

Acoplador híbrido con tecnología LTCC

A. Lozano⁽ⁱ⁾, M. Roberti⁽ⁱ⁾, A. Henze⁽ⁱ⁾, A. Gavini⁽ⁱⁱ⁾

⁽ⁱ⁾INTI – Electrónica e Informática

⁽ⁱⁱ⁾INVAP SE

Introducción

Los acopladores direccionales, basados en un par de líneas de transmisión acopladas, son utilizados en aplicaciones de microondas para separar y tomar muestras de señales para medir su amplitud y nivel de potencia. Un tipo particular de acoplador direccional, comúnmente conocido como acoplador híbrido en cuadratura, es un dispositivo de cuatro terminales que se utiliza para separar una señal de entrada en dos señales de igual amplitud pero desfasadas entre sí 90°, para lo cual se requiere un acoplamiento de 3dB que divide la potencia en dos partes iguales. Una forma de implementar las líneas paralelas de acoplamiento en este tipo de dispositivos es sobre una estructura plana horizontal (*edgwise*), ya sea sobre la superficie del sustrato (*microstrip*) o enterrada en el sustrato (*stripline*), pero cuando se necesita un fuerte acoplamiento (mayor a -8dB) la distancia de separación entre líneas requerida para lograr dicho acoplamiento se vuelve demasiado pequeña y su realización práctica se hace muy difícil o imposible. En estos casos se recurre a una estructura vertical multicapa (*broadside*) en la cual las líneas de acoplamiento se disponen de forma superpuestas en diferentes capas separadas por una capa de sustrato aislante [1]. Para este tipo de estructuras tridimensionales la tecnología multicapa de película gruesa basada en LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) ofrece una solución ideal, compacta y de bajo costo [2][3][4].

En este trabajo se presenta el diseño, fabricación y caracterización de un acoplador híbrido *stripline* a 90° utilizando tecnología LTCC y película gruesa.

Análisis y Diseño

El diseño se basó en las características de un dispositivo comercial, pero la aplicación específica requería un acoplador centrado a una frecuencia de 1.03 GHz, no cubierta por el dispositivo comercial, por lo que se trabajó en la optimización del diseño a esa frecuencia. Las

principales especificaciones eléctricas requeridas para el acoplador se detallan en la Tabla I. Debido al alto acoplamiento requerido (3 dB) se adoptó una estructura tipo *broadside stripline* como la descrita en la Fig.1. La primera aproximación de la geometría del dispositivo se logró por medio de un estudio analítico basado en las ecuaciones estándares para este tipo de estructuras [1][2][5]. A partir de esta geometría preliminar se desarrolló un modelo paramétrico con el cual se optimizó el diseño por medio de simulación. Los parámetros principales de ajuste utilizados para la optimización son el ancho de las líneas de acoplamiento (w), la separación entre líneas (s) y el espesor del dispositivo (b). Utilizando un sustrato de constante dieléctrica $k=7,8$, se obtuvo como resultado una estructura como la que se muestra en la Fig.2.

Tabla I. Especificaciones del acoplador híbrido.

Parámetro	Valor
Acoplamiento	3 dB
Frecuencia Central	1.03 GHz
Ancho de banda	20 MHz
Pérdidas de retorno	< -25 dB
Aislación	> 23 dB
Pérdidas de Inserción	< 0.4 dB
Balance de fase	< 2°
Balance de amplitud	< 0.2 dB

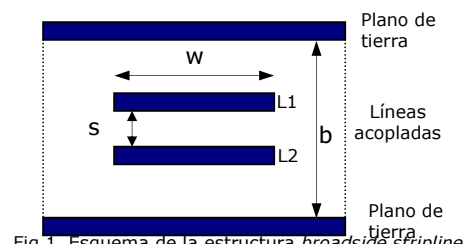


Fig 1. Esquema de la estructura *broadside stripline*.

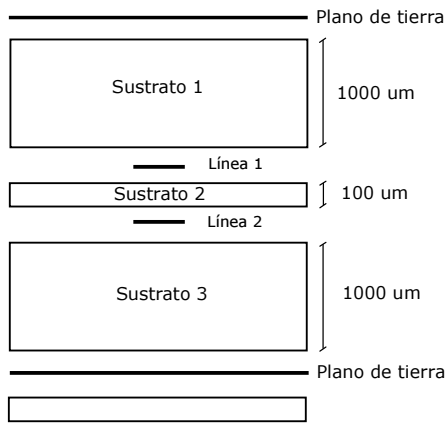


Fig. 2. Estructura del sustrato del acoplador.

Para la estructura del sustrato se usó como material una cerámica LTCC de DuPont. Previamente se caracterizó el material para conocer las dimensiones finales de cada capa debido al encogimiento del LTCC después del proceso de laminación y sinterizado. Se analizaron láminas de tres diferentes espesores observando su comportamiento bajo distintas presiones de laminación y diferentes temperaturas. Se caracterizaron láminas de 254 µm, 114.3 µm y 50.8 µm de espesor las cuales resultaron de aproximadamente 215 µm, 100 µm y 45 µm respectivamente después de la laminación y el sinterizado. Con estos resultados, el *sustrato2* de la Fig.2 podría obtenerse directamente con una capa de 100 µm o aproximadamente apilando dos capas de 45 µm cada una. Ambas alternativas fueron utilizadas en dos diferentes prototipos con el fin de evaluar los resultados y compararlos con los de la simulación. Los sustratos denominados *sustrato1* y *sustrato3* por su parte, podrían obtenerse apilando diez capas de 100 µm, pero tiene la desventaja de tener que alinear y laminar una gran cantidad de capas con el aumento de la probabilidad de errores. Otra alternativa es aproximar el espesor apilando cuatro o cinco capas de 215 µm obteniendo una capa de espesor de 860 µm y 1075 µm respectivamente. Ambas alternativas fueron simuladas, modificando el ancho de las líneas para ajustarse a las especificaciones del acoplador. Los mejores resultados se obtuvieron con una estructura de 1075 µm para los sustratos y 220 µm de ancho para las líneas de acoplamiento.

Por otro lado, el máximo acoplamiento se obtiene cuando la longitud eléctrica de las líneas de acoplamiento es igual a un cuarto de la longitud de onda de la señal (1)^[5]. La longitud de onda λ se calcula a partir de (2)^[5] donde c es la velocidad de la luz, f es la frecuencia central y k es la constante dieléctrica del material del sustrato. En nuestro diseño la frecuencia central es $f=1.03$ Ghz y la constante

dieléctrica del material es $k=7,8$, con lo que la longitud óptima del acoplador debe ser de 26,05 mm.

$$l = \lambda/4 \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{f * \sqrt{k}} \quad (2)$$

Debido a las limitaciones de tamaño exigidas para el dispositivo (15mm x 10mm) se ensayaron y simularon diferentes alternativas para el *layout* del diseño de modo de insertar las líneas del acoplador en el área disponible. Las distintas opciones ensayadas se muestran en la Fig.3.

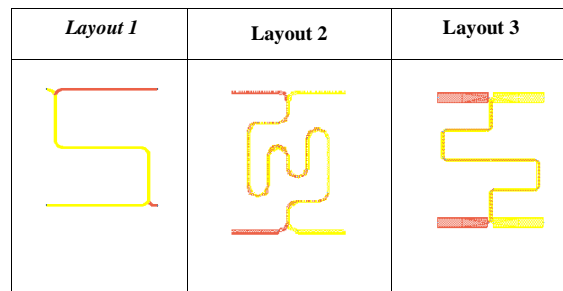


Fig. 3. Diseños del Layout .

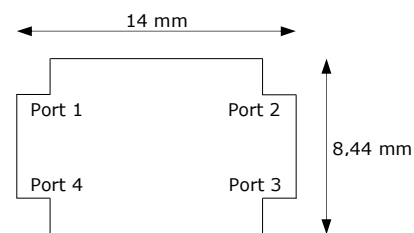


Fig. 4. Esquema y dimensiones del prototipo.

Como resultado de la simulación, la aislación obtenida en los diseños de *layout1* y *layout2* fue considerablemente inferior a la requerida, mientras que para el *layout3* resultó dentro de los rangos aceptables. Por lo tanto este último diseño fue el adoptado para los prototipos fabricados.

Las dimensiones finales con el *layout* seleccionado y un esquema simplificado del prototipo con la numeración adoptada para los puertos se muestra en la Fig.4.

Proceso de Fabricación

Para las máscaras a utilizar en la fabricación de los prototipos, se diseñaron tres variantes de *layout*, identificadas como A, B y C, y se incluyeron dos unidades de cada uno como se

observa en la Fig. 5, donde se detalla el diseño final de las máscaras. La idea fue analizar y verificar los resultados de usar diferentes formas, tamaños y ubicación de los terminales del acoplador. La máscara está compuesta por tres capas, una para cada una de las líneas de acoplamiento y la tercera para los planos de tierra superior e inferior.

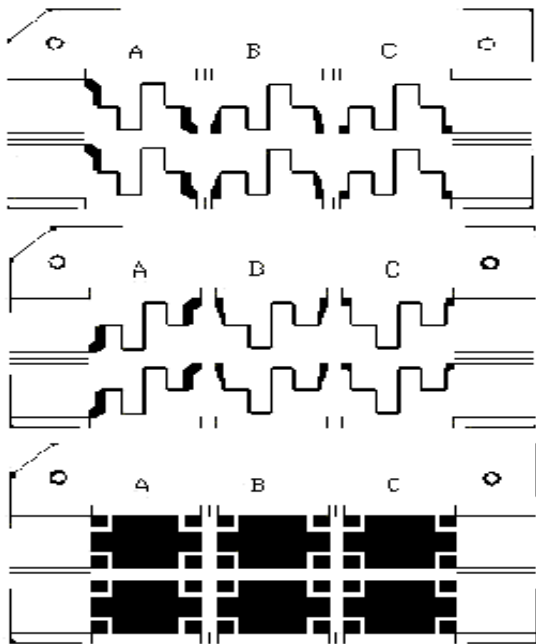


Fig. 5. Diseño de las máscaras.

Como material de sustrato se utilizaron cerámicas verdes LTCC 951 de DuPont ($k=7.8$). Se fabricaron dos versiones de prototipo identificadas como V2 y V3. En ambas versiones se utilizaron once capas de 215 μm para los sustratos exteriores. Para el sustrato interior de separación entre líneas de acoplamiento se utilizó una capa de 100 μm en la versión V2 y dos capas de 45 μm en la versión V3 (90 μm). El objetivo del prototipo V3 fue buscar un mayor acoplamiento reduciendo la separación entre líneas y mejorar el balance de fase ajustando su longitud.

El proceso de laminación se realizó por medio de una prensa uniaxial aplicando una presión de 60 kg/cm^2 a 80°C durante 3 minutos. Los contactos de los puertos del acoplador fueron realizados a mano por medio de la técnica de *castellation* [6] antes del proceso de sinterizado. Para las líneas de acoplamiento se utilizó pasta conductora de DuPont 6142D (3.3 $\text{m}\Omega/\text{sq}$) y para los planos de tierra y los contactos DuPont 6146 (60 $\text{m}\Omega/\text{sq}$). Las capas de LTCC fueron micromaquinadas por medio de un equipo CNC (Computer Numerical Control). Luego de la

laminación los dispositivos fueron sinterizados utilizando el perfil de temperatura típico para LTCC [3].

Caracterización

Los prototipos fueron caracterizados en el Laboratorio de Calibraciones del Centro utilizando un Analizador de Redes Vectorial Rohde & Schwarz, modelo ZVRE. Para la caracterización de los DUT (Device Under Test) se diseñó y construyó una placa de test utilizando Rogers RO4350 como material de soporte de modo de poder adaptar el dispositivo al sistema de medición (Fig.6). Los conectores SMA utilizados fueron previamente caracterizados en placas de test diseñadas específicamente de modo de emular el conector y las pistas de conexión en la placa de test a utilizar (Fig.7) con el objetivo de verificar el coeficiente de reflexión resultante de los conectores en la placa. para la construcción de las placas se utilizó el mismo sistema CNC de prototipeado rápido.

Para permitir la reutilización de los dispositivos, las placas y los conectores sin dañarlos, solamente los contactos de los puertos del acoplador fueron soldados a la placa de test, mientras que la conexión del plano de tierra se realizó mediante presión aplicada por medio de una prensa montada a tal efecto.

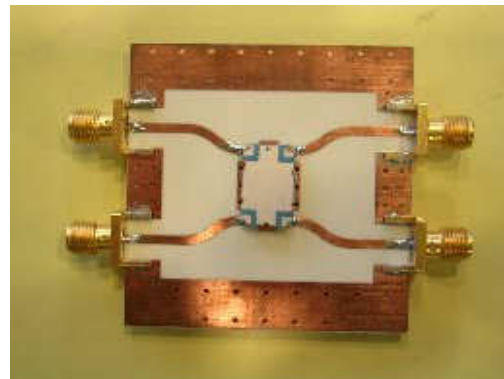


Fig. 6. Placa de Test y DUT.

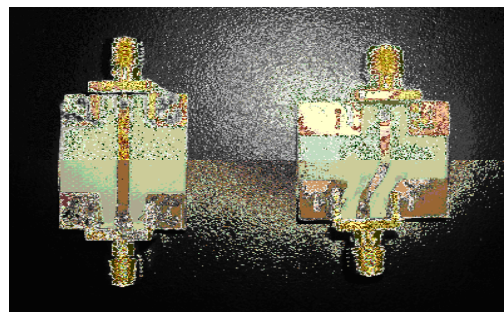


Fig. 7. Placas de test de los conectores

Resultados

Se fabricaron y caracterizaron varias series de prototipos del acoplador híbrido diseñado obteniéndose buena repetibilidad. Los resultados obtenidos están cerca de las especificaciones requeridas. Los mejores resultados se obtuvieron con la variante A evaluada en el prototipo V2, adoptada luego para el prototipo V3, en el cual se logró además mejorar levemente el acoplamiento y el desbalance de fase. Los resultados de los parámetros medidos para el mejor dispositivo de ambas versiones se detallan en la Tabla II y las curvas de versión V3 en el BW especificado se muestran en las Fig.8 a Fig.11.

No obstante, se deben buscar técnicas alternativas para mejorar el diseño del acoplador y ajustar aún más algunos de sus parámetros.

Tabla II. Resultados de los Prototipos.

Parámetro	Prototipo V2	Prototipo V3
Frecuencia central	1.03 GHz	1.03 GHz
Acoplamiento	3.46 dB	3.33 dB
Perdidas de retorno	-32.56 dB	-24.75 dB
Aislación	-29.79 dB	-22.5 dB
Pérdidas de Inserción	3.44 dB	3.17 dB
Balance de fase	2.32°	1.6°
Balance de amplitud	0.41 dB	0.16 dB

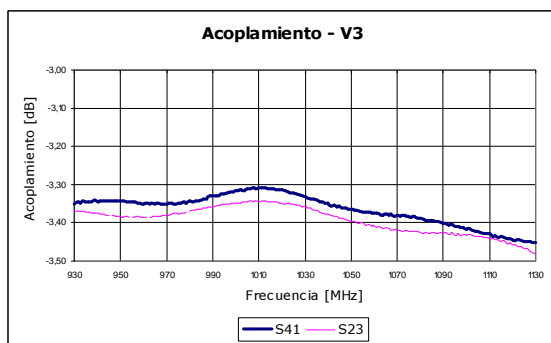


Fig. 8. Acoplamiento - V3.

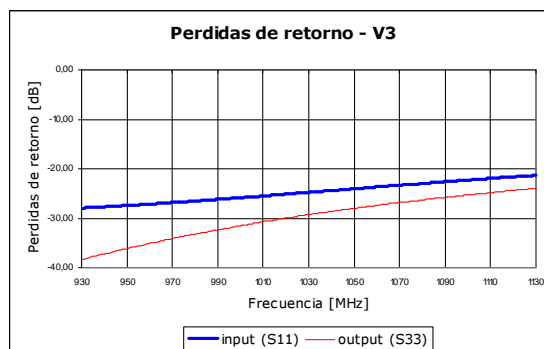


Fig. 9. Perdidas e retorno - V3.

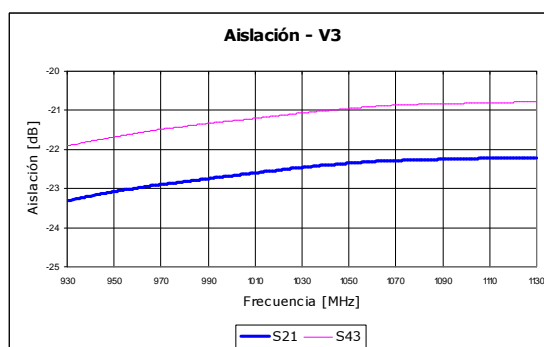


Fig. 10. Aislación - V3.

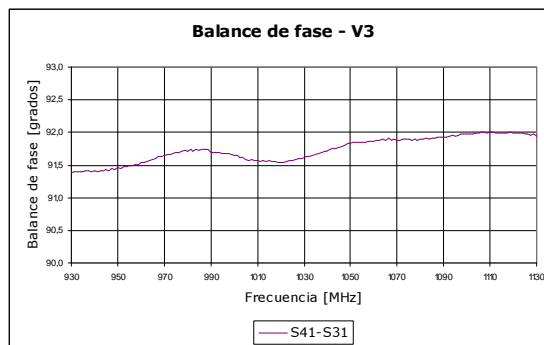


Fig. 11. Balance de fase - V3.

Referencias

- [1] S. B. Cohn; *Characteristic Impedances of Broadside-Coupled Strip Transmission Lines*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.8, Issue 6 (1960), 633-637.
- [2] I. J. Bahl, P. Bhartia, "The Design of Broadside-Coupled Stripline Circuits", IEEE Transactions on Microwave Theory Tech., vol. MTT-29, pp. 165-168, Feb. 1981.
- [3] M.R. Gongora-Rubio, P. Espinoza-Vallejos, L. Sola-Laguna, J.J. Santiago-Aviles, "Overview of low temperature co-fired ceramics tape technology for meso-system technology (MsST)", Sensors and Actuators, A 89 (2001), pp 222-241

- [4] Tian Z., C. Free, C. Aitchison, P. Barnwell, J. Wood, *Design of Directional Couplers Using Multilayer Thick-Film Technology*, IEEE Radio and Wireless Conference, 2002, pp 261-264.
- [5] R. Mongia, I Bahl, P. Bhartia "RF and Microwave Coupled-Line Circuits", 1999, Artech House Inc.
- [6] B. Hunt, L. Devlin ; *LTCC for RF modules*, 2000, IEE, Savoy Place, London WCPR OBL, UK.

Para mayor información contactarse con:
 Alex Lozano alex@inti.gov.ar
 Mariano Roberti mariano@inti.gov.ar