

# SIMULACIÓN DE LA SEÑAL ÓPTICA EN UN POLARÍMETRO AUTOMÁTICO BASADO EN EL EFECTO FARADAY

## SIMULATION OF THE OPTICAL SIGNAL IN AN AUTOMATIC POLARIMETER BASED IN THE FARADAY EFFECT

E. ARISTA ROMEU<sup>a,b†</sup>, J. RAVELO TRIANA<sup>a</sup>, V. FAJER-AVILA<sup>a</sup>

a) Departamento Desarrollo Instrumentación, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), 11300 La Habana, Cuba; arista@ceaden.edu.cu<sup>†</sup>

b) Laboratorio de Biofotónica, ESIME- Zac. Instituto Politécnico Nacional (IPN), 07738 Ciudad de México, México

† autor para la correspondencia

Recibido 16/3/2017; Aceptado 27/4/2017

PACS: Image processing, 07.05.Pj; Pattern recognition, 42.30.Sy; Data analysis: algorithms and implementation, 07.05.Kf; Imaging in biological physics, 87.57.2s; Functional analysis, 02.30.Sa.

La polarimetría es el método mundialmente aceptado para la determinación de la concentración de sacarosa en los procesos de la industria azucarera. También se utiliza en la industria médico-farmacéutica como método analítico para realizar el control de calidad de las materias primas de fármacos ópticamente activos [1–4].

En [3] se muestra un bloque esquema de un polarímetro basado en el principio magnetoóptico. La presencia de un camino óptico en este tipo de instrumentos es una dificultad para determinar la forma de las señales eléctricas que se obtienen a la entrada de los circuitos electrónicos de medición y cuya solución motiva el presente trabajo.

Las celdas de modulación y de compensación [5] están constituidas por solenoides en cuyo interior se encuentra una barra de vidrio, generalmente del tipo Flint pesado. Su funcionamiento se basa en el efecto Faraday que consiste, en que en presencia de un campo magnético, el vidrio adquiere actividad óptica, o sea, produce un giro del plano de polarización de la luz linealmente polarizada, el cual viene dado por la expresión 1.

$$\Delta X = KH. \quad (1)$$

Donde  $\Delta X$  es el giro del plano de la luz polarizada debido al efecto Faraday,  $l$  la longitud de la barra de vidrio,  $K$  la constante de Verdet y  $H$  la intensidad del campo magnético.

En el presente caso al solenoide modulador se le aplica una señal alterna de 18 kHz, lo cual provoca la oscilación del plano de polarización de la luz.

A continuación se deducirá [6] la expresión para la intensidad luminosa que se obtiene detrás del polarizador analizador. De acuerdo con la ley de Malus, la intensidad de la luz viene dada por la expresión:

$$I = I_0 \cos^2(X + \Delta X). \quad (2)$$

Donde,  $X$  es el ángulo formado entre los planos de la

polarización de los prismas polarizadores,  $I$  es la intensidad luminosa e  $I_0$  la amplitud de la misma.

Tomando el valor de la expresión del campo magnético en un solenoide ideal:

$$H = in/l', \quad (3)$$

donde,  $i$  es la corriente en el solenoide,  $n$  el número de vueltas y  $l'$  su longitud e introduciendo el valor de  $H$  en (1) se tiene:

$$\Delta X = Kl\left(\frac{in}{l'}\right) = K'i = KnI. \quad (4)$$

El valor de la corriente alterna  $i$  viene dado por:

$$i = i_0 \sin(\omega t) \quad (5)$$

Sustituyendo 4 y 5 en 2 se obtiene:

$$I = I_0 \cos^2(K'i_0 \sin(\omega t) + X). \quad (6)$$

La forma de onda de esta expresión se corresponde con la señal obtenida en el fotodetector por el efecto del modulador en ausencia de la acción de la celda compensadora o en el momento cuando se produce la compensación (con distinta amplitud). La señal contiene una componente característica con el doble de la frecuencia usada en la bobina de la celda moduladora en estos casos.

El solenoide compensador trabaja de forma similar y puede ser superpuesto al de modulación con la diferencia de que la corriente responde a una expresión lineal que gráficamente se visualiza como una rampa y que la ley de Malus (2) se aplicaría entonces a la intensidad resultante del campo magnético:

$$H_{res} = H_{mod} + H_{rampa}. \quad (7)$$

$H_{res}$ ,  $H_{mod}$  y  $H_{rampa}$  son las intensidades del campo magnético resultante, de la bobina moduladora y de la bobina compensadora respectivamente.

Obteniéndose de modo similar la siguiente expresión al introducir en (8) un término lineal:

$$I = I_0 \cos^2(K''t + K'i_0 \sin(\omega t) + X). \quad (8)$$

Finalmente se debe tomar en cuenta la influencia del fotodetector (preamplificador) que introducirá un offset o corrimiento en CD, distintos tipos característicos de ruidos (no incluidos en la simulación), etc. En la Figura 1 se presenta el circuito de simulación en Altium [7] de la expresión anterior con los capacitores de desacoplamiento, la inclusión

del offset del preamplificador y la formación de la señal de referencia de fase. Para mostrar la utilidad del modelo anterior se utilizará el circuito de la Figura 2, donde se implementa un circuito [8] para detectar el instante en que ocurre la compensación en base a los circuitos integrados AD630 y LM311, el primero es un modulador/demodulador en una configuración estándar y el segundo un comparador, se adiciona la resistencia R3 como protección por el gran intervalo de tensión diferencial de entrada posible y se añadieron los componentes R7 y C3 que pudieran no ser necesarios con otros comparadores.

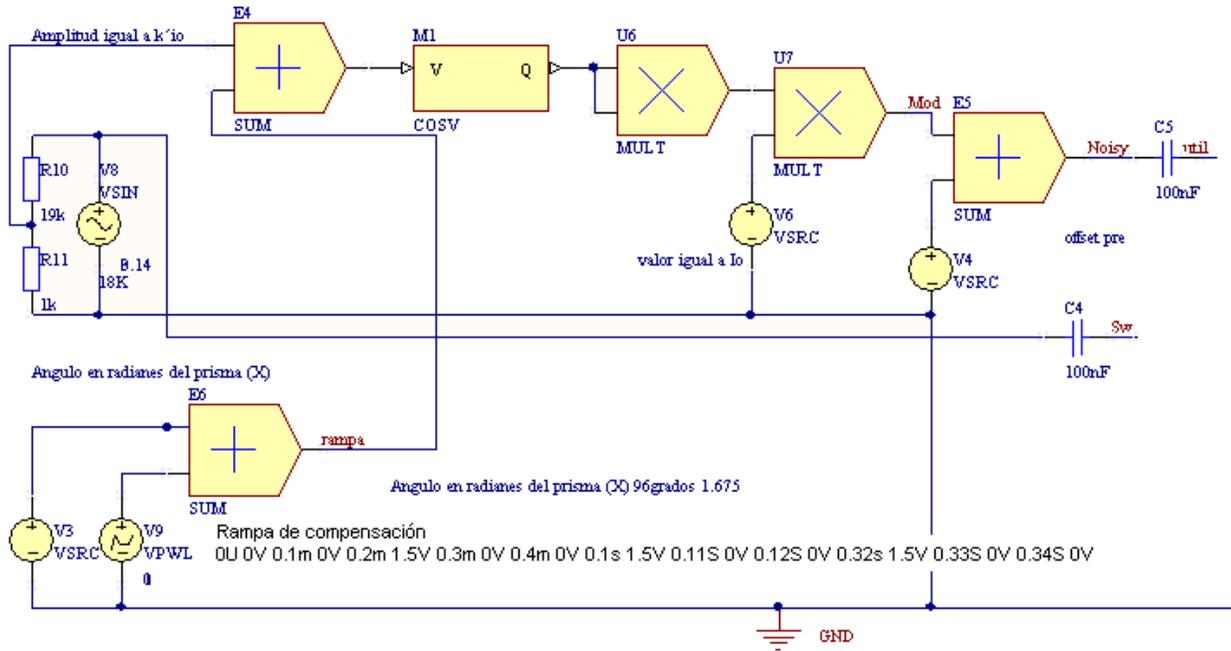


Figura 1. Circuito de simulación de la señal óptica en Altium.

Para la simulación se debe esperar el establecimiento del régimen de operación del circuito bajo investigación. Para lograr esto se usó una rampa con varios ciclos de subida-bajada: en la Figura 3 se muestra el último de ellos. La rampa tiene la siguiente formación según la notación SPICE: 0 U 0 V 0.1 m 0 V, 0.2 m 1.5 V, 0.3 m 0 V, 0.4 m 0 V, 0.1 s 1.5 V, 0.11 s 0 V, 0.12s 0V, 0.32s 1.5V, 0.33s 0V, 0.34s 0V. En esta notación se indican los puntos de inflexión de la función  $V(t)$  con dos valores, el primero de los cuales es el tiempo y el segundo la tensión ambos con las unidades y los múltiplos incluidos y utilizando el punto decimal.

En la Figura 3 se muestra un intervalo que comienza en 0.1 s para mostrar un ciclo de señal de rampa y se distinguen claramente las dos regiones de la rampa de compensación con los vértices de cambio a 0.12, 0.32 y 0.33 s. En la parte superior, la envolvente de la forma de onda de entrada, en la parte inferior en carmelita la señal a la entrada del comparador y en azul la salida del comparador. La compensación ocurre en la parte de medición (creciente) de la rampa incluso sin ninguna sustancia ópticamente activa por la rotación del

prisma (ángulo inicial) aunque en dicha figura existe un desfase adicional de 0.1 radianes simulando la presencia de una sustancia ópticamente activa como muestra.

Aunque el modelo simplifica algunos aspectos físicos, los resultados de la simulación son de utilidad para determinar los elementos de mayor sensibilidad del circuito estudiado: en este caso la resistencia R2, que pudiera ser optimizada.

Los valores de  $K'i_0$  y de  $I_0$ , usados en el modelo como valores para las fuentes de tensión, se pueden determinar experimentalmente para un instrumento determinado aunque se conoce su dependencia de parámetros como la constante de Verdet, la longitud y número de vueltas del solenoide. La intensidad luminosa  $I_0$ , depende de la fuente de luz usada y de las pérdidas en el polarizador y por la absorción en la sustancia bajo medición,  $i_0$  es el valor máximo de la corriente usada en la bobina de modulación.

El valor de V3 se puede usar para simular el giro óptico causado por una sustancia ópticamente activa que estuviera siendo medida en el instrumento.

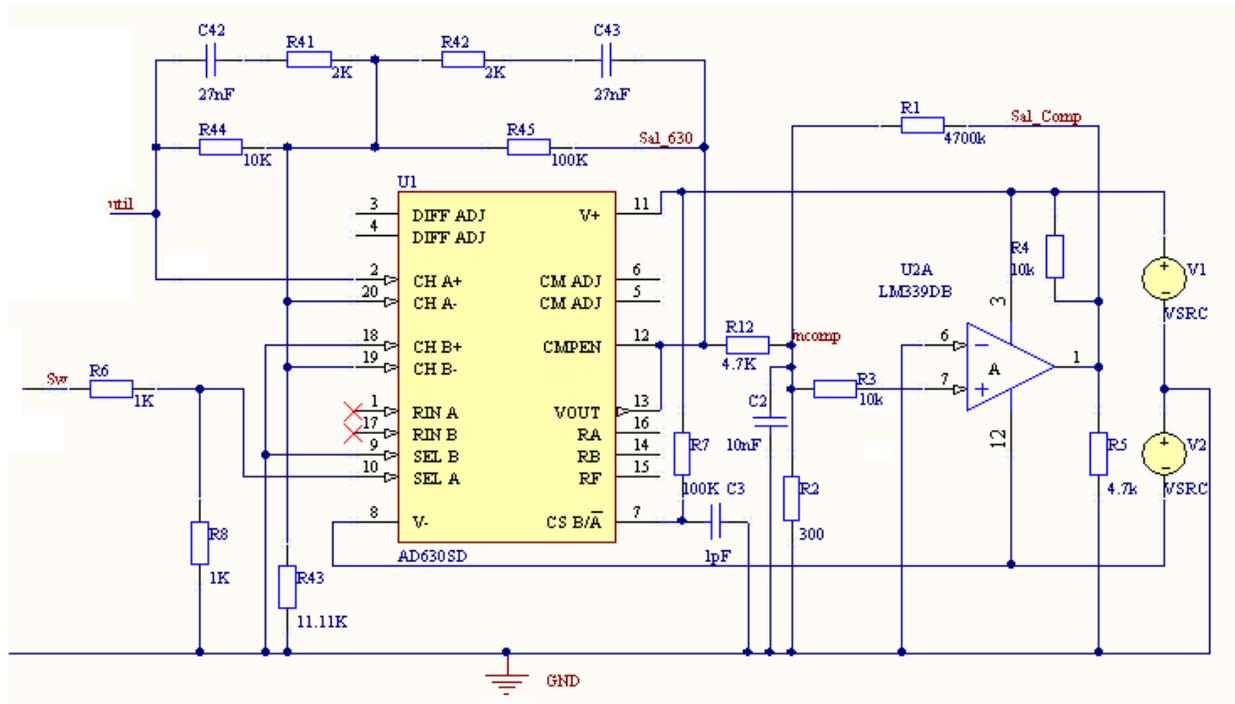


Figura 2. Circuito de simulación en Altium.

V8 determina la frecuencia de modulación y con V9 se modela la rampa de compensación, cuyos parámetros deben ser ajustados de acuerdo a las mediciones experimentales, sin embargo, aunque algunos parámetros como el número de vueltas son de muy difícil variación (una vez construida la bobina), otros como la corriente usada, o los tiempos de subida y bajada de la rampa pudieran ser optimizados. Con V4 se simula ruido blanco que se adiciona a la señal y de

modo similar se podría añadir otros tipos de ruidos, tensiones de offset, etc, que pudieran ser necesarios para simular algún fotodetector específico utilizado. Fue posible simular la señal óptica recibida en el fotodetector de un polarímetro automático láser. De este modo se puede integrar el camino óptico del instrumento a la simulación de los circuitos electrónicos y realizar la optimización de sus componentes según los criterios que se establezcan.

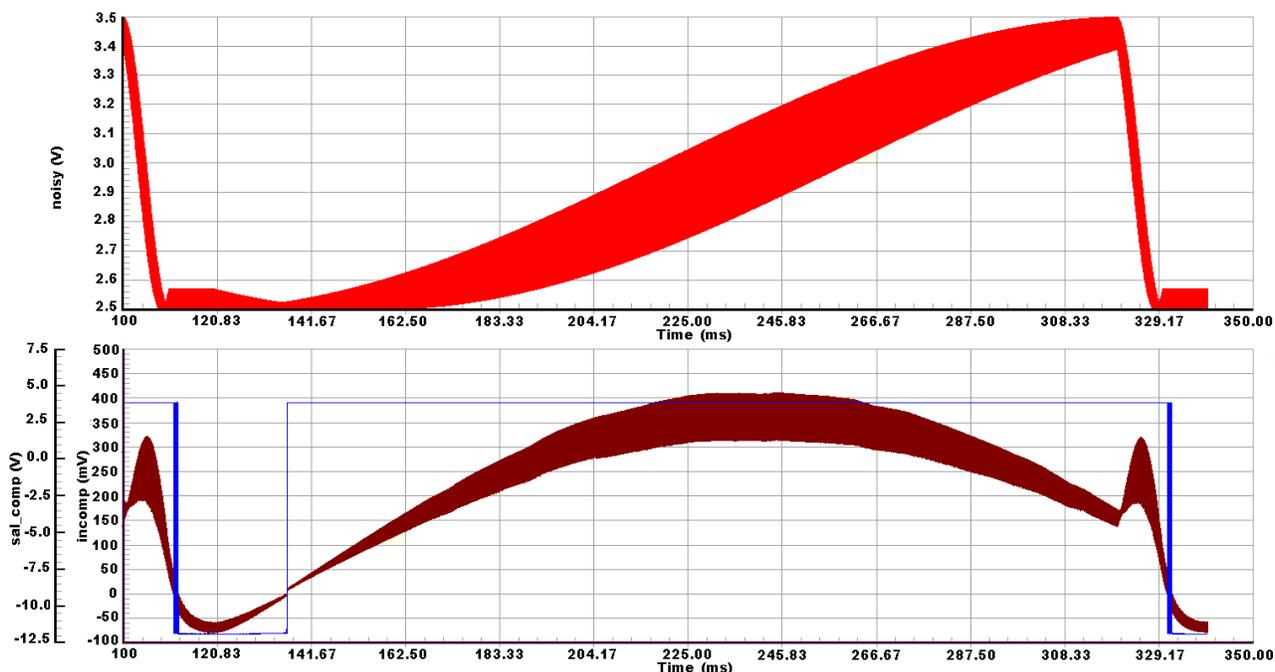


Figura 3. En la parte superior la envoltura de la señal de entrada. En la parte inferior en carmelita la envoltura de la señal a la entrada del comparador y en azul la salida del mismo.

## REFERENCIAS

- [1] V. Fajer V, C. Rodríguez, T. Cepero, S. Naranjo, E. Arista, W. Mora, G. Mesa, H. Fernández, J. Arteche, V. Hormaza y G. Cossío, *Rev. Cubana Fis.* **25**, 81 (2008).
- [2] C. W. Rodríguez, T. Cepero, V. Fajer, S. Naranjo, W. Mora, E. Arista, G. Mesa, H. Fernández, J. Fernández and D. Piñón, *Sugar Tech* **11**, 392 (2009).
- [3] V. Fajer, C. W. Rodríguez, S. Naranjo, H. Fernández, W. Mora, T. Cepero, E. Arista, G. Mesa, G. Cossío, J. Arteche and C. Fonfría, *Sugar Tech* **13**, 13 (2011).
- [4] M. F. Nolting, in 1976 Meet. American Society of Sugar Cane Technologists (American Society of Sugar Cane Technologists, Baton Rouge, 1977).
- [5] R. M. Duffy and R. P. Netterfield, *Rev. Sci. Instrum.* **55**, 713 (1984).
- [6] E. Arista, "Modernización de polarímetro automático Láser". Tesis de maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, 2012.
- [7] A. A. Beltran Jr., C. D. Hiwatig, N. J. R. Laguna-Agustin and M. B. Villanueva, *Int. J. Sci. Eng. Technol.* **3**, 1239 (2014).
- [8] E. Arista-Romeu, W. Mora-Mazorra y V. Fajer-Ávila, *Rev. Cubana Fis.* **28**, 1E26 (2011)