

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

Lương Xuân Trường

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ TỐI ƯU ANTEN
CÓ KÍCH THƯỚC NHỎ KẾT HỢP CẤU TRÚC EBG
SỬ DỤNG VẬT LIỆU MỚI ỨNG DỤNG TRONG
THÔNG TIN VÔ TUYẾN BĂNG RỘNG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã số: 62520208

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT
ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG**

Hà Nội – 2020

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Công nghệ,
Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Trần Minh Tuấn
2. PGS.TS. Trương Vũ Bằng Giang

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia
chấm luận án tiến sĩ họp tại

vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, các giải pháp sử dụng chia sẻ phổ tần số giữa các hệ thống vô tuyến điện là một chủ đề được đề cập nhiều trong bối cảnh ngày càng có nhiều các hệ thống vô tuyến mới được phát triển trong khi phổ tần số lại là tài nguyên có hạn. Giải pháp sử dụng anten mảng tuyến tính có hướng tính cao, tối ưu các mức búp sóng phụ là hướng nghiên cứu được quan tâm nhằm đáp ứng các yêu cầu thực tiễn về chống nhiễu đường vô tuyến giữa các hệ thống dùng chung phổ tần. Giải pháp thiết kế mảng anten tuyến tính có mức búp phụ thấp phổ biến hiện nay là sử dụng phân bố biên độ theo chuỗi toán học như Chebyshev hoặc Taylor. Giải pháp này có yếu điểm là chỉ giảm mức búp sóng phụ nói chung mà không giải quyết được bài toán đặt các hướng (điểm) không tại búp sóng phụ bất kỳ để chống nhiễu tại hướng búp sóng phụ đó. Phương pháp tổng quát hơn được nghiên là sử dụng các thuật toán để tối ưu hệ số mảng như GA, PSO, đàn Ong, đàn Dơi... Trong số đó, đàn Dơi là một thuật toán mới được phát triển cho kỹ thuật điều khiển búp sóng từ năm 2017. Hiện nay, trong phạm vi đã công bố, các nghiên cứu mới dừng lại ở đề xuất về mặt lý thuyết sử dụng thuật toán đàn Dơi cho các bộ điều khiển búp sóng số.

Xuất phát từ thực tiễn đó, luận án này lựa chọn nghiên cứu giải pháp thiết kế các anten mảng tuyến tính có độ lợi cao, đáp ứng yêu cầu về giảm mức búp sóng phụ trên cơ sở ứng dụng thuật toán đàn Dơi.

2. Mục tiêu nghiên cứu:

Nghiên cứu đề xuất giải pháp sử dụng thuật toán đàn Dơi để thiết kế các mạng tiếp điện vi dải và anten mảng tuyến tính có độ lợi cao, đáp ứng các yêu cầu nén mức búp sóng phụ.

3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu:

Lý thuyết thuật toán tối ưu đàn Dơi, anten mảng tuyến tính vi dải. Các bộ chia công suất vi dải để ứng dụng trong thiết kế các anten mảng tuyến tính có điều khiển mức búp sóng phụ.

Các giải pháp thiết kế anten mảng tuyến tính có tăng ích cao, nén mức búp sóng phụ thấp.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn:

Đề xuất được giải pháp thiết kế các mạng tiếp điện vi dải, anten mảng tuyến tính vi dải có độ lợi cao, búp sóng phụ thấp trên cơ sở sử dụng thuật toán tối ưu đàn Dơi. Các sản phẩm được thiết kế, chế tạo có thể ứng dụng thực tiễn trong các hệ thống viễn thông hoạt động trong dải tần 3,5 GHz nhằm giải quyết vấn đề giảm nhiễu có hại trong các kịch bản dùng chung tần số để nâng cao hiệu quả sử dụng phổ tần.

5. Cấu trúc nội dung của luận án:

Nội dung của luận án được trình bày trong 4 chương như sau:

Chương 1 trình bày tổng quan về anten mảng tuyến tính, thuật toán đàn Dơi và phương pháp tổng hợp hệ số mảng.

Chương 2 trình bày tổng quan về mạng tiếp điện vi dải và đề xuất giải pháp thiết kế mạng tiếp điện vi dải.

Chương 3 trình bày giải pháp ứng dụng thuật toán đàn Dơi phát triển anten mảng Vivaldi có mức búp sóng phụ thấp, tăng ích cao.

Chương 4 trình bày giải pháp ứng dụng thuật toán đàn Dơi phát triển một anten mảng dipole mạch in hai mặt (DSPD) có tăng ích cao và nén riêng búp sóng phụ thứ nhất.

Chương 1: Ứng dụng thuật toán đàn doi trong kỹ thuật điều khiển búp sóng của anten mảng tuyến tính

Chương 1 trình bày tổng quan về anten mảng tuyến tính, thuật toán đàn Doi và phương pháp tổng hợp hệ số mảng đáp ứng yêu cầu nén búp sóng phụ và đặt điểm không trên đồ thị bức xạ.

1.1. Tổng quan về anten mảng tuyến tính

Anten mảng tuyến tính là sự sắp xếp các phần tử anten đơn theo trật tự thẳng hàng. Khi khoảng cách giữa các phần tử được lựa chọn là đều nhau thì anten mảng tuyến tính thường được gọi là anten mảng tuyến tính phân bố đều. Trường bức xạ tổng hợp của một anten mảng tuyến tính là tích số giữa trường bức xạ của một phần tử anten đơn đặt ở vị trí trung tâm và hệ số mảng.

Hệ số mảng AF của anten mảng được tính bởi công thức sau [89]:

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1) \cdot (k \cdot d \cdot \cos \theta + \delta_n)} \quad (1.2)$$

1.2. Phương pháp tổng hợp hệ số mảng

Có 3 phương pháp chính để tổng hợp hệ số mảng đáp ứng các yêu cầu cho trước về mức búp sóng phụ và đặt các điểm không là: Điều khiển biên độ, điều khiển pha và điều khiển khoảng cách. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu các mảng anten tuyến tính cố định, luận án sử dụng hai kỹ thuật là điều khiển biên độ và điều khiển khoảng cách.

1.3. Ứng dụng thuật toán đàn Doi trong kỹ thuật nén búp sóng phụ của anten mảng tuyến tính

1.3.1. Tổng quan về thuật toán đàn Doi

Giải thiết rằng đàn Doi có Q phần tử. Mỗi phần tử Doi đặc trưng bởi vị trí x_i bất kỳ và có vận tốc di chuyển v_i , tần số phát xung f_i , tỉ lệ xung r_i (với $r_i \in [0,1]$), A_i là biên độ của xung.

Ở mỗi bước tìm kiếm thứ t , thực hiện khởi tạo tần số f_i bất kỳ và cập nhật vận tốc v_i cho các phần tử Dơi ở vị trí x_i theo quy tắc:

$$f_i = f_{min} + (f_{min} - f_{max})\beta \quad (1.29)$$

$$v_i^{t+1} = v_i^t + (x_i^t - x_*)f_i \quad (1.30)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^t \quad (1.31)$$

Với β được lấy ngẫu nhiên trong đoạn $[0,1]$ và x_* là giải pháp toàn cục tốt nhất tạm thời đã tìm được.

Nếu vị trí mới là giải pháp toàn cục tốt nhất trong số các giải pháp đã có thì khởi phát quá trình tìm kiếm khu vực bằng các bước ngẫu nhiên theo quy tắc:

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \quad (1.32)$$

Với A^t là biên độ trung bình của tất cả phần tử tại bước lặp thứ t và ε là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng $[-1,1]$. Biên độ và tỉ lệ phát xung được cập nhật theo quy tắc sau:

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (1.33)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 (1 - \exp(-\gamma t)) \quad (1.34)$$

Với α và γ là các hằng số thỏa mãn điều kiện $0 < \alpha < 1$ và $0 < \gamma$

1.3.2. Xây dựng hàm mục tiêu

Giả thiết rằng yêu cầu của bài toán là triệt búp sóng phụ tại các hướng góc θ_{null} và mức các búp sóng phụ còn lại được nén không vượt quá mức thiết lập trước pre_sll . Hàm mục tiêu được thiết kế như sau:

$$F = c_1 \sum_{\theta_i=null} |AF_0(\theta_i)|^2 + c_2 \sum_{\theta_j \neq null} |AF_0(\theta_j) - AF_d(\theta_j)|^2 \quad (1.36)$$

AF_0 là hệ số mảng mong muốn đáp ứng yêu cầu về đặt các điểm không tại các góc θ_{null} . AF_d là hàm tham chiếu để tối ưu mức búp phụ về giá trị pre_sll mong muốn. Các tham số c_1, c_2 là hằng số.

Để giữ búp sóng chính ở trung tâm của mảng và đồ thị bức xạ là đối xứng thì giá trị δ_n và a_n được thiết lập cần thoả mãn: $\delta_n = 0^\circ$ và $a_n = a_{N-n+1}$, với $n = 1 \dots N-1$.

1.3.3. Giải thuật chi tiết

Bước 1: Trên cơ sở yêu cầu đầu vào về nén các búp sóng phụ, xây dựng hàm mục tiêu $F(x)$ theo công thức (1.36).

Bước 2: Xác định trọng số được sử dụng để tối ưu (có thể là biên độ, pha hay khoảng cách).

Bước 3: Khởi tạo thuật toán

+ Khởi tạo tập đàn Dơi gồm Q phần tử x_i và các tham số đặc trưng của mỗi phần tử Dơi là $v_i, f_i, r_i, A_i, f_{min}$ và f_{max} . Mỗi x_i là một biến gồm N chiều (với N là số phần tử của mảng anten đang thiết kế).

+ Định nghĩa các giới hạn của quá trình tìm kiếm: ngưỡng giá trị chấp nhận được của hàm F : *threshold*; số vòng lặp tối đa: t_{max}

+ Tìm x^* là giá trị toàn cục tốt nhất lúc ban đầu trong số các x_i . Thiết lập $F_{min} = F(x^*)$

Bước 4: Thực hiện quá trình tìm kiếm toàn cục: Ở mỗi bước tìm kiếm bất kỳ, vị trí và tần số phát xung của phần tử Dơi x_i được cập nhật theo các công thức (1.29), (1.30) và (1.31). Tìm trong số các x_i hiện tại giá trị x_s sao cho hàm F là nhỏ nhất.

Bước 5: Thực hiện quá trình kiểm cục bộ

+ Khởi tạo các x_j lân cận giá trị x_s . Nếu $F_{min} > F(x_j)$ thì đặt $x^* = x_j$

+ Thay đổi tỉ lệ phát xung và biên độ của phần tử Dơi theo (1.32)

+ Kiểm tra các điều kiện giới hạn việc tìm kiếm (thời gian t_{max} và/hoặc sai số chấp nhận được *threshold*) và Quay lại Bước 4 nếu chưa vi phạm các giới hạn tìm kiếm.

Chương 2: Giải pháp thiết kế mạng tiếp điện cho anten mảng tuyến tính sử dụng thuật toán đàn Dơi

Chương 2 trình bày nghiên cứu tổng quan về mạng tiếp điện vi dải. Trên cơ sở đó, đề xuất giải pháp thiết kế một mạng tiếp điện vi dải nối tiếp sử dụng cho anten mảng tuyến tính đáp ứng yêu cầu về nén búp sóng phụ sử dụng thuật toán đàn Dơi.

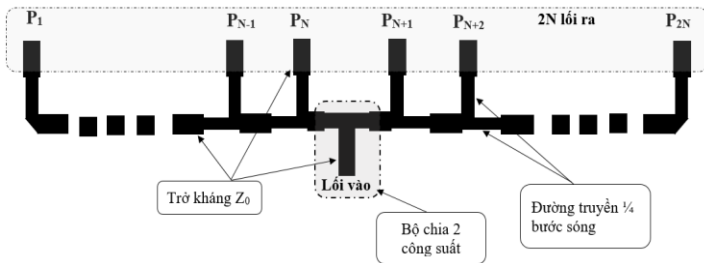
2.1. Tổng quan về mạng tiếp điện

Các mạng tiếp điện có vai trò quan trọng trong mảng anten. Với anten phát, mạng tiếp điện đóng vai trò phân phối tín hiệu một nguồn đầu vào đến các phần tử của anten mảng. Với anten thu, mạng tiếp điện là thành phần tổng hợp tín hiệu thu từ mảng. Mạng tiếp điện có hai cấu trúc cơ bản là nối tiếp và song song.

Thành phần cơ bản của mạng tiếp điện vi dải là các đường truyền vi dải, các bộ phối hợp trở kháng và các bộ chia công suất.

2.2. Đề xuất giải pháp thiết kế mạng tiếp điện

Để thực thi các bộ trọng số của hệ số mảng được tính toán từ thuật toán đàn Dơi, luận án đề xuất giải pháp phát triển cấu trúc mạng tiếp điện nối tiếp như sau:



Hình 2. 10: Cấu trúc mạng tiếp điện nối tiếp 2N lối ra được đề xuất

Mạng tiếp điện gồm một chia 2 công suất cân bằng ở trung tâm và hai nhánh đối xứng. Mạng tiếp điện có 2N lối ra đối xứng nhau, có trở

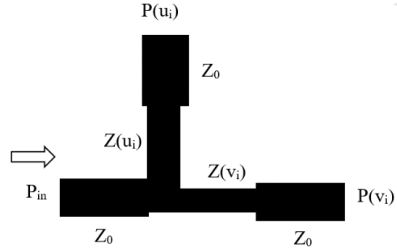
kháng là Z_0 , đáp ứng yêu cầu phân bố công suất tương ứng với phân bố biên độ của hệ số mạng, pha giữa các lối ra là cân bằng và khoảng cách có thể được điều chỉnh bất kỳ. Công suất tại lối ra thứ i bất kỳ là $P(u_i)$ được quyết định bởi các trở kháng có độ dài một phần tư bước sóng được tính bởi công thức (2.33) và (2.34) như sau:

$$\alpha_i = \frac{P(u_i)}{P(v_i)} \quad (2.28)$$

$$Z_{u_i} = Z_0 \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (2.33)$$

$$Z_{v_i} = Z_0 \sqrt{1 + \alpha_i} \quad (2.34)$$

với $p(v_i)$ là tổng công suất các lối ra phía sau i .



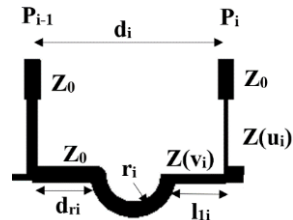
Hình 2. 11: Tính toán phân bố công suất tại nút thứ i của mạng tiếp điện

Để cân bằng pha giữa hai lối ra liền kề nhau với khoảng cách d_i bất kỳ, tại nút thứ i , bổ sung các hình bán nguyệt bán kính r_i sao cho độ dài điện kết nối hai cổng bằng 360° như mô tả tại Hình 2.12.

$$d_i = d_{ri} + 2r_i \quad (2.37)$$

$$\frac{3\lambda_g}{4\sqrt{\epsilon_e}} = d_{ri} + \pi r_i \quad (2.42)$$

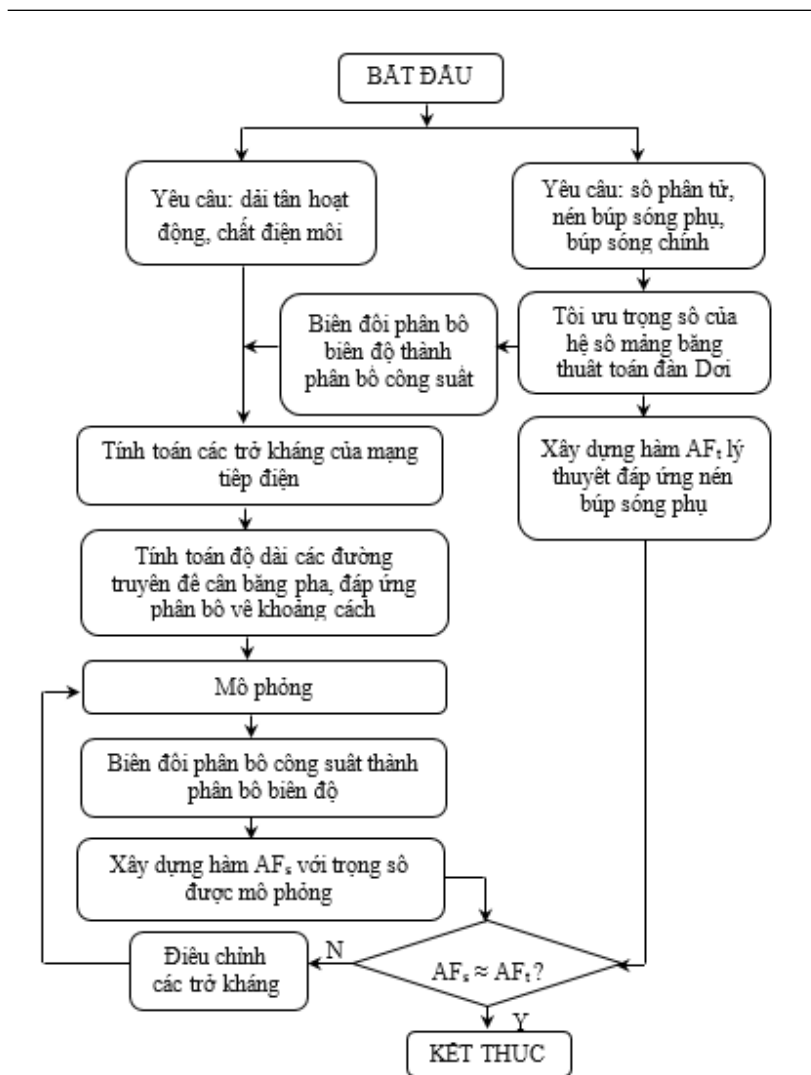
Ở đây, ϵ_e là hằng số điện môi hiệu dụng phụ thuộc vào độ rộng đường vi dải và tính chất của vật liệu điện môi.



Hình 2. 12: Giải pháp cân bằng pha giữa các lối ra

2.3. Đề xuất quy trình thiết kế

Luận án đề xuất quy trình thiết kế mạng tiếp điện sử dụng thuật toán đàn Dơi như sau:



Hình 2.13. Quy trình thiết kế mạng tiếp điện

Chương 3. Giải pháp phát triển anten mảng tuyến tính có mức búp sóng phụ thấp và tăng ích cao

Chương 3 trình bày giải pháp phát triển anten mảng Vivaldi 10 phần tử có tăng ích cao và mức búp sóng phụ thấp. Mảng anten Vivaldi được áp dụng kỹ thuật điều khiển biên độ sử dụng thuật toán đàn Dơi và mạng tiếp điện đã đề xuất tại Chương 2.

3.1. Đặt vấn đề

Các mảng anten Vivaldi được nghiên cứu nhiều trong thời gian gần đây cho các ứng dụng vô tuyến mới như tại [66-74]. Các nghiên cứu về giảm mức búp phụ cho mảng Vivaldi đã được đề cập tại [65], [68] và [74] mới dừng lại ở mức nghiên cứu mô phỏng. Do vậy, Chương 3 của luận án đặt vấn đề áp dụng thuật toán đàn Dơi để thiết kế anten mảng Vivaldi 10 phần tử hoạt động ở dải tần 3,5 GHz có tăng ích cao và mức búp phụ thấp.

3.2. Đề xuất quy trình thiết kế

Chương 3 đề xuất một quy trình để áp dụng cho thiết kế mảng anten tại luận án gồm các bước như sau:

Bước 1: Tập hợp các yêu cầu đầu vào của thiết kế anten mảng: tần số hoạt động, yêu cầu mức nén các búp sóng phụ, tăng ích cực đại anten, cấu trúc và kích thước mảng, vị trí và độ rộng búp sóng chính, đặc điểm của vật liệu điện môi được sử dụng.

Bước 2: Lựa chọn kỹ thuật tối ưu theo bộ trọng số: biên độ, pha của tín hiệu kích thích hay khoảng cách giữa các phần tử.

Bước 3: Thiết kế mạng tiếp điện đáp ứng yêu cầu bộ trọng số tối ưu đã lựa chọn tại Bước 2. Tại bước này, áp dụng quy trình đã được đề xuất tại Chương 2 để thiết kế, tối ưu mạng tiếp điện. Thuật toán đàn

Đòi được sử dụng để tính toán bộ trọng số nhằm đạt được yêu cầu về mức búp sóng phụ đề ra.

Bước 4: Thiết kế phần tử anten đơn phù hợp với yêu cầu về dải tần, băng thông hoạt động.

Bước 5: Tích hợp mạng tiếp điện và các anten đơn để hình thành cấu trúc mảng anten. Mô phỏng cấu trúc anten mảng.

Bước 6: Tối ưu cấu trúc mảng anten trên cơ sở đánh giá kết quả mô phỏng so với yêu cầu đặt ra ban đầu. Nếu các tiêu chí chưa đạt, điều chỉnh các thành phần phối hợp trở kháng, vị trí mạng tiếp điện, anten và lặp lại các mô phỏng.

Bước 7: Trên cơ sở cấu trúc mảng anten được thiết kế và mô phỏng đạt các yêu cầu đề ra, tiến hành chế tạo mẫu anten, đo đạc thử nghiệm và đánh giá.

3.3. Thiết kế anten mảng Vivaldi tuyến tính có mức búp sóng phụ thấp, tăng ích cao

3.3.1. Tính toán trọng số biên độ

Do chỉ có yêu cầu về nén búp sóng phụ nên hàm mục tiêu tổng quát tại (1.36) được viết lại như sau:

$$F = \sum_{\theta=0}^{180^{\circ}} [|AF_o(\theta) - AF_d(\theta)|^2] \quad (3.1)$$

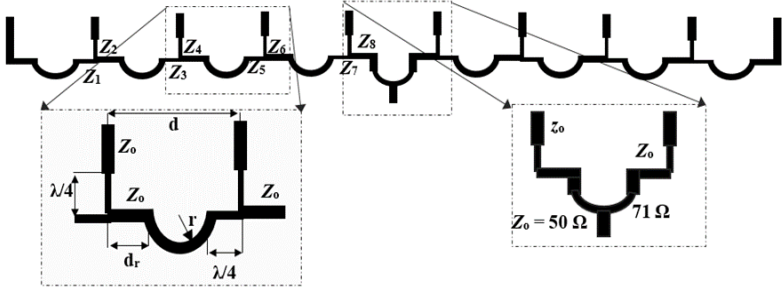
Bộ trọng số biên độ hệ số mảng đáp ứng yêu cầu giảm mức búp sóng phụ -30 dB nhận được từ việc thực thi thuật toán đàn Hồi được trình bày tại Bảng 3.3 dưới đây:

Bảng 3.3: Phân bố biên độ đáp ứng yêu cầu nén mức búp phụ -30 dB

Vị trí phần tử	1 và 10	2 và 9	3 và 8	4 và 7	5 và 6
Biên độ chuẩn hoá	0,2714	0,4727	0,6892	0,8810	1,000

3.3.2. Thiết kế mạng tiếp điện

Mạng tiếp điện được sử dụng là mạng tiếp điện đã đề xuất tại Chương 2, có cấu trúc như Hình 3.2.



Hình 3. 2: Mạng tiếp điện được đề xuất cho anten mảng Vivaldi

3.3.3. Thiết kế mảng anten

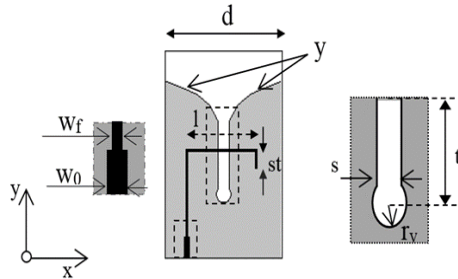
Anten Vivaldi đơn được lựa chọn có cấu trúc như Hình 3.4 gồm:

- Mặt dưới, gồm khe hình chữ nhật kết nối với khe hình tròn bán kính r_v và một khe phân bố theo hàm mũ:

$$y = ae^{-px} \quad (3.2)$$

$$s = 2\alpha \quad (3.3)$$

$$x = 0 \div \frac{t}{2}$$

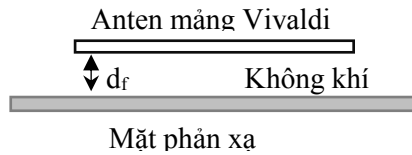


Hình 3. 1: Thiết kế phần tử anten Vivaldi đơn

- Mặt trên, có một đường truyền vi dải hở mạch độ rộng w_f có vai trò là thành phần tiếp điện cho anten Vivaldi thông qua khe hình chữ nhật tại mặt dưới. Trong thiết kế này, độ rộng khe hình chữ nhật s và bán kính khe hình tròn r_v là các tham số được lựa chọn để điều chỉnh và tối ưu cấu trúc. Anten Vivaldi phần tử đơn được thiết kế có băng thông hoạt động 450 MHz tại dải tần 3,5 GHz, tăng ích cực đại 3,8 dBi.

Mảng anten Vivaldi được thiết kế bằng cách ghép nối các phần tử anten đơn vào mạng tiếp điện. Khoảng cách giữa các phần tử là một nửa bước sóng.

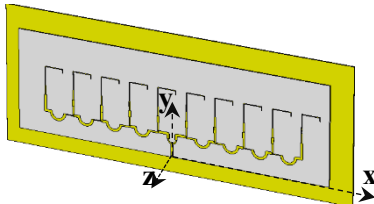
Để cải thiện tăng ích của mảng anten và định hướng búp sóng chính, một mặt phản xạ kim loại được đề xuất đặt thêm tại mặt dưới của anten mảng như mô tả tại Hình 3.10.



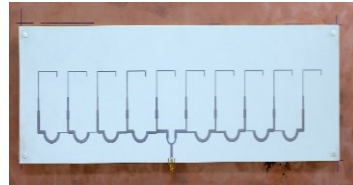
Hình 3. 10: Cấu trúc anten mảng Vivaldi và mặt phản xạ

3.4. Các kết quả mô phỏng và đo đạc

Anten mảng Vivaldi tuyến tính 10 phần tử được thiết kế, mô phỏng và chế tạo để đo đạc sử dụng vật liệu Rogers RO4003C.

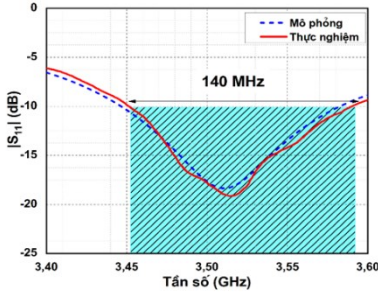


Hình 3. 2: Thiết kế

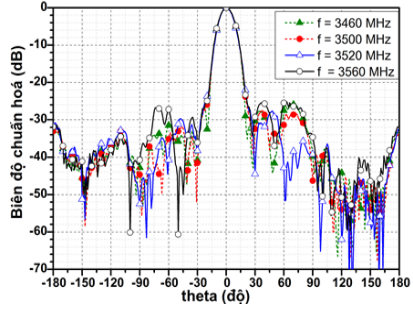


Hình 3.18: Chế tạo

Giá trị d_f được lựa chọn tối ưu $d_f = 0,48\lambda_0$, khi đó mảng anten Vivaldi luôn có mức búp sóng phụ nhỏ hơn -26 dB trong dải tần 3,4-3,6 GHz, mức búp phụ được nén tốt nhất là -29 dB, tăng ích của mảng anten đạt 16,5 dBi, hiệu suất bức xạ đạt trên 90%. Trong khi đó, băng thông hoạt động là 140 MHz ($|S_{11}| = -10$ dB). Kết quả đo thực nghiệm S_{11} là phù hợp với kết quả mô phỏng. Kết quả đo đồ thị bức xạ trong mặt phẳng xOz tại các tần số 3,46 GHz, 3,5 GHz, 3,52 GHz và 3,56 GHz cho thấy mức búp sóng phụ được nén trên 25 dB.



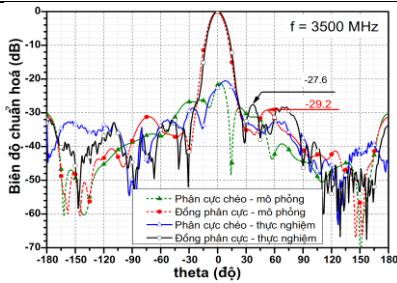
Hình 3. 20: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc hệ số S_{11}



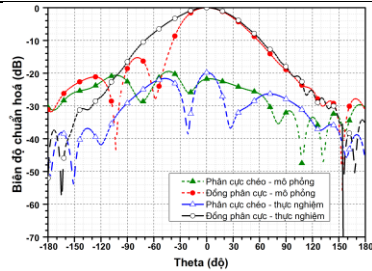
Hình 3. 21: Kết quả đo đặc độ thị bức xạ mặt phẳng xOz

Bảng 3. 7: Giá trị SLL đo đạc tại các tần số được lấy mẫu

Tần số (MHz)	SLL lớn nhất trong mặt phẳng xOz (dB)	Góc có giá trị SLL lớn nhất trên đồ thị bức xạ (°)
3460	-25,1	69°
3500	-27,6	66°
3520	-27,5	67°
3560	-25,7	73°



(a) mặt phẳng xOz



(b) mặt phẳng yOz

Hình 3. 22: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc thực nghiệm đồ thị bức xạ của anten mảng Vivaldi tại tần số 3,5 GHz

Mức nén búp sóng phụ tốt nhất từ đo đạc thực nghiệm là -27,6 dB so với giá trị mô phỏng là -29,2 dB. Kết quả cho thấy vẫn tồn tại sai số 1,6 dB giữa mức búp sóng phụ mô phỏng và đo đạc. Một số nguyên

nhân là: (1) do các búp sóng phụ thường khá nhỏ và nhạy cảm với nhiễu, dễ bị tác động trong quá trình đo đạc; (2) việc chế tạo các mẫu và gia công mặt phản xạ không hoàn hảo.

Kết quả đạt được đối với anten mảng Vivaldi tại nghiên cứu này được so sánh với kết quả đã công bố của một số nghiên cứu tương tự. Các dữ liệu so sánh được trình bày trong Bảng 3.8.

Bảng 3. 8: So sánh giá trị SLL của anten mảng Vivaldi với các nghiên cứu tương tự

Tài liệu tham khảo	[32]	[11]	[10]	mảng Vivaldi đề xuất
Số phần tử của anten mảng	10	10	8	10
Tần số trung tâm (GHz)	9,0	5,5	7,3	3,5
Kích thước anten (theo λ_0)	7,84 x 0,54 x 0,015	7,7 x 1,83 x 0,19	6,25 x 1,04 x 0,25	5,86 x 2,24 x 0,48
Sử dụng mặt phản xạ	không	có	có	có
Kỹ thuật nén búp sóng phụ	DEA	Chebyshev		đàn Dơi
Mức búp phụ lớn nhất (dB)	-25,3	-26,0	-23,0	-27,6
Góc $\frac{1}{2}$ công suất búp sóng chính (mặt phẳng yOz)	8,3°	10,4°	-	14,7°
Mức lớn nhất đối với phân cực chéo (dB)	-25	-20	-30	-20
Tăng ích (dBi)	14,5	17,5	15,7	16,5

Chương 4. Giải pháp phát triển anten mảng tuyến tính có mức búp sóng phụ thấp và tăng ích cao

Chương 4 trình bày giải pháp thiết kế anten mảng DSPD 10 phần tử đáp ứng yêu cầu tăng ích cao và nén búp sóng phụ thứ nhất bằng kỹ thuật đặt điểm không trên đồ thị bức xạ. Thuật toán đàn Dơi đã được vận dụng để tính toán theo hai kỹ thuật là điều khiển biên độ và điều khiển khoảng cách. Trong Chương này, 02 anten mảng đã được thiết kế là mảng DSPD-1 (điều khiển biên độ) và mảng DSPD-2 (điều khiển khoảng cách).

4.1. Đặt vấn đề

Các nghiên cứu hiện nay mới chủ yếu tập trung vào giải pháp làm giảm mức búp sóng phụ nói chung, không có yêu cầu đặc biệt về mức búp phụ tại các hướng nhất định. Trên thực tế, trong các điều kiện dùng chung phổ tần, có nhiều kịch bản hệ thống yêu cầu tập trung nén sâu một vài búp sóng phụ để hạn chế nhiễu đường vô tuyến ở các hướng không mong muốn từ các hệ thống khác. Để giải quyết yêu cầu này, Chương 4 đề xuất giải pháp thiết kế anten mảng tuyến tính gồm 10 phần tử sử dụng thuật toán đàn Dơi để nén riêng một búp sóng nhất định, cụ thể là búp sóng phụ thứ nhất. Chương 4 sử dụng đối tượng nghiên cứu là anten mảng tuyến tính DSPD.

4.2. Đề xuất giải pháp nén búp sóng phụ thứ nhất của mảng anten tuyến tính

Với anten mảng tuyến tính 10 phần tử dẫn cách đều một nửa bước sóng, khai triển công thức (1.2) cho vị trí đỉnh búp sóng chính là 90° , đỉnh búp sóng phụ thứ nhất là 73° và 107° . Nếu lấy đỉnh búp sóng chính làm gốc 0° để chuẩn hóa thì vị trí đỉnh các búp sóng phụ thứ nhất là $\pm 17^\circ$. Để nén búp sóng phụ thứ nhất, luận án đề xuất giải pháp đặt một điểm không tại góc 73° . Hai kỹ thuật khác nhau được áp dụng

là điều khiển biên độ (áp dụng cho mảng DSPD-1) và điều khiển khoảng cách (áp dụng cho mảng DSPD-2).

4.3. Thiết kế anten mảng tuyến tính DSPD có tăng ích cao, nén riêng búp sóng phụ thứ nhất sử dụng kỹ thuật chỉ điều khiển biên độ (mảng DSPD-1)

4.3.1. Tính toán bộ trọng số biên độ

Hàm mục tiêu viết lại từ hàm tổng quan tại (1.16) như sau:

$$F = \begin{cases} |AF_0(\theta_i)|^2, & \theta = 73^\circ \\ \sum_{\theta=0}^{180} |AF(\theta) - AF_0(\theta)|^2, & \theta \neq 73^\circ \end{cases} \quad (4.1)$$

Phân bố biên độ nhận được khi thực thi thuật toán đàn Dơi như sau:

Bảng 4. 3: Phân bố biên độ đáp ứng triệt búp sóng phụ thứ nhất

a_n	1 và 10	2 và 9	3 và 8	4 và 7	5 và 6
Giá trị chuẩn hoá	0.3560	0.4366	0.6536	0.8665	1.000

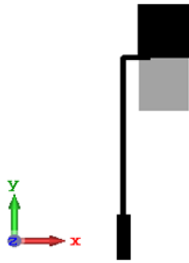
4.3.2. Thiết kế mạng tiếp điện cho anten mảng DSPD-1

Với cùng kỹ thuật điều khiển biên độ, mạng tiếp điện của mảng DSPD-1 hoàn toàn tương tự mạng tiếp điện đã được sử dụng cho mảng Vivaldi tại Chương 3, chỉ khác nhau về giá trị các trở kháng.

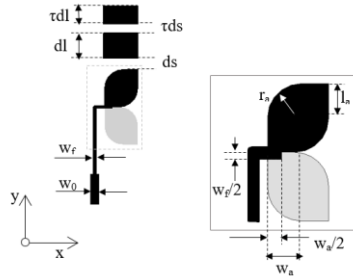
4.3.3. Thiết kế anten mảng DSPD-1

Thiết kế anten DSPD đơn:

Anten DSPD đơn được lựa chọn trên ý tưởng sử dụng anten DSPD cơ bản có mặt phát xạ hình chữ nhật bố trí trên hai mặt của tấm điện môi và xếp dọc theo trục Oy. Để cải thiện tăng ích và băng thông hoạt động của anten, kỹ thuật cắt vát các góc của mặt phát xạ được áp dụng, đồng thời bố trí các phần tử ký sinh ở mặt trên của mặt phát xạ. Anten DSPD đơn có được thiết kế có băng thông hoạt động 640 MHz ở dải tần 3,5 GHz, tăng ích cực đại 3,83 dBi.



Hình 4. 3. Cấu trúc anten DSPD đơn được lựa chọn

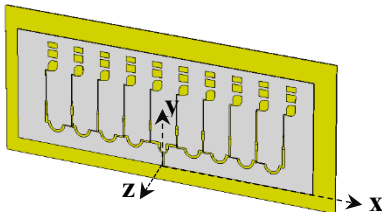


Hình 4. 4: Thiết kế của anten DSPD đơn tối ưu được sử dụng tại luận án

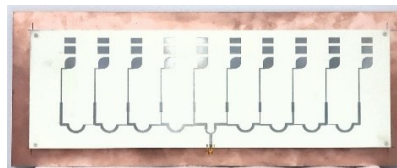
Mảng anten DSPD-1 được thiết kế bằng cách ghép nối các phần tử anten đơn vào mạng tiếp điện. Khoảng cách giữa các phần tử là một nửa bước sóng. Mảng DSPD-1 được sử dụng mặt phản xạ kim loại để cải thiện tăng ích anten và định hướng búp sóng chính. Kết quả khảo sát cho lựa chọn khoảng cách từ mảng DSPD đến mặt phản xạ $d_f = 0,25\lambda_g$ là tối ưu.

4.3.4. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Anten mảng DSPD-1 được thiết kế, mô phỏng và chế tạo để đo đạc sử dụng vật liệu Rogers RO4003C.



Hình 4. 11: Thiết kế

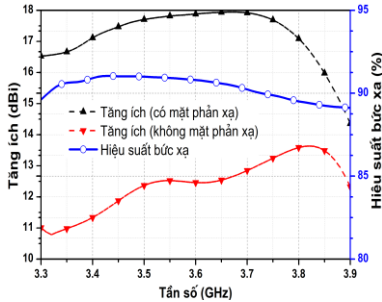


Hình 4. 15: Chế tạo

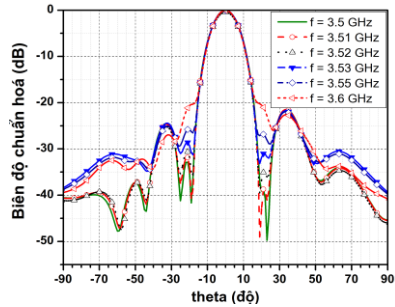
Hình 4. 1: Thiết kế hoàn chỉnh của anten mảng DSPD-1

Kết quả mô phỏng cho thấy anten tăng tích cực đại là 17,7 dBi, hiệu suất bức xạ xấp xỉ 90%. Tăng ích của anten mảng DSPD-1 được cải thiện hơn 4 dB so với khi không sử dụng mặt phản xạ. Trong mặt

phẳng xOz, búp sóng phụ thứ nhất được nén tốt nhất dưới -40 dB trong đoạn băng tần 3,5-3,518 GHz. Khi các tần số mô phỏng càng xa tần số 3,5 GHz thì mức nén búp sóng phụ thứ nhất càng bị suy giảm.

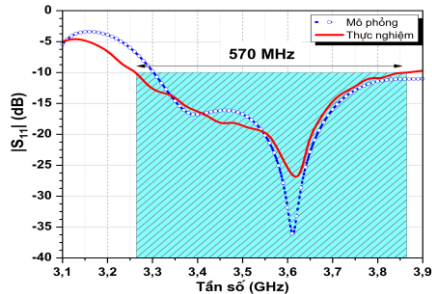


Hình 4. 13: Kết quả mô phỏng tăng ích và hiệu suất bức xạ



Hình 4. 14: Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ (mặt phẳng xOz)

Kết quả đo đạc cho thấy anten mảng DSPD-1 có băng thông hoạt động khoảng 570 MHz nhỏ hơn với giá trị 600 MHz được mô phỏng ở dải tần 3,5 GHz với $|S_{11}| = -10$ dB



Hình 4. 16: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc hệ số S_{11}

Các kết quả đo đạc trong mặt phẳng yOz cho thấy đồ thị bức xạ đo được từ thực nghiệm tương đồng với kết quả mô phỏng. Trong mặt phẳng xOz, mức búp sóng phụ thứ nhất được nén rõ ràng. Tuy nhiên, vị trí các điểm không từ kết quả đo đạc so với lý thuyết và mô phỏng có sự sai khác.

Bảng 4. 8. Vị trí các điểm không và mức búp sóng phụ

Tần số đo đạc (MHz)	3460	3500	3520
Vị trí có điểm không (°)	-17°	+27°	+28°
Giá trị NDL thấp nhất (dB)	-44.23	-48.69	-43.4
Mức tại góc -17° (dB) (góc đặt điểm không theo thiết kế)	-44.23	-27	-24.08
Giá trị lớn nhất SLL (dB)	-21	-20.6	-20.5

4.4. Thiết kế anten mảng tuyến tính DSPD có tăng ích cao, nén riêng búp sóng phụ thứ nhất sử dụng kỹ thuật chỉ điều khiển khoảng cách (mảng DSPD-2)

4.4.1. Tính toán phân bố khoảng cách

Hàm mục tiêu được sử dụng tương tự (4.1) nhưng hệ số mảng AF được viết lại như (4.2) với d_i là khoảng cách giữa phần tử thứ i đến $i+1$.

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(nd_{n-1}k\sin(\theta) + \delta_n)} \quad (4.2)$$

Để kiểm soát mức các búp sóng phụ còn lại, phân bố biên độ được sử dụng là Chebyshev với mức búp phụ tham chiếu là -25 dB. Phân bố khoảng cách nhận được khi thực hiện thuật toán đàn Dơi như sau:

Bảng 4. 11: Phân bố khoảng cách đáp ứng triệt búp sóng phụ thứ nhất

d_n	1 và 9	2 và 8	3 và 7	4 và 6	5
Giá trị chuẩn hoá theo bước sóng	0,6498 λ	0,6574 λ	0,6095 λ	0,5650 λ	0,5683 λ

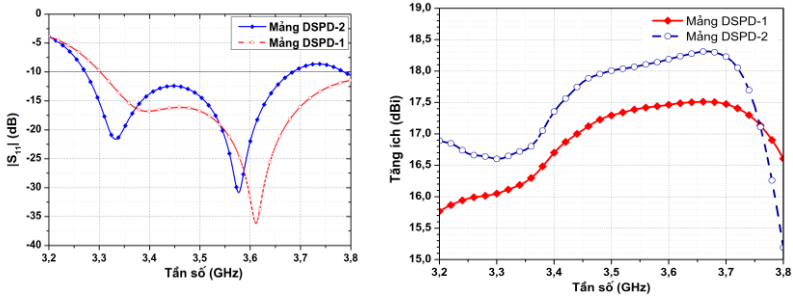
4.4.2. Thiết kế anten mảng DSPD-2.

Mảng anten DSPD-2 được biến đổi từ mảng DSPD-1. Cụ thể, chỉ thay đổi về tham số trở kháng và khoảng cách giữa các phần tử anten đơn (lối ra của mạng tiếp điện) để phù hợp với phân bố biên độ và khoảng cách đã tính toán ở trên.

4.4.3. Kết quả mô phỏng mảng DSPD-2 và so sánh với mảng DSPD-1.

- Bảng thông hoạt động và tăng ích cực đại:

Anten mảng DSPD-1 có băng thông 600 MHz, rộng hơn so với Anten mảng DSPD-2 là 410 MHz. Anten mảng DSPD-2 được cải thiện về tăng ích khoảng 0,5 đến 1 dB so với mảng DSPD-1.



(a) giá trị $|S_{11}|$

(b) tăng ích

Hình 4. 30: Kết quả mô phỏng tăng ích cực đại và hệ số sóng phản xạ S_{11} của mảng DSPD-1 và mảng DSPD-2

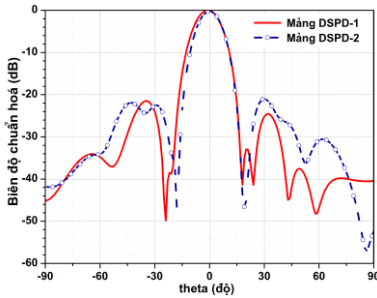
- Góc một nửa công suất của búp sóng chính: Góc HPBW mảng DSPD-2 lớn hơn từ 3° đến 5° so với HPBW mảng DSPD-1 trong mặt phẳng yOz .

- Đồ thị bức xạ và mức nén búp sóng phụ thứ nhất:

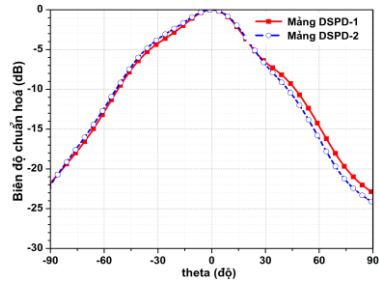
Tại tần số 3,5 GHz, Anten mảng DSPD-2 cho độ sâu điểm không tại búp sóng phụ thứ nhất là tốt hơn so với Anten mảng DSPD-1. Tuy nhiên, mảng DSPD-1 nén búp sóng phụ thứ nhất ở góc rộng hơn, đồng thời, mức các búp sóng phụ còn lại được kiểm soát tốt hơn.

Bảng 4. 16. So sánh đồ thị bức xạ của hai mảng DSPD tại 3,5 GHz

Anten mảng	DSPD-1	DSPD-2
Góc có điểm không (°)	-24	-18
Giá trị NDL của điểm không (dB)	-49	-44.69
Mức tại góc -17° (Góc đặt điểm không theo thiết kế)	-21.1	-39.5
Giá trị SLL lớn nhất (dB)	-21.4	-20.99
Tăng ích cực đại (dBi)	17.3	18.0
Góc HPBW (búp sóng chính)	12.7	12.4



(a) mặt phẳng xOz



(b) mặt phẳng yOz

Hình 4. 32: Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ của mảng DSPD-1 và mảng DSPD-2 tại tần số 3,5 GHz.

Đánh giá chung:

So với các đặc điểm của Anten mảng DSPD-1, Anten mảng DSPD-2 có cải thiện về tăng ích, vị trí đặt điểm không và độ sâu của điểm không đặt tại búp sóng phụ thứ nhất. Tuy nhiên, băng thông hoạt động của Anten mảng DSPD-2 là nhỏ hơn so với Anten mảng DSPD-1.

KẾT LUẬN

Trong luận án này, lý thuyết về thuật toán tối ưu đàn Dơi đã được nghiên cứu để áp dụng cho bài toán điều khiển búp sóng phụ của mảng anten tuyến tính bằng hai kỹ thuật điều khiển biên độ và điều khiển khoảng cách. Luận án đề xuất một cấu trúc mạng tiếp điện vi dải nối tiếp để thực thi các yêu cầu về điều khiển búp sóng phụ bằng thuật toán đàn Dơi. Luận án đề xuất 02 giải pháp thiết kế anten mảng tuyến tính vi dải đáp ứng yêu cầu khác nhau về giảm mức búp sóng phụ và có tăng ích cao.

Những đóng góp khoa học của luận án:

(1) Đề xuất giải pháp thiết kế, phát triển mạng tiếp điện nối tiếp có 1 lối vào và có $2N$ lối ra triển khai các phân bố công suất, khoảng cách theo thuật toán đàn Dơi.

(2) Giải pháp thiết kế anten mảng tuyến tính gồm 10 phần tử anten Vivaldi đạt được yêu cầu giảm mức búp sóng phụ $-29,2$ dB và tăng ích $16,5$ dBi.

(3) Giải pháp thiết kế và phát triển anten mảng tuyến tính gồm 10 phần tử Dipole hai mặt (DSPD) đáp ứng yêu cầu nén búp sóng phụ thứ nhất dưới -40 dB và có tăng ích cao trên 17 dBi. Thông qua thuật toán đàn Dơi, hai kỹ thuật điều khiển biên độ và khoảng cách đã được áp dụng như sau:

- Anten mảng DSPD-1: Sử dụng mạng tiếp điện với kỹ thuật điều khiển biên độ.

- Anten mảng DSPD-2: Sử dụng mạng tiếp điện với kỹ thuật điều khiển khoảng cách.

Hướng phát triển tiếp theo của luận án:

Phát triển giải pháp áp dụng thuật toán đàn Dơi theo hướng tích hợp trong các phần mềm mô phỏng để tự động hoá quá trình thiết kế, tối ưu các mạng tiếp điện.

Phát triển các anten mảng tuyến tính có tăng ích cao, mức búp sóng phụ thấp dựa trên kỹ thuật tối ưu kết hợp đồng thời nhiều tham số.

Phát triển các anten mảng tuyến tính có tăng ích cao, mức búp sóng phụ thấp có băng thông hoạt động rộng.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Các công bố liên quan trực tiếp đến luận án

- [1]. L.X. Truong, T.V.B. Giang, T.M. Tuan (2019), “A New Linear Printed Vivaldi Array Antenna with Low Sidelobe Level and High Gain for Applications in the Band of 3500 MHz”, Accepted to be published on *REV-Journal on Electronics and Communications*.
- [2]. L.X. Truong, T.V.B. Giang, T.M. Tuan (2019), “Design of Vivaldi Antenna Array with a Back Reflector for Low Side Lobe Level and High Gain”, *Conference Proceedings of International Conference on Advanced Technologies for Communicationes (ATC)*, Ha noi, Vietnam, pp. 2-6.
- [3]. L.X. Truong, T.V.B. Giang, T.M. Tuan (2019), “Application of Bat Algorithm on the Design of a Linear Microstrip Antenna Array for Pattern Nulling”, *Conference Proceedings of International Conference on Advanced Technologies for Communicationes (ATC)*, Ha noi, Vietnam, pp. 198-203.
- [4]. L.X. Trường, T.V.B. Giang, T.M. Tuấn (2019), “Thiết kế mạng tiếp điện song hành cho anten mảng tuyến tính có yêu cầu đặt dải rộng các điểm không trên giản đồ bức xạ”, *Kỷ yếu Hội thảo quốc gia lần thứ 23 về Điện tử, Truyền thông và Công nghệ thông tin (REV-ECIT 2019)*, Hà Nội, Việt Nam, tr. 85-89.
- [5]. L.X. Trường, T.V.B. Giang, T.M. Tuấn (2018), “A new Feeding Network Design based on Bat Algorithm for Pattern-Nulling of a Linear Antenna Array”, *Kỷ yếu Hội thảo quốc gia lần thứ 22 về Điện tử, Truyền thông và Công nghệ thông tin (REV-ECIT 2018)*, Hà Nội, Việt Nam, tr. 184-187.

2. Các công bố liên quan trực tiếp đến luận án đang chờ kết quả phản biện

- [1]. L.X.Truong, T.V.B.Giang, T.M. Tuan (2019), “A New Design of a Linear Double-sided Printed Dipole Array Based on Bat Algorithm for Interference Suppression in the First Sidelobe

Direction”, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Paper ID MAP-2019-1065. (in review).

3. Các công bố khác trong quá trình làm luận án

- [1]. L.X. Truong, T.M. Tuan, T.V.B. Giang, V.Q. Tao (2015) “Design A Microstrip Antenna With Defected Ground Structure”, *Conference Proceedings of International Conference on Advanced Technologies for Communicationes (ATC)*, Ho Chi Minh city, Vietnam, pp. 160 – 163.
- [2]. L.X. Truong, T.M. Tuan, T.V.B. Giang, N.C. Tien (2015), “Design A Log Periodic Fractal Koch Microstrip Antenna For S Band And C Band Applications”, *Conference Proceedings of International Conference on Advanced Technologies for Communicationes (ATC)*, Ho Chi Minh city, Vietnam, pp. 556 – 560.