

# MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS APLICADOS A LA DETECCIÓN DE DIVISIONES DE FRECUENCIA EN CIRCUITOS DE ALTA FRECUENCIA

*J.M. Collantes, A. Anakabe, J. Jugo, J.P. Pascual\*, J. Portilla*

Departamento de Electricidad y Electrónica. Facultad de Ciencias.  
Universidad del País Vasco-EHU. Apdo. 644, 48080 Bilbao.

\*Departamento de Ingeniería de Comunicaciones.  
Universidad de Cantabria. Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander.

## RESUMEN

Las técnicas de identificación de sistemas constituyen una poderosa herramienta para analizar, predecir y comprender la compleja dinámica de los circuitos no lineales. En este trabajo se combinan métodos de identificación de sistemas con simulaciones de balance armónico para detectar divisiones de frecuencia en circuitos de radio frecuencia y microondas. La técnica de análisis se ha verificado sobre un divisor de frecuencia digital fabricado en tecnología monolítica de AsGa, demostrando así su validez para el estudio de circuitos complejos con un número elevado de elementos no lineales. Los resultados obtenidos han sido confirmados mediante la caracterización experimental del circuito.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de identificación de sistemas han demostrado recientemente su utilidad en la detección de oscilaciones espúreas en amplificadores de media potencia de microondas [1]. Los polos y ceros del sistema se pueden obtener, utilizando métodos de identificación de sistemas, a partir de la respuesta en frecuencia en lazo cerrado asociada a la linealización del circuito entorno al estado estacionario. La obtención de los polos y los ceros del sistema, es decir, el conocimiento de la función de transferencia correspondiente a la linealización del circuito, proporciona un profundo conocimiento de la dinámica de los circuitos no lineales. La identificación de sistemas es, no obstante, una herramienta de reciente incorporación a la electrónica de alta frecuencia. Hasta ahora, la identificación de funciones de transferencia asociadas a circuitos no lineales tan sólo se ha llevado a cabo en el caso de circuitos relativamente simples a un único transistor [1]. En este trabajo, se muestra la posibilidad de generalizar el uso de este tipo de técnicas a circuitos que contengan un elevado número de elementos no lineales. En particular, se lleva a cabo la detección de división de frecuencia en un divisor digital fabricado en tecnología MMIC. Las conclusiones obtenidas se han confirmado con resultados experimentales.

## 2. MÉTODO DE ANÁLISIS

Como primer paso de la técnica de análisis, es necesario obtener la respuesta en frecuencia asociada a la linealización del circuito alrededor del estado estacionario no lineal. Para ello se introduce en un nodo arbitrario  $n$  del circuito y sobre el estado estacionario una perturbación de corriente  $i$  de pequeña señal, mediante una fuente de corriente estándar. Esta corriente  $i$  representa la señal de entrada del sistema en lazo cerrado. La impedancia observada por la perturbación de corriente en función de la frecuencia,  $Z(f)$ , es la respuesta en frecuencia en lazo cerrado del sistema linealizado alrededor del estado no lineal.  $Z(f)$  se puede obtener mediante un análisis de balance armónico a dos tonos, o bien mediante un análisis de tipo mezclador (utilizando la técnica de matriz de conversión) en el que la perturbación  $i$  corresponde a la señal RF de pequeña amplitud.

Una vez obtenida la respuesta en frecuencia  $Z(f)$  se aplican técnicas de identificación de sistemas que utilizan métodos de estimación basados en algoritmos de máxima probabilidad [2]. Como resultado de la identificación se obtienen los polos y los ceros del sistema linealizado.

$$Z(j\omega) \xrightarrow{\text{proceso de identificación}} Z(s) = \frac{\prod_{i=1}^M (s - z_i)}{\prod_{i=1}^N (s - p_i)}$$

Es importante destacar que la respuesta en frecuencia obtenida en cualquier nodo proporciona la misma información sobre la dinámica no lineal del circuito, ya que todas las respuestas en frecuencia obtenidas en distintos nodos del circuito comparten la misma ecuación característica excepto cancelaciones exactas polo-cero.

## 3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

En este trabajo se han aplicado métodos de identificación de sistemas al análisis de un divisor por dos de frecuencia diseñado para formar parte de un VCO enganchado en fase de un sistema transceptor integrado de AsGa [3]. El circuito divisor consiste en un flip-flop tipo-D maestro-esclavo con realimentación de la salida invertida a la entrada de datos. El

circuito funciona con lógica acoplada por fuente (SCFL) y ha sido fabricado en tecnología de AsGa del proceso ER07AD de Philips. El circuito completo, incluyendo los buffers, contiene 12 MESFET de enriquecimiento, 16 MESFET de deplexión y 6 diodos de desplazamiento DC [3].

Este circuito presenta división de frecuencia por sincronía subarmónica. En función de la frecuencia  $f_{in}$  y la potencia  $P_{in}$  de la señal de entrada, el circuito posee básicamente 3 modos de operación: división de frecuencia, con la frecuencia autónoma  $f_a$  del circuito sincronizada con la mitad de la frecuencia de entrada, régimen quasiperiódico formado por la señal de entrada a frecuencia  $f_{in}$  y la señal autooscilante del circuito a la frecuencia autónoma  $f_a$  y, por último, régimen periódico a la frecuencia de entrada  $f_{in}$  en el que la señal autónoma  $f_a$  del circuito desaparece.

A partir del análisis de los polos del sistema en lazo cerrado es posible discriminar entre estos modos de operación. En particular, la división de frecuencia lleva asociada la presencia de dos polos complejos conjugados a la frecuencia mitad y con parte real positiva.

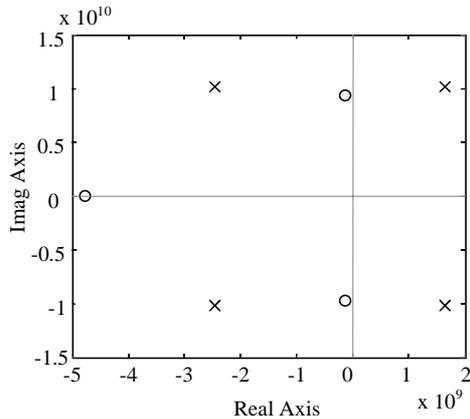


Figura 1. Detalle del mapa de polos y ceros del sistema linealizado para  $P_{in} = -14$  dBm y  $f_{in} = 3.27$  GHz. ° Ceros x Polos. Se obtienen polos complejos conjugados inestables a  $\omega = 2\pi f_{in}/2$ .

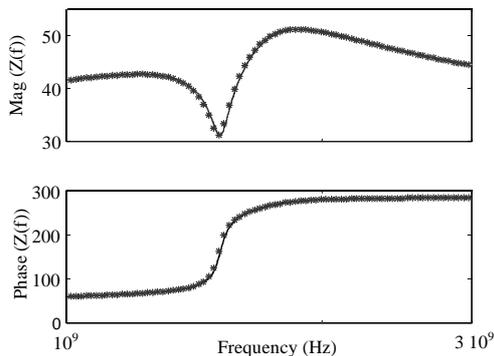


Figura 2. Respuesta frecuencial  $Z(f)$  del sistema linealizado para  $P_{in} = -14$  dBm y  $f_{in} = 3.27$  GHz. Estrellas: Simulación de Balance Armónico. Línea continua: Función de transferencia lineal identificada

Como ejemplo, en las figuras 1 y 2 se muestran los resultados de la identificación correspondientes a una frecuencia de entrada  $f_{in} = 3.27$  GHz y una potencia de entrada  $P_{in} = -14$  dBm. Se obtiene un par de polos complejos conjugados con parte real positiva a la frecuencia  $\omega = \omega_{in}/2$ , por lo que se deduce que el régimen no lineal para estas condiciones de operación es de división de frecuencia. Este resultado se confirma experimentalmente en la figura 3 donde aparecen las medidas del voltaje de salida y de entrada del circuito para las mismas condiciones de operación. La repetición del proceso de identificación para distintos valores de  $f_{in}$  y  $P_{in}$  permitiría obtener el lugar de bifurcaciones del circuito divisor de frecuencia.

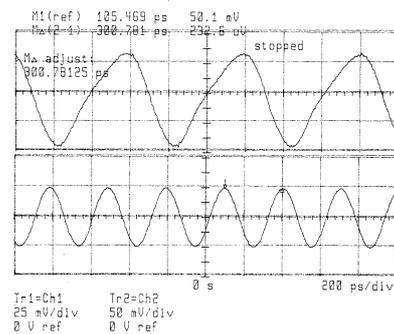


Figura 3. Medidas de las formas de onda de salida y entrada del divisor para  $P_{in} = -14$  dBm y  $f_{in} = 3.27$  GHz.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han aplicado técnicas de identificación de sistemas al análisis de un divisor digital de frecuencia. Los resultados obtenidos prueban la validez de los métodos de identificación para la caracterización de circuitos de RF no lineales con dinámicas complejas y un número muy elevado de elementos no lineales. Asimismo, estos métodos son combinables con cualquier simulador de balance armónico comercial lo que supone una importante ventaja para los diseñadores de circuitos de radiofrecuencia y microondas.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación procurada por los proyectos UPV/EHU-00224.310-EA-8060/2000 y TIC2000-0345, de la Univ. del País Vasco y la CICYT respectivamente.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Jugo, J. Portilla, A. Anakabe, A. Suárez, J.M. Collantes, "Closed-loop stability analysis of microwave amplifiers", *IEE Electronics Letters*, Vol. 37, No.4, pp. 226-228, Feb. 2001.
- [2] J. Schoukend and R. Pintelon, *Identification of linear systems*, Pergamon Press, Oxford, 1991
- [3] J. P. Pascual, E. Artal. "Divisor frecuencial por dos en lógica SCFL realizado en tecnología de AsGa". *URSI, 1996. Vol I, pp.346-349.*