

# Instrumentación electrónica de la función potencial tipo Sombrero Mexicano

I. Campos-Cantón<sup>a</sup>, E. Campos-Cantón<sup>b</sup> y L.F. Villanueva Ortega<sup>a</sup>  
*Facultad de Ciencias<sup>a</sup>, Dpto. de Físico Matemáticas<sup>b</sup>, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,  
 Álvaro Obregón 64, 78000, San Luis Potosí, SLP, México,  
 e-mail: icampos@ciencias.uaslp.mx*

Recibido el 24 de octubre de 2006; aceptado el 19 de abril de 2007

En este trabajo se presenta la implementación electrónica del potencial Sombrero Mexicano a través de la Función Sombrero Mexicano. La construcción de la función potencial (Sombrero Mexicano) se realiza utilizando circuitos integrados y elementos pasivos.

*Descriptores:* Multiplicadores; dinámica no lineal; amplificadores operacionales.

We present in this work the electronic implementation of Mexican Hat potentials using the Mexican Hat function. The construction of this potential function (Mexican Hat) is accomplished using integrated circuits and passive elements.

*Keywords:* Multipliers; non linear dynamics; operational amplifiers.

PACS: 02.30.Em; 02.30.Oz; 47.10.-g; 95.10.Fh

## 1. Introducción

En diversos campos de la física se observan fenómenos no lineales que son generados por la aplicación de diferentes potenciales. El caso más famoso es el del ejemplo de la intermitencia hidrodinámica relacionada con la localización espacial de alta vorticidad, que causa el movimiento irregular de la velocidad de las partículas bajo la acción de un potencial Sombrero Mexicano. El potencial de tipo Sombrero Mexicano es tomado como prototipo para realizar implementación electrónica de la función que lo describe. Por otro lado, este tipo de función sirve de modelo en el análisis de temblores [1], para analizar el brillo de las galaxias [2], modelado de estrellas [3], en el análisis químico [4-8] y últimamente empleado en la transformada *ondeleta* de tipo continuo [9].

La caracterización de sistemas dinámicos y estáticos usando *ondeletas* se desarrolla a grandes pasos debido a que el análisis por *ondeletas* se aplica a señales no estacionarias, donde es posible trabajar en el dominio del tiempo y de la frecuencia con diferentes niveles de resolución [10] utilizando la función Sombrero Mexicano.

Además, la implementación electrónica de este potencial nos da la posibilidad de explorar los resultados teóricos y de observaciones obtenido en diferentes áreas de investigación. Por ejemplo las investigaciones astronómicas y químicas son difíciles de reproducir en el laboratorio y la implementación electrónica del potencial Sombrero Mexicano será de gran ayuda en las mismas.

En este trabajo se lleva a cabo la instrumentación electrónica del circuito que realiza la función Sombrero Mexicano. El circuito fue construido utilizando multiplicadores analógicos, amplificadores operacionales, diodos y dispositivos pasivos.

## 2. Implementación electrónica

La función Sombrero Mexicano es una de las funciones con mayor uso por parte de los investigadores, debido a que gran

cantidad de fenómenos físicos se pueden modelar por esta función, dada por la siguiente ecuación:

$$y(x) = (d - x^2)e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (1)$$

Cabe mencionar que esta ecuación del Sombrero Mexicano no es única ya que existe otra función con el mismo nombre dada por la siguiente ecuación

$$f(x, y) = \frac{\text{sen}(x) \text{sen}(y)}{xy}. \quad (2)$$

La realización electrónica de la función dada por la Ec. (1) comprende el uso solamente de multiplicadores analógicos, resistores, condensadores, diodos y amplificadores operacionales. El diagrama de bloques de la implementación electrónica se muestra en la Fig. 1.

En la Ec. (1) podemos identificar dos términos no lineales: la exponencial y el término cuadrático. Para la implementación del circuito electrónico primero se realiza el término que está entre paréntesis y posteriormente el término correspondiente a la exponencial, con ello se consigue que los circuitos electrónicos de cada uno de estos términos sean simples y fáciles de analizar.

Para la construcción del término  $(d - x^2)$  se emplea un multiplicador y un restador, como se muestra en la Fig. 1, por el otro lado, para el término exponencial de la Ec. (1) se emplean configuraciones logarítmicas con base en amplificadores operacionales y diodos, siendo esta parte la más delicada en cuanto al manejo de la compensación del voltaje térmico  $v_T$  y el manejo de la corriente inversa de saturación  $I_s$  que necesariamente se presenta por el uso de los diodos en el circuito. En la Fig. 2 se muestra la implementación electrónica del circuito que realiza la función Sombrero Mexicano.

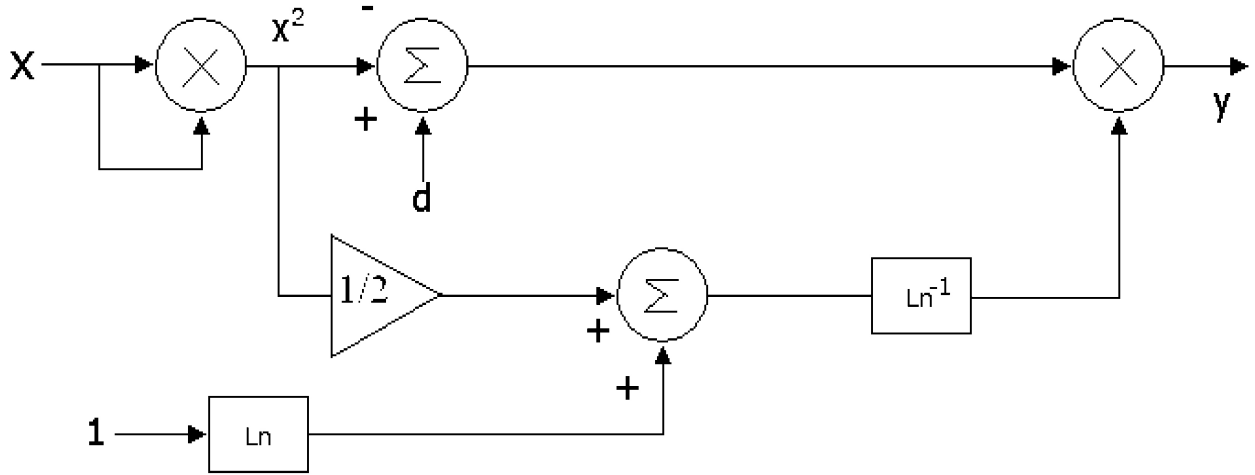


FIGURA 1. Diagrama de bloques del circuito para la función sombrero Mexicano

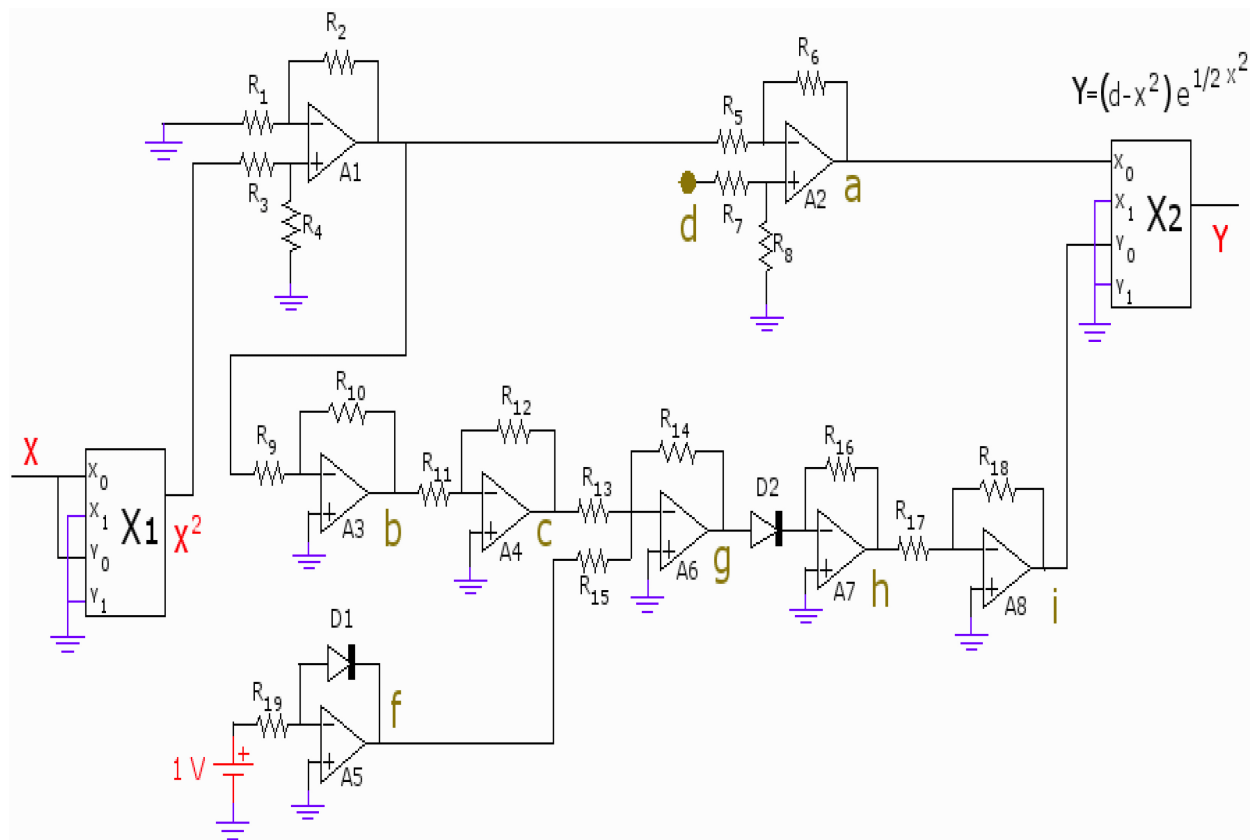


FIGURA 2. Circuito electrónico del Sombrero Mexicano.

La rama superior de la Fig. 2 (la trayectoria desde el circuito etiquetado como X1 al circuito A2) es la construcción de la función  $(d - x^2)$  que se obtiene a la salida del circuito A2 utilizando la configuración no inversora para A1 y la diferencial para A2. Y la parte exponencial de la función se realiza a través de los amplificadores operacionales de la rama inferior (trayectoria desde el circuito X1 al circuito A8 tomando en cuenta A5). Cabe hacer mención que el parámetro de ajuste  $d$  de la Ec. (1) se implementa a través de un voltaje

que se inyecta al amplificador operacional A2 a través de la entrada no inversora.

Para llevar a cabo la multiplicación se emplea el multiplicador analógico de cuatro cuadrantes AD633 de Analog Device. En el amplificador A5 se obtiene la función logaritmo a través de la relación de las corrientes de Kirchoff, donde la salida de su voltaje es

$$f = -v_T \ln \frac{1}{R_{19} I_s}, \tag{3}$$

TABLA I.

TABLA DE VALORES	
R <sub>1</sub> , R <sub>4</sub> , R <sub>16</sub> , R <sub>19</sub>	1 KΩ
R <sub>2</sub> , R <sub>6</sub> , R <sub>7</sub> , R <sub>10</sub> ,	10 KΩ
R <sub>13</sub> , R <sub>14</sub> , R <sub>15</sub> , R <sub>17</sub> , R <sub>18</sub>	10 KΩ
R <sub>3</sub>	2.3 KΩ
R <sub>11</sub>	8.42KΩ
R <sub>12</sub>	100Ω
R <sub>5</sub> , R <sub>8</sub> , R <sub>9</sub> ,	3.33 KΩ
A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> , A <sub>4</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>6</sub> , A <sub>7</sub> , A <sub>8</sub>	AO TL081
X1, X2	AD633 analog multiplier
D1, D2	1N4148

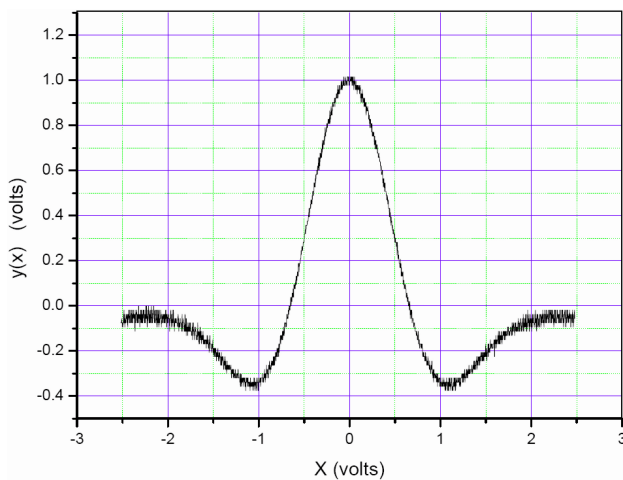


FIGURA 3. Resultado experimental de la implementación electrónica de la función Sombrero Mexicano.

y el voltaje térmico se desarrolla con base en la combinación de las resistencias en los amplificadores operacionales A3 y A4. La combinación de las resistencias R<sub>12</sub> y R<sub>11</sub> proporcionan el valor  $v_T/2$ :

$$c = v_T \left( \frac{1}{2} x^2 \right). \quad (4)$$

La función antilogaritmo se desarrolla en el amplificador operacional A7, donde

$$g = v_T \left( \ln \frac{1}{R_{19} I_s} + \frac{1}{2} x^2 \right) \quad (5)$$

y

$$h = -R_{16} I_s e^{\frac{g}{v_T}} = -e^{-\frac{1}{2} x^2}. \quad (6)$$

Finalmente, a través del último multiplicador X<sub>2</sub>, desarrollamos la etapa final de la función Sombrero Mexicano:

$$y(x) = (d - x^2) e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (7)$$

### 3. Experimento

Los valores de los componentes utilizados se dan en la Tabla I

La Fig. 3 muestra la gráfica experimental del Sombrero Mexicano, donde la señal de entrada es una señal de tipo rampa a una frecuencia de 1kHz y amplitud de -2.5 a 2.5 volts.

### 4. Conclusiones

Se presenta el desarrollo e implementación de la función Sombrero Mexicano a través de circuitos integrados como son el multiplicador AD633 y amplificadores operacionales, así como diodos, capacitores y resistores. El resultado experimental presenta baja resolución al aproximarnos al nivel de voltaje de referencia, en este caso 0 volts. Esto es debido a que los diodos utilizados en el diseño presentan inestabilidades (comportamiento de encendido – apagado) en las cercanías de su voltaje de ruptura que es de 0.3 V para este diseño. Por otro lado, se puede manufacturar este diseño de la función Sombrero Mexicano en un solo *chip*. Debido a que el circuito electrónico final contiene solo semiconductores y componentes pasivos.

En un trabajo posterior se empleará este circuito para analizar series de tiempo provenientes de dos sistemas caóticos de forma numérica y experimental.

### Agradecimientos

ECC agradece el apoyo otorgado por el FAI-UASLP a través del convenio **C06-FAI-03-11.14** para soportar parcialmente este trabajo.

- Z. Zhou y H. Adeli, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. **18** (2003) 379.
- V.E. Barnard *et al.*, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **352** (2004) 961.
- P. Vielva, *et al.*, *Not. R. Astron. Soc.* **344** (2003) 89.
- Lu Xiaoquan *et al.*, *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* **44** (2004) 1228.
- Balázs Réffy *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **122** (2000) 3127.
- M. Hargittai, A. Schulz, B. Réffy y M. Kolonits, *J. Am. Chem. Soc.* **123** (2001) 1449.
- P.E.M. Wijnands *et al.*, *Inorganic Chemistry* **35** (1996) 1214.
- Venkatesan *et al.*, *J. Phys. Chem. A* **108** (2004) 2256.
- C. Parameswariah y M. Cox, *IEEE POTENTIALS* **25** (2006) 11.
- J.S. Murguía y E. Campos-Cantón, *Rev. Mex. Fís.* **52** (2006) 155.