

Modelado eficiente de obstáculos en guía de onda rectangular para simuladores comerciales utilizando código Verilog-A

J. M. Zamanillo⁽¹⁾, I. Zamanillo⁽²⁾, R. Sánchez⁽³⁾, P. L. López⁽³⁾, R. García⁽³⁾

jose.zamanillo@unican.es, isabel.zamanilloB@unican.es, rocio.sanchez@uah.es, pablo.lopez@uah.es, rg.garcial@gmail.com

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones.

Universidad de Cantabria. Plaza de la ciencia s/n. 39005 Santander. Cantabria

⁽²⁾ Dpto. de Tecnología Electrónica Ingeniería de Sistemas y Automática

Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Náutica C/Gamazo 1 39004 Santander (Cantabria).

⁽³⁾ Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Universidad de Alcalá. Campus Universitario. 28805 Alcalá de Henares. Madrid

Abstract- This paper reports the modelling of classical obstacles (post, iris, screw, etc.) within rectangular waveguide in terms of electrical lumped elements equivalent circuit using Verilog-A language code. This ability, allows making possible the enabling of the digital computer interaction and simulation using standard CAD simulation tools. Furthermore, the paper shows the simplicity and friendly technique of modelling passive microwave devices using Verilog-A code. Several examples have been studied under different commercial simulators: Agilent ADS and GENESYS. A comparison between the results obtained from Verilog-A based simulations and full 3-D electromagnetic simulation is shown, too.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la ingeniería, el diseño, construcción y caracterización de circuitos de microondas fabricados en guía de onda constituye un problema complejo, aun utilizando herramientas CAD de microondas basadas en el electromagnetismo computacional como: HFSS, MiCian, CST o Mafía, por citar alguno. Este tipo de herramientas presentan como punto fuerte su precisión en los resultados y plena concordancia con las medidas experimentales, pero su talón de Aquiles radica en la potencia del ordenador utilizado y los tiempos de utilización de CPU.

Desde nuestro grupo, ya en el pasado se ha dado algún paso para poder prescindir en la medida de lo posible de este tipo de herramientas sobre todo en aplicaciones orientadas a la docencia utilizando MATLAB [1]. Aprovechando la experiencia adquirida en modelado de dispositivos activos y su implementación en simuladores circuitales comerciales de microondas utilizando código Verilog-A [2-3], se ha pretendido ir más allá implementando obstáculos de guía de onda en términos de su circuito equivalente de parámetros concentrados. La programación de dichos obstáculos se ha realizado tomando como referencia las expresiones clásicas recopiladas por Marcuvitz [4], Rizzi [5] y Collin [6].

El objetivo primordial de este trabajo consiste en proporcionar al usuario una biblioteca de modelos, que le faciliten el diseño de dispositivos en guía de onda relativamente sencillos, como es el caso de los filtros y que éste no tenga que acudir obligatoriamente al simulador electromagnético, no se pretendiendo en ningún momento el

competir con el software electromagnético comercial existente en el mercado.

II. EL LENGUAJE VERILOG-A

Durante la última década, el lenguaje Verilog-A ha sido utilizado para descripción hardware analógico, de alto nivel y su implementación en simuladores comerciales que soporten dicho estándar del IEEE [7]. Los modelos descritos con el lenguaje Verilog-A se comportan idénticamente a los modelos internos o *built-in* de cualquiera que sea el programa en el que son compilados. Con la especial ventaja que a diferencia de los que ya se encuentran incluidos, se puede modificar fácilmente la descripción del dispositivo y por tanto realizar tantos cambios como interese [8]. Además, es un lenguaje en continua evolución ya que existen organismos como *The Compact Model Council* [9] interesados en extender este metalenguaje a diversas ramas de la ciencia e ingeniería. Pero sin duda, la característica que hace más atractivo el uso de Verilog-A es su portabilidad, ya que partiendo de un fichero base en código ASCII, éste puede ser compilado y simulado en diferentes plataformas de simulación: GENESYS, ADS, HSPICE, etc. permitiendo además cualquier tipo de análisis soportado por el simulador: DC, scattering, balance armónico, transitorio, etc.

A. Funcionamiento de Verilog-A

Las claves del funcionamiento del lenguaje Verilog-A son dos:

- Un compilador que genera dinámicamente una librería enlazable ó DLL *dynamic link library* a partir de ficheros ASCII.
- Un entorno de tiempo de ejecución RTE *run-time enviroment* distinto para cada simulador en cuestión.

El programador del modelo proporciona la relación constitutiva entre las entradas y salidas (tensiones, corrientes o cargas), los nombres de los parámetros y los rangos de validez de variables y expresiones a utilizar, mientras que el compilador de Verilog-A gestiona las interacciones necesarias entre el modelo desarrollado y el simulador utilizado. El fichero con el código fuente Verilog-A, es un

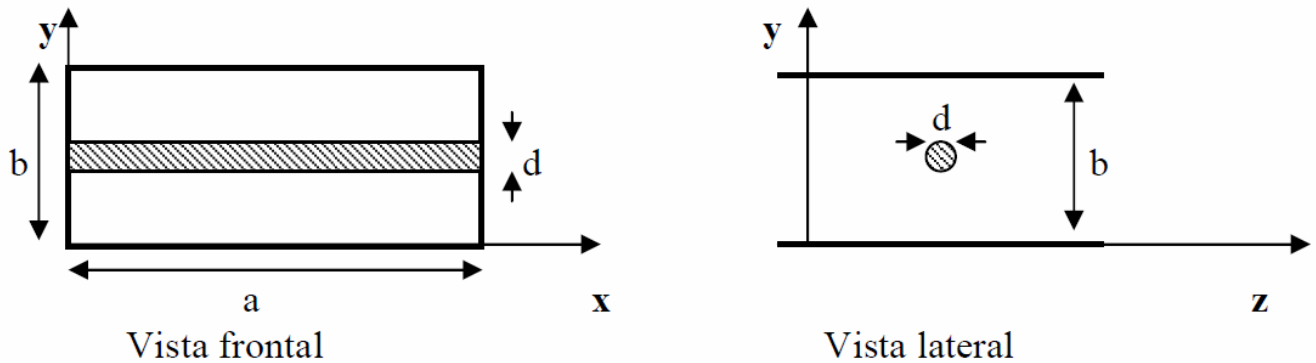


Fig. 1 Vista frontal y superior del poste sólido metálico cilíndrico centrado en guía de onda WR-90 implementado en ADS y GENESYS, la única restricción de modelo es que $d < 0.3 \cdot b$.

fichero de *texto plano* o ASCII que tiene extensión .va, el compilador produce un archivo compilado (.cml) del modelo independiente, que presenta portabilidad, esto es, aunque haya sido desarrollado por un simulador concreto, puede compartirse por muchos tipos de simuladores obteniéndose los mismos resultados.

B. Estructura de un fichero fuente .VA en Verilog-A

Un fichero fuente en Verilog-A (extensión .va) tiene dos partes principales diferenciadas:

- **Declaración de la interfaz del módulo:** Parte en la que se define el nombre del módulo, definición de los puertos de entrada y salida y los parámetros que vayan a ser utilizados en el modelo en concreto.
- **Descripción del comportamiento del módulo:** Parte en la que se incluyen tanto las variables locales empleadas como el bloque analógico que describe el funcionamiento del modelo.

La definición de los puertos nos indica la naturaleza de los mismos (si son de tipo eléctrico o no), además de si se trata de puertos de entrada *input*, de salida *output* o bien bidireccionales *inout*. Los parámetros del módulo son las constantes utilizadas por el modelo, si bien pueden ser de varias naturalezas (real, entera, etc.) pudiendo ser añadido un rango de valores entre los que pueden ser utilizados, conviene seguir las recomendaciones de Coram [10], para una correcta descripción de las mismas. Una vez compilado el fichero pueden ser modificados libremente por el usuario desde el propio simulador

III. SIMULACIÓN DE DISPOSITIVOS PASIVOS DE MICROONDAS UTILIZANDO LENGUAJE VERILOG-A

De los numerosos casos estudiados, en esta comunicación, se presentará solamente el caso de un poste cilíndrico capacitivo centrado en la cara estrecha de una guía rectangular WR-90 según la nomenclatura EIA (Electronic Industries Alliance) [11] cuyo ancho de banda nominal es la banda X. El mismo fichero fuente ha sido compilado para los dos simuladores circuitales utilizados en esta comunicación (ADS y GENESYS). Además, el mismo tipo de obstáculo ha sido simulado mediante el software programado en MATLAB *OBSTAGUIA* [1] desarrollado en nuestro grupo utilizando el mismo tipo de aproximación circuital que la que hemos utilizado en el trabajo aquí presentado

También se ha simulado electromagnéticamente mediante el simulador *CST Microwave Studio*TM el caso aquí mostrado a modo de ejemplo, obteniéndose resultados similares..

A. Modelo de un poste cilíndrico metálico centrado en la cara estrecha de una guía de onda rectangular.

El fichero fuente para la simulación de este tipo de obstáculo se muestra en la Fig.1. El circuito equivalente utilizado es el mostrado en la Fig. 2 y las expresiones que rigen su comportamiento son las mostradas en (1) y (2), respectivamente. Para la implementación del modelo en Verilog-A, se han utilizado por defecto las dimensiones de una guía rectangular WR-90, pero dichas dimensiones, así como e diámetro del poste, la frecuencia de cálculo o la constante dieléctrica relativa pueden ser modificadas por el usuario en función de sus necesidades.

```
//WRCCP -Poste cilíndrico centrado en guía rectangular-
`include "disciplines.vams"
`include "constants.vams"
`include "compact.vams"

module wrccp(n1,n2,n3);

  inout n1,n2,n3;
  electrical n1,n2,n3;

  parameter real a=0.02286 from [0.0071:0.0475]; //anchura de la guía [m]
  parameter real b=0.01016 from [0.0036:0.0221]; //altura de la guía [m]
  parameter real d=0.0025 from (0:0.3*b); //diámetro del poste [m]
  parameter real F=9e9 from (0:inf); //frecuencia [Hz]
  parameter real er=1 from (0:inf); //constante dieléctrica relativa
  real lambdag,ba,PI,z0,lambdad,bb,c1,c2;

  analog begin

    PI=3.1416;
    lambda=3e8/(F*sqrt(er));
    lambdag=lambda/sqrt(1-pow(lambda/(2*a),2));
    z0=120*PI/sqrt(1-pow(lambda/(2*a),2));
    ba=(2*b/(z0*lambdag))*pow(PI*d/(2*b),2);
    bb=(lambdag/(2*b*z0))*pow(2*b/(PI*d),2);
    c1=ba/(2*F*PI);
    c2=bb/(2*F*PI);
    I(n1,n2) <+ c2 * ddt(V(n1,n2));
    I(n1,n3) <+ c1 * ddt(V(n1,n3));
    I(n2,n3) <+ c1 * ddt(V(n2,n3));

  end
endmodule
```

Fig. 1. Fichero fuente WRCCP.VA a ser compilado en los dos simuladores comerciales: GENESYS y ADS.

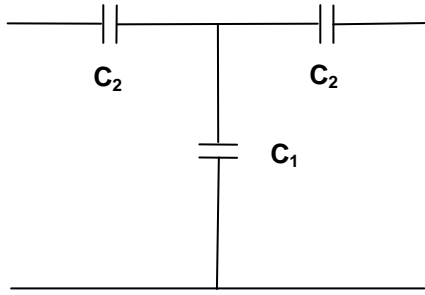


Fig. 2. Circuito equivalente del poste metálico capacitivo

El valor de las capacidades C_1 y C_2 vienen dadas por:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{B_a}{2 \cdot \pi \cdot f} \\ C_2 &= \frac{B_b}{2 \cdot \pi \cdot f} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Donde B_a y B_b se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$\left. \begin{aligned} B_a &= \frac{2 \cdot b}{Z_0 \cdot \lambda_g} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d}{2 \cdot b} \right)^2 \\ B_b &= \frac{\lambda_g}{2 \cdot Z_0 \cdot b} \cdot \left(\frac{2 \cdot b}{\pi \cdot d} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

B. Simulación circuital y electromagnética

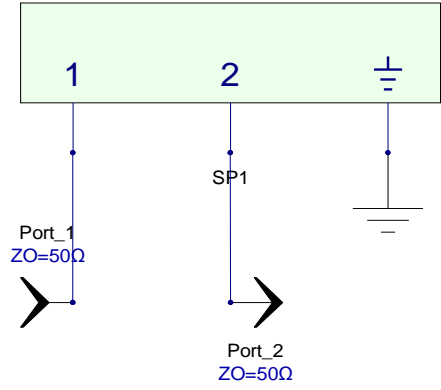
Los modelos de los más de 30 obstáculos diferentes modelados así diseñados han sido simulados mediante los simuladores: Agilent Genesys y Agilent ADS, pudiendo fácilmente ser transportados a cualquier otro simulador que soporte código Verilog-A. El circuito a simular en ambos simuladores es el mostrado en la figura 3(a) y 3(b), respectivamente facilitando de esta manera la implementación de los obstáculos en guía de onda.

Como puede observarse en la Fig. 3 (a) y Fig. 3 (b) no se ha simulado las transiciones coaxial guía en ambos simuladores. Ello ha sido así por dos razones:

- Como se deseaba comparar la simulación circuital con una simulación electromagnética el incluir dichos elementos en el simulador electromagnético alargaba excesivamente los tiempos de simulación.
- Así como el simulador GENESYS si que dispone de modelo de transición coaxial-guía en su librería, ADS carece de este modelo, con lo cual sería imposible comparar el mismo esquema en ambos simuladores.

De hecho para obviar este último inconveniente se está trabajando en un modelo de la transición coaxial-guía de onda en lenguaje Verilog-A, que facilite la integración de este tipo de obstáculos, en condiciones “reales” de utilización de los mismos en un laboratorio de microondas.

En la Fig. 3(c) se muestra la geometría del obstáculo simulado electromagnéticamente en el simulador CST para contrastar con los resultados obtenidos en MATLAB y en Verilog-A.



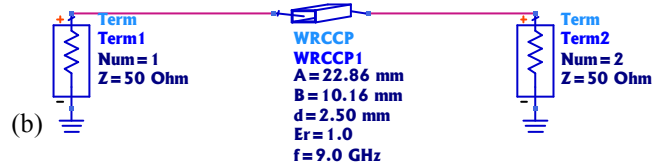
(a)

S-Parameter Simulation

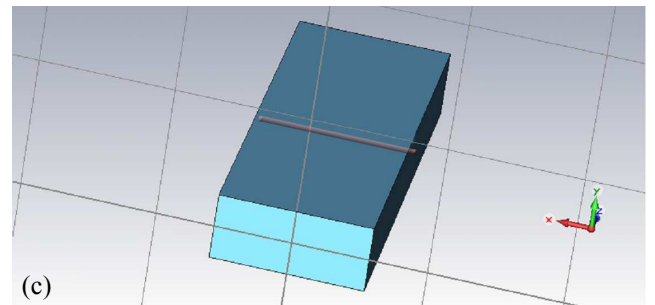
Linear Frequency

S-PARAMETERS

S_Param
SP1
Start=8.0 GHz
Stop=12.0 GHz
Step=100 MHz



(b)



(c)

Fig. 3 (a) Esquemático utilizado para la simulación en GENESYS.
(b) Esquemático utilizado para la simulación en ADS.
(c) Croquis utilizado en el simulador electromagnético CST

IV. RESULTADOS

Una comparativa de los resultados obtenidos para las pérdidas de inserción en dB en el rango de 8 GHz a 12 GHz con los distintos simuladores se muestra en la Fig 4(a), Fig 4(b), y Fig 4 (c). La diferencia con la simulación electromagnética mostrada en la Fig. 4(c) difiere aproximadamente 2dB, lo cual está en concordancia con la teoría puesto que las aproximaciones circuitales no tienen en cuenta las pérdidas en el metal ni en el dieléctrico. Como consecuencia de ello anterior, el diseñador puede escoger la herramienta que prefiera: GENESYS, ADS, MATLAB o simulador electromagnético en función de la disponibilidad de las mismas y de la rigurosidad en las simulaciones. Es menester resaltar que la simulación electromagnética, aunque sea la más lenta y requiera de hardware más potente para su utilización, es la más precisa de todas ellas. Una buena filosofía de utilización de las librerías desarrolladas en este trabajo en cuanto a diseño de dispositivos pasivos de microondas, sería la siguiente: utilizar las herramientas aquí presentadas en primera aproximación, lo cual en la mayoría

de los casos es más que suficiente, (ya que es posible variar con rapidez los valores óptimos de cada tipo de obstáculo) y en el caso de que las especificaciones de diseño y las herramientas disponibles en el laboratorio lo permitan, acudir a la simulación electromagnética para finalizar el diseño. La rapidez en cuanto a la optimización de la aproximación en términos de circuito equivalente es manifiesta si lo comparamos con que no todos los simuladores electromagnéticos permiten la optimización de variables y los que lo permiten utilizan un tiempo de CPU unos dos o tres ordenes de magnitud (según la complejidad del circuito simulado) superior al empleado por los simuladores circuitales que soportan el código Verilog-A.

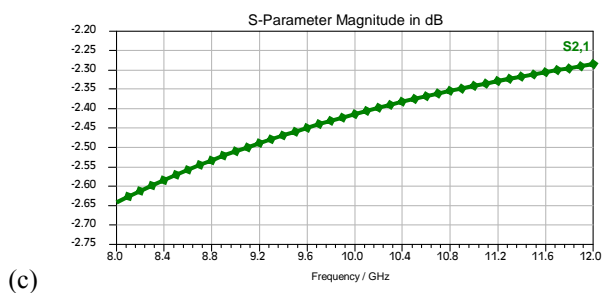
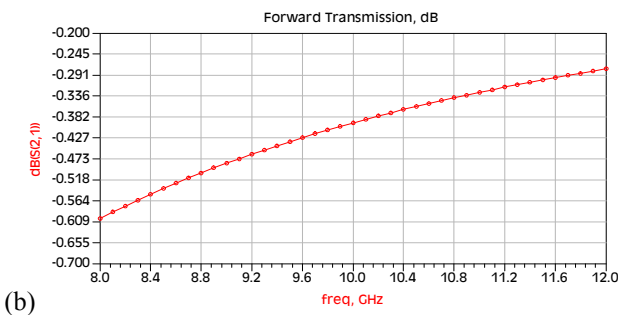
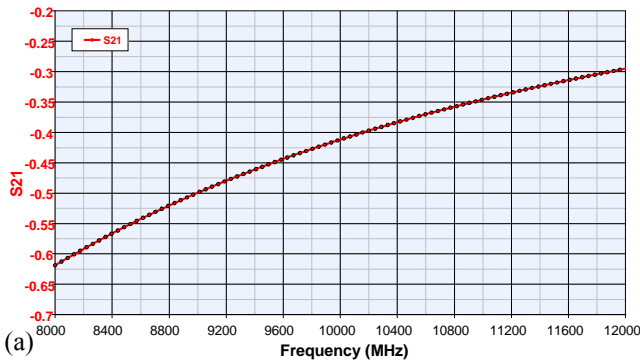


Fig. 4 (a) S21 en dB obtenidas en GENESYS (tiempo CPU 2s.).
 (b) S21 en dB obtenidas en ADS (tiempo CPU 2s.).
 (c) S21 en dB obtenidas utilizado simulador electromagnético CST (20s.)

En esta comunicación sólo se ha presentado un tipo de obstáculo, pero se han elaborado modelos correspondientes a 30 obstáculos según 30 circuitos equivalentes distintos y se ha realizado su implementación como elementos de librería estándar en los simuladores Agilent Genesys y Agilent ADS.

Los modelos creados permiten al diseñador una simulación más rápida de este tipo de elementos sin necesidad de tener que acceder a programas de simulación electromagnética. De todo esto se puede inferir que lo único que cambia en el aspecto de los resultados es el propio interfaz gráfico del software utilizado en la simulación, ya

que las expresiones y los modelos utilizados son idénticos en ambos casos, dejándose la elección de la plataforma a la que el diseñador tenga disponible en su laboratorio.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que el lenguaje Verilog-A es apropiado y ofrece excelentes resultados en el modelado de dispositivos pasivos de microondas independientemente del simulador utilizado.

La capacidad de reutilizar el mismo código fuente en diferentes simuladores comerciales es muy importante tanto para modeladores como diseñadores a la hora de poder utilizar el mismo modelo en distintas plataformas comerciales. Esta propiedad evita el tener que reescribir el código para diferentes plataformas de simulación, y eliminar de esta manera el error que esto conlleva. Debido a ello no es necesario desarrollar diferentes modelos para diferentes plataformas CAD y tenerlos que validar en cada simulador tal como se venía haciendo hasta ahora. Los modelos circuitales equivalentes desarrollados para guía de onda permiten incorporar la simulación de este tipo de elementos en los laboratorios sin una inversión adicional en simuladores de tipo electromagnético del tipo 3-D. En este sentido se está colaborando actualmente con la Universidad de Alcalá para adaptar toda la librería de elementos aquí presentados a los laboratorios docentes. Y para ello se está desarrollando un nuevo modelo de transición coaxial-guía para poder utilizar los obstáculos caracterizados en el simulador Agilent ADS.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento por el soporte proporcionado para el presente trabajo al Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto TEC2008-06684-C03-01.

REFERENCIAS

- [1] J.M. Zamanillo, C. Pérez Vega, I. Castillo "Análisis de Obstáculos en Guía de Onda Rectangular bajo MATLAB para aplicaciones Docentes". XX Simposio Nacional de la URSI, Gandía 2005.
- [2] J. M Zamanillo, P.L. López-Espí, I. Zamanillo, R. Torres, A. Mediavilla, C. Pérez-Vega "Modelado de dispositivos activos de microondas utilizando código Verilog-A". Revista Española de Electrónica. N° 649, 2008
- [3] J.M. Zamanillo, P.L. López-Espí, Latifa El Maazouzi, Raquel Torres, Jose Campelo, Angel Mediavilla, C. Pérez-Vega, "The power of Verilog-A Models on Microwave Simulators", International Journal of Microwave and Optical Technology. IJMOT, July 2008, Vol. 3 No. 3, pp. 183-189 ISSN: 1553-0396
- [4] N. Markuvitz, "Waveguide Handbook", IEE electromagnetic waves series, no. 21, Peter Peregrinus editor, London 1986
- [5] M. A. Rizzi. "Microwave Engineering. Passive Circuits". Prentice Hall, Englewood Cliffs. Edición 1987.
- [6] R. E. Collin, "Foundations for Microwave Engineering", McGraw Hill, 1992.
- [7] Verilog-A Language Reference Manual, "Analog extensions to Verilog HDL". Open Verilog International. Edición 1996
- [8] Verilog-AMS Language Reference Manual, version 2.2, Accellera, 2004. More info <http://www.accellera.org/home>.
- [9] L. Lemaitre, et. al., "Extensions to Verilog-AMS to Support Compact Device Modeling," Proc. 2003 IEEE International Workshop on Behavioral Modeling and Simulation BMAS 2003, San Jose, CA.
- [10] G.J. Coram, "How to (and how not to) write a compact model in Verilog-A", Behavioral Modeling and Simulation Conference, 2004. BMAS 2004. 21-22 Oct. 2004, Proceedings of the 2004 IEEE International, pp. 97- 106, Oct. 2004. ISBN: 0-7803-8615-9
- [11] <http://www.eia.org/>.