

# IMPACTO DE LOS CICLOS LÍMITE EN FILTROS DIGITALES IIR EN CELOSÍA UTILIZANDO ARITMÉTICA EN PUNTO FIJO.

Roberto Jiménez Martínez, Francisco López Ferreras, David Osés del Campo, Manuel Utrilla Manso

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
Universidad de Alcalá

[roberto.jimenez, francisco.lopez,david.oses, manuel.utrilla@uah.es](mailto:roberto.jimenez, francisco.lopez,david.oses, manuel.utrilla@uah.es)

## RESUMEN

En este artículo, presentamos los resultados obtenidos del estudio de los ciclos límite en filtros digitales IIR en celosía [1] implementados con aritmética en punto fijo. Para ello se ha realizado el análisis de más de doscientos filtros utilizando las aproximaciones de Butterworth, Chebyshev I, Chebyshev II, y elíptica cuyos resultados se resumen en diferentes figuras. Para la evaluación del impacto de estas oscilaciones en situaciones prácticas, se han obtenido la máxima amplitud y periodo de las oscilaciones así como el número de ciclos límite diferentes detectados en cada uno de los filtros analizados. Este estudio ha sido realizado utilizando cuantificación por redondeo, truncado en complemento a dos y truncado en módulo y signo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La implementación de un filtro digital que satisface una determinada función de transferencia puede realizarse mediante infinidad de estructuras diferentes cuyo comportamiento al utilizar aritmética de precisión finita puede ser muy diferente produciéndose efectos que en ocasiones degradan considerablemente el comportamiento del filtro y que son difíciles de predecir. Estos efectos son de mayor importancia si esta aritmética es en punto fijo. Entre ellos se encuentran las oscilaciones de ciclos límite producidas ante entrada nula. Podemos encontrar publicados diversos algoritmos de búsqueda, tanto exhaustiva [2],[3], como parcial [4], de ciclos límite que nos permitirán realizar un análisis del impacto de los ciclos límite en la estructura en celosía escalonada. Para ello, utilizando el programa software presentado en [5], se ha simulado la implementación de un gran número de filtros de ordenes comprendidos entre 3 y 9 en la estructura indicada.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para el desarrollo de este estudio se han seleccionado un conjunto aproximado de 100 filtros digitales IIR de órdenes comprendidos entre 3 y 9 utilizando las aproximaciones de Butterworth, Chebyshev, Chebyshev inverso y elíptica los cuales han sido implementados utilizando aritmética de precisión finita en punto fijo. Una

vez obtenida la realización en la estructura en celosía escalonada se ha efectuado una búsqueda de ciclos límite utilizando registros de 16 y 32 bits, cuantificación, de coeficientes y operaciones, por redondeo (Red.), truncado en complemento a dos (TC2) y truncado en módulo y signo (TMS) y limitación por saturación. De los resultados obtenidos se han seleccionado, para cada uno de los filtros, los valores de la amplitud máxima almacenada en los registros internos, amplitud a la salida y periodo máximo de los ciclos límite detectados, así como el número de ciclos límite diferentes.

### 2.1. Figuras

A continuación se muestra la variación media de los parámetros en función del orden del filtro y tipo de cuantificación. Los resultados obtenidos son idénticos para 16 y 32 bits.

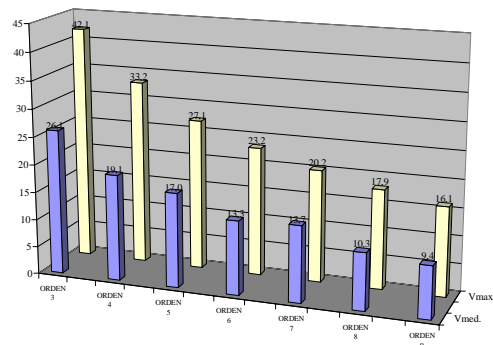


Figura 1: Variación del margen de estabilidad.

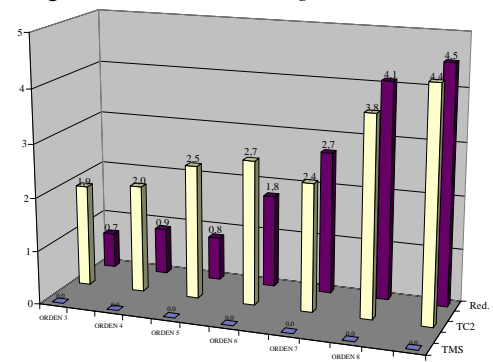


Figura 2: Amplitud media en los registros internos.

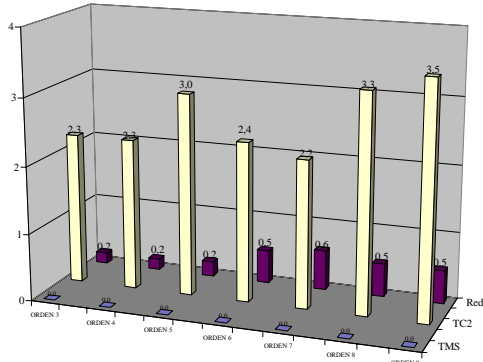


Figura 3: Amplitud media a la salida.

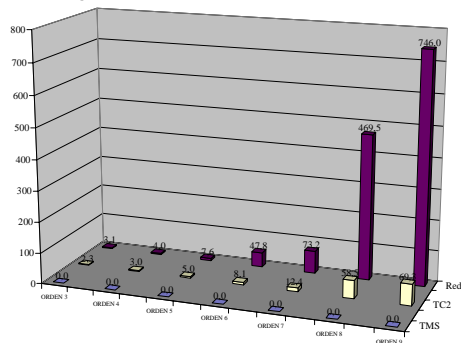


Figura 4: Valor medio del periodo máximo.

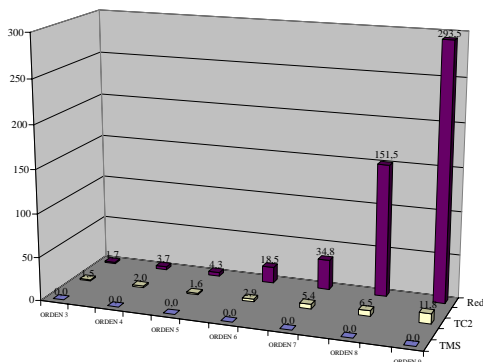


Figura 5: Número de ciclos límite diferentes.

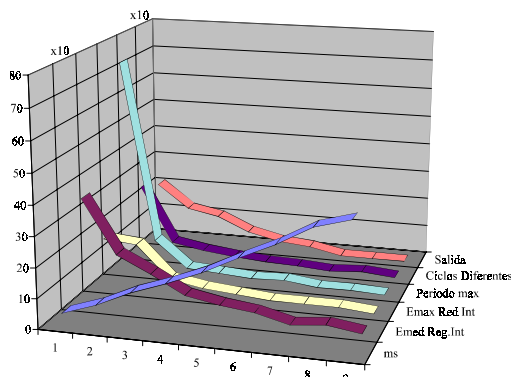


Figura 6: Evolución de los parámetros según la variación del margen de estabilidad.

Los resultados de las amplitudes en los registros internos y a la salida se encuentran expresados como múltiplos del escalón de cuantificación utilizado.

### 3. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes conclusiones.

- I. La utilización de longitudes de palabra de 16 y 32 bits dan lugar a los mismos valores en todos los parámetros, si bien, en cuanto a la amplitud en los registros internos y a la salida habrá que tener en cuenta que el número de intervalos de cuantificación coincide pero el valor de este intervalo es menor en 32 que en 16 bits.
- II. De acuerdo con lo anterior se deduce que el aumento en el número de bits utilizado no elimina la aparición de ciclos límite aunque si reduce su importancia.
- III. Utilizando cuantificación por TMS la ausencia de ciclos límite es total.
- IV. Utilizando cuantificación por Red. y TC2 los ciclos límite detectados almacenan energías similares en los registros internos, observándose que en TC2 la amplitud a la salida es en todos los caso superior, siendo por el contrario mayor el periodo máximo y el número de ciclos diferentes en Red.
- V. El impacto de los ciclos límite aumenta de forma inversa al margen de estabilidad (ms, definido como la diferencia entre la unidad y el módulo del polo más cercano al circunferencia de radio unidad en tanto por ciento).

### 4. REFERENCIAS

- [1] John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis, "Digital signal processing". 3ª Edición Ed. Prentice Hall, 1998.
- [2] Bauer, P.H.; Leclerc, L.J., "A Computer-Aided test for the Absence of Limit Cycles in Fixed-Point Digital Filters", IEEE Trans. Sig. Proc., Vol. 39, No. 11, pp. 2400-2409, Nov. 1991.
- [3] Premaratne, K.; Kulasekera, E. C.; Bauer, P.H.; Leclerc, L. J.: "An Exhaustive Search Algorithm for Checking Limit Cycle Behaviour of Digital Filters". Procc. IEEE ISCAS, Seattle, pp. 2035-2038, 1995.
- [4] M. Utrilla; F. López F.; D. Osés; R. Jiménez M.; P.L. López E.: "A New Fast Algorithm for Detecting and Characterising Limit Cycles in Digital Filters". Telec'2000; Santiago de Cuba.
- [5] R. Jiménez M.; F. López F.; D. Osés; M. Utrilla; F. Cruz : "Software Implementation for IIR Digital Filter Structures to Study the Impact of Finite Precision Numerical Effects". Telec'2000; Santiago de Cuba.