

Compensación de acoplos en un array lineal de parches microstrip

José Luis Masa Campos, Manuel Sierra Castañer, O. Moreno, D. Castellanos, Manuel Sierra Pérez

Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail : masa@gr.ssr.upm.es

Abstract- In the design process of array antennas, coupling is one of the most important elements to be counted. The real feeding radiated coefficients can be quite different from the theoretical ones because of this effect. In this paper, a compensation method is presented allowing matching each element from the array. All the parameters which are part of the coupling process are obtained through measurements. An application to linear patch array is presented as an example.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se presenta un método[1] para compensar el acoplamiento producido en un array lineal. Así mismo, se probará la validez del método con una aplicación simulada sobre un array lineal de parches microstrip alimentados por ranura y línea microstrip. Estos parches son estructuras con un alto valor de acoplamiento[2], sobre todo en disposición para polarización lineal.

II. CONCEPTO TEORICO DEL METODO

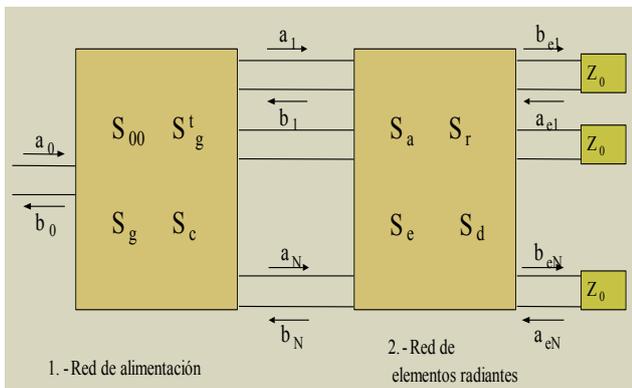


Fig. 1. Esquema general de array lineal

En Fig.1 se puede observar que el array de N elementos ha sido dividido en dos bloques, alimentación y red de elementos radiantes. Estos últimos pueden radiar en k modos independientes, pero supondremos que lo hacen solamente en uno dominante. La red de alimentación se puede caracterizar como una matriz de parámetros S de dimensión (N+1), cuyas partes se pasan a describir a continuación:

S_g es un vector de dimensión N que contiene el reparto en amplitud y fase de la red; S_c es una matriz de dimensión N que contempla el acoplo dentro de la red de alimentación. Finalmente, S_{00} representa el coeficiente de reflexión a la entrada de la red.

Esta red de alimentación se diseña para obtener el diagrama vertical del array, sin embargo, por efecto de los acoplos en la estructura, el vector S_g diseñado no es la alimentación que se radiará realmente.

Los vectores de dimensión N “a” y “b” caracterizan las ondas de potencia incidente y reflejadas a la entrada de los elementos radiantes. Así mismo los vectores “ a_e ” y “ b_e ”, de igual dimensión, representan los modos de recepción y radiación principales de los elementos. En nuestro caso trabajaremos en modo transmisión del array ($a_e=0$). Las impedancias Z_0 finales representan una carga ideal adaptada al espacio libre. En estas condiciones las ecuaciones de la estructura son:

$$a = S_g a_0 + S_c b \quad (1)$$

$$b_0 = S_{0,0} a_0 + S_g^t b \quad (2)$$

$$b = S_a a \quad (3)$$

$$b_e = S_e a \quad (4)$$

$$b_e = C_e S_g a_0 \quad (5)$$

$$C_e = S_e (I - S_c S_a)^{-1} \quad (6)$$

C_e es la matriz de acoplos general, la cual incluye el efecto de acoplos dentro de la red de alimentación (S_c), los acoplos entre puertos de los elementos radiantes (S_a), y los acoplos de radiación del modo principal (S_e). La excitación radiada por los elementos es b_e (ver Eq.5) y no la diseñada S_g . Visto de otra manera, la impedancia de cada uno de los elementos del array es muy diferente de la nominal, por lo que es necesario su reajuste para tener el diagrama vertical deseado.

El objetivo de este modelo es el diseño de una red de adaptación (Fig.2) que elimine la influencia de los acoplos de la red y entre puertos de los elementos (ver Eq.7). De esta manera, la única influencia será la de los acoplos por radiación (S_e), como se muestra en Eq.8.

$$S_c S_a S_e^{-1} b_e = 0 \quad (7)$$

$$S_g = S_e^{-1} b_e \quad (8)$$

Para alcanzar la condición de Eq.7 las matrices S_a y S_e se modifican por la presencia de la red de adaptación. Las nuevas matrices, S_{an} y S_{en} , representan la unión de los bloques 2 y 3 mostrados en Fig.2. En estas condiciones la nueva red equivalente verifica la condición de Eq.7 modificada (ver Eq.9):

$$S_{an} S_{en}^{-1} b_e = 0 \quad (9)$$

Así mismo, como imponemos que b_e tenga la distribución de radiación deseada, deberemos diseñar una nueva red de alimentación cuyo reparto corresponda a:

$$S_{gn} = S_{en}^{-1} b_e \quad (10)$$

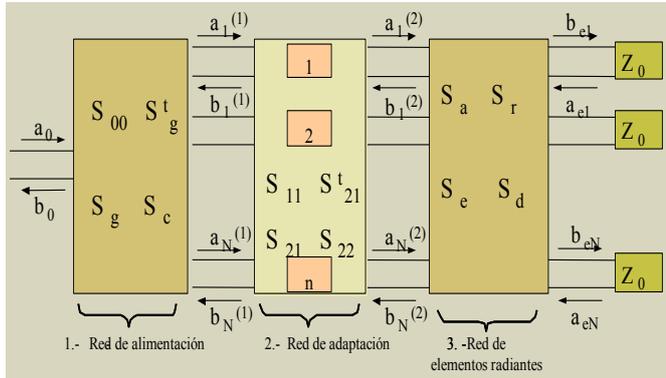


Fig. 2. Esquema general de array lineal con redes de adaptación individuales.

El bloque de adaptación está compuesto por N redes individuales que conectan separadamente las N puertas de la red de alimentación con cada elemento. La matriz de parámetros S global de adaptación se puede dividir en 4 partes, correspondientes a la reflexión o transmisión.

Si tenemos en cuenta que estas redes de adaptación serán sin pérdidas y, aplicando el principio de reciprocidad así como Eq.9, podemos obtener los parámetros S de cada red individual de adaptación como:

$$s_{22}^* = D \left[S_e^{-1} b_e \right] \left[S_a \left[S_e^{-1} b_e \right] \right] \quad (10)$$

$$s_{21} = \sqrt{(1 - |s_{22}|^2)} e^{j\phi} \quad (11)$$

$$s_{11} = -s_{22} e^{-2j\phi} \quad (12)$$

La función $D[x]$ hace referencia a una matriz diagonal cuyos elementos de la diagonal son el vector x. Como se puede observar en Eq.11 y 12, se deja como parámetro libre de diseño la fase del s_{21} .

De igual modo las nuevas matrices S_{an} y S_{en} toman las expresiones

$$S_{an} = S_{11} + S_{21}^t S_a (I - S_{22} S_a)^{-1} S_{21} \quad (13)$$

$$S_{en} = S_e (I - S_{22} S_a)^{-1} S_{21} \quad (14)$$

,donde S_{11} , S_{12} , S_{21} y S_{22} son las cuatro submatrices que conforman los parámetros S del bloque de redes de adaptación.

III. APLICACIÓN PRÁCTICA

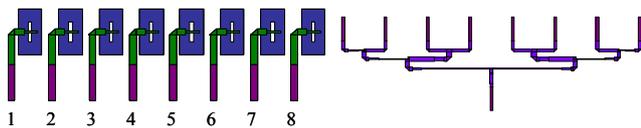


Fig. 3. Elementos radiantes y red de distribución.

Para aplicar la teoría expuesta anteriormente se ha simulado un array de parches microstrip como el mostrado en Fig.3. La banda de funcionamiento se encuentra en 3.4-3.6 GHz. Como herramienta de simulación se ha utilizado ENSEMBLE 5.1. El reparto teórico que se persigue es una distribución de $[-6 \ -3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -3 \ -6]$ (dB), con una respuesta equifase en todos los elementos. Esto produce un diagrama vertical como el mostrado en la Fig.4, y que cumple con la especificación de -20 dB de SLL.

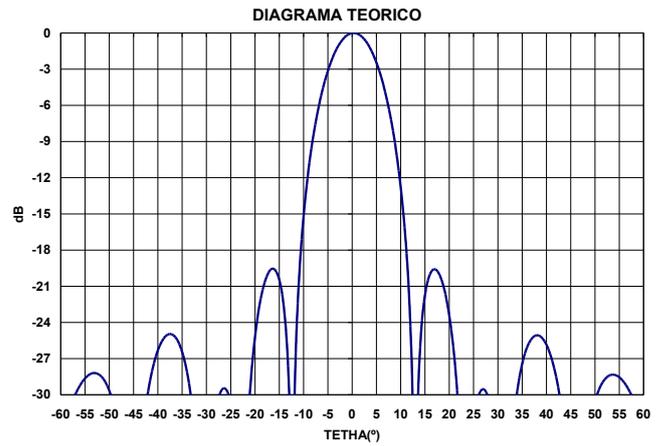


Fig. 4. Diagrama vertical teórico del array.

La red de alimentación se ha diseñado para que el vector S_g tenga la distribución de amplitud y fase teórica antes mencionada. Efectivamente esta red de alimentación tiene acoplos entre sus líneas, por ello $S_c \neq 0$. Para realizar el cálculo de las matrices de acoplos de los elementos S_a y S_e , alimentamos las puertas de los elementos mostrados en Fig.3 con generadores ideales adaptados a Z_0 . En estas condiciones S_a se obtiene mediante la red de parámetros S del conjunto de los ocho parches, mientras que para S_e lo que hacemos es alimentar con amplitud 1 y fase 0 uno de los 8 parches, cargando los otros 7. Así obtenemos la radiación generada en todos los elementos. Sin más que repetir esta operación para los otros 7 parches, generamos la matriz S_e . Al ver la radiación de los parches se observa un modo dominante con polarización según la dirección establecida por el lado más estrecho del parche.

El primer efecto que se aprecia por desacoplo global (S_c, S_a y S_e) se recoge en Fig.5, donde se muestra la fuerte desadaptación de los parches al introducirse en la estructura del array.

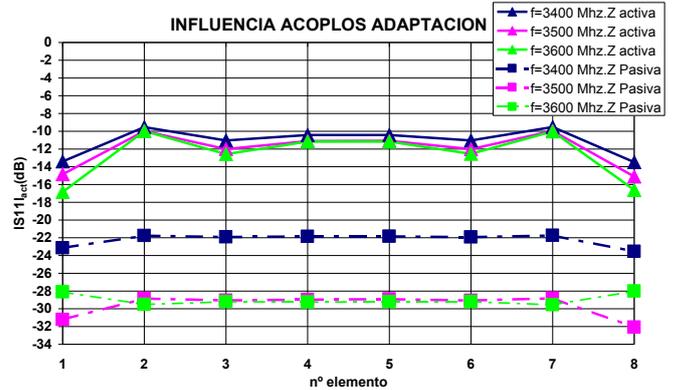


Fig. 5. Influencia del acoplo global en adaptación parches.

La reflexión activa en cada elemento se ha calculado mediante la expresión:

$$S_{act} = \frac{(b_i)}{(a_i)} = \left[\frac{S_a (I - S_c S_a)^{-1} S_g}{(I - S_c S_a)^{-1} S_g} \right]_i \quad (15)$$

En Fig.6 y 7 se puede ver la degradación en el reparto de amplitud y fase, más acusado en ésta última. En este tipo de configuraciones de parches [2], sobre todo cuando se disponen según polarización lineal vertical, el acoplo entre elementos contiguos del array es bastante significativo, alcanzado un valor de 15 dB. La desadaptación que ello

conlleva hace que el coeficiente de reflexión de entrada del array empeore notablemente.

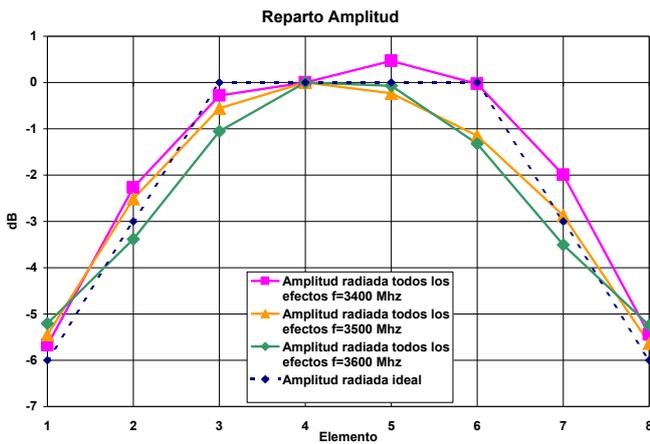


Fig. 6. Reparto amplitud array con influencia acoplos

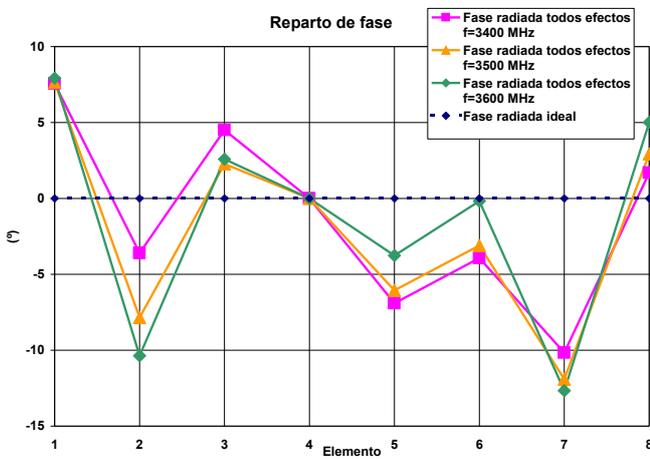


Fig. 7. Reparto fase array con influencia acoplos

Este reparto se traduce en la variación de diagramas que muestra Fig.8, y que produce una elevación del primer lóbulo secundario por encima de los -20 dB que se pretenden tener.

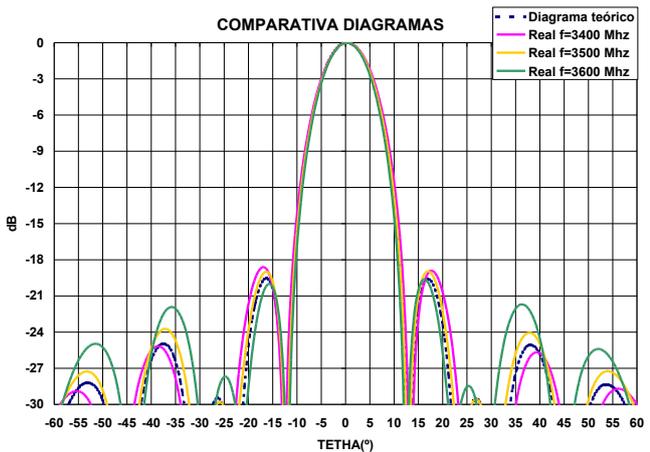


Fig. 8. Variación diagrama vertical por influencia de acoplos.

Siguiendo las pautas marcadas en el apartado teórico, se han obtenido los parámetros S de las redes adaptadoras individuales. Al ser un reparto simétrico en amplitud y fase, en realidad sólo son necesarias 4 redes. Partiendo de una estructura real (Fig.9), y a través de un proceso de optimización, se han generado dichas redes de adaptación de

manera física. Como la fase del s_{21} es un parámetro libre, ésta se ha supuesto o lineal.

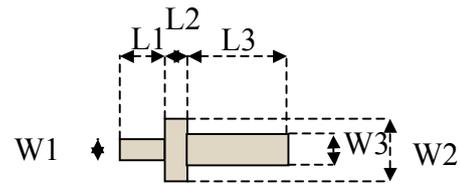


Fig. 9. Redes de adaptación individuales.

Estas redes de adaptación hacen que el reparto de amplitud y fase radiado sea igual al ideal, y de igual manera, consiguen que la adaptación activa de los parches dentro del array sea perfecta. En Fig.10 se observa el coeficiente de reflexión del array antes y después de la introducción de las redes de adaptación. Realmente la reflexión adaptada corresponde al coeficiente de reflexión de la red de alimentación con cargas ideales en sus puertas, ya que, ahora los parches son vistos de esta manera por la red de distribución.

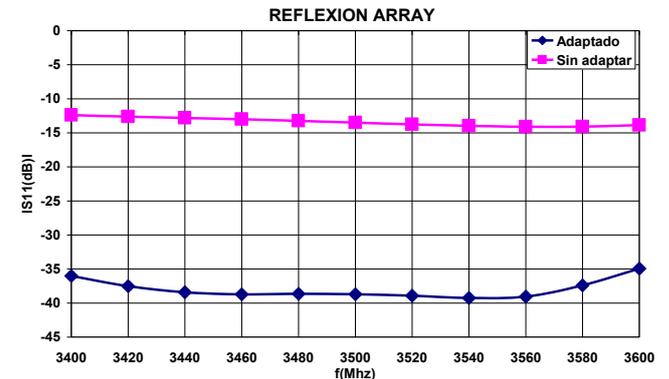


Fig. 10. Coeficiente reflexión de array adaptado/sin adaptar.

A continuación se presenta a modo ilustrativo una comparativa de los parámetros S calculados y reales de la red de adaptación de los elementos 1 y 8.

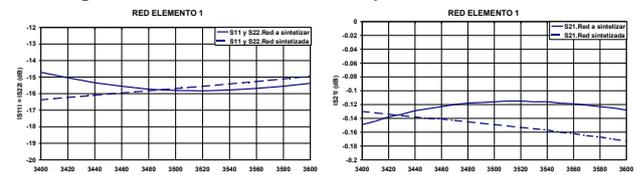


Fig. 11a

Fig. 11b

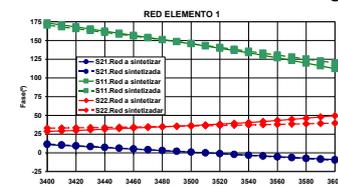


Fig. 11c

Fig. 11. Red de adaptación elemento 1 y 8. a) $|s_{11}|=|s_{22}|$ b) $|s_{12}|=|s_{21}|$

c) Fases

Finalmente, al calcular la red de distribución que habría que diseñar para que se cumpliera la igualdad (9), es decir, S_{gn} , arroja un resultado que es prácticamente igual a S_g . Por lo tanto, con la misma red de distribución original, pero incluyendo las secciones adaptadoras calculadas, somos capaces de compensar los acoplos que se producen en el sistema global. En este punto es importante la pericia del diseñador a la hora de obtener dicha red, ya que, las derivas sobre S_{gn} deben ser las menores posibles.

Como comprobación final de que el proceso de compensación de acoplos es efectivo, se ha calculado mediante la expresión (15) la nueva impedancia activa que tienen cada uno de los parches dentro del array. En este caso las matrices S_e, S_a y S_g deben sustituirse por S_{en}, S_{an} y S_{gn} , obteniéndose una reflexión activa de los parches de -350 dB, es decir, una carga perfecta.

IV. CONCLUSIONES

La compensación de acoplos en un array puede realizarse mediante la utilización de redes de adaptación individuales, las cuales compensan la influencia de los distintos acoplos producidos en la estructura. Se consigue con ello, realizar una adaptación activa de los elementos del array, consiguiendo la radiación del diagrama vertical deseada. Un punto importante está en la elección de la estructura física que permita sintetizar las redes adaptadoras. En este caso se ha escogido una estructura muy simple. En futuras implementaciones se probarán configuraciones más óptimas.

Se ha mostrado una aplicación práctica del método de compensación expuesto, y en estos momentos se está llevando a cabo su implementación real en un prototipo igual al descrito en las simulaciones, donde se medirán todos los elementos que influyen en el acoplo y se corroborarán los resultados obtenidos en las simulaciones.

REFERENCIAS

- [1] Manuel Sierra-Perez et al. Coupling Model In Array Antennas And Its Application To Array Design. Mediterranean Microwave Symposium 2002. Caceres. Spain. June 2002.
- [2] J.R. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook. Artech House Inc. 1994.