

Electrotecnia y Electrónica (34519)  
Grado de Ingeniería Química

**Práctica 2. Circuitos con bobinas y  
condensadores en CC y CA**



Francisco Andrés Candelas Herías

Con la colaboración de Alberto Seva Follana

Grupo de **I**nnovación **E**ducativa en **A**utomática



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. Objetivos

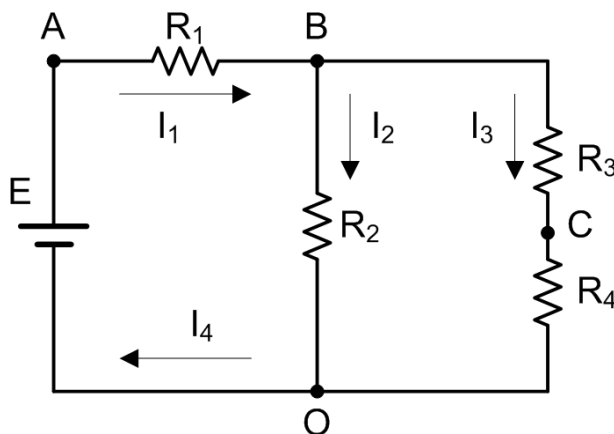
- Aprender a medir intensidades y tensiones.
- Utilizar el osciloscopio para medir señales y ondas.
- Montar circuitos en una placa de prototipos.
- Comprobar experimentalmente cómo se comportan las bobinas y los condensadores en CC.
- Analizar el comportamiento de circuitos con elementos pasivos en corriente alterna.

## 2. Experimentos a realizar

El alumno debe realizar los experimentos que se describen a continuación, completando la hoja que entregará el profesor con los cálculos y resultados solicitados.

### 2.1. Experimento 1: Circuito con mallas de resistencias

Considerar el siguiente circuito con resistencias, donde la tensión de la fuente de alimentación se determinará como  $E = 0,5 \cdot N + 4,5V$ , siendo  $N$  el número de puesto usado por el alumno, de 1 a 15.



$$R_1 = 1K\Omega$$

$$R_2 = 10K$$

$$R_3 = 4K7 = 4,7K\Omega$$

$$R_4 = 470\Omega$$

Con este experimento se trata de determinar las distintas intensidades de corriente y diferencias de potencial, primero mediante cálculos y luego mediante medidas sobre el circuito real, para comparar los resultados. En concreto, hay que determinar estos valores:

Corrientes:  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e  $I_4$ .

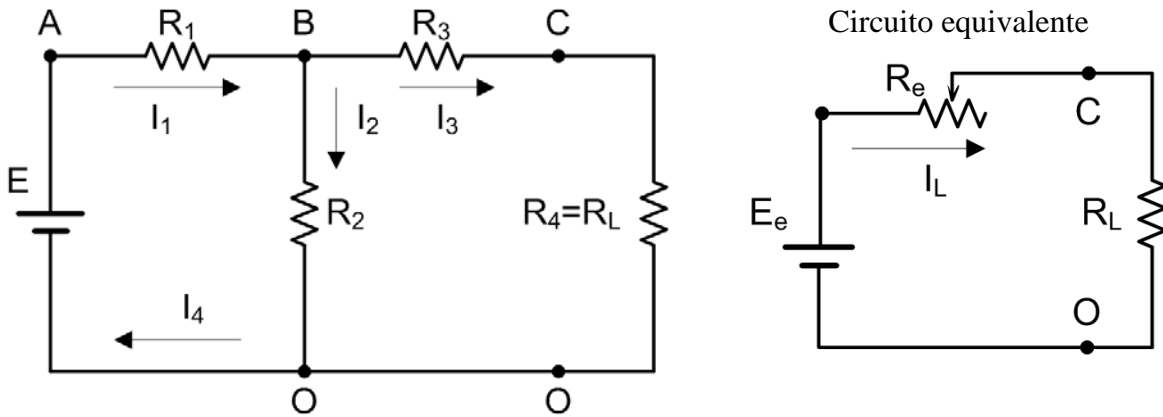
Diferencias de potencial o tensiones:  $E = V_{AO}$ ,  $V_{R1} = V_{AB}$ ,  $V_{R2} = V_{BO}$ ,  $V_{R3} = V_{BC}$  y  $V_{R4} = V_{CO}$ .

Para determinar los valores de las intensidades y diferencias de potencial mediante cálculos se puede utilizar las leyes de Kirchoff y el método de mallas, como se ha visto en las clases de teoría y de problemas. Es decir, se pueden plantear las ecuaciones que determinan que la suma de las fuerzas electromotrices de una malla es igual a la suma de las diferencias de potencial en las resistencias:

$$E_1 + E_2 + E_3 + \dots = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 + \dots$$

### 2.2. Experimento 2: Circuito equivalente de Thevenin

Considérese que el circuito con resistencias del experimento anterior, la resistencia  $R_4$  es una carga conectada a un circuito del que se desea hallar el equivalente de Thevenin. Es decir, se desea determinar la resistencia equivalente  $R_e$  y la fuente de alimentación equivalente  $E_e$  para el circuito que hay entre los puntos  $C$  y  $O$ , como muestra la siguiente figura. Los valores de las resistencias y de la fuente de alimentación  $E$  son los mismos que en el experimento 1.



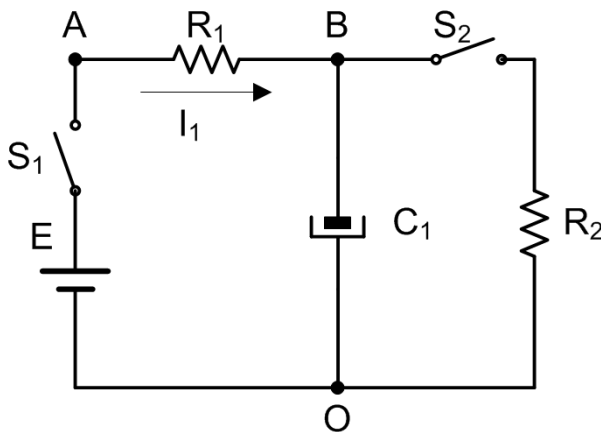
En la figura, la resistencia  $R_e$  se ha representado como una resistencia ajustable, porque se usará una resistencia de este tipo para montar el circuito equivalente, que se ajustará al valor adecuado.

Este experimento consiste en determinar los valores para el circuito equivalente de Thevenin, es decir  $R_e$  y  $E_e$ , tanto mediante cálculos como de forma experimental para comparar los resultados. Recuérdese que las reglas para determinar esos valores son:

- Resistencia de Thevenin ( $R_e$ ): Se quita  $R_L$ , se sustituyen las fuentes por un conductor, y se calcula la resistencia entre los bornes de  $R_L$  (C y O).
- Tensión de Thevenin ( $E_e$ ): Se quita  $R_L$ , y se calcula la tensión entre los bornes de  $R_L$  (C y O).

### 2.3. Experimento 3: Carga de un condensador en un circuito RC

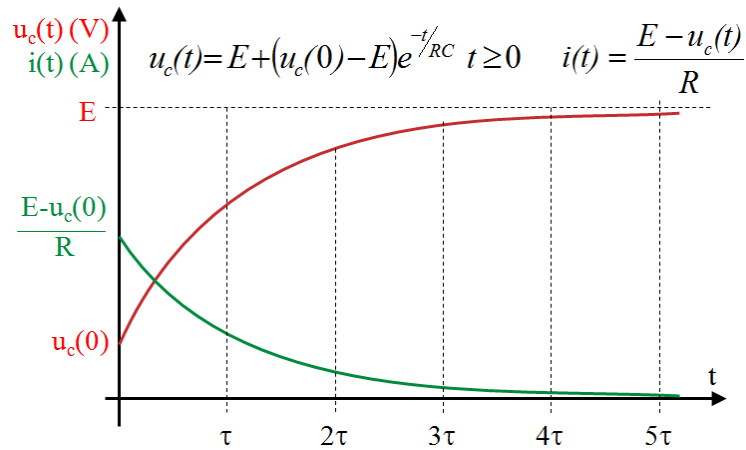
Con este experimento se comprobará experimentalmente el proceso de carga de un condensador en CC mediante el siguiente circuito. Los interruptores  $S_1$  y  $S_2$  no se montarán prácticamente.  $S_1$  se ha dibujado para representar, cuando está cerrado, que se conecta la fuente de alimentación al circuito.  $S_2$  representa un puente que se puede realizar para descargar el condensador a través de  $R_2$ . Cabe mencionar que es conveniente usar una resistencia de bajo valor, como es el caso de  $R_2$ , para descargar un condensador, antes que cortocircuitar directamente los polos del condensador.



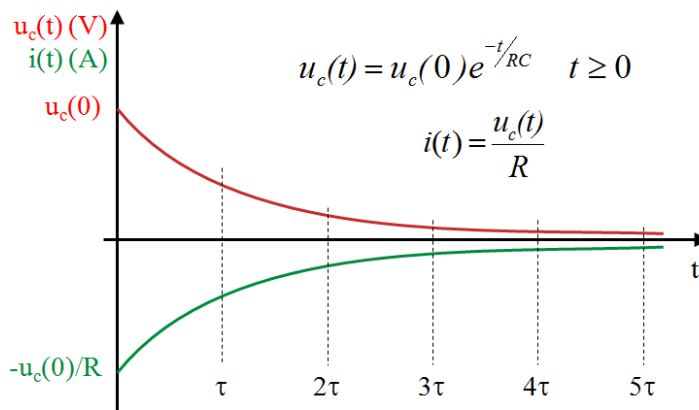
- $R_1 = 10K\Omega$
- $R_2 = 470\Omega$
- $C_1 = 100\mu F / 25V$
- $E = 10V$
- $S_1, S_2$ : cables

Hay que recordar que el tiempo que dura la carga y descarga de un condensador a través de una resistencia depende de la constante de tiempo  $\tau = R \cdot C$ , siendo R la resistencia que hay en serie con el condensador en el proceso de carga o descarga. Las evoluciones de la tensión en el condensador y de la corriente que por él circula siguen una expresión exponencial, dependiente de la de la constante de tiempo, como representan las siguientes gráficas.

- Proceso de carga en un circuito RC en CC

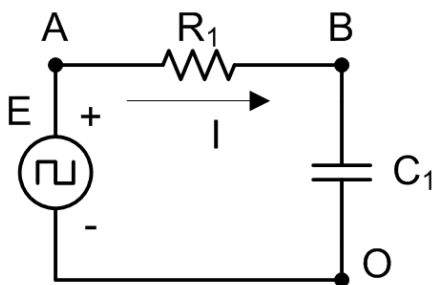


- Proceso de descarga en un circuito RC en CC

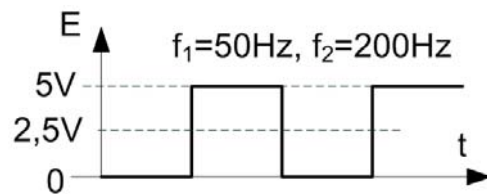


### 2.4. Experimento 4. Aplicación de una onda cuadrada a un circuito RC.

Este último experimento se basará en el circuito mostrado a continuación, donde la fuente de alimentación es un generador de onda cuadrada. La señal cuadrada es una onda de 5V de amplitud, cuyo valor inferior es 0V, es decir, la amplitud varía entre 0 a 5V.



$$R_2 = 4K7 = 4,7K\Omega \quad C_2 = 330nF$$



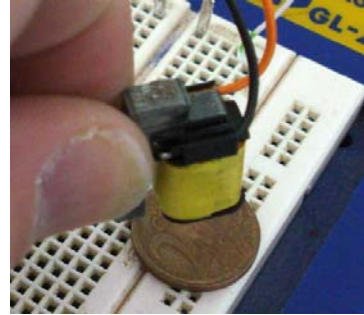
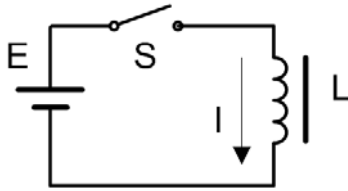
Con este experimento se comprobará el efecto que tiene aplicar una señal cuadrada de diferentes frecuencias a un circuito RC, observando cómo evoluciona la tensión del condensador mediante el osciloscopio.

### 2.5. Experimento 5: Electroimán

Este sencillo experimento consiste en comprobar el funcionamiento de una bobina con núcleo férreo utilizada como electroimán. Primero se debe configurar la fuente de alimentación para una tensión de salida  $E=5V$ , y con una corriente límite de  $0A$ . Después se conectará la bobina a la fuente, usando para ello la placa de prototipos. Mientras un alumno sostiene la bobina sobre una moneda a una distancia

aproximada de 0,5cm, otro alumno irá incrementando la corriente límite de la fuente hasta que la moneda sea atraída por el electroimán. Se determinará así la corriente necesaria para que se produzca la atracción, y la tensión a la que funciona la bobina.

Para el experimento se debe utilizar una moneda de 1, 2 o 5 céntimos de euro, ya que estas monedas están hechas de acero recubierto de cobre. Las otras monedas no son atraídas ya que están hechas de aleaciones no férricas basadas en materiales como cobre, níquel o latón.

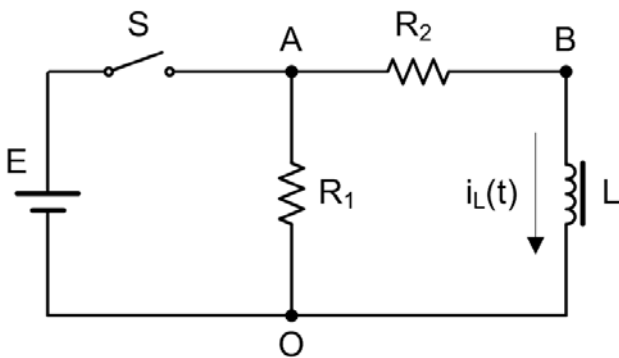


### 2.6. Experimento 6: Carga y descarga de una bobina en CC

Con este experimento se comprobará experimentalmente los procesos de carga y descarga de una bobina mediante el siguiente circuito, que se alimentará con la fuente de alimentación configurada para una salida de tensión de 5V, y una corriente limitada a 20mA.

Al cerrar el interruptor S (conectar cable en el circuito), la bobina L se cargará a través de R<sub>2</sub> hasta alcanzar una I<sub>Lmáx</sub> de 5mA. La resistencia R<sub>1</sub> no afecta al proceso de carga. La tensión de la bobina (V<sub>BO</sub>) evolucionará desde 5V hasta 0V, y al final de la carga la bobina actuará como un cortocircuito.

Cuando S se abre (desconectar el cable), la bobina L se descarga a través de R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>, que quedan en serie, partiendo de una corriente inicial I<sub>Lmáx</sub> de 5mA. En la descarga, la tensión que hay entre los bornes de R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> evolucionará desde V<sub>BOd</sub> = -10V a 0V.



E = 5V

R<sub>1</sub> = 1KΩ

R<sub>2</sub> = 1KΩ

L = 47mF /  
22mA

S: cable

$$I_{Lmax} = \frac{E}{R_2} = \frac{5}{1K\Omega} = 5mA$$

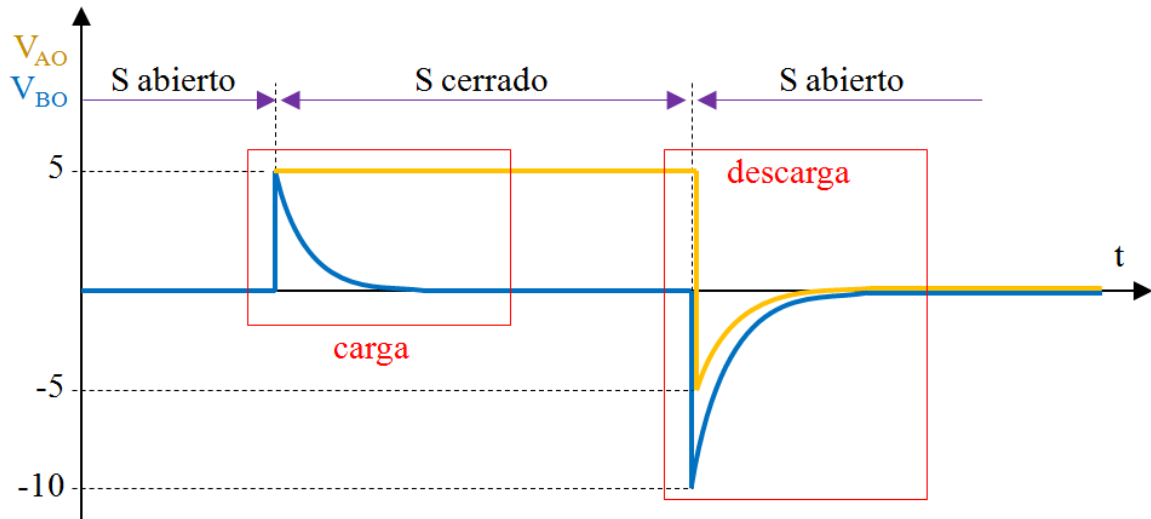
$$V_{BOd} = -(R_1 + R_2)I_{Lmax} = -2K\Omega \cdot 5mA = -10V$$

$$\tau_c = \frac{L}{R_2} = 47\mu s$$

$$\tau_d = \frac{L}{R_1 + R_2} = 23,5\mu s$$

Se debe montar el circuito y, usando el osciloscopio, analizar la amplitud y duración de la señal de tensión en la bobina en dos pruebas por separado: primero cuando se cierra S después de tener el circuito desconectado, y luego cuando se abre S después de tener el circuito conectado. Las tensiones de entrada (V<sub>AO</sub>) y de la bobina (V<sub>BO</sub>) del circuito se observarán, respectivamente, con los canales CH1 (amarillo) y CH2 (azul). Hay que tener en cuenta que las constantes de tiempo de la carga (τ<sub>c</sub>) y descarga (τ<sub>d</sub>) tienen valores muy pequeños, por lo que es necesario usar una escala de tiempo pequeña en el osciloscopio. También es por este motivo por lo que hay que analizar la carga y descarga por separado.

La siguiente figura muestra las señales que deben obtenerse para los procesos de carga y descarga:



**2.7. Experimento 7. Circuito RL con señal alterna**

A continuación se analizará el comportamiento de un circuito formado por una bobina y una resistencia en serie alimentado en corriente alterna. La alimentación se realizará con el generador de funciones programado para una onda senoidal con un valor máximo  $E_{max}=5V$ , y con una frecuencia que se irá incrementando para analizar las tensiones en función de la frecuencia.

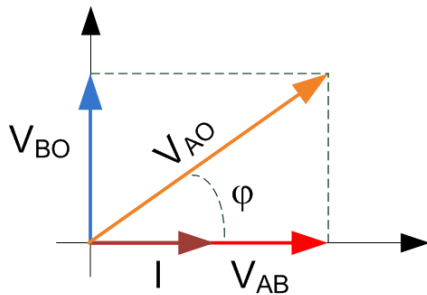


En este experimento, hay que analizar con el osciloscopio las ondas de las tensiones de entrada ( $V_{AO}$ ), de la resistencia R ( $V_{AB}$ ), y de la bobina L ( $V_{BO}$ ), para los valores de frecuencia 500, 1.000, 3.400, 5.000 y 10.000Hz. Las tensiones  $V_{AO}$  y  $V_{BO}$  se observarán a través de los canales CH1 (amarillo) y CH2 (azul), en este orden, del osciloscopio, mientras que la tensión  $V_{AB}$  se observará mediante la operación matemática MATH (rojo) para ver la diferencia  $V_{AO}-V_{BO}$ . Además, se observarán, para las distintas frecuencias, los desfases que hay entre las tensiones de entrada ( $V_{AO}$ ) y de la resistencia R ( $V_{AB}$ ), y entre las tensiones de la resistencia R ( $V_{AB}$ ) y la bobina L ( $V_{BO}$ ). Aunque no se muestre la onda de la corriente I con el osciloscopio, se sabe que esta onda está en fase con la tensión en resistencia R ( $V_{AB}$ ), y su valor se puede determinar como  $V_{AB} / R$ .

Hay que prestar atención al valor máximo que proporciona el generador de funciones como alimentación del circuito. Para cada ajuste de frecuencia, el valor de tensión de la onda de alimentación debe ser comprobado mediante el osciloscopio, analizando la tensión en el canal  $V_{AO}$  CH1 para verificar que el valor máximo es 5V, y reajustando el generador de no ser así. Esto es necesario porque el generador de funciones no garantiza una tensión de salida máxima constante al variar la frecuencia.

La siguiente figura muestra el diagrama vectorial de las tensiones y la corriente del circuito. Dado que la onda de la tensión en la bobina L ( $V_{BO}$ ) tiene una fase de  $90^\circ$  con respecto a la intensidad de corriente (I), y que la onda de la tensión en resistencia R ( $V_{AB}$ ) está en fase con la corriente, se tiene el siguiente diagrama de tensiones, donde se ha considerado la corriente como referencia. La fase de la onda de la tensión de entrada ( $V_{AO}$ ) tiene un adelanto de fase de  $\phi$  grados más que la tensión en resistencia R

( $V_{AB}$ ), en función de los valores máximos de  $V_{BO}$  y  $V_{AB}$ . El diagrama es válido tanto para valores máximos como eficaces de las ondas.



Tensión de entrada:  $E = V_{AO}$

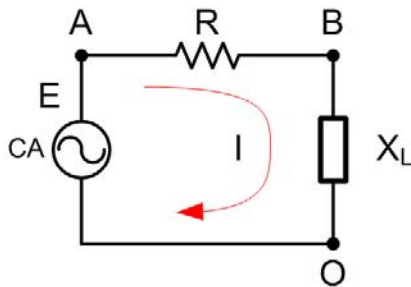
Tensión en la resistencia:  $V_R = V_{AB}$

Tensión en la bobina:  $V_L = V_{BO}$

$$V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{V_{BO}}{V_{AB}} \quad V_{AO} = \sqrt{V_{AB}^2 + V_{BO}^2}$$

Para contrastar los resultados de las mediciones con los valores teóricos, también se calculará, para cada frecuencia, el valor de la reactancia capacitiva  $X_L$  de la bobina, y a partir de ese valor y la resistencia  $R$ , los valores eficaces de las tensiones en la bobina ( $V_{BO}$ ) y en la resistencia ( $V_{AB}$ ). Estos cálculos se realizan fácilmente con las siguientes operaciones. A partir de la expresión de la reactancia inductiva  $X_L$ , también se puede determinar la frecuencia de corte  $f_c$  para la que  $X_L = R$



$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E_{max}/\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$V_{AB} = R \cdot I \quad V_{BO} = X_L \cdot I$$

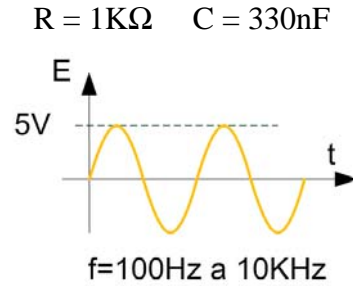
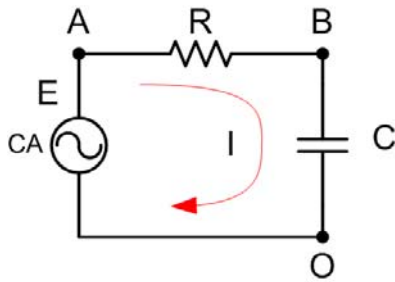
$$f_c = \frac{R}{2\pi \cdot L}$$

Finalmente se representará la respuesta del circuito en una gráfica, dibujando los valores medidos de  $V_{BO}$  y  $V_{AB}$  con respecto a la frecuencia. Esta gráfica facilitará analizar si el circuito se comporta como un filtro pasa-bajos o pasa-altos.

## 2.8. Experimento 8. Circuito RC con señal alterna

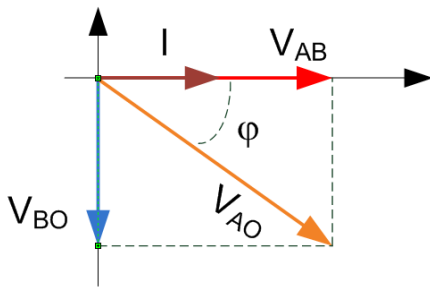
Para analizar el comportamiento de un condensador en corriente alterna se montará el siguiente circuito RC, alimentado con una onda senoidal obtenida del generador de funciones. El valor máximo que se debe configurar para la alimentación es de  $E_{max}=5V$ , con una frecuencia que se irá incrementando para analizar las tensiones que hay en los dos elementos del circuito en función de la frecuencia.

En concreto, hay que analizar con el osciloscopio las ondas de las tensiones de entrada ( $V_{AO}$ ), de la resistencia  $R$  ( $V_{AB}$ ), y del condensador  $C$  ( $V_{BO}$ ), para los valores de frecuencia 50, 300, 500, 1.000 y 5.000Hz. Las tensiones  $V_{AO}$  y  $V_{BO}$  se observarán a través de los canales CH1 (amarillo) y CH2 (azul), en este orden, del osciloscopio, mientras que la tensión  $V_{AB}$  se observará mediante la operación matemática MATH (rojo) para ver la diferencia  $V_{AO}-V_{BO}$ . Además, se observarán, para las distintas frecuencias, los desfases que hay entre las tensiones de entrada ( $V_{AO}$ ) y de la resistencia  $R$  ( $V_{AB}$ ), y entre las tensiones de la resistencia  $R$  ( $V_{AB}$ ) y el condensador  $C$  ( $V_{BO}$ ). Aunque no se muestre la onda de la corriente  $I$  con el osciloscopio, se sabe que esta onda está en fase con la tensión en resistencia  $R$  ( $V_{AB}$ ), y su valor se puede determinar como  $V_{AB}/R$ .



Hay que prestar atención al valor máximo que proporciona el generador de funciones como alimentación del circuito. Para cada ajuste de frecuencia, el valor de tensión de la onda de alimentación debe ser comprobado mediante el osciloscopio, analizando la tensión en el canal  $V_{AO}$  CH1 para verificar que el valor máximo es 5V, y reajustando el generador de no ser así. Esto es necesario porque el generador de funciones no garantiza una tensión de salida máxima constante al variar la frecuencia.

La siguiente figura muestra el diagrama vectorial de las tensiones y la corriente del circuito. Dado que la onda de la tensión en el condensador C ( $V_{BO}$ ) tiene una fase de  $-90^\circ$  con respecto a la intensidad de corriente (I), y que la onda de la tensión en resistencia R ( $V_{AB}$ ) está en fase con la corriente, se tiene el siguiente diagrama de tensiones, donde se ha considerado la corriente como referencia. La fase de la onda de la tensión de entrada ( $V_{AO}$ ) tiene un retraso de fase de  $\phi$  grados menos que la tensión en resistencia R ( $V_{AB}$ ), en función de los valores máximos de  $V_{BO}$  y  $V_{AB}$ . El diagrama es válido tanto para valores máximos como eficaces de las ondas.



Tensión de entrada:  $E = V_{AO}$

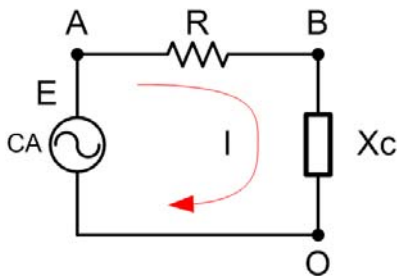
Tensión en la resistencia:  $V_R = V_{AB}$

Tensión en el condensador:  $V_C = V_{BO}$

$$V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$\phi = \arctan \frac{V_{BO}}{V_{AB}} \quad V_{AO} = \sqrt{V_{AB}^2 + V_{BO}^2}$$

Para contrastar los resultados de las mediciones con los valores teóricos, también se calculará, para cada frecuencia, el valor de la reactancia capacitiva  $X_C$  del condensador C, y a partir de ese valor y la resistencia R, los valores eficaces de las tensiones en el condensador ( $V_{BO}$ ) y en la resistencia ( $V_{AB}$ ). Estos cálculos se realizan fácilmente con las siguientes operaciones. A partir de la expresión de la reactancia capacitiva  $X_C$ , también se puede determinar la frecuencia de corte  $f_c$  para la que  $X_C = R$ .



$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E_{max}/\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$$V_{AB} = R \cdot I \quad V_{BO} = X_C \cdot I$$

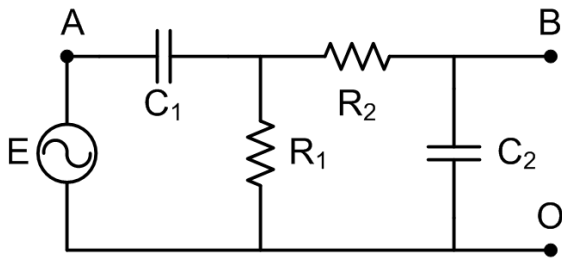
$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

Finalmente se representará la respuesta del circuito en una gráfica, dibujando los valores medidos de  $V_{BO}$  y  $V_{AB}$  con respecto a la frecuencia. Esta gráfica facilitará analizar si el circuito se comporta como un filtro pasa-bajos o pasa-altos.

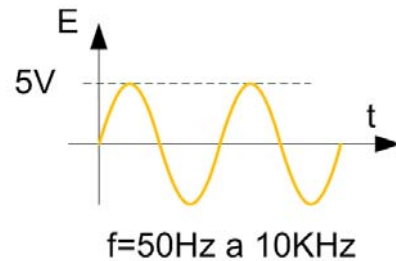


### 2.9. Experimento 9. Filtro pasa-banda

En este experimento se va a estudiar la respuesta del siguiente filtro pasa-banda construida mediante condensadores y resistencias. El circuito se alimentará con el generador de funciones programado para una onda seonidal con valor máximo  $E_{max}=5V$ , y con una frecuencia que se irá cambiando para analizar la tensión en la salida del circuito ( $V_{BO}$ ) en función de la frecuencia.



$$R_1 = R_2 = 1K\Omega \quad C_1 = 330nF \quad C_2 = 100nF$$

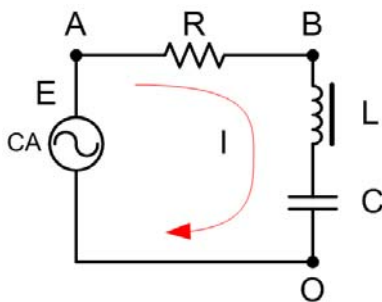


Tras montar el circuito, hay que analizar con el osciloscopio las ondas de las tensiones de entrada ( $V_{AO}$ ) y de salida ( $V_{BO}$ ), para los valores de frecuencia 50, 200, 500, 800, 1.600, 5.000 Hz. Las tensiones  $V_{AO}$  y  $V_{BO}$  se observarán a través de los canales CH1 (amarillo) y CH2 (azul), en este orden. Además, se observarán, para las distintas frecuencias, los desfases que hay entre las tensiones de entrada ( $V_{AO}$ ) y de salida ( $V_{BO}$ ).

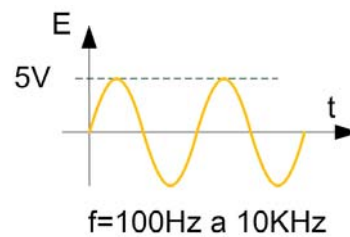
Finalmente se representará la respuesta del circuito en una gráfica, representando los valores medidos de  $V_{BO}$  y  $V_{AB}$  con respecto a la frecuencia. Esta gráfica facilitará analizar el comportamiento del filtro, y determinar sus frecuencias de corte.

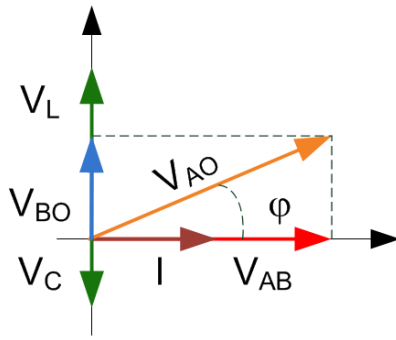
### 2.10. Experimento 10. Resonancia en un circuito RLC serie

En este experimento se va a analizar con un montaje práctica el efecto de la resonancia en un circuito RLC serie. La resonancia ocurre cuando las reactancias capacitiva e inductiva son iguales, es decir,  $X_L=X_C$ . En esta situación, las ondas de tensión en la bobina ( $V_L$ ) y en el condensador ( $V_C$ ) tienen el mismo módulo, aunque están desfasadas  $180^\circ$ , por lo que se anulan entre sí, y la tensión de la resistencia ( $V_{AB}$ ) es igual a la tensión de alimentación ( $E$ ). Además, en situación de resonancia, la corriente por el circuito es la máxima y está en fase con la tensión de alimentación.



$$R = 1K\Omega \quad L = 47mH \quad C=100nF$$





$$X_L = 2\pi f \cdot L \quad X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

$$V_{BO} = V_L + V_C$$

$$X_L = X_C \Rightarrow |V_L| = |V_C| \Rightarrow V_{AB} = 0$$

$$X_L = X_C \Rightarrow fr = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$X_L = X_C \Rightarrow I = \frac{E}{R} = \frac{E_{max}/\sqrt{2}}{R}$$

El experimento consiste en montar el circuito y alimentarlo con una onda senoidal de valor máximo 5V, obtenida del generador de funciones. La frecuencia se deberá variar con el objetivo de determinar de forma experimental la frecuencia de resonancia  $f_r$ , para la cual las ondas de tensión de la bobina y del condensador tienen igual módulo y se anulan entre sí, esto es,  $V_{BO}=0$ . Para esa frecuencia, hay que determinar la corriente del circuito, y la diferencia de fase entre la alimentación  $E$  y la tensión en la resistencia ( $V_{AB}$ ).