

Problema 1:

Se requiere medir una tensión continua que estará dentro del margen 0,5 V-1,0 V con una incertidumbre típica inferior a 10 µV para todo el margen de medida. Para ello se emplea el multímetro de laboratorio y se realizan las medidas a 23°C, utilizando la escala de medida más adecuada.

- a) Suponga que la última calibración del multímetro fue hace menos de un año. Demuestre que la máxima incertidumbre típica asociada al multímetro es superior a los 10 µV (1,5 puntos)
- b) Se realiza una calibración del multímetro y acto seguido (en menos de un día) se realiza la medida de tensión continua. ¿Cuál es ahora la máxima incertidumbre típica asociada al multímetro? (1,5 puntos)
- c) Mediante medidas con un osciloscopio observamos que superpuesta a la señal de interés hay una interferencia de 10 mV de tensión de pico y frecuencia próxima a los 50 Hz. Si el tiempo de integración empleado en la medida de tensión es de 10 PLC, ¿Cuál es la máxima desviación en frecuencia de la interferencia respecto a 50 Hz para que la incertidumbre típica en la medida asociada a la interferencia sea inferior a 5 µV? (3,5 puntos)
- d) Supóngase que la incertidumbre asociada a la interferencia es de 5 µV y que la incertidumbre asociada al multímetro es de 6,5 µV. ¿Cuál es la máxima densidad espectral de tensión de ruido (e_n expresada en $V/Hz^{1/2}$) que puede haber superpuesta a la señal para que se cumpla que la incertidumbre total sea inferior a 10 µV?. Suponga que las incertidumbres asociadas a ruido, interferencia y multímetro son independientes y que el tiempo de integración es de 10 PLC. (3,5 puntos)

■ **DC Characteristics**

Accuracy Specifications ± (% of reading + % of range) [1]

Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] 23°C ± 1°C	90 Day 23°C ± 5°C	1 Year 23°C ± 5°C	Temperature Coefficient /°C 0°C – 18°C 28°C – 55°C
DC Voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1000.000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010	0.0005 + 0.0001

Measurement Noise Rejection

60 Hz (50 Hz) [5]

DC CMRR 140 dB

Integration Time

Normal Mode Rejection [6]

100 PLC / 1.67s (2s) 60 dB [7]
 10 PLC / 167 ms (200 ms) 60 dB [7]
 1 PLC / 16.7 ms (20 ms) 60 dB [7]
 0.2 PLC / 3 ms (4 ms) 0 dB
 0.02 PLC / 300 µs (400 µs) 0 dB

- [5] For 1 kΩ unbalance in LO lead.
- [6] For power-line frequency ± 0.1%.
- [7] For power-line frequency ± 1%, subtract 20 dB.
For ± 3%, subtract 30 dB.

Factor de cobertura: k=4

$$\left| \frac{p \cdot f \cdot T}{\sin(p \cdot f \cdot T)} \right|_{f \cdot T=10} \approx \frac{10,5}{|f \cdot T - 10|}$$

Problema 2:

En un sistema de primer orden, se pretende medir el tiempo de subida entre el 10% y el 90% en respuesta a un escalón que, nominalmente, es de $1 \mu\text{s}$. La impedancia de salida del sistema es de $1 \text{ m}\Omega$. Se conecta esta salida a la entrada de un osciloscopio (cuyas especificaciones se detallan al final del problema) mediante un cable coaxial de 100 pF/m .

- a) ¿Cuál debería ser la longitud del cable para que el tiempo de subida que aparezca en pantalla sea 10 ns mayor que el valor nominal?. Si la distancia entre el sistema y el osciloscopio es de 1 m , ¿aporta alguna mejora el empleo de sonda atenuadora $\times 10$? (2 puntos)

Se quiere estimar la incertidumbre en la medida del tiempo de subida empleando este osciloscopio y ajustando la excursión de la señal al margen dinámico del osciloscopio. El fabricante no aporta ninguna guía sobre cómo estimarlo de forma que deberemos aplicar nuestro juicio científico. Supondremos que el algoritmo que emplea para la medida automática consiste en el reconocimiento de dos instantes de tiempo ($t_{10\%}$ y $t_{90\%}$) tal y como se detallan en la gráfica. Para que la medida englobe el tiempo de subida, la base de tiempos debe ser como mínimo $1,2$ veces el tiempo de subida.

- b) Indique cuál es la base de tiempos (s/div) más adecuada para la medida del tiempo de subida (1 punto)

- c) Si la señal puede representarse como $V(t) = A \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ halle la relación entre τ y el tiempo

de subida así como la derivada de la señal en $t_{10\%}$ y $t_{90\%}$ respecto al tiempo en función del margen dinámico. Expresé el resultado como $dV/dt|_{t=\tau} = C \cdot A$ donde C es una constante en s^{-1} y A el margen dinámico (2 puntos)

- d) Halle la incertidumbre en el tiempo de subida empleando la siguiente expresión:

$$u(t_r) = \sqrt{u_{BT}^2(t_r) + u_{resBT}(t_{10\%})^2 + u_{resBT}(t_{90\%})^2 + u_{A/D}(t_{10\%})^2 + u_{A/D}(t_{90\%})^2}$$

donde u_{BT} es la incertidumbre asociada a la exactitud de la base de tiempos, u_{resBT} es la correspondiente a la resolución temporal y $u_{A/D}$ es la asociada a la incertidumbre temporal debida a la cuantificación. ¿Cuál es la fuente que más afecta a la incertidumbre? (3 puntos)

- e) La única fuente de incertidumbre que se reduce por promediado es la asociada a la cuantificación de la señal. Si deseamos que la incertidumbre total en el tiempo de subida sea inferior a 1 ns , indique cuántos promediados deberán realizarse. Si el osciloscopio realiza 10 medidas por segundo, ¿cuál será en este caso el tiempo de medida del tiempo de subida? (2 puntos)

OSCILOSCOPIO

Base de tiempos: 10 ns/div a 1 s/div (secuencia 1 -2-5)

Exactitud base de tiempos: $0,01 \%$ de la lectura ($k=2$)

Longitud de la traza: 4000 muestras

Pantalla: 8 divisiones verticales, 10 divisiones horizontales

Ancho de banda del canal vertical: 1 GHz

Tiempo de subida asociado al canal vertical: 350 ps

Impedancia de entrada: $1 \text{ M}\Omega // 25 \text{ pF}$.

Convertidor A/D: 8 bits

