

Examen Medidas Eléctricas – Julio 2023

Problema 1 (25p)

Se dispone de un instrumento de imán permanente y bobina móvil de 250 μA de fondo de escala, resistencia interna 200 Ω . El instrumento se utiliza para construir un voltímetro de 500 Vrms de fondo de escala. Para el diseño se utilizará un **rectificador de onda completa**. Se pide que el diseño incluya:

- Valores de los componentes serie E24
 - Potencia de diseño de las resistencias
 - Voltaje inverso máximo de los diodos
 - Corriente media rectificada de los diodos
- a) Deducir matemáticamente la relación entre el valor eficaz y el valor medio medido por el instrumento de aguja para el caso del rectificador de onda completa. Puede utilizar como conocida la relación entre el valor de pico y el valor eficaz de una senoide. (5p)

Debemos relacionar el valor eficaz de la señal sinusoidal que queremos medir:

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_p \sin(\omega t))^2 dt} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Con el valor medio de la tensión rectificada de onda completa

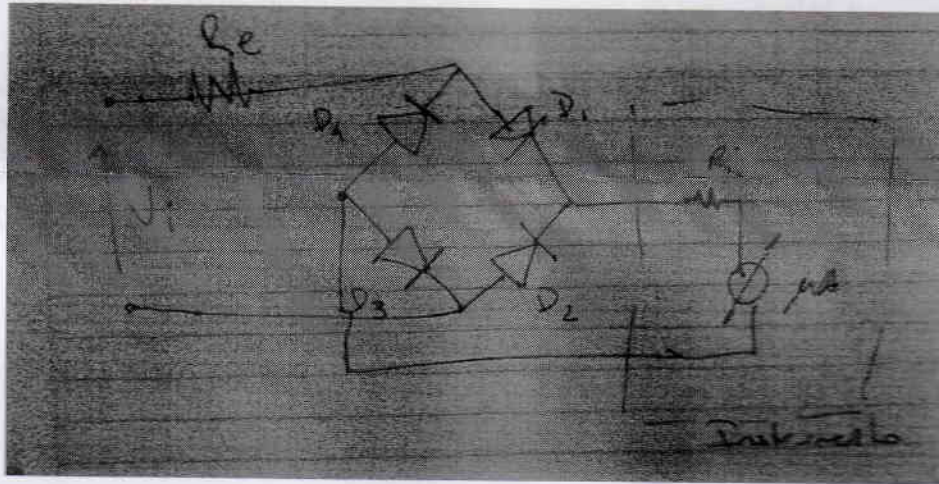
$$\langle V \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T |V_p \sin(\omega t)| dt = \frac{2 V_p}{\pi}$$

Sustituyendo

$$\langle V \rangle = \frac{2 \sqrt{2} V_{eff}}{\pi}$$



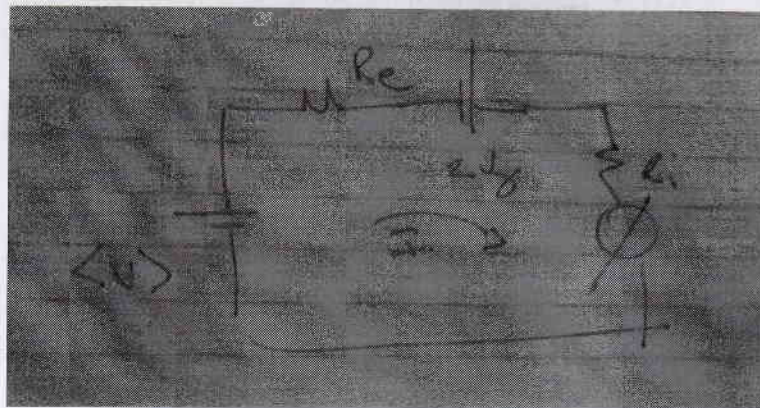
- b) Realizar un diagrama esquemático del circuito, etiquetando los componentes que va a incluir (8p)



Note que en este caso R_e puede ir antes o después del rectificador, la diferencia está en el voltaje que deben soportar los diodos en inversa.

- c) Realizar el diseño de los componentes con los datos solicitados (12p)

El circuito para realizar el diseño corresponde a:



En el fondo de escala el valor medio es

$$\langle V \rangle = \frac{2\sqrt{2} V_{eff}}{\pi} = 450 V$$

Para el cálculo de la resistencia de escala R_e , podemos despreciar la caída de tensión en los diodos, que es del orden de 1,5 V frente a los 450 V del valor de entrada.

Note que las resistencias que utilizará en el diseño son al 5% y que la cantidad que se esta despreciando representa el 0.3% aproximadamente.

Cuando tenemos el voltaje de fondo de escala en la entrada, por el instrumento debe circular la corriente de fondo de escala $250 \mu\text{A}$.

$$R_e = \frac{V}{I_{fs}} = 1.8 \text{ M}\Omega.$$

Note que la resistencia interna del instrumento es completamente despreciable en el cálculo de la R_e .

Para el dimensionamiento de la potencia vemos que por R_e circula corriente en ambos ciclos, de esta forma es la potencia disipada por una alterna sinusoidal sobre una resistencia

$$P_{Re} = \frac{V_{eff}^2}{R_e} = 0.14 \text{ W}$$

Selección del componente:

$$R_e = 1.8 \text{ M}\Omega (5\%), \frac{1}{4} \text{ W}$$

Para los diodos, siempre hay dos diodos conduciendo, de esta forma la tensión inversa en los diodos está dada por V_γ más la caída en de tensión en el instrumento. Esta caída es 50 mV , por lo que la tensión en los diodos es muy baja.

Recuerde que se calcula la tensión para seleccionar el componente, todos los diodos soportan esta tensión inversa.

La corriente media rectificada circula medio ciclo por un par de diodos y medio ciclo por el otro. Por ello la corriente de cada diodo es la mitad que la alimentada a la carga ($250 \mu\text{A}$).

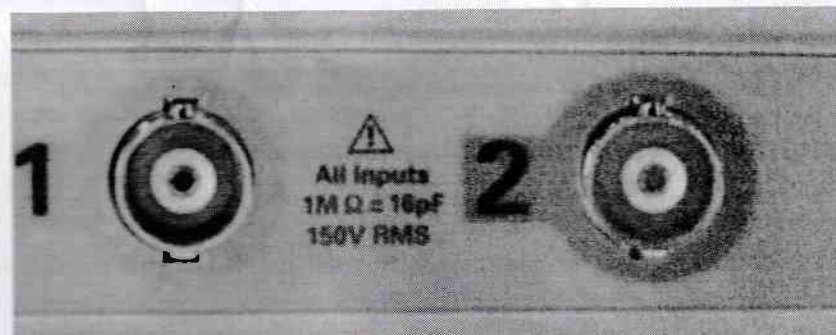
Para los cuatro diodos:

$$I_{FAV} = 125 \mu\text{A}$$

Cualquier diodo rectificador soporta esta corriente.

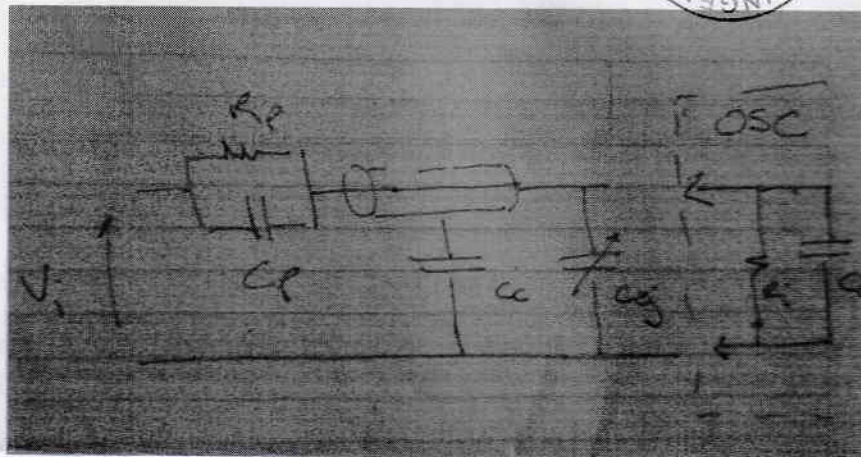
Problema 2 (20p)

Se dispone de un osciloscopio digital con dos canales de entrada como muestra la figura.



- a) Diseñar una punta de compensación x10 para dicho osciloscopio. Suponer que el rango de valores para el cable coaxial que se utilizará es entre 80 pF y 120 pF. Indicar la tensión a la que deben poder someterse los condensadores elegidos. (10p)

El diseño es similar al realizado en el laboratorio del curso



La condición de ajuste para que el polo y el cero coincidan es

$$R_p C_p = R_i (C_c + C_{aj} + C_i)$$

La resistencia R_p se elige $9\text{ M}\Omega$, ya que la punta debe dividir x 10 y en DC queda un divisor de tensión entre R_p y R_i . La resistencia de entrada del osciloscopio es la estándar de $1\text{ M}\Omega$.

Elegimos el $C_p = 25\text{ pF}$

De la relación

$$C_{aj} = 9C_p - C_c - C_i$$

Deducimos el rango del condensador de ajuste, en este caso: $[89 - 129]\text{ pF}$.

Por ello elegimos un condensador variable que pueda cubrir el rango de 80 pF a 140 pF para cubrirnos por la tolerancia de R_i y C_i .

Note que el rango de valores del condensador de ajuste son los 40 pF que varía la capacidad del cable.

Los voltajes de diseño son:

Para el condensador de ajuste, tienen que soportar los 150 Vrms del máximo de la entrada del osciloscopio. El voltaje del condensador debe ser mayor que el voltaje de pico, que en este caso son 212 V. Me sirve cualquiera que sea mayor que este valor.

Para el condensador C_p la tensión será 9 veces mayor, ya que el divisor es x 10. Me sirve cualquier valor mayor a 1900 V.

Note que no es el único diseño posible.

- b) Se realiza el relevamiento de la señal visualizada en el osciloscopio cuando se conecta en el modo AC a un generador de 1 Vpico y 50Ω de impedancia de salida (sin la punta de compensación conectada). Se registra una amplitud de 0,71 V para una frecuencia de 1 Hz. Determinar el condensador de desacople del modo AC, valor y voltaje máximo. (10p)

El condensador de desacople de continua se conecta directamente a la entrada del osciloscopio. Éste forma un circuito pasa alto con la resistencia de entrada.

Nota: para este cálculo el condensador parasito de la entrada, 16 pF, es despreciable, su valor es mucho menor que el de desacople y produce un polo en alta frecuencia.

$$C = \frac{1}{2\pi R f} = 159 \text{ nF}$$

Para el voltaje máximo, debe soportar los 150 Veff de la entrada, que tiene como valor de pico 212V. Cualquiera mayor que este valor me sirve.

Problema 3 (25p)

Se registra la señal de una comunicación serial RS232 con un osciloscopio digital. La señal corresponde a la transmisión de un carácter "B" ASCII (42 Hex) utilizando la configuración 9600, 8, N, 1. No hay carácter de fin de línea. El transmisor utilizado es de $\pm 15V$. La pantalla es 10 Hor x 8 Vert; escalas en la secuencia (1, 2, 5); resolución vertical de 8 bits y 1000 puntos de adquisición en memoria.

- a) Seleccionar las menores escalas que permiten la visualización completa del dato transmitido. (5p)

Se transmiten los caracteres usando la configuración 9600, 8 N 1. Esto significa que, para cada carácter enviado, son necesarios diez bits:

Bit de inicio, 8 bit de datos, bit de parada

La velocidad de transmisión es 9600 bits por segundo, entonces el tiempo de transmisión de la señal es:

$$T_s = 10 \frac{1}{9600} = 1.04 \text{ ms}$$

Para determinar la escala de tiempo necesito saber el Time/div, como el osciloscopio tiene 10 divisiones

$$10 \frac{\text{Time}}{\text{div}} > T_s$$

$$\frac{\text{Time}}{\text{div}} > 104 \mu\text{s}$$

Siguiendo la secuencia 1, 2, 5:

10 μs	No sirve
20 μs	No sirve
50 μs	No sirve
100 μs	Queda muy justa
200 μs	Ok
500 μs	Queda muy chica



Para la amplitud la transmisión se hace en $\pm 15 \text{ V}$. Por lo que la escala de Volt/div debe cumplir

$$10 \frac{\text{Volt}}{\text{div}} > 2 \times 15$$

$$\frac{\text{Volt}}{\text{div}} > 3$$

1 V	No sirve
2 V	No sirve
5 V	Ok

Con esta escala de amplitud, podemos elegir tener la referencia de tierra en el centro y se visualizaran $\pm 20 \text{ V}$ en la pantalla

- b) Determinar la frecuencia de muestreo, la apreciación en amplitud y la resolución del espectro de la señal cuando es adquirida. (5p)

Para la frecuencia de muestreo, observamos que la señal tiene 1000 puntos. Estos puntos digitalizan la pantalla completa cuyo tiempo es T_v :

$$f_s = \frac{N_p}{T_v} = \frac{1000}{2m} = 500 \text{ kHz}$$

Para la apreciación en amplitud utilizamos que la señal se digitaliza en 8 bits y que la pantalla tiene

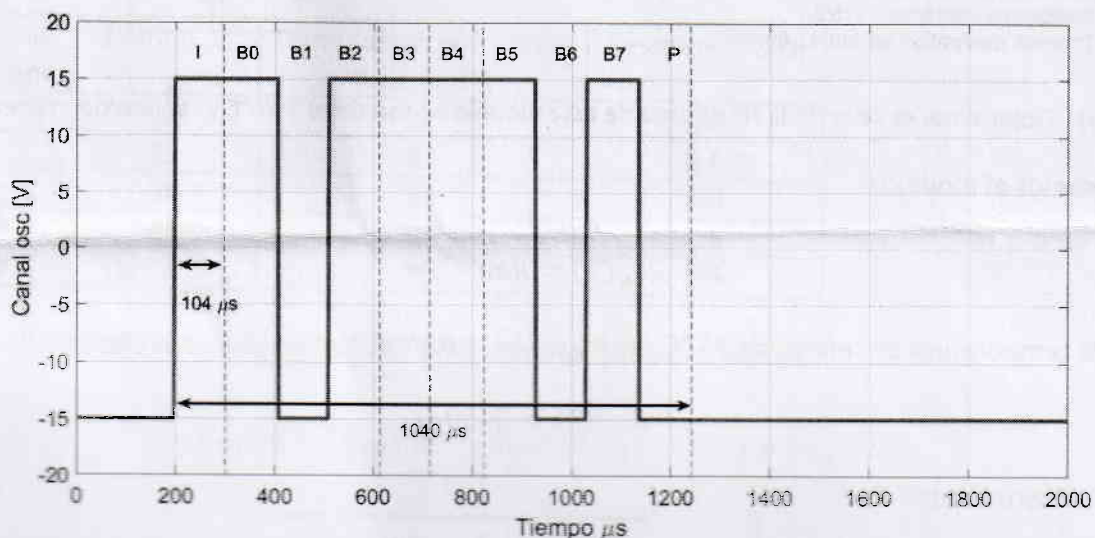
$$\Delta V = \frac{8 \times \text{Volt/div}}{2^{Nb} - 1} = \frac{40}{255} = 157 \text{ mV}$$

La resolución en el espectro es inversa con el ancho de la ventana temporal a digitalizar:

$$\Delta f = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{10 \times \text{Time/div}} = \frac{1}{2 \text{ m}} = 500 \text{ Hz}$$



- c) Graficar la visualización en la pantalla, recordando que el voltaje positivo corresponde al nivel lógico '0'. (10p)



Note que el bit menos significativo se transmite primero. En este caso no hace diferencia porque el carácter 'B' es simétrico, 0100 0010.

- d) ¿Cómo cambian las partes a y b si junto con el carácter se transmite un fin de línea "LF" (0A Hex)? (5p)

Si se transmite un fin de línea se necesitan dos paquetes de 10 bits para mandar un carácter, uno para el carácter dato y uno para el fin de línea

El tiempo de la señal es el doble. Por ello la escala de tiempo debe ser 500 μs.

La amplitud es la misma, no cambia la escala.

La resolución en frecuencia es mejor ya que la ventana temporal es mayor

$$f_s = \frac{N_p}{T_v} = \frac{1000}{5 \text{ m}} = 200 \text{ kHz}$$

Como no cambia la escala vertical, no cambia la apreciación.

$$\Delta f = \frac{1}{Tv} = \frac{1}{5m} = 200 \text{ Hz}$$

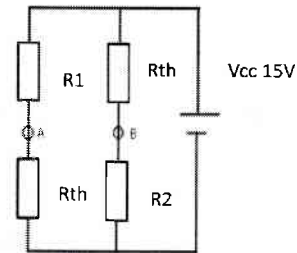


Problema 4 (30p)

Se diseña un puente de medida de temperatura basado en el uso de dos termistores 332-NTC103, que están siempre sometidos a la misma temperatura.

Mouser Stock No.	Nominal Resistance @ 25°C(Ω)	Beta Value ±7%(°K)	Maximum Operating Current @ 25°C(mA)	Thermal Time Constant (Sec.)	Part Marking
334-NTC103-RC	10000	4100	30	15	310

- Maximum power rating: 500mW
- Resistance tolerance: ±15%
- Thermal dissipation constant: 6mW/°C



- a) Determinar el valor de la resistencia de este modelo de termistor a 50°C y su incertidumbre. (5p)

Utilizaremos el modelo

$$R_{TH}(T) = R_o e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_o}\right)}$$

To es la temperatura de referencia 25 °C y la Ro es la resistencia nominal a esta temperatura

$$R_{TH}(T) = 3450 \Omega$$

Para la incertidumbre

$$\Delta R_{TH} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_{TH}}{\partial R_o} \Delta R_o\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{TH}}{\partial B} \Delta B\right)^2}$$

$$\frac{\partial R_{TH}}{\partial R_o} = e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_o}\right)} = 0.35$$

$$\frac{\partial R_{TH}}{\partial B} = R_o e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_o}\right)} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right) = -0.9$$

$$\Delta R_{TH} = \sqrt{(0.35 \times 1500)^2 + (0.9 \times 287)^2} = 586 \Omega$$

$$R_{TH}(T) = 3450 \pm 590 \Omega$$

Note que se calculó todo en Δ, no necesita expandir el resultado. Si se quiere la incertidumbre en lugar de la expandida, se divide por $\sqrt{3}$.

b) Graficar $R_{TH}(t)$ de un termistor que se encuentra a 25°C y pasa rápidamente a 50°C . (5p)

Los valores iniciales y finales ya los tenemos calculados:

$$R_{TH}(25) = 10000 \, \Omega$$

$$R_{TH}(50) = 3450 \, \Omega$$

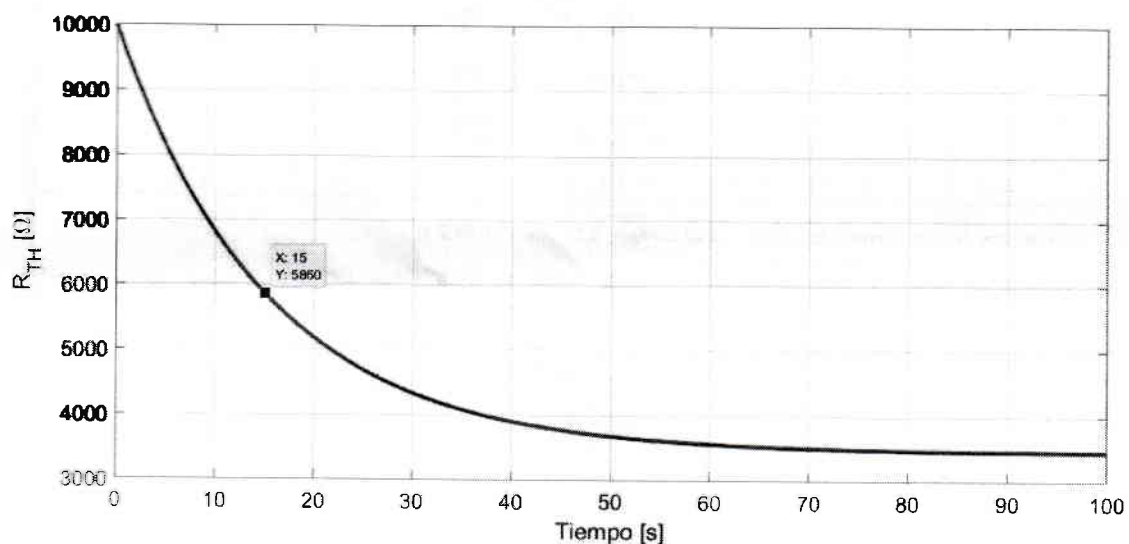


La constante de tiempo es 15 segundos por lo que como en cualquier sistema de primer orden:

Constante de tiempo	Tiempo (s)	Disminución porcentual % de (Ti-Tf)	Resistencia (k Ω)
0	0	0	10
τ	15	63	5.8
2τ	30	86	4.3
3τ	45	95	3.8
5τ	75	99	3.5

La expresión analítica de la evolución de un sistema de primer orden es:

$$R_{TH}(t) = (R_{TH}(50) - R_{TH}(25)) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + R_{TH}(25)$$



c) Determinar R_1 y R_2 para que la sensibilidad del puente sea máxima a 50°C . (10p)

Cada rama es independiente de la otra, de esta forma la sensibilidad máxima se da cuando:

$$R_1 = R_2 = R_{TH1}(50) = R_{TH1}(50) = 3450\Omega$$

- d) Determinar el máximo error de autocalentamiento que se produce en un termistor. (2p)

Error de autocalentamiento:

$$e = \Delta T = \frac{P}{k}$$

La potencia máxima se disipa cuando la resistencia del termistor es igual a la resistencia en serie.

$$P_{max} = \frac{V_{cc}^2}{4 \times R_{TH}(50)} = 16.3 \text{ mW}$$

El error es $e = 2.7^\circ\text{C}$



- e) Determinar la salida del puente para el punto donde se da el máximo autocalentamiento de los termistores. (4p)

En ese punto las cuatro resistencias son iguales, la salida de puente es 0V.

Series de resistencias eléctricas, E6 - E12 - E24 - E48, norma IEC																								
E6	1.0		1.5		2.2		3.3		4.7		6.8													
E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.8	5.6	6.8	8.2												
E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E48	1.0	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.33	1.40	1.47	1.54	1.62	1.69												
	1.78	1.87	1.96	2.05	2.15	2.26	2.37	2.49	2.61	2.74	2.87	3.01												
	3.16	3.32	3.48	3.65	3.83	4.02	4.22	4.42	4.64	4.87	5.11	5.36												
	5.62	5.90	6.19	6.49	6.81	7.15	7.50	7.87	8.25	8.66	9.09	9.53												
■ Tolerancia de las series: E6 20% - E12 10% - E24 5% - E48 2%																								
Valores de la resistencias en Ω , $K\Omega$, $M\Omega$ IEC = Comisión Eléctrica Internacional																								