

ESTUDIO DEL FENÓMENO DE FILTRADO EN SISTEMAS CAÓTICOS

PROYECTO DE TESIS POSGRADO

Posgrado: En Ingeniería Electrónica

Alumno:

Asesor: Dr. Isaac Campos Cantón

I. ANTECEDENTES

Los filtros han jugado un papel muy importante en el diseño de circuitos electrónicos. Por ejemplo, los filtros se han utilizado en relación con la creación de módulos de sintetizador utilizados en la fabricación de instrumentos musicales, procesadores de señales, sistemas de automatización y más [1]. Es muy importante que los estudiantes e investigadores tengan un conocimiento profundo del campo, tanto a nivel teórico como experimental. A nivel teórico, los filtros se diseñan según: el concepto de red de dos puertos [2], modificación del subespacio [3], técnica de Caprio [4], o implementación mediante estructuras como filtros de Sallen-Key [5], Topologías de Chebyshev [6], o Butterworth [7]. A nivel experimental existen implementaciones a nivel de transistores NMOS [8] o utilizando dispositivos FPAA [9]. Al estudiar física, a menudo se trata el tema del filtrado, siendo el filtrado óptico o electrónico el más común. Es importante comprender este tema porque es necesario filtrar la recopilación de datos para realizar el análisis. Una aplicación muy importante de los filtros es en los sistemas de comunicación, donde el sistema receptor se sintoniza a una frecuencia específica mediante un filtro, capturando así de manera efectiva la energía irradiada por el circuito transmisor en esa frecuencia específica [9]. El concepto de sincronización es muy importante en esta forma de comunicación con sistemas no lineales [10]. El sistema emisor se denomina maestro y el sistema receptor se denomina esclavo.

Aunque implementar el lado del remitente del sistema de comunicación es relativamente simple, desarrollar el lado del receptor ha resultado difícil. A menudo, la falta de funciones de base fija conocidas dificulta el desarrollo de filtros adecuados. Por lo tanto, los receptores dependen de estrategias más complicadas para compensar la presencia de ruido.

La sincronización de sistemas se ha realizado utilizando diferentes enfoques, por ejemplo, sincronización forzada, sincronización en fase, etc. [11]. Para verificar los resultados se utilizan implementaciones numéricas por computadora o mediante implementación de circuitos electrónicos. Los circuitos electrónicos utilizados para la sincronización incluyen a Lorenz, Chua, Chen, etc. [12-14]. Estos circuitos en los sistemas de comunicación se utilizan como sistemas maestro y esclavo, donde el sistema esclavo puede considerarse como un filtro [15]. Durante la última década, se han implementado filtros de orden fraccional. Por ejemplo, en la Ref. [16] se utiliza un transportador de voltaje de segunda generación, y en la Ref. [17] se implementa un filtro de orden mayor que 1 y menor que 2 utilizando un dispositivo de matriz analógico programable en campo, y en la Ref. [18] Los filtros de alto orden con frecuencias controlables se implementan utilizando amplificadores de transconductancia. Hay muchos tipos de filtros, pero los más simples son los filtros de paso bajo, de paso alto, de paso de banda y de banda suprimida. Estos filtros implementados electrónicamente pueden ser pasivos usando solo resistencias R y capacitores C , o pueden ser filtros activos que incorporan amplificadores operacionales además de circuitos RC . Los filtros activos le permiten manipular la amplitud de la señal filtrada.

El trabajo presentado en Ref. [15] trata los fenómenos de sincronización y muestra que el sistema esclavo se comporta como un filtro. En este trabajo como punto de partida se presenta el sistema Lorenz como filtro. Para ello, el sistema de Lorenz se divide en dos subsistemas, siendo las ecuaciones correspondientes al estado x un filtro y las ecuaciones correspondientes a los estados y y z el segundo filtro. Estos dos subsistemas están en cascada. Por tanto, el sistema esclavo de Lorenz se comporta como un filtro. Una demostración de esto se da en la Ref. [15]. Se han realizado otras investigaciones sobre sistemas de Lorenz: [19] utiliza la descomposición de Presnov para abordar el problema de sincronización de familias de Lorenz de orden fraccionario, [20] utiliza

tecnología CMOS para sintetizar un modelo matemático de Lorenz y [21] analiza el sistema mediante rotación. En esta investigación utilizamos el trabajo [15] para reemplazar el circuito electrónico de Lorenz según la ecuación de estado x . En ref. [22], también se utiliza un filtro de paso bajo similar a la ecuación de estado x para reconstruir la señal de información en el sistema esclavo. Si la frecuencia de corte no es suficiente, no se logrará la sincronización entre maestro y esclavo. Esto significa que la señal recibida no se puede reconstruir correctamente. En las referencias. [23,24] también se muestra que el uso de filtros es importante para construir sistemas caóticos basados en comunicación. Si la frecuencia de corte es buena, se obtendrá una decodificación correcta.

Como se ha visto de los párrafos anteriores, un tópico de gran importancia es el uso de filtros, así una de las apuestas es desarrollar el concepto de filtro en sistemas no lineales, donde los circuitos caóticos son candidatos para efectuar este tipo de tareas. Entonces esperamos que los elementos caóticos puedan generar los efectos de filtrado y de ser posible además tengan la habilidad de multifiltrado. En contraste a los circuitos basados en filtros lineales, donde su configuración se realiza seleccionando un ancho de banda específico.

En este trabajo se mostrará como a través del uso de sistemas no lineales interconectados y dando algunos criterios de forma tal que se puedan obtener comportamientos de tipo filtro. La configuración de los sistemas no lineales interconectados se basa sobre la estructura de filtros lineales pasa bajas, por ejemplo la primera ecuación del sistema de Lorenz $\dot{x} = -\alpha x + \sigma y$, donde x y y se pueden ver como las señales de salida y de entrada de un filtro lineal paso bajos, respectivamente. Y la segunda ecuación del sistema de Lorenz se puede ver como un filtro no lineal pasa bajas $\dot{y} = -y + x(\rho - z)$, donde y es la salida y x y z son las señales de entrada de un filtro no lineal paso bajos. Por lo tanto se presentarán resultados tanto numéricos como teóricos sobre los efectos de la respuesta a la interconexión de filtros no lineales causados por diferentes clases de señales de entrada.

II. ORIGINALIDAD

El presente proyecto de tesis de posgrado pretende investigar experimentalmente y teóricamente el proceso de generación de filtros no lineales paso bajos de primer orden, a través del uso de circuitos caóticos. El desarrollo experimental utiliza elementos pasivos, amplificadores operacionales. Este proyecto tendrá un gran impacto en el entendimiento de las dinámicas (rápidas y lentas) que se presentan en los sistemas no lineales dinámicos, a través de entender como se puede modificar el comportamiento de la frecuencia de corte en estos sistemas.

III. OBJETIVO GENERAL

Estudio e implementación de filtros paso bajos a través de circuitos no lineales, por ejemplo: circuito de Lorenz, circuito de Chua y circuito de Chen.

• OBJETIVOS PARTICULARES

Se resumen a continuación los objetivos particulares del presente proyecto

- a. Formulación matemática de los filtros lineales.
- b. Formulación matemática de filtros no lineales paso bajo.
- c. Desarrollo experimental de un filtro paso bajo por medio del circuito de Lorenz, Chua y Chen.

IV. INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE

Laboratorio de electrónica (diseño y construcción de equipo electrónico).

Taller de electrónica (diseño y fabricación de circuitos impresos).

V. CALENDARIO DE ACTIVIDADES

ETAPA	DESCRIPCION DE ETAPA	ACTIVIDADES Y METAS
Junio	<ul style="list-style-type: none">• Formulación matemática de los filtros lineales de primer orden.	<ul style="list-style-type: none">• Generar un modelo matemático que describa el comportamiento de los filtros lineales de primer orden.
Julio	<ul style="list-style-type: none">• Formulación	<ul style="list-style-type: none">• Generar un modelo

	matemática de los filtros lineales de segundo orden.	matemático que describa el comportamiento de los filtros lineales de segundo orden.
Agosto- Noviembre	<ul style="list-style-type: none"> • Formulación matemática de un filtro no lineal paso bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un modelo matemático que describa el comportamiento de un filtro paso bajo basado en el circuito de Lorenz.
Diciembre- Febrero	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación e implementación electrónica del filtro tipo Lorenz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el circuito electrónico del filtro tipo Lorenz. • Emular el modelo por medio de software para validar su funcionamiento. • Implementación electrónica del circuito.
Marzo-Abril	<ul style="list-style-type: none"> • Posible propuesta de formulación matemática de un filtro no lineal en el sistema de Chen. • Simulación e implementación electrónica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el circuito electrónico del filtro. • Emular el modelo por medio de software para validar su funcionamiento. • Implementación electrónica del circuito.
Mayo-junio	<ul style="list-style-type: none"> • Escritura de artículo de investigación. • Escritura de tesis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escribir artículo de investigación. • Enviar Artículo de investigación. • Redactar tesis.
Julio	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de tesis 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión y correcciones sugeridas por sinodales a la tesis. • Examen de grado.

VI. REFERENCIAS

1. U. Kiencke, and N. Lars, Automotive control systems: for engine, driveline, and vehicle, *Measurement Science and Technology*, 11 (2000) 1828.
2. B. J. Maundy, A. Elwakil, A. Al-Ali, and L. Belostotski, August, Synthesis and analysis of fully differential filters using two port networks. *IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) (2017)* pp. 1105-1108.
3. K. Li, Z. Guo, Y. Bai, D. Tang, M. Huang, and H. Luo, Real time notch filtering based on the modified subspace-based high resolution frequency estimator, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, (2023) 01423312231179260.
4. S. Lertkonsarn, and W. Sa-ngiamvibool, The development a fully-balanced current-tunable first-order low-pass filter with Caprio technique, *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, (2022) 99.
5. B. C. Bao, P. Wu, H. Bao, M. Chen, and Q. Xu, Chaotic bursting in memristive diode bridge-coupled Sallen-Key lowpass filter, *Electronics Letters*, 53 (2017) 1104.
6. D. Zivaljevic, N. Stamenkovic, and N. Stojanovic, Optimum Chebyshev filter with an equalised group delay response, *International Journal of Electronics*, (2022) 1.
7. C. Psychalinos, G. Tsirimokou, and A. S. Elwakil, Switched-capacitor fractional-step Butterworth filter design, *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 35 (2016) 1377.
8. E. Yuce, and S. Minaei, Derivation of low-power first-order low-pass, high-pass and all-pass filters, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 70 (2012) 151-156.
9. A. Silva-Juárez, E. Tlelo-Cuautle, L. G. De La Fraga, and R. Li, FPAA-based implementation of fractional-order chaotic oscillators using first-order active filter blocks, *Journal of advanced research*, 25 (2020) 77-85.
10. L. M. Pecora, and T. L. Carroll, Synchronization in chaotic systems, *Phys. Rev. Lett.*, 64 (1990) 821-824.
11. A. S. Pikovsky, M. G. Rosenblum, and J. Kurths, *Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Science* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001).

12. L. Fortuna, M. Frasca, M. G. Xibilia, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A 65 (2009) ISBN 978-981-283-924-4.
13. Ou Qingli and Xu. Lanxia, The circuit design and simulation of Chen chaotic system with fractional order. Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. (2011) <https://doi.org/10.1109/iccst.2011.618220>.
14. K. M. Cuomo, A. V. Oppenheim, and S. H. Strogatz, Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications, IEEE Transactions on circuits and systems II: Analog and digital signal processing, 40 (1993) 626.
15. E. Campos Cantón, J.S. González Salas, and J. Urías, Filtering by nonlinear systems CHAOS, 38 (2008) 043118, <https://doi.org/10.1063/1.3025285>.
16. P. Bertias, C. Psychalinos, S. Minaei, A. Yesil, and A. S. Elwakil, Fractional-order inverse filters revisited: Equivalence with fractional-order controllers, Microelectronics Journal, 131 (2023) 105646, <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2022.105646>.
17. J. Nako, C. Psychalinos, and A. S. Elwakil, A $1 + \alpha$ Order Generalized Butterworth Filter Structure and Its Field Programmable Analog Array Implementation, Electronics, 12 (2023) 1225.
18. J. Nako, C. Psychalinos, A. S. Elwakil, and D. Jurisic, Design of Higher-Order Fractional Filters With Fully Controllable Frequency Characteristics. IEEE Access, (2023) <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3271863>.
19. O. Martínez-Fuentes, A. J. Muñoz-Vázquez, G. Fernández-Anaya, and E. Tlelo-Cuautle, Synchronization of fractional-order chaotic networks in Presnov form via homogeneous controllers, Integration, 90 (2023) 71.
20. V. Hugo Carbajal-Gomez, et al., Optimization and CMOS design of chaotic oscillators robust to PVT variations, INTEGRATION-THE VLSI JOURNAL, 65 (2019) 32.
21. W. S. Sayed, et al., Two-dimensional rotation of chaotic attractors: Demonstrative examples and FPGA realization, Circuits, Systems, and Signal Processing 38 (2019) 4890.
22. H. U. Voss, Real-time anticipation of chaotic states of an electronic circuit. International Journal of Bifurcation and Chaos, 07 (2002) 1619.

23. W. A. Al-Hussaibi, Filtering effects on the synchronization and error performance of promising wireless chaos-based secure communications, *Wireless Networks*, 21 (2015) 1957-1967, <https://doi.org/10.1007/s11276-015-0897-0>.

24. W. Al-Hussaibi, J. Alsmael, and M. Türkmen, March, On the chaos synchronization in CBSC systems over realistic wireless channels. In 2019 16th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD) (2019) pp. 642-647.