POLYPUBLIE

Resonador CRLH de banda ancha : applicacion para la multiplicacion sintonizable de la periodicidad de un tren de pulsos

Juan Sebastián Gómez Díaz, Shulabh Gupta, Juan Pascual-Garcia, David Cañete Rebenaque, Fernando Daniel Quesada Pereira, Christophe Caloz, Alejandro Alvarez-Melcon

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

Date	2009
Type	Communication de conférence / Conference or Workshop Item Communication écrite/Paper
Version	Version officielle de l'éditeur / Published version
URL de PolyPublie **PolyPublie URL**	https://publications.polymtl.ca/36952/
Évaluation par les pairs **Peer reviewed**	Révisé par les pairs / Refereed
Conditions d'utilisation **Terms of use**	Creative Commons Attribution-Utilisation non commerciale-Pas d'oeuvre dérivée 4.0 International / Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND)
Référence **Citation**	Gómez Díaz, J. S., Gupta, S., Pascual-Garcia, J., Cañete Rebenaque, D., Quesada Pereira, F. D., Caloz, C., & Alvarez-Melcon, A. (septembre 2009). Resonador CRLH de banda ancha : applicacion para la multiplicacion sintonizable de la periodicidad de un tren de pulsos [Communication écrite]. 24o Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2009), Santader, Spain (4 pages). http://hdl.handle.net/10317/1407

Publication officielle
Official publication

Nom de la conférence **Conference name**	24o Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2009)
Date et lieu **Date and location**	2009-09-16 - 2009-09-18, Santader, Spain
Maison d'édition **Publisher**	Universidad de Cantabria
URL officielle **Official URL**	http://hdl.handle.net/10317/1407
Mention légale **Legal notice**	El contenido de este sitio está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd), salvo que se indique lo contrario.

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal
https://publications.polymtl.ca

Resonador CRLH de Banda Ancha: Aplicación para la Multiplicación Sintonizable de la Periodicidad de un Tren de Pulsos

J. S. Gómez-Díaz[(1)], S. Gupta[(2)], J. Pascual-García[(1)], D. Cañete-Rebenaque[(1)], F. D. Quesada-Pereira[(1)], C. Caloz[(2)] y A. Alvarez-Melcon[(1)]

jsebastian_gomez@ono.com, alejandro.alvarez@upct.es, christophe.caloz@polymtl.ca

[(1)]Universidad Politécnica de Cartagena, Antiguo Cuartel de Antigones, 30202 Cartagena, Murcia, España

[(2)]École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada

***Abstract*—A novel tunable microwave broadband resonator, inspired from optical laser systems, is presented. In contrast to usual harmonic resonators, the proposed device is based on broadband composite right/left-handed (CRLH) metamaterial lines. This line, configured as a resonator, provides nonuniform spectral resonances due to the nonlinear nature of its dispersion curve. This is exploited in the impulse-regime, where the input pulse spectrum is discretized inside the resonator, with different spectral separation as a function of the carrier frequency. This discretization leads to a pulse periodicity in time, with a tunable output time period. Based on the new broadband resonator features, a pulse rate multiplication device is proposed. This device provides an increase in the repetition rate of a periodic input pulse, with the additional advantage of repetition rate tunability.**

I. Introducción

Los resonadores han sido ampliamente utilizados en el regimen de las microondas, con aplicaciones que varian desde filtros u osciladores hasta amplificadores sintonizados [1]. Normalmente, los resonadores están basados en elementos distribuidos "right-handed", y proporcionan resonancias en aquellas frequencias (ω_m) donde la longitud física de la estructura es múltiplo de media longitud de onda. Este tipo de resonadores ha sido analizado frecuentemente en el dominio de la frecuencia, pero poco trabajo se ha realizado en el dominio del tiempo, necesario para analizar los recientes dispositivos de banda ancha (UWB).

Los metamateriales, como las líneas de transmisión "composite right/left-handed" (CRLH TL) [2], pueden ser configurados como resonadores distribuidos. En este caso, aparecen dos principales diferencias [2]: (a) la presencia de resonancias fuera de los armónicos usuales, obteniéndose una compresión en la posición de las resonancias en la banda de frecuencias "left-handed" y (b) la aparición de un modo ($m = 0$) independiente de la longitud física de la estructura [3]. Estas diferencias pueden proporcionar interesantes efectos, especialmente en el dominio del tiempo, donde este tipo de resonadores no ha sido estudiado.

En este artículo se presenta la configuración de una CRLH TL como un resonador de banda ancha. La naturaleza no lineal de la curva de dispersión de estas líneas proporciona una distribución no uniforme de las resonancias, con una marcada compresión en la banda de frecuencias "left-handed". De esta forma, cuando se excita la línea con un pulso de banda ancha, sus componentes frecuenciales son discretizadas, obteniéndose una periodicidad en el dominio del tiempo. Esta periodicidad es sintonizable, gracias a la diferente separación espectral de las resonancias que muestrean al pulso, en función de la posición del pulso en frecuencia (es decir, de su frecuencia de modulación). Este proceso se puede ver como una cavidad resonante en el dominio óptico [4], donde únicamente aparecen y son transmitidos ciertos modos. Insipirándonos en estos conceptos, se propone el empleo de la CRLH TL para multiplicar la periodicidad de un tren de pulsos de entrada, con la ventaja adicional de controlar de forma electrónica su periodo de repetición.

II. Resonador CRLH de Banda Ancha

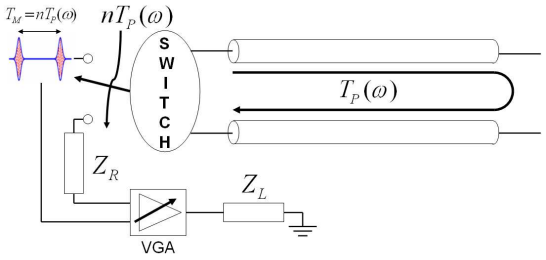
En esta sección se presenta el principio de funcionamiento del resonador CRLH UWB. Es importante justificar el uso de los metamateriales para esta aplicación. Concretamente, un comportamiento no sintonizable se puede obtener utilizando líneas de transmisión habituales ("right-handed") [1]. Sin embargo, gracias al comportamiento dispersivo de las líneas CRLH, es posible controlar electrónicamente (a través de la frecuencia de modulación) la periodicidad de los pulsos de salida, sin tener que fabricar una nueva línea "right-handed" para cada periodicidad requerida.

A. Principio de funcionamiento

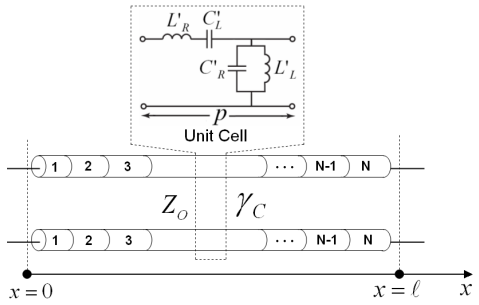
El principio de funcionamiento del resonador propuesto se puede observar en la Fig. 1a. El resonador se obtiene terminando la línea de transmisión mediante circuito abierto o cortocircuito [1]. Inicialmente, un conmutador introduce el pulso de entrada en el resonador [5]. Posteriormente, el conmutador cambia a una alta impedancia Z_R, que refleja la mayor parte de la energía de vuelta a la línea de transmisión y que transmite una pequeña porción de la misma a la carga Z_L, previa amplificación. Este modo de funcionamiento es, en cierto modo, análogo a las cavidades láser [4]. Además, debido al comportamiento de banda ancha de la línea de transmisión (inicialmente genérica), todas las resonancias del resonador son excitadas, obteniéndose el muestreo del pulso en el dominio de la frecuencia.

Desde el punto de vista temporal, el pulso viaja entre las terminaciones del resonador, necesitando un tiempo T_P en recorrer una vuelta completa. Con el fin de compensar las pérdidas de la línea, se introduce un amplificador de ganancia variable (VGA) [6], sincronizado con el generador de pulsos.

Cuando el pulso ha recorrido un total de n-vueltas en el interior del resonador (en un tiempo $T_M = nT_P$), n-pulsos con unas características similares al pulso de entrada son obtenidos a la salida. De esta forma, el resonador actúa como un multiplicador 1:n. Después del viaje n-ésimo del pulso, el conmutador cambia su posición y se conecta nuevamente al generador, obtiéndose otra ráfaga de n-pulsos. Con la adecuada sincronización, se puede obtener un tren de pulsos constante, con una multiplicación de 1:n respecto al periodo original de pulsos.



(a)



(b)

Fig. 1: Resonador CRLH de banda ancha y su aplicación a la multiplicación sintonizable de un tren de pulsos. (a) Principio de operación. (b) Resonador CRLH, compuesto por N celdas de longitud p, y que presenta una constante de propagación γ_C, una impedancia característica Z_0 y una longitud total de $\ell = N\,p$.

B. Implementación con CRLH TL

El resonador propuesto puede implementarse mediante líneas de transmisión "right-handed" [1]. En este caso, el tiempo que tarda el pulso en recorrer una vuelta completa (T_P) es constante y es necesario diseñar una nueva línea para modificarlo.

El empleo de una línea CRLH para esta función proporciona un tiempo T_P sintonizable con la frecuencia de modulación del pulso de entrada. Un ejemplo de línea CRLH configurada como resonador se muestra en la Fig. 1b. Las frecuencias de resonancia (ω_m) corresponden a aquellas frecuencias donde la longitud física (ℓ) es multiplo (m) de media longitud de onda. En el caso de la CRLH, las resonancias se encuentran definidas de forma simétrica alrededor de $m = 0$ [2]:

$$\ell = |m|\frac{\lambda}{2} \qquad \text{or} \qquad \beta_m = \frac{m\pi}{\ell}. \tag{1}$$

En la Fig. 2 se muestra la relación de dispersión de una línea CRLH, compuesta por N celdas unitarias y sus $2N-1$ resonancias. Se puede observar la compresión de las posiciones de las resonancia en frecuencia que ocurre en las región "left-handed". Esto es debido a la curva de dispersión no lineal, que es muestreada con un ratio de π/ℓ, como describe la Eq. (1).

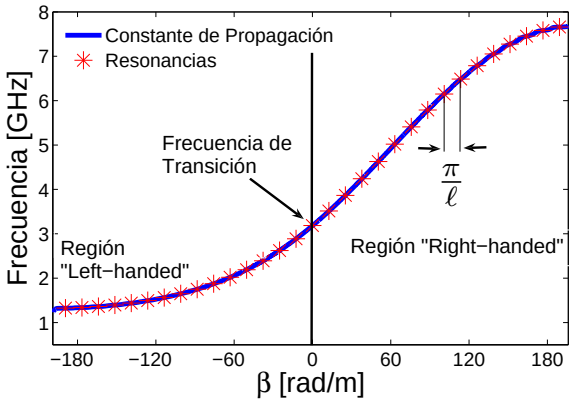


Fig. 2: Relación de dispersión del resonador CRLH de la Fig. 1b y sus frequencias de resonancia ω_m. La línea está compuesta por $N = 16$ celdas unitarias de longitud $p = 1.56$ cm, obteniéndo un total de $2N - 1 = 31$ resonancias. Los parámetros circuitales son $C_R = C_L = 1.0$ pf and $L_R = L_L = 2.5$ nH.

Desde el punto de vista frecuencial, se requiere que la CRLH esté balancedada [2], es decir, que haya una transición suave desde la región "left-handed" a la "right-handed". Al introducir un pulso de entrada al resonador, todas las resonancias que se encuentren dentro del ancho de banda del pulso son excitadas, discretizando el espectro del pulso. Esta discretización en frecuencia corresponde a una perdiodicidad en tiempo. Nótese que en función del ancho de banda del pulso, el número de resonancias excitadas y su separación espectral varía, y que esta variación espectral conlleva una diferente periodicidad en tiempo. Estos conceptos son gráficamente expresados en la Fig. 3, donde un pulso UWB alimenta a una estructura CRLH (tanto el pulso como la CRLH tienen el mismo ancho de banda) configurada tanto como línea de transmisión como resonador. En este último caso, se puede apreciar como el pulso es muestrado por las resonancias, que están distribuidas de forma discreta y no uniforme en frecuencia.

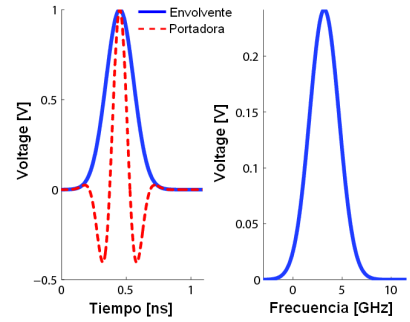
Desde el punto de vista temporal, el control de la periodicidad del tren de pulsos se puede explicar mediante la velocidad de grupo, que depende de la frecuencia de modulación en el interior de la CRLH TL [2]:

$$v_g = \frac{p\,\sin[p\,\beta(\omega)]}{\omega/\omega_R^2 + \omega_L^2/\omega^3}. \tag{2}$$

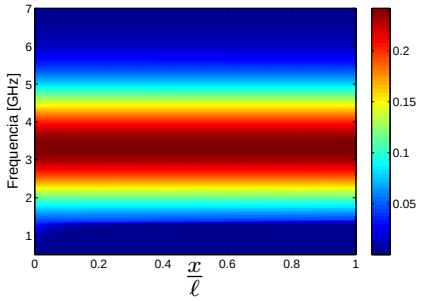
donde p es la longitud de la celda unidad, y

$$\omega'_R = \frac{1}{\sqrt{L'_R C'_R}} \quad \text{and} \quad \omega'_L = \frac{1}{\sqrt{L'_L C'_L}}. \tag{3}$$

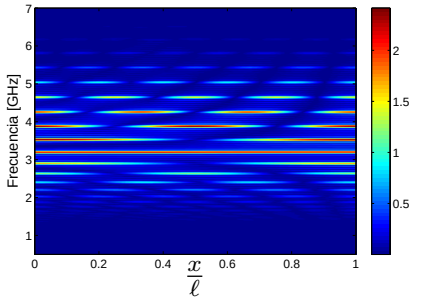
En esta última expresión, L'_R, C'_R y L'_L, C'_L son los parámetros distribuidos por unidad de longitud de una línea CRLH, siguiendo la notación de [2]. De esta forma, el tiempo requerido por el pulso para recorrer una vuelta completa en



(a)



(b)



(c)

Fig. 3: Evolución del espectro de un pulso Gaussiano modulado propagándose a lo largo de la línea CRLH de la Fig. 2. (a) Definición del pulso de entrada ($f_c = 3.183$ GHz y $\sigma = 0.15$ ns). (b) Evolución del espectro a lo largo de la estructura CRLH configurada como línea de transmisión (carga adaptada). (c) Evolución del espectro a lo largo de la línea CRLH configurada como resonador (circuito abierto a la entrada y a la salida de la línea).

el resonador es

$$T_P(\omega) = \frac{2\ell}{v_g(\omega)}, \tag{4}$$

donde ℓ es la longitud total de la estructura. Esta última ecuación demuestra la capacidad de controlar de forma externa el tiempo que tarda el pulso en dar una vuelta completa en el resonador. Los parámetros que permiten este control son la frecuencia de modulación y la longitud de la estructura, como se demuestra en la Fig. 4 El funcionamiento del resonador se explica de forma visual en la Fig. 5, donde se muestra la evolución de un pulso en el tiempo a lo largo de la estructura CRLH, configurada tanto como línea de transmisión como resonador. En este último caso se puede apreciar las reflexiones del pulso en las terminaciones del resonador, y como decrece de forma gradual la energía del pulso en el

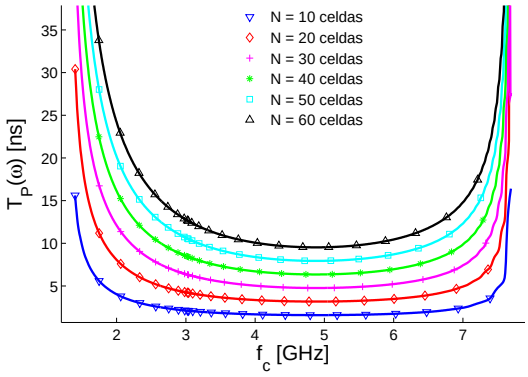
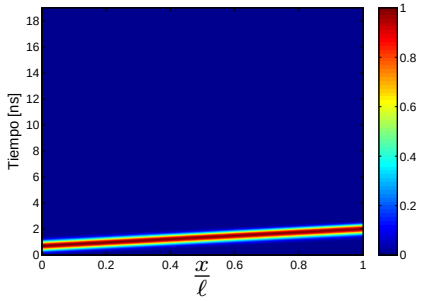
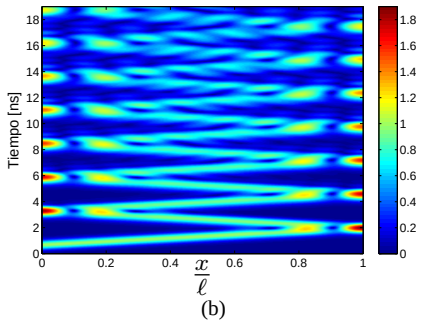


Fig. 4: Tiempo empleado $[T_P(\omega)]$ por un pulso para completar una vuelta completa en el interior del resonador CRLH de la Fig. 2, en función del número de celdas del resonador (N) y de la frecuencia de modulación empleada (f_c).

interior de la estructura.



(a)



(b)

Fig. 5: Propagación de un pulso Gaussiano modulado ($f_c = 5.0$ GHz y $\sigma = 0.25$ ns) a lo largo de la estructura CRLH definida en la Fig. 2. (a) Línea terminada con una carga adaptada. (b) Línea configurada como resonador (circuito abierto a la entrada y a la salida de la línea).

III. Aplicación: Multiplicación de la Periodicidad de un Tren de Pulsos

En este apartado se propone el empleo del resonador CRLH UWB como un multiplicador sintonizable de la periodicidad de un tren de pulsos, siguiendo la estructura de la Fig. 1a. Para obtener la resistencia Z_R y extraer energía del resonador se emplea un acoplador de líneas acopladas UWB [7]. Además, se pueden mencionar las siguientes características del resonador: (a) no se generan nuevas componentes frecuenciales,

pues es un proceso lineal [4], (b) el máximo ancho de banda del pulso de entrada depende de las características de la estructura CRLH empleada, (c) el número de resonancias que excita el pulso de entrada debe de ser limitado, como máximo un tercio del número total de resonancias del resonador, para obtener un muestreo del pulso en frecuencia adecuado, y (d) el número máximo de vueltas de un pulso en el interior del resonador (n) depende tanto de las pérdidas como de la dispersión existente en la banda de frecuencias empleada, con valores normales de 5 a 8.

En la Fig. 6 se muestra como se puede controlar la distancia temporal entre dos pulsos consecutivos en función de la frecuencia de modulación, según describe la Eq. (4). Estos resultados han sido obtenidos con el software comercial ADS©. Además, la Fig. 7 muestra el funcionamiento del resonador CRLH UWB completo, empleado para generar un tren de pulsos con periodicidad sintonizable. Es importante mencionar que las pérdidas han sido compensadas mediante el amplificador VGA, gracias a que su influencia ocurre en un periodo de tiempo largo y bien definido (T_M). Por último, mencionar que la dispersión temporal de los pulsos de salida, en el caso de que sea importante, puede ser completamente cancelada utilizando la técnica presentada en [8].

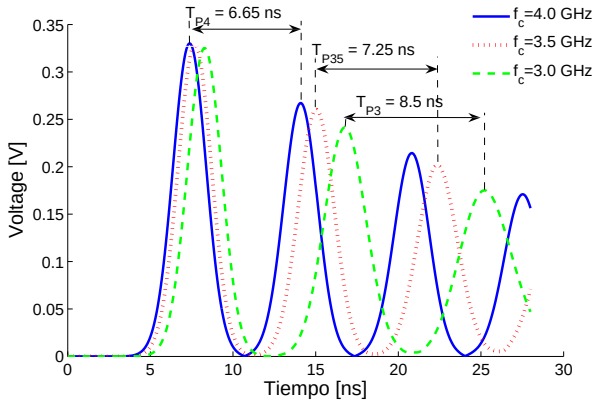
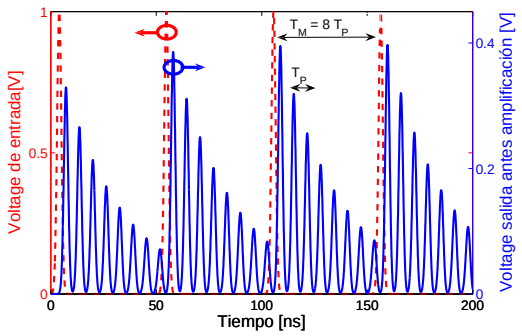


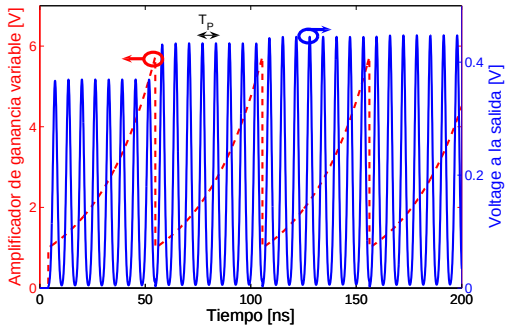
Fig. 6: Pulsos Gaussianos ($\sigma = 1.0$ ns) a la salida (Z_R) del resonador CRLH [Fig. 1a] obtenidos para diferentes frequencias de modulación (f_0), mostrándose el control eléctrico de la periodicidad del tren de pulsos. La línea CRLH está compuesta por 40 celdas unitarias, con los parámetros circuitales de la Fig. 2. La impedancia del generador es $Z_g \approx \infty\ \Omega$, y la de carga $Z_R = 500\ \Omega$.

IV. Conclusiones

En este artículo se ha presentado un novedoso resonador de banda ancha basado en líneas de transmisión "composite right/left-handed". Gracias a la curva de dispersión no lineal de este tipo de líneas se obtiene una compresión en las posiciones frecuenciales de las resonancias en la región "left-handed". Esto es utilizado en el dominio temporal, al emplear un pulso de entrada que es muestreado y discretizado en frecuencia por esas resonancias. Esta discretización frecuencial conlleva la generación de un tren de pulsos en tiempo, variable en función de la separación espectral de las resonancias. Este fenómeno ha sido descrito matemáticamente, y validado usando un simulador comercial. Finalmente, el resonador



(a)



(b)

Fig. 7: Pulsos Gaussianos a la salida del resonador CRLH de la Fig. 1a, obtenidos para un tren de pulsos de entrada [$f_c = 5.0$ GHz, $\sigma = 1.0$ ns, $T_P = 6.35$ ns y $T_M = 8T_P$ ns]. (a) Tren de pulso de entrada (línea discontinua) y de salida (línea contínua), antes de amplificación (en la carga Z_R). (b) Ganancia del amplificador variable (línea discontinua) y tren de pulsos en la salida después de amplificación (línea contínua).

CRLH UWL ha sido empleado para obtener un multiplicador de pulsos $1{:}n$, con un periodo de repetición sintonizable.

V. Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto: TEC2007-67630-C03-02, Beca: FPU-AP2006-015).

References

[1] Pozar, D., "Microwave Engineering", 3rd ed., John Wiley and Sons, 2005.
[2] C. Caloz and T. Itoh, "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications", *New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.*
[3] S.Abielmona, H. Nguyen and C. Caloz, "CRLH zeroth order resonator (ZOR). Experimental demosntration of insensitivity to losses and to size", in IEEE Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, Japan, 2006.
[4] B. E. A. Saleh and M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics* (Wiley-Interscience, 2007), 2nd ed.
[5] Jin, Y., and C. Nguyen, "A 0.25-mm CMOS T/R switch for UWB wireless communications", IEEE Microwave Wireless Compon. Lett., 15, 502-504, 2005.
[6] Lee, H. D., K. A. Lee, and S. Hong, "A wideband CMOS variable gain amplifier with an exponential gain control", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 55 (6), 1363-1373, 2007.
[7] Mongia, R., I. Bahl, and P. Bhartia, "RF and Microwave Coupled-Line Circuits", 1st ed., Artech House, 1999.
[8] Schwartz, J. D., I. Arnedo, M. A. G. Laso, T. Lopetegui, J. Azaa, and D. Plant, "An Electronic UWB Continuosly Tunable Time-Delay System with Nanosecond Delay", IEEE Microwave Wireless Compon. Lett., 18 (2), 103-105, 2008.