

ANTEN MẢNG PHẢN XẠ 2 BIT CHO TRUYỀN THÔNG VỆ TINH

Hoàng Phúc Định, Nguyễn Bình Dương

Trường Đại học Quốc Tế, ĐHQG-HCM;

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu một loại anten mảng phản xạ mới cho phép điều khiển hướng bức xạ thông qua việc điều khiển trạng thái ON/OFF của phần tử chuyển mạch. Anten mảng phản xạ được cấu tạo bởi các phần tử phản xạ cho phép điều khiển pha thông qua điều khiển độ dài 2 dây vi dải. Phần tử phản xạ được tối ưu để trở thành phần tử 2 bit, cung cấp 4 trạng thái pha với bước pha là 90° tại tần số 12 GHz chỉ với 2 phần tử chuyển mạch. Kết quả mô phỏng cho thấy pha phản xạ khá tuyến tính với tổn hao thấp. Mẫu anten mảng phản xạ được chế tạo để kiểm chứng tính toán lý thuyết. Kết quả đo đạc chứng minh anten mảng phản xạ cho phép thay đổi hướng bức xạ với việc thay đổi trạng thái ON/OFF của phần tử chuyển mạch.

Keywords: Anten mảng phản xạ; phần tử phản xạ; anten có độ lợi cao; anten điều khiển hướng bức xạ; anten cho vệ tinh.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Anten có độ lợi cao (high gain) là một thiết bị quan trọng trong các hệ thống thông tin liên lạc vệ tinh và hệ thống Radar với mục tiêu tập trung năng lượng vào hướng mong muốn. Trong đó, anten mảng phản xạ với công nghệ vi dải hiện nay đang là một trong những lựa chọn tốt nhất cho hệ thống thông tin liên lạc vệ tinh và hệ thống Radar do có những ưu điểm: có thể cung cấp độ lợi cao, gọn, nhẹ, tổn hao thấp. Khác với anten gương cầu (parabolic antenna) cổ điển, anten mảng phản xạ có cấu trúc phẳng và được cấu tạo bởi mảng các phần tử anten vi dải được cung cấp năng lượng bởi

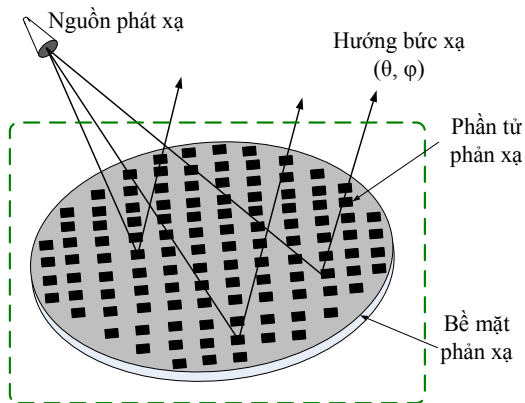
nguồn phát xạ đặt tại tiêu cự. Nguyên lý hoạt động anten mảng phản xạ dựa vào khả năng bù pha của các phần tử anten mảng phản xạ (hay phần tử phản xạ) với mục tiêu bù vào sự lệch pha giữa các phần tử do quãng đường đi khác nhau từ nguồn phát đến các phần tử anten phản xạ. Với việc sử dụng công nghệ vi dải, anten thấu kính phẳng có khả năng cho phép các linh kiện điện tử như varactor, RF-MEMS, PIN diode tích hợp vào phần tử anten để thay đổi pha của phần tử phản xạ nhằm thay đổi hướng bức xạ. Đây là một ưu điểm rất lớn của anten mảng phản xạ. Hiện nay, anten mảng phản xạ với khả năng thay đổi hướng bức xạ bằng điện tử đang được đầu tư nghiên cứu để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của truyền thông vệ tinh trong môi trường di động: radio, TV vệ tinh, internet băng thông rộng qua vệ tinh.... sử dụng trong môi trường di động như tàu thủy, ô tô, xe lửa, máy bay.... Anten cho các ứng dụng này đòi hỏi phải nhỏ, gọn dễ dàng lắp đặt trên các phương tiện di động và phải có khả năng thay đổi hướng bức xạ tự động để đảm bảo được đường truyền trong quá trình di động [1]. Mặt khác, điều khiển hướng bức xạ bằng điện tử có nhiều ưu điểm so với điều khiển hướng bức xạ bằng cơ khí như cho phép thay đổi hướng bức xạ với tốc độ cao, không bị rung và không cần bảo dưỡng thường xuyên.

Đối với anten mảng phản xạ cho phép điều khiển hướng bức xạ bằng điện tử đã có một số công trình nghiên cứu [2]-[6]. Các linh kiện có thể được gắn trên bề mặt phần tử phản xạ hoặc gắn phía sau phần tử bức xạ. Việc linh kiện được gắn trên bề mặt có ưu điểm là cấu trúc đơn giản, nhưng có nhược điểm là cần không gian cho việc thiết kế dây dẫn điện cung cấp cho linh kiện. Với cấu trúc phần tử phản xạ như trình bày trong [4]-[6], pha phản xạ thay đổi theo chiều dài dây vi dải. Linh kiện điện tử được gắn vào dây vi dải để điều khiển pha phản xạ thông qua việc điều khiển điện áp đầu vào linh kiện. Ưu

Tác giả liên lạc: Nguyen Binh Duong,
email:nbduong@hcmiu.edu.vn;
Đến tòa soạn: 05/1/2017,
chỉnh sửa: 20/1/2017, chấp nhận đăng: 09/3/2017
Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Quốc Gia TP.HCM (VNU-HCM) có mã số 138/QĐ-ĐHQG-KHCN.

điểm lớn của cấu trúc này là linh kiện điện tử không nằm cùng mặt phẳng phản xạ, và được cách ly với phần tử phản xạ. Do đó, cấu trúc này cho phép tạo nhiều không gian cho việc thiết kế hệ thống cấp điện điều khiển linh kiện và hệ thống cấp điện này hoàn toàn không tác động đến bức xạ của anten. Mặc dù vậy, cấu trúc phần tử phản xạ như được trình bày tại [4]-[6] chỉ cho phép điều khiển pha với 1 dây vi dải. Vì thế với N phần chuyển mạch sẽ chỉ cho phép $N+1$ bước pha.

Trong thời gian gần đây, một loại phần tử có cấu trúc dựa trên cảm ứng điện từ từ phần tử phát xạ hình chữ C với 2 dây vi dải thông qua khe hở hình vành khuyên đang được nghiên cứu [7]. Với loại phần tử này, pha phản xạ được điều khiển độc lập bởi 2 dây vi dải.

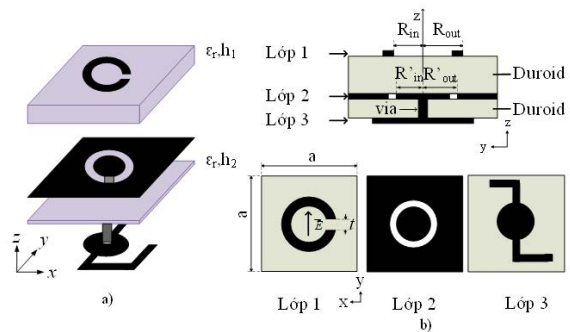


Hình 1. Cấu trúc anten mảng phản xạ

Nhờ vào đặc điểm đó, phần tử loại này có thể tạo ra nhiều bước pha hơn so với các nghiên cứu [4]-[6] với cùng số lượng linh kiện điện tử như chứng minh trong [8]. Trong nội dung bài báo, kế thừa kết quả đã đạt được trong [8], chúng tôi sử dụng phần tử phản xạ hình chữ C để thiết kế anten mảng phản xạ làm việc tại tần số trung tâm 12 GHz. Phần tử phản xạ sẽ cung cấp 4 trạng thái pha phản xạ với bước pha là 90° (2 bit) chỉ với 2 phần tử chuyển mạch. Một mẫu anten mảng phản xạ được thiết kế, chế tạo và đo đạc để kiểm chứng khả năng, ưu điểm của phần tử phản xạ trong điều khiển hướng bức xạ thông qua việc điều khiển trạng thái ON/OFF của phần tử chuyển mạch.

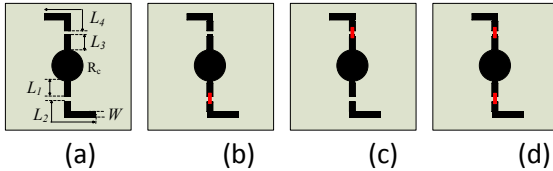
II. CẤU TRÚC PHẦN TỬ PHẢN XẠ CHO ANTEN MẢNG PHẢN XẠ

Hình 2 trình bày cấu trúc phần tử phản xạ cho anten mảng phản xạ. Phần tử phản xạ được cấu tạo từ 2 tấm vật liệu Duroid có cùng điện môi xếp chồng lên nhau, có kích thước lần lượt $h_1 = 3.175$ mm và $h_2 = 0.787$ mm. Một anten vi dải hình chữ C nằm trên bề mặt của bản mặt vật liệu thứ nhất, một khe hở hình vành khuyên nằm tại lớp chung giữa bản mạch. Ở dưới bản mạch thứ 2 là một hình tròn nổi với 1 dây vi dải. Dây vi dải và anten chữ C trao đổi năng lượng qua khe vành khuyên.



Hình 2. Cấu trúc phần tử phản xạ

Như đã trình bày trong [8], pha phản xạ được điều khiển thông qua điều khiển độ dài dây 2 vi dải. Chính vì thế các linh kiện điện tử chuyển mạch như PIN diode, RF-MEMS có thể tích hợp tích trên cả 2 dây vi dải để điều khiển pha theo trạng thái ON/OFF của linh kiện. Điều này là cơ sở để chúng tôi thiết kế phần tử phản xạ 2-bit cung cấp 4 trạng thái pha tương ứng là 0° , 90° , 180° , 270° . Hình 3 thể hiện phần tử phản xạ tương ứng với 4 trạng thái pha với việc sử dụng 2 linh kiện điện tử chuyển mạch. Các dây vi dải được chia thành 2 đoạn tách rời nhau. Các linh kiện điện tử chuyển mạch sẽ được gắn vào giữa 2 đoạn. Khi linh kiện ở trạng thái OFF, 2 đoạn vi dải sẽ tách rời nhau. Trong trường hợp linh kiện ở trạng thái ON, 2 đoạn dây sẽ được nối với nhau. Việc thay đổi ON/OFF của 2 linh kiện sẽ tạo ra 4 khả năng kết hợp 2 dây vi dải, tương ứng với 4 trạng thái pha. Kích thước của phần tử phản xạ được trình bày trong Bảng I. Phần tử phản xạ được thiết kế với tần số làm việc trung tâm là 12 GHz.

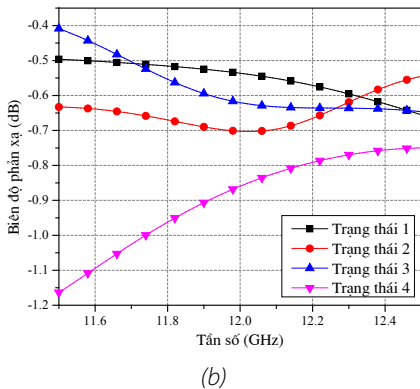
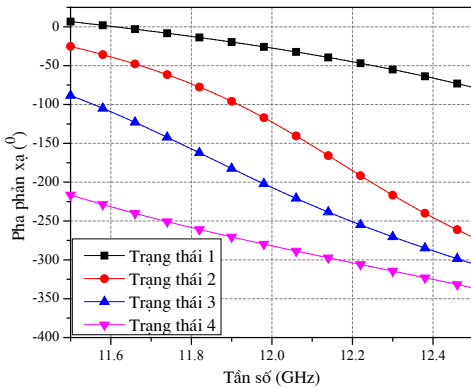


Hình 3. Bốn trạng thái pha phản xạ của phần tử

a) Trạng thái 1 (00); b) Trạng thái 2 (01);
c) Trạng thái 3 (10); d) Trạng thái 4 (11)

Bảng 1. Thông số kích thước của phần tử phản xạ

Khoảng cách 2 phần tử (mm)	$a = 18$
Phần tử chữ C (mm)	$R_{out} = 4.6, R_{in} = 2.5, t = 1.0$
Khe hở vành khuyên (mm)	$R'_{out} = 3.8, R'_{in} = 3.5$
Tấm tròn (mm)	$R_c = 1.5$
Bản mạch 1 (mm)	$h_1 = 3.175$ $\epsilon_r = 2.2, \tan\delta = 0.0009$
Bản mạch 2 (mm)	$h_2 = 0.787$ $\epsilon_r = 2.2, \tan\delta = 0.0009$
Dây vi dải (mm)	$W = 1$ $L_1 = 3.2; L_2 = 5.7$ $L_3 = 2.7; L_4 = 6.5$



Hình 4. Kết quả mô phỏng của phần tử phản xạ ở dải tần (11.5-12.5 GHz); (a) pha phản xạ; (b) biên độ phản xạ

Phần tử phản xạ được phân tích và tối ưu thông qua phần mềm mô phỏng HFSS của ANSYS. Trong thiết kế, phần tử không mô phỏng tách rời từng phần tử mà phải được mô phỏng trong 1 mảng các phần tử phản xạ. Điều này cho phép phần tử được phân tích toàn diện với ảnh hưởng của của các phần tử bên cạnh.

Hình 4 thể hiện pha phản xạ và tổn hao của phần tử phản xạ tương ứng với 4 trạng thái pha đã được tối ưu như trình bày trong bảng 1. Kết quả mô phỏng cho thấy pha phản xạ của các trạng thái kề nhau khác nhau 90° tại tần số làm việc trung tâm 12 GHz. Sự sai lệch 90° về pha không còn giữ được tại các tần số xa tần số trung tâm. Điều này được giải thích do sự không tuyến tính về pha của phần tử phản xạ đặc biệt là tại các trường hợp độ dài dây vi dải mất đối xứng lớn như trạng thái (1,0) và (0,1). Tổn hao của phần tử thấp hơn 0.8 dB cho toàn dải tần từ 11.5 GHz-12.5 GHz. Tổn hao này gây ra bởi tổn hao vật liệu, tổn hao do dây vi dải bức xạ ra ngoài không gian.

III. THIẾT KẾ ANTEN MẢNG PHẢN XẠ

Sau khi phần tử phản xạ được tối ưu, các phần tử được kết hợp với nhau để tạo thành Anten mảng phản xạ. Một Anten mảng phản xạ với 8×12 phần tử phản xạ được thiết kế, chế tạo và đo đạc nhằm đánh giá khả năng làm việc của phần tử phản xạ. Hình 5 thể hiện mẫu thử nghiệm Anten mảng phản xạ. Nguồn phát xạ là Anten loa được đặt tại tọa độ $x_f = -54$ mm, $y_f = 0$ mm, $z_f = 200$ mm, lệch so với tâm của bề mặt phản xạ một góc $\theta = -15^\circ$ để giảm sự che chắn sóng phản xạ. Độ lệch so với phương vuông góc $\theta = -15^\circ$ để phân biệt với hướng bức xạ $\theta = 15^\circ$ của Anten được thiết kế trong nội dung tiếp theo.

Nguyên lý hoạt động của Anten mảng phản xạ dựa trên cơ chế bù pha, để năng lượng tập trung vào hướng bức xạ (θ, ϕ) , pha phản xạ tại các phần tử phản xạ phải thỏa mãn công thức (1).

Trong đó: x_i, y_i là tọa độ của phần tử thứ i , x_f, y_f, z_f là tọa độ của nguồn phát xạ, $\phi(x_i, y_i)$ là pha phải xạ tại phần tử i có tọa độ x_i, y_i .

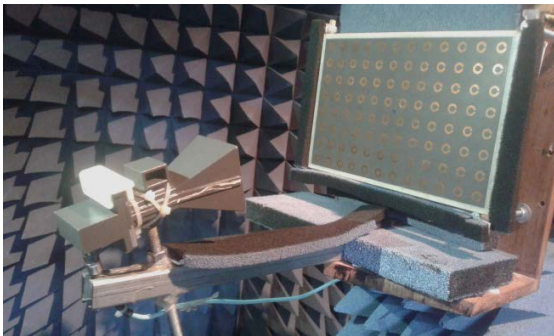
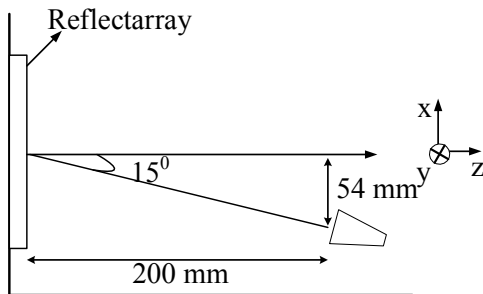
Như đã trình bày bên trên, anten mảng phản xạ của chúng tôi được cấu tạo bởi các phần tử phản xạ cung cấp 4 giá trị pha phản xạ tương ứng với 0° , 90° , 180° và 270° . Chính vì thế, pha phản xạ ψ của phần tử i tính từ công thức (1) sẽ được lượng tử hóa như sau:

$\psi(x_p, y_i) = 0^\circ$ nếu $-45^\circ < \varphi(x_p, y_i)$ tính bởi (1) $\leq 45^\circ$

$\psi(x_p, y_i) = 90^\circ$ nếu $45^\circ < \varphi(x_p, y_i)$ tính bởi (1) $\leq 135^\circ$

$\psi(x_p, y_i) = 180^\circ$ nếu $135^\circ < \varphi(x_p, y_i)$ tính bởi (1) $\leq 225^\circ$

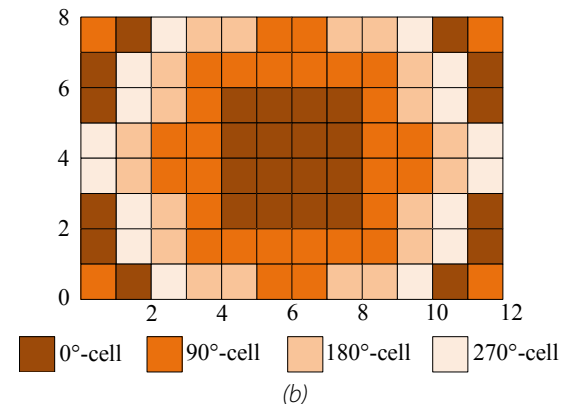
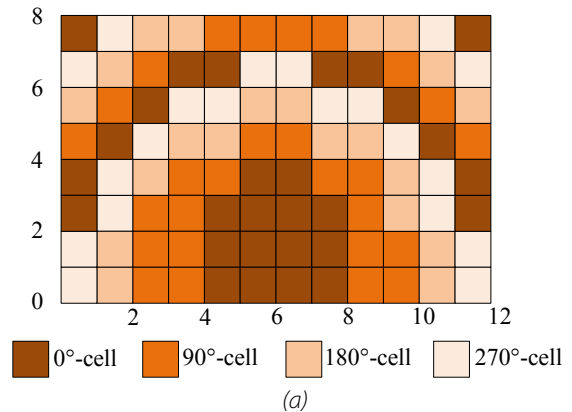
$\psi(x_p, y_i) = 270^\circ$ nếu $225^\circ < \varphi(x_p, y_i)$ tính bởi (1) $\leq 315^\circ$



Hình 5. Mẫu thử nghiệm anten mảng phản xạ

Mẫu thử nghiệm anten mảng phản xạ được thiết kế để kiểm chứng đặc tính phần tử phản xạ cũng như khả năng thay đổi hướng bức xạ. Trong mẫu anten thử nghiệm này, linh kiện điện tử chuyển mạch là linh kiện lý tưởng với việc sử dụng dây dẫn kim loại. Dây dẫn kim loại sẽ kết nối 2 đoạn dây vi dải tương ứng với trạng thái ON của linh kiện và sẽ được tháo ra trong trường hợp linh kiện ở trạng thái OFF. Để kết nối 2 đoạn dây vi dải, dây dẫn kim loại được hàn vào 2 đầu của 2 đoạn vi dải. Kết nối được kiểm tra bằng máy đo điện trở để đảm bảo tiếp xúc tốt. Để kiểm tra khả năng thay đổi hướng bức xạ, anten mảng phản xạ được thiết kế

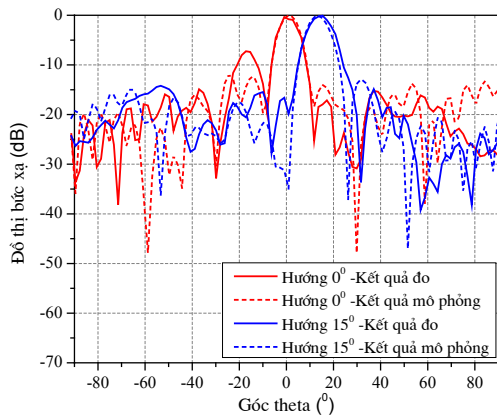
cho hướng bức xạ vuông góc với mặt phản phản xạ ($\theta=0, \phi=0$) và hướng bức xạ có độ lệch 15° so với phương vuông góc ($\theta=15, \phi=0$). Với 1 mẫu anten mảng phản xạ thử nghiệm, để thay đổi pha của các phần tử, chúng tôi thay đổi về pha của phần tử phản xạ trong từng trường hợp với sự thay đổi kết nối 2 đoạn của dây vi dải để nhận được các pha phản xạ tương ứng. Sắp xếp về pha của các phần tử phản xạ được thể hiện như hình 6.



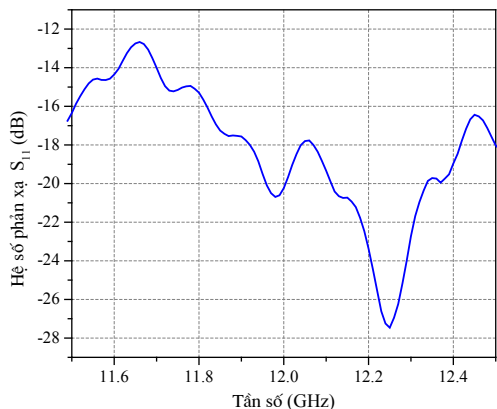
Hình 6. Sắp xếp các phần tử để có các hướng bức xạ khác nhau
(a) hướng bức xạ 0° ; (b) Hướng bức xạ 15° .

Hình 7 trình bày đồ thị bức xạ của anten mảng phản xạ được đo đạc thực tế. Đồ thị bức xạ được đo trong phòng đo cung cấp bởi công ty NSI (NearField System Inc.), dựa trên việc đo trường gần và chuyển đổi qua trường xa. Anten mảng là AUT (antenna under test) được di chuyển theo góc phi và theta với góc quay 360° . Chính vì thế, bức xạ của anten theo tất cả các hướng đều được đo đạc. Trong đồ thị bức xạ chúng tôi trình bày hướng bức xạ theo góc quay theta. Anten thể hiện rõ hướng

bức xạ đã được thay đổi trong 2 trường hợp, hoàn toàn phù hợp so với tính toán lý thuyết. Với trường hợp thứ nhất pha của các phần tử được tính toán để năng lượng vào hướng có $\theta=0^\circ$, trường hợp thứ 2 hướng bức xạ có $\theta=15^\circ$. Đối chiếu với kết quả đo đạc, hướng tập trung năng lượng bị lệch khoảng $0.5^\circ-1^\circ$ so với tính toán lý thuyết.



Hình 7. Đồ thị bức xạ của anten mảng phản xạ được đo đạc thực tế



Hình 8. Hệ số phản xạ của anten mảng phản xạ đo từ anten loa

Độ lợi (gain) của anten mảng phản xạ đo đạc được trong 2 trường hợp của hướng bức xạ là tương đương. Độ lợi đo được vào khoảng 19.5dB.

Hệ số phản xạ của cả hệ thống anten mảng phản xạ bao gồm mảng phản xạ với anten loa và được đo từ anten loa được thể hiện trong hình 8. Kết quả cho thấy rằng hệ số phản xạ là rất tốt, hệ số phản xạ

luôn nhỏ hơn -12dB trong cả dải tần từ 11.5 GHz-12.5 GHz và điểm tốt nhất vào khoảng -27.5 dB đo được tại tần số 12.25 GHz.

IV. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày anten mảng phản xạ cho phép điều khiển hướng bức xạ thông qua điều khiển ON/OFF của phần tử chuyển mạch. Cấu trúc phần tử phản xạ sử dụng cho anten mảng phản xạ thể hiện ưu điểm khi cho phép tích hợp với 2 thiết bị chuyển mạch để cung cấp 4 trạng thái pha (2-bit). Kết quả đo đạc mẫu thử nghiệm khẳng định tính đúng đắn của lý thuyết cũng như ưu điểm của loại phần tử phản xạ đề xuất. Anten mảng phản xạ đã chứng minh việc thay đổi hướng bức xạ với việc điều khiển độ dài 2 dây vi dải thông qua sử dụng dây kim loại. Điều này là cơ sở quan trọng cho chúng tôi phát triển anten cho phép điều khiển hướng bức xạ bằng điện tử khi tích hợp các linh kiện chuyển mạch điện tử vào các phần tử phản xạ.

Tài liệu tham khảo

- [1] R. Vincenti Gatti, R. Sorrentino, V. Schena, and G. Losquadro, "Flat-profile active scanning antenna for satellite terminals in Ku-band operating on new fast trains generation," *Proceedings of the 28th ESA Antenna Workshop on Satellite Antenna Technology (ESTEC'05)*, 2005, Noordwijk, Netherlands.
- [2] O. G. Vendik and M. Parnes: 'A phase shifter with one tunable component for a reflectarray antenna', *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 50, no.4, pp. 53–65, Aug 2008.
- [3] H. Kamoda, T. Iwasaki, J. Tsumochi, T. Kuki and O.Hashimoto, "60-GHz electronically reconfigurable large reflectarray using single-bit phase shifters," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.59, no.7, pp.2524–2531, 2011.
- [4] E. Carrasco, M. Barba, and J. A. Encinar, "X-band reflectarray antenna with switching-beam using pin diodes and gathered elements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 12, pp. 5700-5708, Dec. 2012.

- [5] O. Bayraktar, O. A. Civi, and T. Akin, "Beam switching reflectarray monolithically integrated with RF MEMS switches," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, No. 2, pp. 854-862, Feb. 2012.
- [6] E. Carrasco, M. Barba, B. Reig, C. Dieppedale, and J. A. Encinar, "Characterization of a reflectarray gathered element with electronic control using ohmic RF-MEMS and patches aperture-coupled to a delay line," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 9, pp. 4190-4201, Sep. 2012.
- [7] B.D. Nguyen, K. T. Pham, V.-S. Tran, L. Mai and N. Yonemoto, "Reflectarray Element Using Cut-Ring Patch Coupled to Delay Line", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol.14, No.2, pp.571-574, Feb. 2015.
- [8] B.D. Nguyen, Van-Su Tran, Linh Mai and Phuc Dinh Hoang, "A Two-Bit Reflectarray Element Using Cut-Ring Patch Coupled to Delay Lines", *REV Journal on Electronics and Communications*, Vol. 6, pp.30-34, No. 1-2 (Jan-Jun, 2016).

TWO-BIT REFLECTARRAY ANTENNA FOR SATELLITE COMMUNICATON

Abstract: The paper presents a new reflectarray antenna which allows the main beam to be controlled through ON/OFF state of the switching. The reflectarray antenna composes of reflectarray elements which provide the capability of controlling the reflection phase via changing the length of two delay lines. The element is optimized to become a 2-bit reflectarray element, which provides four states of the reflection phase with a step of 90°

at 12 GHz, using two switches. Simulated results show a good linearity of the phase curves and low magnitude loss. A prototype of antenna has been fabricated. Measured results show good capability of changing the main beam direction according to ON/OFF state of the switches.

Key words: Reflectarray antenna; reflectarray element; high gain antenna; beam scanning antenna; antenna for satellites.



Hoàng Phúc Định tốt nghiệp đại học tại trường đại học Quốc Tế, ĐHQG-HCM năm 2012. Hiện nay là học viên cao học trường đại học Quốc Tế, ĐHQG-HCM. Từ 2012 đến 5/2016 là nghiên cứu viên tại trung tâm nghiên cứu Integrated Circuit Design Research and Education Center (ICDREC). Từ 11/2016 đến hiện tại là kỹ sư thiết kế phần cứng trung tâm nghiên cứu thiết bị thông minh Viettel Smart Device. Lĩnh vực quan tâm: Thiết kế anten, anten mảng phân xạ, thiết kế RF Front-End.

Hoàng Phúc Định,
Email: hpddinh111989@gmail.com,



Nguyễn Bình Dương tốt nghiệp đại học Bách Khoa TP.Hồ Chí Minh năm 2000, tốt nghiệp Thạc sĩ năm 2001 và Tiến sĩ năm 2005 tại Đại học Nice Sophia-Antipolis, Cộng hòa Pháp. Hiện nay đang là giảng viên khoa Điện tử-Viễn thông trường đại học Quốc Tế, ĐHQG-HCM. Lĩnh vực quan tâm: Thiết kế anten có độ lợi cao, anten mảng, anten mảng phân xạ, thấu kính phẳng cho các thiết bị Radar và viễn thông.

Nguyễn Bình Dương,
Email: nbduong@hcmiu.edu.vn