THIẾT KẾ ANTEN ĐIỀU HƯỚNG CHO HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ

DESIGN OF BEAM STEERING ANTENNA FOR INDOOR POSITIONING SYSTEMS

Bùi Thị Duyên

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 23/11/2019, Ngày chấp nhận đăng: 24/04/2020, Phản biện: TS. Dương Thị Thanh Tú

Tóm tắt:

Anten điều hướng tại tần số trung tâm 2,4 GHz được trình bày trong bài báo này. Anten điều hướng sử dụng ma trận Butler 4×4 cấu trúc phẳng, tạo thành các bộ dịch pha $\pm 135^{\circ}$ và $\pm 45^{\circ}$, từ đó hình thành bốn búp sóng chính cho anten. Thiết kế đề xuất được mô tả đầy đủ bởi các khối như mảng anten, ma trận Butler tạo thành anten điều hướng hoàn thiện. Anten điều hướng đề xuất có độ rộng búp sóng hẹp theo phương quét từ 21,5° đến 24,5°, độ rộng búp sóng theo phương dọc ~90°. Các hướng búp sóng chính của anten điều hướng từ –37°, –12°, 12° tới 36° theo phương ngang. Thiết kế đã được mô phỏng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm CST.

Từ khóa:

Anten điều hướng, ma trận Butler, anten dẫn xạ, dấu vân tay.

Abstract:

A 2.4 GHz beam steering antenna array is presented in this paper. This antenna uses the 4x4 planar Butler matrix as a key component of phase-shifter which exhibits $\pm 135^{\circ}$ and $\pm 45^{\circ}$ phase shifts corresponding with four position of main beams. The proposed design is fully described, from the element blocks (antenna element, butler matrix) to the full integrated beam steering antenna array. The proposed antenna has the $21,5^{\circ} \div 24,5^{\circ}$ of beam-width in horizontal and ~90° of beam-width in vertical. The main beam of this antenna can steer from -37° , -12° , 12° to 37° in horizontal. The design has been simulated based on finite element method in CST software.

Keywords:

Beam steering antenna, Butler matrix, Yagi antenna, Fingerprinting.

1. MỞ ĐẦU

Anten điều hướng là phần tử quan trọng trong các hệ thống truyền thông không dây hiện đại, thường được áp dụng trong hệ thống ra đa, vệ tinh hay hệ thống định vị vô tuyến [1]. Kỹ thuật mảng pha thường được sử dụng để điều hướng búp sóng chính của anten mảng, dựa trên sự lệch pha của nguồn cấp cho từng phần tử trong mảng. Ma trận Butler là bộ dịch pha hữu hiệu mang lại nhiều thuận lợi cho thiết kế anten điều hướng như: dễ chế tạo, dễ tích hợp, hiệu suất cao, giá thành thấp... Các anten điều hướng (AĐH) sử dụng ma trận dịch pha Butler được trình bày trong các bài báo như [2-6]. Bên cạnh những ưu điểm các công bố [2-5], tồn tại hạn chế chính là độ rộng búp sóng còn lớn từ 25° đến 40°. [6] có độ rộng búp sóng theo phương quét hẹp từ 20° đến 27°, tuy nhiên độ rộng búp theo phương trực giao quá rông 240° làm tăng hiên tương đa đường do phản xạ từ tường hay sàn nhà. Trong bài báo này trình bày thiết kế anten điều hướng mảng pha sử dung anten phần tử dẫn xạ tích hợp với bộ dịch pha Butler 4×4 phẳng. Các búp sóng chính được hình thành có độ rộng theo phương quét hẹp giúp tăng độ chính xác của hệ định vị, bên cạnh đó độ rộng búp sóng theo phương trưc giao không quá lớn đat xấp xỉ 90° giúp giảm hiện tượng đa đường do hạn chế các tín hiệu phản xạ từ tường, trần hay sàn nhà trong hệ thống định vị vô tuyến trong nhà.

2. THIẾT KẾ ANTEN ĐIỀU HƯỚNG

Thiết kế anten dẫn xạ phần tử

Anten phần tử dẫn xạ được lựa chọn bởi có đồ thị bức xạ hình dải quạt, độ rộng

búp sóng theo một phương hẹp giúp cho búp sóng tổng của AĐH theo phương quét hẹp làm tăng độ chính xác cho hệ định vị. Bên cạnh đó, có thể dễ dàng điều chỉnh độ rộng búp sóng theo phương trực giao dựa trên số lượng chấn tử dẫn xạ sử dụng. Với cánh bức xa chủ đông được thiết kế uốn cong đảm bảo tính chất nửa bước sóng, giảm kích thước theo chiều ngang, bên cạnh đó giúp tăng độ định hướng theo phương trực giao với cánh bức xạ. Để tăng thêm độ định hướng, các chấn tử dẫn xạ được thêm vào song song với cánh bức xạ như hình 1 tạo thành anten lưỡng cực dẫn xạ mạch in. Khoảng cách giữa các chấn tử dẫn xạ và cánh bức xạ thường $(0,1\div0,35)\lambda_0$ [7]. Dưa trên nguyên lý của anten lưỡng cực dẫn xạ và phương pháp phần tử hữu hạn của phần mềm mô phỏng CST (Computer Simulation Technology), các tham số của anten được lựa chon như trong bảng 1 tại tần số 2,45 GHz. Kết quả hê số S11 và giản đồ bức xa của anten thể hiện trong các hình 2.a và hình 2.b.

Tham số	Larm	Warm	L_s	g	h_{sub}	L_{sub}	W _{sub}	Wbalun
Giá trị	23,3	4,2	23	0,7	0,8	74	57,1	2,1
Tham số	L_a	L_b	W_{feed}	L_{direc}	W _{direc}	<i>Y1, Y2</i>	L_{gnd}	W_{gnd}
Giá trị	20	15,1	4,2	30	4,2	14	7	24

Bảng 1. Các tham số của anten phần tử (đơn vị mm)

Anten dẫn xạ phần tử hoạt động tại dải 2,4 GHz gồm hai chấn tử dẫn xạ có đồ thị bức xạ dạng hình dải quạt, độ rộng búp sóng theo phương xoy 67° và 100° theo phương yoz. Anten này sẽ được đề xuất

làm anten phân tử cho AĐH mảng pha đạt được độ rộng búp sóng hẹp theo phương quét giúp tăng độ chính xác cho hệ định vị vô tuyến.



Hình 1. Cấu trúc của anten dẫn xạ phần tử



Hình 2. Hệ số S₁₁ và giản đồ bức xạ của anten phần tử

Thiết kế bộ dịch pha vi dải sử dụng ma trận Butler



Hình 3. AĐH mảng pha sử dụng ma trận Butler 4x4

Có nhiều lựa chọn khác nhau để thiết kế mạch dịch pha vi dải [7], với mục đích

tăng hiệu suất cho mạch, giảm thiểu số cầu nối, loại bỏ phần tử chuyển mạch sử dụng PIN điôt, bài báo sử dụng bộ dịch pha ghép song song dựa trên ma trận Butler.

Bộ chia đôi nguồn vuông pha:

Bộ chia đôi nguồn vuông pha (QPD-Quadrature Power Divider) hay còn gọi bộ lai có chức năng chia đôi nguồn và tín hiệu đầu ra lệch pha nhau một góc 90°. QPD là mạch điện bốn cửa có bộ tham số S được xác định theo công thức (1) [8], cấu trúc của bộ QPD được thiết kế như hình 4.a. TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG - TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐIỆN LỰC (ISSN: 1859 – 4557)



Hình 4. Cấu trúc của bộ QPD và cầu nối chéo



Hình 5. Các bộ tham số S và độ lệch pha giữa hai cổng ra của bộ QPD

Qua kết quả mô phỏng hình 5a, nhận thấy các tham số S11, S22 nhỏ và các tham số S31, S41 lớn phản ánh đường truyền hiệu có suất cao từ các cổng 1, 2 ra cổng 3, 4. Kết quả tham số S12 hay S21 phản ánh sự cách ly giữa hai cổng vào, kết quả độ lệch pha giữa hai đầu ra của QPD bằng 90,2° cũng được biểu diễn trên hình.

Cầu nối chéo:

Cấu trúc của cầu nối chéo được thể hiện trên hình 4b, đặc điểm của cầu này là truyền tín hiệu theo đường chéo: tín hiệu từ cổng 1 truyền sang cổng 4 và cách ly với hai cổng còn lại, tín hiệu từ cổng 2 truyền sang cổng 3 cách ly với hai cổng 1 và 4. Cầu nối chéo có đặc điểm tín hiệu vào và ra đồng pha nhau. Trường hợp đơn giản người ta có thể dùng cáp đồng trục để thay thế cầu này, tuy nhiên mối hàn sẽ làm suy giảm tín hiệu đáng kể so với đường vi dải không mối hàn. Các tham số về chiều dài và trở kháng được thể hiện rõ trên hinhf 5b. Cầu nối chéo là mạch bốn cửa, các bộ tham số S được mô tả theo công thức (2).

$$\begin{bmatrix} S \end{bmatrix}_{QPD} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix}$$
(1)
$$\begin{bmatrix} S \end{bmatrix}_{C\hat{a}u \ n\hat{o}i \ ch\hat{e}o} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
(2)

Hình 5b thể hiện kết quả bộ tham số S khi đầu vào tích cực, tham số S11 rất nhỏ thể hiện tín hiệu truyền đi tốt, tín hiệu phản xạ nhỏ. Tham số S21 và S31 nhỏ thể hiện sự cách ly tín hiệu giữa các cổng này được đảm bảo. Thông số S41 phản ánh việc tín hiệu truyền từ cổng 1 đến cổng 4, trong dải tần từ 2,2÷2,4 GHz tín hiệu truyền tốt (đạt -0,19 dB tại 2,45 GHz), các dải khác bị suy giảm dần, tín hiệu vào và tín hiệu ra là đồng pha.

Bộ dịch pha cố định 45°:

Bộ dịch pha cố định 45° dựa trên sự trễ pha do chiều dài đường truyền vi dải, được thiết kế và kết quả mô phỏng độ lệch pha 45° được thể hiện trong hình 6.

Cấu trúc ma trận dịch pha Butler 4×4 gồm các phần tử cũng như việc phối hợp trở kháng được thực hiện trên hình 7a. Các hệ số phản xạ khi các đầu vào được tiếp điện lần lượt được thể hiện trên hình 7b.

Từ kết quả cho thấy bộ dịch pha có băng thông rộng BW = 500 MHz, phối hợp trở

kháng tốt trong dải 2,2÷2,7 GHz. Các tín hiệu truyền qua và pha ứng với cổng vào 1 và 2 được mô tả trên hình 8, cho thấy tín hiệu truyền qua với biên độ đồng đều và góc lệch pha giữa các đầu ra theo đúng tiêu chí (cổng 1: ~+45°; cổng 2: ~ –135°).





Do tính chất đối xứng của ma trận Butler nên cổng vào 3 và 4 khi được kích hoạt cũng có các tham số biên tương ứng đồng thời tạo ra góc lệch pha giữa các cổng ra là ~135°, ~-45° khi cổng 3, 4 kích hoạt. Lựa chọn một trong bốn cổng vào sẽ hình thành bốn búp sóng tương ứng ở các vị trí được thể hiện trong hình 10.



Hình 7. Cấu trúc của ma trận Butler 4×4 thiết kế và tham số S mô phỏng



Hình 8. Kết quả các tham số truyền qua và độ lệch pha giữa các đầu ra

C. Anten điều hướng mảng pha

Sau khi tích hợp bốn anten phần tử vào mảng tuyến tính, thực hiện mô phỏng mảng không ghép bộ dịch pha. Xuất hiện sự lệch tần nhẹ của các anten phần tử trong mảng là do ảnh hưởng của hiện tượng tương hỗ giữa các phần tử gây nên. Sau khi hiệu chỉnh lại các tham số của anten phần tử trong mảng sao cho chúng



cộng hưởng tại tần số trung tâm 2,45 GHz tốt nhất, tiến hành ghép bộ dịch pha Butler 4×4. Hình ảnh AĐH mảng pha được mô phỏng thể hiện trong hình 9. Kết quả mô phỏng tham số S tại các cổng vào của anten dải tần hoạt động từ 2,3 đến 2,7 GHz. Giản đồ bức xạ theo phương xoy và yoz của AĐH trình bày trong hình 10.



Hình 9. Hình ảnh AĐH mảng pha và tham số S của anten

Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng - trường đại học điện lực (ISSN: 1859 – 4557)



Hình 10. Kết quả mô phỏng giản đồ bức xạ của AĐH

Để đánh giá kết quả AĐH đề xuất với các nghiên cứu có liên quan trên thế giới, tác giả tiến hành so sánh với các công bố ở cùng dải tần thiết kế, cùng số lượng anten phần tử và có mạch dịch pha tương tự [2-5]. Trong đó, ưu điểm nổi bật của AĐH đề xuất có độ rộng búp sóng theo phương xoy của AĐH dải quạt đề xuất hẹp từ $21,5^\circ \div 24,5^\circ$, điều này là một trong những tiêu chí làm tăng độ chính xác trong định vị khi quét hay dò tìm đối tượng. Hệ số tăng ích của bốn búp từ 9,13 đến 9,8 dBi cao hơn hẳn so với các nghiên cứu [3-5]. Đối với công bố [2] giản đồ bức xạ dạng hình bút, năng lượng tập trung hơn nhiều so với anten đề xuất hình dải quat, mặt khác chế tao dựa trên chất nền Duroid 5880 tổn hao thấp hơn ba lần so với RO4003C nên tăng ích có cao hơn so với anten đề xuất. Bởi độ rộng búp sóng theo phương quét hẹp, do đó góc quay cũng hẹp theo để tránh hiện tượng lọt khe khi dò đối tượng, góc quét gồm: -37°, -12°, 12°, 36°, do đó vùng quét của anten đề xuất là 97° phù hợp với yêu cầu thiết kế. Đô rông búp sóng theo phương yoz của anten đề xuất ~90° phù hợp với

ứng dụng đã đề ra: (1) vùng phủ theo phương thẳng đứng rộng hơn, có thể dò được đối tượng ở các chiều cao khác nhau, điều này là những hạn chế của các công bố sử dung anten phần tử tấm; (2) so với nghiên cứu [6], [9] góc mở của dải quạt không quá rộng ~90° sẽ tránh được hiện tượng phản xạ lại từ sàn hay trần khi lắp đặt trong hệ thống, giảm thiểu tín hiệu đa đường. Để đạt được tiêu chí về giản đồ bức xạ, hiệu suất cao và cấu trúc phẳng, anten lưỡng cực thiết kế dạng mảng tuyến tính ngang, khoảng cách giữ các phần tử phải lớn hơn nửa bước sóng dẫn đến hạn chế của AĐH đề xuất là kích thước của anten còn lớn 220×260mm.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất anten điều hướng bốn búp ở dải tần 2,4 GHz, sử dụng ma trận Butler 4×4 và anten phần tử lưỡng cực. Anten thiết kế đã có những ưu điểm như độ tăng ích cao, độ rộng búp sóng nhỏ theo phương quét trong khi phương trực giao không quá hẹp hoặc quá rộng giúp cho việc tích hợp vào hệ thống định vị được dễ dàng, đồng thời giúp cải thiện độ chính xác cho hệ thống định vị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Gu, A. Lo, và I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks", *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol 11, số p.h 1, tr 13–32, 2009.
- [2] Ayman M. El-Tager and Mohamed A. Eleiwa, "Design and Implementation of a Smart Antenna Using Butler Matrix for ISM-band", trong *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Beijing, China, 2009.
- [3] W.H. Wan Mohamed, "Integration of PIN diode switching circuit with butler matrix for 2.45 GHz frequency band", *Optoelectron. Adv. Mater. RAPID Commun.*, vol 5, số p.h 7, tr 793–798, 2011.
- [4] M. Fernandes, A. Bhandare, C. Dessai, và H. Virani, "A wideband switched beam patch antenna array for LTE and Wi-Fi", trong *Annual IEEE India Conference*, Mumbai, India, 2013, tr 1–6.
- [5] F.Y. Zulkifli, N. Chasanah, Basari, và E.T. Rahardjo, "Design of Butler matrix integrated with antenna array for beam forming", trong *2015 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, 2015, tr 1–4.
- [6] T.D. Bui, V.D. Ngo, B.H. Nguyen, Q. C. Nguyen, và M.T. Le, "Design of beam steering antenna for localization applications", trong 2016 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Okinawa, Japan, 2016, tr 956–957.
- [7] Phan Anh, *Lý thuyết và kỹ thuật anten*. nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2007.
- [8] D.M. Pozar, *Microwave engineering*, 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.
- [9] T.D. Bui, M.T. Le, và Q.C. Nguyen, "Electronically steerable antenna array for indoor positioning system", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol 33, số p.h 7, tr 838–852, tháng 5/2019.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Bùi Thị Duyên tốt nghiệp đại học chuyên ngành kỹ thuật đo và tin học công nghiệp năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành tự động hóa năm 2007; bảo vệ luận án tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điều khiển và tự động hóa tháng 01 năm 2020 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả là giảng viên Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: các hệ thống đo lường điều khiển, thiết kế các hệ thống nhúng ứng dụng trong hệ thống điều khiển và tự động hóa, mạng cảm biến không dây, anten, mạch cao tần.

Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng - trường đại học điện lực (ISSN: 1859 – 4557)

.