

Redes de Alimentación de Agrupaciones basadas en CORPS

Diego Betancourt Quiñones, Carlos del Río Bocio

carlos@unavarra.es

⁽¹⁾ Dpto. de Ing. Eléctrica y Electrónica. Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadía s/n, 31006 Pamplona

Abstract- A new beam-forming Network concept is introduced. This Network is based in the design principles of CORPS. The new proposed structure presents an improvement in design over the traditional beam-forming Network -BFN since, with this kind of feed networks, is feasible to reduce the number of the Phase Shifters of N:1. Two implementations, based on Gysel Power Dividers, are also showed to corroborate the theoretical concepts.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación de última generación, como las redes telefónicas móviles y dispositivos satelitales requieren la habilidad de reconfiguración de sus servicios, es decir, cambiar sus áreas de cobertura de forma dinámica. Este tipo de modificaciones, en la mayoría de los sistemas actuales, implica el re-diseño de las BFN asociadas a los dispositivos de radio frecuencia.

Actualmente, existen pocas formas para redefinir in-situ el patrón de radiación de una agrupación de antenas. Uno de los métodos más ampliamente utilizados es la incorporación de desfases en la Red de Alimentación [1], [2]. Esta solución conlleva varias desventajas como es el incremento en la complejidad de las redes, dado que se necesita electrónica adicional para controlar los desfases. De la misma forma, la aplicación de estos dispositivos activos implica, en la mayoría de los casos, dificultades de fabricación. Adicionalmente, con esta solución, dado que hay un desfase asociado con cada elemento radiante (Antena), es realmente muy costoso trabajar con una agrupación de dimensiones medias o grandes.

Otras alternativas al uso de desfases son la incorporación de mayor complejidad en la BFN. Entre estas posibilidades podemos encontrar la solución basadas en Matrices Blass, los Lentes Rotman o las Matrices Butler [1], [2]. Por ejemplo, en el último caso, las Matrices Butler pueden producir un gran número de haces ortogonales de alta calidad con el uso de pocos componentes. La principal desventaja de este tipo de BFN es que requieren muchos cruces de caminos para su implementación.

Recientemente, las Antenas Inteligentes o Agrupaciones de Antenas Adaptables [3], [4] han sido propuestas como una solución que puede significativamente incrementar la tasa de transmisión de datos y mejorar la calidad de RF. Las Antenas Inteligentes dan la posibilidad de redireccionar el haz principal a una localización específica usando un proceso adaptativo que determina los pesos asociados a la BFN de acuerdo a la señal recibida.

En este artículo se presenta una nueva BFN basado en los conceptos teóricos de CORPS, que son: a) Trabajar con una estructura periódica, es decir, la estructura puede ser caracterizada usando una celda unidad. b) Definir un filtro

en el plano horizontal, que prohíba la transmisión de la señal en esta dirección, y c). Definir una estructura de Banda de paso en el plano vertical, que permita transmisión de la señal en este sentido. Un esquema de esta configuración se muestra en la fig. 1. En este trabajo se estudia la posibilidad de aplicación de los conceptos de CORPS a estructuras de redes de alimentación, obteniendo un diseño de red general de alimentación donde los desfases pueden ser introducidos antes de las redes de alimentación y no después, reduciendo en una razón de N:1 el número de desfases y atenuadores necesarios para electrónicamente escanear el haz.

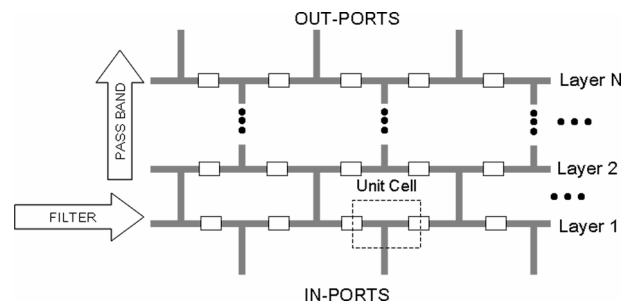


Fig. 1. Esquema de una red de alimentación genérica basada en conceptos CORPS.

II. REDES DE FORMACIÓN DE HAZ BASADAS EN CORPS

Para diseñar redes de alimentación con CORPS se debe tener en cuenta la representación esquemática, mostrada en la fig. 1, usar la conservación de la energía y tener en cuenta que la red está formada solo por elementos pasivos sin pérdidas. Como resultado, el comportamiento de la BFN diseñada estará estrictamente relacionado a las características de los nodos de División y Recombinación (ver Fig. 2).

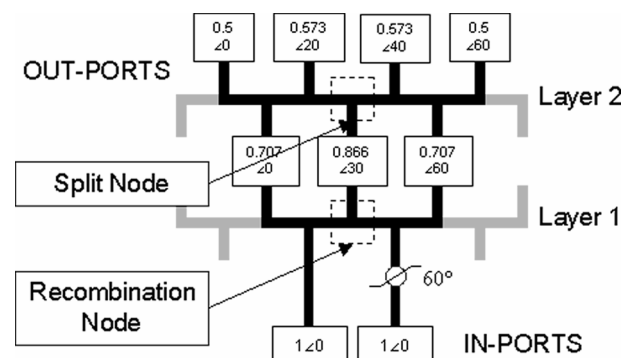


Fig. 2. Esquema del flujo de la potencia a través de la estructura excitando la estructura con dos entradas con un desfase de 60 grados.

Los Nodos de División son tales que tienen una entrada y N puertos de Salida. En cada puerto es entregada la N-ésima parte de la potencia puesta en el puerto de entrada, como puede ser corroborado usando la siguiente expresión [6]:

$$W_s = \sum_{k=1}^N [E_k e^{(j\theta_k)}]^2 G_s \quad (1)$$

Aquí, W_s es la potencia entregada en el N-ésimo puerto de salida del nodo de División, y G_s es la parte real de la admitancia vista desde el puerto de salida. De la misma forma, el nodo de recombinación es tal que tiene una única salida y más de un puerto de entrada. La potencia entregada en los puertos de salida puede ser calculada, usando:

$$W_R = \sum_{k=1}^N [E_{k,1} e^{(j\theta_{k,1})} + E_{k,2} e^{(j\theta_{k,2})}]^2 G_k \quad (2)$$

Después de hacer algunas simplificaciones en (2), la potencia en los puertos de salida del nodo de Recombinación, pueden ser expresados como:

$$W_R = G_R \left[\sum_{k=1}^N (E_{k,1})^2 + \sum_{k=1}^N (E_{k,2})^2 + 2 \sum_{k=1}^N E_{k,1} E_{k,2} \cos(\theta_{k,1} - \theta_{k,2}) \right] \quad (3)$$

Con, G_R la mitad de G_s . En la Fig 2 es considerada una BFN de dos capas, en el cual se tienen dos puertos de entrada de amplitud unitaria pero con diferente fase, esto es:

Puerto 1: $Ae^{(j\theta)}$, y Puerto 2: $Ae^{(j(\theta+\Delta\theta))}$.

Donde A es 1 y $\Delta\theta$ es el desfase entre puertos (en este caso 60 grados). La potencia entregada en los puertos 1 y 2 es calculada con (1) y (3). De la Fig. 2 se puede observar el comportamiento lineal de la fase y su relación directa con $\Delta\theta$. En términos generales, la diferencia de fase, entre el puerto 1 y 2, es traducida a una combinación lineal en los puertos de salida con fase inicial igual al puerto de entrada 1 y fase final igual al puerto de entrada 2.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Uno de los retos más importantes a la hora de implementar una red de alimentación basada en los principios de CORPS (como se muestra en la Fig. 2), es el de encontrar una celda unidad que cumpla con las características deseadas, a saber: Que tenga un fuerte aislamiento entre puertos de entrada y que entre capas entregue la misma potencia en fase.

Para alcanzar estos requerimientos, en el caso de una estructura 2D basada en tecnología micro-strip, se utiliza un divisor de potencia Gysel como se muestra en la Fig. 3. Una celda Gysel [7] es un transformador de impedancia de $3\lambda/2$ que entrega igual potencia en fase por los puertos 2 y 3, y aísla los puertos 4 y 5. Así, con un divisor de potencia Gysel, usado como celda unidad de nuestra estructura, es factible obtener un aislamiento entre puertos de más de -30 dB y se entrega al menos -6dB de potencia en fase a la siguiente capa.

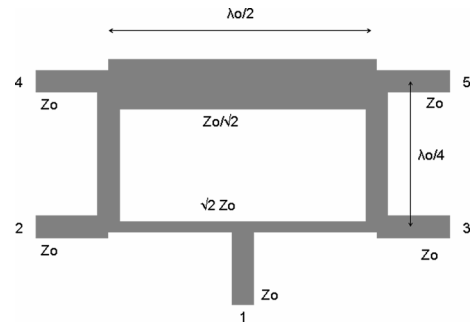


Fig. 3. Divisor de potencia Gysel

La estructura propuesta de una capa, con las características expuestas anteriormente se muestra en la fig. 4a. Esta red se realiza usando divisores de Potencia Gysel y, como radiadores, un conjunto de tres antenas rectangulares tipo parche.

La red de alimentación de agrupación, más conocida como BFN, es de una capa (2 puertos de entrada y 3 puertos de salida) y funciona a 2.75 GHz.

El desfaseador está en el puerto de entrada 2, en vez de estar en cada puerto de salida (justo antes de cada antena parche), reduciendo la necesidad de desfaseadores en un ratio de 3:1.

La Tabla 1 muestra las Amplitudes complejas ideales y calculadas para una estructura de 1 capa a 2.75GHz. Las Amplitudes y fases fueron calculadas a la entrada de las antenas. Los resultados muestran que el desfase hecho por la red implementada es casi igual que el de una BFN ideal para un $\Delta\theta$ dado. También, la tabla muestra que la potencia entregada por la BFN es proporcional a la ideal. La diferencia en potencia se debe a la potencia disipada por los resistores en los puertos aislados del divisor de potencia de Gysel y las pérdidas propias por radiación de la estructura.

Se ha fabricado un prototipo utilizando placas de Fibra de Vidrio con Permitividad relativa 4.5, ver Fig 4b. Los puertos aislados de la celda unidad (puertos 4 y 5) se terminan con una impedancia adaptada de 51 Ohm conectados a tierra por medio de un cortocircuito a tierra. Las resistencias utilizadas son de montaje superficial con tolerancia de $\pm 5\%$.

Las medidas fueron hechas en cámara anecoica, usando, como transmisor, la estructura propuesta y, como receptor, una antena parche diseñada para resonar a la misma frecuencia de observación de la BFN (2,75 GHz). En la fig. 5 se muestran los patrones de radiación medidos y calculados para la BFN propuesta cuando la fase relativa entre puertos $\Delta\theta$ es 90 y -90 grados. Observando una inclinación electrónica del haz efectiva de al menos 20 grados. Debido a la separación física de los radiadores, fijada a $0.8\lambda_0$, se observa que aproximadamente cada 10 grados de $\Delta\theta$ implican 1 grado adicional de inclinación del patrón de radiación.

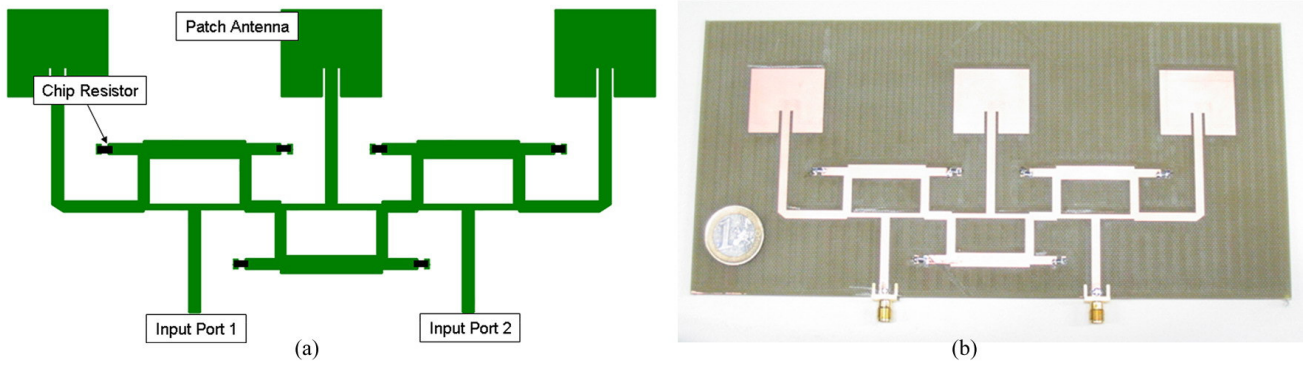


Fig. 4 Esquema y fotografía del prototipo de una capa fabricado

$\Delta\theta$ (deg)	Ideal BFN out-ports [Mag / Phase(deg)]			Implemented BFN out-ports [Mag / Phase(deg)]			Phase out-port 1 to 3 (deg)	Ideal power delivered	Implemented power delivered	Power difference (%)
	1	2	3	1	2	3				
0	0,71	1,00	0,71	0,68	0,94	0,68	0,03	2,00	1,81	9,40
	0,00	0,00	0,00	55,02	54,19	54,99				
30	0,71	0,97	0,71	0,68	0,91	0,68	30,08	1,93	1,75	9,33
	0,00	15,00	30,00	55,10	39,20	25,02				
45	0,71	0,92	0,71	0,68	0,87	0,68	45,09	1,85	1,68	9,26
	0,00	22,50	45,00	55,18	31,70	10,08				
60	0,71	0,87	0,71	0,67	0,82	0,68	60,09	1,75	1,59	9,14
	0,00	30,00	60,00	55,26	24,20	-4,83				
90	0,71	0,71	0,71	0,67	0,67	0,68	90,12	1,50	1,37	8,81
	0,00	45,00	90,00	55,48	9,20	-34,64				
120	0,71	0,50	0,71	0,68	0,47	0,68	120,11	1,25	1,15	8,34
	0,00	60,00	120,00	55,68	-5,79	-64,43				
150	0,71	0,25	0,71	0,68	0,24	0,68	150,08	1,06	0,98	7,46
	0,00	75,00	150,00	55,82	-20,78	-94,26				
180	0,71	0,00	0,71	0,68	0,00	0,68	180,03	1,00	0,92	7,64
	0,00	90,00	180,00	55,85	44,00	-124,18				

Tabla 1. Comparativa entre los valores ideales y los simulados de una red de una capa con tres salidas y dos puertos de entrada.

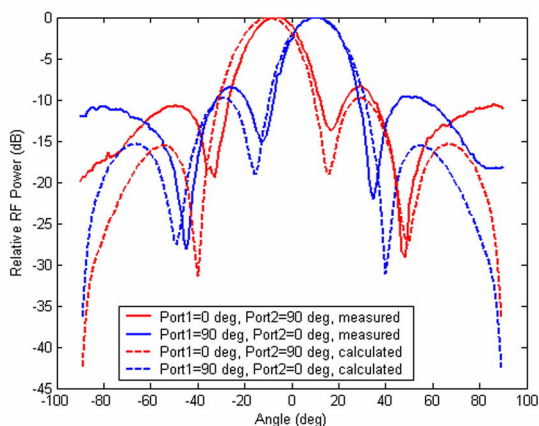


Fig. 5 Comparativa entre las medidas y las simulaciones realizadas con unos desfases de las dos entradas de ± 90 grados.

La fig. 6 muestra en detalle estos resultados. Así, la ganancia y el ángulo de inclinación del lóbulo principal y secundario son usados para definir un rango útil de barrido. Por ejemplo, para una aplicación específica que requiera una relación del lóbulo principal al secundario de al menos 10dB, se obtiene un ángulo de scanning de aproximadamente 20

grados con estas especificaciones para la BFN propuesta y usando tres antenas parche.

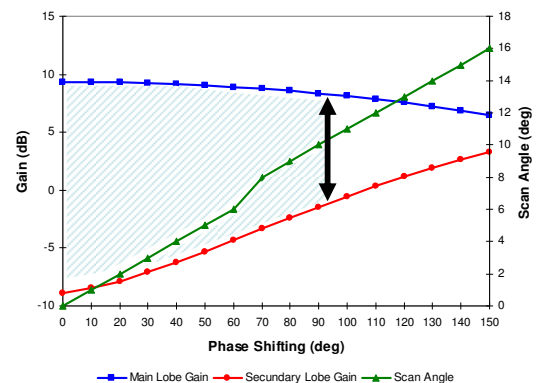


Fig. 6 Relación de la Ganancia del lóbulo principal con el nivel del secundario en función del desfase de las dos entradas.

IV. CONCLUSIONES

Una nueva BFN basada en los conceptos de CORPS es presentada. Esta nueva red de alimentación permite la reducción de la complejidad de una BFN, dado que, introduce una reducción el número de desfases de N:1.

Un prototipo fue fabricado y medido para mostrar las bondades de esta nueva tecnología para escanear un haz.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado bajo el soporte del Gobierno Español, bajo el proyecto TIC2003-09317-C03-01.

REFERENCIAS

- [1] R. J. Mailloux, Phased Array Antenna Hand Book, Artech House, 1994.
- [2] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, Microstrip Antenna Design HandBook, Artech House, 2001.
- [3] T. Do-Hong y Peter Russer, Signal Processing for Wideband Smart Antenna Array Applications, IEEE Microwave Magazine, March 2004.
- [4] D. S. Goshi, Y. Wang y T. Itoh, A Compact Digital Beamforming SMILE Array for Mobile Communications, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., Vol. 52, No. 12, Dic. 2004.
- [5] D. Betancourt, A. Ibañez y C. del Rio, Coherently Periodic Radiation Structures (CORPS): A Step Towards High Resolution Radiations Systems, IEEE AP-S 2005, Washington, USA, Jul. de 2005
- [6] R.C. Hansen, Microwave Scanning Antennas, Vol. III: Array Systems, Academic Press, pag. 241-242, 1966.
- [7] B. Ooi, Compact EBG In Phase Hybrid-Ring Equal Power Divider, IEEE Trans. Microw. Theo. and Tech., Vol. 53, No. 7, Jul. 2005.