

# **XFMAS: UNA HERRAMIENTA DE AYUDA AL MODELADO Y DISEÑO DE CIRCUITOS INTEGRADOS**

I. BATURONE Y G. ALCARAZ

*Instituto de Microelectrónica de Sevilla. Centro Nacional de Microelectrónica,  
Edificio CICA, Avda. Reina Mercedes s/n, 41012-Sevilla, SPAIN.*

*Xfmas son las siglas en inglés de X-Fuzzy Modeling And Search y, básicamente, es una herramienta para el modelado de sistemas y búsqueda de zonas factibles en problemas de diseño. Emplea conceptos de lógica difusa y está desarrollada con una interfaz gráfica de usuario para el sistema X-Window. Puede interactuar con el simulador Hspice o con descripciones de bloques en lenguaje C, por lo que puede resultar muy útil en el diseño de circuitos integrados.*

## **1. Introducción**

La metodología de diseño de sistemas analógicos y digitales se estructura en distintos niveles de jerarquía asociados a diferentes etapas de abstracción: sistemas divididos en bloques funcionales, bloques funcionales constituidos por circuitos y circuitos formados por dispositivos. En cada nivel, podemos distinguir entre *espacio de comportamiento* del bloque a ese nivel y su *espacio de parámetros de diseño*. El espacio de comportamiento está formado por las respuestas del bloque que caracterizan su comportamiento. Las respuestas del bloque son funciones de los parámetros de diseño que forman el espacio de parámetros de diseño. Por lo tanto, una función de respuesta puede verse gráficamente como una superficie frente al espacio de parámetros. Por ejemplo, si nuestro bloque de circuito es un amplificador operacional de transconductancia (OTA), los parámetros de diseño pueden ser las anchuras y longitudes de sus transistores, y las funciones de respuesta pueden ser su ganancia en DC o su frecuencia de ganancia unidad.

Las especificaciones que debe verificar un bloque aparecen como superficies horizontales en el espacio de parámetros. La intersección de una superficie de respuesta y su(s) superficie(s) de especificaciones puede proyectarse sobre el espacio de parámetros produciendo una línea que separa el comportamiento admitido del no admitido. Todas estas líneas de frontera engloban una región en el espacio de parámetros que a menudo se conoce como *región de aceptabilidad*. Cualquier bloque de circuito cuyos parámetros de diseño pertenezcan a esta región se comportará satisfactoriamente, mientras que si algún parámetro está fuera de la región, el bloque violará una o más de las especificaciones.

La mayoría de los sistemas automáticos de diseño de circuitos se centran en buscar una solución particular en vez de buscar la región de aceptabilidad completa, pues siempre trabajar con intervalos es más complejo y costoso que hacerlo con puntos. Como contrapartida, buscar un solo punto no es eficiente para diseños jerárquicos y no suele dar información sobre la robustez del diseño [1-2]. La herramienta que aquí se presenta, Xfmas, permite al usuario encontrar regiones de aceptabilidad. Puesto que se trata de un problema no lineal multiobjetivo y difuso, la herra-

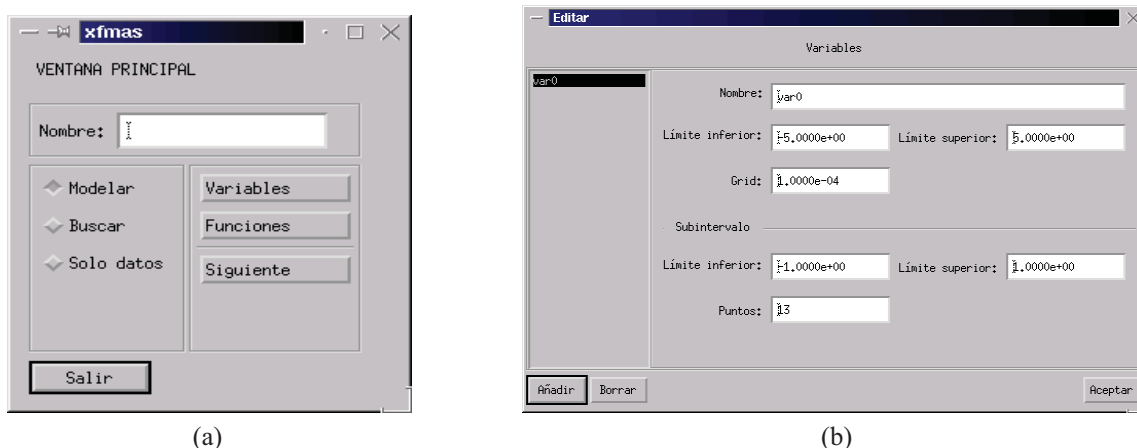
mienta emplea Lógica Fuzzy o Difusa por varios motivos: (1) Para admitir especificaciones de comportamiento difusas. Por ejemplo, la especificación “offset inferior a 5 mV” no es satisfecha por “offset = 6 mV” si empleamos la lógica clásica, pero puede satisfacerse con un grado 0.8 si se aplica lógica difusa [3]. (2) Para juzgar la aceptabilidad de un diseño de forma difusa puesto que las distintas especificaciones suelen conducir a compromisos [3].

Por otro lado, los simuladores eléctricos como los de tipo Spice son imprescindibles para analizar y verificar el comportamiento de un circuito pero, puesto que manejan muchos datos y éstos son numéricos, es difícil extraer conocimiento de una simulación. La herramienta Xfmas también emplea la Lógica Difusa para extraer conocimiento estructurado en reglas lingüísticas a partir de datos numéricos. De esta manera permite representar una función de respuesta mediante un modelo sencillo y comprensible que llamaremos modelo difuso. Como resultado, el usuario no sólo puede buscar una región de aceptabilidad sino también aprender qué relaciones cualitativas existen entre la respuesta de un bloque de circuito y sus parámetros de diseño.

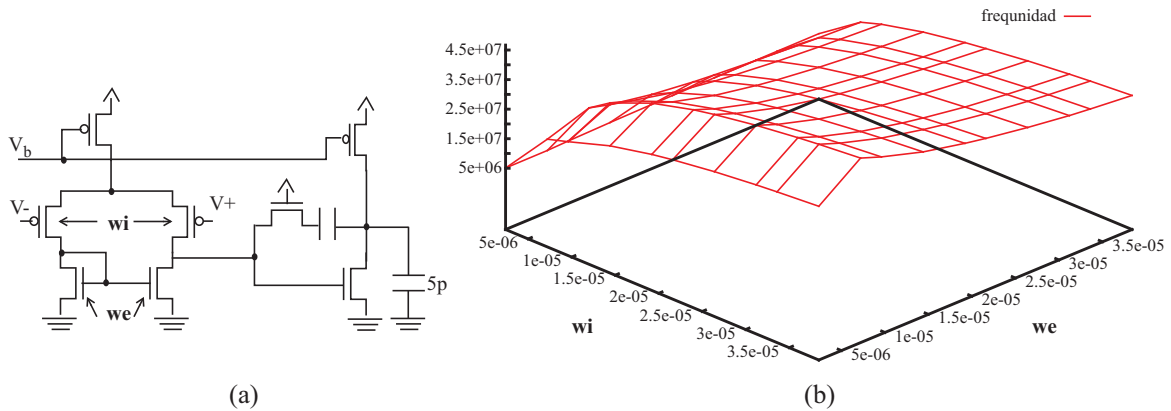
## 2. Utilización de Xfmas

La herramienta Xfmas posee una interfaz gráfica de usuario basada en ventanas y manejo de eventos, funciona bajo el sistema X-Window como cliente X y emplea el conjunto de widgets Motif v1.2 para la creación de componentes visuales. La ventana principal se muestra en la Figura 1a. Desde esta ventana se define el espacio de parámetros de diseño (variables) y el espacio de comportamiento (funciones de respuesta). El usuario especifica los máximos rangos sobre los que pueden variar los parámetros de diseño así como los rangos iniciales sobre los que se quiere obtener datos, modelar o iniciar la búsqueda de la región de aceptabilidad (Figura 1b). Para evaluar las funciones de respuesta especificadas, el usuario debe proporcionar la descripción del bloque de circuito. Esta descripción puede ser un fichero Hspice (que Xfmas modificará automáticamente usando las sentencias .PARAM, SWEEP, ALTER o DATA y MEASURE) o puede ser una descripción tan genérica como un fichero programado en lenguaje C (que se convertirá en una librería de enlace dinámico) o una tabla de datos entrada/salida.

Dados unos rangos iniciales y máximos para las variables de diseño y unas funciones de respuesta, el primer paso en el proceso de modelado o de búsqueda es obtener tablas de caracterización, es decir, tablas que almacenan las respuestas del circuito para los diferentes valores de



**Figura 1:** (a) Ventana principal de Xfmas. (b) Ventana para especificar el espacio de diseño.

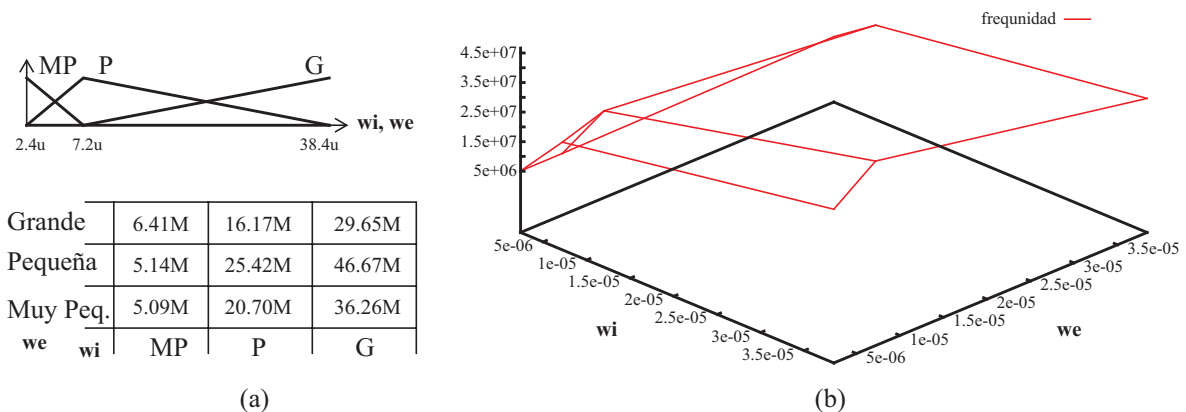


**Figura 2:** (a) Esquemático de un OTA. (b) Comportamiento de su frecuencia unidad.

los parámetros de diseño. Este paso se realiza desde el botón “sólo datos” en la ventana principal de Xfmas. Por ejemplo, dado el OTA de la Figura 2a, la Figura 2b muestra gráficamente la tabla de caracterización de la frecuencia unidad del OTA (obtenida mediante simulación Hspice) frente a distintas anchuras en los transistores de entrada y de carga en el par diferencial (si las funciones de respuesta se proporcionan como tabla de datos, no es necesario este paso).

Una tabla de caracterización puede trasladarse a un modelo difuso que resume de forma lingüística el comportamiento cualitativo de la función de respuesta asociada. Desde la ventana principal de Xfmas se invoca este paso con el botón “modelar”. Según el error de modelado que especifique el usuario, se obtendrá un modelo más o menos grosero. La Figura 3 ilustra un ejemplo de este tipo de modelado. El modelo difuso indicado en la Figura 3a consta de 9 reglas lingüísticas del tipo “si-entonces” que dan el valor de la frecuencia unidad para las 9 posibles combinaciones entre anchuras  $w_i$  y  $w_e$  muy pequeñas (MP), pequeñas (P) y grandes (G). Este modelo ofrece el comportamiento mostrado en la Figura 3b.

Para buscar la región de aceptabilidad de un diseño, el usuario define las especificaciones difusas en la ventana de descripción de las funciones de respuesta. Pueden ser especificaciones de tres tipos: (1) “aproximadamente mayor que” con un peso  $w$ , (2) “aproximadamente menor que” con un peso  $w$  y (3) “aproximadamente entre” con un peso  $w$ . Cada celda de grid en el espacio de diseño tendrá un grado de aceptabilidad parcial respecto a una función de respuesta. Para calcular su grado de aceptabilidad global, se agregan sus grados parciales aplicando mé-



**Figura 3:** (a) Modelo difuso. (b) Comportamiento del modelo difuso en (a).

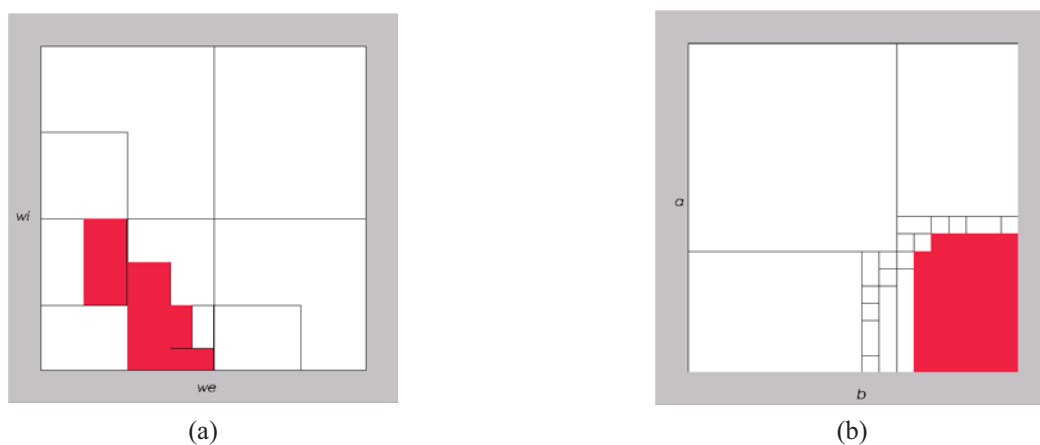
todos seleccionables por el usuario como la media ponderada con los pesos  $w$  o una combinación de las medias y las desviaciones ponderadas. Las celdas de grid se ordenan en base a sus grados de aceptabilidad globales y se agrupan las de grados iguales o muy similares (*clustering*). Este agrupamiento permite identificar la importancia relativa que tiene cada variable de diseño en el cumplimiento de las especificaciones. La búsqueda concluye cuando se encuentra una zona con grado de aceptabilidad global 1 (o menor, especificado por el usuario). Si no se encuentra tal zona, se eligen las zonas de mayor grado y se inicia otra iteración: (a) si esa zona hace frontera con una zona no explorada, se explora la vecindad, o (b) si esa zona hace frontera con zonas ya exploradas, se profundiza sobre ella para buscar mayores grados de aceptabilidad. La Figura 4 muestra dos resultados (zonas en color oscuro) de este proceso de búsqueda: (a) Para el OTA de la Figura 2a, imponiendo restricciones difusas sobre su ganancia en DC, frecuencia unidad y margen de fase. (b) Para una puerta NAND de 2 entradas con la restricción no difusa “tensión de salida menor que 0.5V”. La Figura 4b muestra la región de aceptabilidad que encuentra Xfmas frente a los posibles valores de las tensiones de entrada  $a$  y  $b$  y los distintos agrupamientos producidos (la región encontrada no es perfectamente simétrica porque de los dos transistores NMOS en la puerta NAND uno poseía efecto sustrato y el otro no).

### 3. Conclusiones

La herramienta presentada, Xfmas, ayuda al usuario a entender el comportamiento cualitativo de las distintas respuestas de un circuito frente a las variables de diseño que se definan y a encontrar regiones de aceptabilidad para especificaciones definidas con márgenes y pesos de cumplimiento. Es, por tanto, una herramienta que puede ser muy útil en particular para los alumnos de Electrónica que están familiarizándose con simuladores eléctricos o con el comportamiento de bloques de circuito.

### Referencias

- [1] D. M. W. Leenaerts, “Application of interval analysis for circuit design”, IEEE Trans. on Circ. and Sys., vol. 37 (6), pp. 803-807, 1990.
- [2] N. R. Dhanwada, A. Nuñez-Aldana, R. Vemuri, “Hierarchical constraint transformation using directed interval search for analog system synthesis”, DATE 1999, pp. 328-335.
- [3] M. Hashizume, H. Y. Kawai, K. Nii, T. Tamesada, “Design automation system for analog circuits based on fuzzy logic”, IEEE 1989 Custom Int. Circ. Conf., pp. 4.6.1-4.6.4.



**Figura 4:** Ilustración de procesos de búsqueda con Xfmas: (a) OTA. (b) NAND de 2 entradas.