

INTERFAZ DE CO-SIMULACION CIRCUITO-SISTEMA CON APLICACIÓN PARA EL MODELO DE MEMORIA POLINOMIAL DE AMPLIFICADORES DE POTENCIA

J. R. Cárdenas¹, J. A. Galaviz¹, M. Berber², E. Armenta³, J.M. Jiménez, C. Gontrand⁴ y J.C. Nuñez¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN)

²Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, Michoacán, 60950, México

³Universidad La Salle Noroeste (ULSA), Cd. Obregón Sonora. México.

⁴Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, INSA-Lyon, Lyon, Francia

¹Av. del Parque 1310, Mesa de Otay, Tijuana B.C., C.P. 22510. Tel: (664) 6231344, FAX: (664) 6231388
{ jcardenas, jgalaviz, nunez } @citedi.mx, Christian.gontrand@insa-lyon.fr, berber_mauro@yahoo.com.mx.

RESUMEN

La Co-simulación circuito-sistema representa un enlace que actualmente no ha sido completamente explotado. La propuesta de este artículo consiste en el diseño de una interfaz de co-simulación que es capaz de predecir las interacciones internas del amplificador de potencia (PA) en aplicaciones de alta frecuencia. Esta es una aplicación interesante para la fabricación de amplificadores de potencia. La interfaz de co-simulación diseñada puede determinar el comportamiento de los amplificadores de potencia a través del modelado y permite la aplicación de un diseño confiable ya que una vez que el componente se fabrica, cualquier modificación en la estructura del PA se vuelve difícil de lograr. En este artículo, la Co-simulación fue implementada usando Simulink y Labview y los modelos no lineales de amplificadores de potencia son basados en el Modelo Polinomial con Memoria.

1. INTRODUCCIÓN

La co-simulación circuito-sistema permite el acceso a través de un software de diseño de sistemas a los más importantes detalles dentro del circuito. También mejora la capacidad de diseño de circuitos para validar su funcionamiento en los estándares de comunicación disponibles en el simulador del sistema. En las pasadas dos décadas, los avances en las técnicas de simulación no lineal han permitido soluciones numéricas eficientes a problemas importantes relacionados con nuevos diseños de circuitos integrados aplicados a radiofrecuencia [1]. Se han desarrollado muchas herramientas que ayudan a los diseñadores en la evaluación de sistemas eléctricos. Sin embargo, aun hasta hace poco tiempo, las herramientas para la simulación de software mixtos han sido insuficientes, algunos de ellos pueden ser mencionados en [2]-[7].

Este artículo se centra en un modelo no lineal, en particular el Modelo Polinomial con Memoria. La no linealidad es una propiedad inherente de los amplificadores de alta potencia (HPA). En las aplicaciones de banda ancha, los HPAs también

exhiben efectos de memoria. Esto significa que la corriente de salida es estimulada no sólo por la corriente de entrada sino también por la señal de entrada previa. La precisión de los modelos de simulación y circuitos no lineales representa una parte fundamental durante la etapa de desarrollo y tiene que ser capaz de describir el comportamiento del modelo en virtud de los efectos no deseados, tales como la memoria o la no linealidad. Un caso especial de las series de Volterra es el Modelo Polinomial con Memoria, el cual será implementado en la Co-simulación de este artículo, a través de Simulink-Labview.

2. DESARROLLO

En esta sección se explican los efectos no lineales de memoria que afectan a los amplificadores de potencia principalmente se definen como cambios en la amplitud y fase basado en la frecuencia de la señal de entrada y la robustez del circuito.

Las series de Volterra pueden usarse para describir cualquier sistema no lineal estable con desvanecimiento de memoria. Los efectos de memoria se deben a la existencia de componentes que almacenan energía, tales como inductores y condensadores, la impedancia de los inductores y condensadores son relevantes para alta frecuencia [8]. Sin embargo, sus principales desventajas son el aumento dramático en el número de parámetros necesarios en lo que respecta al orden de no linealidad y la longitud de la memoria, lo que causa un aumento en la complejidad en la identificación de parámetros.

Las series de Volterra son una combinación de convoluciones lineales y series no lineales de potencia. Estas pueden ser usadas para describir la relación de entrada/salida de la estructura de un PA general no lineal, y sistemas invariantes en el tiempo con memoria [9]. Las series de Volterra en el dominio discreto pueden representarse como:

$$y(n) = \sum_k \sum_{l_1} \cdots \sum_{l_{2k+1}} h_{2k+1}(l_1, l_2, \dots, l_{2k+1}) \prod_{i=1}^{k+1} x(n - \tau_i) * \prod_{i=k+2}^{2k+1} x^*(n - \tau_i) d_{\tau_{2k+1}} \quad (1)$$

Donde $x(n)$ y $y(n)$ representan la entrada y salida del modelo. Se puede notar que el número de coeficientes de las series de Volterra aumenta exponencialmente en función de la magnitud de memoria del sistema y el orden de no linealidad haciéndolas imprácticas para una aplicación en tiempo real. Esto permite considerar un caso especial de las series de Volterra mencionado anteriormente, el Modelo Polinomial con Memoria permite considerar efectos de memoria para aplicaciones de alta frecuencia [10].

El Modelo Polinomial con Memoria consta de varias etapas y funciones no lineales [11]. Este modelo incluye solo los términos diagonales en los núcleos de las series de Volterra. Además, el número de parámetros es reducido significativamente en comparación con la series de Volterra normales.

2.1 El Modelo Polinomial con Memoria como un caso especial de las series de Volterra

Este modelo es un truncamiento de las series de Volterra generales, que consta sólo de los términos diagonales en los núcleos de las series de Volterra tal como se menciona en la sección anterior. Así, el número de parámetros es significativamente reducido en comparación con las series de Volterra generales. El Modelo Polinomial con Memoria es considerado como un subconjunto de las series de Volterra que considera los efectos de memoria y la no linealidad y es representado por la siguiente ecuación:

$$y(n) = \sum_{q=0}^Q \sum_{k=1}^K a_{2k+1} |x(n-q)|^{2(k-1)} x(n-q) \quad (2)$$

Donde:

$x(n)$ es la señal de entrada.

$y(n)$ es la señal de salida.

a_{2k+1} son los parámetros con valores complejos.

Q es la profundidad de memoria.

K es el orden de la no linealidad del modelo.

Como es expresado en la ecuación (2), el Modelo Polinomial con Memoria puede ser reescrito de la siguiente forma:

$$y(n) = \sum_{q=0}^Q F_q(n-q) = F_0(n) + F_1(n-1) + F_2(n-2) + \dots + F_Q(n-Q) \quad (3)$$

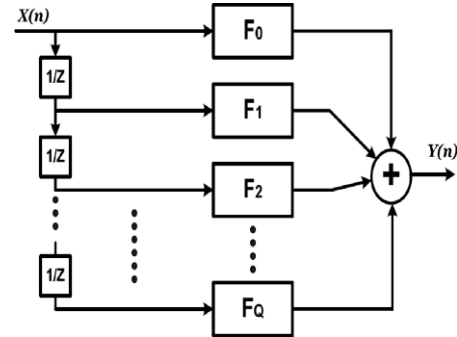


Figura 1. Implementación de $F_q(n)$ con parámetros

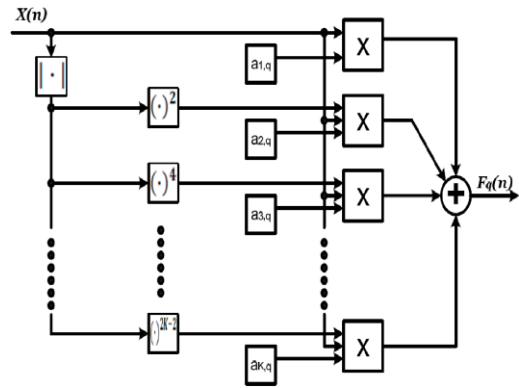


Figura 2. Implementación de $F_q(n)$ con parámetros.

La ecuación (3) puede ser definida en diagramas de bloques y puede ser representada en las figuras 1 y 2.

2.2 Implementación del Modelo Polinomial con Memoria usando Matlab-Simulink

El Modelo Polinomial con Memoria puede ser simulado por cualquier entrada en Matlab y los parámetros obtenidos pueden usarse para los diagramas de bloques desarrollados en Simulink. Para calcular $y(n)$, se necesitan los siguientes parámetros:

x entrada del modelo.

y amplificación del modelo.

n orden de la no linealidad.

m order de memoria.

Se considera $x(n)$ como la onda sinusoidal durante el tiempo $t=0.1$ seg, con $f=10$ Hz, $y=2$ es la amplificación del modelo, $n=1$ y $m=0$ para propósito de demostrar el buen desempeño del modelo. Los efectos de memoria no han sido considerados en este caso pero el parámetro puede ser modificado. El

modelo de memoria polinomial es implementado en Simulink.

2.3 Co-simulación entre Simulink-Labview

La co-simulación consiste en la metodología que permite ejecutar componentes individuales de forma

2.4 Interfaz de Simulación Toolkit (SIT)

La comunicación inter proceso (IPC) se divide en métodos para lograr la interacción entre los dos programas de simulación, así como realizar la sincronización, memoria compartida y llamadas a procedimientos remotos (RPC). El método IPC

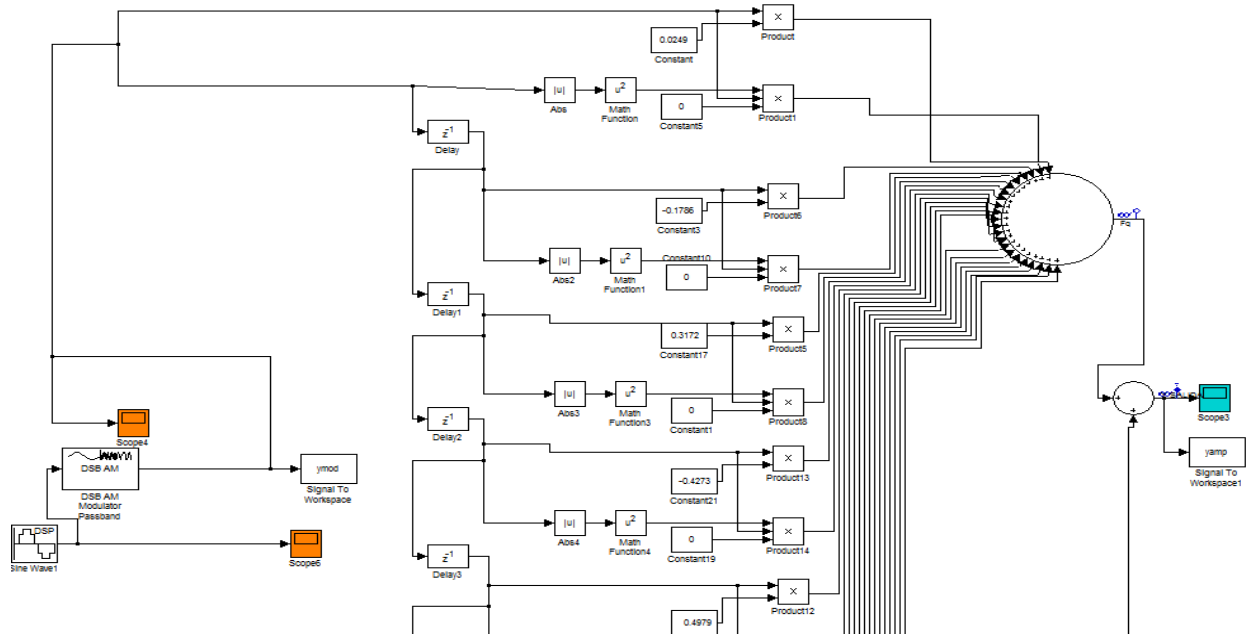


Figura 3. Visualización del modelo polinomial como un sub-sistema utilizado puede variar en función del ancho de banda y el protocolo de comunicación entre los hilos y el tipo de datos en el cual deben comunicarse.

simultánea para el intercambio de información en colaboración entre programas, el tipo de información intercambiada durante la co-simulación pueden ser las condiciones de entorno, parámetros tales como la presión, caudal, temperatura, pasos de tiempo o señales de control. En este trabajo se realizó el enlace en tiempo real entre Labview y Simulink

Simulink es una interfaz visual programable que se ejecuta dentro del entorno programable de Matlab. Se compone de programación de alto nivel interpretado por Matlab (archivos con extensión *.m) y después Simulink genera archivos con *.mdl [12]. Labview es una herramienta grafica programable que permite probar, controlar y diseñar aplicaciones. El lenguaje usado es llamado lenguaje G, donde G denota que es un lenguaje grafico. Los programas desarrollados con Labview se llaman instrumentos virtuales (VI), y su origen proviene del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha ampliado en gran medida para controlar todo tipo de electrónica (instrumentos electrónicos) [13].

Ambos programas fueron usados para crear una co-simulación circuito-sistema en tiempo real. Una vez desarrollada la señal de entrada en Simulink el tiempo de muestreo es definido usando Simulink con una función S.

2.5 Modelo Simulink

El modelo de Simulink mostrado en esta sección es realizado con el Modelo Polinomial con Memoria con $m=0$ y $n=1$. La entrada es $x=A\sin(2\pi ft)$ donde $f=1$ GHz. La figura 3 muestra una visión general del Modelo Polinomial con Memoria implementado en Simulink utilizado como sub-sistema.

2.6 Implementación de la Co-simulación circuito-sistema

En esta sección se analiza el proceso de creación en Labview de una interfaz de usuario para controlar un modelo implementado en Simulink. El modelo está compuesto de operaciones en Simulink y puede ejecutar la simulación con el modelo de control desde Labview. El control puede ser usado para cambiar la amplitud, frecuencia, fase y parámetros adicionales que puedan ser modificados. Para efectos de simplicidad, en este trabajo se analizaron los parámetros: amplitud, frecuencia y fase.

El mapeo de las tres variables que se establecieron en el administrador de conexión SIT permite un vínculo con los parámetros que intervienen en la simulación de Simulink. El diagrama de bloques que realiza la

conexión entre Simulink y Labview es mostrado en la figura 4.

4. RESULTADOS

En esta sección se describen los resultados obtenidos con la implementación de la interfaz de co-simulación circuito sistema, la cual se puede ajustar a diferentes frecuencias de 1GHz o más. Tal como se mencionó en la sección anterior, la co-simulación permite modificar parámetros como amplitud, frecuencia y fase en el Modelo Polinomial con Memoria. Además, esta interfaz de Co-simulación circuito sistema puede ajustarse por sí mismo cuando la frecuencia en la señal de entrada se modifica.

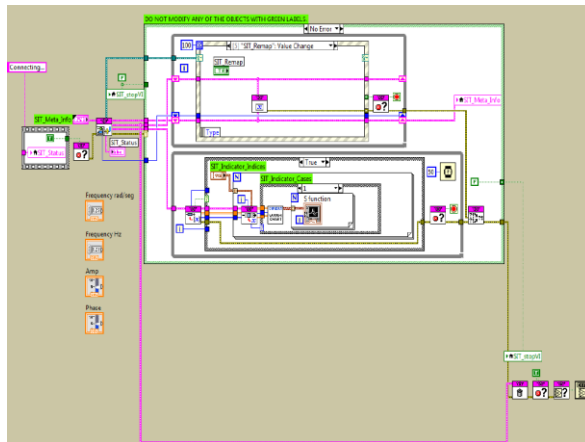


Figura 4. Diagrama de la interfaz de simulación Toolkit (SIT).

La figura 5 muestra el modelo de memoria polinomial siendo manipulado a través de Labview usando la SIT. Una vez que los valores de frecuencia son establecidos en el modelo de Simulink, este puede ser ajustado por sí solo, el modelo puede calcular los valores del tiempo de muestreo requerido por la frecuencia.

La figura 6 muestra los resultados obtenidos modificando la frecuencia, mientras que la figura 7 muestra los resultados modificando la fase.

5. CONCLUSIONES

Este artículo presenta un modelo de comportamiento original para amplificadores de potencia basado en las series de Volterra. Además se presenta la Co-simulación circuito-sistema, con la capacidad de predecir los efectos no lineales, y la consideración de los efectos de memoria. La interfaz de co-simulación implementada permite acceder a los detalles más críticos para cada señal de entrada. Esta conexión puede ser auto adaptable para grandes frecuencias. Se mostró una interfaz de co-simulación entre Labview y Simulink, capaz de modificar el comportamiento de las señales en tiempo real que incluyen parámetros

como la frecuencia, amplitud y fase. El tiempo de muestreo es establecido por una función S. Finalmente, el propósito de la co-simulación es obtener modelos de comportamiento con el fin de simplificar las tareas de diseño de PAs para RF.

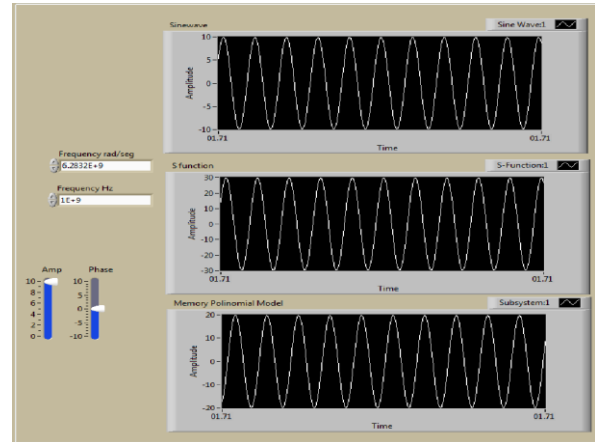


Figura 5. Modelo Polinomial con Memoria siendo monitoreado en Labview en tiempo real usando una señal de entrada con $f=1\text{GHz}$ en el cual se manipula la amplitud.

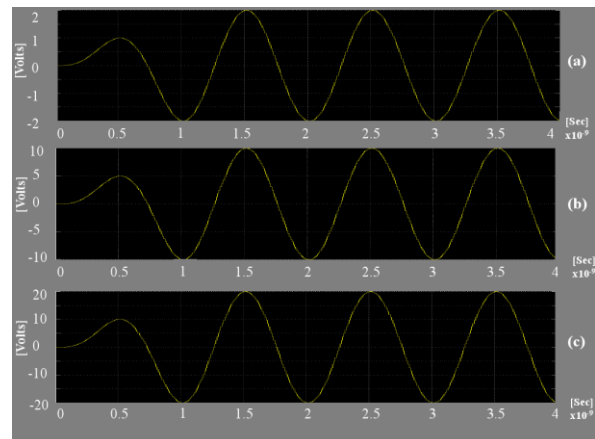


Figura 6. Respuesta obtenida modificando la frecuencia de entrada. (a) Señal de salida obtenida con la entrada $x=Asin(wt)$ con fase = 0 rad, $f=1\text{KHz}$ y Amplitud=1V. (b) salida obtenida con $f=1\text{MHz}$ (c) Señal de salida obtenida con $f=1\text{GHz}$.

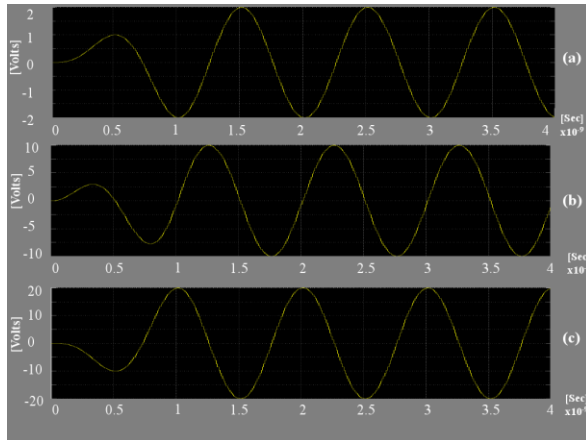


Figura 7. Respuesta obtenida modificando la fase de entrada. (a) Señal de salida obtenida con la entrada $x=A\sin(\omega t)$ con fase = 0 rad, $f=10\text{Hz}$ y Amplitud=1V. (b) salida obtenida con fase = $\pi/2$ rad. (c) Señal de salida obtenida con fase = π rad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Wood and D. E. Root, "Fundamentals of Nonlinear Behavioral Modeling for RF and Microwave Design," Artech House.
- [2] K. Foit, "An introduction to the hybrid simulation – the conception of the simulation system," Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol 39, Issue 2, Abril 2010.
- [3] A. Bennadji, "Implémentation de modèles comportementaux d'amplificateurs de puissance dans des environnements de simulation système et co-simulation circuit système," Université de Limoges Ecole Doctorale Sciences – Technologie – Sante Faculte des Sciences et Techniques, Abril 14, 2006.
- [4] S. Tudoret, "Signal-Simulink: Hybrid System Co-simulation," IFSIC Institut de Formation Superieure en Informatique et communication, Septiembre 1999.
- [5] S. Xiaoying, Q. Huanyan and H. Haisheng, "Design of Co-Simulation for Wireless Networked Control System with OPNET and Matlab," International Journal of Digital Content Technology and its Applications, Vol 5, no. 4, Abril 2011.
- [6] "Cosimulation with Agilent's Advanced Design System," VPItransmissionMaker VPIcomponentMaker, Document Part No. 8000-40W-0703.
- [7] O. Heimlich, R. Sailer and T. Budzisz, "NMLab: A Co-Simulation Framework for Matlab and ns-2," Second International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL) 2010. 22-27 Agosto 2010, pp: 152 - 157.
- [8] E. Arabi and S. Ali: Thesis: Behavioral Modeling of RF front end devices in Simulink., Chalmers University of Technology Gteborg, Sweden. pp. 7, 2008.
- [9] A. Zhu, J. C. Pedro and T. J. Brazil. Dynamic Deviation Reduction-Based Volterra Behavioral Modeling of RF Power Amplifiers. Diciembre 2006.
- [10] L. Ding, "Digital Predistortion of Power Amplifiers for Wireless Applications" School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology, Marzo 2004, pp 11.3
- [11] H. Ku, and J. S. Kenney, "Behavioral Modeling of Nonlinear RF Power Amplifiers Considering Memory

Effects," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 51, No 12, Diciembre 2003.

- [12] Simulink. Available on line: <http://www.mathworks.com/products/simulink/>. Access date: 5 Febrero, 2012.
- [13] LabVIEW. Available on line: <http://www.ni.com/LabVIEW/>. Access date: 5 Febrero, 2012.