

PRÁCTICA N° 3: MEDIDAS DE CORRIENTE ALTERNA

Objetivos: medidas de corriente alterna utilizando un polímetro y un osciloscopio.

Material: polímetro, osciloscopio, fuente de alimentación con salidas de corriente continua y alterna, y componentes R, L y C.

1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica vamos a realizar una serie de medidas de corriente alterna utilizando tanto un polímetro como un osciloscopio. En corriente continua las magnitudes vienen caracterizadas únicamente por un valor numérico, mientras que en corriente alterna hay que considerar amplitudes y fases. En esta práctica pondremos de manifiesto esas diferencias y utilizaremos las medidas para obtener los parámetros característicos de los elementos utilizados en los circuitos.

Como ya vimos en la práctica 1, **el polímetro** es un aparato que puede medir diversas magnitudes. Cada posición del selector corresponde a una función del polímetro y un margen de medida (por lo que el fondo de escala se determina con un conmutador), que queda indicado. Las unidades de la magnitud que se lee en el dial corresponden a la unidad asociada al fondo de escala seleccionado. Las posibles funciones de nuestro polímetro son:

DCV= voltímetro de corriente continua

DCA= amperímetro de corriente continua

ACV= voltímetro de corriente alterna

ACA= amperímetro de corriente alterna.

OHMS= óhmetro o medidor de resistencias

Para manejar correctamente el polímetro y evitarle posibles daños, el selector debe situarse en la posición que seleccione la función correcta **ANTES DE CONECTARLO** y en el mayor margen o escala posible. Si el indicador no sobrepasa el valor máximo de la escala inferior (lo que se observa cuando aparece un 1 en la pantalla), entonces posicionaremos el selector en la escala inferior, hasta conseguir una medida lo más precisa posible. Es decir, para realizar una medida deberemos elegir el mayor margen de escala posible; seguidamente iremos disminuyendo dicho margen de escala, **GIRANDO MUY SUAVEMENTE EL CONMUTADOR**, hasta encontrar un 1, para “subir” hacia el inmediato superior (así conseguiremos el mayor número de cifras significativas).

En esta práctica usaremos el polímetro como amperímetro, voltímetro y óhmetro. A continuación recordamos cómo debe usarse en cada uno de los casos:

- CUANDO SE USE COMO VOLTÍMETRO, EL POLÍMETRO DEBE CONECTARSE EN PARALELO (ver figuras 1 y 2).

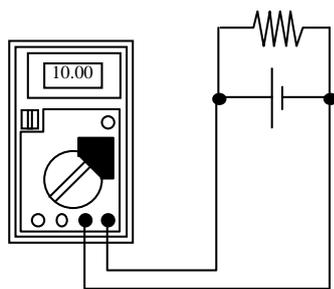


Figura 1

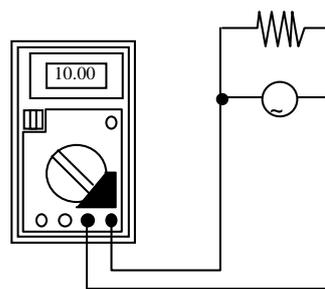


Figura 2

- CUANDO SE USE COMO AMPERÍMETRO, EL POLÍMETRO DEBE CONECTARSE EN SERIE (ver figuras 3 y 4).

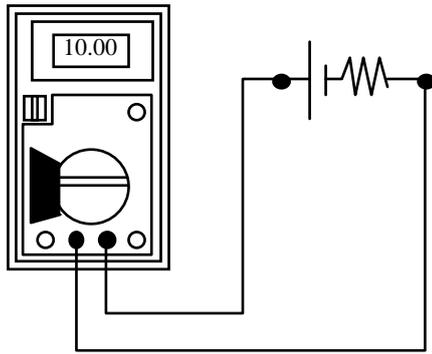


Figura 3

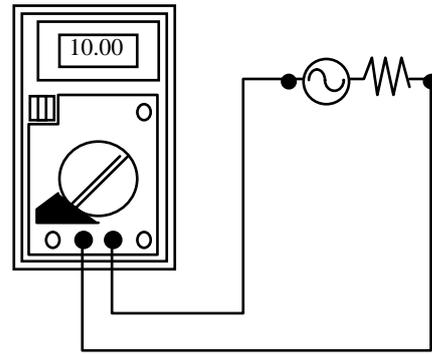


Figura 4

- CUANDO SE USE COMO ÓHMETRO, HAY QUE DESCONECTAR LA RESISTENCIA A MEDIR DE CUALQUIER CIRCUITO DONDE PUDIERA ESTAR CONECTADA, es decir, que para medir el valor de una resistencia con el óhmetro del polímetro la resistencia debe estar completamente aislada de cualquier circuito, como indica la figura 5.

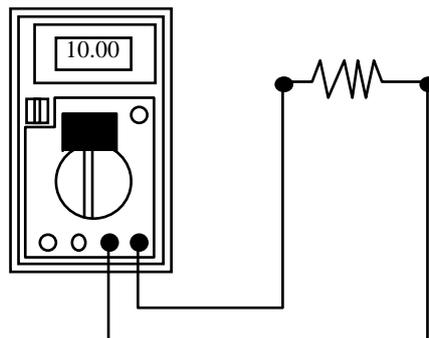


Figura 5

Por otra parte, el **osciloscopio** es un aparato que proporciona una representación gráfica XY en su pantalla. En la configuración más usual, dicha representación gráfica corresponde a la variación de una tensión con el tiempo (eje X = tiempo, eje Y=tensión medida). En esta práctica podremos comparar las medidas de amplitud realizadas con el osciloscopio en esta configuración, con los valores medidos con un polímetro.

Una segunda configuración del aparato permite representar dos tensiones, una (eje Y) en función de la otra (eje X), dejando el tiempo como un parámetro. Esta configuración la utilizaremos en esta práctica para medir diferencias de fase entre dos señales. En los apéndices A y B al final de guión se recuerda las funciones de los mandos del osciloscopio así como los métodos de medida de desfases.

Antes de comenzar las medidas de la práctica se recuerda que el error de sensibilidad de una medida directa es el correspondiente al valor más pequeño que puede apreciarse. Así pues, cada vez que se haga una medida con un aparato anotad la escala en la que se hace y la sensibilidad de dicha escala (que no tiene porqué ser la división más pequeña).

MUY IMPORTANTE: La fuente de alimentación que se utiliza en esta práctica tiene dos salidas independientes, una de corriente continua y otra de alterna, que se van a utilizar separadamente. No obstante, no se deben mezclar nunca ambas salidas, ya que se puede **DAÑAR SERIAMENTE LA FUENTE**. En caso de mínima duda para identificar los bornes correspondientes a las dos salidas consultad con el profesor.

2. MEDIDAS DE CORRIENTE CONTINUA

- 1) Comprobar el funcionamiento de la fuente de tensión continua midiendo la tensión que suministra. Para ello utilizad la salida de la fuente marcada con el símbolo DC (\equiv), con los bornes negro (-) y rojo (+). Medir con el voltímetro del polímetro el valor de dicha tensión.
- 2) Medir la resistencia con el óhmetro del polímetro. **DESCONECTARLA PREVIAMENTE.**
- 3) Montar el circuito de corriente continua de la figura 6 (utilizando de nuevo la salida DC, es decir, bornes negro y rojo):

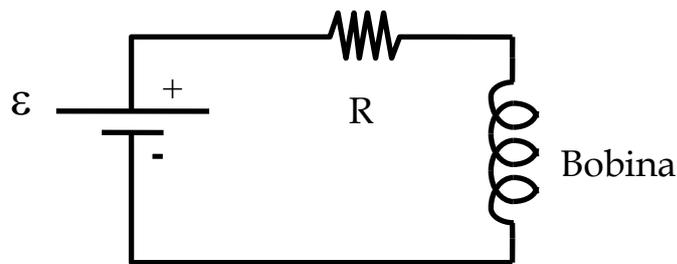


Figura 6

- 3a) Medir la intensidad de la corriente que circula por el circuito (I).
- 3b) Medir la diferencia de potencial (ddp) en los bornes de la fuente (ϵ).
- 3c) Medir la ddp en los bornes de R (V_R).
- 3d) Medir la ddp en los bornes de la bobina (V_B).

Con todo ello:

- a) Comprobar que se verifica: $\epsilon = V_R + V_B$
- b) Calcular el valor de la resistencia R mediante la ley de Ohm: $R = V_R / I$. Comprobar dicho valor midiéndola directamente con el polímetro (DESCONECTARLA PREVIAMENTE para medirla con el óhmetro del polímetro).
- c) Calcular el valor de la resistencia de la bobina R_B ($R_B = V_B / I$). Recordamos que el comportamiento de una bobina en régimen permanente de corriente continua es su resistencia interna, es decir, una bobina en continua se comporta como una resistencia. Comprobar el valor de dicha resistencia midiéndola directamente con el polímetro y anotar su valor (DESCONECTARLA PREVIAMENTE para medirla con el óhmetro del polímetro).

3. MEDIDAS DE CORRIENTE ALTERNA

1) Comprobar el funcionamiento de la fuente de tensión alterna, midiendo y anotando la tensión que suministra. Para ello, utilizad la salida marcada como AC (~), es decir los dos bornes azules. Haced la medida de dicha tensión utilizando el polímetro y el osciloscopio, comparando los valores medidos con ambos aparatos. Tened en cuenta que para la medida con osciloscopio debe utilizarse un cable coaxial. **Deberá conectarse la malla del cable coaxial al borne azul de la fuente marcado con el símbolo de tierra, y el terminal central del coaxial al otro borne azul de la fuente AC.** Para comparar las medidas con ambos aparatos hay que recordar que el polímetro mide un valor promedio, que en el caso de una señal sinusoidal corresponde con el valor eficaz. Es decir, para una señal de la forma: $v(t)=v_0\text{sen}(\omega t+\phi)$, el osciloscopio permite medir la tensión de pico a pico, que vale $2v_0$, y por tanto la amplitud v_0 . El valor eficaz de dicha tensión que mide el polímetro es $v_{0\text{eficaz}}= v_0/\sqrt{2}$. Además, con el osciloscopio se medirá y anotará el valor de la frecuencia (f) de la señal que proporciona la salida AC.

2) Medida del coeficiente de autoinducción L de la bobina

Medida con polímetro:

- 2a) Montar el circuito de corriente alterna de la figura 7, **conectando correctamente el borne de tierra.** Comprobar el valor de tensión de la fuente de alimentación y anotad su valor, $|\varepsilon|$ (esencialmente el mismo medido en el apartado anterior).

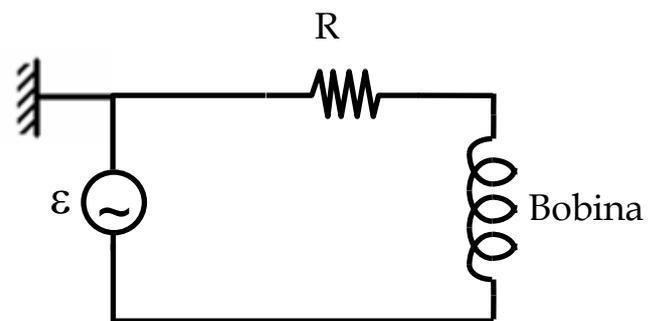


Figura 7

2b) Medir la ddp en los bornes de R ($|V_R|$). Observemos que en régimen de corriente alterna el voltímetro mide el módulo de la tensión correspondiente.

2c) Medir la ddp en los bornes de la bobina $|V_B|$. Observemos que en régimen de corriente alterna el voltímetro mide el módulo de la tensión correspondiente.

Recordad que los valores que se miden con el polímetro (en AC) son eficaces, aunque no es necesario convertir a valores de amplitud para hacer los cálculos posteriores, dado que eso no cambia el valor de las impedancias (los valores de corriente que se obtienen son también eficaces).

La medida de $|V_R|$ permite calcular $|I|$ teniendo en cuenta el valor de R (el cual se ha medido en el apartado anterior) de una forma sencilla: $|I|=|V_R|/R$. Teniendo en cuenta que la impedancia compleja de la bobina es $Z_B=R_B+jL\omega$, la medida de $|V_B|$ permite calcular el módulo de la impedancia compleja de la bobina $|Z_B|$, de la forma $|Z_B|=|V_B|/|I|$. Con este valor, podremos despejar fácilmente el valor de L teniendo en cuenta que $|Z_B|=(R_B^2+(L\omega)^2)^{1/2}$ (R_B la hemos calculado anteriormente, y la frecuencia angular ω viene dada por $\omega=2\pi f$ rad/s).

Medida con osciloscopio:

2d) Medir la diferencia de fase entre ε y V_R en el circuito de la figura 7. La señal de ε la llevaremos al canal I y la de V_R al canal II. Es muy importante llevar cuidado con la conexión de los bornes correspondientes a las mallas de los cables coaxiales, que deben situarse en un punto común, evitando así cortocircuitos. En este caso la única posibilidad es que ese punto común sea la **salida de la fuente marcada con el símbolo de tierra** (ver figura 7). Determinaremos la diferencia de fase Φ entre las dos señales usando el método de la elipse o midiendo el retardo temporal (ver apéndice B).

V_R está en fase con la corriente I ($V_R = IR$) y $\varepsilon = I Z_T$, siendo $Z_T = R + R_B + jL\omega$ la impedancia total del circuito. Por lo tanto, la diferencia de fase entre ε y V_R es el argumento de Z_T , es decir, $\text{tg}\Phi = L\omega / (R + R_B)$. Con el valor medido de Φ y los valores de R , R_B y ω conocidos, se puede despejar el valor de L y comparar con el obtenido a partir de las medidas con el polímetro.

3) Medida de la capacidad del condensador

Medida con polímetro:

3a) Montar el circuito de la figura 8, conectando correctamente el borne de tierra. Comprobar el valor de tensión de la fuente de alimentación (debe ser, dentro del margen de sensibilidad del aparato, el mismo medido en los apartados anteriores, $|\varepsilon|$).

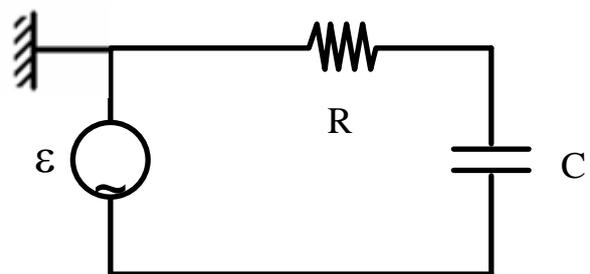


Figura 8

3b) Medir la ddp en los bornes de R ($|V_R|$).

3c) Medir la ddp en los bornes del condensador $|V_C|$.

La medida de $|V_R|$ nos permite calcular el módulo de la intensidad, teniendo en cuenta el valor de R ($|I| = |V_R|/R$). La medida de $|V_C|$ permite calcular el módulo de la impedancia compleja del condensador $|Z_C|$, ya que $|Z_C| = |V_C|/|I|$. Calcularemos por último C recordando que la impedancia del condensador es $Z_C = 1/(jC\omega)$, por lo que $|Z_C| = 1/(C\omega)$.

Medida con osciloscopio:

3d) Mediremos la diferencia de fase Φ entre ε (canal 1) y V_R (canal 2), usando como punto común para las mallas el indicado en la figura 8, **que coincidirá con el borne azul de la salida de tensión alterna marcado con el símbolo de tierra**.

Como V_R está en fase con I , e $I = \varepsilon/Z_T$, con $Z_T = R + 1/(jC\omega)$, la diferencia de fase Φ es el argumento de Z_T , por lo tanto, $\text{tg}\Phi = -1/RC\omega$. Con el valor medido de Φ (en

realidad se mide $|\Phi|$) y los valores de R y ω conocidos, se puede despejar el valor de C y comparar con el obtenido a partir de las medidas con el polímetro.

Las medidas del resto de la práctica las haremos únicamente con el polímetro.

4) Comprobación de la suma vectorial de las tensiones en un circuito serie:

4a) Montar el circuito de la figura 9.

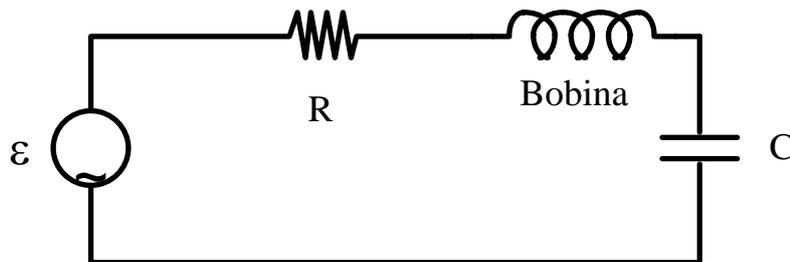


Figura 9

4b) Medir $|V_R|$, $|V_B|$ y $|V_C|$ y la ddp en los bornes del generador, $|\varepsilon|$.

4c) Comprobar que la suma de $|V_R|$, $|V_B|$ y $|V_C|$ no es igual a $|\varepsilon|$.

4d) Calcular los argumentos o desfases de V_R , V_B y V_C respecto a I , a partir de los valores calculados de R_B , L y C en los apartados anteriores. Para ello escoger el origen de fases en la intensidad, es decir, $I = |I| e^{j0}$. Por lo tanto:

$$V_R = |V_R|, V_B = |V_B| e^{j\phi} \text{ con } \phi = \arctg((L\omega)/R_B), V_C = |V_C| e^{-j\pi/2}$$

Calcular la suma de números complejos $V_R + V_B + V_C$. Verificar que se cumple la relación: $\varepsilon = V_R + V_B + V_C$, comparando $|V_R + V_B + V_C|$ con $|\varepsilon|$.

5) Comprobación de la suma vectorial de las corrientes en un circuito paralelo:

5a) Montar el circuito de la figura 10.

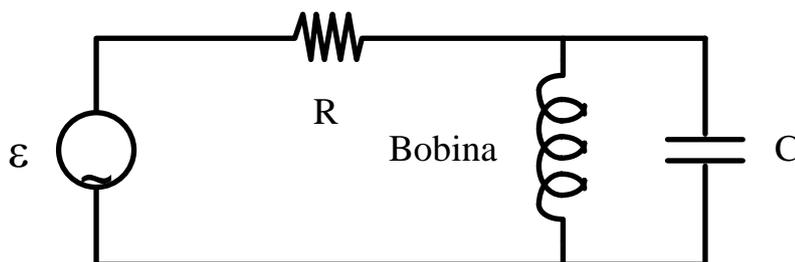


Figura 10

5b) Medir $|I_R|$, $|I_B|$ e $|I_C|$. Verificar que la suma de $|I_B| + |I_C| \neq |I_R|$.

5c) Calcular los argumentos o desfases de $|I_R|$, $|I_B|$ e $|I_C|$ respecto a I_R (tomando $I_R = |I_R| e^{j0}$) a partir de los valores calculados de R_B , L y C , procediendo de forma similar al apartado anterior. Calcular la suma de números complejos $I_B + I_C$. Verificar que se cumple la relación: $I_R = I_B + I_C$, comparando $|I_B + I_C|$ con $|I_R|$.

4. CUESTIONES

Realizar los cálculos y comprobaciones indicados a lo largo del guión.

APÉNDICE A: MANDOS DEL OSCILOSCOPIO

A.1. CONFIGURACIÓN N° 1: REPRESENTACION DE UNA DDP EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

A.1.1 Control del haz de electrones:

POWER = conecta el osciloscopio.
INTENSITY = controla el brillo de la imagen de la pantalla.
FOCUS = enfoca la imagen haciéndola nítida.

A.1.2 Control del eje horizontal:

TIME/DIV = fija la escala del eje horizontal (tiempo/división grande) mediante la selección de la frecuencia de barrido interno. El botón central del conmutador permite un ajuste continuo de la escala del eje X, y sólo en su posición de calibrado (completamente girado a la izquierda o a la derecha, dependiendo del modelo, a veces está indicado al lado del mismo conmutador) la escala de la pantalla es la indicada en el selector TIME/DIV.

X-POS. = controla la posición del eje horizontal, sirviendo para centrar la imagen.

X- MAG. = permite ampliar la escala horizontal en un factor 10.

A.1.3 Control del disparo del barrido interno (TRIGGER):

AT/NORM. = En la posición AT (sin pulsar) realiza el control de disparo de barrido en modo automático, mientras que en la posición NORM. (pulsado) permite controlar el nivel de trigger manualmente.

LEVEL = fija el valor de la tensión de entrada con el que se inicia (o se dispara) el trazado de la misma en la pantalla. Con ello se consigue que trazados sucesivos se superpongan al iniciarse siempre en el mismo punto, dando así una imagen inmóvil en la pantalla. La imagen resulta inestable cuando este mando está desajustado. Este mando sólo actúa en modo NORM.

+/- = determina el que el inicio del trazado de la curva se realice con pendiente positiva o negativa respectivamente.

EXT = Sin pulsar conecta el disparo del barrido interno, y pulsado permite la sincronización del barrido con una señal exterior, que deberá conectarse en la entrada TRIG. INP.

A.1.4 Control de los canales de entrada (eje vertical):

El osciloscopio de esta práctica tiene dos canales de entrada (CH I y CH II), lo que significa que pueden representarse simultáneamente dos tensiones distintas en función del tiempo. Cada uno dispone de un conector para cable coaxial tipo BNC, señalado con la palabra VERT. INP., que se utiliza para conectar la tensión que se desee representar gráficamente en la pantalla. Es **MUY IMPORTANTE** observar que uno de los bornes de cada una de las entradas es tierra (conectada a la malla exterior del cable coaxial), y que por tanto dicho borne sólo puede conectarse a la tierra de los circuitos en los que se miden tensiones. Cada canal de entrada se controla esencialmente con tres mandos:

Y-POS.= controla la posición del origen del eje vertical, desplazando la imagen verticalmente.

VOLTS/DIV = fija la escala del eje vertical en voltios por división grande. El botón central del conmutador permite un ajuste continuo de la escala del eje Y, y sólo en su posición de calibrado (completamente girado a la izquierda o a la derecha, dependiendo del modelo. La posición de calibrado viene indicada en el panel frontal del aparato) la escala de la pantalla es la indicada en el selector.

AC-GD-DC = conmutador de tres posiciones: filtra la señal de entrada quitando la componente de corriente continua (AC), es decir, representa la señal variable con el tiempo eliminando cualquier componente de continua; conecta el canal a tierra con independencia de la tensión que esté aplicada al borne de entrada (GD), por lo que en la pantalla aparece una recta horizontal (barrido) que podremos desplazar hacia arriba o hacia abajo, fijando así el origen de potenciales; no filtra la señal de entrada (DC), incluyendo también la componente de corriente continua que ésta pueda tener.

El conmutador CHI/II permite seleccionar qué canal se representa en la pantalla, mientras que el conmutador DUAL permite representar ambos canales simultáneamente. ADD representa la suma de las señales de los dos canales.

A.2. CONFIGURACION N°2: REPRESENTACION DE UNA DDP (CH I) EN FUNCION DE OTRA DDP (CH II)

El conmutador X-Y desconecta el barrido interno, y conecta el eje horizontal al canal de entrada CH II. Con ello los mandos de este canal pasan a controlar el eje X (salvo la posición horizontal, que se controla con el mando X-POS., ver A.1.2) y la

pantalla se convierte en el plano XY: eje Y= canal CH I y eje X= canal CH II (siempre que el conmutador CHI/II esté sin apretar. En caso de que esté apretado los ejes estarán invertidos).

APÉNDICE B: MEDIDA DE DESFASES CON EL OSCILOSCOPIO

Dadas dos señales sinusoidales:

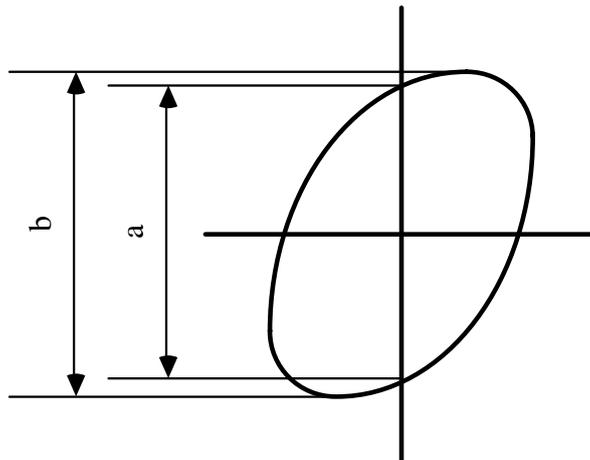
$$V_1 = V_{10} \text{ sen}(\omega t + \Phi_1)$$

$$V_2 = V_{20} \text{ sen}(\omega t + \Phi_2)$$

la medida del desfase entre ambas señales $\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ puede realizarse mediante la función XY de un osciloscopio. Previa conexión de V_1 y V_2 a los bornes de entrada de los canales A y B, la función XY configura el osciloscopio de tal modo que en la pantalla se obtiene la gráfica V_1 en función de V_2 .

La gráfica V_1 en función de V_2 es una elipse, a partir de la cual puede medirse el módulo del desfase $|\Phi|$ mediante la relación:

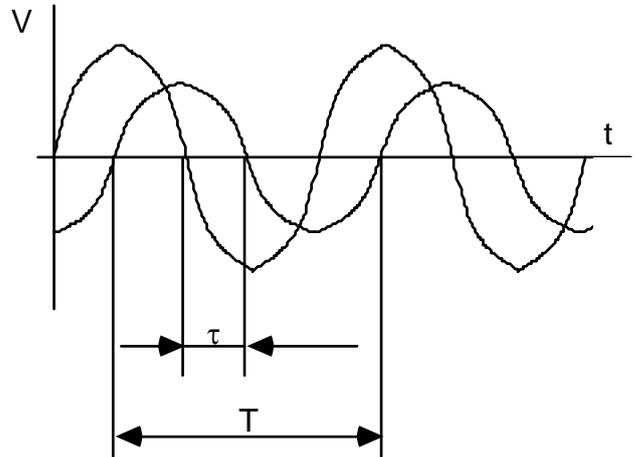
$$\text{sen } |\Phi| = \frac{a}{b}$$



El valor de b se puede medir desplazando la posición horizontal (X-POS.) para poder ver mejor las tangentes con el eje vertical. Sin embargo, observar que para medir el valor de "a", la elipse debe estar bien centrada ya que dicho valor queda determinado por los cortes con el eje vertical. Para centrar perfectamente la elipse podemos usar el conmutador AC-GD-DC. Pondremos el conmutador en posición GD en los dos canales. Esto equivale a desconectar las dos señales, con lo que observaremos un punto en la pantalla. Este punto lo centraremos con los mandos que nos permiten desplazar la señal de la pantalla (X-POS. para el eje horizontal, e Y-POS. para el eje vertical). A continuación volveremos a la posición inicial con lo que tendremos la elipse centrada. El cociente a/b determina el módulo de Φ , y su signo debe deducirse o bien por consideraciones físicas o bien por otras medidas distintas.

APÉNDICE D: MEDIDA DEL RETARDO TEMPORAL

La medida del retardo τ entre dos sinusoides, tal como indica la figura



permite determinar el desfase entre dos señales sinusoidales:

$$V_1 = V_{10} \text{ sen}(\omega t + \Phi_1)$$

$$V_2 = V_{20} \text{ sen}(\omega t + \Phi_2)$$

El desfase entre ambas señales $\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ viene dado por $\Phi = (2\pi\tau)/T$ (salvo un múltiplo de 2π), es decir, si medimos τ y T podremos calcular fácilmente el desfase Φ .

Inicialmente medimos las resistencias que utilizaremos en la práctica, así como las dimensiones de la bobina.

$$R = 2710 \pm 30 \Omega \quad (\text{medido con multímetro})$$

$$R_n = 2700 \pm 140 \Omega \quad (\text{según código de colores})$$

Como vemos, los valores son compatibles.

Bobina

$$N = 23.000$$

Dimensiones:

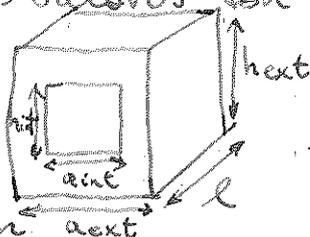
$$l = 72 \pm 1 \text{ mm}$$

$$a_{int} = 41 \pm 1 \text{ mm}$$

$$a_{ext} = 75 \pm 3 \text{ mm}$$

$$f_{int} = 42 \pm 1 \text{ mm}$$

$$h_{ext} = 75 \pm 3 \text{ mm}$$



Resistencia:

$$\rightarrow R_B = 11500 \pm 200 \Omega \quad (\text{oscilación considerable})$$

A partir de estos valores podemos estimar el orden de la autoinducción L mediante:

$$L \approx \mu_0 N^2 S / l \quad (\text{despreciando efecto de bordes})$$

Se obtiene, tomando $a_{med} = (a_{ext} + a_{int})/2$, h_{med} y error $\frac{a_{ext} - a_{int}}{2}$

$$L_m = 31 \pm 13 \text{ H}, \quad \text{que es una estimación del orden de magnitud de } L.$$

2. CONTINUA

1) Comprobamos el funcionamiento de la fuente de tensión continua midiendo la tensión que suministra con el polímetro: (error del 1%)

$$E = 15,08 \pm 0,15 \text{ V}$$

2) La resistencia ha sido medida anteriormente ($R = 2710 \pm 30 \Omega$)

3) Montamos el circuito RL (figura 6) con salida de fuente DC, y medimos la ddp en la fuente (E), la ddp. en la resistencia V_R , en la bobina V_B y la intensidad que circula por el circuito I . (3a, b, c, d).

$$E = 15,09 \pm 0,15 \text{ V} \quad (\text{compatible con (valor anterior)})$$

$$I = 1,037 \pm 0,020 \text{ mA}$$

$$V_R = 2,81 \pm 0,03 \text{ V}$$

$$V_B = 12,27 \pm 0,12 \text{ V}$$

2a) Comprobamos:

$$E' = V_R + V_B = \underline{15,08 \pm 0,13 V}$$

$$\leftrightarrow E = \underline{15,09 \pm 0,15 V}$$

Los valores coinciden $(E' \approx E)$ con gran precisión (desviación relativa del 0,07%), dada la precisión del multímetro, con pocas desviaciones aleatorias y efecto de carga muy pequeño.

$$b) R' = \frac{V_R}{I} = \underline{2710 \pm 40 \Omega} \quad \leftrightarrow \quad R = \underline{2710 \pm 30 \Omega}$$

De nuevo, los valores $(R \approx R')$ coinciden plenamente. Como son medidas que provienen del mismo aparato, el margen de error $\approx 1\%$ previene posibles desviaciones sistemáticas, pero la comparación entre medidas distintas con el mismo aparato tienen muy poca dispersión.

$$c) R_B' = \frac{V_B}{I} = \underline{11800 \pm 170 \Omega} \quad \leftrightarrow \quad R_B = \underline{11500 \pm 200 \Omega}$$

Los dos valores $(R_B' \approx R_B)$ solapan sus bandas de error, por lo que son compatibles. La desviación en este caso es algo mayor (2,6%), lo que concuerda con el mayor error asignado a R_B , cuyo valor cobijaba en el ohmetro considerablemente (por lo que asignamos un error mayor del 1%, analizando el intervalo de variación). Esta variación se debe probablemente a la gran autoinducción en la bobina al conectar el ohmetro, con lo que tarda mucho en estabilizarse. En la siguiente sesión mediremos con más tiempo R_B y obtenemos: $R_B = 11,74 \pm 0,12 k\Omega = \underline{11740 \pm 120}$ que se acerca más al valor R_B' .

Por tanto, se han realizado las comprobaciones oportunas para el circuito R_L en corriente continua (la bobina actúa como una resistencia R_B más, no hay efectos de inducción) con unas desviaciones pequeñas que quedan englobadas dentro del margen de incertidumbre experimental.

3. ALTERNA

1) Caracterización de la fuente:

Utilizamos ahora la fuente de tensión alterna (barras azules) AC. Realizamos la medida de la amplitud V_{0ac} de la señal mediante el multímetro y el osciloscopio. El primero proporciona un valor eficaz $V_{0ef} = V_0/\sqrt{2}$, y con el segundo es útil medir la amplitud de pico a pico ($2V_{0ac}$). Con el osciloscopio también medimos la frecuencia de la señal armónica (periodo $T = 1/f$).

$$V_{0ef} = 7,12 \pm 0,07 V \quad \Rightarrow \quad V_{0m} = \underline{10,07 \pm 0,10 V}$$

$$2V_{0osc} = 20 \pm 1 V \quad \Rightarrow \quad V_{0osc} = \underline{10,0 \pm 0,5 V}$$

$$T = 6,7 \pm 0,2 ms \quad \Rightarrow \quad f = \underline{149 \pm 4 Hz}$$

Por tanto, el valor con multímetro V_{0m} es compatible con V_{0osc} (osciloscopio) como era de esperar, siendo la desviación (0,7%) menor que el error (solapan sus bandas de error).

2) L de la bobina

Poténcmetro

2a) Montamos el circuito RL en alterna, y medimos $|E_{ef}| = V_{oef}$

$$V_{oef} = 7,09 \pm 0,07 \rightarrow \text{Valor compatible con el anterior.}$$

2b) Medimos las d.d.p. en los distintos elementos del circuito, así como la intensidad que circula por él:

$$V_{R_{ef}} = 0,782 \pm 0,008 V \rightarrow \text{los valores medidos con multímetro en alterna son valores eficaces}$$

$$V_{B_{ef}} = 6,66 \pm 0,07 V$$

$$X_{ef} = \frac{X_0}{\sqrt{2}} \quad (X_0 \equiv \text{amplitud})$$

$$I_{ef} = 0,288 \pm 0,003 \text{ mA}$$

(Se observa mayor caída de potencial en la bobina, con mayor impedancia a ω_{ef})

Comprobamos que $I'_{ef} = \frac{V_{B_{ef}}}{R} \stackrel{?}{=} I_{ef}$ (usando R medido):

$$I'_{ef} = 0,289 \pm 0,004 \text{ mA} \rightarrow \text{Valor compatible con } I_{ef} \checkmark.$$

El módulo de la impedancia compleja de la bobina es:

$$|Z_B'| = \frac{V_{B_{ef}}}{I_{ef}} \quad \text{o comparar con } |Z_B| = (R_B^2 + L^2 \omega^2)^{1/2} \rightarrow (\text{usando } R_B, f \text{ medidos antes})$$

$$\text{Lo de aquí despejaremos } L = \left(\frac{|Z_B'|^2 - R_B^2}{(2\pi f)^2} \right)^{1/2}$$

$$|Z_B'| = 23,1 \pm 0,4 \Omega = 23100 \pm 400 \Omega > R \checkmark, \text{ como habíamos razonado a partir de las caídas de potencial.}$$

$$\hookrightarrow L = 21,1 \pm 0,7 \text{ H}$$

Valor que es comparable al estimado según las dimensiones de la bobina: $L_m = 31 \pm 13 \text{ H}$ (solapan sus barras de error). El valor más fiable es el de $21,1 \pm 0,7 \text{ H}$, con menor error relativo, ya que en L_m es complicado determinar la sección media de la bobina.

Osciloscopio

2d) Con el modo x-y es posible medir el desfase entre E y V_R , o bien con la medida del retardo temporal (que además nos da información sobre el signo). Medimos el retardo τ :

$$\tau = 1,00 \pm 0,04 \text{ ms} \quad (V_R \text{ adelantado a } E) \rightarrow \frac{E}{V_R}$$

$$2V_{Ro} = 2,00 \pm 0,10 V$$

$\hookrightarrow V_{R_{ef}} = 0,71 \pm 0,04 V$ (este valor se desvía sensiblemente del obtenido anteriormente, aunque es consistente pues está a menos de dos barras de error. Es más preciso el valor con multímetro). $\rightarrow \approx 10\%$

Conectando E al canal I y V_R al II en el modo x-y, medimos a y b con el método de la elipse:

$$a = 16 \pm 1V$$

$$b = 20 \pm 1V$$

Con el método del retardo: $|\Phi_r| = \frac{2\pi \cdot \tau}{T}$

$$|\Phi_r| = 0,24 \pm 0,05$$

Con la elipse: $|\Phi_e| = a \sin\left(\frac{a}{b}\right)$

$$|\Phi_e| = 0,93 \pm 0,05$$

→ Valores plenamente consistentes mediante los dos métodos.

Diferencia de fase entre E y V_R : $\Phi = \varphi_E - \varphi_{V_R}$

Si elegimos como origen de fases la fuente ($\varphi_E = 0$) → $\Phi = -\varphi_{V_R}$.
Como V_R se adelanta a E, $\varphi_{V_R} < 0$

Por tanto, el signo de Φ es positivo.

Con el valor medido de Φ , f, R y R_B podemos obtener de nuevo L despejando de:

$$\text{tg } \Phi = \omega L / (R + R_B) \quad (\text{desfase teórico entre E y } V_R)$$

↳ signo correcto + ✓.

$$L = \frac{\text{tg}(\Phi) \cdot (R + R_B)}{2\pi f} = 21 \pm 2 \text{ mH}$$

Este valor es totalmente compatible con el obtenido con el multímetro: $L = 21,2 \pm 0,7 \text{ mH}$, con lo que verificamos la equivalencia de ambos métodos para determinar con bastante fiabilidad el valor de L.

3) C del condensador
Montamos el circuito RC (figura 8) en alterna.

Polímetro

3a) b) c)

Medimos de nuevo las d.d.p y la intensidad en el circuito:

$$V_{oef} = 7,07 \pm 0,07 V \quad (\text{compatible con los anteriores})$$

$$V_{Rof} = 6,84 \pm 0,07 V$$

$$V_{cef} = 1,79 \pm 0,02 V \quad (\text{d.d.p. en los bornes del condensador})$$

$$I_{ef} = 2,51 \pm 0,03 \text{ mA}$$

Se observa una mayor caída de potencial en la resistencia.

Si calculamos $I'_{ef} = V_{Rof} / R$:

$$I'_{ef} = 2,52 \pm 0,04 \text{ mA} \rightarrow \text{compatible con la medida directa.}$$

(mayor impedancia que C)

Si calculamos $|Z_c'| = |V_c| / |I_c| = V_{c0} / I_{c0}$

$|Z_c'| = 0,713 \pm 0,010 k\Omega = 713 \pm 10 \Omega < R_V$, como habíamos razonado a partir de las caídas de potencial.

Teóricamente, $|Z_c| = 1 / (\omega 2\pi f C)$, de donde despejamos C:

$$C = \frac{1}{2\pi f |Z_c'|} = 1,50 \pm 0,05 \mu F$$

Osciloscopio:

3d) Medimos la diferencia de fase entre ε y V_R con los dos métodos (ε en canal 1 y V_R en canal 2)

$$Z = 0,30 \pm 0,05 \text{ ms } (V_R \text{ retrasado de } \varepsilon) - \frac{V_R}{\varepsilon}$$

$$2V_R = 18 \pm 1 \text{ V} \rightarrow V_{R0} = 6,4 \pm 0,4 \text{ V} \text{ (compatible con la medida con multímetro)}$$

Como V_R está retrasado, el signo de Φ será negativo, a diferencia del caso anterior. Esto se confirma con el Φ teórico:

$$\tan \Phi_{\text{teo}} = -\frac{1}{RC\omega} < 0 \checkmark$$

Con el método de la elipse:

$$a = 5,0 \pm 0,2 \text{ V}$$

$$b = 20 \pm 1 \text{ V}$$

$$\rightarrow \Phi_r = -0,28 \pm 0,05$$

$$\Phi_e = -0,25 \pm 0,05$$

→ Valores compatibles

De la fórmula teórica despejamos $C = -(\tan \Phi R 2\pi f)^{-1}$

$$C_r = 1,4 \pm 0,3 \mu F$$

$$C_e = 1,5 \pm 0,3 \mu F \checkmark$$

Estos valores son compatibles con el obtenido a partir de las medidas con el multímetro, aunque el error relativo es bastante mayor porque las medidas en el osciloscopio a ojo conllevan más imprecisión (menor sensibilidad) que el 1% asignado al multímetro.

4) Circuito RLC serie. Medidas con polímetro. Comprobación de la suma vectorial.

4a) Montamos el circuito (figura 3) con la fuente en alterna.

4b) Medimos la d.d.p en todos los componentes del circuito, así como la intensidad que circula:

$$I_{ef} = 0,292 \pm 0,003 \text{ mA}$$

$$V_{0ef} = 7,02 \pm 0,07 \text{ V} \quad (\text{algo menor que en otros casos, pero compatible}) \\ \text{indicador de que el generador es no ideal}$$

$$V_{Rf} = 0,794 \pm 0,008 \text{ V}$$

$$V_{Bf} = 6,75 \pm 0,07 \text{ V}$$

$$V_{Cf} = 0,211 \pm 0,002 \text{ V}$$

4c)

$$V_{0ef} = 7,02 \pm 0,07 \text{ V}$$

$$(V_R + V_B + V_C)_{ef} = 7,75 \pm 0,07 \text{ V}$$

Lo por tanto, se comprueba que los valores no son iguales (compatibles). La desviación relativa es del 3%, un error mucho mayor que la incertidumbre experimental, con lo que concluimos que no se cumple la igualdad al tratarse de números complejos. De hecho, se verifica la ley matemática (desigualdad de Schwarz):

$$|\tilde{V}_R + \tilde{V}_B + \tilde{V}_C| = |\tilde{V}_0| \leq |\tilde{V}_R| + |\tilde{V}_B| + |\tilde{V}_C|$$

4d)

A partir de R, L y C calculamos los argumentos de las d.d.p. (desfase respecto al origen de fases $\tilde{I} = I e^{j\omega t}$).

$$\hookrightarrow V_R \in \mathbb{R} \rightarrow \phi = 0 \rightarrow \tilde{V}_R = V_R \cdot e^{j0}$$

$$\tilde{V}_B = |V_B| \cdot e^{j\phi_B} \rightarrow \phi_B = \arctg\left(\frac{\omega L}{R_B}\right) = 1,03 \pm 0,02$$

$$\tilde{V}_C = |V_C| e^{-j\pi/2}$$

$$\rightarrow \tilde{V}_R + \tilde{V}_C + \tilde{V}_B = |V_R| + |V_B| \cos \phi_B + i (|V_B| \sin \phi_B - |V_C|) \\ = (4,25 \pm 0,13) + i \cdot (5,58 \pm 0,09) \quad [\text{V}]$$

$$\text{donde } |V_B| \cos \phi_B = 3,46 \pm 0,12 \quad [\text{V}]$$

$$|V_B| \sin \phi_B = 5,80 \pm 0,09 \quad [\text{V}]$$

$$\Rightarrow |\tilde{V}_R + \tilde{V}_C + \tilde{V}_B|_{ef} = |z| = (\text{Re}\{z\}^2 + \text{Im}\{z\}^2)^{1/2} = |E|_{ef} = 7,02 \pm 0,07 \text{ V}$$

que tiene una desviación mínima (0,02%) respecto a $E_{ef} = V_{0ef}$, con lo que se verifica con gran precisión la suma vectorial de tensiones.

Por tanto, podemos calcular el desfase de E respecto a I :

$$\tilde{E} = |E| e^{j\phi_e}$$

$$\hookrightarrow \underline{\phi_e} = \arctan\left(\frac{\text{Im}\{z\}}{\text{Re}\{z\}}\right) = \underline{0,920 \pm 0,016}$$

5) Circuito RLC paralelo. Comprobación de la suma vectorial de corrientes.

5a) Montamos el circuito (Figura 10)

5b) Medimos las intensidades en cada rama del circuito, así como las d.d.p (por completitud):

$$I_{Rf} = 2,48 \pm 0,02 \text{ mA} \quad 2,50$$

$$I_{Bf} = 0,0770 \pm 0,0008 \text{ mA} \quad 0,0781$$

$$I_{Cf} = 2,52 \pm 0,03 \text{ mA} \quad 2,56$$

$$V_{oef} = 7,03 \pm 0,07 \text{ V}$$

$$V_{Rf} = 6,74 \pm 0,07 \text{ V}$$

$$V_{Bf} = 1,825 \pm 0,018 \text{ V}$$

$$V_{Cf} = 1,817 \pm 0,018 \text{ V}$$

Comprobamos que $|I_{Rf}| + |I_{Bf}| + |I_{Cf}| = 2,60 \pm 0,03 \text{ mA} > 2,52 \pm 0,03 \text{ mA}$

De nuevo se cumple la desigualdad triangular, con una desviación relativa del 5%, mayor que el margen de error experimental.

Analizamos el circuito con el tratamiento de números complejos:

En la división paralela de R-C se cumple la d.d.p por cada rama:

$$\tilde{I}_C \cdot Z_C = \tilde{I}_B \cdot Z_B = \tilde{I}_R \cdot Z_{eq} \quad \text{donde } Z_{eq} = \frac{Z_C \cdot Z_B}{Z_C + Z_B}$$

Si elegimos origen de fases $\tilde{I}_R = I_R \cdot e^{j0}$:

$$\hookrightarrow \tilde{I}_B = I_R \cdot \frac{Z_C}{Z_C + Z_B} = I_R \frac{1/j\omega C}{j\omega L + R_B + 1/j\omega C} = I_R \cdot \frac{1 - \omega^2 LC + j\omega R_B C}{1 - \omega^2 LC + j\omega R_B C}$$

$$\begin{aligned} \hookrightarrow \tilde{I}_C &= I_R \frac{Z_B}{Z_C + Z_B} = I_R \cdot \frac{j\omega L + R_B}{j\omega L + R_B + 1/j\omega C} = I_R \frac{(j\omega L + R_B)(R_B + j(\frac{1}{\omega C} - \omega L))}{(\omega L - \frac{1}{\omega C})^2 + R_B^2} \\ &= \frac{I_R}{k} \cdot \left(R_B^2 + \omega^2 L^2 - \frac{L}{C} + j \frac{R_B}{\omega C} \right) \end{aligned}$$

De lo que se deduce:

$$\Phi_B = - \arctg \left(\frac{R_B C \omega}{1 - L C \omega^2} \right)$$

$$\Phi_C = \arctg \left(\frac{R_B / C \omega}{R_B^2 + L^2 \omega^2 - \frac{L}{C}} \right)$$

Substituyendo los valores R_B , ω , L y C de los apartados anteriores se obtiene:

$$\Phi_B = -2,59 \pm 0,04$$

(teniendo en cuenta que hay un π pues el número complejo está en el tercer cuadrante y la atangente en la calculadora tiene esa indeterminación)

$$\Phi_C = 0,0162 \pm 0,0011$$

Y sumando los números complejos con su fase: (valores eficaces)

$$\tilde{I}_B = -0,0655 \pm 0,0018 + i(-0,041 \pm 0,003) \quad [\text{mA}]$$

$$\tilde{I}_C = 2,52 \pm 0,03 + i(0,041 \pm 0,003) \quad [\text{mA}]$$

Por tanto: (en valores eficaces)

$$\tilde{I}_R = \tilde{I}_B + \tilde{I}_C = 2,45 \pm 0,03 + i(0,000 \pm 0,004) \quad [\text{mA}]$$

$$\tilde{I}_R = 2,48 \pm 0,02 \text{ mA} \checkmark$$

En efecto se cancela la parte compleja pues hemos elegido origen de fases en \tilde{I}_R , y el módulo:

$$|\tilde{I}_R| = 2,45 \pm 0,03 \text{ mA}$$

que es compatible (solapa bases de error) con $I_{R,ef}$, con una desviación del 1% que concuerda con el margen de error experimental de los aparatos de medida.

En conclusión tanto en corriente continua como en alterna (conducción) hemos verificado las leyes fundamentales de la electricidad como la ley de Ohm y su variante con números complejos, y hemos caracterizado adecuadamente los componentes del circuito dentro de los márgenes de incertidumbre experimentales con éxito.