

EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA BAJO CONDICIÓN DE FALLA PARAMÉTRICA

José Peralta⁽¹⁾, Gabriela Peretti⁽¹⁾, Eduardo Romero⁽¹⁾, Carlos Marqués⁽²⁾

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

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

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la capacidad de la estrategia de test denominada Método de Análisis de Transitorio (TRAM) para detectar fallas paramétricas. El modelo de falla adoptado consiste en variar todos los parámetros del circuito dentro de sus tolerancias (distribución normal), excepto uno que adopta un valor fuera de tolerancia. Para el caso de estudio adoptado, un filtro bicuadrático pasabajo, los resultados de simulación de fallas muestran que en general la técnica posee una buena capacidad de detección bajo condiciones de variabilidad estadística de los componentes. A pesar de que estos datos preliminares corroborarían la buena capacidad de la técnica para detectar este tipo de fallas, se ha evidenciado la presencia de circuitos sin fallas que son declarados con fallas por el test, lo que indica una disminución del rendimiento del proceso. Esto debe ser tenido en cuenta en aplicaciones que demandan una maximización del mismo y debe ser estudiado en detalle para cada caso en particular.

1. INTRODUCCIÓN

El Análisis de Respuesta Transitoria (TRAM, *Transient Analysis Method*) ha sido propuesto recientemente para el test de filtros de segundo orden [1], [2]. La idea central de esta estrategia es excitar al sistema bajo test con una señal de entrada que provoque un transitorio subamortiguado. Se asume que la presencia de fallas en el filtro provocará un cambio en el tiempo de ocurrencia del pico y/o en la sobre-elongación, haciéndolas observables.

Originalmente, TRAM ha sido considerada como una metodología de test funcional debido a que los parámetros que utiliza para realizar el test están formalmente relacionados con el factor de calidad (Q) y la frecuencia de corte (ω_0). La simplicidad conceptual y de implementación de esta estrategia de test, sumada a su alta eficiencia para la detección de desviaciones en los

parámetros funcionales del filtro y en los valores de los componentes, la hacen sumamente atractiva tanto para implementaciones discretas como integradas.

Sin embargo, debe mencionarse que para la evaluación de la eficiencia de esta estrategia se han utilizado modelos de fallas de desviación única en los componentes, los que consisten en proponer la perturbación de uno de los valores de los parámetros del circuito mientras los demás adoptan sus valores nominales. Si bien este modelo es sencillo y se encuentra relativamente aceptado en la comunidad del test, no tiene en cuenta la variabilidad natural de los componentes debido a, por ejemplo, desviaciones en los parámetros de la tecnología utilizada. Esto puede conducir a una sobreestimación de las capacidades de la estrategia.

En este trabajo se propone evaluar la capacidad de TRAM para detectar fallas paramétricas en los valores de componentes.

2. MODELOS DE FALLAS PARAMÉTRICAS

La variación estadística en los valores de los componentes de un circuito es considerada en la actualidad como una de las causas fundamentales de que un sistema electrónico no cumpla con las especificaciones de desempeño. Por consiguiente, los modelos de fallas catastróficas y de desviación única deben ser complementados con otros que permitan evaluar la eficiencia de las técnicas de test bajo hipótesis de variabilidad múltiple en los parámetros circuitales [3].

En [4] se propone una metodología de simulación de fallas paramétricas, estableciendo métricas para ponderar la eficiencia de la estrategia de test bajo estudio. Para ello los autores sugieren dos modelos de fallas: el modelo de falla única y el modelo de falla de grupo. En el primer modelo consideran que todos los parámetros del circuito varían dentro de sus tolerancias (para estos se asume una distribución normal) y sólo uno adopta un valor fuera de tolerancia. En el segundo modelo consideran que un grupo de componentes puede sufrir desvia-

ciones en sus tolerancias. Un modelo de falla única similar se adopta en [5], proponiéndose también un algoritmo que permite disminuir el costo computacional de la simulación de este tipo de falla. Otros autores [6] han utilizado este modelo y estudiado su relación con las especificaciones del circuito, con el objeto de remover alguna de ellas y de esa forma reducir el tiempo de test.

Savir y Guo [7] abordan el problema de determinar las mínimas desviaciones paramétricas que pueden ser detectadas por una estrategia dada de test. Para ello asumen que se conoce la función de transferencia y su dependencia explícita con los parámetros del circuito, y determinan los valores extremos que pueden alcanzar los coeficientes de dicha función cuando todos los componentes del circuito varían simultáneamente dentro de sus tolerancias. Se asume que cualquier desviación única que provoque que un coeficiente de la función de transferencia se aparte de los límites antes determinados constituye una falla detectable.

Los autores de [8] proponen inyectar fallas en los parámetros de bajo nivel del circuito, adoptando para ello dos distribuciones gaussianas desplazadas a ambos lados de la distribución del parámetro sin fallas. La inyección se realiza en un parámetro por vez (haciendo uso de simulación Montecarlo) mientras los demás varían dentro de sus límites de tolerancia. Para cada instancia del circuito es posible determinar el cumplimiento de las especificaciones y al mismo tiempo evaluar los criterios de test para su clasificación como aceptado o rechazado.

En [9] se adopta un modelo que asume una distribución normal para los parámetros sin fallas del circuito. El parámetro con desviación anormal se considera que tiene una distribución uniforme que se encuentra a ambos lados de los límites de la distribución sin fallas. La detectabilidad de una falla se determina mediante el análisis de las distribuciones con y sin fallas obtenidas usando el modelo antes descrito.

Otros autores [10,11, 12] utilizan modelos de fallas de desviación múltiple para evaluar la eficiencia de estrategias de test alternativas para discriminar circuitos fuera de especificación. Para esto asumen que los parámetros de bajo nivel del circuito tienen una distribución gaussiana, y consideran situaciones de variabilidad creciente en estos parámetros.

3. CASO DE ESTUDIO: FILTRO DE SEGUNDO ORDEN

En este trabajo se adopta como caso de estudio un filtro pasa-banda de segundo orden [7]. La topología del mismo puede verse en la Fig. 1.

Como fue mencionado, TRAM establece si un circuito presenta fallas evaluando dos parámetros de la respuesta transitoria del circuito, el tiempo de pico (T_p), y el valor de la sobre-elongación (OS). Se denominan parámetros indirectos a estos dos atributos de test. Estos dos valores han sido señalados en la respuesta nominal a la rampa (Fig. 2). Las expresiones (1) y (2) relacionan

los parámetros indirectos con los parámetros de bajo nivel.

$$T_p = \frac{\pi}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}}, \quad (1)$$

$$OS = e^{-\frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}}}, \quad (2)$$

donde

$$\zeta = \sqrt{\frac{C_2}{4C_1 R_2 R_1}} \cdot (R_1 + R_2) \quad (3)$$

Los valores nominales de los componentes del filtro se muestran en la Tabla 1. Se considera que los mismos pueden variar su valor hasta $\pm 10\%$ de su valor nominal.

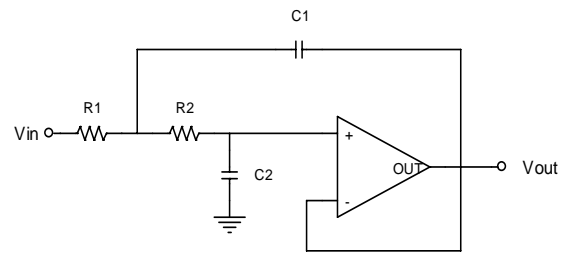


Figura 1. Filtro bajo estudio.

Tabla 1. Valores nominales de los parámetros de bajo nivel.

<i>Componente</i>	<i>Valor Nominal</i>
R1	2260 Ω
R2	2260 Ω
C1	2E-08 F
C2	1E-08 F

4. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

En una primera etapa se determinó la distribución estadística de los parámetros indirectos cuando los parámetros de bajo nivel varían dentro del rango de variabilidad asumido como normal ($\pm 10\%$). Para ello, se generaron 1000 números aleatorios para cada uno de los parámetros de bajo nivel con media igual al valor nominal y desviación estándar del 3% del mismo, obteniéndose un número igual de observaciones de T_p y OS. Para evaluar el grado de ajuste de los datos obtenidos para T_p y OS a una distribución normal se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov [13], el que permitió determinar que la distribución de las observaciones puede considerarse como normalmente distribuida a un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

Dadas las distribuciones, se determinaron los límites de variación de T_p y OS. La determinación de estos límites puede ser hecha sobre la base de diferentes criterios, como la maximización del rendimiento del proceso, de la cobertura de fallas o del costo. En nuestros experimentos se adoptó el primero de criterios. Para este fin se establecieron los límites de tolerancia estadística de la

Tabla 2, considerando que el 99% de la población de encuentra dentro de estos límites, con un nivel de confianza del 95%. Valores de T_p y O_s fuera de los límites indicados fueron asociados a un comportamiento con fallas del sistema.

Tabla 2. Límites de tolerancia estadísticos

Límites	T_p (s)	O_s
Inferior	0,028	1,2888E-04
Superior	0,058	1,5539E-04

Para evaluar la capacidad de TRAM para la detección de fallas bajo condiciones de variabilidad estadística simultánea de los componentes, se adoptó el modelo de falla propuesto en [4]. Al componente con falla se le asignaron desviaciones comprendidas entre el 0 y el 40% de su valor nominal, en pasos de 2.5%. Para cada uno de los valores adoptados, los demás parámetros fueron variados estadísticamente dentro de sus tolerancias normales. Se evaluaron 1000 corridas para cada desviación y se determinó el número de eventos en que T_p y O_s presentaron valores por fuera de los límites de tolerancia normal. A estos se los denominó eventos positivos. Los porcentajes de eventos positivos de T_p y O_s fueron graficados en las Figs. 3 y 4 respectivamente, versus el porcentaje de variación del valor nominal de cada parámetro de bajo nivel. El análisis de estas figuras permitió valorar la capacidad de los parámetros indirectos

para detectar fallas en el sistema para desviaciones crecientes en los parámetros de bajo nivel.

La ley de variación de T_p y O_s en relación con R_1 y R_2 es la misma. Pero como puede observarse de las figuras en cuestión, los porcentajes de eventos positivos varían sustancialmente en cada caso. La capacidad de detectar una falla en las resistencias es considerablemente mayor para el parámetro T_p , ya que variaciones mayores de +37.5% y -35% conducen al 100% de detección. Debe mencionarse que la probabilidad de ocurrencia de eventos positivos en T_p , en el rango de variación normal de los componentes R_1 y R_2 , alcanza valores superiores al 10%. Estos son eventos para los cuales se obtiene una indicación de falla, cuando en realidad el sistema se encuentra libre de fallas. Se trata entonces de falsos positivos, lo cual conduce a una disminución del rendimiento del proceso. Para el caso de C_1 se observa una pobre capacidad de detección para T_p pero buena para O_s , concluyéndose que variaciones mayores que $\pm 27.5\%$ han sido detectadas al 100%. Tal como lo observado para R_1 y R_2 , la probabilidad de falsos positivos llega a valores cercanos a 15% para desviaciones del orden del 10%. Finalmente, la mayor capacidad de detección de desviaciones anormales en C_2 se obtiene mediante el monitoreo de T_p , lo que permite detectar el 100% de las desviaciones superiores al $\pm 17.5\%$. Sin embargo, se observa un valor superior al 20% de falsos positivos para variaciones cercanas al 10%.

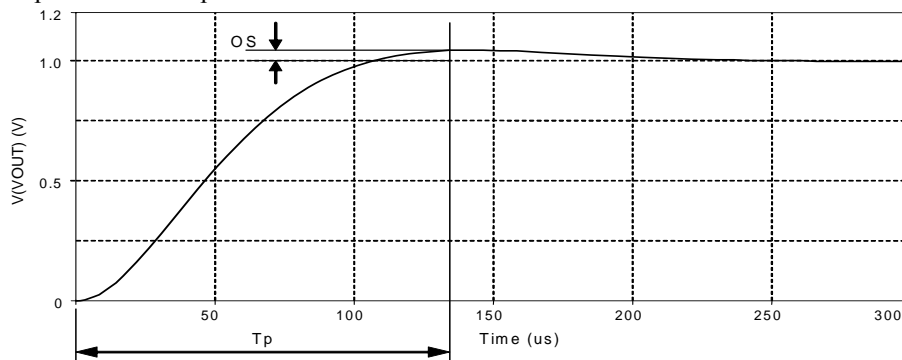


Figura 2. Respuesta nominal a la rampa del filtro bajo estudio

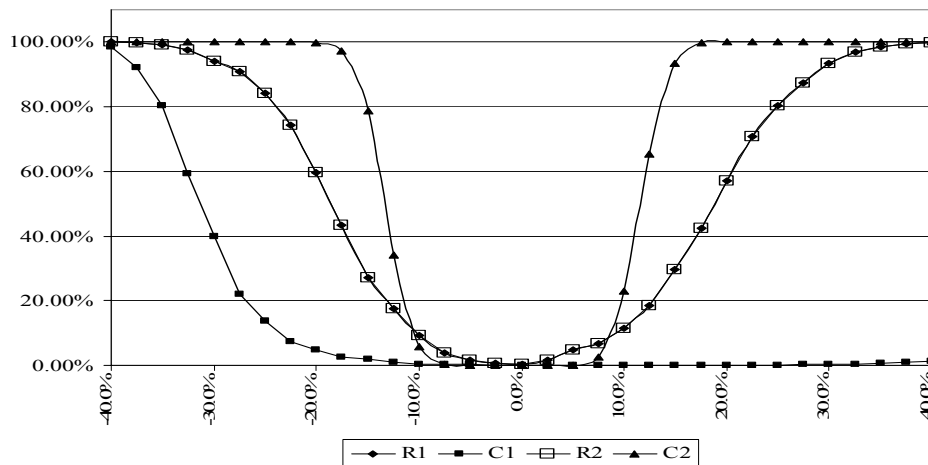


Figura 3. Porcentaje de fallas detectables a través de T_p debido a variaciones en el valor nominal de los parámetros de bajo nivel

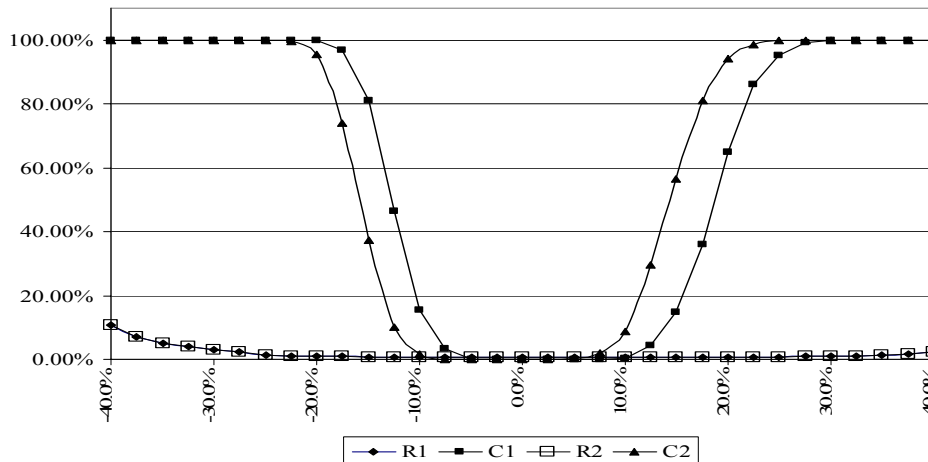


Figura 4. Porcentaje de fallas detectables a través de OS debida a variaciones en el valor nominal de los parámetros de bajo nivel

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha evaluado la capacidad de TRAM para la detección de fallas en los elementos del circuito bajo condiciones de variabilidad estadística simultánea de los mismos. Esta es una perspectiva de evaluación diferente a la previamente adoptada por otros autores, lo que permite la generación de nuevos datos sobre esta técnica de test. Se ha adoptado como caso de estudio a un filtro bicuadrático pasabajo.

Los resultados demuestran que la consideración simultánea de los parámetros Tp y OS es vital para lograr la detección de fallas relativamente pequeñas. En general puede decirse que la técnica posee una buena capacidad de detección bajo condiciones de variabilidad estadística de los componentes. En este sentido, puede decirse que los componentes más difíciles de ser verificados son R1 y R2, los que requieren variaciones de +37.5% para una detección del 100%. A pesar de que estos datos preliminares corroborarían la buena capacidad de la técnica para detectar este tipo de fallas, se ha evidenciado la presencia de falsos positivos (circuitos sin fallas que son declarados con fallas por el test), lo que indica una disminución del rendimiento del proceso. Esto debe ser tenido en cuenta en aplicaciones que demandan una maximización del mismo y debe ser estudiado en detalle para cada caso en particular.

6. REFERENCIAS

[2] J. Calvano, V. Alves, M. Lubaszewski, "Fault Detection Methodology for Second Order Filters Using Compact Test Vectors Transient Analysis", *3rd Int. Workshop on Design of Mixed-Mode Integrated Circuits and Applications*, pp. 18-24, 1999.

[2] J. Calvano, V. Alves, M. Lubaszewski, "Fault detection methodology and BIST method for 2nd order Butterworth, Chebyshev and Bessel Approximations", *Proc. 18th IEEE VLSI Test Symposium*, pp. 319-324, 2000.

[3] B. Vinnakota (Editor). *Analog and Mixed-Signal Test*. Prentice Hall. New York, United States. 1998.

[4] K. Saab, N. Ben-Hamida, B. Kaminska, "Parametric Fault Simulation and Test Vector Generation", *Proc. Conference on Design, Automation and Test in Europe*, pp. 650-656, 2000.

[5] A. Khouas, A. Derieux, "Fault Simulation for Analog Circuits Under Parameter Variations", *Journal of Electronic Testing*, Vol. 16, pp 269-278, 2000.

[6] S. Chang, C. Lee, J. Chen, "Structural Fault Based Specification Reduction for Testing Analog Circuits". *J. of Electronic Testing*, V. 18, pp. 571-581, 2002.

[7] J. Savir and Z. Guo, "Test Limitations of Parametric Faults in Analog Circuits". *IEEE Trans Instrumentation and Measurement*, Vol. 52, pp. 1444-1454, 2003.

[8] E. Acar, S. Ozev, "Parametric Test Development for RF Circuits Targeting Physical Faults Locations and Using Specification-Based Fault Definitions", *IEEE-ACM Int Conference on Computer Aided Design*, pp. 73-79, 2005.

[9] F. Liu and S. Ozev. "Fast Hierarchical Process Variability Analysis and Parametric Test Development for Analog/RF Circuits", *Proc. 2005 Int. Conference on Computer Design*, pp. 161-170, 2005.

[10] A. Raghunathan, J. Chun, J. Abraham. "Quasi-Oscillation Based Test for Improved Prediction of Analog Performance Parameters", *International Test Conference*, pp. 252-261, 2004.

[11] A. Chaehoi, Y. Bertrand, L. Latorre, P. Nouet. "Improving the Efficiency of the Oscillation Based Test Methodology for Parametric Faults", *IEEE Latin American Test Workshop*, pp. 234-237, 2003.

[12] A. Chaehoi, L. Latorre, F. Azais, P. Nouet. "Use of a Statistical Approach for Efficient Implementation of Oscillation Based Test Strategy". *Proc. 9th International Mixed Signal Test Workshop*, pp. 99-103, 2003.

[13] A. Mitra, *Fundamentals of Quality Control and Improvement-2nd Edition*, Prentice Hall, United States, 1998.