

## Test Basado en Oscilaciones en Filtros en Escalera de Tiempo Continuo

José Catalano<sup>1</sup>, Gabriela Peretti<sup>1,2</sup>, Eduardo Romero<sup>\*1,2</sup> y Carlos Marqués<sup>2</sup>

(1) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, Grupo de Investigación y Servicios en Electrónica y Control, Avda. Universidad 450, 5900 Villa María-Argentina  
(e-mail: gisec@frvm.utn.edu.ar)

(2) Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Grupo de Desarrollo Electrónico e Instrumental, Medina Allende y Haya de Torre, 5000 Córdoba-Argentina  
(e-mail: marques@famaf.unc.edu.ar)

\*autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

---

### Resumen

Este trabajo analiza el uso del test de filtros en escalera de tiempo continuo de alto orden por medio del test basado en oscilaciones (OBT). La implementación de OBT requiere convertir al filtro bajo test en un oscilador no lineal. La predicción de los parámetros de oscilación (frecuencia y amplitud) es realizada utilizando una combinación de métodos gráficos y analíticos, resultando muy apropiada para los filtros bajo estudio (elíptico y Butterworth de quinto orden, tipo activo RC). Para caracterizar el esquema OBT, se adoptó un modelo de falla de desviación única en los componentes pasivos del filtro y se establecieron las desviaciones mínimas en el valor de los componentes capaces de ser detectadas por el monitoreo simultáneo de amplitud y frecuencia. Los resultados de simulación de fallas muestran que test OBT es muy apropiado para detectar fallas en el filtro Butterworth. Para el filtro elíptico se observan buenos resultados si se relacionan las fallas difíciles de testear con el comportamiento del filtro.

*Palabras clave: test, oscilaciones, filtros, oscilador no lineal, fallas*

## Oscillation Based Test in Continuous-Time Ladder Filters

### Abstract

This paper analyzes the use of the oscillation-based test (OBT) to test high-order continuous-time ladder filters. The OBT implementation requires converting the filter under test into a non-linear oscillator. The prediction of the oscillation parameters (frequency and amplitude) is done using a combination of analytical and graphical methods, resulting very appropriate for the filters under study (fifth-order elliptic and Butterworth, RC active type). For characterizing the OBT scheme, a single deviation fault model for the filter passive components was adopted, and the lowest deviations in the value of the components, capable of being detected by monitoring amplitude and frequency, were established. The fault simulation results show that OBT is very appropriate for detecting faults in the Butterworth filter. For the elliptic filter, good results were observed if the hard-to-test faults are related to the filter behavior.

*Keywords: test, oscillations, filters, nonlinear oscillator, faults*

## INTRODUCCIÓN

Los avances en la tecnología de alta escala de integración han permitido la implementación de circuitos o sistemas analógicos y/o digitales en un único chip, resultando en sistemas que presentan menor tamaño y consumo. En particular, las secciones analógicas y de señal mixta ocupan muy poca área de silicio pero generan los mayores problemas de test. Esto se debe fundamentalmente a la naturaleza de las señales involucradas y a la baja capacidad de observación de los nodos internos de estas secciones.

Los grandes desafíos del test analógico han atraído a numerosos investigadores que han desarrollado estrategias para los circuitos que presentan mayor frecuencia de utilización. Particular atención han recibido los filtros de tiempo continuo y discreto. Tradicionalmente, las metodologías de test de filtros se basan en la verificación de todas sus especificaciones funcionales (por ejemplo, frecuencia de corte, atenuación en la banda de paso). Se denomina a este tipo de test como funcional y es el generalmente aceptado por la industria debido a que garantiza que el producto final cumple con las especificaciones de diseño. Sin embargo, esta clase de procedimiento demanda demasiado tiempo y equipamientos muy especializados que impactan severamente en el costo del producto.

En razón de lo antes expuesto surgen técnicas alternativas que incluyen al test como parte integral del proceso de diseño. Se desarrollan numerosas estrategias de test y de diseño para test que generalmente se basan en algún tipo de reforma de las etapas que conforman el filtro (o sistema en un sentido general) bajo test y en el agregado de circuitos adicionales (Vinnakota, 1998). Usualmente, estas estrategias se orientan a la detección de ciertas fallas dependientes de la topología del sistema y que son modeladas por los ingenieros de test.

La metodología denominada Test Basado en Oscilaciones (OBT, *Oscillation Based Test*) fue propuesta originalmente por Arabi y Kaminska (1996), para testear circuitos analógicos y de señal mixta. Esta estrategia convierte al circuito bajo test (CBT) en un oscilador mediante el agregado de circuitos adicionales. OBT asume que una falla en el CBT provocará cambios en los parámetros de la señal de salida, por ejemplo amplitud y frecuencia, haciéndose observable.

Una de las ventajas que presenta OBT es que no requiere vectores de test, facilitando en consecuencia su implementación. Por otra parte, la medición de los atributos de test (amplitud y frecuencia) requiere de circuitos sencillos que pueden integrarse con el CBT. Estas dos características facilitan la implementación de esquemas de test incorporados en el sistema (BIST, *Built-In Self-Test*). Finalmente, si se reutilizan los recursos adicionados al circuito es posible realizar un test periódico durante funcionamiento en campo.

OBT ha sido aplicada a diversos sistemas y subsistemas analógicos, de señal mixta y digitales. Entre estos, amplificadores operacionales en entorno de circuito integrado (Arabi y Kaminska, 1998; Romero et al., 2004; 2007), convertidores analógico-digitales (Huertas et al., 2003), sistemas de espectrometría nuclear (Peretti et al., 2007a, 2007b), sistemas micro-electromecánicos (Beroulle et al., 2002), arreglos analógicos programables en campo (Balén et al., 2004).

También han sido desarrolladas estrategias de test mediante OBT para filtros implementados en tiempo continuo y discreto. Arabi y Kaminska (1999), Santo et al. (2000) y Wong (2000), reportaron el test de filtros de tiempo continuo de bajo orden. Esta característica permite modelar matemáticamente los osciladores y extraer expresiones analíticas para los parámetros de oscilación, si bien el análisis no es viable en filtros de alto orden.

Huertas et al. (2002) y Kac y Novak (2004), estudiaron la aplicación de OBT a filtros de alto orden de capacidades conmutadas (SC, *Switched Capacitors*) diseñados como cascadas de secciones de primer y segundo orden. Estos autores proponen dividir a los filtros en secciones de bajo orden y testear por separado cada una. El principal inconveniente de este enfoque radica en que los circuitos necesarios para pasar el filtro de modo test a normal pueden causar degradaciones no tolerables en la señal. Por otro lado, no es extensible a sistemas que no puedan ser divididos en secciones de menor orden.

Los filtros en escalera constituyen un caso típico en el que la división arriba mencionada no es posible, debido a que sus topologías incluyen lazos múltiples de realimentación negativa. Este hecho motiva la propuesta de otros esquemas OBT para estos filtros. Romero et al. (2005) y Peretti et al. (2007c), aplicaron exitosamente OBT en filtros en escalera SC de alto orden, demostrando la factibilidad del test de esta clase de sistemas. No obstante, sus resultados deben considerarse válidos sólo para las topologías SC, no siendo evidente que el empleo de OBT pueda ser exitoso en otras implementaciones de filtros en escalera, como las de tipo RC o Gm-C. Esta afirmación obedece al hecho de que la aplicación de OBT, como la de todo test estructural, depende fuertemente de la topología del sistema que se desea verificar. Por otro lado, deberá también comprobarse la eficiencia para detectar fallas en componentes que son de naturaleza completamente diferente en cada uno de estos sistemas.

En este trabajo se explora la capacidad que presenta OBT para testear filtros en escalera de tiempo continuo de alto orden, de tipo activo RC. Se presenta un esquema que mantiene un bajo nivel de intrusión en el sistema, para evitar degradar el desempeño del filtro en modo normal. Se utiliza una metodología gráfica para analizar el comportamiento de los osciladores, debido a que el alto orden de las expresiones resultantes hace imposible el tratamiento analítico. Se utiliza como modelo de falla el de desviación única en los valores de los componentes pasivos de los filtros bajo estudio. Resultados preliminares de este estudio han sido presentados por Catalano et al. (2006).

**IMPLEMENTACIÓN DE OBT**

En este trabajo se propone convertir los filtros completos en osciladores, sin realizar modificaciones en su estructura. De esta forma sólo se manipulan la entrada y la salida para conmutar el sistema de modo normal a modo test, y no se conectan circuitos a los nodos internos del filtro, evitando degradar el desempeño en modo normal. Este concepto se ilustra en la Fig. 1, en donde puede observarse que en modo test el filtro es aislado de su entorno de funcionamiento por medio de las llaves S1 y S4, mientras que S2 y S3 conectan el lazo de realimentación destinado a forzar las oscilaciones del circuito. En modo normal de funcionamiento, S1 y S4 permanecen cerradas, mientras que S2 y S3 permanecen abiertas.

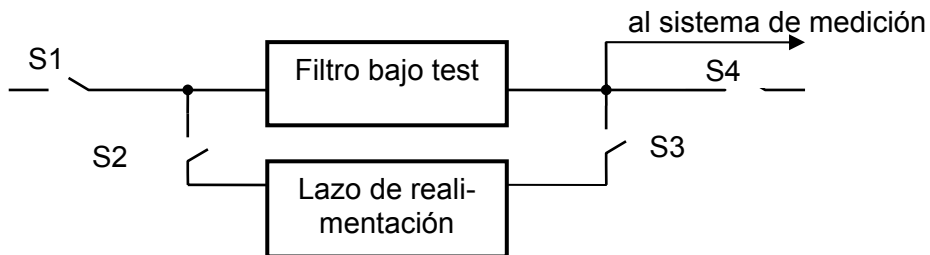


Fig. 1: Implementación del oscilador.

Para la implementación de OBT se adopta un esquema que utiliza un bloque no lineal en el lazo de realimentación. El principio del oscilador y la característica utilizada se describen en la Fig. 2. Huertas et al. (2002) han explicado ampliamente las ventajas de utilizar este tipo de oscilador para OBT, siendo la más interesante la posibilidad de controlar la amplitud de la oscilación.

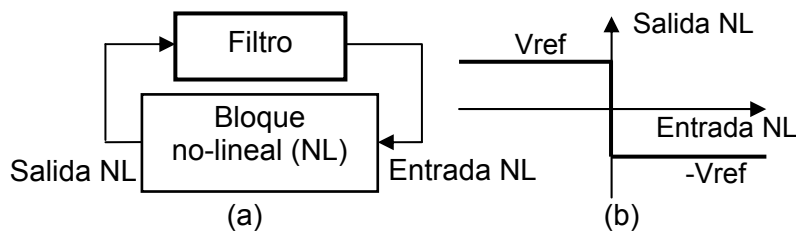


Fig. 2: (a) Diagrama conceptual de la implementación de OBT. (b) Característica del bloque no-lineal.

El bloque no-lineal (NL) de la Fig. 2 se puede implementar adoptando el esquema de la Fig. 3. El comparador establece el estado de conducción de las llaves analógicas SW1 y SW2. De esta forma,

dependiendo de la polaridad de la señal de salida del filtro bajo test (conectada a Entrada NL), se obtiene a la salida del bloque (Salida NL) +Vref ó -Vref.

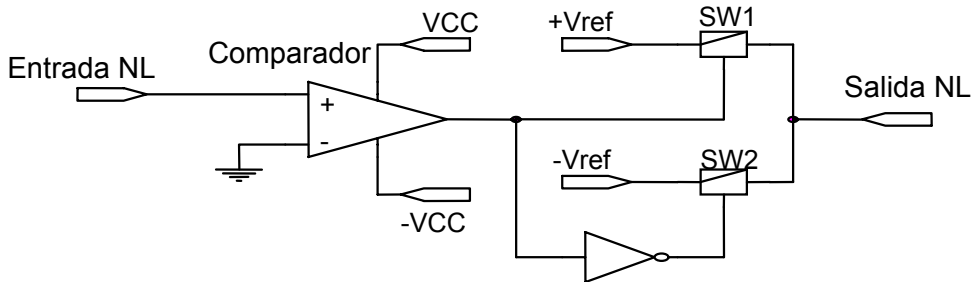


Fig. 3: Implementación del bloque no-lineal.

A pesar de que el esquema OBT propuesto minimiza la intrusión en el sistema, las llaves adicionales pueden afectar el modo normal, debiendo elegirse cuidadosamente los valores de resistencia que presentan las mismas en estado de conducción ( $R_{on}$ ) y corte ( $R_{off}$ ). En este caso, la llave más crítica es S1 debido a que se conecta a la entrada del filtro y forma parte de la trayectoria de la señal en modo normal. Su valor  $R_{on}$  debe elegirse de forma que pueda desprejarse frente a la resistencia de entrada del filtro bajo test, para evitar afectar las constantes de tiempo de entrada de los filtros. De manera similar se debe elegir el valor  $R_{on}$  para S2, ya que este valor se suma a la de las resistencias SW1 o SW2 (Fig. 3) y puede afectar a la condición de oscilación. S3 se utiliza para conectar la salida del filtro a la entrada del comparador (Fig. 3), que presenta alta impedancia. Por consiguiente, el valor  $R_{on}$  no es crítico para esta llave. Para S4, el valor de  $R_{on}$  deberá elegirse teniendo en cuenta el valor de la impedancia de entrada que presente el sistema que se conecte en la salida del filtro, siendo no crítico si ese sistema presenta alta impedancia. Finalmente, el parámetro  $R_{off}$  para todas las llaves debe ser lo más alto posible para proveer un aislamiento eléctrico efectivo.

**CIRCUITOS BAJO TEST**

Para comprobar la factibilidad de la implementación del esquema propuesto, se adoptan dos filtros en escalera de quinto orden pasa bajos, uno de tipo Butterworth y otro elíptico. Para sus implementaciones se utilizan amplificadores operacionales de salida simple, resistencias y capacitores (Laker y Sansen, 1994) (Figs. 4 y 5). Las especificaciones se detallan en la Tabla 1.

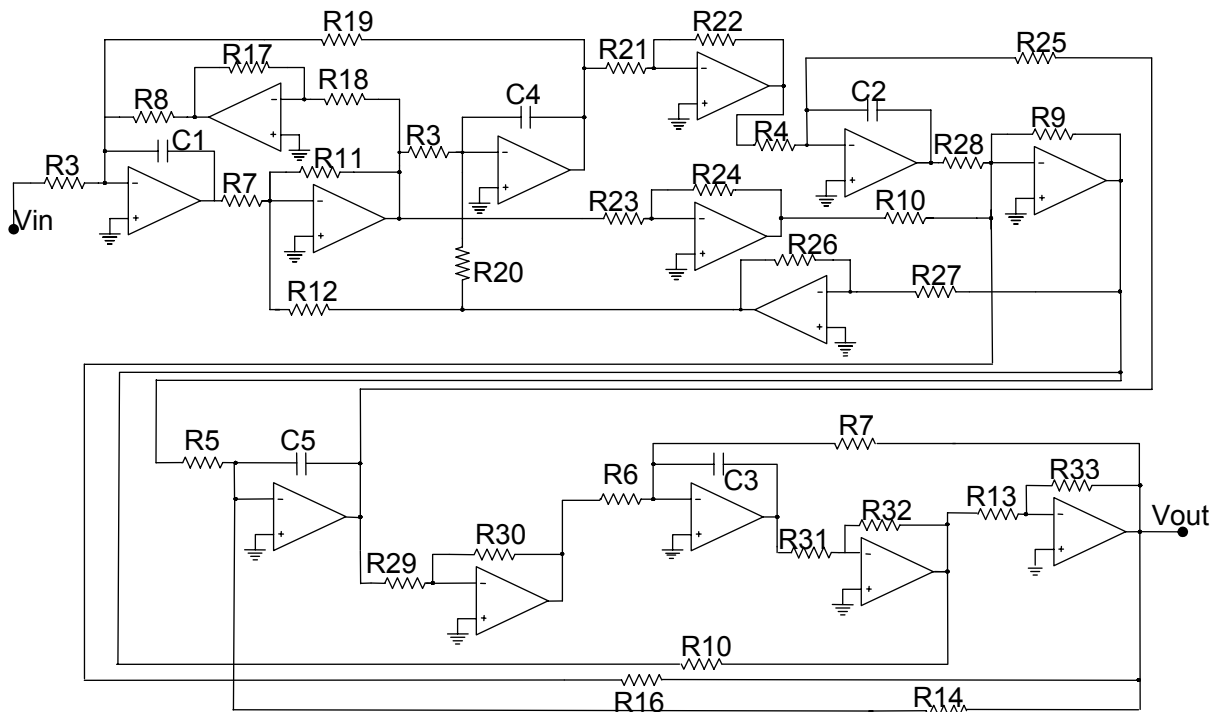


Fig. 4: Filtro elíptico.

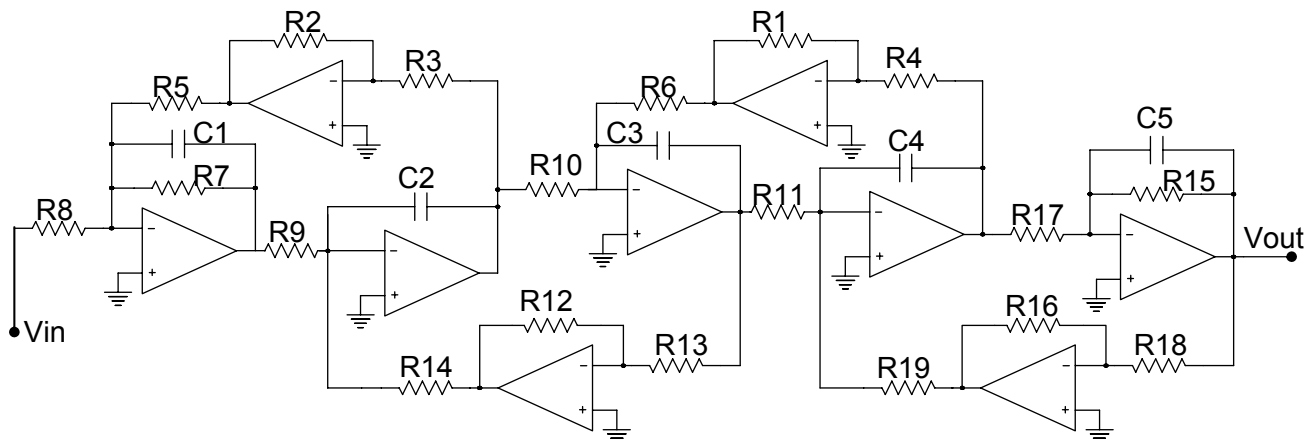


Fig. 5: Filtro Butterworth.

Tabla 1: Especificaciones de los filtros utilizados como vehículos de test

Especificación	Butterworth	Elíptico
Frecuencia límite de la banda de paso (KHz)	5.0	5.0
Atenuación en la banda de paso (dB)	3.0	0.4
Frecuencia límite de la banda de atenuación (KHz)	17.30	9.88
Atenuación en la banda de atenuación(dB)	60.0	60.4

### ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OSCILACIÓN

Para el modelado matemático del bloque NL presente en el esquema del oscilador se adopta el enfoque de la función de descripción (Taylor, 2000). Este método permite utilizar herramientas comunes en el análisis de sistemas lineales, reduciendo la complejidad del estudio. Con este enfoque, se puede expresar la función de transferencia del bloque NL como (1), donde  $V_{ref}$  es el voltaje de referencia y  $A$  es la amplitud de la oscilación:

$$N(A) = \frac{4V_{ref}}{\pi A} \tag{1}$$

Las condiciones de oscilación se determinan utilizando la respuesta en frecuencia del filtro, obtenida mediante el análisis AC disponible en el simulador SPICE. La oscilación puede ser forzada en las frecuencias en las que la respuesta en frecuencia del filtro presenta un desplazamiento de fase múltiplo de  $\pi$ . En esas frecuencias, la inversa del módulo de la función de transferencia del filtro es el valor de la función de descripción,  $N(A)$ , implementado por el bloque NL. La amplitud de la oscilación se obtiene igualando este valor obtenido con (1). La frecuencia de oscilación se obtiene directamente del diagrama de la respuesta en frecuencia (Peretti et al., 2007a).

A modo de ejemplo, en la Fig. 6 se muestra la respuesta en frecuencia de la ganancia para el filtro Butterworth. La flecha señala el punto en donde se cumple la condición de oscilación (denominado Modo 1 en la figura). En la Tabla 2 se reportan los valores teóricos de la amplitud y frecuencia de oscilación obtenidos mediante este método gráfico-analítico (T), los valores obtenidos por simulación SPICE (S) y los correspondientes errores (T-S). Como puede observarse de la tabla, los errores entre los valores teóricos y los simulados son muy bajos. Finalmente, la Fig. 7 muestra la oscilación resultante para el filtro Butterworth.

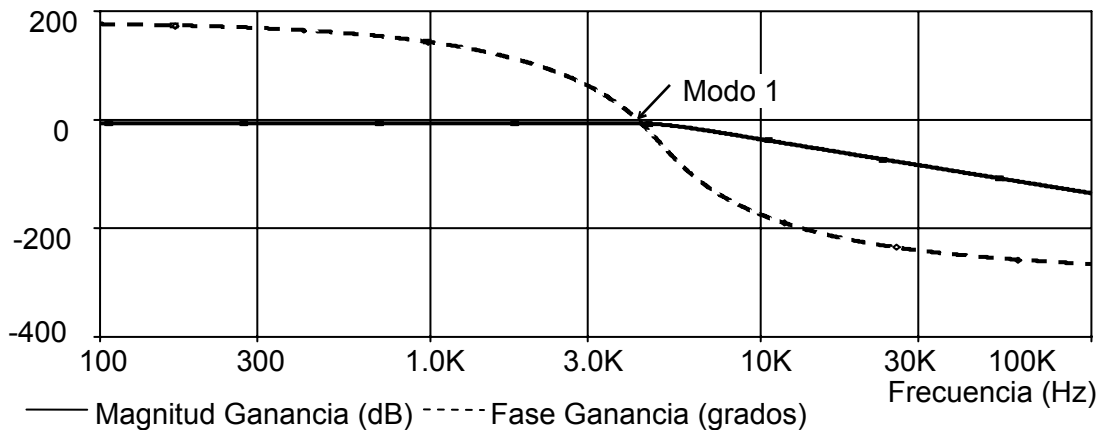


Fig. 6: Respuesta en frecuencia, filtro Butterworth.

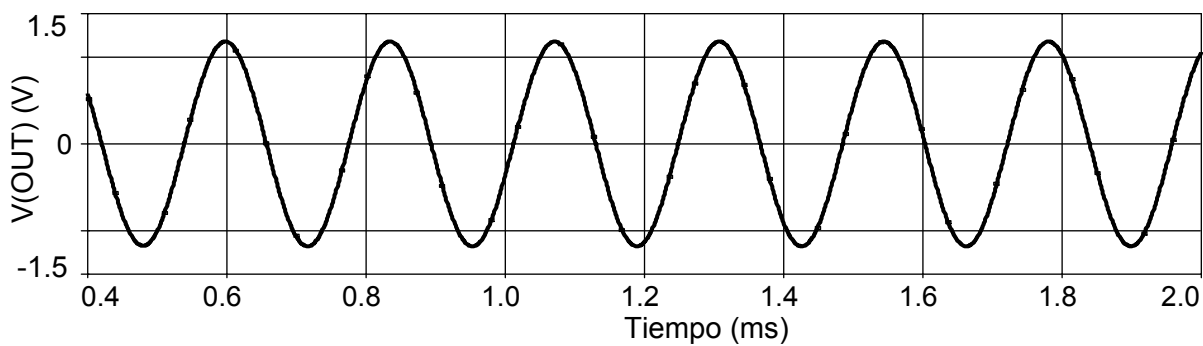


Fig. 7: Forma de onda de salida en modo test, filtro Butterworth.

Tabla 2: Valores teóricos (T) y simulados (S) de los parámetros de oscilación (Vref= 2V).

Parámetro	Butterworth	Elíptico
Amplitud (T) (V)	1.176	1.251
Amplitud (S) (V)	1.180	1.252
Error en la amplitud (T-S) (%)	0.34	0.08
Frecuencia (T) (KHz)	4.226	4.879
Frecuencia (S) (KHz)	4.227	4.878
Error en la frecuencia (T-S) (%)	0.02	0.02

**PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN DE FALLAS**

El modelo de falla adoptado para validar el esquema OBT propuesto es el de desviación única en los valores de los componentes pasivos (resistencias y capacitores) de la estructura del filtro. La inyección de fallas se realiza desviando el valor de un componente pasivo (componente con falla), mientras que los demás presentan sus valores nominales. Este tipo de validación se utiliza por su simplicidad y bajo costo computacional.

Para evaluar el desempeño de OBT bajo condiciones de falla, se adoptó el procedimiento propuesto por Arabi y Kaminska (1999), que consiste en encontrar las mínimas desviaciones en los valores de los componentes pasivos que pueden ser detectados por la estrategia de test. Las dos características que se evaluarán de la oscilación de salida serán la amplitud y frecuencia. El procedimiento utilizado aquí es alternativo al tradicional, que se basa en inyectar y simular fallas de desviación arbitrarias en los valores de los componentes.

Las desviaciones en los valores de los componentes debido a las fluctuaciones en el proceso de fabricación provocan variaciones en la frecuencia y en la amplitud de la oscilación del circuito sin falla. Por consiguiente, estos atributos de test exhiben un rango de valores que debe ser considerado como normal, o libre de falla. Estos rangos se determinan mediante una simulación Monte Carlo, utilizando los datos de dispersión estadística del proceso de fabricación de los componentes del filtro (resistencias, capacitores y amplificadores operacionales en este caso), provistos por el fabricante.

Sin pérdida de generalidad, en este estudio se asume que los límites de estos rangos son  $\pm 5\%$  del valor nominal de la frecuencia y de la amplitud de la oscilación que se obtiene con todos los componentes en sus valores nominales. Por consiguiente, una desviación dada se considera detectada si causa una variación en la frecuencia y/o amplitud de las oscilaciones más alto que estos límites; de otra forma se considera como no detectada.

Para el procedimiento de inyección de fallas los valores de los componentes son desviados desde 0.1 hasta 2 veces su valor nominal (-90% hasta 100%), en pasos de 0.1 veces (este paso puede ser redefinido de acuerdo a necesidades de costo computacional y precisión). De los resultados de simulación se obtienen dos valores de desviación para cada capacitor. Estos valores indican los límites del rango de desviación no detectada, considerando mediciones simultáneas de amplitud y frecuencia. Por consiguiente, las fallas de desviación que caen fueran de estos límites se consideran detectadas.

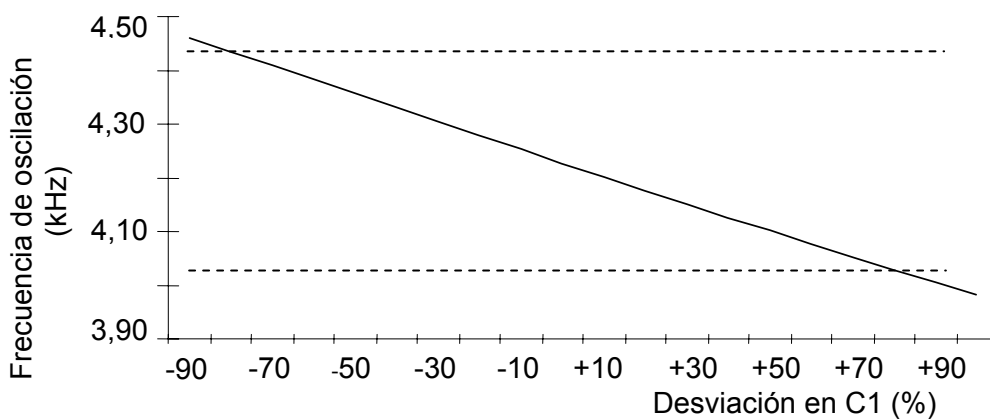


Fig. 8: Variación de la frecuencia de oscilación para fallas de desviación en C1, filtro Butterworth.

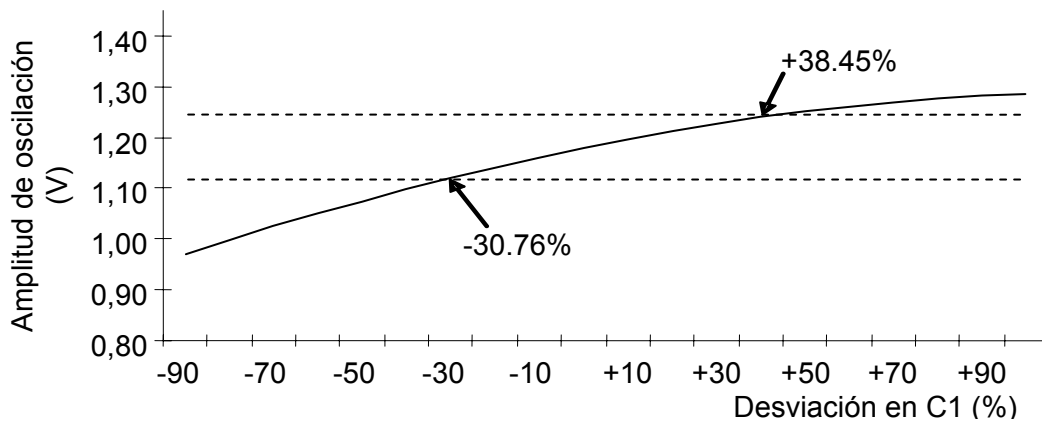


Fig. 9: Variación de la amplitud de oscilación para fallas de desviación en C1, filtro Butterworth.

A título de ejemplo, se muestra la variación de la frecuencia (Fig. 8) y amplitud (Fig. 9) considerando fallas de desviación en el capacitor C1 del filtro Butterworth. En esta figura, las líneas punteadas indican los límites  $\pm 5\%$  del valor nominal de la amplitud y frecuencia. Si la falla de desviación produce una desviación dentro de estos límites, la misma se considera como no detectada; de otra forma se considera detectada. Para este ejemplo, se puede observar que la medición de amplitud es más eficiente que la medición de frecuencia, siendo la que define el rango de desviación no detectada a ser reportado, los que han sido señalados en la Fig. 9 mediante flechas. No obstante, se debe mencionar

que podrán existir situaciones con rangos definidos solo por medición de frecuencia, o bien por una combinación de ambas mediciones.

## RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la campaña de inyección de fallas se muestran en las tablas 3 y 4, indicando los valores de desviación positiva y negativa (en valores porcentuales del nominal). Estos dos valores son los límites de la zona de desviaciones no detectadas por OBT. Se indica un límite como "No detectado" (ND), si no se consigue variar la amplitud y/o frecuencia de oscilación fuera de los límites de detección antes mencionados, para el rango de desviaciones en los componentes (-90%, 100%). De las tablas puede observarse que para los dos filtros existen componentes que son muy sensibles al test, dado que presentan la zona de desviación no detectada por OBT muy pequeña. Para el filtro Butterworth (Tabla 4) se observa que pocos componentes presentan rangos de desviación no detectada mayores que el 20%, resultado que permite afirmar que OBT es muy conveniente para testear esta clase de filtro.

Por otro lado, para el filtro elíptico (Tabla 3), R12, R13, R16, R17, R19 y R32 son resistencias difíciles de ser testeadas, debido a que presentan algún límite de tipo ND. Estos componentes deberían ser la principal preocupación para el ingeniero que decida utilizar OBT como estrategia de test. Se sugiere entonces un procedimiento para analizar la conveniencia de esta estrategia: inyectar las fallas de desviación extremas (+100% y -90% del valor nominal) en los componentes críticos y obtener la respuesta en frecuencia del filtro. De esta forma se puede analizar el impacto que presentan estas fallas (que permanecieron no detectadas en el análisis anterior) en el desempeño del circuito bajo test. Para esto se evaluará la respuesta del mismo bajo condición de falla.

Los resultados de este procedimiento mostraron para el filtro elíptico que del total de 7 fallas inyectadas, tres de ellas no provocaron alteraciones en la respuesta en frecuencia. De las restantes, una de ellas desplazó la frecuencia límite de la banda de paso a 4.88kHz, que representa una variación de 2.4%; las otras tres provocaron una variación de la atenuación en la banda de atenuación de -60dB a -56.35dB. Estas alteraciones no son significativas y se puede concluir que estas fallas de desviación no alteran el comportamiento del filtro. No obstante, si restricciones relacionadas con la confiabilidad del proceso de fabricación demandan detectarlas, deberían emplearse mediciones alternativas u otros métodos de test.

Tabla 3: Resultados de simulación de fallas, filtro elíptico.

Componente	Desviación (%)	Componente	Desviación (%)
C1	-62.60; 56.90	R15	-5.0; 5.0
C2	-15.82; 19.69	R16	-36.20; ND
C3	-28.15; 22.90	R17	-65.90; ND
C4	-22.60; 25.30	R18	-62.46; 56.79
C5	-17.92; 20.03	R19	-38.70; ND
R1	-8.46; 10.06	R20	-13.19; 23.48
R2	-7.98; 9.21	R21	-7.0; 7.0
R3	-13.19; 23.40	R22	-6.60; 7.40
R4	-5.23; 24.72	R23	-6.0; 6.0
R5	-16.51; 18.40	R24	-25.70; 60.70
R6	-12.27; 14.09	R25	-6.0; 6.0
R7	-11.99; 14.48	R26	-26.60; 51.60
R8	-5.0; 20.80	R27	-18.30; 41.27
R9	-15.78; 19.67	R28	-5.80; 6.30
R10	-18.65; 15.69	R29	-11.30; 14.60
R11	-3.85; 26.95	R30	-27.96; 23.05
R12	ND; ND	R31	-27.95; 23.04
R13	-65.65; ND	R32	-36.39; ND
R14	-7.20; 7.70	R33	-8.0; 8.0



Tabla 4: Resultados de simulación de fallas, filtro Butterworth.

Componente	Desviación (%)	Componente	Desviación (%)
C1	-30.76; 38.45	R8	-5.0; 5.0
C2	-13.47; 17.52	R9	-16.30; 15.93
C3	-28.62; 41.71	R10	-7.14; 7.70
C4	-16.15; 20.15	R11	-7.21; 7.80
C5	-16.15; 20.15	R12	-16.65; 16.10
R1	-14.47; 15.78	R13	-14.77; 15.57
R2	-6.96; 7.86	R14	-13.26; 17.58
R3	-6.72; 7.76	R15	-10.0; 11.18
R4	-13.28; 17.10	R16	-6.90; 7.40
R5	-6.94; 7.67	R17	-16.65; 16.10
R6	-13.88; 16.88	R18	-6.96; 7.40
R7	-10.62; 11.27	R19	-6.98; 7.80

#### Obtención de la cobertura de fallas

Como fue mencionado anteriormente, el procedimiento de evaluación propuesto caracteriza la capacidad del esquema propuesto para detectar fallas de desviación. Pero también es posible establecer de los datos reportados la cobertura de fallas y de esta forma poder establecer comparaciones con otras estrategias de test. Para ilustrar este concepto, se obtendrá la cobertura de fallas de desviación de  $\pm 20\%$  y  $\pm 50\%$  en los valores de los componentes en ambos filtros utilizados como caso de estudio. Para esto se comparan estos valores ( $\pm 20\%$  y  $\pm 50\%$ ) con los rangos de desviación no detectada presentados en las tablas 3 y 4, declarando a la correspondiente falla de desviación como detectada o no. La cobertura de fallas es la razón del número de fallas detectadas sobre la cantidad total de fallas consideradas. De acuerdo a esto, para el filtro Butterworth la cobertura es de 93.75%, mientras que para el filtro elíptico es de 67.10%. Se obtiene así una figura de mérito para OBT, pudiendo considerarse como buena (superior al 90%) para el filtro Butterworth y regular (superior al 50%) para el elíptico. No obstante, debe señalarse que en este caso la métrica fue elaborada con fallas de desviación arbitrarias y no revela otras características importantes para el ingeniero de test, como por ejemplo los componentes difíciles de ser testeados.

## CONCLUSIONES

Se analizó la capacidad de OBT para testear filtros de tiempo continuo de tipo RC-activo. Para implementar OBT se utilizaron osciladores no lineales. El uso del método de la función de descripción permitió obtener los parámetros de oscilación con excelente precisión.

Para la evaluación de la estrategia se determinaron las mínimas desviaciones en los componentes pasivos en las estructuras de los filtros que pueden ser detectadas mediante OBT. Los resultados obtenidos caracterizaron OBT en cuanto a su capacidad para la detección de fallas de desviación únicas. Se encontró que la estrategia es muy buena para detectar este tipo de fallas en el filtro de Butterworth. En cuanto al filtro elíptico, los resultados son buenos si se relacionan las fallas difíciles de detectar con las especificaciones.

## REFERENCIAS

Arabi, K. y B. Kaminska; *Oscillation-Test Strategy for Analog and Mixed Signal Integrated Circuits*, Proc. of 14th VLSI Symposium, 476-482, Princeton, USA, 28 Abril al 1 de Mayo (1996).

Arabi, K. y B. Kaminska; *Design for testability of embedded integrated operational amplifiers*, IEEE J. of Solid State Circuits, 33 (4), 573-581 (1998).

Arabi K y B. Kaminska; *Oscillation-test methodology for low-cost testing of active analog filters*, IEEE Trans. on Inst. and Meas.: 48(4), 798-806 (1999).

- Balen, T. y otros cuatro autores; *An approach to the built-in self-test of field programmable analog arrays*, Proc. 22<sup>nd</sup> IEEE VLSI Test Symposium, 383- 388, 25 a 29 Abril (2004).
- Beroulle, V., Y. Bertrand, L. Latorre y P. Nouet; *Evaluation of the oscillation-based test methodology for micro-electro-mechanical systems*, Proc. 20<sup>th</sup> VLSI Test Symposium 2002, 439-444, California, USA, 28 abril a 2 de mayo (2002).
- Catalano, J., G. Peretti, E. Romero y C. Marqués; *Exploring the Ability of Oscillation Based Test for Testing Continuous -Time Ladder Filters*, Proc. 7th International Symposium on Quality Electronic Design, 543-550, San Jose, USA 27 a 29 Marzo (2006).
- Huertas, G., D. Vázquez, A. Rueda, y J. Huertas; *Practical Oscillation-Based Test of Integrated Filters*, IEEE Design & Test of Computers: 19(6), 64-72 (2002).
- Huertas, G., D. Vázquez, A. Rueda y J.L. Huertas; *Oscillation-based test in bandpass oversampled A/D converters*, Microelectronic J.: 34(10), 927-936 (2003).
- Kac, U. y F. Novak; *All-pass SC biquad reconfiguration scheme for oscillation-based analog BIST*, Proc. 9<sup>th</sup> IEEE European Test Symposium, 133-138, Corsica, Francia 23 a 26 Mayo (2004).
- Laker, K. y W. Sansen; *Design of Analog Integrated Circuits and Systems*, 858-875, Mc-Graw-Hill, New York USA (1994).
- Peretti, G., E. Romero y C. Marqués; *Test of nuclear pulse shapers using oscillation-based test*, Latin American Applied Research: 37(3), 163-170 (2007a).
- Peretti, G., E. Romero y C. Marqués; *Using Oscillation Based Test for testing digital shapers*, International J. of Electronics: 94(8), 777-791 (2007b).
- Peretti, G., E. Romero y C. Marqués; *On the Ability of OBT for detecting deviation faults in SC ladder filters*, Electrical Engineering: 90(2), 127-141 (2007c).
- Romero, E., G. Peretti y C. Marqués; *Oscillation test strategy: a case study*, J. of Electronic Testing: Theory and Applications: 20(4), 389-396 (2004).
- Romero, E., G. Peretti, G. Huertas y D. Vázquez; *Test of Switched-Capacitor Ladder Filters using OBT*, Microelectronics J.: 36(12), 1073-1079 (2005).
- Romero, E., G. Peretti y C. Marqués; *An operational amplifier model for evaluating test strategies at behavioural level*, Microelectronics J.: 38(10-11), 1082-1094 (2007).
- Santo, M., F. Novak y S. Macek; *Design of oscillation based test structures for active RC filters*, IEE Proc.-Circuits Devices Syst.:147(7), 297-302 (2000).
- Taylor, J.; *Describing functions*, Supplement 1 of the Electrical Engineering Encyclopedia, John Wiley & Sons, 77-98, New York, USA, (2000).
- Vinnakota, B.(editor); *Analog and Mixed-Signal Test*, New Jersey, USA (1998).
- Wong, M.; *On the Issues of Oscillation Test Methodology*, IEEE Trans. on Inst. and Meas.: 49(2), 240-245 (2000).