

AMPLIACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DEL SISTEMA HPCI-1 PARA EL ESTUDIO DE LOS CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

EXPANDING THE POSSIBILITIES OF THE HPCI-1 SYSTEM FOR THE STUDY OF ALTERNATING CURRENT CIRCUITS

A. HERNÁNDEZ-FEREIRA

Departamento de Física Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos, Cuba; archdez@ucf.edu.cu[†][†] autor para la correspondencia

Recibido 1/2/2021; Aceptado 25/11/2021

En el Manual de Experimentos del laboratorio de Física asistido por computadora HPCI-1 de la firma U-Star Sensor Technology Co., Ltd. de China aparecen varios experimentos dedicados al estudio de los circuitos de corriente alterna. Entre ellos hay uno dedicado a determinar cualitativamente cómo varía el desfase entre la corriente y el voltaje en un circuito RC al variar la resistencia. Utilizando el circuito y el software específico de este experimento y otro circuito del sistema para otro experimento se diseñó el montaje de tres trabajos de laboratorio para determinar cuantitativamente cómo varía el desfase entre la corriente y el voltaje en los circuitos RC y RL al variar la resistencia y cómo se comporta dicho desfase en un circuito RLC cuando es predominantemente capacitivo, inductivo o está en resonancia. Se elaboró una propuesta de la práctica de laboratorio para incluir el análisis de los tres circuitos de corriente alterna.

In the Experiment Manual of the Computer Aided Physics Laboratory System HPCI-1 of U-Star Sensor Technology Co., Ltd (China), some experiments devoted to AC circuits are included. Among them there is one dedicated to determine qualitatively the phase shift between current and voltage in an RC circuit with resistance changes. Using the circuit and the specific software for this experiment and another circuit included for other experiment we have designed three lab projects for determining quantitatively the changes of phase shift between current and voltage in the RC and RL circuits with resistance change and how this phase shift behaves in a RLC circuit when it is predominantly capacitive, inductive or it is in resonance condition. A proposal of a lab practice that includes the study of the three circuits was introduced.

PACS: Teaching methods and strategies (métodos y estrategias de enseñanza), 01.40.gb; laboratory computer use (uso de computadores en el laboratorio), 01.50.Lc; data acquisition: hardware and software (adquisición de datos), 07.05.Fb; laboratory experiments and apparatus (aparatos y experimentos de laboratorio), 01.50.Pa

I. INTRODUCCIÓN

El sistema de prácticas de laboratorio de asistido por computadora (SPLAC) dedicado a la Física HPCI-1 de la firma U-Star Sensor Technology Co. de China fue adquirido por el Ministerio de Educación Superior para las universidades cubanas. El Manual de Experimentos que lo acompaña [1] contiene 6 capítulos dedicados a presentar los experimentos que se pueden realizar con el mismo. El Capítulo 4 está dedicado a los experimentos con circuitos y procesos transientes. Ellos aparecen desplegados en el menú principal del software tal y como se muestra en la figura 1.

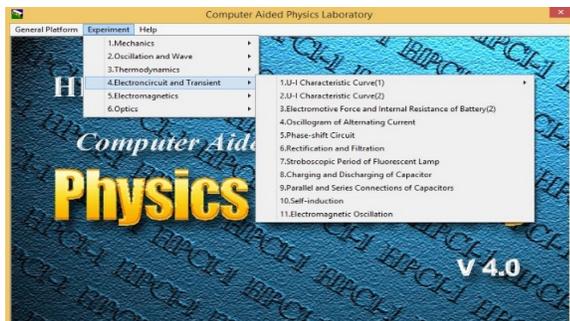


Figura 1. Aspecto de la pantalla del menú principal del software del SPLAC HPCI-1 mostrando los experimentos del capítulo 4.

Como se puede observar los experimentos están dedicados al estudio de circuitos de corriente directa (experimentos 4.1 al 4.3), circuitos de corriente alterna (experimentos 4.4 al 4.7) y procesos transientes que se presentan en circuitos RL, RC y RLC (experimentos 4.8 al 4.11). En particular el experimento 4.5 Phase-shift Circuit está dedicado a determinar el desfase entre la corriente y el voltaje en un circuito RC de corriente alterna. Al estudiar detenidamente este trabajo se pueden detectar las siguientes limitaciones en el mismo:

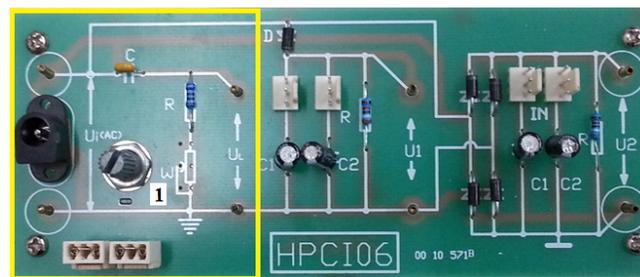


Figura 2. Sección del circuito HPCI06 empleada para el experimento 4.5. Se muestran los elementos del circuito, la entrada de voltaje CA y los puntos de conexión de los sensores para la medición de los voltajes U_i y U_L .

1) El trabajo pretende determinar el desfase entre el voltaje aplicado por una fuente de corriente alterna (CA) y la corriente que circula por un circuito RC conectado a la misma. Para ello,

usando una facilidad del sistema, mide el desfase entre los máximos de las señales de voltaje en el tiempo de la fuente U_i y la resistencia U_L . En la figura 3 se ilustra esta facilidad según la muestra la pantalla del sistema.

Esta determinación sólo puede hacerse de forma cualitativa porque no es posible conocer los valores de la resistencia empleada que resulta de la combinación en serie de las resistencias R y W del potenciómetro 1 incluidas en la sección resaltada en amarillo del circuito HPCI06 que se emplea para este experimento y que se muestra en la figura 2.

$$\tan \phi = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega RC} = \frac{1}{2\pi f RC'} \quad (1)$$

entre el ángulo de desfase ϕ y los valores de ω (f), R y C de forma cuantitativa es necesario conocer los valores

de estos últimos parámetros y medir el desfase. Con lo sugerido en el experimento sería necesario disponer de un puente de medición RLC y determinar el valor de la resistencia resultante cada vez que se cambie la misma al manipular el potenciómetro.

2) Lo único que puede hacer el estudiante es verificar la relación:

$$\phi = \omega \Delta t = \left(\frac{2\pi}{T} \right) \Delta t = \frac{\Delta t}{T} (2\pi \text{ rad}) = \frac{\Delta t}{T} (360^\circ), \quad (2)$$

que es la empleada por el sistema para hallar el desfase a partir de medir el intervalo de tiempo Δt entre dos máximos consecutivos de las señales con la facilidad antes mencionada obteniendo los valores de Δt y T de la misma y compararla con la que allí se ofrece (ver figura 2).

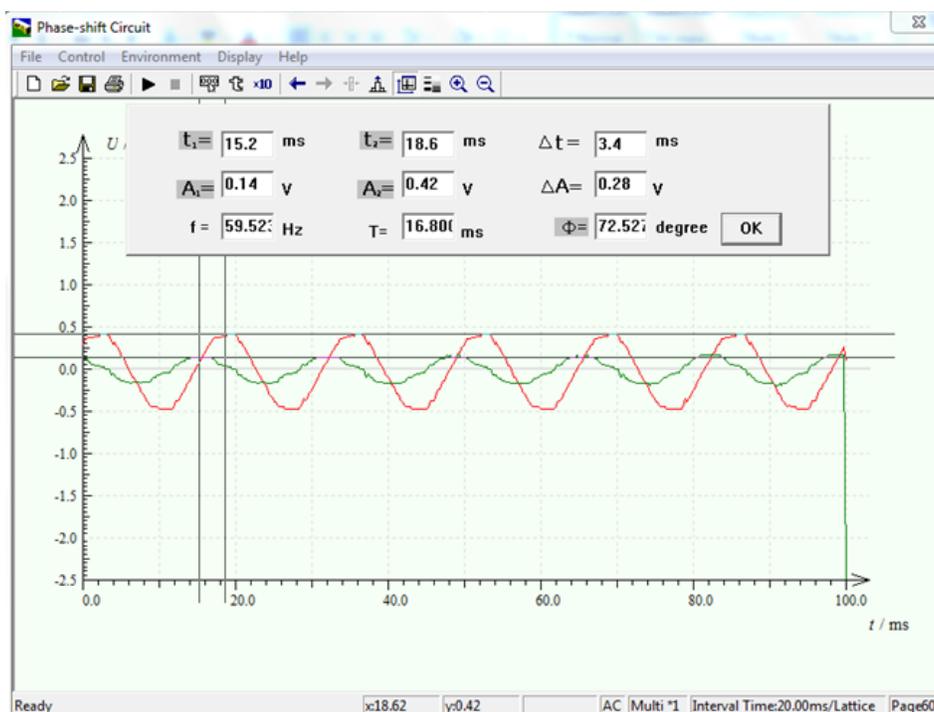


Figura 3. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo mostrando la medición con la facilidad para determinar las variaciones en las amplitudes y en la fase de las dos señales en dos instantes de tiempo seleccionados.

3) Complementariamente, la señal de CA que se introduce al circuito desde la interfaz presenta mucha distorsión y hace imprecisa la determinación de los valores máximos de las dos señales a comparar y del desfase entre ellas, como también puede apreciarse en la figura 3.

A partir de analizar las posibilidades del software asociado con este experimento y del fundamento del mismo, concluimos que se podrían realizar algunos experimentos relativos a los circuitos de corriente alterna, pero con comprobaciones experimentales de carácter cuantitativo que profundizaran en los principales resultados teóricos que generalmente se deducen en clase en los cursos de Física General de la mayoría de las carreras universitarias.

Los experimentos propuestos se pueden integrar en una sola

práctica de laboratorio que es posible realizar en las 2 horas que normalmente dura una práctica. La forma de abordar el fundamento teórico debe partir del caso más general de un circuito RLC en serie (con los tres tipos de componentes) conectado a una fuente de CA. Para este circuito se pueden obtener las relaciones cuantitativas fundamentales a partir, por ejemplo, del diagrama fasorial como es muy común en los libros de textos más usados [2–5].

Entre las relaciones más importantes podemos destacar:

- la expresión general de la impedancia del circuito

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (3)$$

- la expresión de la amplitud de la corriente en el circuito

$$I = \frac{V}{Z} \quad (4)$$

- la expresión del ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje de la fuente

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (5)$$

todas en función de los parámetros de los elementos que componen el mismo (R , L y C) y la frecuencia ω (f) de la fuente de CA que lo alimenta. Otro aspecto importante es verificar cómo se comportan los mismos en la condición de resonancia. Observemos que todas las expresiones anteriores para el circuito RLC en serie siguen siendo válidas en ausencia de algunos de los elementos del circuito. Si falta el resistor, se fija $R = 0$; si falta el inductor, se establece $L = 0$ y si falta el capacitor, se fija $C = 0$. Esto permite estudiar por separado el resultado de la presencia de cada uno de los tres tipos de dispositivos en la amplitud de la corriente y el desfase entre esta y el voltaje aplicado.

Así podríamos inicialmente verificar cuantitativamente para el circuito RC. En este caso con $L = 0$ de (3) obtenemos:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (6)$$

$$\cot \phi = \omega RC = 2\pi fRC,$$

cuya expresión es más conveniente que la que contiene a la tangente de ϕ . Para el circuito RL con $C \rightarrow \infty$ de (7) obtenemos la expresión:

$$\tan \phi = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R}. \quad (7)$$

entre el ángulo de desfase ϕ y los valores de ω (f), R y L .

En el caso del circuito con un resistor solamente también podría verificarse que $\phi = 0$ y que $I = \frac{V}{R}$. Como esto es más evidente decidimos no incluir este ejercicio, pero pudiera realizarse. De todas formas, este caso se obtiene en el circuito RLC en condición de resonancia cuando se comporta como resistivo puro y será objeto de uno de los ejercicios siguientes.

Luego podríamos pasar al análisis del circuito RLC con los tres tipos de elementos y verificar el comportamiento del desfase y la amplitud de la corriente para un circuito predominantemente inductivo, capacitivo y finalmente en condición de resonancia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para nuestros propósitos empleamos los circuitos que acompañan al sistema HPCI-1, en particular los circuitos HPCI06 y HPCI04 que contienen los elementos necesarios para los experimentos. Se puede utilizar estos elementos por separados si se disponen de ellos en el laboratorio y montar los

circuitos. Adicionalmente empleamos una caja de resistencia decádica tipo TR-9403/C, el puente de medición digital LCR XJ2811C y un generador de señales de audio (50 Hz-23 kHz) con display digital para la frecuencia.

A. Estudio del circuito RC en circuitos de CA

Para este trabajo de laboratorio empleamos la sección resaltada en amarillo localizada en la parte izquierda de la placa HPCI06 como se presenta en la figura 2. Allí se muestran en detalle los elementos circuitales donde se puede identificar (de izquierda a derecha) la entrada del voltaje U_i de CA a través de la cual ingresamos la señal de un generador externo y donde se coloca un sensor de voltaje E para medirla, el capacitor C , cuya capacitancia se va a determinar, la resistencia R fija y la variable W , que de conjunto dan la resistencia total del circuito, que fueron reemplazadas por una caja de resistencias decádica y los puntos para la medida del voltaje en la resistencia total U_L , donde colocamos un sensor de voltaje B. Precisamente las señales de los voltajes U_i y U_L en el tiempo son las que aparecen en color verde y rojo respectivamente en la pantalla que muestra el sistema al ejecutar el trabajo. Una vez que se ha detenido el proceso de obtención de las señales se puede medir el desfase usando la facilidad anteriormente mostrada. Este proceso se puede realizar para un grupo de valores de la resistencia establecido en la caja decádica. A partir del ploteo de los valores de $\cot \phi$ contra ωR , que resulta lineal, se puede obtener el valor de la capacitancia C de la pendiente de la ecuación de ajuste por mínimos cuadrados. Para ello usamos EXCEL de Microsoft.

B. Estudio del circuito RL en circuitos de CA

Para este trabajo de laboratorio empleamos la sección señalada en amarillo a la derecha de la placa HPCI04 relativa al circuito RLC del sistema, una foto de la cual se presenta en la figura 4. En la misma se muestra en detalle la mencionada sección donde se identifican la bobina con núcleo cuya inductancia L se va a determinar y los puntos de conexión a, b, c y d.

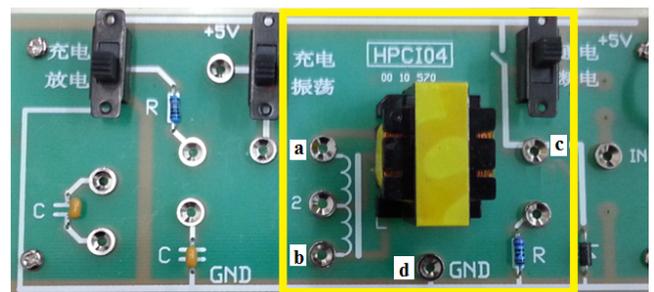


Figura 4. Sección del circuito HPCI04 empleada para el experimento relativo al estudio del circuito RL de CA. Se muestran los puntos a y b de conexión de la bobina con núcleo y los puntos c y d de conexión de la caja de resistencia decádica. Un cable conectado entre b y c conforma el circuito RL en serie.

La entrada de la señal U_i de CA (proveniente de un generador de señales externo) se realiza entre los puntos a y d, la resistencia variable (caja de resistencias decádica) se conecta entre los puntos c y d y los puntos b y c se unen por un cable de conexión. Así queda conformado el circuito. El sensor para registrar el voltaje U_L en los extremos de la resistencia de carga se conecta entre los puntos c y d y el sensor para registrar el voltaje U_i de la fuente entre a y d.

De nuevo, las señales de los voltajes U_i y U_L en el tiempo son las que aparecen en color verde y rojo respectivamente en la pantalla que muestra el sistema al ejecutar el trabajo. Una vez que se ha detenido el proceso de obtención de las señales se puede medir el desfase usando la facilidad ya anteriormente mencionada. Este proceso se puede realizar para un grupo de valores de la resistencia establecido en la caja decádica. A partir del ploteo de los valores de $\tan \phi$ contra ω/R , que resulta lineal, se puede obtener el valor de L de la pendiente de la recta de ajuste por mínimos cuadrados. Para ello usamos EXCEL de Microsoft.

C. Estudio del circuito RLC en circuitos de corriente CA. Condición de resonancia.

Para este trabajo de laboratorio también empleamos la placa HPCI04 relativa al circuito RLC del sistema, una foto de la cual se presenta en la figura 5.



Figura 5. Aspecto del circuito HPCI04 usado para el experimento relativo al circuito RLC en CA. Se muestran los puntos de conexión de los elementos de la placa usados en este caso: puntos 1 y 3 para la bobina con núcleo, 4 y 5 para el capacitor y 6 y 7 para el resistor. Al conectar los puntos 3 con 4 y 5 con 6 queda conformado el circuito RLC en serie.

En la misma se identifican los puntos de conexión del 1 al 7. Se conectan, mediante los propios cables que brinda el sistema para los circuitos, el punto 3 con el 4 y el 5 con el 6. Así queda conformado el circuito RLC usando los elementos que están en la placa. La entrada de la señal U_i de CA (proveniente de un generador de señales externo) se realiza entre los puntos 1 y 7. El sensor para registrar el voltaje U_L en los extremos de la resistencia de carga se conecta entre los puntos 6 y 7 y el sensor para registrar el voltaje U_i de la fuente entre 1 y 7.

Como está prestablecido en el experimento que hemos estado usando, las señales de los voltajes U_i y U_L en el tiempo aparecen en color verde y rojo respectivamente en la pantalla que muestra el sistema al ejecutar el trabajo. En este caso podemos variar la frecuencia del generador y observar la posición relativa de ambas curvas. Para una frecuencia dada, en dependencia de si predomina el componente capacitivo o inductivo una señal adelantará a la otra y coincidirán para la frecuencia de resonancia.

En este caso se puede verificar la condición de resonancia del circuito (cuando $\omega = 1/\sqrt{LC}$) en la cual la amplitud de la corriente se hace máxima y el desfase entre la corriente por el resistor y el voltaje suministrado por la fuente se hace cero. De igual manera se puede verificar el retardo o adelanto de la corriente respecto al voltaje de la fuente en dependencia del carácter predominantemente capacitivo o inductivo del circuito (que se puede lograr para frecuencias inferiores y superiores a la frecuencia de resonancia).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Estudio del circuito RC en circuitos de CA

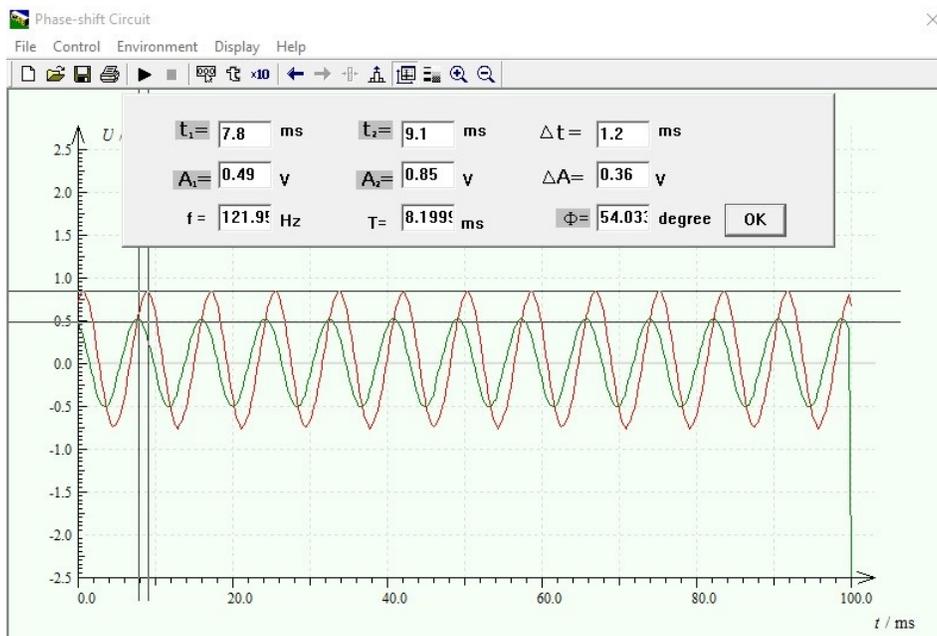


Figura 6. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RC en CA mostrando la medición con la facilidad para determinar las variaciones en las amplitudes y en la fase de las dos señales en dos instantes de tiempo seleccionados.

Luego de conectar la caja de resistencia decádica, el generador de señales y los sensores de voltaje como se describió anteriormente en la placa HPCI06 se seleccionó el experimento 5 Phase-shift Circuit en la sección Electronics and Transient del sistema HPCI-1 (ver figura 1) y se registran los voltajes de la fuente y entre los terminales de la resistencia. El aspecto de la pantalla es el que se muestra en la figura 6.

Allí se puede observar la señal en verde correspondiente al voltaje de la fuente y la señal en rojo correspondiente a la caída de voltaje en la resistencia y cómo en este caso particular la segunda está adelantada a la primera como corresponde a un circuito con impedancia capacitiva. También se muestra la facilidad del sistema HPCI-1 para este trabajo de laboratorio con la cual se pueden determinar para dos instantes seleccionados las amplitudes de los voltajes (A_1 y A_2), los instantes de tiempo correspondientes (t_1 y t_2), sus diferencias, (ΔA y Δt), el período (T), la frecuencia (f) de las señales y el ángulo de desfase en grados (ϕ) entre ellos.

Realizando esta operación para diferentes valores de la resistencia en el circuito, establecido mediante la caja de resistencia decádica, se determinaron los ángulos de desfase entre las señales y se construyó la gráfica que aparece en la

figura 7.

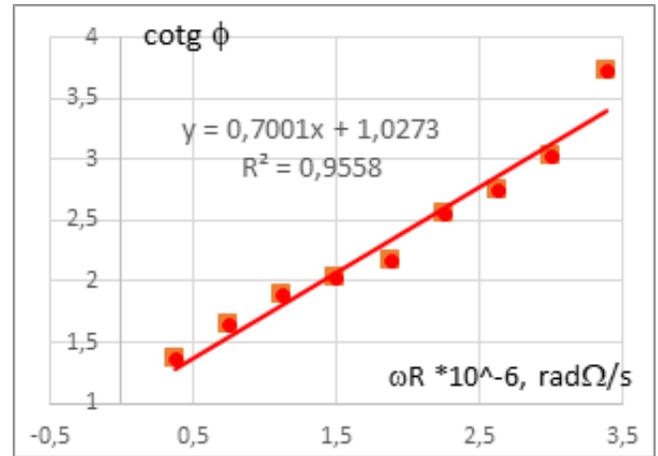


Figura 7. Gráfica del ploteo de $\cot \phi$ contra ωR mostrando la ecuación de ajuste por mínimos cuadrados y el coeficiente R^2 .

En la misma se han ploteado los valores de la cotangente del ángulo de desfase entre la corriente por el resistor y el voltaje suministrado por la fuente contra el producto ωR .

La gráfica exhibe un comportamiento lineal con muy buena correlación ($R^2 = 0,9558$) lo cual corrobora la justeza de la relación 6 y el valor de $0,70 \mu F$ obtenido para la capacidad del condensador es cercano al valor de $0,79 \mu F$ obtenido con un puente de medición digital RLC. La incertidumbre relativa tomando como referencia la medición del puente fue del 12 %.

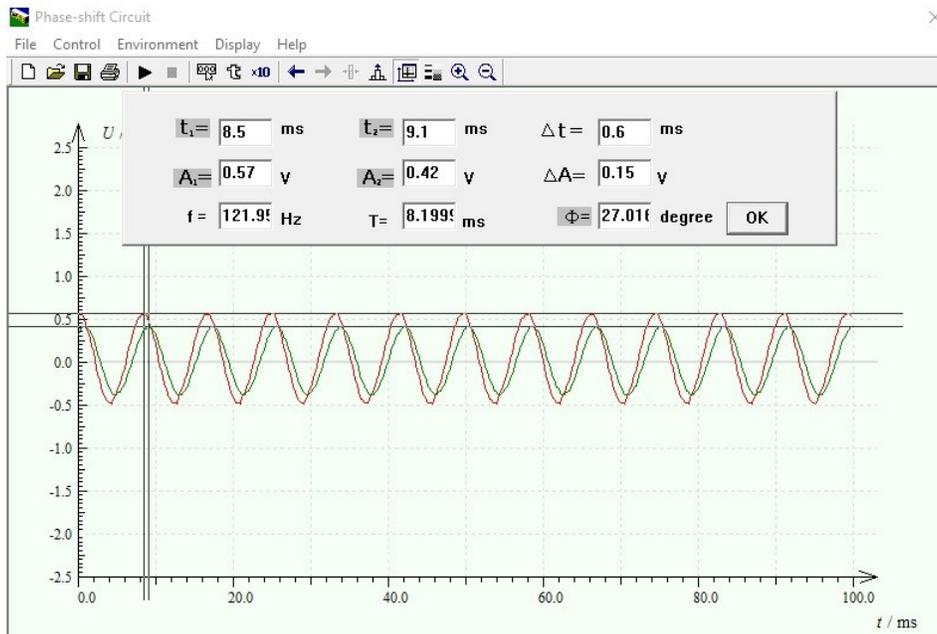


Figura 8. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RL en CA mostrando la medición con la facilidad para determinar las variaciones en las amplitudes y en la fase de las dos señales en dos instantes de tiempo seleccionados.

B. Estudio del circuito RL en circuitos de CA

Una vez que se conectó la caja de resistencia decádica, el generador de señales y los sensores de voltaje a la placa HPCI04 como se describió anteriormente, se

activó nuevamente el experimento 5 para registrar los voltajes de la fuente y entre los terminales del resistor. El aspecto de la pantalla resultó ser el que se muestra en la figura 8. Como se puede observar es similar al que se muestra en la figura 6. La única diferencia es que, en este, la señal en

verde, correspondiente al voltaje de la fuente, está adelantada a la señal en rojo, correspondiente a la caída de voltaje en la resistencia, como corresponde a un circuito con impedancia inductiva.

Una vez más, para diferentes valores de la resistencia en el circuito se determinaron los ángulos de desfase entre las señales y se construyó la gráfica que aparece en la figura 9. En la misma se han planteado los valores de la tangente del ángulo de desfase ϕ entre la corriente por el resistor y el voltaje suministrado por la fuente contra el cociente ω/R .

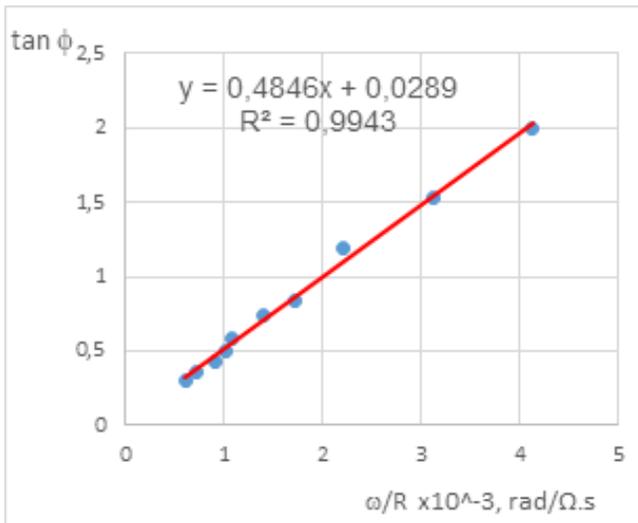


Figura 9. Gráfica del ploteo de $\tan \phi$ contra ω/R mostrando la ecuación de ajuste por mínimos cuadrados y el coeficiente R^2 .

La gráfica exhibe un comportamiento lineal con muy buena correlación ($R^2 = 0,9943$) lo cual corrobora la justeza de la relación (7) y el valor de 485 mH obtenido para la inductancia de la bobina es cercano al valor de 528 mH obtenido con un puente de medición digital RLC. La incertidumbre relativa tomando como referencia la medición del puente fue del 8 %.

C. Estudio del circuito RLC en circuitos de corriente CA. Condición de resonancia.

Luego de efectuar las conexiones para este trabajo en la placa HPCI04 y de alimentar con un generador de CA como se describió anteriormente se activó el experimento 5 y se observaron la curva verde del voltaje de la fuente y la curva roja del voltaje entre los terminales de la resistencia. Variando la frecuencia del generador logramos que el aspecto de la pantalla resultara ser el que se muestra en la figura 10 donde coincidían las posiciones de ambas señales.

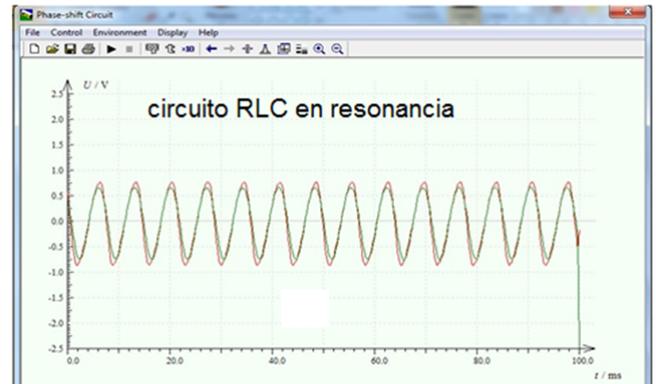


Figura 10. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RLC serie en CA. Se puede observar la coincidencia de las dos señales en el tiempo como corresponde a la condición de resonancia.

Esta corresponde al circuito cuando está en condición de resonancia. Como puede observarse, ambas señales están en fase y como podrá verificarse más tarde la amplitud del voltaje entre los terminales de la resistencia alcanza el valor máximo, superior a los dos casos que mostraremos a continuación. Estas son precisamente las características más importantes a destacar para los circuitos de CA en la condición de resonancia.

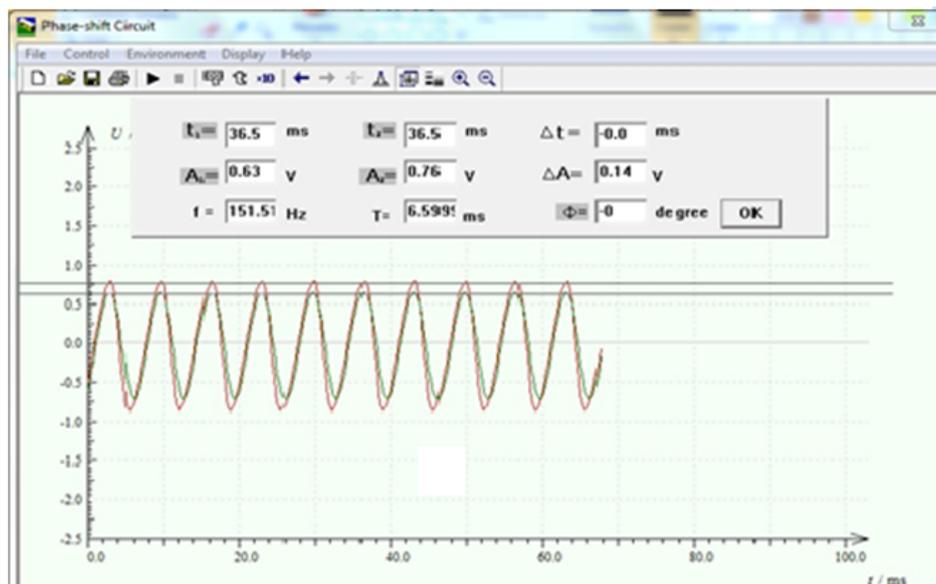


Figura 11. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RLC serie en CA mostrando la medición con la facilidad para determinar las variaciones en las amplitudes y en la fase de las dos señales en dos instantes de tiempo seleccionados.

En la figura 11, donde aparece la facilidad para determinar cuantitativamente las magnitudes, se puede ver que el desfase vale cero ($\phi = 0$), se puede determinar el valor de la frecuencia de resonancia de 115.51 Hz y se puede observar la pequeña diferencia entre las amplitudes de las dos señales ($\Delta A = 0,14$).

Como estamos trabajando con los mismos elementos del circuito y por ende no cambiamos los valores de la capacitancia del condensador, ni de la inductancia de la bobina los valores de la reactancia capacitiva X_C y de la reactancia inductiva X_L se modifican a través del cambio en la frecuencia de la señal del generador externo que suministra el voltaje alterno. Durante la resonancia $X_C = X_L$.

Si aumentamos la frecuencia por encima del valor de resonancia, entonces $X_C < X_L$ el circuito exhibe un comportamiento correspondiente a uno con predominio del componente inductivo. En la figura 12 se muestra el aspecto de la pantalla para una frecuencia superior a la de resonancia

y se evidencia el retardo de la corriente respecto al voltaje de la fuente.

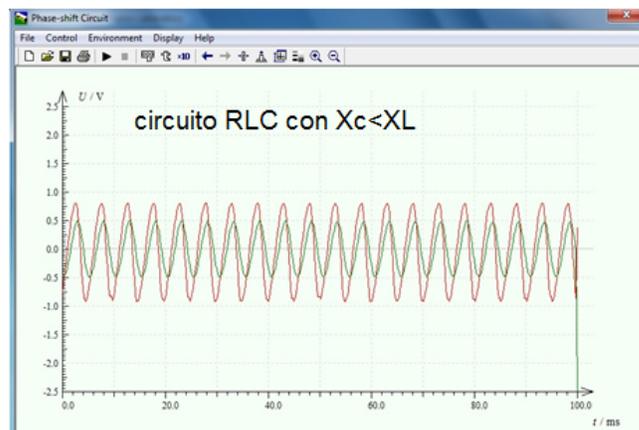


Figura 12. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RLC serie en CA. Se puede observar la coincidencia de las dos señales en el tiempo como corresponde a la condición de resonancia.

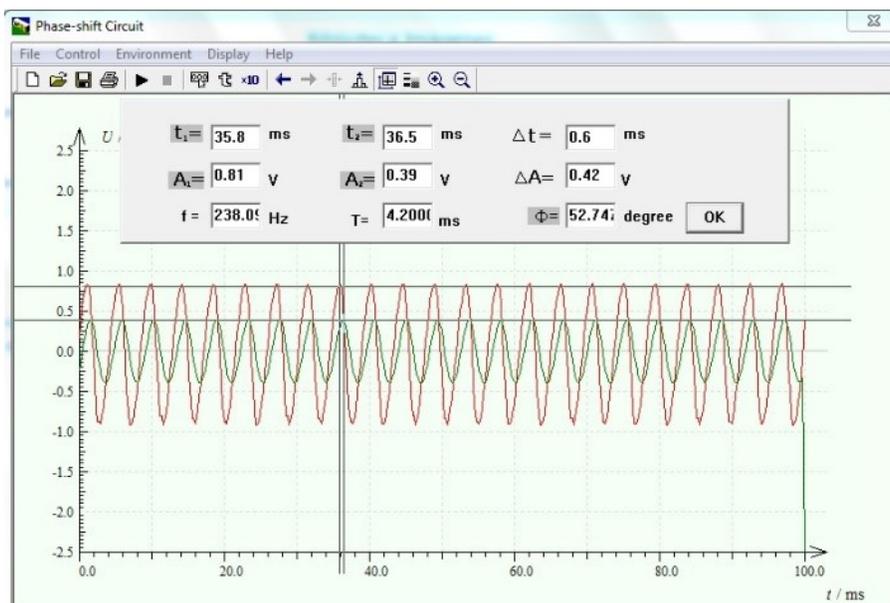


Figura 13. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RLC serie en CA mostrando la medición con la facilidad para determinar las variaciones en las amplitudes y en la fase de las dos señales en dos instantes de tiempo seleccionados.

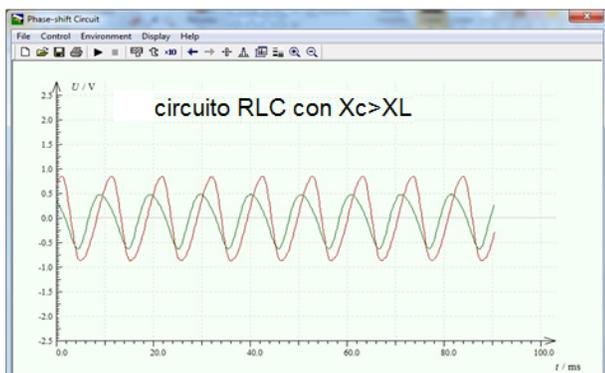


Figura 14. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RLC serie en CA. Se puede observar el adelanto de la corriente en el resistor respecto al voltaje del generador como corresponde a un circuito predominantemente capacitivo.

En la figura 13, donde aparecen los valores que brinda el uso de la facilidad ya antes descrita, se puede ver que la frecuencia era de 238.09 Hz, el valor del desfase de 52.74 grados y que los valores de la amplitud de la corriente no alcanzan a los de la figura 11 correspondiente a la resonancia (en este caso $\Delta A = 0,42$).

Por último, cuando redujimos la frecuencia por debajo del valor de la frecuencia de resonancia, entonces $X_C > X_L$ y el comportamiento es el correspondiente a un circuito con predominio del componente capacitivo. Para este caso en la figura 14 se muestra el aspecto de la pantalla para una frecuencia superior a la de resonancia y se evidencia el adelanto de la corriente respecto al voltaje de la fuente.

En la figura 15, donde aparecen los valores que brinda el uso de la facilidad ya antes descrita, se puede ver que la frecuencia

era de 98.04 Hz, el valor del desfase de 81.44 grados y que los valores de la amplitud de la corriente no alcanzan tampoco a los de la figura 11 correspondiente a la resonancia (en este caso $\Delta A = 0,36$). El registro del tiempo necesario para realizar

los 5 ejercicios de estos tres experimentos nos corrobora la idea inicial de agruparlos en una sola práctica de laboratorio dedicada al estudio general de los circuitos de CA a partir de seguir la estrategia aquí planteada.

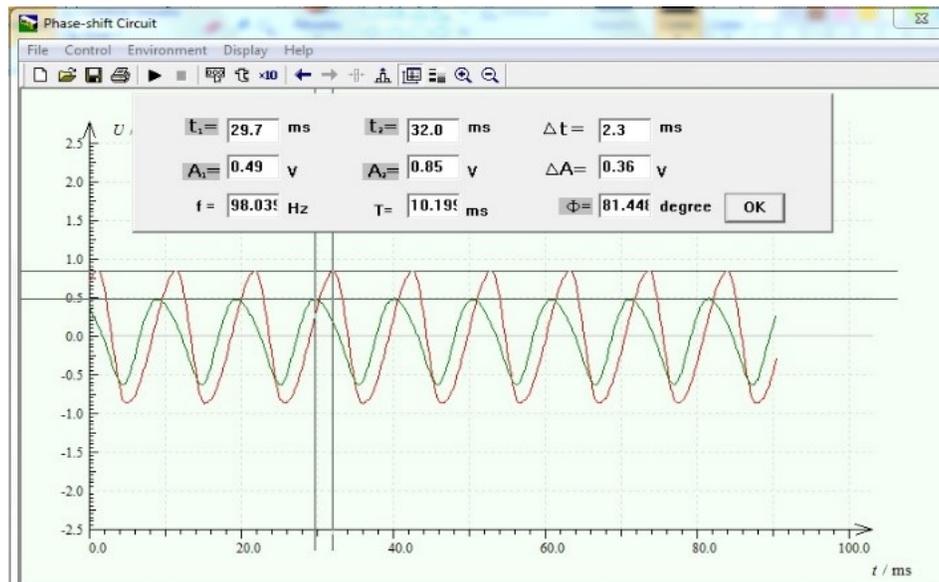


Figura 15. Aspecto de la pantalla que registra las dos señales de voltaje CA en el tiempo para el circuito RLC serie en CA mostrando la medición con la facilidad para determinar las variaciones en las amplitudes y en la fase de las dos señales en dos instantes de tiempo seleccionados.

IV. CONCLUSIONES

- Es posible ampliar las posibilidades del uso del laboratorio de Física asistido por computadoras HPCI-1 a partir de utilizar las facilidades del mismo de forma más creativa.
- La ampliación se puede hacer empleando los elementos de los circuitos que lo acompañan e introduciendo algunos equipos generales del laboratorio tales como generadores de señales, puente de medición RLC y cajas de resistencias.
- Lo fundamental es modificar los trabajos para verificar experimentalmente las relaciones que describen los fenómenos físicos de forma cuantitativa.
- Los resultados obtenidos tienen buena concordancia con los valores previstos teóricamente y contribuirán a reforzar el material teórico al hacerlo más verosímil.
- Los tres experimentos de laboratorio propuestos se pueden introducir de inmediato en calidad de prácticas de laboratorio para el tema circuitos de CA en el curso

de Física II y se pueden realizar en un turno de clase de laboratorio de 2 horas.

REFERENCIAS

- [1] HPCI-1 Computer Aided Physics Laboratory. Experiment Manual. Version 4.0. U-Star Sensor Technology Co., Ltd., pp. 96 – 97.
- [2] D. Halliday, R. Resnick, K. S. Krane, Física Versión ampliada Vol.2, 4ta Ed. (Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México, 1999).
- [3] H.D. Young, R. A. Freedman, Sears y Zemansky Física Universitaria con Física Moderna Vol. 2, 13va Ed. (Pearson, México, 2013).
- [4] R. A. Serway, J. W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers, 6th Ed. (Thomson Brooks/Cole, 2004).
- [5] H. A. Radi, J. O. Rasmussen, Principles of Physics for Scientists and Engineers, Undergraduate Lecture Notes in Physics, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

