

Práctica 6

Impedancias complejas y desfases

6.1. Objetivo de la práctica

En la sexta práctica se trabajará con impedancias complejas y se explicará las técnicas de medida de desfase con el osciloscopio. También se podrá observar el efecto de la frecuencia en la carga cuando ésta es capacitiva, así como el funcionamiento de divisores de voltaje complejos.

6.2. Material necesario para la práctica

Para el desarrollo de esta práctica es necesario el siguiente material:

- Generador de funciones HM 8131-2 y su latiguillo (BNC, cocodrilos)
- Osciloscopios modelos HM 407, HM 305 y las dos sondas correspondientes
- Multímetro HP 34401A y sus latiguillos
- Fuente de alimentación HM 7042-2 y sus latiguillos
- 1 Resistencia de $1\text{ K}\Omega$
- 2 Resistencias de $10\text{ K}\Omega$
- 1 Condensador de 6 nF
- 1 Condensador de 15 nF
- 1 Condensador de 680 nF

6.3. Desarrollo de la práctica

En el texto que tienen están descritos todos los pasos necesarios para el desarrollo de la práctica. Los pasos que deben seguir comienzan en el Apartado 6.4 y se extienden hasta el Apartado 6.6.

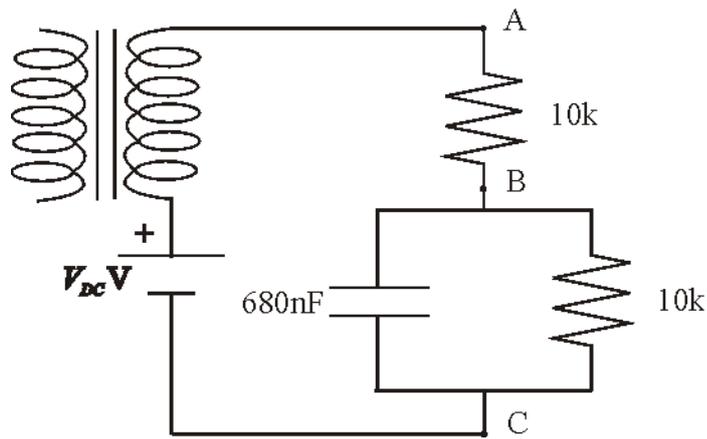


Figura 6.1: Divisor de tensión capacitivo con fuente de alimentación independiente.

6.4. Medida de impedancias complejas

Las impedancias complejas, al contrario que las puramente resistivas, introducen un cierto desfase (retraso o adelanto) entre los voltajes en sus bornas y las corrientes que las atraviesan. Esto se traduce en que las señales en distintos puntos de un circuito con impedancias complejas están desfasadas entre sí, dato que tendrá que ser tenido en cuenta a la hora de caracterizar un circuito de estas características.

Lo primero que debe realizar en este apartado es el montaje que se muestra en la Figura 6.1. Debe tener cuidado al conectar la fuente de alimentación y el transformador tal como aparece en dicha figura.

Fíjese que la fuente de alimentación tiene su borna de mayor tensión (roja) conectada al transformador (este elemento no tiene polaridad), y la de menor (negra) al punto C. De esta forma estamos introduciendo al circuito una tensión alterna de 50 Hz de frecuencia con un offset de V_{DC} Voltios.

Ejercicio 6.1. *Mida el valor eficaz de la tensión de salida del transformador directamente con el multímetro y anote el resultado.*

Este valor que ha medido será el módulo del fasor que caracterizará la señal proporcionada por el transformador. Gracias a este valor se puede ahora calcular todas las tensiones que teóricamente deben aparecer en el circuito. Deberá realizar el análisis en alterna y en continua del circuito, resolviendo las ecuaciones necesarias para obtener las tensiones alternas, por una parte, y continuas, por otra, de V_{AB} y V_{BC} . Para ello, puede considerar que V_{AC} tiene de fase inicial 0 (esta particularización no hace perder generalidad). Recuerde que una forma de onda caracterizada por amplitud, frecuencia y fase, se puede considerar como un fasor con un determinado módulo y fase. Debido a que el multímetro mide directamente el valor eficaz de la componente alterna, consideraremos este parámetro como el módulo del fasor.

Ejercicio 6.2. *Determine las expresiones para calcular las **tensiones alternas** de V_{AB} y V_{BC} , tanto en módulo como en fase, y refleje los resultados obtenidos*

Tabla 6.1: Parámetros obtenidos teóricamente del circuito de la Figura 6.1 y medidos con el multímetro.

Parámetro	Valores teóricos			Valores medidos	
	Módulo $V_{ef,ac}$	Fase	Continua V_{dc}	Módulo $V_{ef,ac}$	Continua V_{dc}
V_{AB}					
V_{BC}					

en la Tabla 6.1. Para ello, puede considerar que V_{AC} tiene de fase inicial 0 (esta particularización no hace perder generalidad). Realice el mismo proceso para las **tensiones continuas** de V_{AB} y V_{BC} . Utilice como $V_{DC} = 2\text{ V}$

Ejercicio 6.3. Mida con el multímetro el módulo de las tensiones alternas en V_{AB} y V_{BC} y apunte los resultados en la columna correspondiente de la Tabla 6.1. Recuerde que el multímetro en modo de medida de voltajes AC mide directamente el valor eficaz de la componente alterna de la señal.

Ejercicio 6.4. Mida con el multímetro las tensiones continuas en V_{AB} y V_{BC} (seleccione manualmente la escala más alta del multímetro para que la medida sea correcta). Rellene la columna correspondiente de la Tabla 6.1.

Ejercicio 6.5. Sume las amplitudes de las tensiones que ha medido ¿Coincide la suma de los módulos de las tensiones alternas con la proporcionada por el transformador? ¿Y la de las continuas con la proporcionada por la fuente de alimentación? ¿Por qué cree que sucede esto? Dibuje una representación gráfica de la suma fasorial de las tensiones alternas V_{AB} y V_{BC} y en otra gráfica la suma fasorial de las tensiones continuas.

Ejercicio 6.6. A partir de los resultados de fase anotados en la Tabla, ¿Cuál es el desfase teórico, en grados, entre las señales alternas V_{AB} y V_{BC} ?

6.5. Estudio del desfase entre dos señales

6.5.1. Medición de los desfases en el osciloscopio

Para medir los desfases se utilizarán los cursores del osciloscopio. Su funcionamiento se explicará al principio del turno del laboratorio con una clase teórica breve.

La medida que se obtiene de estos cursores es temporal y se puede transformar a radianes multiplicándola por el factor de conversión $\frac{2\pi}{T} = \omega$, siendo T el periodo de la señal y ω la pulsación. De esta forma se puede medir, con un grado de exactitud bueno, los desfases entre dos señales.

Para medir desfases necesitamos que la señal desfasada y la de referencia aparezcan simultáneamente en la pantalla. De esta forma la señal de disparo es única para ambas y se puede apreciar el desfase.

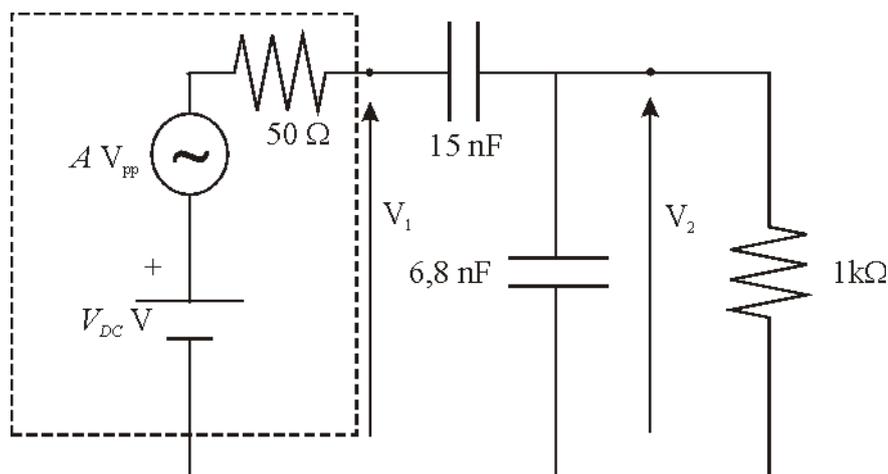


Figura 6.2: Divisor de tensión con impedancias complejas.

En cuanto al montaje físico del circuito, hay que recordar que las referencias de las dos sondas están cortocircuitadas por lo que tienen que estar situadas en el mismo punto del circuito. Para nuestro caso particular sitúenlas en el punto B, y las puntas de prueba en los puntos A y C. Con esta configuración estaremos midiendo V_{AB} y V_{CB} , y como lo que se desea obtener es V_{BC} tendremos que invertir el canal dos del osciloscopio.

Ejercicio 6.7. *Calcule la diferencia de fase entre V_{AB} y V_{BC} en el montaje de la Figura 6.1 ¿Coincide con lo calculado teóricamente en el ejercicio anterior? Realice un sencillo dibujo donde se muestre la pantalla del osciloscopio, incluido los cursores y el READ OUT, con la configuración que ha utilizado para medir el desfase.*

Ejercicio 6.8. *Suma las dos señales en pantalla (recuerde que para sumar debe tener las referencias centradas en la pantalla y que ambos canales deben tener la misma sensibilidad). No hay que olvidar que si no se invierte el ch2, se estarán restando las señales, debido a que la del ch2 está invertida por la conexión entre los puntos B y C. Dibuje la señal que ha obtenido. ¿Por qué cree que se consigue esta señal?*

6.6. Medida de amplitud y desfase.

Para realizar este apartado es necesario montar el circuito de la Figura 6.2. El generador de funciones está representado en la figura por lo que encierra la línea discontinua. Note que se ha incluido la resistencia de 50Ω que las especificaciones de este aparato nos indican como impedancia de salida. Ajuste una tensión, en el generador de funciones, de amplitud $A \text{ V}$, con una componente de continua de $V_{DC} \text{ V}$. Como siempre, todos estos ajustes deben ser comprobados con el osciloscopio.

La frecuencia de trabajo va a influir notablemente en este tipo de circuitos al depender de ella la impedancia de los condensadores. Para bajas frecuencias C_2 presentará una impedancia elevada, superior a la de R . Entonces el comportamiento resistivo será el que prime en el paralelo de C_2 y R , pudiéndose ver el

Tabla 6.2: Parámetros obtenidos con el osciloscopio en el circuito de la Figura 6.2.

Frecuencia	100 Hz	500 Hz	1 kHz	5 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz
V_1							
V_2							
V_2/V_1							
Desfase Φ							

circuito completo como un divisor de tensión compuesto por un condensador C_1 y una resistencia R . Para altas frecuencias, por el contrario, será el condensador C_2 el que predomine en el comportamiento del paralelo de ambos componentes. En este caso el circuito se comportará como un divisor de tensión formado por los condensadores C_1 y C_2 .

Es interesante también tener en cuenta el efecto que la resistencia de salida del generador de funciones va a tener sobre la tensión entregada por éste. Al manipular el aparato se está fijando, además del offset, la tensión que en la Figura 6.2 se ha llamado V_{AC} . Por tanto el voltaje V_1 a la salida del generador de funciones será siempre algo inferior al valor nominal, debido a la resistencia r_g . Si el circuito en bornas del generador de funciones presenta una impedancia elevada el efecto de r_g será despreciable, pero si la impedancia de dicho circuito es pequeña (comparable a r_g) se va a producir una disminución sensible en el voltaje V_1 a la salida del generador de funciones respecto al valor nominal $V_{AC} + V_{DC}$. Por tanto la existencia de una resistencia de salida en las fuentes es un hecho que debe tenerse en cuenta, especialmente cuando se trabaje con impedancias cuyo valor depende fuertemente de la frecuencia, como pueden ser la de bobinas y condensadores.

En los ejercicios siguientes se va a tratar de ilustrar las consideraciones anteriores mediante el análisis del circuito de la Figura 6.2 para distintas frecuencias. Se insistirá especialmente en la función de transferencia $\frac{V_2}{V_1}$, que al ser compleja habrá que caracterizar por su módulo y su fase.

Ejercicio 6.9. *Vamos a razonar teóricamente cómo será el comportamiento del circuito en función de la frecuencia (no olvide que además tiene un offset). Indique las expresiones algebraicas de V_{rg} , V_1 , V_2 , $\frac{V_2}{V_1}$ y Φ en función de la frecuencia en la memoria razonando si aumentarán o disminuirán con la frecuencia. El desfase Φ es la diferencia de fase entre V_2 y V_1 , es decir, $\Phi = \angle\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \angle(V_2) - \angle(V_1)$. Para expresarlo, puede suponer que la fase de V_1 es cero.*

Ejercicio 6.10. *Con las dos sondas en X1, mida la componente continua de las tensiones V_1 y V_2 . Razone el resultado obtenido.*

Ejercicio 6.11. *Con las dos sondas en X1, mida simultáneamente, empleando ambos canales del osciloscopio, el módulo de las tensiones V_1 y V_2 así como el desfase entre ambas. Rellene las filas correspondientes de la Tabla 6.2. ¿Coincide con el análisis teórico realizado?*

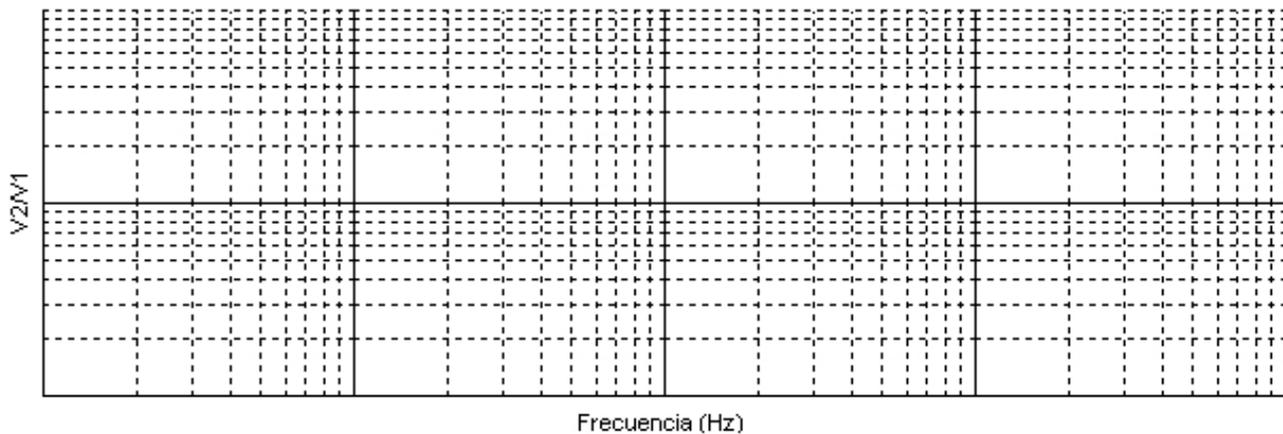


Figura 6.3: Gráfica logarítmica amplitud/frecuencia.

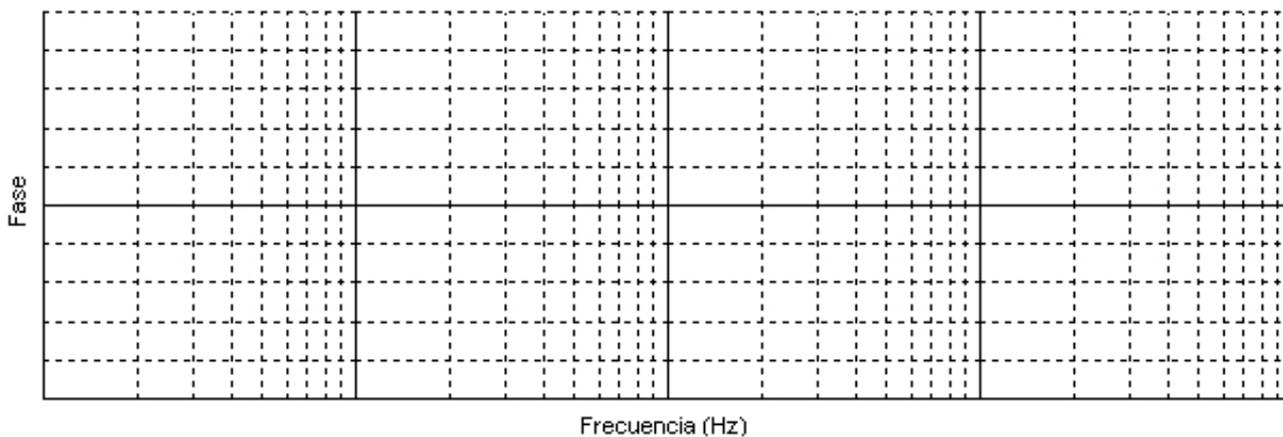


Figura 6.4: Gráfica logarítmica-lineal fase/frecuencia.

Recuerde que es conveniente situar las referencias en las mismas posiciones en pantalla (mejor si están centradas), para realizar medidas de desfase. Lo que realmente se mide en estos caso son desplazamientos en el eje horizontal o de tiempos, no importa la sensibilidad de canal. No se le olvide ir cambiando el barrido de tiempos conforme aumente la frecuencia, con el fin de ver siempre un poco más de un periodo de la señal en pantalla.

Ejercicio 6.12. Represente gráficamente la relación V_2/V_1 y el desfase o Fase (indiquen la unidad utilizada, grados o radianes) entre ellas en función de la frecuencia en las gráficas logarítmicas 6.3 y 6.4 que se muestran. Fíjese que el eje vertical en la primera también es logarítmico, mientras que en la segunda es lineal. Elija las unidades de los ejes horizontales y verticales que crea más convenientes y justifique su elección.