

CORRIENTE ALTERNA

OBJETIVO

En esta práctica vamos a estudiar el comportamiento de la corriente alterna, con circuitos donde aparecen resistencias, condensadores y bobinas. También comprobaremos algunas leyes de estos circuitos.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Primeramente, debemos recordar algunas definiciones estudiadas con anterioridad. La definición de flujo de un vector a través de una superficie S cualquiera que, aplicada al campo del vector magnético B, nos permite conocer el flujo magnético a través de una superficie S dado por:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B \, dS \cos\theta$$

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Siempre que se produce una variación del flujo magnético que atraviesa un circuito, se crea en él una f.e.m inducida dada por:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$$

Si el circuito es ohmico, se produce en él una corriente eléctrica de intensidad:

Y de sentido tal que tiende a oponerse a la causa que lo creó (Ley de Lenz).

Una corriente eléctrica I al pasar por un circuito, crea en el espacio un campo magnético B tal que en cierto punto P cumple que:

$$|B| = -KI$$

Si el medio es lineal, K depende solamente del medio y de la geometría del circuito. La unidad de B en el S.I. es la Tesla.

$$\Phi_{C_2} = \int_{C_2} \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_{C_2} B \, dS \cdot \cos(\theta)$$

Sean 2 circuitos C1 y C2 rígidos y estacionarios, hacemos pasar una corriente I por el C1, lo que creará un campo magnético de modo que el flujo magnético que atraviesa al circuito C2 es:

Donde el resultado es una constante (que depende únicamente de la geometría de los circuitos y del medio), el coeficiente de inductancia **M**.

$$E_{C_2} = -\frac{d\Phi_{C_2}}{dt} = -M \frac{dI_1}{dt}$$

Cuando se varia la intensidad I2 se crea en el circuito C2 una f.e.m inducida de la forma:

Mientras tanto al circuito C1 lo atraviesa un flujo creado por su mismo campo de la forma:

$$E_{c_1} = -\frac{d\phi_1}{dt} = -L \frac{dI_1}{dt}$$

Siendo una constante de características similares a M, denominada coeficiente de autoinducción L, la cual se utiliza para calcular la f.e.m de autoinducción

El flujo que atraviesa un circuito puede relacionarse con la corriente en el mismo y con las corrientes que circulan por circuitos próximos. Consideramos una espira por la que circula una corriente I.

La corriente produce un campo magnético que podría, en principio, calcularse mediante la Ley de Biot y Savart. Como el campo magnético en todo punto próximo a la espira es proporcional a I:

$$\phi_M = L I$$

La autoinducción depende de la forma geométrica de la espira. La unidad de inductancia es el Henrio.

Cuando dos o más circuitos están próximos, el flujo magnético que atraviesa uno de ellos depende no sólo de la corriente es ese circuito, sino también de la corriente que circula por los circuitos próximos.

Si por un circuito circula una corriente y por un circuito próximo circula otra corriente, el campo magnético en un punto P poseerá una componente debida a la I del primer circuito y otra componente debida a la I del segundo circuito. Podemos entonces escribir el flujo que atraviesa el segundo circuito como la suma de dos partes, una proporcional a la corriente del primer circuito y otra proporcional a la corriente del segundo circuito:

$$\phi_{M2} = L_2 I_2 + M_{12} I_1$$

Las unidades son las mismas para estos dos coeficientes, el Henrio.

Diremos que un circuito tiene un coeficiente de autoinductancia de un Henrio, cuando al variar en un amperio por segundo la corriente que le recorre, se induce en él una f.e.m de un voltio; el Henrio es una unidad grande y generalmente se utiliza el milihenrio.

Ahora debemos hablar de la F.e.m sinusoidal.

Hemos visto que la manera de producir una f.e.m inducida está en variar el flujo magnético que atraviesa un circuito, y esto lo podemos hacer de las siguientes maneras:

- 1–variando la superficie del circuito;
- 2–variando el campo magnético B;
- 3–variando el ángulo entre el campo magnético y la superficie del circuito.

El tercer modo es el que se utiliza para obtener una f.e.m alterna sinusoidal.

Si se tiene un campo magnético constante y uniforme de inducción y un circuito plano de área S con N espiras colocado dentro del campo, el flujo que lo atraviesa será:

$$\phi = N B S$$

Si se hace girar el carrete alrededor de un eje vertical con velocidad angular constante , de la Ley de Faraday

se deduce que debe inducirse en el carrete una f.e.m de valor instantáneo:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}(N B S \cos\theta) = N B S \omega \sin\theta$$

Si en el instante $t=0$, $\theta=0$ y en $t = t$, se cumple que:

$$E = N B S \omega \sin\omega t = E_0 \sin\omega t$$

siendo

$$E_0 = NBS\omega$$

El valor máximo de la f.e.m inducida. En general en $t=0$, $\theta = \theta_0$, llamado fase inicial, de manera que:

$$E = E_0 \sin(\omega t + \theta_0)$$

La variación de f.e.m inducida con el tiempo sigue una función seno.

El valor medio de una tensión sinusoidal en un periodo es cero, y su valor medio de un periodo es:

$$E = \frac{2E_0}{\pi}$$

El valor medio a lo largo de un periodo, del cuadrado de una f.e.m es interesante, ya que a la raíz cuadrada de este valor se le llama valor eficaz. Para el caso de una f.e.m sinusoidal:

$$\overline{E^2} = \frac{1}{T} \int_0^T E_0^2 \sin^2 \omega t \, dt = \frac{1}{2} E_0^2$$

valor eficaz:

$$E_{ef} = \sqrt{\overline{E^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

El significado físico del valor eficaz es el siguiente: si se aplica una tensión alterna a una resistencia R habrá disipación de energía por efecto Joule. Pues bien, una tensión continua aplicada a R, de igual valor que el eficaz de la tensión alterna considerada, producirá el mismo efecto Joule que ella.

En el caso de un circuito con una resistencia la potencia media consumida en R es:

$$P = RI^2 = \frac{E^2}{R} = \frac{E_0^2}{2R}$$

Se llama factor de forma de una tensión alterna al cociente entre el valor eficaz y el valor medio en un semiperiodo. Para el caso de una Si estamos hablando de una tensión sinusoidal este valor es 1.11. Para ondas no senoidales, varía según la forma de la onda.

Explicado ya esto debemos hablar sobre los Circuitos L, C y R

Sea un circuito R, L y C en serie alimentado con una tensión sinusoidal de la forma:

$$E = E_0 \sin \omega t$$

Supóngase que en un instante cualquiera, pasa por el circuito una corriente I variable. Según la segunda Ley de Kirchoff, la suma de las caídas de tensión en cada elemento debe ser igual a la suma de las f.e.m:

- En el resistor habrá una caída de tensión IR;
- En el inductor aparecerá una f.e.m de valor $L di/dt$, que se opondrá a la variación de I;
- el capacitor tendrá una cierta carga q y una diferencia de potencial entre sus armaduras de:

$$V = q/C$$

Debe cumplirse en cada instante:

$$E_0 \sin \omega t = L \frac{dI}{dt} + IR + \frac{q}{C}$$

Derivando obtenemos una ecuación diferencial lineal de segundo orden con coeficientes constantes, resolviendo obtenemos una solución general para un régimen estacionario:

$$I = I_0 \sin(\omega t + \phi)$$

Que en realidad sólo es una solución particular aplicable cuando ha transcurrido un cierto tiempo.

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{C\omega})^2}}$$

También debemos señalar como deducciones importantes:

$$\tan \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

Teniendo en cuenta esto resultados podemos decir que en un circuito en serie L, C y R, alimentado por una tensión de la forma $E_0 \sin t$, circula una corriente I(t) sinusoidal, de la misma frecuencia que la tensión que la genera, desfasada un cierto ángulo respecto a la tensión. Tanto I_0 como ϕ dependen de los elementos del circuito y de la frecuencia aplicada.

Un caso importante ocurre cuando:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Se dice entonces que el circuito está en *resonancia* y a la ecuación anterior se le llama *condición de resonancia*. Una vez fijado el circuito, el valor de la frecuencia que logra la resonancia es:

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Conocida como *frecuencia de resonancia*.

En este caso el valor de I_0 es máximo y vale:

$$I_0 = \frac{E_0}{R}$$

El periodo de la corriente es $T=2\pi / \omega_r$ y:

$$T_r = 2\pi \sqrt{LC}$$

Que es conocida como fórmula de Thomson.

El valor I_0 en el circuito depende de la resistencia del mismo, teniéndose para cada valor de R una curva de resonancia.

$$Q = \frac{\omega_r L}{R}$$

Se llama factor de calidad del circuito a:

$$Q = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Y en resonancia:

Cuanto mayor sea Q , mas alto y estrecho será el pico en la curva de resonancia.

Algunos casos particulares son:

– Circuito con resistencia pura:

Cuando el circuito no es inductivo se tiene:

$$I = \frac{E_0}{R} \sin \omega t$$

En este caso, la corriente está en fase con la tensión.

– Circuito con autoinductancia pura:

En un circuito que contiene sólo autoinductancia se obtiene para la intensidad el valor:

$$I = \frac{E_0}{\omega L} \sin(\omega t + \phi)$$

Una autoinductancia retrasa la intensidad respecto a la tensión en $\pi/2$:

– Circuito con capacitancia pura:

En un circuito que contiene sólo capacitancia, la intensidad vale:

$$I = E_0 \omega C \sin(\omega t + \phi)$$

Una capacitancia pura adelanta la intensidad respecto a la tensión en $\pi/2$.

– Otros.....

El Resto de circuitos se harán combinando estos tres circuitos básicos.

Por último queda hablar de la Ley de Ohm para corriente alterna

De acuerdo con lo estudiado anteriormente, se puede escribir para los siguientes circuitos:

- $V=IR$
- $V=IL$
- $V=I/C$

En todos los casos se observa que V , tensión eficaz aplicada, es igual al producto de I , intensidad eficaz que recorre el circuito, por una magnitud que depende de L , R y C , y debe tener las dimensiones de una resistencia. La I será mayor o menor una vez fijado V , según sea el valor de esta combinación de L , R y C . En resumen, el sentido físico de esta magnitud es el mismo que el de la resistencia en un circuito de corriente continua. Se representa por la letra Z y se expresa según:

$$I = \frac{V}{Z}$$

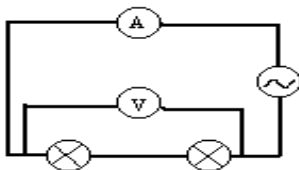
A Z se le llama *impedancia* del circuito. Según la expresión anterior: la diferencia de potencial entre los extremos de un circuito o elemento del mismo, es igual al producto de la intensidad que lo recorre por la impedancia del mismo.

Si la relación entre V e I es lineal, se dice que el circuito cumple la ley de Ohm para corriente alterna

MÉTODO EXPERIMENTAL

VOLTÍMETROS Y AMPERÍMETROS

RESISTENCIAS EN SERIE



Conectamos en serie dos lámparas como se ve en el siguiente diagrama:

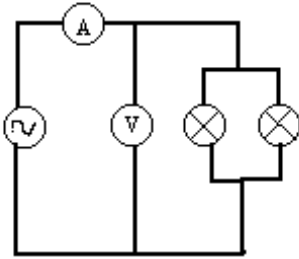
Mediremos con el voltímetro la diferencia de potencial entre los extremos de la lámpara 1, luego de 2 y a continuación del conjunto en serie. Con esta lectura y los datos obtenidos del amperímetro, tendremos valores de las resistencias.

Queremos comprobar que en un circuito montado en serie se cumple:

$$R_T = R_i$$

RESISTENCIAS EN PARALELO

Para este caso montaremos el siguiente circuito:

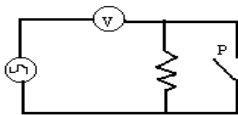


Para medir la diferencia de potencial de una lámpara, aflojaremos la otra en su soporte. Mediremos las dos por separado y luego el conjunto en paralelo. Con los datos obtenidos comprobaremos:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_i}$$

MEDIDA DE UNA GRAN RESISTENCIA CON EL VOLTÍMETRO

Tenemos el siguiente montaje:



Conocida la resistencia interna del voltímetro, queremos calcular R_x .

Para ello mediremos el valor de la tensión que marca el voltímetro con P cerrado y luego con P abierto.

La resistencia problema viene dada por

$$R_x = R_v \frac{U_1}{U_2} - 1$$

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

Dado un elemento pasivo Z en un circuito de corriente alterna, su comportamiento queda caracterizado por el valor de la impedancia compleja:

$$Z = \frac{V}{I} e^{i\phi} = |Z| e^{i\phi}$$

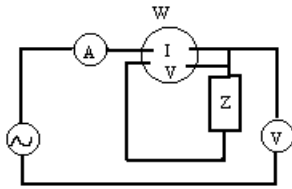
Donde I y V son valores máximos o eficaces y ϕ es el ángulo de desfase entre V e I.

Definimos la potencia media disipada en el elemento Z como:

$$W = V_{ef} I_{ef} \cos\phi$$

Por tanto, para la determinación de la impedancia es necesario medir I, V y P.

El circuito a montar será el siguiente:



RESULTADOS EXPERIMENTALES

VOLTÍMETROS Y AMPERÍMETROS

A- Resistencias en Serie

Tenemos los siguientes valores:

Hemos utilizado la ley de ohm para calcular las resistencias.

Como podemos comprobar también se cumple la relación anterior.

B- Resistencias en Paralelo.

Tenemos los siguientes valores:

Hemos utilizado la expresión $R=V/I$, para calcular las resistencias.

Como vemos se cumple lo predicho anteriormente.

C- Medida de Gran Resistencia

Primero ponemos una resistencia de 10000 , y después medimos con el interruptor cerrado y abierto obteniendo:

$$U1(\text{cerrado})=59\delta 1V \quad U2(\text{abierto})=40\delta 1V \quad R_x=4750\delta 520$$

Si ahora colocamos la resistencia interna de 17000 , tenemos:

U1(cerrado)=100.1V U2(abierto)=79.1V Rx=4520.490

D- Curva Característica de las bombillas.

Para realizar la curva de las bombillas, lo que tenemos que hacer es poner una sola bombilla e ir variando la intensidad que entra en el circuito, obteniendo una tabla con los valores de I y V:

Para la Primera bombilla:

I(mA)	72	91	106	119	132	145	158	169	180	190
V(V)	11	24.5	35.9	46.5	59.6	71.4	85.6	97.3	109.7	123.3

Con estos datos tenemos la siguiente gráfica:

Ahora realizamos lo mismo para la segunda bombilla, obteniendo :

I(mA)	72	91	106	119	132	145	158	169	180	190
V(V)	10.8	23.7	33.6	44.6	57.2	69.8	81.9	94	107.3	118.4

Podemos realizar la gráfica:

Si conocemos el orden de magnitud de una resistencia y lo que queremos es calcularla, podemos tener dos modelos de circuitos:

Si la resistencia es del orden de magnitud de la del amperímetro, es una resistencia pequeña, en este caso el mejor circuito es el 1º porque la intensidad que pase por el voltímetro será despreciable, midiendo cada aparato lo que debe. Si la resistencia es grande, del orden de magnitud del voltímetro, en este caso el mejor circuito es el 2º, porque la pérdida de potencial en el amperímetro es mínima, pudiendo medir el voltímetro el valor correcto.

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

A- Resistencia, bobina y condensador separados.

Como hemos visto antes, necesitamos conocer la intensidad, el voltaje y la potencia de un circuito para poder definir la impedancia. Así calcularemos los valores estos para poder determinar la impedancia de una resistencia, una bobina y un condensador, para ello montamos el circuito anterior, poniendo como z primero la resistencia, luego la bobina y por último el condensador.

$$z = |z|e^{j\theta}$$

$$|z| = \frac{V}{I} \quad \cos\theta = \frac{W}{IV}$$

Para el cálculo de las regresiones, hemos tenido en cuenta las siguientes fórmulas para el cálculo de la impedancia compleja:

Así tenemos los datos para la resistencia:

Para una resistencia ideal, la impedancia coincide con la resistencia ya que no tiene parte imaginaria(en nuestro caso es muy pequeña), de modo que:

$$R=96.7\pm 1$$

Para la bobina los valores tomados son:

Realizados la regresión lineal de W frente a V.I y la pendiente que nos sale es la siguiente:

Pendiente=0.06 lo que implica que el ángulo de desfase es $87^\circ \pm 0.02^\circ$

Este ángulo esta muy próximo al desfase teórico de una bobina /2

La impedancia de la bobina viene dada por:

$$Z_b = R_b + (L\omega)i$$

$$R_b = |Z| \cos \theta \quad L = \frac{|Z| \sin \theta}{\omega}$$

Por lo tanto, la parte real de la impedancia de la bobina coincide con la resistencia interna de ésta y la parte imaginaria es proporcional a la autoinducción de la misma. De esta forma:

Ahora calcularemos el módulo de la impedancia dividiendo el voltaje entre la intensidad

$$|Z_b| = 199.7 \pm 2.4$$

Con lo que la impedancia será $Z_b = (10 \pm 1) + (199 \pm 5.7)i$

El desfase que introduce en un circuito una bobina es de 90° , por lo que debería salirnos un n° con solo parte imaginaria, pero no sale porque consideramos la resistencia con una cierta resistencia interna. Ahora vamos a calcular el valor de la constante de autoinducción, L, para ello aplicamos la ecuación, tomando la frecuencia en rad/s (50×2):

$$L = 0.63 \pm 0.2 \text{ H}$$

La resistencia interna de la bobina es la parte real de la impedancia, en nuestro caso:

$$R_b = 10 \pm 1$$

Y para el condensador:

Si realizamos la regresión para estos valores, obtenemos:

Pendiente=0.045, lo que implica que $\theta = -87^\circ \pm 0.03^\circ$

$$Z_c = R_c - \frac{1}{\omega C}i$$

La impedancia en un condensador, viene dada por

En ésta, podemos ver que la parte real de la impedancia del condensador coincide con la resistencia interna de éste y que la parte imaginaria de Z es inversamente proporcional a la capacidad C del mismo:

$$R_c = |Z| \cos \theta \quad C = \frac{1}{|Z| \omega \sin \theta}$$

El módulo será: $|Z_C|=126\delta 1$

La impedancia total será: $Z_C=(6.6\delta\delta)+(-125.8\delta 1)i$

En un condensador el desfase es de -90° , por lo que se pone signo $-$ a la parte imaginaria, igual que antes nos sale una cierta resistencia interna, aunque muy pequeña.

Por lo que la capacidad del condensador será: $C=25.2\pm 0.5\text{ F}$

Con todos estos resultados comprobamos que la ley de Ohm es válida para estos elementos por separado.

Podemos observar que se cumple la ley de Ohm.

Ahora debemos asociar los tres elementos(resistencia, condensador y bobina) en serie y realizar las medidas pertinentes.

Los resultados son:

Utilizando el mismo procedimiento que en los apartados anteriores nos queda:

$$\varnothing Zr\varnothing=97.5\pm 1 \quad r=0^\circ \pm 0.1^\circ \quad Zr=(97.5\pm 1)+(0.0\pm 0)i$$

$$\varnothing Zb\varnothing=400\pm 1 \quad b=90^\circ \pm 0.3^\circ \quad Zb=(0.0\pm 0)+(400\pm 1)i$$

$$\varnothing Zc\varnothing=129\pm 1 \quad c=-87^\circ \pm 0.2^\circ \quad Zc=(6.7\pm 0.5)+(-127\pm 5)i$$

$$\varnothing ZT\varnothing=295\pm 3 \quad c=68^\circ \pm 0.5^\circ \quad Zc=(110\pm 3)+(273\pm 8)i$$

Como podemos observar la suma de la parte imaginaria de las impedancias y la parte real se aproxima bastante a la impedancia total.

Si realizamos la suma algebraica de los voltajes de cada impedancia vemos que no concuerda con el voltaje total. Esto es porque hay que introducir los desfases, de tal forma que el voltaje se convierte en una magnitud vectorial.

$$V_r=18.3\pm 0\text{ i V}$$

$$V_b=0.0\pm 75i\text{ V De modo que } \varnothing V\varnothing=54.16\text{ V que es bastante aproximado.}$$

$$V_c=1.29\pm 50i\text{ V a } 55.4\text{ v.}$$

Para las medidas con los elementos en paralelo, los resultados son:

Utilizando el mismo procedimiento que en los apartados anteriores nos queda:

$$\varnothing Zr\varnothing=101\pm 10 \quad r=0.0\pm 0.1^\circ \quad Zr=(101\pm 10)+(0.0\pm 0)i$$

$$\varnothing Zb\varnothing=403\pm 16 \quad b=87^\circ \pm 0.5^\circ \quad Zb=(20\pm 3)+(402\pm 12)i$$

$$\varnothing Zc\varnothing=129\pm 7 \quad c=-90^\circ \pm 0.4^\circ \quad Zc=(0.0\pm 0.2)+(-129\pm 7)i$$

$$\varnothing Zt\varnothing=92\pm 9 \quad c=42^\circ \pm 0.3^\circ \quad Zr=(68\pm 6)+(61\pm 2)i$$

Calculamos las admitancias y obtenemos:

$$Y_r = [(9.9 \pm 1) + (0.0 \pm 0)i] \times 10^{-3}$$

$$Y_b = [(0.1 \pm 0.1) + (-2.4 \pm 0.2)i] \times 10^{-3}$$

$$Y_c = [(0.0 \pm 0.1) + (7.75 \pm 0.6)i] \times 10^{-3}$$

$$Y_r = [(7.6 \pm 0.6) + (6.6 \pm 0.3)i] \times 10^{-3}$$

Como podemos observar la suma de la parte imaginaria de las admitancias se parece a la parte imaginaria de la impedancia total, lo mismo que la parte real de la misma.

Ahora comprobaremos si la suma de las intensidades es la intensidad total:

$$I_r = 0.296 \pm 0 \text{ i V}$$

$$I_b = 0.004 \pm 0.074i \text{ V De modo que } \varnothing V \varnothing = 418 \text{ mA que como vemos no se}$$

$$I_c = 0.0 \pm 0.231i \text{ V aproxima excesivamente a 348 mA.}$$

CUESTIONES

Ahora vamos a contestar a las cuestiones que hay en el guión:

1ª- ¿Cuál de las dos determinaciones, la teórica o la experimental, lleva asociado una mayor error, para el circuito RLC en serie?

El error mayor se da en la practica ya que los angulos de desfase teóricos del condensador y la bobina son de 90° (salvo signos) y el de la resistencia es de 0° y como vemos no coinciden exactamente.

2ª- ¿Cuánto vale la potencia media disipada en un condensador?

La potencia media disipada es $P = V_e I \cos \phi$, esta potencia indica la energía que absorbe el condensador. Debido al desfase y a la corriente alterna, hay momentos en que el condensador se carga, consumiendo energía del circuito, pero en otros momentos lo que ocurre es al revés, el condensador se descarga dando energía al circuito.

3ª- ¿Cuánto vale la potencia media disipada en una bobina de resistencia interna RL y autoinducción L?

La potencia media es como antes, solo que ahora tenemos también una resistencia, que es la de la bobina, en la que siempre se consume potencia ($P = I^2 R$). En un circuito con bobina ocurre como en uno con condensador, debido a la variación de la intensidad, se produce un campo en el interior de la bobina, de tal manera que hay momentos en que se crea ese campo, se consume energía, y otros en que el campo se reduce, cediendo energía al circuito.

4ª- ¿Cuál es la condición de resonancia de un circuito LC en serie? ¿Cómo es la intensidad en la resonancia? ¿Cómo es la impedancia ZT en la resonancia? ¿Cómo afecta una resistencia R a estos valores?

Para que un circuito se encuentre en resonancia, la impedancia debe tener solo valor real, lo que significa que la parte compleja de la bobina se debe anular con la del condensador, es decir el desfase que introduce cada elemento en el circuito se contrarresta, produciéndose una onda con fase $= 0^\circ$.

La frecuencia de resonancia se calcula de la manera:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

En este caso la intensidad es máxima y es $I=V/R$, siendo R la impedancia, pues esta solo tiene parte real. Si introducimos en el circuito una resistencia, como esta no introduce ningún desfase no va a variar la condición de resonancia.

5ª ¿Cuál es la condición de resonancia en un circuito LC paralelo? ¿Cómo son la I_T , la I_1 y la I_2 en la resonancia? ¿Cómo son Z_T e Y_T en la resonancia?

La condición es la misma, que la parte compleja de la bobina se anule con la del condensador. Si esto ocurre tenemos una intensidad total que es máxima, debido a que no hay desfases, y también tenemos una I_1 que es igual a I_2 .

6ª Explicar las corrientes de apertura, ¿por qué se producen chispas al conectar o desconectar un circuito con autoinducción?

Cuando tenemos una bobina, en el interior se crea un campo, así pasado un cierto tiempo ese campo se hace máximo, transformándose la bobina en un corto, si desconectamos, el campo almacenado en la bobina tiende a volver a la posición de equilibrio, por lo que se producen las chispas. Al iniciarse también pasa lo mismo porque la bobina está descargada y se opone a la variación

$$E = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi_{c_2} = \int_{c_2} B \cdot dS = \int_{c_2} B \cdot dS \cdot \cos(\theta)$$

$$E_{c_2} = -\frac{d\phi_2}{dt} = -M \frac{dI_1}{dt}$$

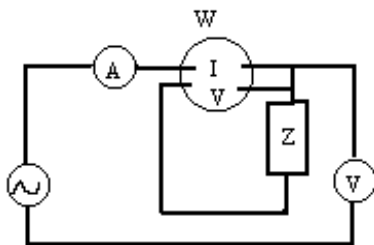
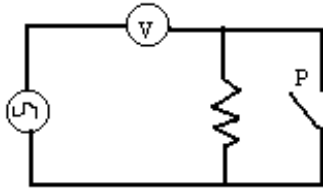
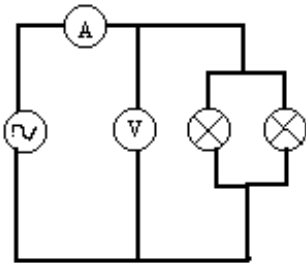
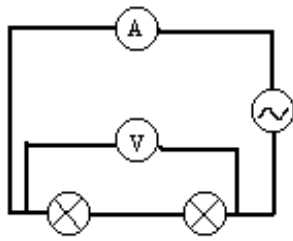
$$E_{c_1} = -\frac{d\phi_1}{dt} = -L \frac{dI_1}{dt}$$

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{C\omega})^2}}$$

$$\tan \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Bombilla 2

I±1 mA	V±0.1 v	R
---------------	----------------	----------

72	10.8	150.8±24.6
91	23.7	260.4±34.7
106	33.6	317.0±43
119	44.6	374.7±53
132	57.2	433.3±64.7
145	69.8	481.3±76.6
158	81.9	518.3±88.2
169	94	556.2±99.9
180	107.3	596.1±112.8
190	118.4	623.1±123.6

Bombilla 1

I±1 mA	V±0.1 v	R
72	11	152.7±24.8
91	24.5	269.2±35.2
106	35.4	333.9±44.8
119	46.5	390.7±54.9
132	59.6	451.5±67.1
145	71.4	492.4±78.29
158	85.6	541.7±91.9
169	97.3	575.7±103.2
180	109.7	609.0±115.2
190	123.3	648.9±128.5

Bombillas en Serie

I±1 mA	V±0.1 v	R±
72	22.3	309.2 ±36.2
91	46	529.6 ±57
106	69.8	658.4 ±79.2
119	90.9	763.9 ±99.3
132	116.6	883.3 ±124.1
145	141	972.4 ±147.8
158	166.8	1055.6±173.1
169	191.3	1131.9±197.2
180	216	1200.3±221.5
190	242	1273.1±247.2

Bombilla 1

I±1 mA	V±0.1 v	R±
86	19.5	226.7±3.8
115	43.2	375.6±3.2
140	66.9	477.8±4.1

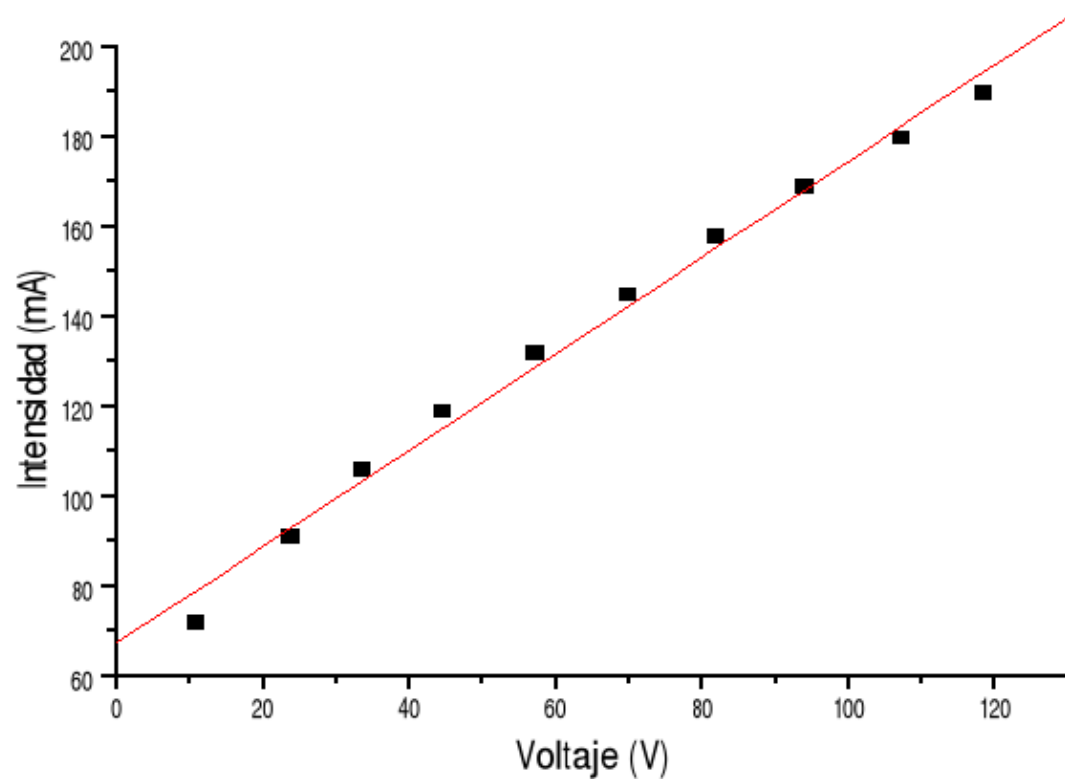
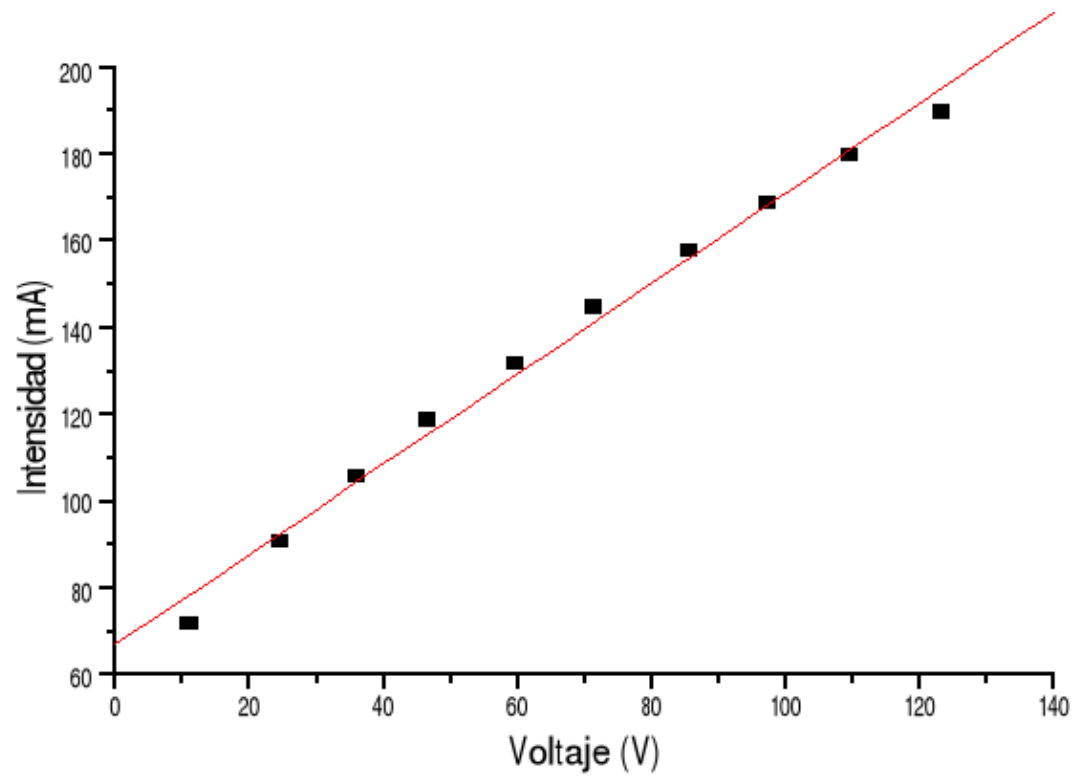
162	89.3	551.2±4.0
183	113.5	620.2±3.9
202	138.2	684.1±4.0
220	162.4	738.2±3.8
237	186.4	786.5±3.7
253	212	837.9±4.1
268	235	876.8±3.8

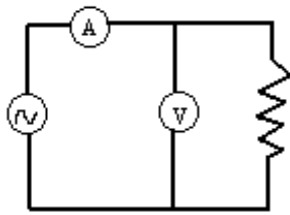
Bombilla 2

I±1 mA	V±0.1 v	R±
84	19.5	232.2±3.8
113	43.2	382.3±3.9
137	66.9	488.3±3.9
159	89.3	561.6±4.1
180	113.5	630.5±4.0
198	138.2	697.9±3.8
216	162.4	751.8±3.9
233	186.4	801.7±4.0
249	212	851.4±3.8
269	235	873.6±4.1

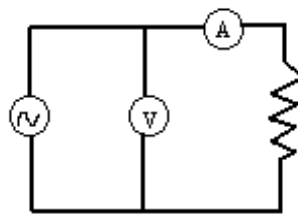
Bombillas en paralelo

I±1 mA	V±0.1 v	R±
171	19.5	114.0±1.3
229	43.2	188.6±1.1
280	66.9	238.9±1.2
323	89.3	276.4±1.4
364	113.5	311.8±1.0
403	138.2	342.9±1.2
438	162.4	370.7±1.1
471	186.4	393.7±1.3
505	212	419.8±1.5





Circuito 1°



Circuito 2°

$$Z = |Z| e^{j\theta}$$

$$|Z| = \frac{V}{I} \quad \cos\theta = \frac{W}{IV}$$

I±1 mA	V±0.1 v	W±0.1 w
156	15.2	3.2
222	21.4	5.6
304	29.1	8.8
358	34.4	10.4
444	43	20
517	50	28
587	56.8	34.4
655	62.9	44
730	70.4	53.6
799	77.2	65.6

I±1 mA	V±0.1 v	W±0.1 w
123	24.5	0.8
183	36.6	1.6
232	46.4	1.6
292	58.3	2.4
345	68.9	2.4
399	79.7	3.2
460	91.8	4
514	102.4	4.8
574	114.4	5.6
631	125.5	6.8

$$Z_b = R_b + (L\omega)i$$

$$R_l = |Z| \cos\theta \quad L = \frac{|Z| \sin\theta}{\omega}$$

I±1 mA	V±0.1 v	W±0.1 w
---------------	----------------	----------------

178	22.5	0.8
265	33.4	0.8
352	44.3	1.2
447	56.3	1.6
522	65.7	2
600	75.6	2.4
688	86.3	3.2
775	97.6	4
863	108.6	4.8
947	119.2	5.6

$$Z_c = R_c - \frac{1}{\omega c} i$$

Donde R_c es la resistencia que ofrece el condensador

$$R_c = |Z| \cos \theta \quad C = \frac{1}{|Z| \omega \sin \theta}$$

I±1 mA	Vr±0.1 v	Wr±0.1 w	Vb±0.1 v	Wb±0.1 w	VC±0.1 v	WC±0.1 w	VT±0.1 v	WT±0.1 w
188	18.3	3.2	75.2	1.6	24.7	1.2	55.4	3
165	16.2	2.4	66.0	1.6	21.4	0.8	48.7	2.5
149	14.6	1.6	59.2	1.6	18.1	0.8	43.7	1

V±0.1 v	Ir±1 mA	Wr±0.1 w	Ib±1 mA	Wb±0.1 w	IC±1 mA	WC±0.1 w	IT±0.1 v	WT±0.1 w
30	296	8.8	74	0.8	231	0.8	348	7.6
40	393	16.8	99	0.8	308	0.8	424	12.8
50	490	26.4	124	1.2	383	0.8	539	20