

IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR LOCK-IN PARA LA MEDICIÓN DE ESPECTROSCOPIA ÓPTICA*

IMPLEMENTATION OF A LOCK IN AMPLIFIER FOR OPTICAL SPECTROSCOPY MEASUREMENTS*

R. HOMS^{a†}, E. PURÓN^{b‡}

a) Departamento de Física, Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE) rhoms@electronica.cujae.edu.cu[†]

b) Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana; epuron@imre.oc.uh.cu[‡]

[†] autor para la correspondencia

(Recibido 20/4/2012; Aceptado 18/4/2013)

Se presenta el montaje experimental de una medición de espectroscopia óptica basada en la instrumentación virtual. Se abordan técnicas de procesamiento digital para la implementación de un amplificador lock-in utilizando una tarjeta de adquisición de datos conectada a una computadora personal. La aplicación se desarrolló en C++ sobre la plataforma gráfica de código abierto Qt/Qt. Se realizaron mediciones espectrales de fuentes de luz de referencia para la calibración y validación del sistema.

The experimental set-up of an optical spectroscopy measurement based on virtual instrumentation is presented. A lock-in amplifier has been implemented by applying digital signal processing techniques to a PC-based data acquisition board. The application was developed in C++, on top of open source Qt/Qt graphical framework. The spectral emission of reference light sources were measured in order to calibrate and validate the system.

PACS: Absorption spectroscopy in biophysics, 87.64.K-; Biological systems optical and infrared radiation effects, 87.50.W- , Light-emitting diodes, 85.60.Jb.

I. INTRODUCCIÓN

En el estudio de los materiales y dispositivos opto-electrónicos juega un papel fundamental la caracterización óptica de las estructuras desarrolladas. Entre las técnicas más utilizadas resaltan las mediciones de espectroscopia óptica, las que permiten obtener una amplia información sobre propiedades microscópicas y cristalinas de la muestra, sin necesidad de alterarla mediante procedimientos químicos o mecánicos. El desarrollo actual de la instrumentación para la espectroscopia óptica ha permitido introducir los métodos espectrales en áreas tan diversas como la arqueología, el desarrollo de productos químicos, la industria de pigmentos, la caracterización de dispositivos ópticos, el estudio de microorganismos, la investigación forense, el control médico y farmacéutico, la inspección de alimentos, el análisis de contaminantes, el control de soldaduras y la electrodeposición, por solo citar algunos ejemplos.

El Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales, IMRE, de la Universidad de La Habana, cuenta con monocromadores soviéticos LOMO adquiridos en los años 80 que conservan el sistema óptico en buen estado, siendo éste el principal componente de un espectrómetro óptico. Las señales de luminiscencia que se miden en la mayoría de los casos son muy débiles y constantes en el tiempo, por ello es necesario

* Artículos presentados en el VII Taller internacional TECNOLÁSER y III Reunión de Óptica, Vida y Patrimonio (La Habana, abril de 2012)

desarrollar en la medición métodos de detección sincrónica, los cuales se pueden realizar con un amplificador lock-in (ALI).

II. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE EXPERIMENTAL

El sistema está conformado por: fuente de luz a estudiar, troceador (chopper), monocromador LOMO MDR-4, fotodiodo (S1223), tarjeta de adquisición de datos (NI-USB6008) y PC con el instrumento virtual. En la figura 1 se puede apreciar el diagrama del sistema.

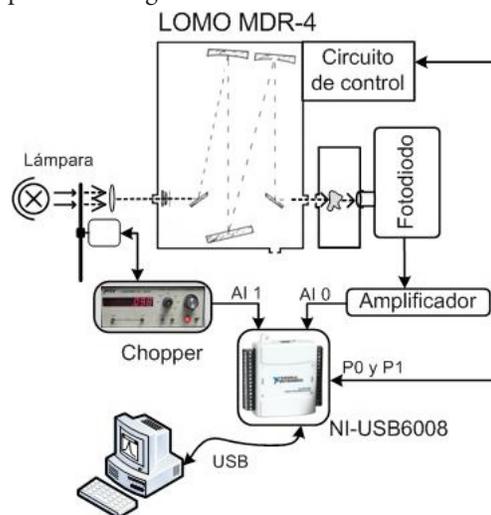


Figura 1. Diagrama del montaje experimental del sistema.

CIRCUITO DEL AMPLIFICADOR DEL FOTODIODO

La señal de salida del foto-diodo es del orden de los nA, siendo necesario realizar un acondicionador de señal para acoplarlo a la tarjeta de adquisición. El fotodiodo tiene dos modos básicos de operación: foto-voltaico (FV) y foto-conductivo (FC), éste último, es recomendado para la instrumentación [5]. El modo FC permite polarizar o no el diodo en inversa, con la polarización se obtiene una mayor sensibilidad, en cambio se introduce una fuente de ruido debido a la alimentación CD. La tensión de salida (VOUT) está dada por:

$$V_{out} = I_s R_f$$

Para una ganancia de $R_f = 30 \text{ M}\Omega$ (2%), una capacitancia intrínseca $C_s = 22 \text{ pF}$ y un factor GPB (Gain Bandwidth Product) igual a 1 MHz, se obtiene una frecuencia de corte $f_{-3dB} \approx 50 \text{ kHz}$. En el sistema de medición, la frecuencia de muestreo utilizada es de 5 kHz limitada por la tarjeta de adquisición, siendo fijado el máximo ancho de banda a 2.5 kHz funcionando además como filtro antialiasing. La frecuencia de corte necesaria es mucho menor f_{-3dB} . Por lo que el filtro se comporta como un filtro de primer orden, definiéndose la frecuencia de corte como [5]:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\pi_f C_f}$$

Se escogió una $f_c = 1.3 \text{ KHz}$ por lo que $C_f = 3.9 \text{ pF}$, esta frecuencia garantiza que a 2.5 KHz se tenga una atenuación de 9 dB; el circuito implementado se muestra en la figura 2.

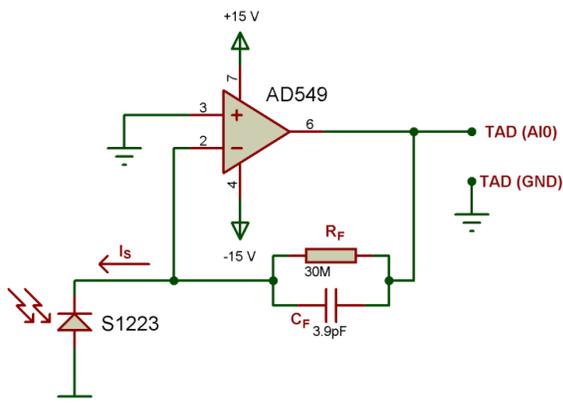


Figura 2. Amplificador de transimpedancia para el fotodiodo.

CIRCUITO DE CONTROL DEL MONOCROMADOR

Se implementó un circuito de control para el monocromador el cual consta de una interfaz con compuertas NOT (LS7404) que actúan como buffers entre la tarjeta de adquisición. Los componentes del circuito, constituyendo un bloque primario de aislamiento y protección.

La parte de control de potencia se realizó con transistores SD339, encargados de conmutar entre corte y saturación y transferir la secuencia necesaria de excitación de las bobinas del motor. A cada transistor se le conectó un diodo en inversa, fundamental para la protección del transistor de la tensión

autoinducida por las bobinas en el cambio de saturación a corte. En la figura 3 se muestra uno de los cuatro canales de potencia.

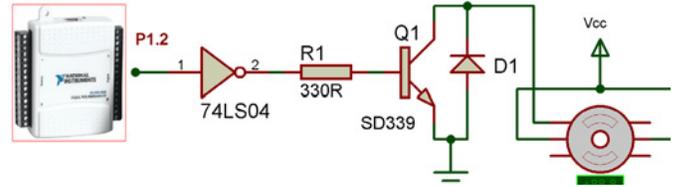


Figura 3. Canal de potencia de las bobinas.

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

Como tendencia mundial los grandes centros de investigación migran hacia los sistemas operativos de código abierto. Por ello se escogió como sistema de desarrollo QtCreator 2.0.1 de Nokia basado en las bibliotecas Qt 4.7.0 y el compilador Mingw. La implementación de la GUI (Grafical User Interface) se utilizaron las bibliotecas Qwt-6.0.0-rc5 (Qt Widgets for Technology) las cuales proporcionan un grupo de objetos implementados en Qt 4.7.0 para la instrumentación virtual, entre los que se encuentran gráficos en 2D y 3D, botones e indicadores. La aplicación está corriendo sobre Windows XP. Los drivers de la tarjeta NI-USB6008 sólo soportan Linux RedHat y Suse 11.

El programa se implementó en cuatro módulos fundamentales, figura 4:

- Clases para la atención del monocromador.
- Clase para la implementación del amplificador lock-in.
- Clases para la interfaz usuario.
- Clases de datos.

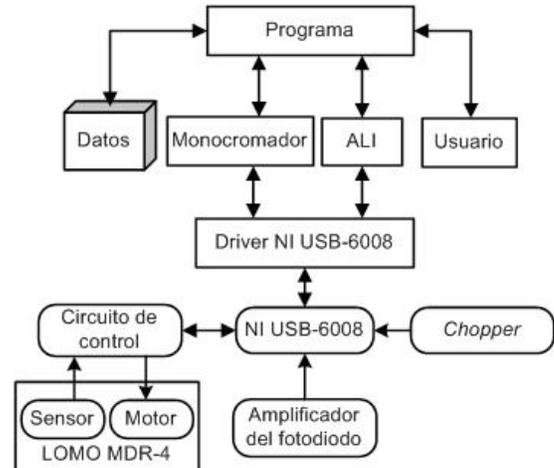


Figura 4. Diagrama en bloque de la aplicación.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

En el procesamiento de los datos lo primero que se calcula es la frecuencia de modulación, obtenida en un arreglo de muestras de la señal de referencia. Posteriormente se realiza la convolución de los arreglos de muestras de la señal de referencia con la señal de entrada. La convolución de dos señales cuadradas produce una forma de onda triangular.

En los picos positivos las señales se encuentran en fase, sin embargo cuando la amplitud de la convolución es nula ambas señales están desfasadas 90°. Las principales funciones que debe tener la medición sincrónica son la detección de la frecuencia y la diferencia de fase entre las señales, en caso de una errónea detección de los factores anteriores la medición no es válida.

La detección de la diferencia de fase se realiza a partir del cálculo de tres puntos, debido a que la forma de la convolución son dos líneas con pendientes opuestas, se puede interpolar la diferencia de fase existente entre las señales.

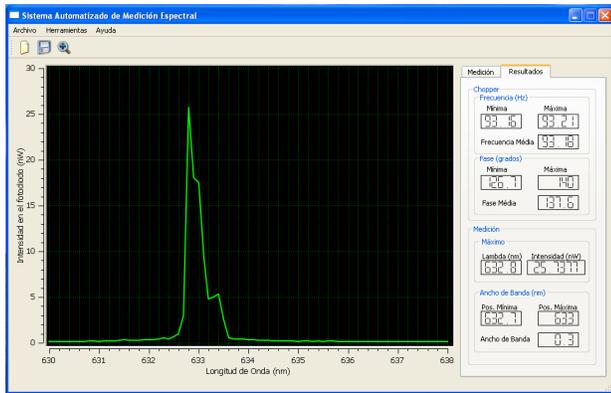


Figura 5. Ventana de usuario del instrumento virtual.

INTERFAZ DE USUARIO

La GUI es amigable, permitiendo una fácil adaptación del usuario con el instrumento virtual, figura 5. Consta de un grupo de controles que le permiten adecuar los parámetros de configuración (intervalo de medición, paso de barrido, tiempo de integración) para cada medición. Incorpora dos herramientas para facilitar la alineación del sistema por el usuario, cuando es modificada la fuente de luz. Los valores medidos son graficados en tiempo real y pueden ser almacenados en un fichero de texto importable por Excel y Origin para su posterior análisis.

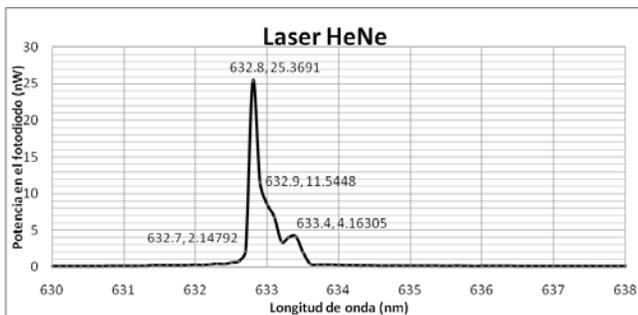


Figura 6. Respuesta espectral del láser de Helio-Neón.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la calibración del sistema de posicionamiento se utilizaron fuentes patrones con espectros en el intervalo de trabajo. Para ello se utilizó un láser de Helio-Neón (figura 6) y una lámpara de Mercurio (figura 7). De la figura 6 se puede apreciar un pico secundario de menor intensidad, este se produce debido al deterioro del sistema óptico. La amplitud del mismo es cinco veces inferior que la amplitud del máximo principal.

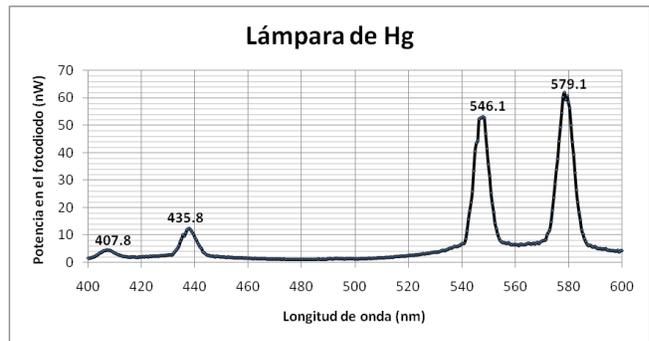


Figura 7. Respuesta espectral de la lámpara de Mercurio.

CONCLUSIONES

La implementación de un amplificador lock-in basado en instrumentación virtual permite la disminución del costo de la medición de espectroscopía óptica. La reproducción del sistema con la reutilización de monocromadores LOMO en experimentos donde no es necesario altos requerimientos instrumental, es posible. La portabilidad del instrumento virtual a plataformas Linux es posible, siendo los driver de la tarjeta NI-USB6008 el que fija la distribución utilizar.

- [1] R. Homs, Implementación de un Sistema de Medición de Espectroscopía Óptica., in Departamento de Automática y Computación. 2011, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: Ciudad de La Habana. p. 80.
- [2] P. A. Temple, Review Science Instrumentation **43**, 7 (1975)
- [3] P. A. Probst and B. Collet, Review Science Instrumentation **56**, 466 (1985).
- [4] P. A. Probst and A. Jaquier, Review Science Instrumentation **65**, 747 (1994).
- [5] Analog Devices, AD549: Ultralow Input Bias Current Operational Amplifier - Datasheet. 2005. p. 12.