

Híbrido 180° de Banda Ancha en Tecnología Microstrip a 41 GHz

Jaime Cagigas⁽¹⁾, Enrique Villa⁽¹⁾, Eduardo Artal⁽¹⁾, Roger J. Hoyland⁽²⁾
 cagigasij@unican.es, villae@unican.es, artale@unican.es, rjh@iac.es

⁽¹⁾Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria

Plaza de la Ciencia s/n. 39005 Santander. Cantabria

⁽²⁾Instituto de Astrofísica de Canarias

C/ Vía Láctea s/n 38200 La Laguna. Tenerife

Abstract- A broadband modified rat-race hybrid with around 30% bandwidth is presented in this paper. The hybrid was developed from 35 to 47 GHz bandwidth (centre frequency 41 GHz) using microstrip technology on Alumina substrate. The design uses CPWG-Microstrip transitions to measure the response of the circuit in a coplanar probes station. The measurements over the frequency bandwidth show a maximum amplitude imbalance of 0.5 dB, the phase variation is $\pm 5^\circ$, the isolation is better than 20 dB and the return loss is greater than 10 dB. Moreover, the circuit is planar and consists of a single layer, without requirements of metallic holes and bonding wires, so it is also a low-cost circuit.

I. INTRODUCCIÓN

Los híbridos 180° se emplean en diversas aplicaciones en circuitos integrados de microondas, por ejemplo en circuitos donde resulta imprescindible dividir la potencia de entrada entre varias ramas, o bien combinar potencias procedentes de distintos orígenes, ya sea en fase o contra fase de forma equilibrada entre sus ramas, es decir para sumar y restar señales. El acoplador híbrido 3 dB 180° en su configuración más típica se muestra en la Fig. 1, la cual consiste en una red de cuatro accesos compuesta por tres líneas de longitud $\lambda/4$, y una de longitud $3\lambda/4$, todas ellas de impedancia $Z_0 \cdot \sqrt{2}$. Este híbrido es muy conocido y su estudio teórico puede encontrarse en [1]. A modo de resumen, en la ecuación (1) se muestra la matriz de parámetros S de dicho híbrido.

$$[S]_{\text{Rat-race}} = \frac{-j}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

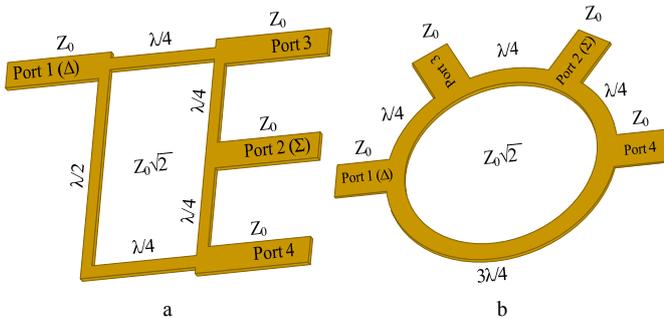


Fig. 1. Híbrido configuración rat-race, a.- rectangular y b.- anillo.

Un híbrido 180° usado en función de divisor de potencia, tiene dos posibles configuraciones, dependiendo de la entrada

que se emplee. Utilizando como referencia la numeración de puertos de la Fig. 1:

- Si tomamos como entrada el acceso 1, la señal se dividirá por igual en dos señales que saldrán por los accesos 3 y 4 desfasados 180° o en oposición de fase, mientras que el acceso 2 queda aislado:

$$\text{Salida 3} = 1/\sqrt{2} \cdot (\text{Entrada } 1_{\angle -90^\circ}) \quad (2)$$

$$\text{Salida 4} = 1/\sqrt{2} \cdot (\text{Entrada } 1_{\angle -270^\circ}) \quad (3)$$

$$\text{Salida 2} = \text{Puerto Aislado} \quad (4)$$

- Entrando por el acceso 2 la señal se dividirá por igual en dos señales que saldrán por los accesos 3 y 4 con idéntica fase, con el acceso 1 aislado:

$$\text{Salida 3} = \text{Salida 4} = 1/\sqrt{2} \cdot (\text{Entrada } 2_{\angle -90^\circ}) \quad (5)$$

$$\text{Salida 1} = \text{Puerto Aislado} \quad (6)$$

Mientras que usado en función de combinador de señales, si entramos por los accesos 3 y 4, en el acceso 1 tendremos la resta de las señales y en el acceso 2 la suma:

$$\Delta = 1/\sqrt{2} \cdot (\text{Entrada } 3_{\angle -90^\circ} + \text{Entrada } 4_{\angle -270^\circ}) \quad (7)$$

$$\Sigma = 1/\sqrt{2} \cdot (\text{Entrada } 3_{\angle -90^\circ} + \text{Entrada } 4_{\angle -90^\circ}) \quad (8)$$

Existen varias tecnologías para la fabricación de híbridos 180°. En el caso de la tecnología sobre sustrato, se puede emplear la tecnología uniplanar, donde las líneas de transmisión más comúnmente utilizadas son las líneas en guía de onda coplanar (*Coplanar Waveguide*, CPW), líneas coplanares (*Coplanar Slotline*, CPS) y *Slotline*, o en tecnología microstrip.

Uno de los inconvenientes que presenta la estructura típica rat-race es su ancho de banda de funcionamiento. Para aplicaciones de banda ancha, como en nuestro caso particular superiores al 30% [2], se deben emplear técnicas para mejorar su respuesta. La concatenación de dos anillos como en [3] nos permite aumentar sensiblemente el ancho de respuesta del circuito, y a la vez de manera sencilla la obtención de las señales suma y diferencia para la correlación de las señales de entrada.

En este caso la tecnología empleada es una técnica de fácil fabricación y bajo coste como la microstrip. Otras muchas opciones se encuentran en la literatura [4]-[10], pero de diseño y fabricación más compleja. La principal restricción de estos circuitos en esta tecnología planar era su limitación en banda a frecuencias elevadas, debido a la dependencia de los parámetros físicos del sustrato con respecto a la frecuencia, lo que hace que la impedancia de las líneas no sea constante con la misma. Puesto que su ancho de banda se encontraba entre el 20-25%, se consideraban circuitos de banda estrecha. Pero la principal ventaja de emplear líneas microstrip es su fácil diseño, puesto que la estructura puede ser optimizada con un bajo coste computacional. En este artículo se presenta una estructura microstrip, con un ancho de banda superior al 30% centrado a la frecuencia de 41 GHz.

El diseño y estudio de este híbrido, ha sido planteado en el desarrollo de la primera fase del proyecto EPI ('Exploring the Physics of Inflation') [2]. El cometido de este híbrido dentro del instrumento que se empleará en EPI es realizar la correlación entre señales que permitirá, a través del posterior procesamiento de señal, la cancelación del ruido de baja frecuencia espectro 1/f.

II. CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO

En este trabajo se propone, de manera análoga al trabajo realizado en [3], la concatenación de anillos híbridos para incrementar el ancho de banda de funcionamiento, o en el caso de híbridos de 90°, como en [11].

El hecho de concatenar tres anillos híbridos, como se muestra en la Fig. 2, hace que el ancho de banda de funcionamiento del circuito se vea aumentado, así como obtener una respuesta en amplitud y fase más ecualizada que con dos anillos, minimizando el rizado y el error en los extremos de la banda de funcionamiento, que se hace más evidente en las frecuencias a las que trabaja el circuito.

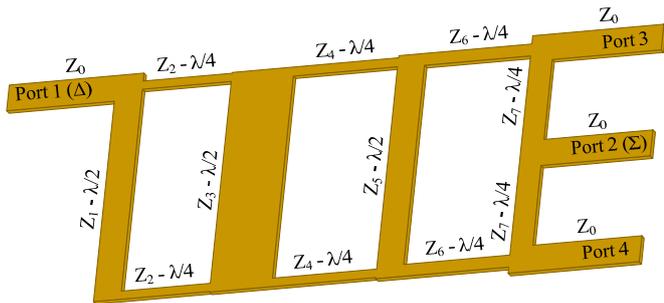


Fig. 2. Híbrido configuración simplificada rat-race 3 secciones.

Este circuito está compuesto por cuatro tramos verticales de longitud aproximadamente $\lambda/2$ y seis tramos horizontales de longitud cercana a $\lambda/4$, con distinta impedancia característica para cada línea Z_i ($i = 1,2 \dots 7$), las cuales son optimizadas para la banda de trabajo. Las líneas de acceso serán líneas de impedancia característica Z_0 .

El circuito se ha diseñado sobre sustrato de alúmina, el cual tiene una constante dieléctrica de 9.9, una altura de 254 μm (10 mil), tangente de pérdidas de 10^{-4} y una metalización de oro de 3 μm de espesor.

III. DISEÑO Y SIMULACIÓN

Para el diseño y simulación del circuito se han utilizado las aplicaciones existentes dentro del programa HFSS. Las impedancias optimizadas para lograr una buena respuesta en banda tanto en adaptación como en el equilibrio de las ramas, sobre un 30% (marcado por un desequilibrio máximo en magnitud de $\pm 0,5$ dB $\pm 5^\circ$ en fase) son: $Z_1 = 54,6 \Omega$, $Z_2 = 87,9 \Omega$, $Z_3 = 37,7 \Omega$, $Z_4 = 85 \Omega$, $Z_5 = 57 \Omega$, $Z_6 = 71 \Omega$, $Z_7 = 72 \Omega$ y $Z_0 = 50 \Omega$.

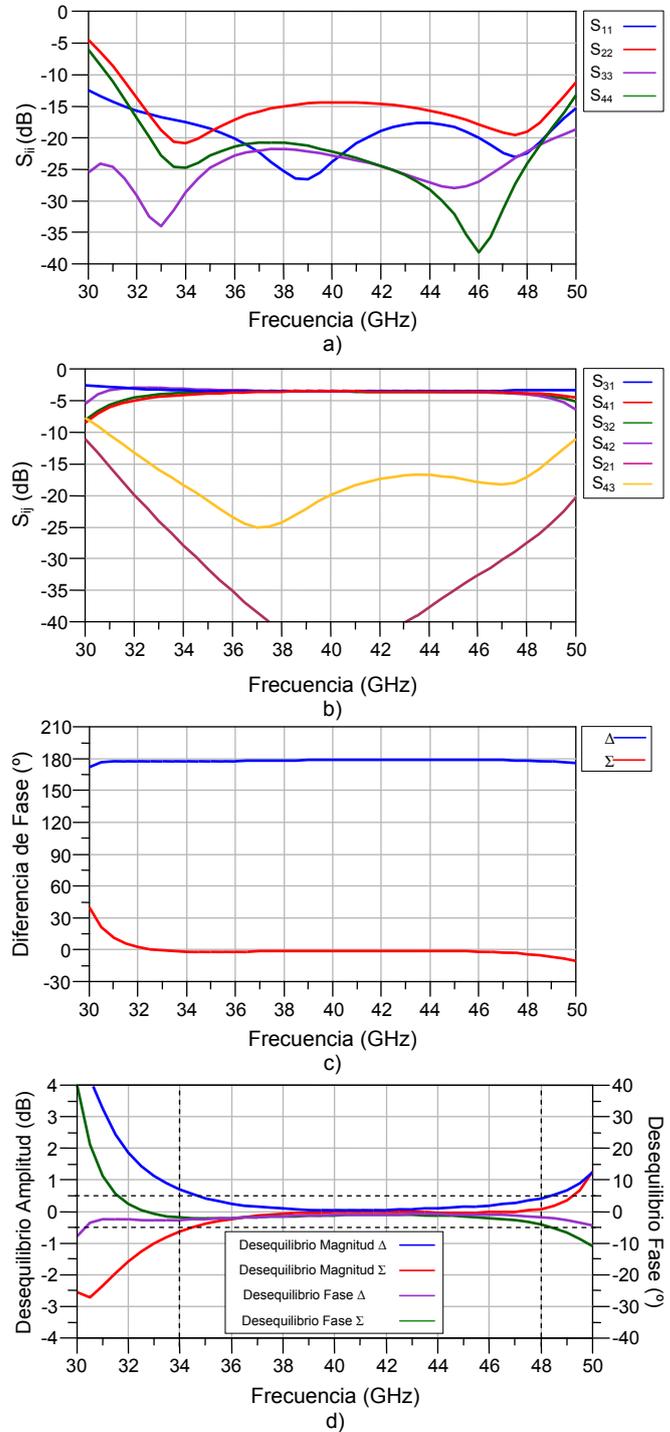


Fig. 3. Resultados de simulación: a) Pérdidas de retorno; b) Pérdidas de inserción y aislamiento; c) Diferencia de fase con salida en Σ y con salida en Δ ; d) Desequilibrio en magnitud y fase.

Para la obtención de los parámetros característicos de las diferentes líneas, Z_i , se ha empleado la herramienta de optimización que permite manejar HFSS. Las líneas han sido

optimizadas tanto en anchura como en longitud, debido a que las longitudes de los tramos $\lambda/2$ son parámetros físicos que están interrelacionados por la estructura física del circuito. En este proceso de optimización se han tenido en cuenta factores limitadores, como la realización de los clichés o fotolitos sobre película o soporte transparente, el proceso de fabricación mediante atacado o grabado químico, y el método que se empleará en la medida. La fabricación de anchuras de líneas muy pequeñas, puede hacer que el proceso de grabado en el sustrato sea muy costoso o imposible de realizar, por lo que se ha de llegar a un compromiso en cuanto a la menor anchura de línea que estará como límite inferior en el rango de optimización.

En la Fig. 3 se muestra el resultado de la simulación electromagnética del circuito de la Fig. 5. Se puede observar que se han utilizado unos adaptadores de impedancias junto a las líneas curvas para minimizar los efectos de desadaptación producidos por éstas, cuyo efecto ya está tenido en cuenta en los resultados presentados.

A partir de los resultados obtenidos en la simulación se observa que para la banda de 34 – 48 GHz, el circuito cumple con un desequilibrio entre ramas máximo de $\pm 0,6$ dB en magnitud y $\pm 5^\circ$ en fase. De esta forma se tiene un ancho de banda del 34%.

IV. FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

La caracterización del circuito se realiza mediante la utilización de sondas coplanares, por lo que es necesario proveer al circuito de los accesos adecuados. Por este motivo se utilizan transiciones CPWG-Microstrip comerciales de Jmicro Technology (Probe Point™ 1003) en cada uno de los puertos del híbrido. Estas transiciones son como la que se muestra en la Fig. 4.

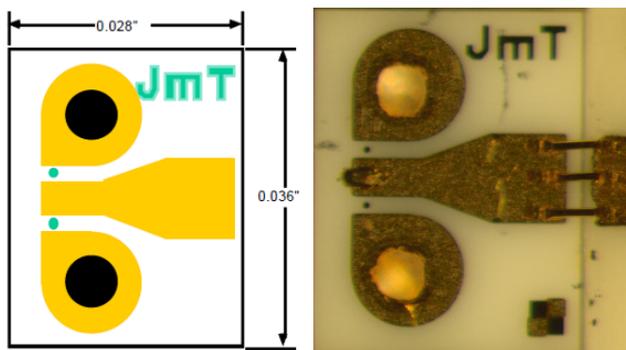


Fig. 4. Transición CPWG-microstrip.

De esta forma se obtiene el circuito, finalmente fabricado y montado, que se muestra en la Fig. 5. Para medir el dispositivo sobre línea microstrip con las transiciones descritas, se empleó el kit de calibración proporcionado por el fabricante de las transiciones, con las pautas de definición del mismo. Una vez realizada la calibración, se puede sustraer el efecto de dichas transiciones, obteniendo directamente los parámetros de Scattering referidos a los planos de referencia de las líneas microstrip.

Una vez calibrado el sistema de medida, se mide la respuesta en Scattering del híbrido 180° diseñado, eliminando el efecto introducido por las transiciones CPWG-Microstrip.

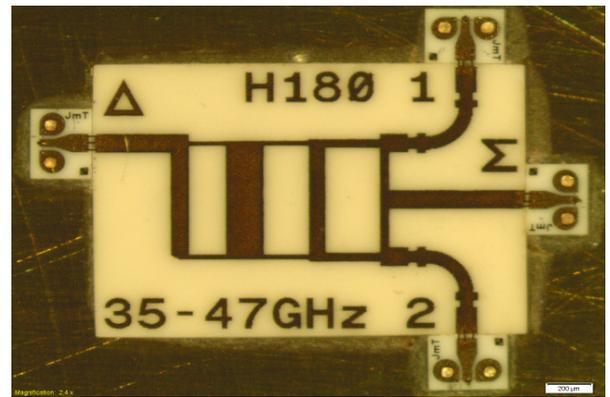


Fig. 5. Híbrido 180° fabricado en Alúmina.

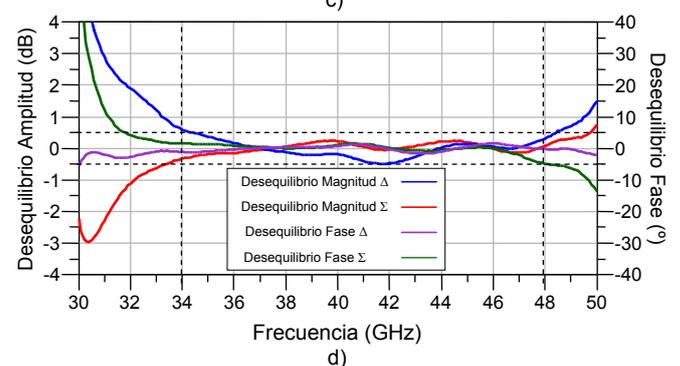
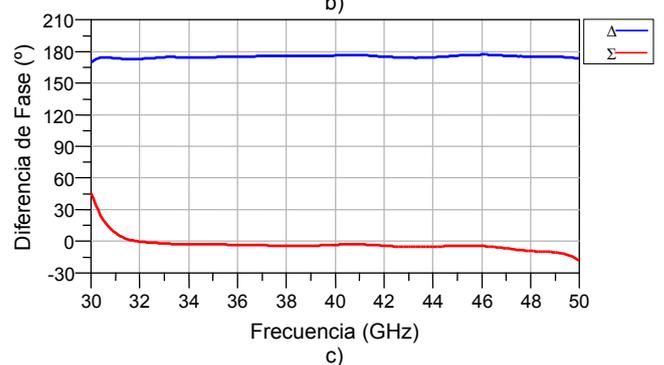
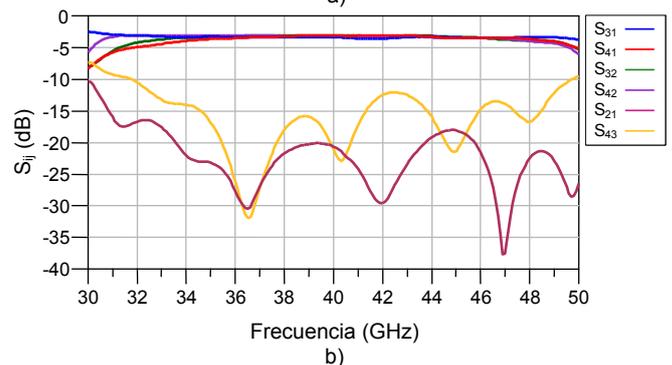
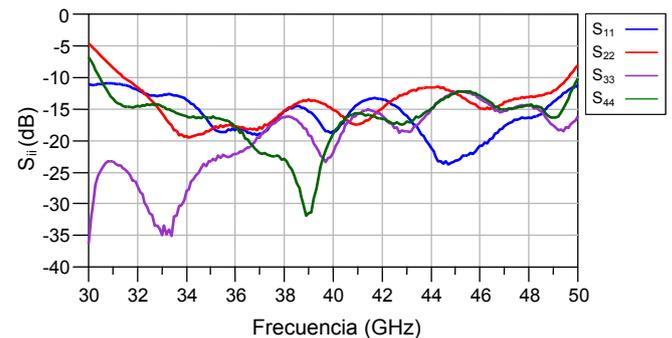


Fig. 6. Resultados de la medida: a) Pérdidas de retorno; b) Pérdidas de inserción y aislamiento; c) Diferencia de fase con salida en Σ y con salida en Δ ; d) Desequilibrio en magnitud y fase.

Los resultados de la medida se muestran en la Fig. 6. Se observa que se ajustan bastante bien a los valores esperados, de acuerdo a la optimización de los diferentes tramos de líneas microstrip llevada a cabo. Se han obtenido unas pérdidas de retorno mejores de 10 dB para todos los accesos del híbrido, unas pérdidas de inserción medias de 3,5 dB desde cada entrada hasta cada salida (teóricamente acoplada con 3 dB), un desfase medio en la salida diferencia de $175,5^\circ$ y de $-4,5^\circ$ en la salida suma. Se ha obtenido un ancho de banda de funcionamiento de aproximadamente 14 GHz (34-48 GHz), con una buena respuesta tanto en amplitud como en fase, presentando la respuesta deseada en la banda de interés, de 35 a 47 GHz.

Se comprueba que la fase se ha desplazado unos $4,5^\circ$ lo cual puede ser debido a la longitud y posición de los hilos de bonding de interconexión entre la transición CPWG-microstrip y el circuito diseñado, además de la tolerancia en los cortes de las líneas microstrip de los accesos, puesto que para una línea microstrip de 50Ω , un error de 1° a la frecuencia central (41 GHz) en términos de longitud eléctrica se corresponde a $7 \mu\text{m}$ en el sustrato utilizado.

V. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño, simulación y caracterización de un híbrido en tecnología microstrip en la banda de ondas milimétricas. El circuito que se ha diseñado es sencillo tanto en fabricación como en diseño, al constar tan sólo de una capa en tecnología microstrip. Se ha realizado su caracterización mediante la medida en una estación de sondas coplanares, empleando una transición CPWG-Microstrip, de forma que se obtienen los parámetros de Scattering del híbrido en los planos de referencia de las líneas microstrip de acceso. El circuito presenta una banda de funcionamiento de 14 GHz (34-48 GHz) fijando un desfase medio entre las salidas en oposición de fase de $175,5^\circ \pm 5^\circ$ y de $-4,5^\circ \pm 5^\circ$ entre las salidas en fase. Las pérdidas de inserción son alrededor de $3,5 \text{ dB} \pm 0,5 \text{ dB}$, que incluyen los 3 dB del acoplador. El circuito cumple con los requerimientos de funcionamiento deseados en la banda.

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante la ayuda AYA2010-21766-C03-03 y la del programa CONSOLIDER-INGENIO 2010 referencia CSD2010-00064.

La fabricación y montaje de los circuitos han sido posibles gracias a la participación de Ana R. Pérez y Eva Cuerno.

REFERENCIAS

- [1] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*. 2nd edition, Ed. McGraw-Hill, 1992, Ch. 6, pp. 437-442.
- [2] Pagina web del proyecto, <http://epi-consolider.es>
- [3] R. J. Hoyland, "A new MMIC, wideband 180° phase switch design for millimeter wave applications", Proc. 3rd ESA Workshop on Millimeter Wave Technology and Applications, Espoo, Finland, pp. 305-310, May 2003.
- [4] L. K. Yeung and Y. E. Wang, "A novel 180° hybrid using broadside coupled asymmetric coplanar strip lines," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, no. 12, pp. 2625-2630, Dec. 2007.
- [5] T. T. Mo, Q. Xue, and C. H. Chan, "A broadband compact microstrip rat-race hybrid using a novel CPW inverter," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, no. 1, pp. 161-167, Jan. 2007.
- [6] G. F. Mikucki and A. K. Agrawal, "A broad-band printed circuit hybrid ring power divider," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-37, no. 1, pp. 112-117, Jan. 1989.
- [7] K. S. Ang, Y. C. Leong, and C. H. Lee, "A new class of multisection 180° hybrids based on cascaded hybrid-ring couplers," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 50, no. 9, pp. 2147-2152, Sep. 2002.
- [8] M.-H. Murgulescu, E. Moisan, P. Legaud, E. Penard, and I. Zaquine, "New wideband, $0.67\lambda_g$ circumference 180° hybrid ring coupler," Electron. Lett. vol. 30, no. 4, pp. 299-300, Feb. 1994.
- [9] C.-H. Chi and C.-Y. Chang, "A new class of wideband multisection 180° hybrid rings using vertically installed planar coupler," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 54, no. 6, pp. 2478-2486, Jun. 2006.
- [10] M. Caillet, M. Clenet, A. Sharaiha and Y. M. M. Antar, "A Compact Wide-Band Rat-Race Hybrid Using Microstrip Lines," Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, vol.19, no.4, pp.191-193, April 2009.
- [11] M. Muraguchi, T. Yukitake, and Y. Naito, "Optimum design of 3 dB branch-line couplers using microstrip lines," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-31, no. 8, pp. 674-678, Aug. 1983.