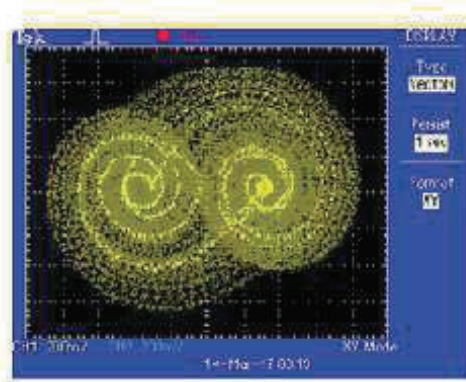
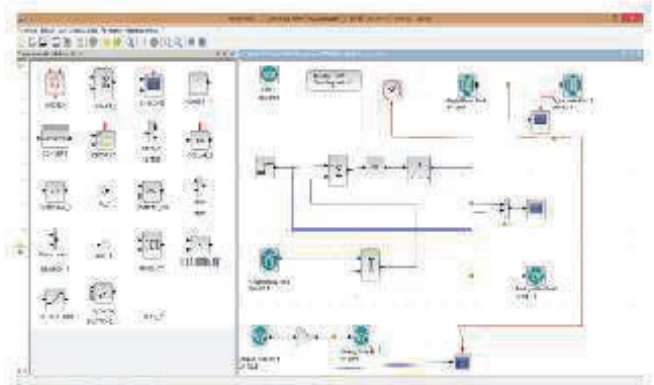


Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria

Una muestra del talento mexicano

José Emilio Vargas Soto
Ángel Adrián Ortiz González
Juan Francisco Ávila García



ASOCIACION MEXICANA DE
MECATRONICA A.C.

**Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria
Una muestra del talento mexicano**

**José Emilio Vargas Soto
Ángel Adrián Ortiz González
Juan Francisco Ávila García**

Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria

Una muestra del talento mexicano

Editado por
José Emilio Vargas Soto
Ángel Adrián Ortiz González
Juan Francisco Ávila García

Publicado por:
Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.

En colaboración con:
GrupoLOC

© Los editores

Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria. Una muestra del talento mexicano es un libro digital autorizado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor bajo el número de radicación 315269 a la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C., Fonología 116, Colonia Tecnológico C.P. 76158 Querétaro, Qro. México. Tel. (01-442) 224-0257, www.mecamex.net, las opiniones y la información que se muestran en los capítulos del libro son exclusivas de los autores y no representan la postura de la Asociación Mexicana Mecatrónica A.C. Fecha de la última modificación 06 de mayo 2017. Esta obra es una publicación de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C., la cual permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones por cualquier medio, siempre y cuando los trabajos estén apropiadamente citados, respetando la autoría de las personas que realizaron los capítulos.

Impreso y hecho en México
Primera edición, 06 de mayo 2017
ISBN 978-607-9394-09-7

Índice

Capítulo 1 Diseño, Fabricación y Puesta en Marcha de un Brazo Robótico Móvil de 5 Grados de Libertad. Rodríguez Uribe María Abigail, Govea Valladares Eder Hazael Limon Leyva Pablo Alberto, García Zugasti Pedro de Jesús y García Liñan Gerardo. División de Estudios de Posgrado e Investigación Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.	1
Capítulo 2 Diseño de Trayectoria Aleatoria Mediante FPAAs para Robot Uniciclo. Ontañón-García L.J., Silva-Campos J.M. y Lozoya-Ponce R.E. Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP, Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C., campus San Luis Potosí, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus San Luis Potosí.	13
Capítulo 3 Seguimiento de Trayectorias Utilizando el Robot Lego Mindstorm EV3 y Matlab. González Del Río, J.D., Martínez López, M. y Ontañón-García, L.J. Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP.	20
Capítulo 4 Determinación de la Eficiencia Inhibidora de la Corrosión del Extracto Acuoso de Hojas de Guanábana (<i>Annona Muricata</i>) en Sensores de Cobre. J.C. Chávez-Barrera, F. Corvo, J.R. Brito y V. Moo Centro de Investigación en Corrosión-Universidad Autónoma de Campeche. Facultad de Ciencias Químico Biológicas-Universidad Autónoma de Campeche.	26
Capítulo 5 Análisis del Impacto Ambiental y Socioeconómico por la Contaminación de Cobalto-60 Generado por la Empresa Ex Aceros de Chihuahua S.A. de C.V. Bustillos Camacho Leina Elizabeth, Leyva Chávez Arwell Nathán, Valles Aragón María Cecilia, García Muñoz Silvia Amanda y González Aldana Ricardo Aarón. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.	31
Capítulo 6 Problema de Inundaciones en la Zona Centro de la Ciudad de Chihuahua. Pérez Villanueva Jorge Alberto, Leyva Chávez Arwell Nathán, Valles Aragón María Cecilia, García Muñoz Silvia Amanda y López Díaz Julio César. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas .	43

Cap.2 Diseño de Trayectoria Aleatoria Mediante FPAA para Robot Uniciclo

Ontañón-García LJ^{a*}, Silva-Campos JM^b, Lozoya-Ponce RE^c,

^aCoordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP,

^bCentro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C., campus San Luis Potosí,

^cInstituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus San Luis Potosí,
luis.ontanon@uaslp.mx

Resumen

Se presenta el diseño de un sistema caótico implementado electrónicamente, con el fin de inducir trayectorias impredecibles en una flotilla de robots tipo uniciclo para la cobertura de áreas determinadas de forma síncrona. El sistema es capaz de generar un atractor doble enroscado con características deseables para la generación de trayectorias aleatorias. La implementación electrónica de dicho sistema es realizada mediante los sistemas embebidos determinados como Field Programmable Analog Array (FPAA), los cuales son capaces de interconectar y reconfigurar amplificadores operacionales mediante arreglos de capacitores e interruptores reproduciendo el comportamiento analógico de la solución del sistema.

Palabras clave: Sistemas caóticos, seguimiento de trayectorias, robot uniciclo, sistemas embebidos, FPAA.

1. Introducción

A partir del sistema dinámico no lineal caótico que diseñó el científico estadounidense Edward Lorenz en los años sesenta [1]. El estudio del caos, se ha extendido a una infinidad de aplicaciones y áreas de la ciencia ya que muchos de los fenómenos naturales que ocurren a nuestro alrededor, pueden ser representados mediante sus características. Actualmente existen muchas técnicas para diseñar sistemas con soluciones caóticas. Sin embargo, una de las más utilizadas es mediante los sistemas lineales por pedazos (PWL), los cuales son de gran interés para la comunidad científica debido a las características que presentan y los fenómenos que pueden reproducir. Estos sistemas han sido fuertemente relacionados con el estudio del caos debido a las no linealidades que pueden llegar a producir. Una de sus principales ventajas, es que pueden presentar atractores con múltiples enroscados dependiendo de las funciones y superficies de conmutación que se consideren. Desde el trabajo de Suykens en [2] acerca de atractores doble-n en el sistema de Chua, se han reportado diferentes aproximaciones para obtener atractores multi-enroscado. Estos métodos van desde modificar la parte no lineal en el Sistema de Chua, hasta usar funciones no lineales tales como histéresis, saturación y función escalón (véase [3,4] y las referencias en ellas). A partir de ellos en [4], se implementó una generalización de todas estas técnicas con los determinados sistemas disipativos inestables (UDS) por sus siglas en inglés. En la cual se toman puntos de equilibrio del tipo foco-ensilladura y se caracterizan por los valores propios que presentan en sistemas UDS del tipo I o del tipo II. Mediante esta caracterización se pueden diseñar sistemas que presenten n número de enroscados, acordes con el número de puntos de equilibrio que presente el sistema. Y han sido utilizados comúnmente en aplicaciones de seguridad y encriptación de datos, por ejemplo en las determinadas en [5] y las referencias ahí indicadas.

Una de las áreas que ha sido frecuentemente abordada en temas de caos mediante estos sistemas, es el estudio del fenómeno de sincronización. Después de los primeros reportes por Pecora y Carroll [6], se han desarrollado diferentes técnicas de acoplamiento entre sistemas caóticos, por ejemplo las descritas en [7]. Por lo cual es posible diseñar métodos de acoplamiento para el control de sistemas, o

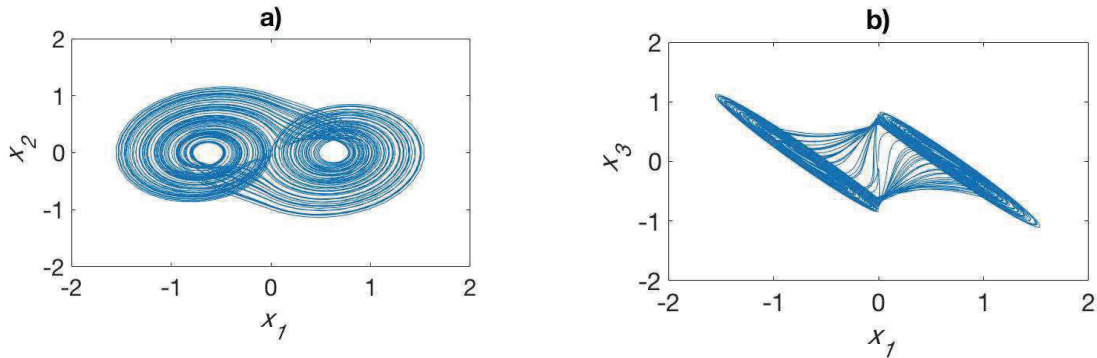


Figura 1. Proyección del atractor caótico del sistema (2) con (3) en los planos: a) (x_1, x_2) ; b) (x_1, x_3)

el forzamiento de trayectorias específicas. Por ejemplo en el uso de robots móviles para realizar tareas eficaces y eficientes de forma sincronizada.

Existen actualmente aplicaciones interesantes de los robots móviles, como transporte industrial, dispositivos de limpieza de pisos [8,9]. Recientemente, en el campo de la Robótica Avanzada, se han estado proponiendo tareas de exploración y vigilancia mediante robots móviles, en donde es necesario que los robots cumplan al menos con los objetivos de cubrir toda un área determinada y de realizarlo de una manera impredecible (sobre todo para los casos de vigilancia o patrullaje). Para cumplir con estos objetivos se ha propuesto el empleo de sistemas caóticos para el forzamiento de trayectorias impredecibles [10].

De tal manera que en este trabajo se presenta el diseño de un sistema caótico con la intención de generar trayectorias caóticas en el movimiento de robots del tipo unicyclo. La implementación del sistema caótico será a través de los sistemas embebidos reconfigurables determinados Field Programmable Analog Array (FPAA) de la empresa Anadigm, los cuales permiten el diseño de sistemas mediante la interconexión de amplificadores operacionales en sus diferentes configuraciones: sumador inversor, seguidor de línea, integrador, etc.

El artículo está conformado de la siguiente forma, en la Sección 2 se presenta la teoría matemática que involucra el desarrollo de los sistemas caóticos multienroscado; en la Sección 3 se muestra el diseño del circuito electrónico mediante la utilización de amplificadores operacionales y el software asistido de Anadigm para la programación de la FPAA. Los resultados experimentales se describen en la Sección 4 y por último las conclusiones en la Sección 5.

2. Sistemas dinámicos inestables del tipo I

Los sistemas dinámicos inestables del tipo I (abreviados por las siglas UDS del tipo I como se presentaron en [4]) se basan en la composición de sistemas inestables lineales a pedazos o PWL (por sus siglas en inglés). Consideremos un sistema dinámico de la forma:

$$\dot{x} = \mathbf{f}(x, t), \quad (1)$$

donde $x = [x_1, \dots, x_n]^T$ es la variable de estado, t se refiere al tiempo transcurrido y $\mathbf{f} = [f_1, \dots, f_n]^T$ determina la dinámica del sistema, donde $\mathbf{f}: t \times E \rightarrow E$ es una aplicación continua de un subconjunto abierto de \mathbf{R}^n . La trayectoria de estos sistemas en el tiempo se rige por el valor o condición en la que se encuentren en un tiempo inicial, esté o estos valores representados por x_0 se conocen como condiciones iniciales. Una de las características más importante de los sistemas dinámicos es que el mismo sistema puede presentar trayectorias completamente diferentes si sus condiciones iniciales no son exactamente iguales [4].

2.1 Estabilidad local de un sistema dinámico

Para entender el comportamiento y las propiedades que pueden surgir en este tipo de sistemas es

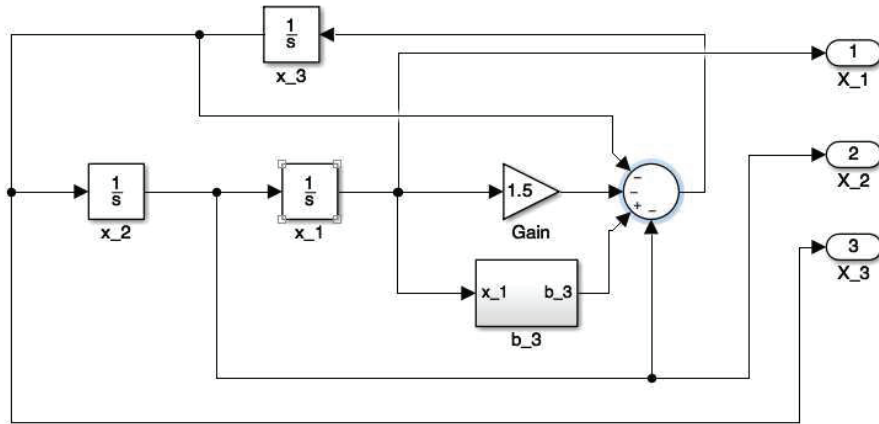


Figura 2. Modelo a bloques en Simulink de la solución del sistema dado por la ec. (2) con (3).

necesario estudiar su estabilidad local. La parte lineal ayuda a entender la tendencia de movimiento de un sistema dinámico como el dado por la ecuación (1), se calcula mediante el Jacobiano. Este tipo de estabilidad es fundamental en el diseño de sistemas con caos y múltiples enroscados. En general la estabilidad local está representada por los eigenvalores $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ del sistema. Por ejemplo, un sistema estable presentará puntos de equilibrio que resulten en eigenvalores negativos, un sistema caótico con múltiples enroscados tendrá puntos de equilibrio tanto estables como inestables del tipo ensilladura.

2.2 Multienroscado en sistemas lineales por pedazos

Gracias al tipo de puntos de equilibrio que presentan los sistemas caóticos, sus trayectorias en el espacio se contraen en alguna dimensión pero se expanden en otra, resultando en las formas complejas conocidas como atractores. Sin embargo este tipo de órbitas se pueden generar también mediante puntos de equilibrio inestables del tipo silla si se considera un sistema lineal por pedazos. Este tipo de sistema se describe de la siguiente forma:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}(x),$$

$$\mathbf{B}(x) = \begin{cases} B_1, & \text{si } x \in D_1; \\ B_2, & \text{si } x \in D_2; \\ \vdots & \vdots \\ B_k, & \text{si } x \in D_k; \end{cases} \quad (2)$$

en donde $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in \mathbf{R}^n$ representa el vector de estados, $\mathbf{B} \in \mathbf{R}^n$ es un vector real, $\mathbf{A} = [\alpha_{ij}] \in \mathbf{R}^{n \times n}$ con $i, j = 1, 2, \dots, n$ denota un operador o matriz lineal. Si se considera que $\mathbf{R}^n = \cup_{i=1}^k D_i$, en donde D_i corresponden a los dominios del sistema, los puntos de equilibrio de (2) son $x_i^* = -\mathbf{A}^{-1}B_i$, con $i = 1, \dots, k$, en donde k corresponde al número de dominios introducidos en (2). La dinámica del sistema está dada por la matriz \mathbf{A} , la cual presenta una variedad estable E^s y una inestable E^u . Debido a la forma que toman sus puntos de equilibrio, sería posible definir el siguiente tipo de sistemas UDS:

Definición 2.1: Decimos que el sistema (2) es UDS si $\sum_{i=1}^n \lambda_i < 0$, en donde $\lambda_i, i = 1, \dots, n$, son eigenvalores de la matriz \mathbf{A} y al menos un λ_i es real negativo, y dos λ_i son complejos conjugados con parte real positiva $Re\{\lambda_i\} > 0$.

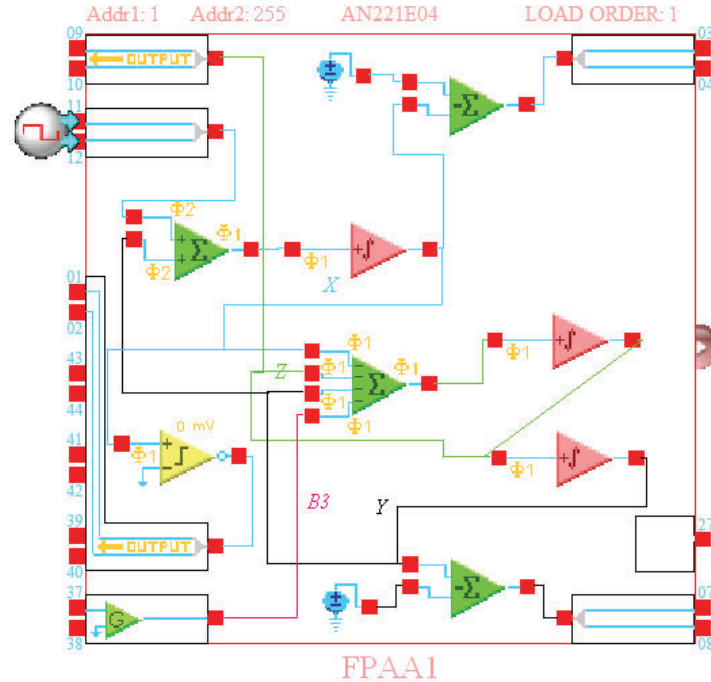


Figura 3. Implementación electrónica del sistema (2) con (3) mediante FPA AN221E04.

El objetivo es definir vectores B_i asegurando la estabilidad de una clase de sistemas dinámicos en R^n con oscilaciones dentro del atractor. En otras palabras, para cada condición inicial $x_0 \in R^n$, la órbita $\phi(x_0)$ del sistema (2) está atrapada en un atractor caótico al definir al menos dos vectores B_1 y B_2 .

Esta clase de sistemas puede desplegar varios atractores multi-enroscados como el resultado de la combinación de varias trayectorias espirales inestables, *i.e.*, estamos interesados en un vector de campo que pueda producir atractores multi-enroscados mediante vectores conmutados $B_i, i = 1, \dots, k$ y $k \geq 2$. Por lo tanto definimos un sistema caótico multi-enroscado UDS como se muestra a continuación:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1.5 & -1 & -1 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \beta_3 \end{bmatrix}; \beta_3 = \begin{cases} 1 & \text{si } x_1 \geq 0, \\ -1 & \text{si no} \end{cases} \quad (3)$$

lo cual resulta en el conjunto de eigenvalores $\lambda = \{-1.20, 0.10 \pm 1.11i\}$, el cual satisface la Definición 2.1. Los puntos de equilibrio del sistema (3) usando la matriz A y el vector B definido en (3) son: $x_1^* = (1.2, 0, 0)^T$ y $x_2^* = (-0.6, 0, 0)^T$. Así el sistema resulta en un atractor con dos enroscados como se puede apreciar en la Figura 1 a través de la simulación numérica mediante el método de integración de Runge Kutta de 4to orden. El cálculo del exponente máximo de Lyapunov resulta en 0.10, demostrando que es un sistema caótico.

3. Diseño e implementación del circuito mediante FPA

Debido a la forma diferencial que presenta el sistema dinámico descrito en la ecuación (2) con (3), se podrá diseñar un circuito electrónico que mediante amplificadores operacionales que represente físicamente el sistema. Para esto será necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones y técnicas de configuración en amplificadores operacionales. A partir de la primer ecuación del sistema $\dot{x}_1 = x_2$, mediante la integración en ambos lados de la igualdad resultaría en lo siguiente: $x_1 = \int x_2 dt + C_1$. Así, las ecuaciones para x_2 y x_3 se pueden resolver de igual manera resultando el digrama de bloques representado en la Figura 2 por Simulink de Matlab. En donde el bloque b_3 corresponde a la función a pedazos representada por el vector afín B .

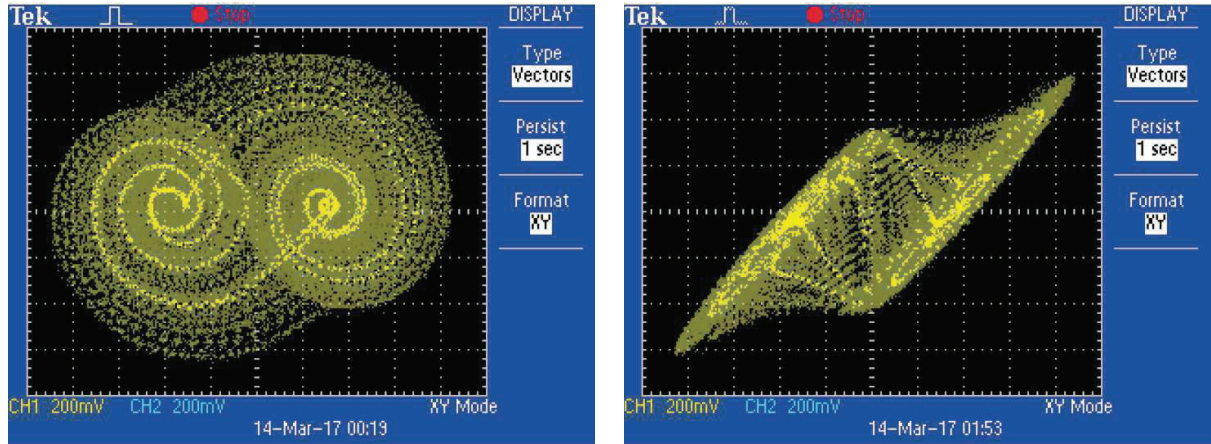


Figura 4. Mediciones de voltaje de los estados: a) (x_1, x_2) ; b) (x_1, x_3)

Debido a las características de la conmutación de este vector, su implementación electrónica se puede realizar mediante un circuito comparador a través de amplificadores operacionales el cual será explicado más adelante.

Ahora, considerando el modelo a bloques del sistema, su implementación resulta fácil mediante el software de la compañía de dpASP (dynamically programmable Analog Signal Processing) de Anadigm denominado Anadigm Designer 2, mediante el cual se puede hacer la interconexión de los determinados Configurable Analog Modules (CAM's). Estos bloques localizados en el chip AN221E04 de Anadigm, consisten en amplificadores operacionales que pueden ser reconfigurados internamente mediante el uso de arreglos de capacitores y switches de interconexión. El alambrado del circuito basado en el modelo de bloques descrito resulta en lo que se muestra en la Figura 3. Aquí se pueden apreciar los elementos de integración, sumador inversor, fuentes de voltaje y un circuito comparador. Las especificaciones de cada elemento de acuerdo a las características del sistema están dados en la Tabla 1.

4. Resultados

Tras el diseño del circuito en la FPA AN221E04, se hizo la implementación en el sistema de desarrollo AN221K04-v4 a 5v. El cual funciona como una tarjeta de desarrollo para el chip de la versión previamente indicada. Las mediciones realizadas mediante un osciloscopio Tektronix TDS2014 en el formato XY se pueden apreciar en la Figura 4. Note la similitud de la salida de voltaje con la solución numérica mostrada anteriormente en la Figura 1. Lo cual demuestra que la solución del circuito representa el comportamiento del sistema dado en la ec. (2) con (3).

Una de las características más importantes de esta implementación electrónica, es el hecho de que las condiciones iniciales x_0 que se dan al circuito electrónico, representadas internamente por los voltajes de activación que presentan los capacitores conectados en los módulos de integración 1, 2 y 3, son completamente impredecibles e imposibles de reproducir. Incluso al momento de energizar el sistema embebido cualquier caso de capacitancia o corriente parásita que presente la fuente, terminará en valores diferentes para las condiciones iniciales al momento de integración de la señal del sistema. Esto resulta en señales caóticas del tipo aleatorias que podrán ser inducidas al movimiento de robots del tipo unicycle en la misma forma que Nakamura y Sekiguchi proponen en [10].

5. Conclusiones

Los sistemas caóticos son capaces de reproducir trayectorias complejas dependiendo de sus parámetros intrínsecos. Dichos sistemas, al momento de ser simulados mediante herramientas computacionales, tales como métodos de integración del tipo Runge Kutta, necesitan ciertas condiciones iniciales x_0 que son imposibles de mantener en niveles exactos de voltaje. Por lo cual, a diferentes condiciones iniciales, diferentes trayectorias emitidas por el sistema. Esto ayuda en el desarrollo de trayectorias aleatorias necesarias para el acoplamiento de robots del tipo unicycle en aplicaciones de vigilancia y seguridad. La interconexión de dichos robots acoplados a la señal caótica aleatoria se llevará a cabo mediante los métodos de acoplamiento propuestos en [6] y [10] presentando la ventaja de utilizar FPAA y el sistema multi-enroscado presentado aquí.

Tabla 1. Tabla de especificaciones de los elementos de la FPAA.

Elemento	Espec.	Elemento	Espec.	Elemento	Espec.	Elemento	Espec.
Master Clock DCLK (fc)	16 MHz	Comparator 1	Signal Ground	Input Cell 2	Input	Voltage 1,2	+3v
System Clock	1 MHz	Integrator 1,2,3	Integration constant [1/us] 0.0250	Input Cell 3	Input Single-Ended	SumInv 1	Gain1=-0.50 Gain2=-1.00
Chopper Clock	250 KHz	SumDiff 2	Gain1=-1.50 Gain2=-1.00 Gain3=-1.00 Gain4=-0.20	Input Cell 4	Output A	SumInv 2	Gain1=-1.00 Gain2=-0.90
Input Cell 1	Output	SumDiff 4	Gain1=0.10 Gain2=1.00	Output Cell 1	Bypass	Output Cell 2	Bypass

Agradecimientos

L.J.O.G. agradece el apoyo otorgado por la UASLP a través del proyecto No. C16-FAI-09-46.46, y a la SEP-PFCE 2016 por el apoyo otorgado mediante el proyecto No. P/PFCE-2016-24MSU0011E-21.

Referencias

- [1] Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.
- [2] J.A.K. Suykens, J. Vandewalle, Generation of n-double scrolls (n= 1, 2, 3, 4,), *IEEE Trans. Circuits Syst. I* 40 (11), 861867, (1993).
- [3] D. Cafagna, G. Grassi, New 3d-Scroll attractors in hyperchaotic Chua's circuits forming a ring, *Int. J. Bifurcation Chaos* 13 (10), 28892903, (2003).
- [4] L.J. Ontañón-García, E. Jiménez-López, E. Campos-Cantón, M. Basin, A family of hyperchaotic multi-scroll attractors in R^n . *Applied Mathematics and Computation*, 233, 522-533.
- [5] García-Martínez, M., Ontañón-García, L. J., Campos-Cantón, E., & Čelikovský, S. (2015). Hyperchaotic encryption based on multi-scroll piecewise linear systems. *Applied Mathematics and Computation*, 270, 413-424.
- [6] L.M. Pecora y T.L. Carroll, Synchronization in chaotic systems. *Physical review letters*, 64(8), 821, (1990).
- [7] K. Pyragas, Continuous control of chaos by self-controlling feedback. *Physics Letters A*, 170(6), 421-428, (1992).
- [8] Suh J., Lee Y., Lee K., "Object-transportation control of cooperative AGV systems based on virtual-passivity decentralized control algorithm", *Journal of Mechanical Science and Technology* 1720–1730, 19 (2005).

- [9] Palacin J., Salse J., Valganon I, Clua X, “Building a mobile robot for a floor-cleaning operation in domestic environments”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 53, 1418–1424, 2004.
- [10] Nakamura, Y., & Sekiguchi, A. “The chaotic mobile robot. IEEE Transactions on Robotics and Automation”, 17(6), 898-904, 2001.

Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria
Una muestra del talento mexicano

Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.
Prolongación Corregidora Norte No. 168, Interior E
Col. El Cerrito, C.P. 76160, Querétaro, Qro.
Se tiraron 500 ejemplares, en formato digital pdf, tipo CD
Tamaño: 35 Mb.

ISBN 978-607-9394-09-7

ISBN: 978-607-9394-09-7

