

Diseño de un bloque integrador analógico para un oscilador caótico

[Design of an analog integrator block for a chaotic oscillator]

Dulce Idalia Rivera Huerta, Gustavo Daniel Martínez Ortega, José Antonio Ramírez Santiago, Oscar Daniel López Melo, and Gregorio Castillo Quiroz

Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Puebla, Mexico

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: At present, the transport of information has become more common, being easier to access it with new technologies, which is why different ways of protecting the sending or transport of it are sought. Continuous chaotic oscillators in time are a special type of non-linear circuits that behave in an aperiodic manner, this being a very useful tool for the protection of information. The objective of this project is to start the creation of a block belonging to an analogue chaotic system, in the future to be able to define all the elements that conform to it, and achieve the creation of the system completely, with analog electronics, through the use of design and code creation software, some basic tests of the operation of MOSFET were performed, to know its function within the creation of the integrator block, and to be able to define all the standards for the correct design of an internal circuit known as OTA Miller, This being our base for the creation of each of the blocks that make up the chaotic system, being the integrating block, the multiplier block and the adding block. Because the applications of the continuous chaotic oscillators in time are carried out through integrated circuits, this work focuses on the development of chaotic oscillator circuits integrated in the long-term chip, this is due to the complexity of the design in this topic, since it was found that the chaotic systems implemented in a chip, it is not so easy to develop, at least the creation of the blocks that make it up is not easy, that is why in this work only the initial design of an integrating block, finding this very useful as a basis for the different building blocks of the system. The achievement of the creation of a chaotic analog system applied to chips or integrated circuits would be a revolutionary way to protect information.

KEYWORDS: Integrator block, electronics, protection, signals, chaotic system.

RESUMEN: En la actualidad, el transporte de información se ha vuelto más común, siendo más fácil acceder a ella con las nuevas tecnologías, es por ello que se buscan distintas formas de proteger el envío o transporte de la misma. Los osciladores caóticos continuos en el tiempo son un tipo especial de circuitos no lineales que se comportan de manera aperiódica, siendo este una herramienta muy útil para la protección de información. El objetivo de este proyecto es comenzar la creación de un bloque perteneciente a un sistema caótico de manera analógica, para en un futuro poder definir todos los elementos que conforman al mismo, y lograr la creación del sistema completamente, con electrónica analógica, mediante el uso de software de diseño y creación de códigos, se realizaron algunas pruebas básicas del funcionamiento de MOSFET, para conocer su función dentro de la creación del bloque integrador, y poder definir todos los estándares para el correcto diseño de un circuito interno conocido como OTA Miller, siendo este nuestra base para la creación de cada uno de los bloques que conforman el sistema caótico, siendo el bloque integrador, el bloque multiplicador y el bloque sumador. Debido a que las aplicaciones de los osciladores caóticos continuos en el tiempo se realizan a través de circuitos integrados, este trabajo se enfoca al tema del desarrollo de circuitos osciladores caóticos integrados en chip a largo plazo, esto es por la complejidad del diseño en este tema, ya que se encontró que los sistemas caóticos implementados en un chip, no es tan fácil de desarrollar, al menos la creación de los bloques que lo conforman no es nada sencillo, es por ello que en este trabajo solo se presenta el diseño inicial de un bloque integrador,

encontrando este muy útil como base para los distintos bloques conformantes del sistema. El logro de la creación de un sistema caótico analógico aplicado a chips o circuitos integrados, sería una forma revolucionaria para la protección de información.

PALABRAS-CLAVE: bloque integrador, electrónica, protección, señales, sistema caótico.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el área de las comunicaciones tiene un gran impacto en la vida social y económica del mundo, por lo que se ha convertido en reto el envío seguro de información a través de la red. La mayoría de los usuarios comparten información ya sea relevante o irrelevante todos los días, y el acceso a ella no es limitado, es ahí donde el envío de información se ha vuelto un riesgo para aquellos que buscan seguridad en el traslado de información, con menos probabilidad de ser robada o alterada.

El “*Reporte Global de Riesgos 2019*”, publicado por el Foro Económico Mundial [1], indica que el fraude o robo de datos se constituye como el riesgo global con mayor probabilidad de ocurrencia en este año, después de los relacionados con el medio ambiente y los desastres naturales.

El robo de datos es particularmente relevante en un contexto en el que nuestra interacción con el entorno se realiza cada vez más a través de herramientas tecnológicas: teléfonos que registran la geolocalización permanente del usuario; instituciones financieras que conocen nuestros patrones de consumo; redes sociales que permiten identificar nuestros círculos de amistades, las noticias que leemos, nuestros gustos y preferencias; relojes que conocen nuestros hábitos de deporte, de sueño y hasta nuestro ritmo cardiaco; así como cada vez más nuevos productos y servicios que son y serán capaces de obtener información acerca de los aspectos más íntimos de la vida.

Debido al gran alcance de la tecnología en relación al robo de información privada, se buscan métodos efectivos para el envío seguro de la información, es ahí donde se crea la necesidad del uso de sistemas de protección, ya que la mayoría de transportes de información corre el riesgo de ser robada, y no todas las personas tienen acceso a una buena seguridad en el ámbito de protección de información relevante.

En las dos últimas décadas el interés por los fenómenos caóticos ha ido en aumento [3], extendiéndose a campos del conocimiento muy dispares y alejados de las matemáticas, erigiéndose en el cuerpo de doctrina que hoy conocemos como Dinámica No Lineal [2].

Una de las características que probablemente más ha contribuido a este desarrollo es el carácter multidisciplinar del caos. Hoy en día existen muchas revistas especializadas como Chaos, International Journal of Bifurcation and Chaos, Physical Review E, Physical, que tratan específicamente esta problemática, y en ellas se describen ejemplos de conducta caótica muy variados, entre los que se encuentran las reacciones químicas, circuitos eléctricos, mecánica celeste, ecología, economía, vibraciones mecánicas, láseres, y un largo etcétera. Por otra parte, los fenómenos caóticos presentan a menudo comportamientos y conductas universales que derivan de la ubicuidad de los términos no lineales que los originan [3].

En este caso se plantea la creación de un bloque que forma parte de un sistema caótico analógico, siendo este en su totalidad una herramienta para proteger lo que para cada persona puede ser considerada información confidencial, este sistema contribuirá a la seguridad de datos personales, que como sabemos hoy en día es una prioridad, ya que existen personas que pueden extraer información de la nube o algún otro servidor, y esto puede causar serios problemas, por ello el sistema caótico distorsionara audios, imágenes así como videos que uno desee proteger para que la información que compartimos no pueda ser aprovechada por otras personas, existen diversos problemas que son ocasionados por el envío de información principalmente aquellos que conllevan vienes monetarios o gubernamentales.

El objetivo de este proyecto es empezar la construcción de un sistema caótico analógico, en este caso se empezara con el diseño de un bloque integrador, que forma parte de un sistema de bloques, que en conjunto constituyen la parte electrónica del sistema, sin embargo la introducción de este sistema de manera analógica es mas complicada que de manera digital, y lo que se busca en un futuro se pueda lograr ingresar este sistema a un chip o integrado, todo esto para que el transporte de información , en este caso de manera electrónica, pueda ser de manera mas segura y confiable.

2 METODOLOGÍA

Los circuitos integrados son dispositivos que se encuentran presentes en diversos aparatos de la vida cotidiana, un circuito integrado, es conocido también como chip; es una oblea semiconductor en la que son fabricados muchísimas resistencias pequeñas, también condensadores y transistores. Un circuito integrado se puede utilizar como un amplificador, como

oscilador, como temporizador, como contador, como memoria de ordenador, o microprocesador, además estos se pueden clasificar como lineal o como digital, todo depende para que sea su aplicación.

Las principales aplicaciones de los circuitos caóticos pueden ser encontradas en el campo de las telecomunicaciones, principalmente en las comunicaciones de espectro extendido [4,5]. En este método de comunicación,

- El ancho de banda transmitido es mucho más grande que el de la señal de información y
- Alguna otra función, diferente de la información que se envía, es empleada para determinar el ancho de banda de la señal modulada resultante.

La estrategia óptima en este método de comunicación, en el cual cada usuario aparece como interferencia para algún otro, es que cada señal de comunicación se vea como ruido gaussiano con un espectro tan amplio como sea posible.

Hay dos formas en las cuales una señal de comunicación pueda verse como ruido de banda ancha: ampliando el ancho de banda de cada símbolo de información usando una secuencia pseudo-aleatoria con un ancho de banda mucho mayor, o representando cada símbolo por una pieza de forma de onda de tipo ruido.

Dentro del circuito integrado se encuentra un elemento muy importante llamado transistor, en este caso el transistor MOSFET (transistor de efecto de campo metal oxido semiconductor), existen dos tipos de transistores, de tipo NPN y PNP.

2.1 CREACIÓN DE CÓDIGOS CON SPICE

SPICE es un acrónimo inglés de *Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis* (Programa de simulación con énfasis en circuitos integrados). Fue desarrollado por la Universidad de California, Berkeley en 1973 por Donald O. Pederson y Laurence W. Nagel [6].

Es un estándar internacional cuyo objetivo es simular circuitos electrónicos analógicos compuestos por resistencias, condensadores, diodos, transistores, etc. Para ello hay que describir los componentes, describir el circuito y luego elegir el tipo de simulación (temporal, en frecuencia, en continua, paramétrico, Montecarlo, etc.).

SPICE realiza los siguientes tipos de análisis:

- **DC** - Función de transferencia.
- **AC** - Respuesta en frecuencia de circuito.
- **Transitorio** - Evolución del circuito en el tiempo.

Dependiendo del software utilizado y versión del mismo, se encuentran implementados análisis avanzados, que pueden ir desde un sencillo cálculo de respuesta en frecuencia, hasta la simulación de diseños de radio frecuencia y análisis térmico, entre ellos:

- Punto operativo CD
- Análisis de CA
- Análisis de CA de Frecuencia Única

2.2 DISEÑO DE MOSFET

Los MOSFET hacen posible la implementación de circuitos integrados sin la necesidad de otros componentes, como resistencias o condensadores, además de que es un elemento fundamental en la fabricación de los circuitos, llegando a colocar más de 200 millones en un chip.

La estructura de un MOSFET consiste en lo siguiente:

Se fabrica sobre un sustrato tipo p, posteriormente se difunden dos regiones n+, altamente dopadas: Source y Drain. Se hace crecer (por así decirlo) una capa fina que va entre los 2nm y 50nm de dióxido de silicio que es un aislante, cubriendo el área entre Source y Drain, la cual, al ser depositado el metal sobre ella va a definirla terminal Gate. Finalmente se deposita metal para crear tres terminales denominadas S, D y B.

Dentro de la práctica se utilizaron diversas herramientas de software como el programa TopSPICE y Hspui, que son software de simulación para observar el comportamiento de los componentes.

La primera descripción que se realizó fue de tipo **NMOS**, basándose en el siguiente diagrama se dio origen al desarrollo del código en Hspui como se muestra en la Figura 1.

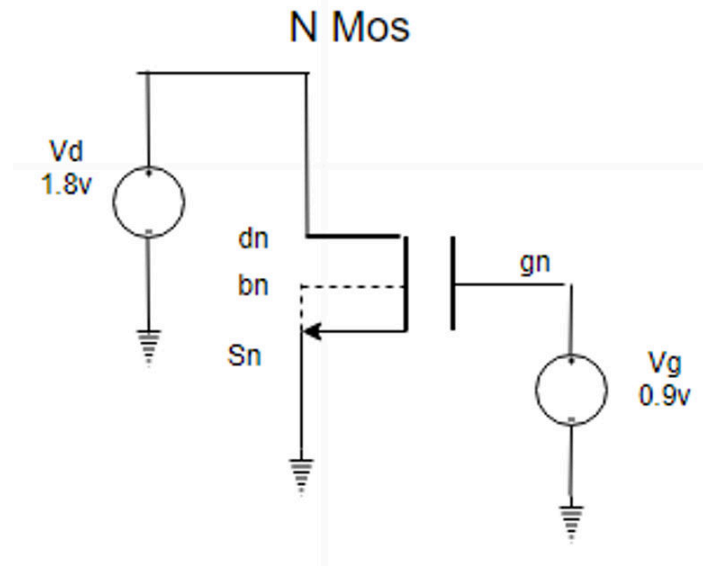


Fig. 1. Diagrama de un MOSFET positivo (N MOS)

Llegando a la simulación dentro del software se tiene que la señal se comporta de manera positiva en la Figura 2.

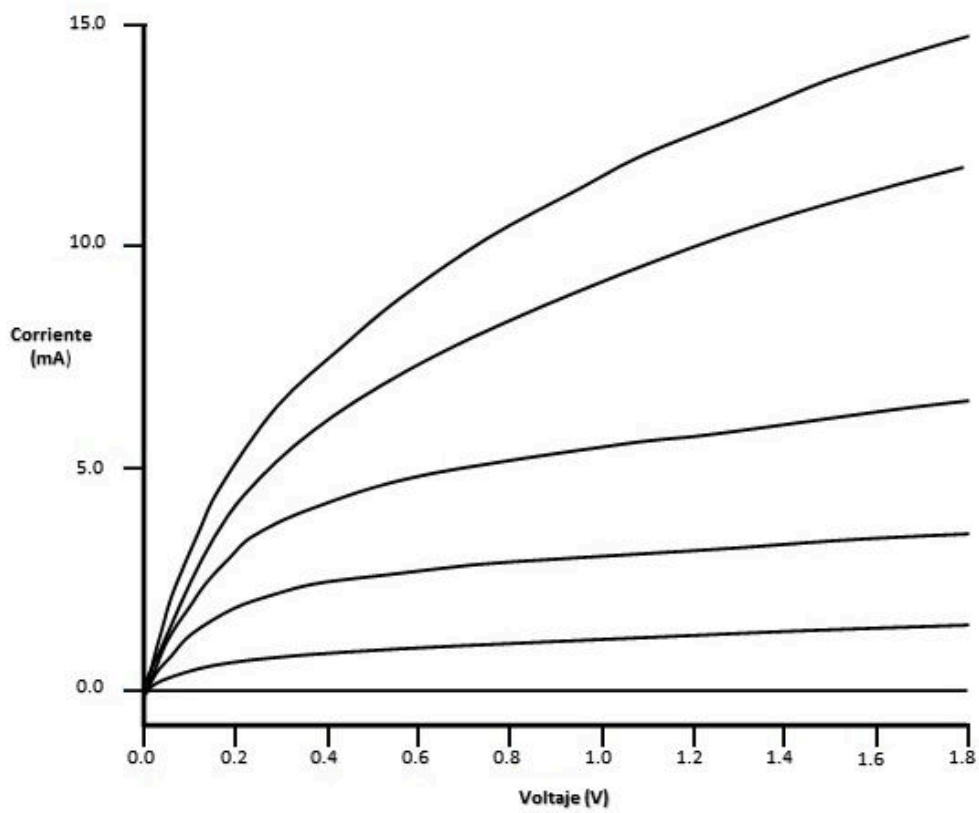


Fig. 2. Comportamiento de la corriente del N MOS

Posteriormente se realizó la descripción del tipo **PMOS** basándose igualmente en su diagrama correspondiente como se ve en la Figura 3.

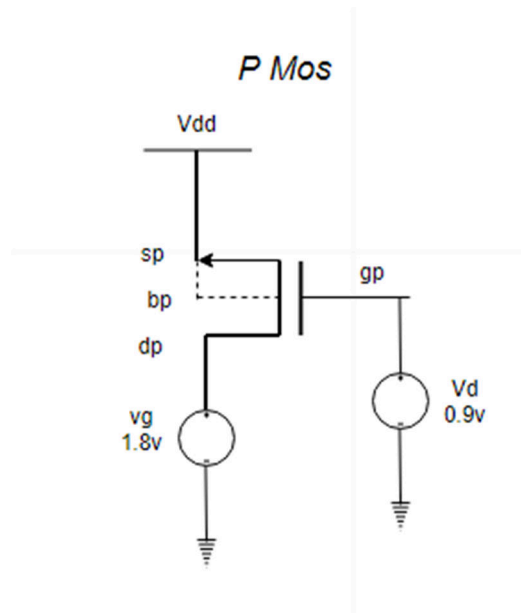


Fig. 3. Diagrama de un MOSFET negativo (P MOS)

Su comportamiento en simulación se comporta de manera negativa como se ve en la Figura 4.

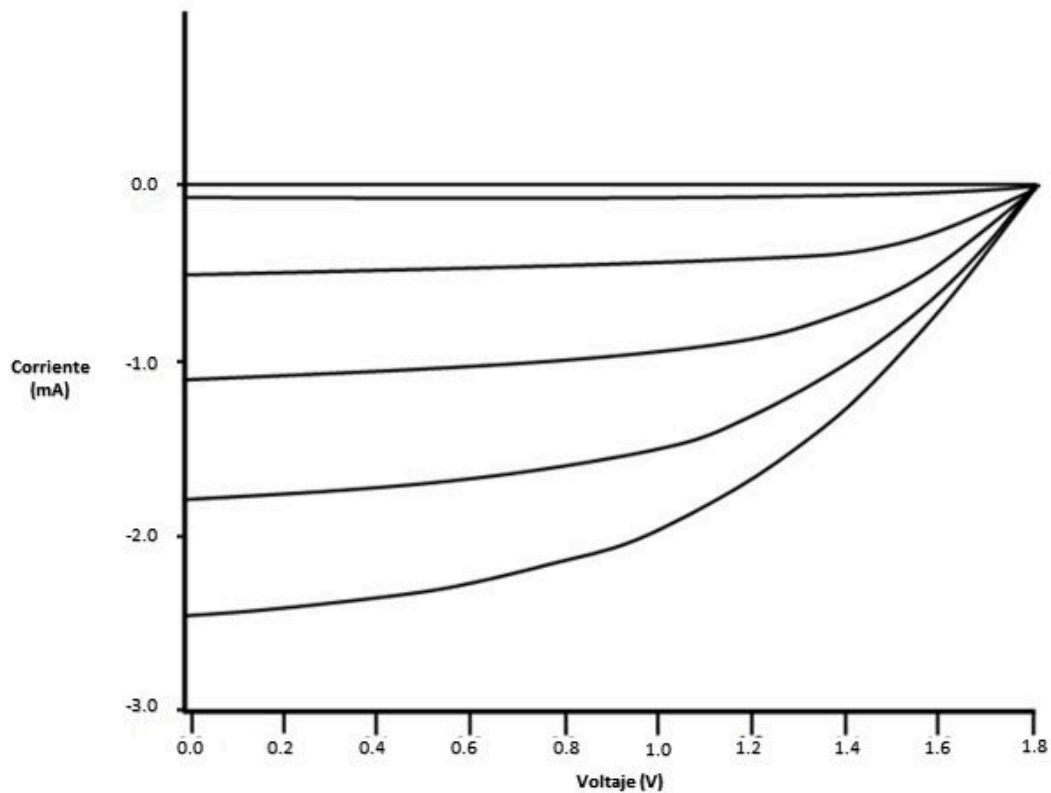


Fig. 4. Comportamiento de la corriente del (P MOS)

Se muestra el diagrama del flujo acerca del funcionamiento del programa en la Figura 5.

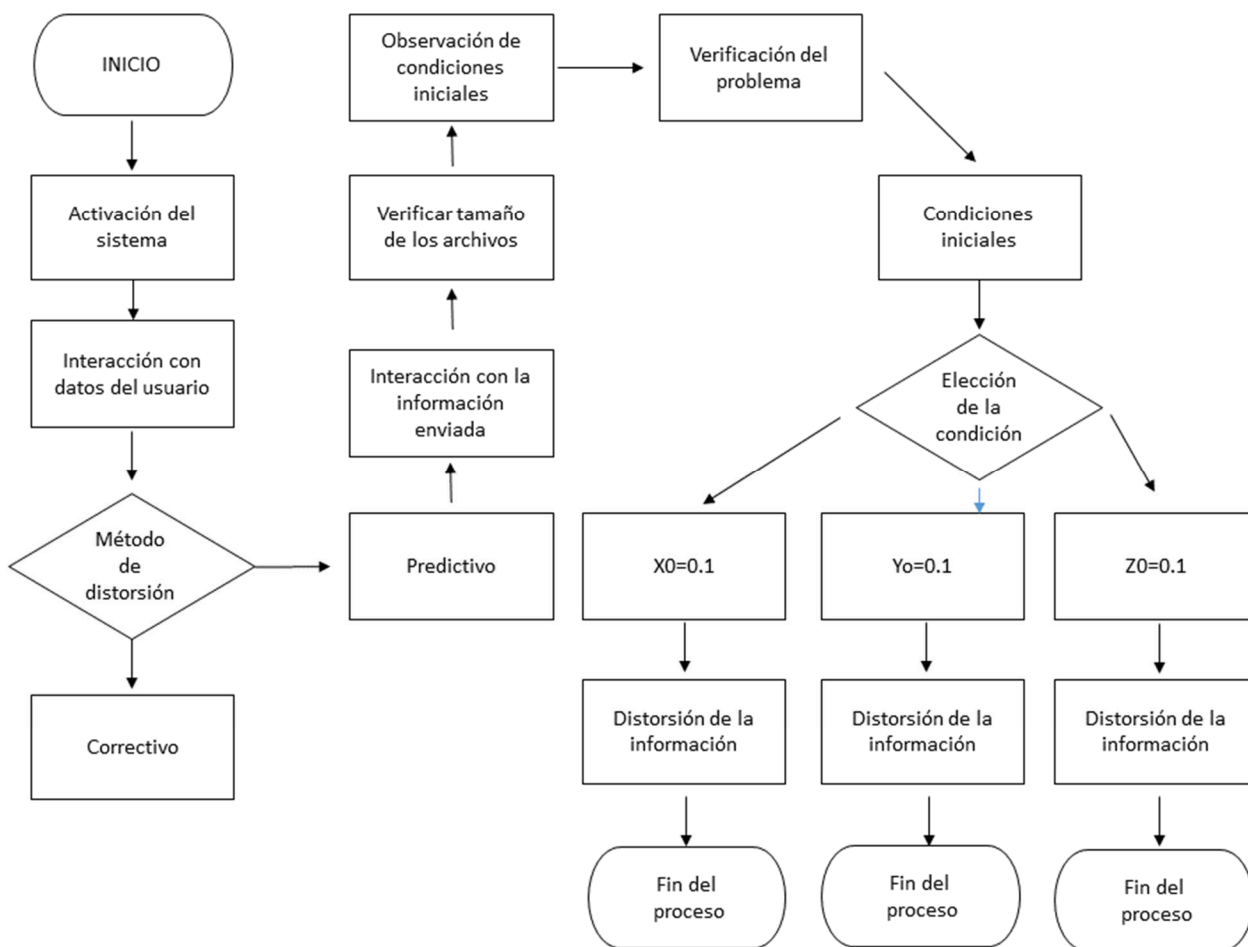


Fig. 5. Diagrama de flujo del funcionamiento del software

2.3 DISEÑO DEL OTA MILLER

Un amplificador de transconductancia variable (en inglés *Operational Transconductance Amplifier*, OTA) es un amplificador en el cual la tensión diferencial de entrada produce una corriente de salida. Por lo tanto, es una fuente de corriente controlada por voltaje. Además, presenta una entrada de corriente adicional que sirve para controlar la transconductancia del dispositivo. El OTA es similar al amplificador operacional en que posee una etapa de entrada diferencial de alta impedancia y que puede ser usado con realimentación negativa [11].

El diseño del código del OTA nos brindara la base para la creación de los bloques que conforman el oscilador caótico, para el desarrollo de este código se comenzara con el análisis del circuito interno del mismo, conformado por diversos transistores de tipo PNP y NPN.

El código que se realizó apara la creación del OTA, se debe configurar de acuerdo al tipo de bloque que se quiera realizar, en nuestro caso especialmente se trabajó con el bloque integrador, se agregó al circuito distintas variables que definen al integrador, como son la capacitancia que es un factor importante en la conversión de la onda cuadrática a diente de sierra.

3 RESULTADOS

Las tres características principales que cumplen los sistemas caóticos son: la no-linealidad, la extrema sensibilidad que poseen ante cambios muy pequeños de sus condiciones iniciales y que no se puede prever el comportamiento del sistema hasta que el proceso sucede o se calcula. A pesar de este comportamiento impredecible, el sistema es determinista. Es decir, para unos parámetros dados, el sistema está completamente determinado para tiempos futuros, por muchas veces que lo

volvamos a calcular o repetir. Eso sí, si cambiamos mínimamente alguno de los parámetros, podremos encontrarnos con una sorpresa: un resultado final muy diferente al original.

El diseño del código del OTA nos brindara la base para la creación de los bloques que conforman el oscilador caótico, para el desarrollo de este código se comenzara con el análisis del circuito interno del mismo, conformado por diversos transistores de tipo PNP y NPN

Se creo un código en Hspui, para poder observar el comportamiento de los transistores de una manera general, todo esto para observar el comportamiento de estos elementos.

Una gráfica de la densidad espectral de potencia de una señal caótica en estado estable muestra una banda amplia tipo ruido que es continua en todo el intervalo del espectro en que se desenvuelve. Esto es debido a su comportamiento no periódico y a su contribución en todas las frecuencias de este intervalo. De esta forma, el comportamiento caótico en estado estable posee propiedades estadísticas bien definidas.

Es importante notar que el comportamiento caótico se da en el estado estable y, por lo tanto, no es un periodo transitorio de arranque.

A pesar de su comportamiento errático y complejo, en una forma de onda caótica se pueden identificar patrones regulares y recurrentes. Sin embargo, nunca hay una repetición exacta de éstas y el movimiento es realmente no periódico.

Los osciladores pueden ser clasificados como forzados y autónomos. Los osciladores forzados o no autónomos poseen una señal externa al circuito que controla su comportamiento. Los osciladores autónomos, por otra parte, son circuitos que oscilan por sí mismos sin necesidad de alguna excitación externa.

Para que un circuito autónomo que consiste en resistores, capacitores e inductores pueda exhibir caos [7].

Con el desarrollo del código, tomando en cuenta cada uno de los puntos de corrientes, voltajes, entradas, salidas y demás, se concluyo el diseño del circuito interno del OTA Miller como se muestra en la figura 5, que es nuestro principal circuito bloque, para la creación de los demás bloques constituyentes del sistema caótico.

La ventaja de este circuito es que es moldeable, es decir puede ser modificado según lo requiera, en este caso se modificaría para la creación de un bloque integrador, que es nuestro principal objetivo en este trabajo, y a largo plazo se trabajara con la modificación para la creación de un bloque multiplicador, así como la creación de un bloque sumador [17].

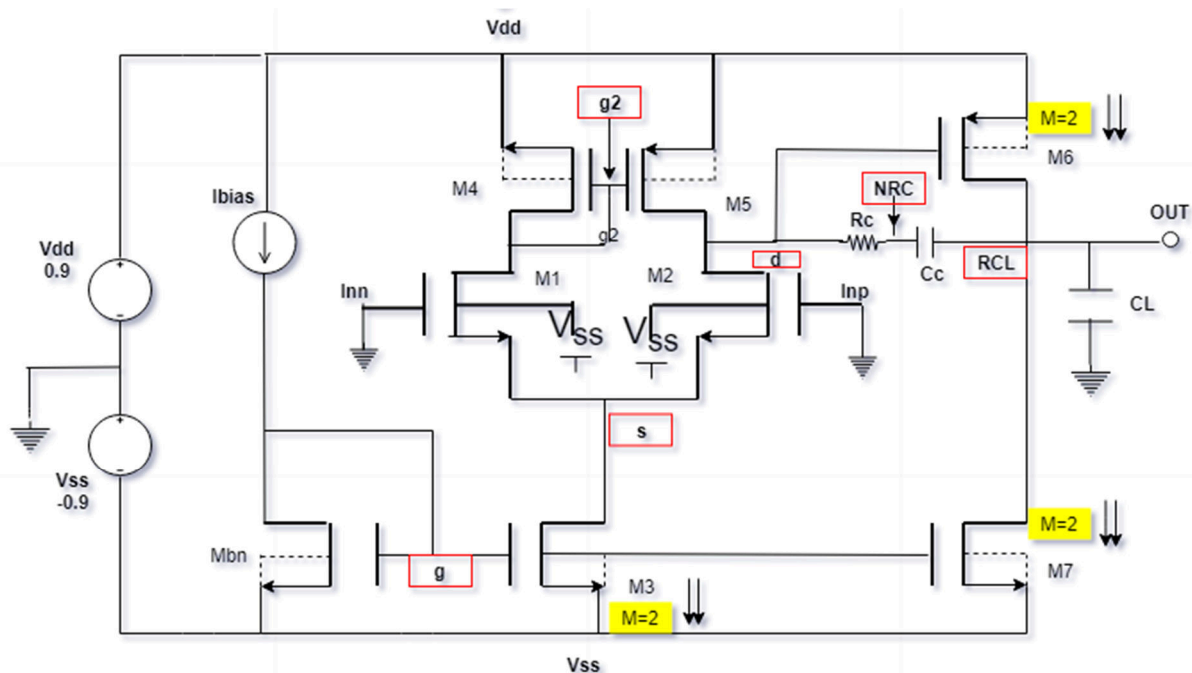


Fig. 6. Diagrama del circuito interno del OTA

Con el diseño ya creado, y ya contando con el código del OTA, este se puede manipular de tal forma que el condigo es considerado para la creación de los bloques del sistema caótico, en este caso, en este primer trabajo nos concentramos en la creación del bloque integrador.

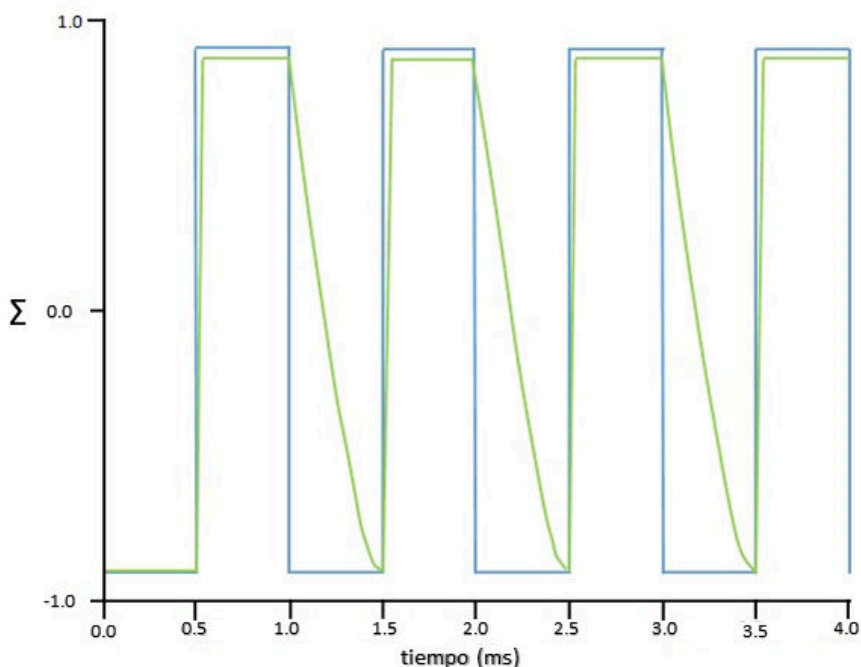


Fig. 7. Diagrama en simulación de la carga y descarga del capacitor

En todo el análisis que se realizó de cada uno de los códigos para los diseños desde los MOSFET, se tomaron en cuenta muchos factores que influyen, como lo son las corrientes, voltajes y entradas. El diseño de los bloques de un oscilador caótico no es nada sencillo, por lo que requiere un trabajo de seguimiento durante cierto periodo, así como de varias pruebas de simulaciones.

4 CONCLUSIÓN

Se obtuvo información sobre el funcionamiento de software para el diseño y simulación de circuitos integrados, se trabajó con la creación de códigos para transistores y OTA, específicamente para el diseño de los bloques correspondientes a un oscilador caótico, durante el proceso de trabajo se enfocó directamente a la construcción del bloque integrador, en última estancia solo se logró que el capacitor realice la descarga, pero no la carga.

Las primeras pruebas que se realizan en este trabajo de investigación, son meramente experimentales, sin embargo, no podemos decir que son despreciables, estas pruebas definirán la continuación del diseño de los demás bloques del sistema, y una vez que se obtengan los bloques de este, se comenzara con los siguientes pasos como el efecto de las series caóticas [6], y su fase de traslado a un circuito integrado.

La inclusión de un oscilador periódico dentro de la resistencia no lineal de un oscilador caótico continuo en el tiempo modifica las características de este último, realizando un mayor mezclado entre sus trayectorias, incrementando la robustez del circuito a las variaciones de sus parámetros y a las parásitas del mismo, y permitiendo que los valores de los elementos dinámicos del circuito puedan ser llevados al rango de integración en chip. Todo esto resulta en un oscilador caótico factible de realizarse en circuitos integrados [13].

Pero esto solo es el inicio de un largo trabajo de investigación, en relación a la creación del sistema caótico analógico, dentro de un circuito integrado, el impacto que este tendría sería de manera beneficiaria en todos los aspectos de la seguridad de información.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a las personas involucradas en el desarrollo de este trabajo, tanto internos como externos pertenecientes a la carrera de ingeniería mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Huachinango.

REFERENCIAS

- [1] P. F. Rangel Magdaleno "Fraude cibernético y robo de datos: riesgo global" Forbes México mayo 2019.
- [2] A. J. Lichtenberg y M. A. Lieberman, Regular and Stochastic Motion.
- [3] J. Gleick, Caos: La Creación de una Nueva Ciencia (Seix Barral, Barcelona, 1987).
- [4] M. Peter Kennedy, R. Rovatti and G. Setti, Chaotic electronics in telecommunications, CRC Press,
- [5] Daisaburo Yoshioka, Akio Tsuneda and Takahiro Inoue, "Maximal Period Sequences with negative auto-correlations and their application to asynchronous DS-CDMA systems", IEICE Transactions Fundamentals, Vol. E86-A, No. 6, June, 2003.
- [6] H. De León Hidalgo "Diseño de osciladores caóticos integrados" 2008.
- [7] R. Duron, R. R. sistemas dinámicos caóticos mayo 2018.
- [8] Mettam, G. R., and Adams, L. B., *How to prepare an electronic version of your article*, In: B. S. Jones, and R. Z. Smith (Eds.), *Introduction to the electronic age*, New York: E-Publishing Inc, pp. 281-304, 1994.
- [9] N. Maximov, A. Panas and S. Starkov, "Chaotic oscillators design with preassigned spectral characteristics", European conference on Circuit Theory and Design, August 28-31, 2001, Espoo, Finland.
- [10] R. Méndez "Implementación de osciladores caóticos en sistemas embebidos y aplicaciones" Ensenada, Baja California, México 2018.
- [11] L. A. B. Torres and L. A. Aguirre, "Inductorless Chua's circuit", Electronics Letters, Vol. 36, No. 23, 9 November, 2000.
- [12] G. Mamola and M. Sannino, "Analysis of negative-resistance oscillators with piece wise nonlinearity", Circuit theory and applications, Vol. 5, 287-289.
- [13] O. Leon Chua, A. Charles Desoír, Ernest S. Kuh, Linear and nonlinear circuits, Mc Graw Hill. 2007.
- [14] Sunderajan S. Mohan, Maria del Mar Hershenson, Stephen P. Boyd and Thomas H. Lee, "Simple accurate expressions for planar spiral inductances", IEEE journal of solid-state circuits, vol. 34.
- [15] Olivares Caballero, D. A. N. I. E. L. (s.f.). Aplicación de sistemas caóticos en control automático. Recuperado 24 junio, 2007.
- [16] C. Hernández, control inteligente de sistemas dinamicos caoticos. Recuperado de http://oa.upm.es/10161/1/Cristina_Hernandez_delaSota.pdf. 2004.
- [17] P. Salas Análisis y diseño de sistemas caóticos clásicos con base en filtros pasa-bajas. Recuperado 13 noviembre, 2019.
- [18] Chaparro Vergara, G. El control de sistemas dinámicos caóticos en economía: aplicación a un modelo de hiperinflación. Mayo 2018.