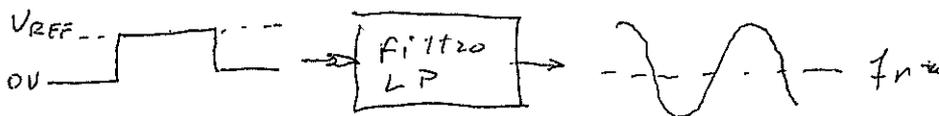


IN \rightarrow 0V \neq VREF

* Pájan del foro que pone Mario, te da el resultado directamente

$$T_p = 0,69 \cdot R \cdot C = \ln 2 \cdot R \cdot C$$

③ Filtro BP



$$THD < 0,1\%$$

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4

$$V_{DC} = \alpha \cdot V_{REF}$$

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

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

6

$$R_{int} = 1 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{H2O} = 80$$

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

$$H = 4 \text{ mm}$$

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

* Sensor de nivel de líquido: $\left(\frac{\epsilon_v}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r}\right)$

$$C(x) = \frac{2\pi \epsilon_v \epsilon_0 \cdot (H - x \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right))}{\ln R_{ext} - \ln R_{int}} = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot 80}{\ln 0,02} \left(4 - x \left(\frac{79}{80}\right)\right) =$$

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

7

Debido a las gran humedad en periodos de lluvia y a la poca humedad en las partes secas, el sensor a podido variar su permitividad, la cual se transmite linealmente a la capacidad. D ha podido variar sus dimensiones, en este caso el comportamiento es menos claro.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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?

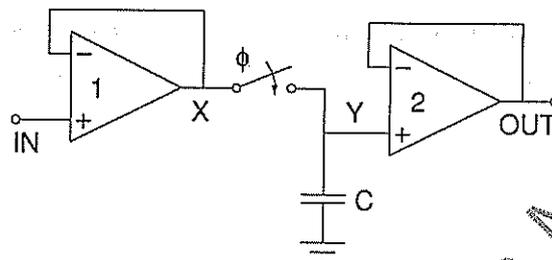


Figura 1: Circuito S/H simple.

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 μ s, ¿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/m², $V_{TH} = 0.57$ V, $W = 0.36$ μ m, $L = 10$ μ m y $C = 100$ pF?
5. Demuestre que los circuitos de las figuras adjuntas tienen como relación entrada-salida $V_{OUT}(n+1) = \frac{C_2}{C_1+C_2} V_{OUT}(n) + \frac{C_1}{C_1+C_2} V_{IN}(n)$.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

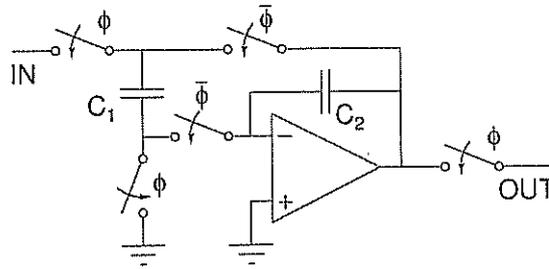


Figura 3: Un circuito misterioso (Fig. 11.19 de Carusone, Johns & Martin)

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?

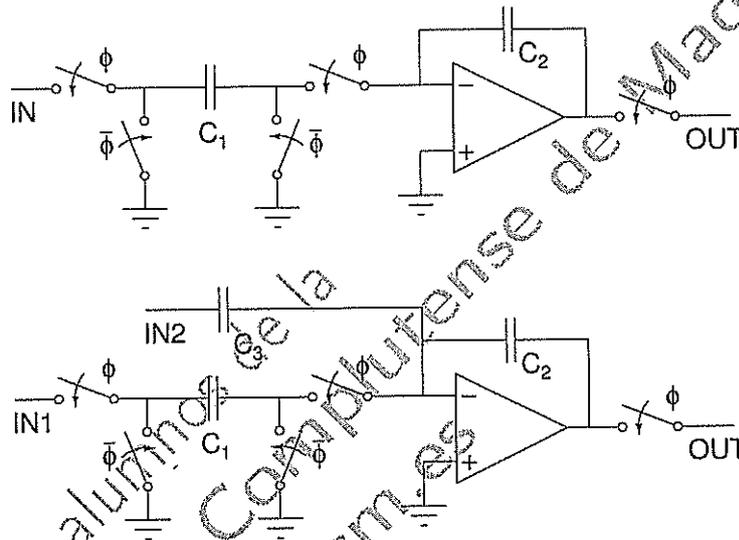


Figura 4: Más circuitos misteriosos (Fig. 14.13-14.14 de Carusone, Johns & Martin)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Soluciones

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

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

$$3. \Delta V_{OUT} \approx -\frac{1}{2} \frac{C_1 \cdot W \cdot L}{C} \cdot (V_{CC} - V_{IN} - V_{TH})$$

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

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: $V_{OUT}(n+1) = V_{OUT}(n) - \frac{C_1}{C_2} \cdot V_{IN}(n) - \frac{C_1}{C_3} \cdot V_{IN}(n+1)$

Para uso de alumnos de la
Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es>

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

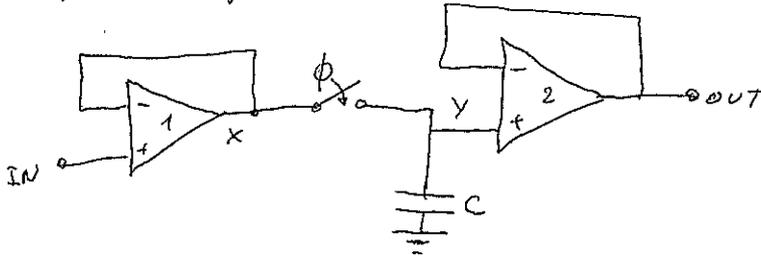
The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, teal-colored font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background that points to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Tema 7; circuitos S/H y de capacidades conmutadas:

1) S/H simple



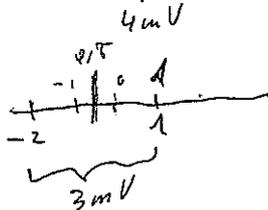
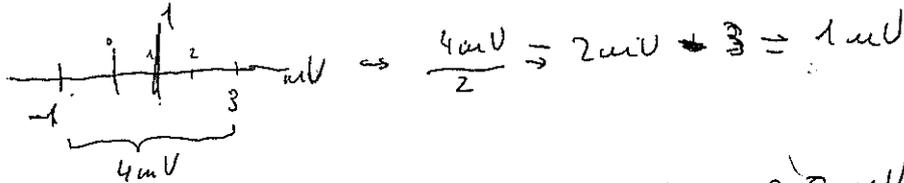
a) $V_{OS} = \pm 1 \text{ mV}$

Hacemos la media de los dos amplificadores:

$$V_{OS} = \pm \sqrt{V_{OS1}^2 + V_{OS2}^2} = \pm \sqrt{(1 \text{ mV})^2 + (1 \text{ mV})^2} = \pm 1,41 \text{ mV}$$

b) $V_{OS1} \Rightarrow -1 \text{ mV} \rightarrow 3 \text{ mV} \rightarrow V_{OS1} = \pm 4 \text{ mV}$

$V_{OS2} \Rightarrow -2 \text{ mV} \rightarrow 1 \text{ mV} \rightarrow V_{OS2} = \pm 3 \text{ mV}$



$\frac{3 \text{ mV}}{2} = 1,5 \text{ mV} \cdot 2 = 3 \text{ mV}$

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

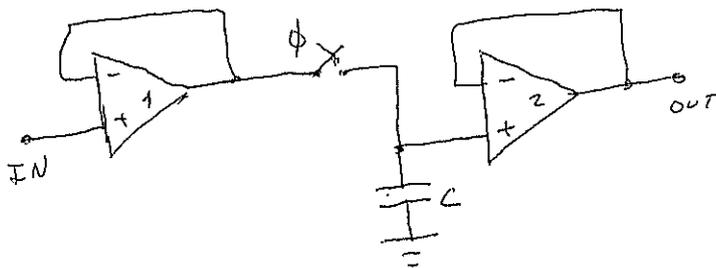
$V_{OS} = 1 - 0,5 \pm 2,5 \text{ mV} = 0,5 \pm 2,5 \text{ mV}$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2



a) $I_p = 10 \mu A$ $\Delta V = 0,2 mV$
 $C = 470 nF$

b) $I = \frac{Q}{t} \rightarrow t = \frac{Q}{I}$
 $C = \frac{Q}{\Delta V} \rightarrow Q = \Delta V \cdot C$

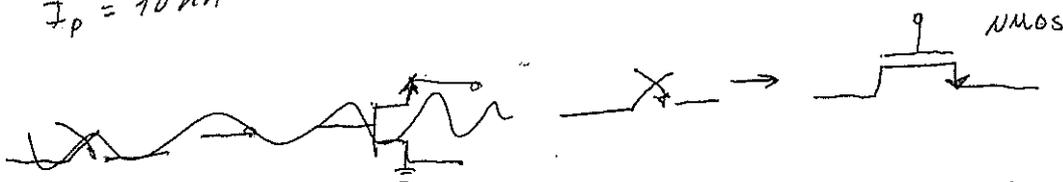
$$t = \frac{\Delta V \cdot C}{I} = \frac{0,2 mV \cdot 470 nF}{10 \mu A} = 9,4 \mu s$$

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: $Q_{NMOS} = -E_{ox} \cdot \frac{W \cdot L}{t_{ox}} (V_{cc} - V_{in} - V_{TH})$

$$Q_{EF} = \frac{1}{2} \cdot Q_{NMOS} = -\frac{1}{2} \frac{E_{ox}}{t_{ox}} W L (V_{cc} - V_{in} - V_{TH})$$

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

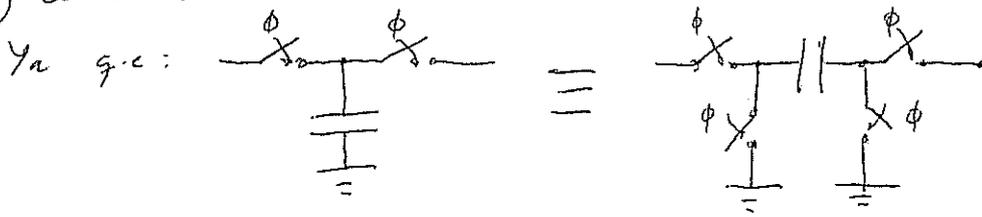
4) $V_{cc} = 10V$, $C_{ox}^* = 4,2 mF/m^2$, $V_{TH} = 0,57V$, $W = 0,36 \mu m$, $L = 10 \mu m$, $C = 100 pF$
 (-10)

Cartagena99

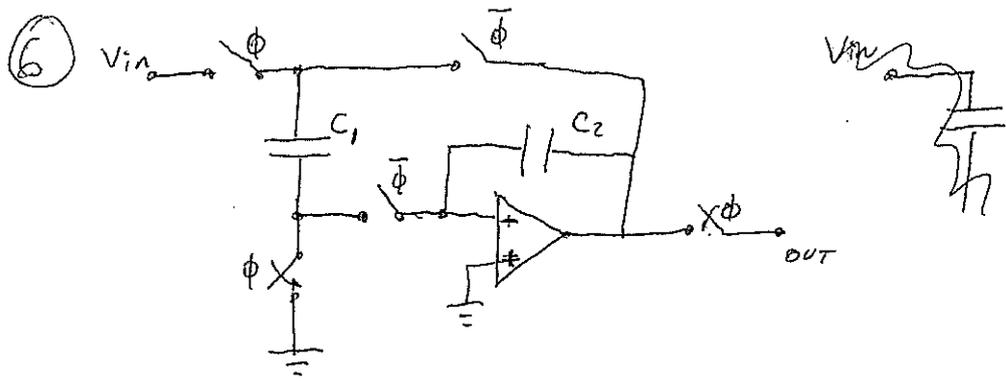
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5) Lo son, ~~isudenda de estructura~~



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



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:

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

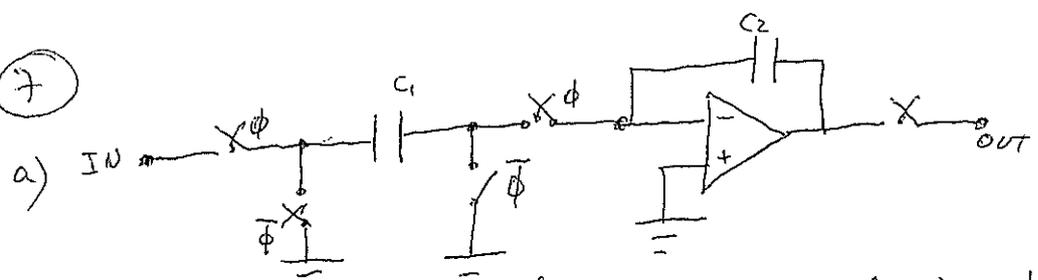
* Es un filtro LP.



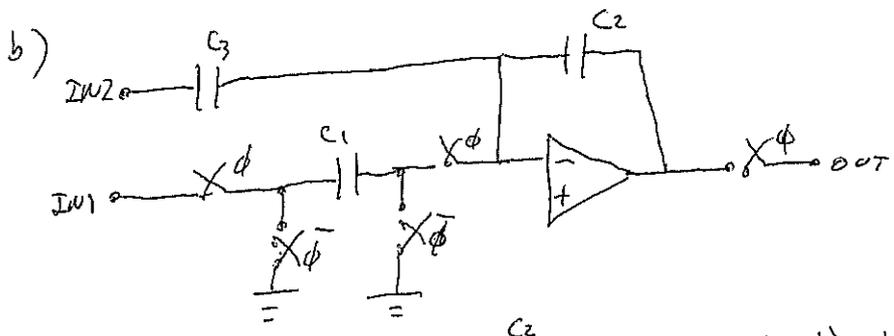
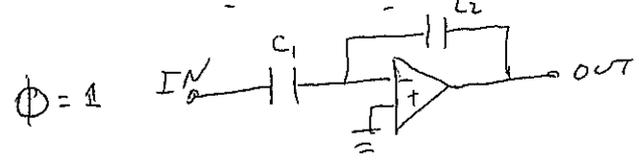
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

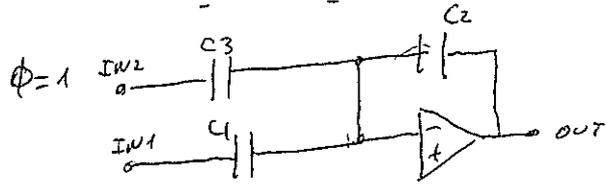
7



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



$$V_{out}(u+1) = V_{out}(u) - \frac{C_1}{C_2} V_{in1}(u) - \frac{C_3}{C_2} V_{in2}(u+1)$$



* Si conectáramos IN1 y IN2:

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TEMA 8: BOLETÍN DE EJERCICIOS

Conversores D/A y A/D

- 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:
 - 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.
 - Errores de offset y ganancia en LSB
 - La fluctuación máxima permitida entre el valor real y la relación entrada-salida lineal entre los extremos del rango.
- 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 $2 \cdot R$.

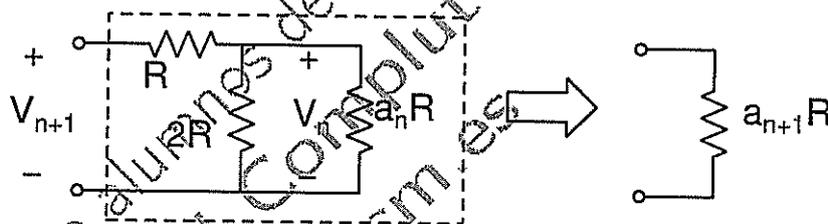


Figura 2. La red R/2R como una red de impedancias.

- Determine la relación que existen entre la resistencia $a_{n+1} \cdot R$ y la inmediatamente anterior, $a_n \cdot R$.
 - Determine qué le ocurre a la impedancia de la red si el primer término, $a_0 \cdot R$, es $2 \cdot R$.
 - Determine la relación que existe entre V_{n+1} y V_n .
 - Particularice al caso en que a_0 es $2 \cdot R$.
- Un convertor D/A de tipo R/2R de 8 bits de resolución se completa con un amplificador operacional...

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

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 senoide. 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 apariciones 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 μ V.

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.

Para uso de alumnos de la
Universidad Complutense de Madrid
<http://www.ucm.es>

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Soluciones

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

2. $a_{n+1} \cdot R = \beta \frac{3 \cdot a_n + 2}{a_n + 2}$. 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 $T = \frac{(2^8-1)}{3} \cdot \frac{5}{2^8} = 1660 \text{ ns}$.

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

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 medición con mayor precisión que 8 bits. Por tanto, en la práctica la incertidumbre mínima es $2^{-8} \cdot 100 = 0,4\%$.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized 'C' or a wave. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Tema 8: Convertidores D/A y A/D

$$OUT(1LSB) = \frac{OUT(V) - V_{REF}}{V_{LSB}}$$

① Datos de entrada

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

$$-V_{REF} = 0V$$

$$\text{Error offset} = 0,34 \text{ LSB}$$

$$\text{Error ganancia} = 0,33 \text{ LSB}$$

$$\text{Fluctuación máx} = 0,2 \text{ LSB}$$

DAC \rightarrow 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	4,784	7,620

a) Error de offset: $E_{OS} = \frac{V_{0000} \cdot 2^N}{V_{REF}} = \frac{0,213}{5} \cdot 2^3 = 0,3408 \text{ LSB}$

Error de ganancia: $E_{GN} = \frac{U_{1111} - V_{0000}}{V_{LSB}} - (2^N - 1) =$
 $= \frac{U_{1111} - V_{0000}}{V_{REF}} \cdot 2^N - (2^N - 1) = 0,330 \text{ LSB}$

b) Fluctuación máxima

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

$$DNL_{MAX} = \left| V_{CORR}(K+1) - V_{CORR}(K) - 1 \right|$$

= Hacemos los cálculos y cogemos el máximo de la tabla

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

$$= 0,869$$

* Hacemos la tabla entera.

$$INL(K) = \left| V_{CORR}(K) - K \right| \Rightarrow INL(1) = 0,131 \rightarrow \text{cogemos la máxima}$$

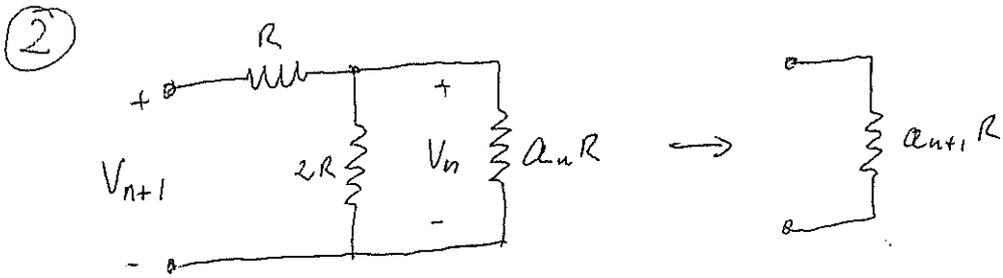
$$INL_{MAX}(3) = 0,192$$

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



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

③ CDA \rightarrow R/2R de 8 bits
 Amp. slew rate: amplificadores con mayor ^{rango máximo} ~~rango~~ de cambio de la tensión de salida por lo que limita la velocidad de funcionamiento

$$3 \text{ V}/\mu\text{s}$$

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

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

④ 4 CA/D \rightarrow resolución 12 bits $V_{REF} = 3,3 \text{ V}$

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5) 3- CAD tipo SAR \rightarrow Resolución = 12 bits

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

- 1- CAD: se aprecia q.e 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 qe está dentro del margen estad.

6) CAD $\rightarrow N = 16645$ 0,5V $f_r = 100$ kHz

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

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

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

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

7) A/D doble rampa \rightarrow gran inmunidad al ruido en la entrada.

- a) Porque al integrar, el ruido desaparece
- b) Tb reduce interferencias. En el caso de que el tiempo de carga de la primera fase coincida con el periodo de interferencia, al efecto de esta desaparece al ser integrada.

8) a) $V_- = 0V$ $V_{LSB} = 1mV$
 $V_+ = 5V$ $\rightarrow N = \frac{\lg(\frac{V_+}{V_{LSB}})}{\lg 2} = 12,28 \approx 13$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

⑨ ADCs → 10 bits

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

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70