

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

**THIẾT KẾ ĂNG-TEN ĐỘ LỢI CAO, KÍCH THƯỚC
NHỎ CHO HỆ THỐNG THU PHÍ KHÔNG DÙNG**

Phạm Việt Hùng

hung.pv181510@sis.hust.edu.vn

Ngành KT Điều khiển & Tự động hóa

Giảng viên hướng dẫn: PGS. TS. Lê Minh Thùy

Chữ ký của GVHD

Khoa: Tự động hóa

Trường: Điện – Điện tử

HÀ NỘI, 8/2023

NHIỆM VỤ
ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên: Phạm Việt Hùng

Khóa: K63 Trường: Điện - Điện tử Ngành: KT DK & TĐH

1. *Tên đề tài:*

Thiết kế ăng-ten độ lợi cao, kích thước nhỏ cho hệ thống thu phí không dừng.

2. *Nội dung đề tài:*

Thiết kế ăng-ten độ lợi cao, kích thước nhỏ cho hệ thống thu phí không dừng. Các công việc thiết kế bao gồm:

- Thiết kế ăng-ten phần tử.
- Thiết kế mảng ăng ten có khả năng điều hướng búp sóng chính, độ tăng ích trên 9 dBi cho các hệ thống thu phí không dừng công nghệ DSRC tần số 5,8 GHz.
- Thiết kế cấu trúc cấp nguồn cho mảng sử dụng mạch chia công suất và trễ pha.
- Tiểu hình hóa cấu trúc, giúp thu nhỏ không gian chiếm dụng của thiết bị.

Nội dung tính toán thiết kế bao gồm:

- Tìm hiểu lý thuyết, phân tích nguyên lý, thông số và thiết kế ăng-ten lưỡng cực và lý thuyết mảng ăng ten.
- Phân tích, đánh giá khả năng quét của mảng ăng ten đã thiết kế.
- Tìm hiểu lý thuyết, tính toán và thiết kế cấu trúc cấp nguồn cho trường hợp bức xạ chính diện và bức xạ lệch góc cực đại.
- Chế tạo, đo kiểm và đánh giá kết quả thực tế.

3. *Thời gian giao đề tài:* 03/2023

4. *Thời gian hoàn thành:* 08/2023

Ngày..... tháng năm 2023

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

Lời cảm ơn

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Phó giáo sư - Tiến sỹ Lê Minh Thùy – bộ môn Kỹ thuật đo và tin học công nghiệp, trường Điện – Điện tử, Đại học Bách Khoa Hà Nội đã giúp đỡ và chỉ bảo rất tận tình trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp và trong cả quá trình học tập và nghiên cứu ở Lab RF3i. Em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến cô Trần Thị Lan, trường Đại học Giao Thông Vận Tải đã giúp đỡ em rất nhiều trong nội dung đồ án tốt nghiệp.

Em xin gửi lời cảm ơn đến các bạn bè, cùng toàn thể các thành viên thuộc lab RF3I, đặc biệt là các anh Phan Anh Đạt, Nguyễn Hồng Quang, Trần Quang Chung, Lê Anh Tuân, Lê Anh Tài đã tận tình giúp đỡ trong những lúc em gặp nhiều khó khăn nhất. Xin chân thành cảm ơn bạn Đàm Trọng Hiếu, em Phạm Chí Đạt, em Nguyễn Văn Mạnh, em Phạm Kim Hiếu đã đồng hành và giúp đỡ em trong quá trình đo kiểm kết quả và đã đưa ra những góp ý chân thành để giúp em hoàn thiện đề tài tốt nhất.

Em xin gửi lời cảm ơn tới gia đình, những bạn bè thân thiết đã luôn ủng hộ và tin tưởng, đồng hành cùng em trong suốt quá trình em học tập tại Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Tóm tắt nội dung đồ án

Ăng-ten là một phần không thể thiếu trong các hệ thống giao thông thông minh, đặc biệt là các hệ thống thu phí không dừng hoạt động ở dải tần số 5,8 GHz sử dụng công nghệ truyền thông xác định cự ly ngắn DSRC (Dedicated short-range communication). Mảng ăng-ten điều hướng, cấu trúc có độ lợi cao (giúp tăng khoảng cách giao tiếp) và khả năng thay đổi hướng búp sóng chính (tăng không gian giao tiếp) mà không cần thay đổi vị trí của cấu trúc một cách vật lý. Đồ án này đề xuất. Tuy nhiên các mảng ăng-ten có nhược điểm là kích thước tương đối lớn khi yêu cầu cấu trúc cấp nguồn, và băng thông hẹp gây hạn chế về kênh truyền và rủi ro không hoạt động được khi có sai lệch tần số cộng hưởng trong chế tạo. Vì vậy, đồ án này đề xuất cấu trúc mảng ăng-ten có băng thông rộng, cùng phương pháp tiêu hình hóa bằng cách bẻ gấp cấu trúc ăng-ten, nhờ đó thu nhỏ không gian chiếm dụng của ăng-ten khi lắp đặt vào hệ thống. Toàn bộ quá trình thiết kế và mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm CST Studio Suite 2019. Kết quả đo cấu trúc thực tế cho thấy sự đồng nhất giữa dữ liệu mô phỏng và chất lượng thực tế của cấu trúc.

Sinh viên thực hiện
Ký và ghi rõ họ tên

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG	5
1.1 Tổng quan hệ thống giao thông thông minh.	5
1.2 Giới thiệu hệ thống thu phí không dừng	7
1.3 Tổng quan về các ăng-ten cho trạm thu phí không dừng hiện nay	7
1.4 Đề xuất giải pháp dùng mảng ăng-ten độ lợi cao, kích thước nhỏ	9
1.5 Mục tiêu đề tài.....	10
1.6 Kết luận chương	10
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CHUNG.....	11
2.1 Một số lý thuyết cơ bản về ăng-ten	11
2.1.1 Trường bức xạ	11
2.1.2 Cường độ bức xạ	11
2.1.3 Mật độ năng lượng bức xạ	11
2.1.4 Độ rộng búp sóng.....	11
2.1.5 Hệ số định hướng	12
2.1.6 Độ lợi của ăng-ten	12
2.1.7 Băng thông	12
2.2 Lý thuyết thiết kế ăng-ten lưỡng cực vi dải	12
2.3 Lý thuyết về mảng ăng-ten.....	13
2.3.1 Định nghĩa mảng ăng-ten.....	13
2.3.2 Mảng tuyến tính n phần tử - đồng biên độ và khoảng cách giữa các phần tử	14
2.3.3 Các phương pháp cấp nguồn cho mảng ăng-ten	15
2.4 Kết luận chương	16
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO.....	17
3.1 Tính toán yêu cầu thiết kế cho mảng ăng-ten sử dụng trong hệ thống thu phí không dừng.....	17
3.2 Đề xuất cấu trúc mảng ăng-ten lấy cảm hứng từ mảng ăng-ten lưỡng cực công hưởng.....	19
3.3 Đề xuất cấu trúc cấp nguồn Wilkinson 1:9	27
3.3.1 Cấu trúc cấp nguồn đồng pha.....	27
3.3.2 Cấu trúc cấp nguồn có độ trễ pha 40°	31

3.4	Tích hợp mảng ăng-ten vào mạch cấp nguồn và tiêu hình hóa.....	34
3.4.1	Mảng bức xạ chính diện.....	35
3.4.2	Mảng bức xạ lệch góc	39
3.5	Chế tạo và đo kiểm.....	41
3.6	Kết luận chương	44
PHỤ LỤC		49

DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

ITS: Intelligent transportation system

GPS: Global Positioning System

ETC: Electronic Toll Collection

DSRC: Dedicated short-range communications

RFID: Radio Frequency Identification

HPBW: Half Power Beam Width

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Số lượng công bố khoa học về giao thông thông minh trên IEEE và Science Direct từ năm 2019 đến 2022	6
Hình 2.1 Các cấu trúc mảng ăng-ten (a) Mảng tuyến tính (b) Mảng 2 chiều (c) Mảng 3 chiều	14
Hình 2.2 Cấu trúc ăng-ten mảng tuyến tính N phần tử (a) và sơ đồ vector (b) ...	14
Hình 2.3 Cấp nguồn song song (a) và cấp nguồn nối tiếp (b)	15
Hình 3.1 Hệ thống thu phí không dừng theo tiêu chuẩn châu Âu.....	17
Hình 3.2 Mảng ăng-ten điều hướng mở rộng không gian giao tiếp với phương tiện	19
Hình 3.3 Cấu trúc ăng-ten phần tử (a) Cấu trúc từng lớp của ăng-ten đề xuất (b) Cấu trúc 3D của ăng-ten phần tử và sơ đồ mạch tương đương của ăng-ten phần tử	21
Hình 3.4 Ảnh hưởng của l_1 lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử	21
Hình 3.5 Ảnh hưởng của l_2 lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử	22
Hình 3.6 Ảnh hưởng của wb_1 lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử	22
Hình 3.7 Ảnh hưởng của h lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử	23
Hình 3.8 Ảnh hưởng của các thông số balun lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử (a) θb_2 (b) rb_2 (c) hb_2 (d) lb_2	24
Hình 3.9 So sánh băng thông của phần tử đề xuất với ăng-ten lưỡng cực thông thường.	26
Hình 3.10 Hiệu suất bức xạ của mảng	26
Hình 3.11 Đồ thị bức xạ của mảng	26
Hình 3.12 Đồ thị bức xạ với búp sóng chính lệch góc 30°	27
Hình 3.13 Hiệu suất của mảng khi búp sóng chính lệch góc 30°	27
Hình 3.14 (a) Mạch nguyên lý bộ chia công suất Wilkinson 1:3 (b) Cấu trúc Wilkinson 1:3 tầng 1	29
Hình 3.15 Hệ số phản xạ và truyền qua của mạch chia Wilkinson tầng 1.....	29
Hình 3.16 Pha truyền qua tại 3 cổng đầu ra của mạch chia Wilkinson tầng 1	30
Hình 3.17 Cấu trúc Wilkinson 2 tầng	30
Hình 3.18 Hệ số phản xạ và truyền qua tại các cổng của mạch chia	30
Hình 3.19 Pha truyền qua tại các cổng ra	31
Hình 3.20 Kích thước tầng thứ nhất mạch chia trễ pha	32
Hình 3.21 Hệ số phản xạ tại đầu vào tầng thứ nhất mạch chia trễ pha.....	32
Hình 3.22 Hệ số biên độ tín hiệu ra tại các cổng ra tầng thứ nhất mạch chia trễ pha	32
Hình 3.23 Hệ số pha tín hiệu ra tại các cổng ra tầng thứ nhất mạch trễ pha	33
Hình 3.24 Hệ số biên độ tại các cổng ra của mạch chia trễ pha hoàn chỉnh.....	33

Hình 3.25 Cấu trúc mạch chia nguồn trễ pha bổ sung đoạn vi dải hở mạch	33
Hình 3.26 Hệ số phản xạ và biên độ tại các cổng của mạch chia trễ pha sau khi bổ sung đường vi dải hở mạch	34
Hình 3.27 Pha của tín hiệu ra của mạch chia sau khi bổ sung đoạn vi dải hở mạch	34
Hình 3.28 Cấu trúc tích hợp mạch chia và mảng ăng-ten	35
Hình 3.29 So sánh phân bố điện trường cấu trúc chuyển đổi trở kháng không có via (a) và có via (b)	36
Hình 3.30 Hệ số phản xạ tại điểm cấp nguồn	36
Hình 3.31 Hiệu suất bức xạ của toàn cấu trúc	37
Hình 3.32 Đồ thị bức xạ của mảng trong mặt phẳng ngang	37
Hình 3.33 Cấu trúc sau tiêu hình hóa	37
Hình 3.34 So sánh hệ số phản xạ trước và sau tiêu hình hóa	38
Hình 3.35 So sánh hiệu suất trước và sau tiêu hình hóa	38
Hình 3.36 Độ thi bức xạ của cấu trúc sau tiêu hình hóa (a) dạng 3D và (b) Trong mặt phẳng đứng	39
Hình 3.37 Cấu trúc tích hợp mạch chia trễ pha và mảng ăng-ten	40
Hình 3.38 Hệ số phản xạ của mạch tích hợp	40
Hình 3.39 Hiệu suất của mạch tích hợp	40
Hình 3.40 Đồ thị bức xạ trong mặt phẳng ngang	41
Hình 3.41 Mảng ăng-ten chế tạo	41
Hình 3.42 Cấu hình đo đồ thi bức xạ	41
Hình 3.43 Hệ số phản xạ đo và mô phỏng của mảng	42
Hình 3.44 Đồ thi bức xạ dạng 2D của mảng ăng-ten tại tần số 5,8 GHz trong (a) mặt phẳng E và (b) mặt phẳng H	43
Hình 3.45 Đồ thi bức xạ 2D trong mặt phẳng đứng của mảng khi quét góc	43

DANH MỤC BẢNG BIỂU

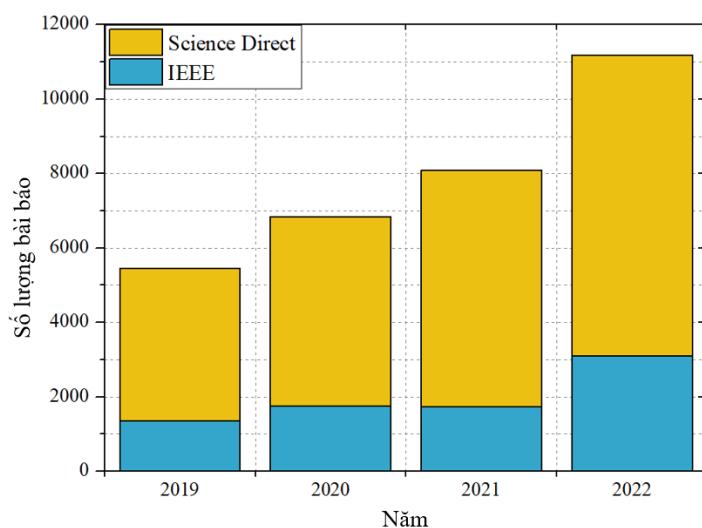
Bảng 1.1 Một số loại ăng-ten đề xuất cho hệ thống thu phí không dừng sử dụng công nghệ DSRC.....	8
Bảng 2.1 So sánh ưu, nhược điểm của các bộ chia công suất phổ biến.....	16
Bảng 3.1 Các thông số tính toán đã biết	18
Bảng 3.2 Thông số tối ưu của mảng ăng-ten	25
Bảng 3.3 So sánh với các tài liệu liên quan	44

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG

1.1 Tổng quan hệ thống giao thông thông minh.

Hệ thống giao thông thông minh (Intelligent transportation system - ITS) là các hệ thống sử dụng các công nghệ đa cảm biến, truyền thông không dây hiện đại để định vị và cảnh báo an toàn cho các phương tiện di chuyển nhanh từ xa, thu phí không dừng hay cảnh báo tắc đường cho các hệ thống giao thông. Mục tiêu chung của các hệ thống này là giảm thiểu ùn tắc, ô nhiễm môi trường và quan trọng nhất là giảm thiểu tai nạn nhờ khả năng theo dõi và cảnh báo sớm nguy cơ xảy ra va chạm.

Cùng với sự bùng nổ của ngành công nghiệp ô tô, xu hướng công nghệ giao thông thông minh đã được nghiên cứu và phát triển từ đầu thế kỷ 20. Những phát minh đầu tiên của lĩnh vực giao thông thông minh như đèn giao thông ba màu được phát minh năm 1914 hay máy tính phí đỗ xe tự động đã giúp việc quản lý giao thông được phát minh vào năm 1935. Đến giữa thập niên 1960, thế hệ đầu tiên của hệ thống định vị phương tiện được áp dụng vào hệ thống giao thông tự động. Với các khối nam châm được chôn dưới lòng đường và thông tin vị trí gửi dưới dạng nhị phân, các hệ thống này cho phép các phương tiện gửi tín hiệu khẩn cấp, bao gồm cả thông tin về tình trạng đường đi, đến các trạm trung tâm. Ngược lại, các trạm điều khiển cũng có thể gửi các tín hiệu cảnh báo nguy hiểm và đưa ra những chỉ dẫn cho tài xế thông qua màn hình hiển thị trên từng phương tiện. Tuy nhiên hệ thống này không được triển khai do không đủ nguồn lực. Đến những năm 1970, một hệ thống khác sử dụng các cuộn dây chôn dưới đường để giao tiếp và truyền tin hiệu định vị với các phương tiện đi qua được triển khai. Tuy nhiên nhược điểm về chi phí lắp đặt và bảo trì quá cao vẫn khiến phương pháp này tỏ ra kém hiệu quả. Sự phát triển mạnh mẽ của các công nghệ mới như vi xử lý, cảm biến, hệ thống định vị toàn cầu (GPS) và công nghệ truyền thông ở những năm 1980 đã thay thế công nghệ định vị cũ bằng hệ thống trạm thu phát vô tuyến cùng các thiết bị đo thông minh hơn, đặt nền móng cho hệ thống thông minh hiện nay [1]. Bên cạnh định vị phương tiện và gửi tin cảnh báo, các hệ thống hiện đại hướng tới các ứng dụng khác như quản lý và điều tiết giao thông, chỉ đường, xe tự hành, quản lý vận hành và cơ sở hạ tầng, quản lý và xử lý dữ liệu, các hệ thống kiểm soát an toàn phương tiện như phanh an toàn, kiểm soát tốc độ và hỗ trợ lái, các trạm kiểm soát và thu phí không dừng tự động. Giao thông thông minh ngày càng mở rộng thêm lĩnh vực và phạm vi quản lý, từ đó thu hút được ngày càng nhiều sự chú ý trong đầu tư và nghiên cứu phát triển. Hình 1.1 thể hiện số lượng công bố khoa học được công bố trên 2 tạp chí khoa học lớn là tạp chí của hiệp hội kỹ sư điện tử IEEE và tạp chí khoa học và công nghệ ScienceDirect. Từ hơn 5000 bài báo và tạp chí khoa học được phát hành trong năm 2019, số lượng công bố đã tăng đều qua các năm và đạt trên 11000 bài trong năm 2022, gấp đôi số lượng sau 3 năm. Từ đó, ta thấy được sự thu hút, độ phổ biến cũng như tính ứng dụng thực tiễn cao của lĩnh vực giao thông thông minh.



Hình 1.1 Số lượng công bố khoa học về giao thông thông minh trên IEEE và Science Direct từ năm 2019 đến 2022

Trong những năm gần đây, Việt Nam đang trải qua sự phát triển mạnh mẽ về kinh tế và xã hội. Điều này dẫn đến xu hướng đô thị hóa nhanh, đặc biệt là ở các đô thị lớn như Hà Nội, Hải Phòng, Thành phố Hồ Chí Minh, ... Cùng xu thế đô thị hóa đó, các vấn đề nan giải về giao thông xuất hiện nhiều và với mức độ nghiêm trọng ngày càng tăng, dễ thấy nhất là vấn đề ùn tắc giao thông trên các tuyến đường lớn, hoặc vấn đề ô nhiễm khí, rác thải từ các phương tiện [2]. Mặc dù nhà nước đang tích cực đầu tư mở rộng cơ sở hạ tầng giao thông công cộng, mở thêm một số tuyến đường sắt đô thị và tăng cường các tuyến xe buýt tại các thành phố lớn, tỷ lệ đảm nhận của phương tiện vận tải hành khách công cộng chỉ chiếm khoảng 8-10%. Trong khi đó, mật độ dân cư vào số lượng phương tiện cá nhân lại đang có xu hướng tăng lên [3]. Trên thực tế, tốc độ gia tăng phương tiện này đang vượt xa tốc độ phát triển của hệ thống giao thông và cơ sở hạ tầng, khiến nhiều tuyến đường lớn dần trở nên quá tải, tình trạng ô nhiễm tiếng ồn, ô nhiễm môi trường ngày càng nghiêm trọng. Theo số liệu sơ bộ của Trung tâm Nghiên cứu cuộc sống phát triển bền vững (CSDP), chỉ riêng TP Hà Nội, chi phí tăng thêm do tiêu hao nhiên liệu và lãng phí công lao động vì ùn tắc giao thông ở nội thành khoảng 36,4 tỷ VNĐ/ngày (12.812 tỷ VNĐ/năm, tương đương khoảng 600 triệu USD/năm). Còn tại TPHCM, theo ông Lê Quyết Thắng, Giám đốc Khu quản lý giao thông đô thị số 1, mỗi năm thành phố thiệt hại khoảng 170 tỷ đồng do ùn tắc giao thông [4].

Để giải quyết những vấn đề này, việc cải tạo và mở rộng cơ sở hạ tầng phải kết hợp với phát triển các công cụ quản lý giao thông dựa trên nền tảng giao thông thông minh. Tuy nhiên việc phát triển hệ thống giao thông thông minh ở Việt Nam vẫn gặp nhiều hạn chế. Phần lớn thiết bị kiểm soát giao thông thông minh hiện nay đều được nhập khẩu từ nước ngoài và không có khả năng chế tạo trong nước, việc thiếu hệ thống thống nhất gây khó khăn trong việc bảo mật và chia sẻ dữ liệu, các ứng dụng trở nên rời rạc, phục vụ từng ngành độc lập. Việc tiếp tục nghiên cứu và phát triển để hoàn thiện hệ thống giao thông thông minh bằng nguồn lực trong nước là một nhu cầu thiết thực.

1.2 Giới thiệu hệ thống thu phí không dừng

Thu phí không dừng (Electronic Toll Collection – ETC) là một trong những ứng dụng quan trọng của lĩnh vực giao thông thông minh hiện đại. Đây là các hệ thống thu phí đường bộ tự động mà không yêu cầu dừng xe hay bất cứ hoạt động giao dịch nào từ tài xế như các bốt thu phí bằng tiền mặt truyền thống. Sau khi thử nghiệm, Singapore là nước đầu tiên áp dụng hệ thống này vào một số con đường có mật độ lưu thông lớn vào năm 1975. Công nghệ này dần được áp dụng rộng rãi tại các nước Châu Âu những năm sau đó. Cho đến năm 1995, Bồ Đào Nha là quốc gia đầu tiên áp dụng đồng nhất hệ thống thu phí không dừng trên toàn quốc gia. Từ ngày 1 tháng 8 năm 2022, Việt Nam đã bắt đầu áp dụng hệ thống thu phí không dừng đồng bộ trên các tuyến cao tốc toàn quốc [5]. Đến nay, cả nước đã có 115 trạm thu phí áp dụng thi phí không dừng. Hai công nghệ được sử dụng trong các trạm thu phí không dừng này là RFID và truyền thông xác định cự ly ngắn DSRC dải tần 5,8 GHz (Dedicated short-range communication) [6]. Được sử dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia Châu Âu, công nghệ DSRC tỏ ra vượt trội hơn với tốc độ truyền nhanh, tính bảo mật và độ chính xác cao [7].

Hệ thống thu phí không dừng ETC sử dụng công nghệ DSRC gồm thiết bị phát đáp được gắn trên kính của phương tiện và thiết bị trên trạm thu phí. Thiết bị thu phát vô tuyến trên trạm sẽ phát tín hiệu tới thiết bị trên phương tiện, thiết bị trên phương tiện sẽ trả về thông tin của phương tiện bao gồm thông tin chủ phương tiện, biển số, loại xe, tài khoản thanh toán. Hệ thống sẽ tiến hành thu phí hoặc ghi nợ để chủ phương tiện thực hiện thanh toán sau đó. Nhờ tốc độ thu phí nhanh hơn từ 3 đến 5 lần so với thu phí truyền thống [8], những làn thu phí không dừng này có tác dụng lớn trong việc giảm ùn tắc tại các trạm thu phí và đảm bảo lưu lượng giao thông. Một trong những thách thức lớn của các hệ thống thu phí không dừng là các giao dịch cần được hoàn thành nhanh chóng trước khi phương tiện di chuyển ra khỏi vùng giao tiếp của các thiết bị. Yêu cầu này thường được giải quyết bằng việc giới hạn tốc độ của xe khi đi qua các làn thu phí ETC, ví dụ quy định tại Việt Nam là khi đi qua trạm thu phí, các phương tiện di chuyển trong làn ETC chỉ được phép di chuyển với tốc độ tối đa là 40 km/h. Tuy nhiên việc hạn chế tốc độ làm ảnh hưởng đến hiệu quả giảm ùn tắc và có thể làm chậm lưu lượng giao thông. Giải pháp thứ 2 là tối ưu tốc độ xử lý các giao tiếp truyền nhận và xử lý dữ liệu của bo mạch chủ trên thiết bị trạm. Phương pháp này sẽ làm tăng giá thành của các thiết bị trên trạm do cần sử dụng các vi xử lý hoặc CPU với chu kỳ máy lớn hơn. Một giải pháp khác là thiết kế ăng-ten có độ lợi cao và búp sóng chính rộng giúp tăng khoảng cách và không gian giao tiếp. Giải pháp này vừa tăng hiệu quả truyền nhận của thiết bị thu phí, vừa có thể giúp giảm giá thành và kích thước nếu sử dụng ăng-ten giá thành thấp và kích thước nhỏ.

1.3 Tổng quan về các ăng-ten cho trạm thu phí không dừng hiện nay

Bảng 1.1 Một số loại ăng-ten để xuất cho hệ thống thu phí không dùng sử dụng công nghệ DSRC

Tài liệu tham khảo	Loại ăng-ten	Kích thước (λ_0)	Độ lợi cực đại (dBi)	Băng thông (%)	Vùng phủ mặt phẳng ngang	Vùng phủ mặt phẳng đứng
[9]	Ăng-ten patch kết hợp với mảng đơn cực ký sinh	$0,36 \times 0,36 \times 0,08$	5,7	12,7 20,1	NA	NA
[10]	Mảng ăng-ten patch 4×4 phần tử	$1,5 \times 1,5 \times 0,004$	13	NA	30	30
[11]	Mảng ăng-ten patch 2×2 phần tử	$1,9 \times 1,475 \times 0,01$	9,97	1,7	53	47
[12]	Mảng ăng-ten patch 1×4 phần tử	NA	7,88	2,76	NA	NA
[13]	Mảng ăng-ten patch 1×2 phần tử	$1,35 \times 0,8 \times 0,015$	9,49	1,6	NA	NA
[14]	Ăng-ten patch	$0,69 \times 0,69 \times 0,03$	7	8,6	NA	NA
[15]	Ăng-ten patch	$0,45 \times 0,45$	3,5	0,76	NA	NA
[16]	Mảng ăng-ten patch 1×2 phần tử	$1,08 \times 1,7 \times 0,15$	9,61	2,54	NA	NA
[17]	Mảng ăng-ten patch 1×3 phần tử	$0,58 \times 1,45 \times 0,03$	9	10.3	40	90

Một số các nghiên cứu gần đây về thiết kế ăng-ten cho hệ thống thu phí không dùng sử dụng công nghệ DSRC dải tần 5,8 GHz được liệt kê trong Bảng 1.1. Một số nhóm nghiên cứu đề xuất cấu trúc ăng-ten patch, là loại ăng-ten định hướng và có độ lợi cao hơn so với các cấu trúc ăng-ten bức xạ đa hướng khác. [14] đề xuất ăng-ten patch hình tròn được cấp nguồn sử dụng cáp đồng trực. Điểm mới của thiết kế này là các cặp via được thêm vào với các mục đích khác nhau. Cặp via nối ngắn mạch ăng-ten với lớp đát đằng sau giúp giảm tần số cộng hưởng trung tâm, một cách để tiêu hình hóa ăng-ten, trong khi 2 cặp via còn lại để tạo phân cực tròn. Dù vậy kích thước tổng cộng của cả hệ thống vẫn tương đối lớn, độ lợi và góc bức xạ chưa được quan tâm đánh giá trong bài. Điểm nổi bật nhất mà nhóm tác giả này làm được là đánh giá đặc tính bức xạ của ăng-ten trên mô hình ô tô trong phần mềm mô phỏng. Tuy nhiên chưa có dữ liệu đo đặc thực tế để kiểm chứng. Cùng định hướng sử dụng ăng-ten patch, nhóm nghiên cứu trong [15] có hướng tiếp cận khác để tiêu hình hóa ăng-ten. Việc áp dụng mảng khoét theo cấu trúc lặp Fern đã giúp giảm 79% kích thước ăng-ten. Tuy nhiên, băng thông của ăng-ten lại bị giảm mạch xuống chỉ còn 45 MHz, không bao phủ hết được các kênh của chuẩn DSRC. Qua 2 công bố nêu trên, ta cũng thấy được điểm yếu cố hữu của ăng-ten patch là kích thước rất lớn. Vì vậy, các thiết kế sử dụng ăng-ten patch thường nhắm đến việc tiêu hình hóa thay vì cải thiện chất lượng bức xạ. Nhiều nhóm nghiên cứu khác đề xuất các cấu trúc mảng ăng-ten patch với ưu điểm độ lợi cao, cấu hình đơn giản và dễ chế tạo. Các bài báo [10], [11], [13], [16] có cùng hướng tiếp cận khi đề xuất các mảng ăng-ten patch được cấp nguồn bằng mạch chia công suất. Tuy nhiên nhược điểm lớn của các cấu trúc này là cấu trúc lớn nhưng băng thông hẹp. Khi chế tạo, lắp đặt ăng-ten, sai số chế tạo có thể khiến cho tần số cộng hưởng trung tâm của cấu trúc ăng-ten bị sai lệch so với mô phỏng. Việc thiết kế ăng-ten có băng thông hẹp như vậy khiến cho ăng-ten sau khi chế tạo và lắp đặt dễ bị mất khả năng cộng hưởng tại tần số mong muốn. Hầu hết các cấu trúc được liệt kê có băng thông không vượt quá 10%, chỉ ăng-ten trong công bố [9] có băng thông tương đối rộng. Tuy nhiên cấu trúc này lại tương đối phức tạp và khó triển khai trong thực tiễn. Ngoài ra, hạn chế khác của các cấu trúc này là kích thước ăng-ten phần tử tương đối lớn, khiến kích thước tổng cộng của mảng ăng-ten khá lớn. Một điểm đáng lưu ý khác là các nghiên cứu được liệt kê không xây dựng chỉ tiêu thiết kế về độ lợi và độ rộng búp sóng cho ăng-ten từ yêu cầu thực tế về khoảng cách truyền nhận tối thiểu nhằm đảm bảo thanh toán thành công khi các phương tiện đi qua.

1.4 Đề xuất giải pháp dùng mảng ăng-ten độ lợi cao, kích thước nhỏ

Trong nội dung đồ án này, em đề xuất ý tưởng thiết kế một cấu trúc mảng ăng-ten mới dựa trên lý thuyết về mảng ăng-ten lưỡng cực cộng hưởng trong [18], với ưu điểm băng thông rộng đạt được nhờ cộng hưởng giữa các phần tử liền kề. Tuy nhiên, để giảm kích thước và hạn chế sai số trong chế tạo, mặt phẳng đất nằm vuông góc với mảng ăng-ten đã được loại bỏ, thay bằng phần đất mạch in phẳng. Cấu trúc nhỏ gọn này làm mảng không đạt được băng thông siêu rộng như lý thuyết, nhưng vẫn đảm bảo dải tần hoạt động vừa đủ lớn cho các ứng dụng giao

tiếp không dây. Mảng gồm 9 ăng-ten lưỡng cực được thiết kế tại 5,8 GHz trên chất nền RF-4 với độ dày 0,8 mm. Để giảm các búp sóng phụ, các ăng-ten phần tử được đặt cách nhau ít hơn $0,5\lambda_g$. Để giảm tối đa không gian chiếm dụng của cấu trúc mảng ăng-ten, kỹ thuật tiêu hình hóa khi chế tạo cũng được thử nghiệm và áp dụng.

1.5 Mục tiêu đề tài

Trong đồ án này, em sẽ trình bày kỹ thuật thiết kế, mô phỏng các thành phần của hệ thống mảng ăng-ten độ lợi cao, kích thước nhỏ nhẹ trên, bao gồm: ăng-ten phần tử, mảng ăng-ten, cấu trúc cấp nguồn, thu nhỏ kích thước toàn hệ thống. Sau đó, các thành phần sẽ được chế tạo thực và được tích hợp thành hệ thống hoàn chỉnh. Sau cùng, em xây dựng hệ thống đo đặc và đánh giá kết quả, từ đó đánh giá tính khả dụng, đánh giá được ưu, nhược điểm và hướng phát triển tiếp theo của đề tài.

1.6 Kết luận chương

Trong CHƯƠNG 1, em đã trình bày tổng quan về hệ thống giao thông thông minh và thu phí không dừng, khảo sát các ăng-ten được đề xuất gần đây cho hệ thống thu phí không dừng để thấy được ưu, nhược điểm của các cấu trúc, từ đó đề xuất giải pháp sử dụng mảng ăng-ten độ lợi cao, kích thước nhỏ cho thiết bị trên trạm. Chương sau, em sẽ trình bày về cơ sở lý thuyết chung phục vụ cho tính toán, thiết kế và đánh giá các thành phần của cấu trúc đề xuất.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CHUNG

Chương 2 sẽ trình bày các lý thuyết cơ bản có liên quan đến các thành phần trong thiết kế của đè tài: một số lý thuyết về ăng-ten và mảng ăng-ten vi dải, tìm hiểu về các cách cấp nguồn và cấu trúc cấp nguồn.

2.1 Một số lý thuyết cơ bản về ăng-ten

2.1.1 Trường bức xạ

Trường bức xạ của ăng-ten được chia thành hai miền chính là trường gần và trường xa. Trường gần là vùng không gian bao quanh ăng-ten có bán kính được tính bằng công thức:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \quad 2.1$$

Với D là kích thước lớn nhất của ăng-ten, λ là độ dài bước sóng. Không gian bên ngoài bán kính đó được gọi là trường xa. Hiệu suất truyền và hiệu suất chuyển đổi năng lượng trong trường gần cao hơn trong trường xa do giá trị mật độ năng lượng bức xạ bị giảm đi khi khoảng cách truyền tăng lên. Dù vậy do khi thu năng lượng ở trường xa, ta có thể thu năng lượng ở vùng rộng hơn, hơn nữa trong thực tế, các nguồn bức xạ thường ở xa điểm đặt hệ thống thu năng lượng.

2.1.2 Cường độ bức xạ

Cường độ bức xạ của ăng-ten theo một hướng là năng lượng bức xạ của ăng-ten trong một đơn vị góc khối:

$$U = r^2 \times W_{rad} \quad 2.2$$

Trong đó:

U : Cường độ bức xạ (W/đơn vị góc khối)

W_{rad} : Mật độ năng lượng bức xạ (W/m^2)

2.1.3 Mật độ năng lượng bức xạ

Khi sóng điện từ truyền trong không gian, đại lượng miêu tả mật độ năng tức thời của sóng truyền là:

$$W = E \times H \quad 2.3$$

Trong đó:

W : giá trị tức thời của mật độ năng lượng

E : giá trị tức thời của cường độ điện trường (V/m)

H : giá trị tức thời của cường độ từ trường (A/m)

2.1.4 Độ rộng búp sóng

Độ rộng búp sóng là góc giữa hai điểm có đặc tính giống nhau ở hai phía của hướng bức xạ cực đại. Hai độ rộng phổ biến gồm:

- Độ rộng búp sóng nửa công suất (HPBW): là góc trong mặt phẳng chứa búp sóng chính, giữa hai hướng mà ở đó năng lượng bức xạ bằng nửa năng lượng hướng bức xạ cực đại.

- Độ rộng “null” đầu tiên (FNBW): là góc trong mặt phẳng chứa búp sóng chính, giữa hai hướng mà ở đó bức xạ đạt đến giá trị null đầu tiên tính từ hướng bức xạ cực đại.

2.1.5 Hệ số định hướng

Hệ số định hướng của ăng-ten ở một hướng cho trước là tỷ số của cường độ bức xạ bởi ăng-ten tại hướng đó trên cường độ bức xạ bởi ăng-ten đẳng hướng cũng tại hướng và khoảng cách tương tự, với điều kiện công suất bức xạ của hai ăng-ten là giống nhau.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad 2.4$$

Trong đó:

U : Cường độ bức xạ tại hướng đã cho

U_0 : Cường độ bức xạ của ăng-ten đẳng hướng

P_{rad} : Công suất bức xạ

2.1.6 Độ lợi của ăng-ten

Một thông số quan trọng khác để đánh giá chất lượng của ăng-ten là độ lợi. Thông số này đánh giá được cả tính định hướng cũng như hiệu suất của ăng-ten. Độ lợi của ăng-ten tại một hướng cho trước được tính bằng tỉ số của cường độ bức xạ tại hướng đó trên cường độ bức xạ của một ăng-ten đẳng hướng lý tưởng (hiệu suất bằng 1) có cùng công suất tại hướng và khoảng cách tương tự.

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} = e_{cd} \times \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad 2.5$$

Trong đó:

U : Cường độ bức xạ tại hướng đã cho

P_{rad} : Công suất bức xạ

P_{in} : Công suất đầu vào

e_{cd} : Hiệu suất bức xạ

2.1.7 Băng thông

Băng thông của ăng-ten là khoảng tần số mà ở đó các giá trị đặc tính là giá trị chấp nhận được, thường gấp nhất là băng thông trở kháng thể hiện bởi hệ số S11. Cụ thể băng thông này là dải tần mà hệ số phản xạ S11<-10 dB.

2.2 Lý thuyết thiết kế ăng-ten lưỡng cực vi dải

- Giới thiệu chung về ăng-ten lưỡng cực

Trong các ứng dụng viễn thông, ăng-ten lưỡng cực là loại ăng-ten đơn giản và phổ biến nhất. ăng-ten lưỡng cực bao gồm 2 vật dẫn giống nhau, thường là 2 dây dẫn hoặc 2 thanh kim loại dẫn điện. Hai vật dẫn này sẽ được cấp nguồn tại 2 mặt khác nhau trên đường cấp nguồn. Độ dài của các vật dẫn (2 cánh bức xạ) sẽ quyết định tần số (hoặc bước sóng) cộng hưởng trung tâm của bức xạ. ăng-ten lưỡng cực nửa bước sóng là loại được sử dụng phổ biến hơn cả. Độ rộng (diện tích

mặt cắt ngang) của các cánh bức xạ sẽ quyết định băng thông, độ rộng càng lớn thì băng thông càng tăng (cho đến khi đạt bão hòa). Khoảng cách giữa 2 cánh bức xạ ảnh hưởng đến trở kháng nhin vào của ăng-ten lưỡng cực.

- Vấn đề cấp nguồn mất cân bằng ở ăng-ten lưỡng cực

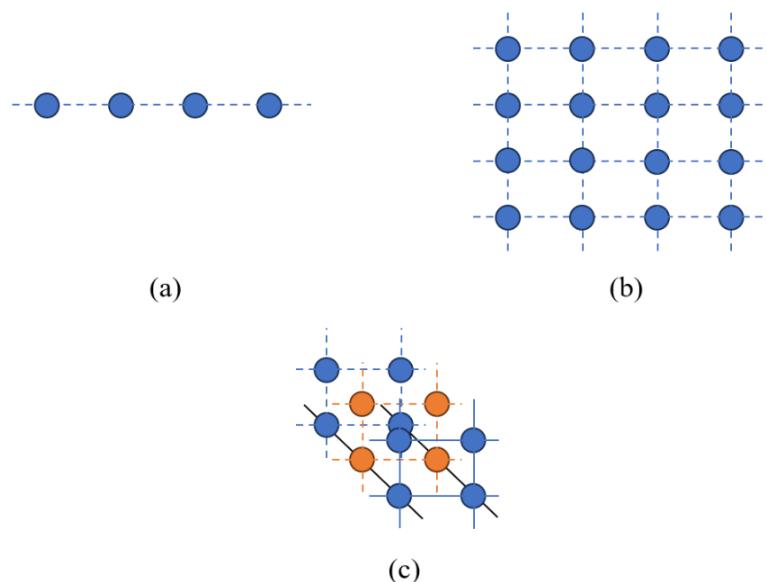
Ăng-ten lưỡng cực yêu dòng điện chảy trên hai cánh bức xạ phải có độ lớn bằng nhau để bức xạ đúng theo mô hình lý thuyết. Trong khi đó, cấu trúc cáp đồng trực thường dùng để cấp nguồn cho các ăng-ten không phải là một cấu trúc cân bằng về dòng điện. Do lớp đất ngoài của các đồng trực thường xảy ra hiện tượng có dòng điện chảy ngược ở lớp ngoài ngược chiều với lớp bên trong, dòng điện cáp ra cánh bức xạ được kết nối với lớp ngoài sẽ không bằng dòng điện chảy trên cánh bức xạ nối với lõi của cáp đồng trực. Vì vậy việc kết nối trực tiếp cáp đồng trực vào ăng-ten dipole có thể dẫn tới đặc tính bức xạ không mong muốn. Để giải quyết vấn đề này, một cấu trúc balun có đầu vào là tín hiệu không cần bằng nhận từ cáp đồng trực và đầu ra là tín hiệu cân bằng để cấp cho ăng-ten lưỡng cực. Thông thường phần tử này sẽ giúp triệt tiêu dòng ngược trên mặt ngoài của lớp đất của cáp đồng trực. Đối với các ăng-ten lưỡng cực dây, cấu trúc balun thường được sử dụng là các cấu trúc cuộn cảm có tác dụng triệt tiêu dòng ngược. Tuy nhiên đối với các ăng-ten lưỡng cực vi dải, cấu trúc balun vi dải dễ thiết kế và chế tạo.

2.3 Lý thuyết về mảng ăng-ten

2.3.1 Định nghĩa mảng ăng-ten

Thông thường, đặc tính đồ thị bức xạ của ăng-ten đơn có thông số độ lợi (độ định hướng) tương đối thấp. Trong những ứng dụng yêu cầu độ lợi lớn như nội dung đồ án này, các ăng-ten cần phải được thiết kế để có độ lợi lớn hơn. Việc tăng kích thước của ăng-ten thông thường sẽ giúp tăng độ định hướng của nó. Tuy nhiên, để tránh việc phải tăng kích thước của phần tử đơn, có một cách khác là kết hợp nhiều phần tử bức xạ thành một cấu trúc điện lớn và đồng nhất. Phần tử được tạo từ nhiều phần tử ăng-ten này được gọi là một mảng ăng-ten. Thông thường, các phần tử trong một mảng ăng-ten sẽ giống hệt nhau. Mặc dù không bắt buộc, đây là cách thuận tiện và đơn giản nhất để thiết kế một mảng ăng-ten.

Về lý thuyết, trường bức xạ của ăng-ten mảng sẽ là tổng vector của các trường được tạo bởi các ăng-ten phần tử. Tuy nhiên trong thực tế, trường bức xạ này còn phụ thuộc vào mức độ cộng hưởng của các phần tử đặt gần nhau và khoảng cách của các ăng-ten phần tử liền kề. Để tạo được mảng có độ định hướng cao, hướng bức xạ của các phần tử trong mảng phải có tác dụng tăng cường lẫn nhau trong hướng mong muốn và triệt tiêu nhau trong những hướng còn lại trong không gian. Trong thực tế, điều này cũng rất khó để đạt được. Trong mảng ăng-ten gồm các phần tử giống nhau, đặc tính bức xạ của mảng được quyết định bởi các yếu tố như cấu trúc hình học của mảng, khoảng cách tương đối giữa các phần tử ăng-ten, biên độ và pha tín hiệu kích thích cho mỗi phần tử. Có 3 dạng chính về phân bố phần tử của mảng ăng-ten như trong Hình 2.1. Trong đồ án này, em tập trung vào xây dựng mảng tuyến tính.



Hình 2.1 Các cấu trúc mảng ăng-ten

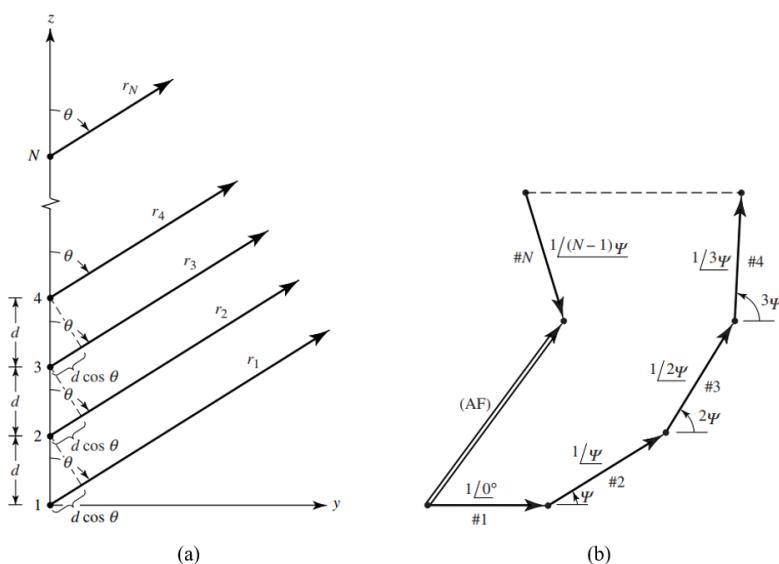
(a) Mảng tuyến tính

(b) Mảng 2 chiều

(c) Mảng 3 chiều

2.3.2 Mảng tuyến tính n phần tử - đồng biên độ và khoảng cách giữa các phần tử

Phân tích mảng ăng-ten tuyến tính như trong Hình 2.2(a).



Hình 2.2 Cấu trúc ăng-ten mảng tuyến tính N phần tử (a) và sơ đồ vector (b)

Giả sử các phần tử được cấp tín hiệu có biên độ bằng nhau và có pha sớm hơn một lượng bằng β so với tín hiệu cấp vào phần tử ngay trước đó. Coi các ăng-ten phần tử là các nguồn điểm, ta thu được hệ số mảng như sau [19]:

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad 2.6$$

Quy tắc nhân trường bức xạ của mảng gồm các phần tử giống nhau cũng được nêu trong [19]:

$$E(M) = E(Pt) \times AF$$

2.7

Trong đó:

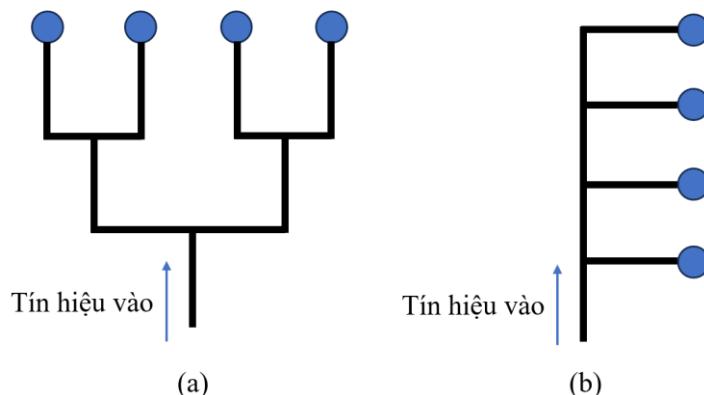
$E(M)$ là điện trường tổng hợp của mảng

$E(Pt)$ là điện trường của phần tử

Do hệ số mảng của một mảng đồng nhất N phần tử là tổng của các đại lượng phức, ta có thể biểu diễn nó bằng tổng của N vector có biên độ là biên độ tín hiệu của từng phần tử và độ lệch pha giữa các vector là bằng $\psi = kd \cos \theta + \beta$. Từ mô tả trong Hình 2.2(b), ta thấy biên độ và pha của hệ số mảng AF hoàn toàn có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi độ lệch pha ψ một cách chính xác.

2.3.3 Các phương pháp cấp nguồn cho mảng ăng-ten

Có hai cách cấp nguồn cho mảng ăng-ten: cấp nguồn kiểu song song và cấp nguồn kiểu nối tiếp. Cấu hình cấp nguồn kiểu song song chia công suất từ một cổng vào duy nhất cho N cổng ra song song. Cấp nguồn nối tiếp là kiểu cấp nguồn có một đường truyền tín hiệu chính duy nhất, từ đó rẽ nhánh phụ để dẫn nguồn đến các phần tử.



Hình 2.3 Cáp nguồn song song (a) và cáp nguồn nối tiếp (b)

Trong đồ án này, với mục tiêu thiết kế mảng ăng-ten có độ lợi cao, em dự định thiết kế mảng gồm 9 phần tử. Với số lượng phần tử lớn như vậy, cấu hình cấp nguồn nối tiếp không phải lựa chọn tối ưu do khó khăn trong việc chia đều công suất ra các cổng cũng như việc điều chỉnh pha cho mỗi phần tử. Ngược lại, với phương pháp cấp nguồn song song, có nhiều cấu trúc mạch chia cho tín hiệu đều ra tại các cổng có biên độ bằng nhau và pha điều chỉnh một cách dễ dàng. Các cấu trúc chia công suất phổ biến được so sánh trong Bảng 2.1. Đối với ứng dụng cấp nguồn cho mảng ăng-ten cần phối hợp trở kháng đầu ra và pha của tín hiệu tại các cổng ra cần được điều chỉnh hợp lý, mạch chia công suất Wilkinson sẽ là lựa chọn phù hợp nhất với yêu cầu đặt ra.

Bảng 2.1 So sánh ưu, nhược điểm của các bộ chia công suất phổ biến

Bộ chia công suất	Ưu điểm	Nhược điểm
T-junction	- Cấu hình đơn giản - Ít suy hao	- Không có phối hợp trở kháng đầu ra
Wilkinson	- Cấu hình đơn giản - Cách ly đầu ra tốt - Có thể chia tỷ lệ công suất bất kỳ	- Sử dụng điện trở gây suy hao
Rat race	- Cách ly tốt	- Cấu hình rất phức tạp - Pha tín hiệu ra các công khó điều khiển

2.4 Kết luận chương

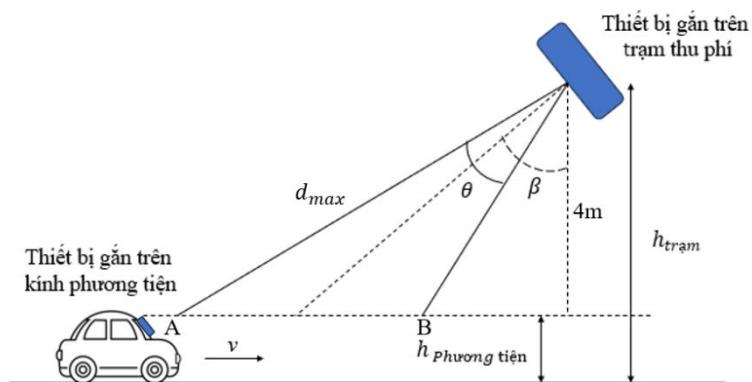
CHƯƠNG 2 đã trình bày khái quát các lý thuyết cơ bản có liên quan đến các thành phần trong thiết kế bao gồm: lý thuyết chung về ăng-ten, lý thuyết về thiết kế mảng ăng-ten, lý thuyết và lựa chọn cấu trúc cấp nguồn phù hợp cho mảng đề xuất. Chương sau, em sẽ trình bày chi tiết quá trình thiết kế các phần tử trong hệ thống gồm mảng ăng-ten và mạch chia.

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO

Chương 3 sẽ trình bày quy trình tính toán, thiết kế và chế tạo ăng-ten phản tử, ghép thành mảng ăng-ten gồm 9 phản tử sử dụng trong ứng dụng thiết bị giao tiếp trong trạm thu phí không dừng. Tiếp đến, em trình bày quy trình tính toán và thiết kế cấu trúc cấp nguồn cho mảng ăng-ten, sau đó tích hợp cấu trúc cấp nguồn vào mảng. Cuối cùng em trình bày đề xuất giải pháp tiêu hình hóa toàn bộ cấu trúc bằng phương pháp bẻ gấp.

3.1 Tính toán yêu cầu thiết kế cho mảng ăng-ten sử dụng trong hệ thống thu phí không dừng

Mô hình tiêu chuẩn của trạm thu phí tự động này được thể hiện trong Hình 3.1.



Hình 3.1 Hệ thống thu phí không dừng theo tiêu chuẩn châu Âu

Thiết bị giao tiếp cố định được gắn trên cột của trạm thu phí, nghiêng góc β so với phương thẳng đứng ở độ cao $h_{trạm}$. ăng-ten trên thiết bị có độ rộng bút sóng nửa công suất (Half power beam width) trong mặt phẳng thẳng đứng là θ . Thiết bị phát sóng di động được gắn trên kính của phương tiện, cao cách mặt đất một khoảng giả sử $h_{phuong_tien} = 1,5$ m. Trong [20], tác giả đưa ra cấu hình lắp đặt tối ưu cho các hệ thống thu phí không dừng. Trong đó theo tiêu chuẩn của Châu Âu, độ cao $h_{trạm}$ tối thiểu là 5,5 m [21], [22]. Em sử dụng thông số trạm thu phí cao tốc Hạ Long-Vân Đồn làm cơ sở tính toán, chiều cao từ cốt nền đường đến đỉnh mái là 5,85 m, như vậy thiết bị thu phí sẽ được lắp ở vị trí thấp hơn, giả sử là 5,5 m. Như vậy chiều cao của thiết bị trạm so với thiết bị trên phương tiện là 4m, như thể hiện trong Hình 3.1. Thời gian để 1 thiết bị đầu đọc phổ biến trên thị trường hoàn thành một chi kỳ thanh toán là từ 50 đến 80 ms, để dự phòng trước trường hợp có lỗi xảy ra khi thực hiện thanh toán, em giả định thời gian thanh toán là 200 ms, đủ để hệ thống thực hiện lại thanh toán từ 2 đến 4 lần. Nếu đi với tốc độ 100 km/h, xe sẽ đi được 5,5 m trong thời gian thực hiện thanh toán. Như vậy khoảng cách AB (Hình 3.1) phải bằng hoặc lớn hơn 5,5 m để đảm bảo xe ở trong vùng phủ của ăng-ten trong suốt quá trình thực hiện tính phí. Công suất phát tối đa của bộ phát trên trạm theo quy chuẩn châu Âu là 33 dBm. ăng-ten trong các thiết bị sử dụng trên phương tiện thường có độ lợi lớn hơn 5 dBi, trong luận văn [20], tác

giả sử dụng mô hình hệ thống có độ lợi ăng-ten của phần tử phát đáp là 7 dBi. Trong đồ án này, em giả sử ăng-ten của thiết bị trên phương tiện có độ lợi là 5 dBi để tính toán. Để thông tin truyền thông được đảm bảo, công suất nhận trên thiết bị thu phải lớn hơn -43 dBm [20]. Các yếu tố khác tác động lên tín hiệu truyền nhận giữa 2 thiết bị là các tổn hao do môi trường và tổn hao do vật liệu làm kính ô tô, nơi dán thiết bị phát đáp lên. Thông số tính toán cho tổn hao do cửa kính ô tô L_{win} thay đổi trong khoảng từ 3 dB đến 10 dB, tùy thuộc vào loại kính mà ô tô sử dụng. Trong đề tài này, em chọn L_{win} bằng 5 dB [20], [23]. Trong công thức tính toán tỉ lệ công suất truyền nhận Friss (3.1), tổn hao khi truyền tín hiệu qua khoảng cách R là L_{path} được biểu diễn bằng $\frac{\lambda}{4\pi R}$. Tuy nhiên, tổn hao này chỉ biểu diễn được trường hợp sóng truyền không gian tự do không có vật cản. Tuy nhiên, với điều kiện hoạt động ngoài trời, thời tiết và vật cản có thể ảnh hưởng đến suy hao trên đường truyền của sóng điện từ. Để dự trù tổn hao trên đường truyền do ván đề thời tiết, em đặt thêm một giá trị suy hao $L_{path2} = 15$ dB vào tính toán. Như vậy, ta thu được công thức tính toán công suất nhận trên thiết bị trên phương tiện như phương trình 3.2:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad 3.1$$

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) - L_{win} - L_{path2} \quad 3.2$$

Trong đó:

P_r : Công suất thu được tại thiết bị trên phương tiện

P_t : Công suất phát từ thiết bị trên trạm

G_r : Độ lợi của ăng-ten trên phương tiện

G_t : Độ lợi của ăng-ten trên trạm

λ : Bước sóng tại 5,8 GHz

R : Khoảng cách truyền nhận

L_{win} : Tổn hao do kính xe

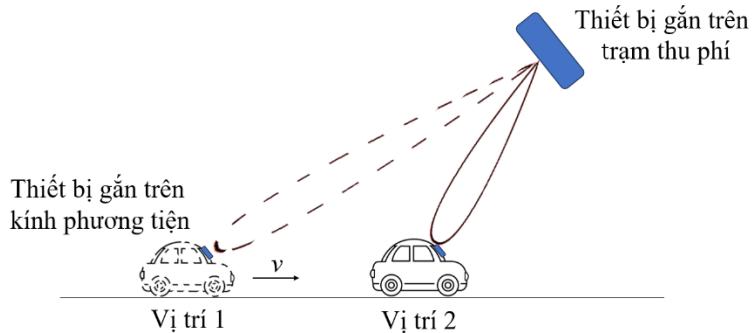
L_{path2} : Tổn hao trên đường truyền có vật cản hoặc thời tiết xấu

Bảng 3.1 Các thông số tính toán đã biết

Thông số	P_r	P_t	G_r	λ	L_{win}	L_{path2}
Giá trị	-43dBm	33dBm	5dBi	0.052m	5dB	15dB

Bảng 3.1 thể hiện các thông số đã biết trong công thức Friss (3.2), kết hợp với các thông số khoảng cách thể hiện trên Hình 3.1, ta xác định được độ lợi và độ rộng búp sóng cần thiết của ăng-ten. Từ những tính toán trên, em đặt chỉ tiêu thiết kế của ăng-ten cần có độ lợi tối thiểu là 6,5 dBi, độ rộng búp sóng chính tối thiểu đạt 25° . Máng ăng-ten điều hướng là cấu trúc có độ lợi cao và khả năng thay đổi hướng búp sóng chính mà không cần thay đổi vị trí của cấu trúc một cách vật lý. Khả năng điều hướng búp sóng này sẽ giúp mở rộng đáng kể không gian giao tiếp của các trạm thu phí với phương tiện di chuyển liên tục như mô tả trong Hình 3.2.

Như vậy với yêu cầu về ăng-ten đặt ra ở trên, mảng cần đạt được độ lợi lớn hơn 6,5 dBi và khả năng điều hướng góc búp sóng chính lệch 25° so với góc chính diện, kết hợp với độ rộng búp sóng chính, vùng phủ của mảng sẽ được đảm bảo thỏa mãn yêu cầu được đặt ra.



Hình 3.2 Mảng ăng-ten điều hướng mở rộng không giao tiếp với phương tiện

3.2 Đề xuất cấu trúc mảng ăng-ten lấy cảm hứng từ mảng ăng-ten lưỡng cực cộng hưởng

Mảng ăng-ten em đề xuất trong khuôn khổ đề án này lấy cảm hứng từ cấu trúc mảng ăng-ten lưỡng cực cộng hưởng (Tightly coupled dipole array). Mảng ăng-ten lưỡng cực cộng hưởng bao gồm các ăng-ten lưỡng cực được đặt cạnh nhau trên một mặt đất chung (Một tấm kim loại) của mảng. Các giá trị điện dung ký sinh được tạo ra giữa các phần tử làm triệt tiêu giá trị điện cảm tạo ra bởi ăng-ten dipole và đất, nhờ đó ăng-ten phần tử có thể được phối hợp trở kháng trong một dải tần số rộng.

Ưu điểm của mô hình này là cho băng thông rất rộng. Tuy nhiên việc có mặt phẳng đất phủ phía dưới chiếm diện tích tương đối lớn, chỉ phù hợp với các ứng dụng xây dựng mảng 2 chiều. Trong khuôn khổ đề án tốt nghiệp, với mục đích thiết kế mảng ăng-ten có thể thay đổi hướng bức xạ chính trong 1 mặt phẳng, em chỉ xây dựng mô hình mảng ăng ten 1 chiều, dẫn đến việc lược bỏ mặt đất vuông góc và thay bằng lớp đất vi dài nằm trong cùng mặt phẳng với mảng để tối ưu khoảng kích thước của mảng. Lấy cảm hứng từ phương pháp mở rộng băng thông của mảng ăng-ten lưỡng cực cộng hưởng, em nhắm đến việc xây dựng một mảng ăng-ten mà giữa các phần tử có giá trị điện dung ký sinh. Tuy nhiên, rất khó thực hiện điều này đối với các cấu trúc ăng-ten mạch thông thường. Với đặc điểm cấu trúc bức xạ chỉ nằm trên một lớp, kể cả khi ta đặt các cánh bức xạ rất gần nhau, giá trị điện dung được tạo ra cũng sẽ không đủ để bù lại phần giá trị cảm kháng trong cấu trúc. Vì vậy, em đề xuất cấu trúc ăng-ten lưỡng cực có 2 cánh bức xạ được đặt trên 2 mặt khác nhau, nhờ đó, các ăng-ten phần tử có thể được đặt gần nhau đến mức các cánh bức xạ của 2 phần tử liền kề có thể gói lên nhau và tạo ra giá trị điện dung tương đối lớn.

Cấu trúc ăng-ten phần tử của mảng đề xuất được thể hiện trong Hình 3.3a. Ăng-ten bao gồm 3 lớp kim loại nằm trên các mặt của 2 lớp chất nền riêng biệt. Trong đó, 2 lớp ngoài giống hệt nhau, bao gồm các cánh bức xạ của ăng-ten lưỡng cực, balun cộng hưởng, và đất. Lớp giữa là balun biến đổi từ balun Marchant, với đầu hở mạch sử dụng cấu trúc hình đẻ quạt thay cho cấu trúc đường vi dải thông

thường. Với hai thông số là góc mở và bán kính có thể được điều chỉnh một cách độc lập, cấu trúc này giúp cho việc tối ưu ăng-ten trở nên linh hoạt hơn. Nhờ cấu trúc gồm 2 lớp bức xạ, với 2 cánh lưỡng cực không bằng nhau trên mỗi lớp, hai phần tử ăng-ten liền kề của mảng sẽ có phần cánh bức xạ gối lên nhau. Điều này vừa giúp tạo ra giá trị điện dung ký sinh giữa các phần tử, vừa giúp giảm khoảng cách giữa các phần tử ăng-ten. ăng-ten được thiết kế trên chất nền Roger4003C dày 0,8 mm, hằng số điện môi 3,55, hệ số suy hao 0,0027, 3 lớp bức xạ là lớp đồng dày 0,035 mm (màu khác nhau chỉ để phân biệt các lớp) và được mô phỏng trong phần mềm mô phỏng CST Studio Suite 2019.

Do sự tương đồng giữa cấu trúc ăng-ten để xuất với cấu trúc mảng lượng cực cộng hưởng, ta có thể sử dụng mô hình trở kháng đầu vào của mảng lưỡng cực cộng hưởng để ước lượng các thông số của ăng-ten. Một mô hình mạch điện tương đương được đề xuất trong [24], [25], được thể hiện trong Hình 3.3b Trong đó L_a là giá trị điện cảm của ăng-ten dipole, phụ thuộc chủ yếu vào độ dài l_1 và l_2 của các cánh bức xạ của ăng-ten; C_c là giá trị điện dung ký sinh giữa các phần tử ăng-ten liền kề, phụ thuộc nhiều vào phần diện tích gối lên nhau w của các cánh bức xạ. R_{A0} là trở kháng bức xạ của ăng-ten, phụ thuộc chủ yếu vào kích thước của balun. Z_a là trở kháng vào nhìn từ phía ăng-ten xuống đất, được mô hình hóa thành đoạn vi dải và được tính như sau [25], [26]:

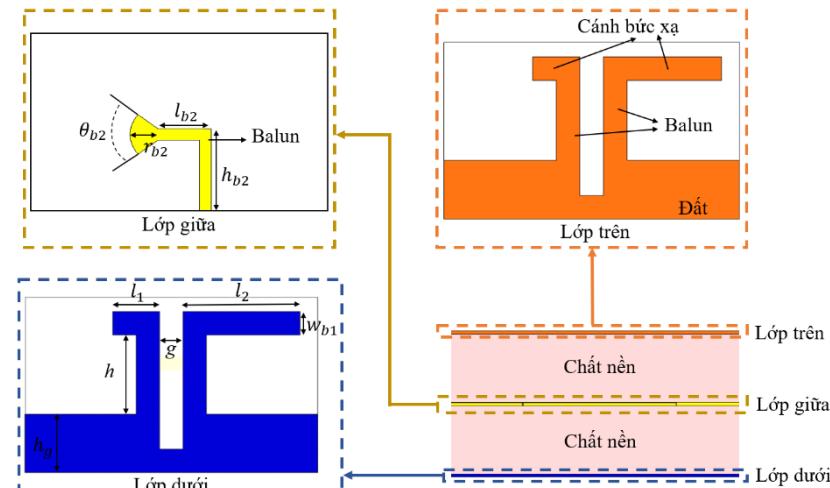
$$Z_a = 2jR_{A0}\tan(\beta h) \quad 3.3$$

Với: β là hệ số truyền sóng trong không gian

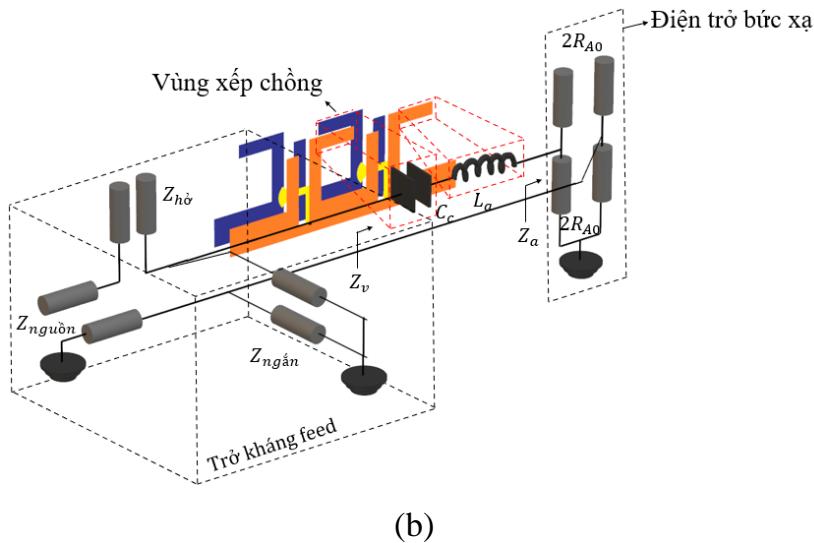
R_{A0} là trở kháng bức xạ của ăng-ten

Tổng trở kháng nhìn vào từ balun của ăng-ten phần tử được tính bằng:

$$Z_v = \left(jL_a - \frac{1}{jC_c} \right) + \frac{2R_{A0}(j2R_{A0}\tan(\beta h))}{(2R_{A0} + j2R_{A0}\tan(\beta h))} \quad 3.4$$



(a)



(b)

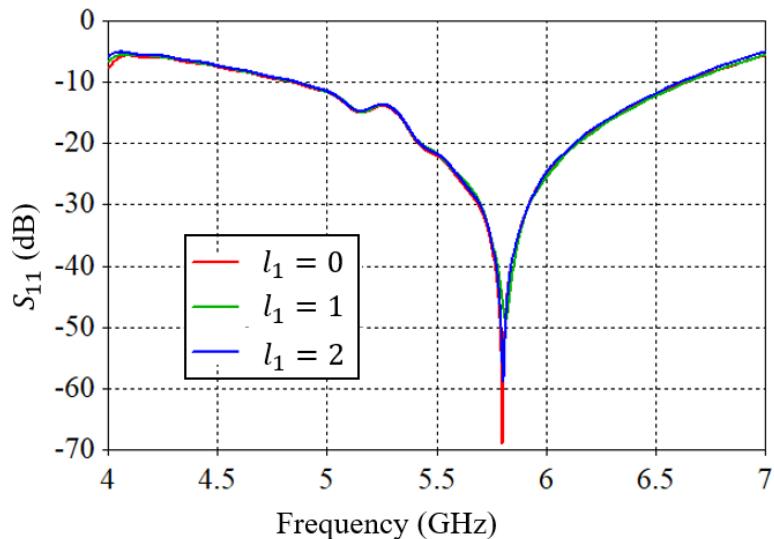
Hình 3.3 Cấu trúc ăng-ten phản tử

(a) Cấu trúc từng lớp của ăng-ten để xuất

(b) Cấu trúc 3D của ăng-ten phản tử và sơ đồ mạch tương đương của ăng-ten phản tử

Cùng với các giá trị điện cảm và điện dung nêu trên, thành phần trở kháng của balun như thể hiện trong Hình 3.3 tạo thành cấu trúc phối hợp trở kháng 3 tầng để phối hợp trở kháng đầu vào cho ăng-ten phản tử. Khi được tối ưu tốt, thành phần trở kháng này cũng sẽ đóng vai trò hỗ trợ triệt tiêu thành phần phản kháng của ăng-ten. Tuy nhiên, mô hình trên không hoàn toàn chính xác với cấu trúc em để xuất mà chỉ có ý nghĩa phân tích thiết kế. Vì vậy, em tiến hành khảo sát thông số của ăng-ten để tìm hiểu rõ hơn về tác động của các thông số vật lý của ăng-ten phản tử lên đặc tính bức xạ của mảng.

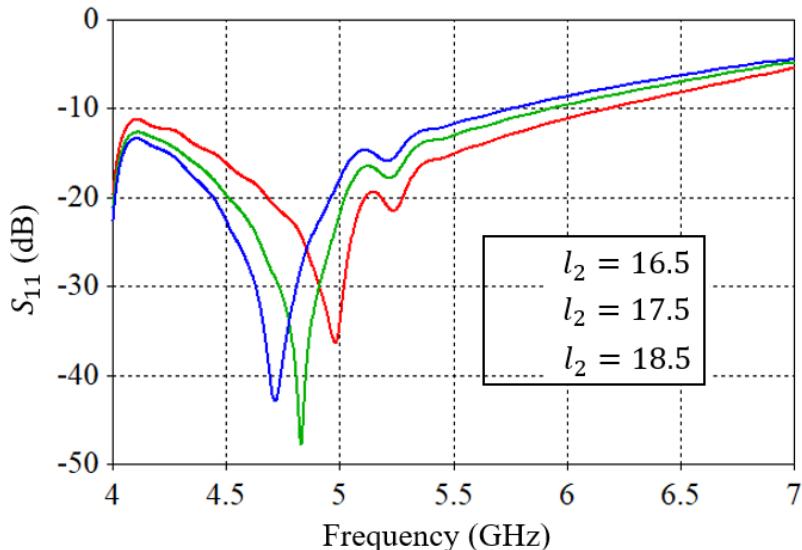
- Ảnh hưởng của l_1 :



Hình 3.4 Ảnh hưởng của l_1 lên hệ số phản xạ của ăng-ten phản tử

Từ Hình 3.4 có thể thấy, độ dài của cách bức xạ ngắn hơn hầu như không ảnh hưởng gì đến cả tần số cộng hưởng của ăng-ten lẫn hiệu quả phối hợp trở kháng. Vì vậy, cánh bức xạ này sẽ bị loại bỏ để đơn giản hóa cấu trúc của mảng.

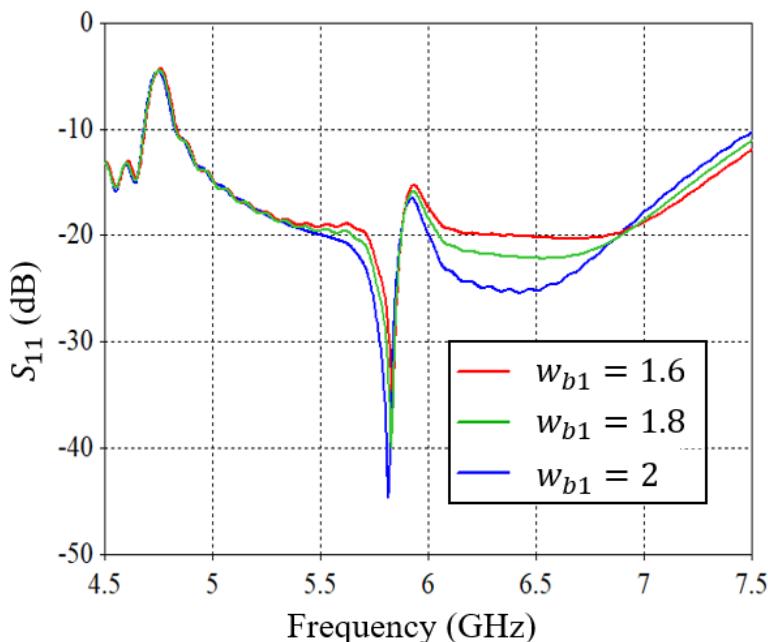
- Ảnh hưởng của l_2 :



Hình 3.5 Ảnh hưởng của l_2 lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử

Trong khi cách bức xạ ngắn hơn không ảnh hưởng đến phôi hợp trở kháng của các ăng-ten phần tử, chiều dài của cánh bức xạ dài hơn quyết định đến tần số cộng hưởng của các phần tử trong mảng, như thể hiện trong Hình 3.5. Cánh bức xạ càng dài, tần số cộng hưởng trung tâm càng dịch về phía tần số thấp hơn. Điều này khá tương đồng với ăng-ten lưỡng cực thông thường.

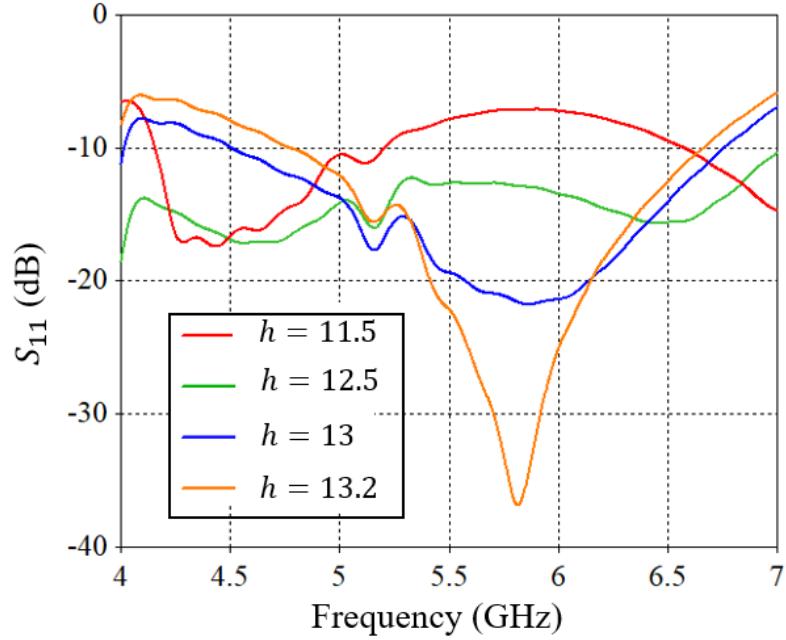
- Ảnh hưởng của w_{b1} :



Hình 3.6 Ảnh hưởng của w_{b1} lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử

Chiều dài và độ rộng của cánh bức xạ là hai thông số quyết định đến diện tích xếp chồng của các cánh bức xạ. Tác động của độ rộng cánh w_{b1} lên hệ số phản xạ của ăng-ten được thể hiện trong Hình 3.6. Từ sự thay đổi của hệ số phản xạ, có thể thấy khi w_{b1} thay đổi, sự thay đổi của giá trị điện dung ký sinh chỉ ảnh hưởng đến phôi hợp trở kháng của ăng-ten mà không làm thay đổi tần số cộng hưởng.

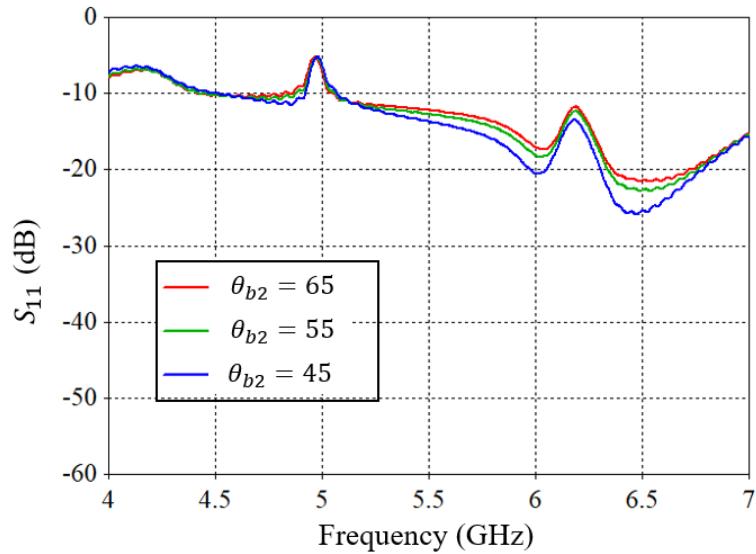
- Ảnh hưởng của h :



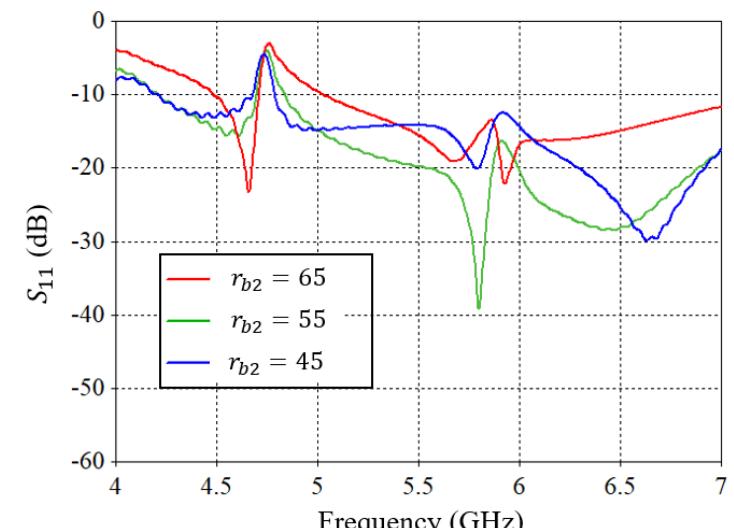
Hình 3.7 Ảnh hưởng của h lên hệ số phản xạ của ăng-ten phần tử

Kết quả cho thấy tương tự như độ rộng cánh, chiều cao của cánh bức xạ cũng ảnh hưởng nhiều đến phối hợp trở kháng đầu vào của ăng-ten phần tử mà không làm thay đổi tần số cộng hưởng.

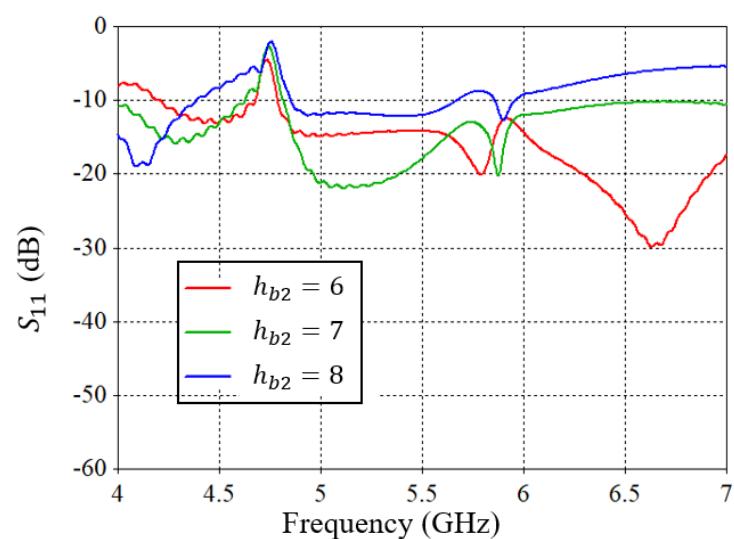
- Ảnh hưởng của các thông số của balun:



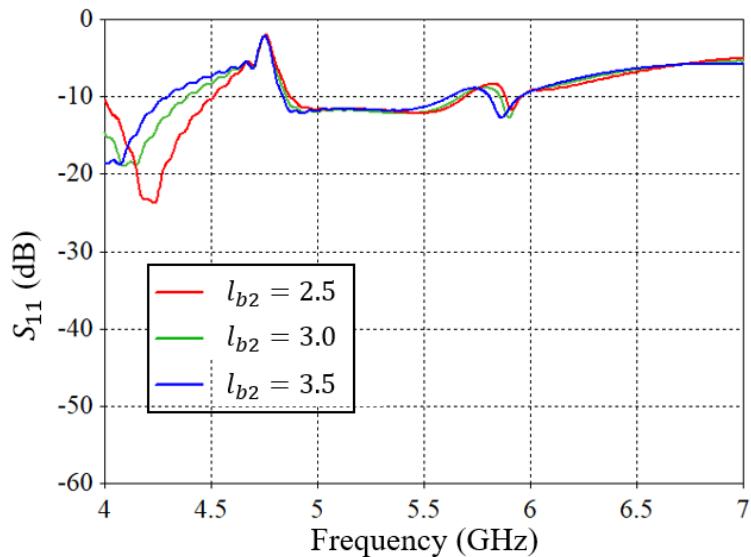
(a)



(b)



(c)



(d)

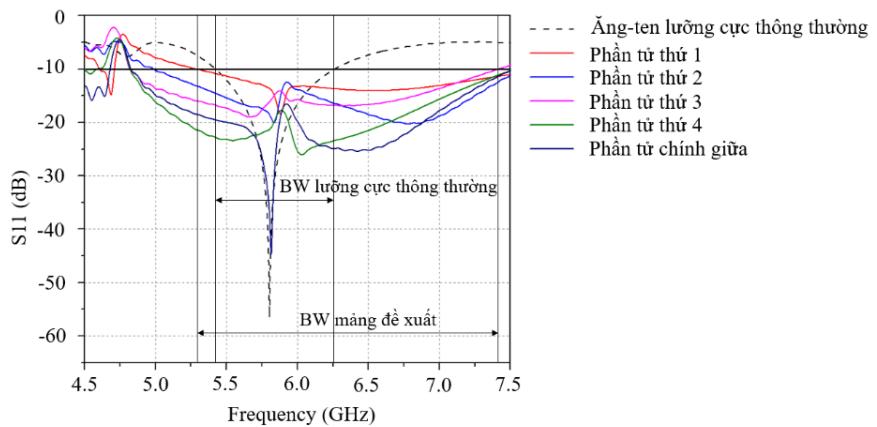
Hình 3.8 Ảnh hưởng của các thông số balun lên hệ số phản xạ của ăng-ten phẳng
tử (a) θ_{b2} (b) r_{b2} (c) h_{b2} (d) l_{b2}

Từ kết quả thể hiện trong Hình 3.8, có thể thấy trong khi góc mở θ_{b2} và chiều dài l_{b2} chỉ ảnh hưởng lên phôi hợp trở kháng của ăng-ten nhưng không nhiều, sự thay đổi của 2 thông số còn lại lại thay đổi trở kháng đầu vào của ăng-ten một lượng đáng kể. Vì vậy, trong quá trình thiết kế ăng-ten, kích thước của balun cần phải được tối ưu một cách cẩn thận để đạt được hiệu quả phôi hợp trở kháng tốt nhất. Cuối cùng, các thông số tối ưu cho mảng ăng-ten được thể hiện trong Bảng 3.2. Lưu ý rằng các thông số nói trên được tối ưu cho trường hợp khoảng cách giữa các phần tử trong mảng là 14 mm. Thông số này được đưa ra dựa trên phân tích hoạt động của mảng tuyến tính cấp nguồn đồng nhất trong [19], khoảng cách giữa các phần tử trong mảng nên nhỏ hơn $\lambda_g/2$ tại tần số hoạt động để giảm thiểu hình thành các búp sóng phụ. Do các công thức và mô hình tương đương trình bày bên trên đều dựa trên giả định rằng mảng ăng-ten là mảng vô hạn phần tử, ta cần thiết kế mảng ăng-ten có số phần tử đủ lớn để giảm thiểu sai lệch của mô hình. Tuy nhiên càng nhiều phần tử, kích thước của mảng sẽ càng lớn. Vì vậy trong đề tài này, em lựa chọn thiết kế mảng ăng-ten có 9 phần tử. Đây là số lượng phần tử đủ lớn mà vẫn đảm bảo kích thước của mảng ở mức vừa phải.

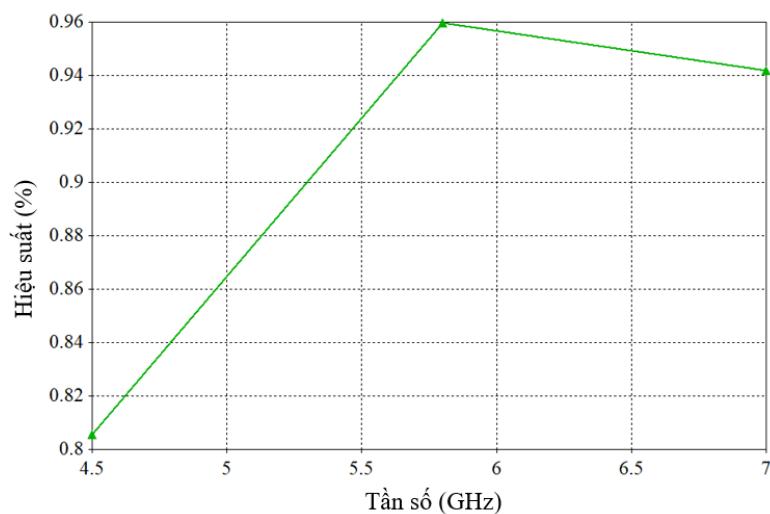
Để thấy rõ hơn nữa sự đúng đắn của ý tưởng và vai trò của nó trong việc mở rộng băng thông của mảng, em so sánh băng thông của các ăng-ten phần tử trong mảng với băng thông của một ăng-ten lưỡng cực nửa bước sóng thông thường ở cùng kích thước. Kết quả trong Hình 3.9 cho thấy băng thông của phần tử đề xuất rộng gấp hơn 2 lần so với một ăng-ten lưỡng cực thông thường ở tần số 5,8 GHz. Điều này khẳng định tính đúng đắn của ý tưởng thiết kế.

Bảng 3.2 Thông số tối ưu của mảng ăng-ten

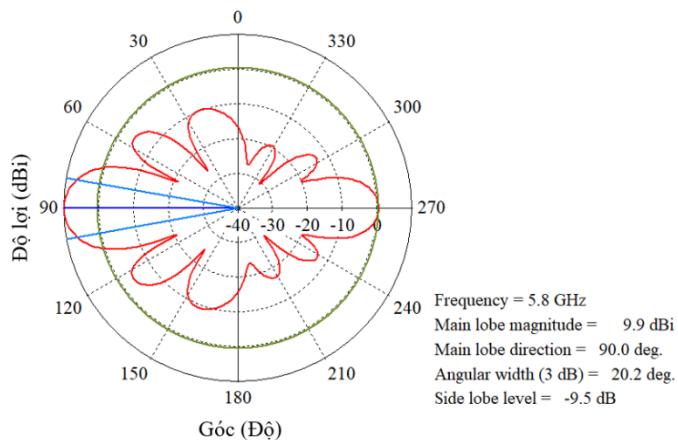
Thông số	Độ dài(mm)
h	10,55
h_g	6,45
l_1	7,25
w_{b1}	2
g	2,1
h_{b2}	6
l_{b2}	3,84
r_{b2}	2
θ_{b2}	45°



Hình 3.9 So sánh băng thông của phản tử đè xuất với ăng-ten lưỡng cực thông thường.



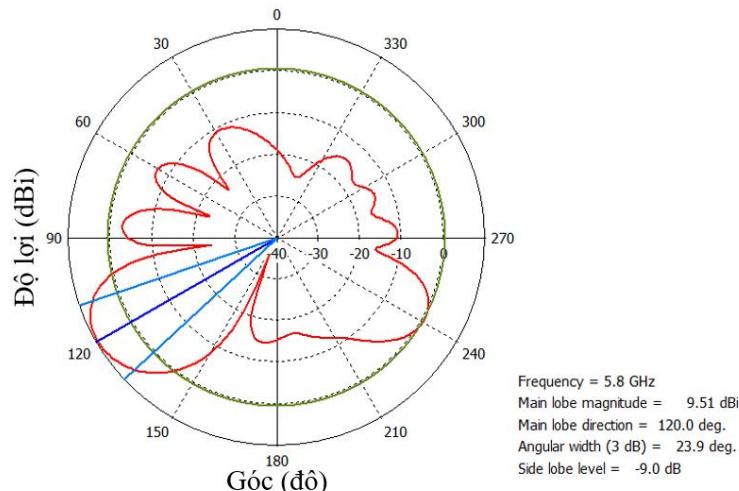
Hình 3.10 Hiệu suất bức xạ của mảng



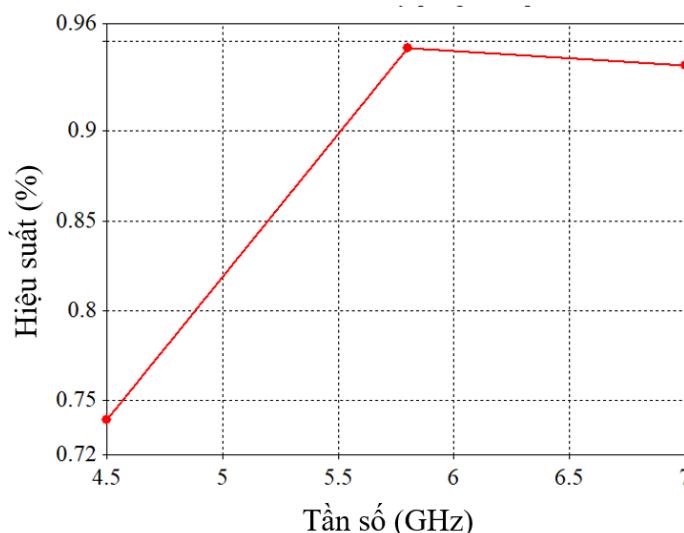
Hình 3.11 Đồ thị bức xạ của mảng

Kết quả mô phỏng cũng cho thấy mảng hoạt động tốt ở tần số 5,8 GHz, hiệu suất của mảng đạt 96% với độ lợi 9.9 dBi và búp sóng chính hướng về góc chính diện 90° khi cấp nguồn đồng pha. Tuy nhiên, mặc dù khoảng cách giữa các phản tử liền kề đã được thiết kế để nhỏ hơn $\lambda_g/2$ để giảm tránh các búp sóng phụ, hệ số búp phụ vẫn đạt -9.5 dB.

Để khảo sát khả năng điều hướng búp sóng của mảng ăng-ten, em thay đổi các đầu tín hiệu đầu vào tại các cổng mô phỏng để đạt được độ trễ pha mong muốn. Khi tín hiệu tại các cổng cấp nguồn cho mảng trễ pha lần lượt góc 40° , mảng đạt được bức xạ chính lệch một góc 30° so với phương chính diện, với độ lợi đạt $9,51$ dBi, giảm $0,4$ dBi. Cùng với đó tỉ số biên độ búp sóng phụ đạt -9 dB, khá tốt so với trường hợp quét góc rộng (Xem Hình 3.12). Hiệu suất mảng đạt gần 95% tại tần số $5,8$ GHz. Như vậy, khả năng quét góc của mảng ăng-ten đã được kiểm chứng, mảng có khả năng quét đến góc 30° so với phương chính diện mà không ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất bức xạ và độ lợi tối đa trong mặt phẳng ngang.



Hình 3.12 Đồ thị búp xạ với búp sóng chính lệch góc 30°



Hình 3.13 Hiệu suất của mảng khi búp sóng chính lệch góc 30°

3.3 Đề xuất cấu trúc cấp nguồn Wilkinson 1:9

3.3.1 Cấu trúc cấp nguồn đồng pha

Như đã phân tích tại mục 2.3.3, em chọn sử dụng bộ chia công suất Wilkinson để thiết kế mạch cấp nguồn cho mảng ăng-ten. Ta cần chọn cấu trúc chia công suất phù hợp để cần sử dụng càng ít tầng chia công suất càng tốt vì càng nhiều tầng chia công suất càng khó điều chỉnh biên độ và pha của các tín hiệu đầu ra và tốn hao trên đường mạch lớn. Với mảng ăng-ten 9 phần tử đề xuất, em lựa chọn cấu

trúc bộ chia Wilkinson 1 cổng vào, 3 cổng ra. Như vậy, mạch chia sẽ gồm 2 tầng chia công suất. Sơ đồ nguyên lý của cấu trúc chia công suất Wilkinson 1:3 được thể hiện trong Hình 3.14a [27]. Theo lý thuyết thiết kế mạch Wilkinson, để đạt được công suất chia đều ở 3 cổng ra, ta cần thiết kế để các thông số trở kháng và chiều dài của các đường mạch thỏa mãn công thức:

$$Z_1 = Z_0\sqrt{3} \quad 3.5$$

Và

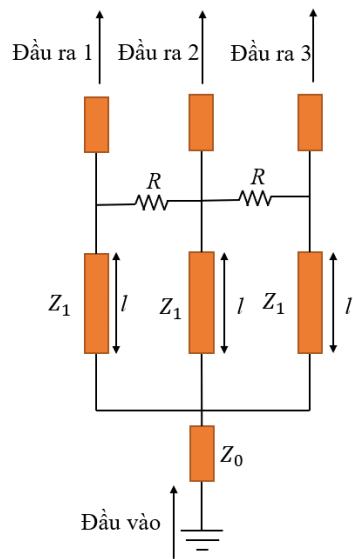
$$l = \lambda/4 \quad 3.6$$

Trong đó Z_0 là giá trị điện trở đầu ra để cấp cho ăng-ten, ta phải thiết kế để $Z_0 = 50\Omega$ để phối hợp trở kháng với đầu vào của ăng-ten. Với chất nền Roger 4003C độ dày 0,8 mm và có hằng số điện môi 3,55, em tính được độ rộng đường mạch w_0 tương ứng là 1,7 mm. Tương tự thu được độ rộng đường mạch w_1 là 0,6 mm. Giá trị điện trở R được tính bằng tổng của giá trị trở kháng chế độ chẵn và trở kháng chế độ lẻ, kết quả thu được giá trị $R = 120\Omega$ [27].

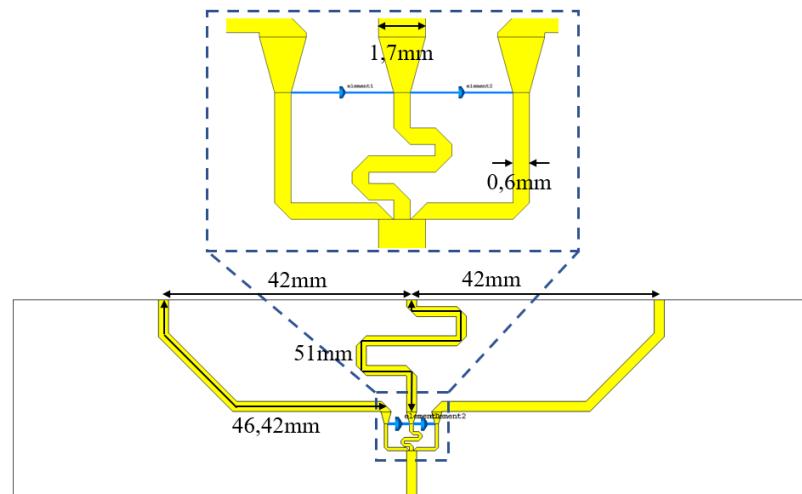
Hình 3.14b thể hiện cấu trúc Wilkinson 1:3 tầng 1 được mô phỏng bằng phần mềm CST. Hệ thống gồm đường vi dải 1,7 mm (50Ω) đầu vào, rẽ nhánh thành 3 đường 0,6 mm được phối hợp trở kháng bằng điện trở ở cuối. Sau đó tín hiệu ra được dẫn vào cấu trúc chuyển đổi trở kháng để đi vào đường nối dài 1,7 mm để kết nối với tầng thứ 2. Toàn bộ thiết kế tuân thủ theo tính toán lý thuyết. 3 cổng ra sau khi dẫn qua các đường nối dài cách đều nhau 1 khoảng 42 mm, khoảng cách cần thiết để làm đầu vào của các mạch chia tầng 2. Hệ số phản xạ tại cổng đầu vào của mạch chia được thể hiện trong Hình 3.15. Biên độ phản xạ dưới -10 dB trên toàn dải tần khảo sát, đạt thấp nhất tại tần số 5,8 GHz mong muốn.

Biên độ và pha của tín hiệu truyền đến các cổng được thể hiện trong Hình 3.15 và Hình 3.16. Biên độ của tín hiệu ra tương đối bằng nhau với độ lệch tối đa là 0.3 dB. Pha đầu ra của các tín hiệu bằng nhau.

Tương tự, em tiến hành thiết kế tầng thứ 2 của mạch chia gồm 3 mạch Wilkinson 1:3 giống nhau. Cách tính toán cùng kích thước các đường mạch của tầng thứ hai hoàn toàn tương tự với tầng thứ nhất. Các cổng ra của tầng chia công suất thứ 2 cách đều nhau 14 mm, bằng với khoảng cách của các ăng-ten phần tử trong mảng ăng-ten để tiện cho việc tích hợp. Cấu trúc mạch chia hoàn thiện được thể hiện trong Hình 3.17.

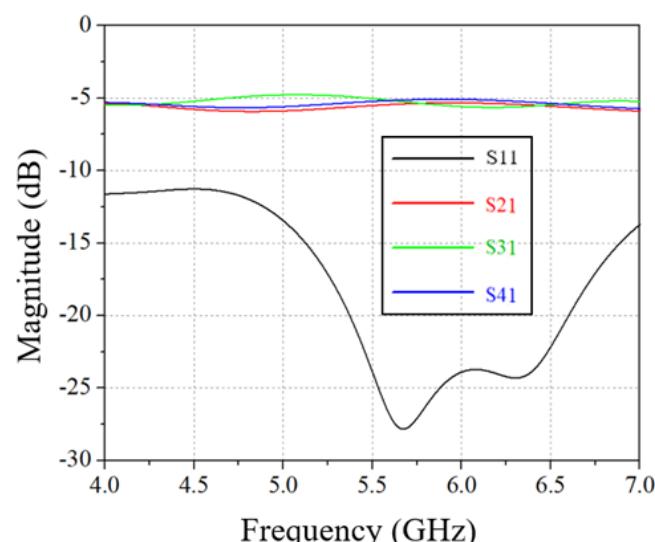


(a)

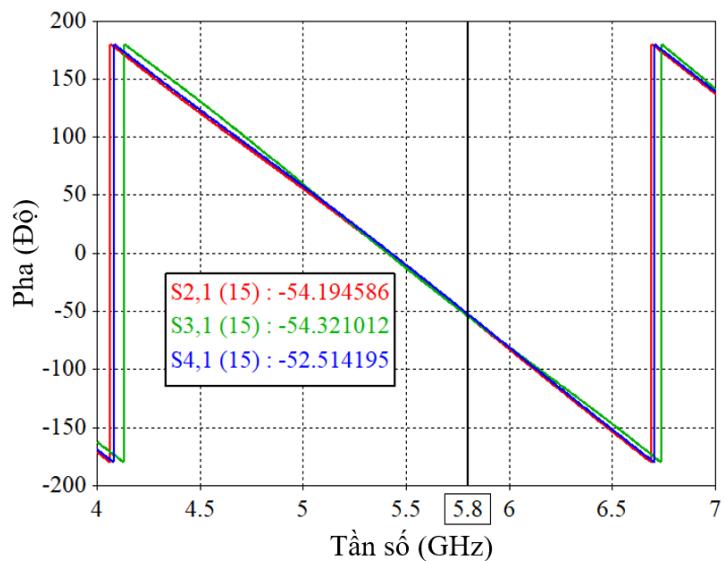


(b)

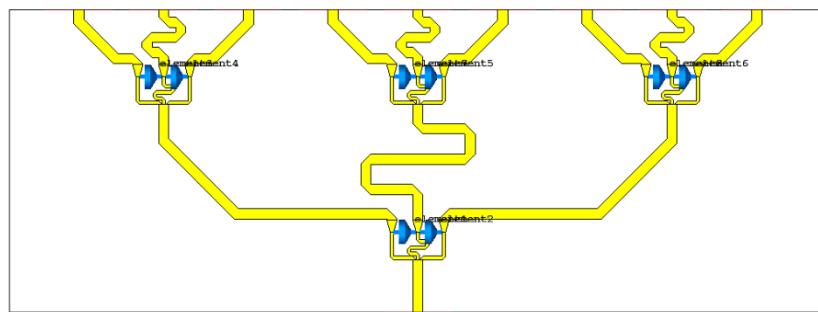
Hình 3.14 (a) Mạch nguyên lý bộ chia công suất Wilkinson 1:3
 (b) Cấu trúc Wilkinson 1:3 tầng 1



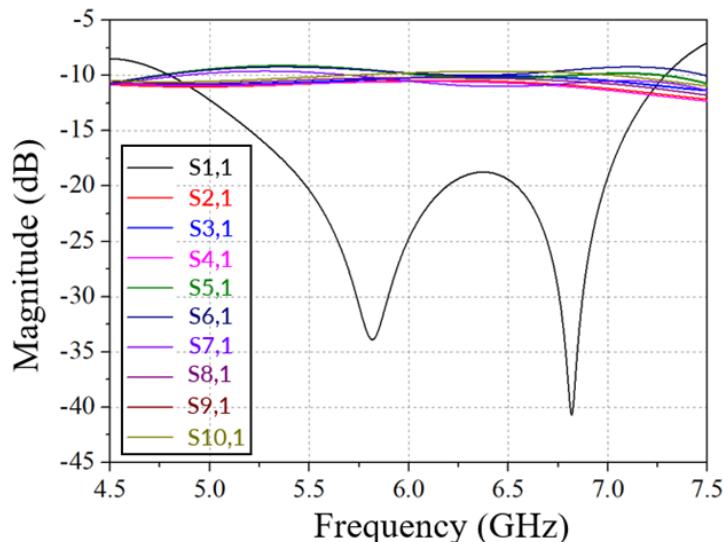
Hình 3.15 Hệ số phản xạ và truyền qua của mạch chia Wilkinson tầng 1



Hình 3.16 Pha truyền qua tại 3 cổng đầu ra của mạch chia Wilkinson tầng 1



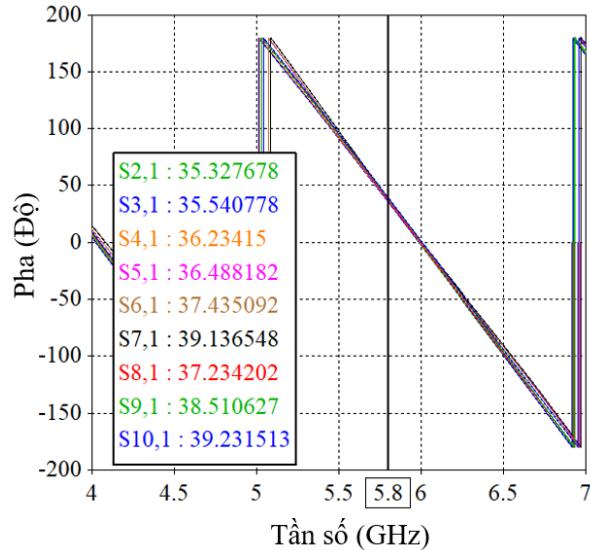
Hình 3.17 Cấu trúc Wilkinson 2 tầng



Hình 3.18 Hệ số phản xạ và truyền qua tại các cổng của mạch chia

Mặc dù hệ số phản xạ tại cổng vào của cấu trúc không còn tốt như cấu trúc Wilkinson 1 tầng, cấu trúc vẫn hoạt động tốt tại tần số 5,8 GHz mong muốn và trong dải tần số mà mảng ăng-ten hoạt động. Hình 3.18 và Hình 3.19 thể hiện hệ số phản xạ tại đầu vào, biên độ và pha của tín hiệu truyền tới các cổng đầu ra của mạch chia. Biên độ tín hiệu ra tương đối đồng đều ở tần số 5,8 GHz, với độ chênh lệch biên độ tối đa là 1,1 dB. Với hệ số truyền lớn nhất đạt -9,5 dB và thấp nhất

đạt -10,6 dB, suy hao trung bình trên mỗi cỗng là 0,5 dB so với trường hợp chia lý tưởng không có tổn hao. Pha của tín hiệu đầu ra khá đồng đều ở tất cả các cỗng.



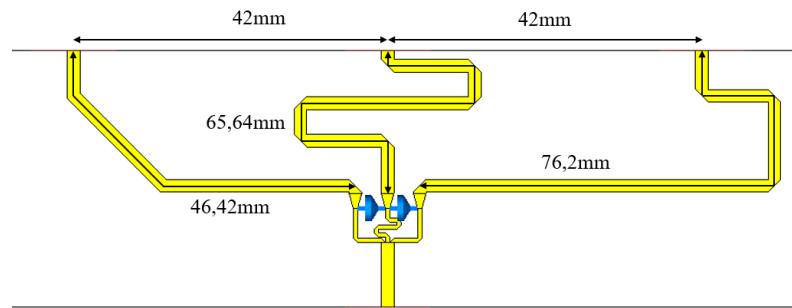
Hình 3.19 Pha truyền qua tại các cổng ra

3.3.2 Cấu trúc cấp nguồn có độ trễ pha 40°

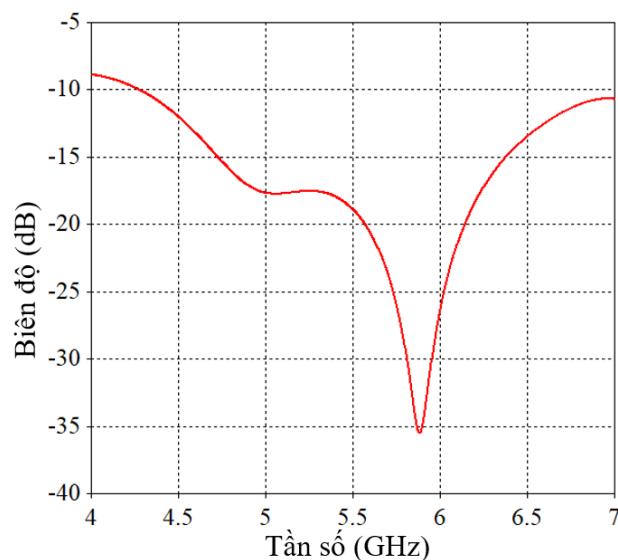
Sau khi đã thiết kế bộ chia nguồn để cấp cho mảng trong trường hợp bức xạ góc chính diện, em tiếp tục thiết kế mạch chia nguồn với đầu ra tại các cổng liên tiếp trễ pha nhau một góc 40° để khi cấp nguồn cho mảng ăng-ten, búp sóng của ăng-ten sẽ quay đi một góc 20°. Phát triển từ cấu trúc đồng pha đã trình bày ở phần 3.3.1, ta chỉ cần kéo dài các đường dẫn kéo dài để làm trễ pha tín hiệu. Tương tự với quy trình thiết kế mạch chia đồng pha, đối với mạch chia trễ pha, em cũng thiết kế từng tầng và ghép nối với nhau.

Do mỗi cổng ra ở tầng thứ nhất sẽ là tín hiệu vào để tạo thành 3 tín hiệu đầu ra ở tầng thứ 2, tín hiệu ra tại 2 cổng liền kề của tầng thứ nhất sẽ phải lệch pha nhau một góc 120°. Kích thước của tầng thứ nhất mạch chia trễ pha được thể hiện trong Hình 3.20. Khoảng cách giữa các đầu ra, cùng với chiều dài đường kéo dài ứng với đầu ra bên trái được giữ nguyên. Đường kéo dài ứng với đầu ra ở giữa và bên phải được kéo dài thêm để tạo độ trễ pha. Hệ số phản xạ tại đầu vào, hệ số biên độ và pha truyền qua tại các đầu ra của tầng thứ nhất của mạch chia trễ pha được biểu diễn lần lượt trong Hình 3.21, Hình 3.22 và Hình 3.23. Hệ số phản xạ cho thấy mạch chia vẫn đạt phôi hợp trở kháng tốt tại đầu vào trên toàn bộ dải tần hoạt động. Biên độ đầu ra vẫn tương đối bằng nhau, giữ được chất lượng đầu ra như ở mạch đồng pha. Pha của các tín hiệu đầu ra trễ hơn nhau góc 120° như mong muốn. Như vậy tầng thứ nhất của mạch chia đã được thiết kế đúng với yêu cầu đặt ra. Thiết kế hoàn toàn tương tự với tầng thứ hai của mạch chia, em thiết kế để mỗi cổng của mỗi cổng trong bộ chia đơn vị của tầng thứ hai lệch pha nhau 1 góc 40°, sau đó tích hợp với tầng thứ nhất để thu được một bộ chia hoàn chỉnh. Tuy nhiên, sau khi tích hợp và điều chỉnh để tín hiệu tại các cổng ra liên tiếp có pha cách đều nhau một góc 40°, hệ số biên độ tại các cổng không đạt được giá trị bằng nhau, với độ chênh lệch biên độ lớn nhất lên tới 2,1 dB (xem Hình 3.24). Sự không đồng đều

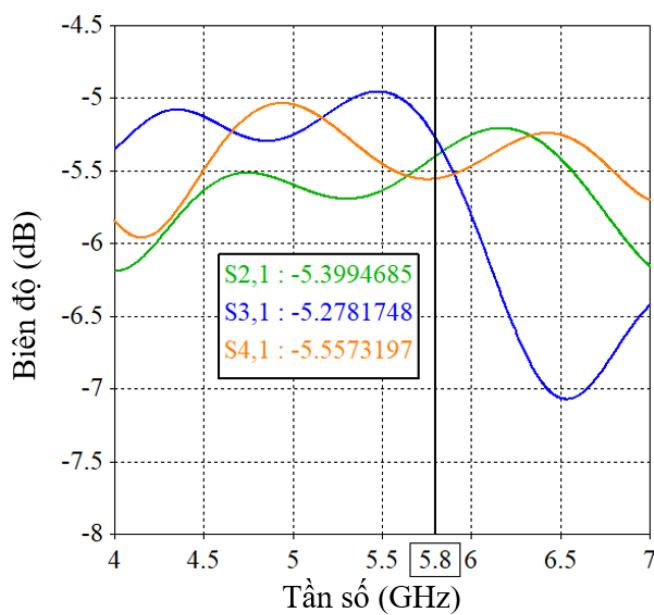
về biên độ nguồn cấp vào các ăng-ten phần tử có thể làm ảnh hưởng đến chất lượng và hướng bức xạ của mảng ăng-ten.



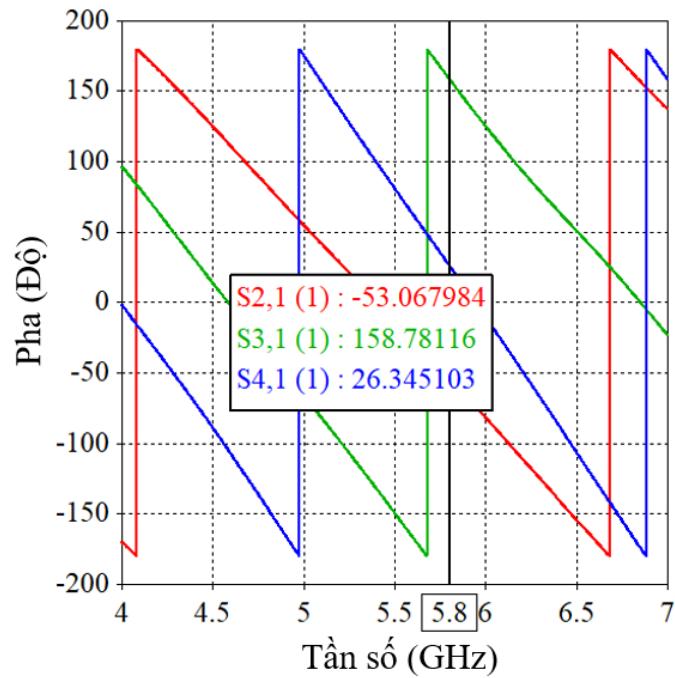
Hình 3.20 Kích thước tầng thứ nhất mạch chia trẽ pha



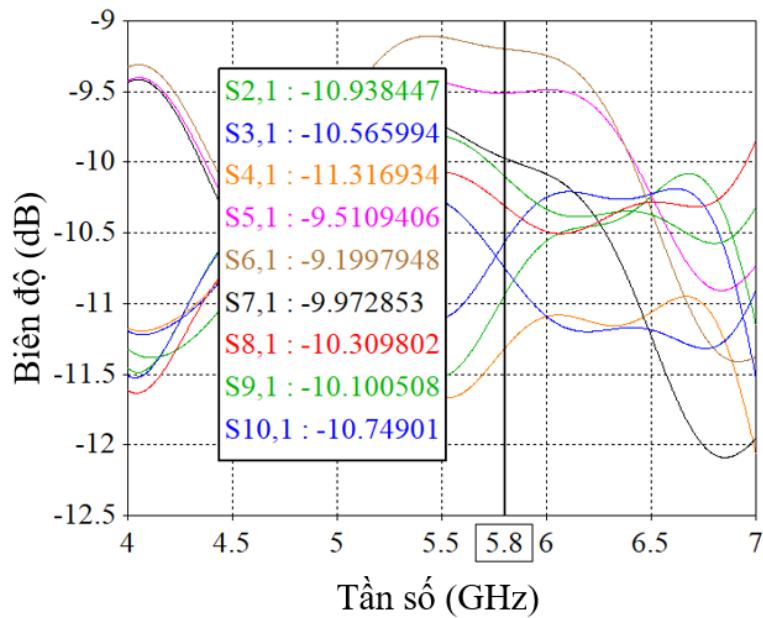
Hình 3.21 Hệ số phản xạ tại đầu vào tầng thứ nhất mạch chia trẽ pha



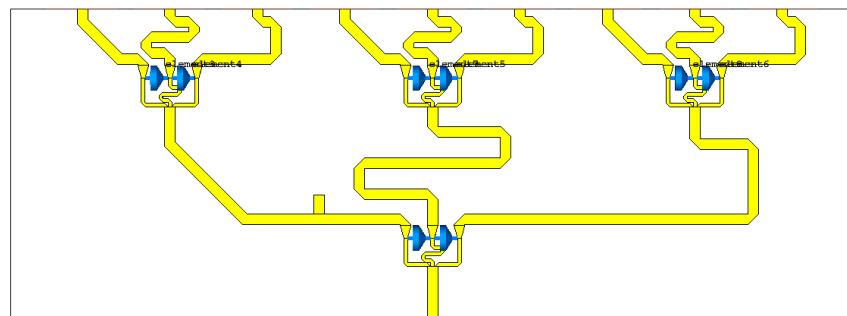
Hình 3.22 Hệ số biên độ tín hiệu ra tại các cổng ra tầng thứ nhất mạch chia trẽ pha



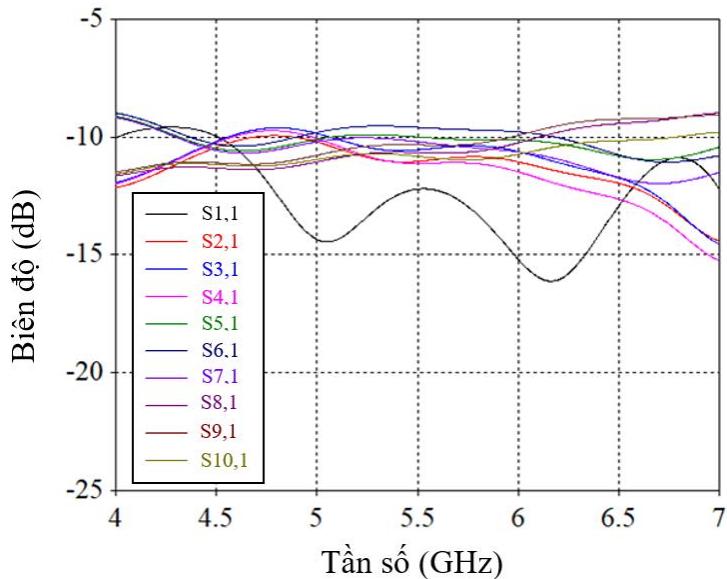
Hình 3.23 Hệ số pha tín hiệu ra tại các cổng ra tầng thứ nhất mạch trẽ pha



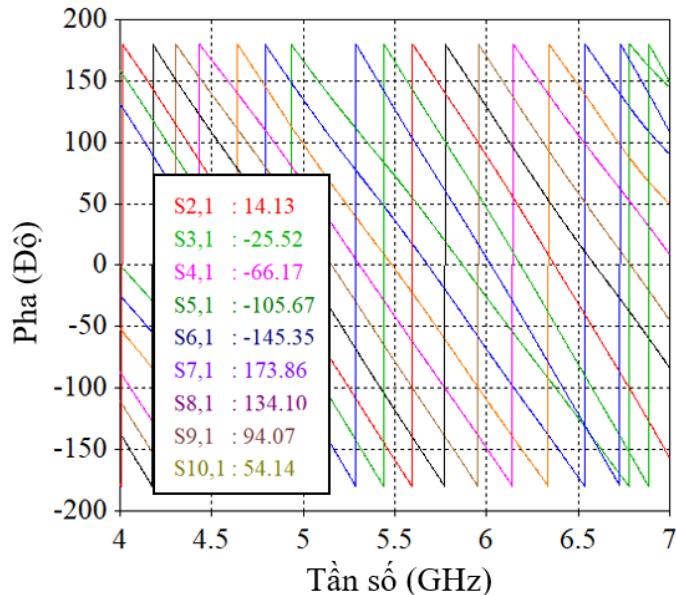
Hình 3.24 Hệ số biên độ tại các cổng ra của mạch chia trẽ pha hoàn chỉnh



Hình 3.25 Cấu trúc mạch chia nguồn trẽ pha bổ sung đoạn vi dải hở mạch



Hình 3.26 Hệ số phản xạ và biên độ tại các cổng của mạch chia trễ pha sau khi bỏ sung đường vi dải hở mạch

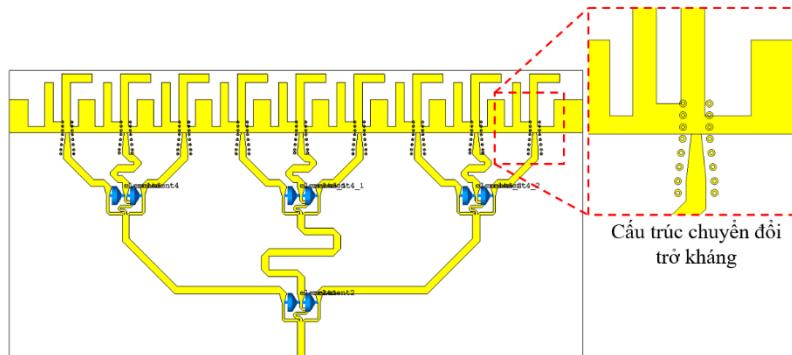


Hình 3.27 Pha của tín hiệu ra của mạch chia sau khi bỏ sung đoạn vi dải hở mạch

Để cân bằng lại biên độ của tín hiệu đầu ra tại các cổng của mạch chia, em thêm vào cấu trúc một đoạn dây hở mạch đóng vai trò phối hợp trở kháng giữa các đoạn vi dải kéo dài như trong Hình 3.25. Biên độ và pha của tín hiệu ra được thể hiện trong Hình 3.26 và Hình 3.27. Biên độ của tín hiệu đã tương đối bằng nhau, với độ chênh lệch biên độ lớn nhất giảm còn 1,4 dB. Pha của tín hiệu ra lần lượt trễ 40° như mong muốn. Như vậy, em đã thiết kế xong mạch chia nguồn cho 2 trường hợp: cấp nguồn đồng pha cho bức xạ chính diện và cấp nguồn trễ pha cho bức xạ lệch góc.

3.4 Tích hợp mảng ăng-ten vào mạch cấp nguồn và tiếu hình hóa

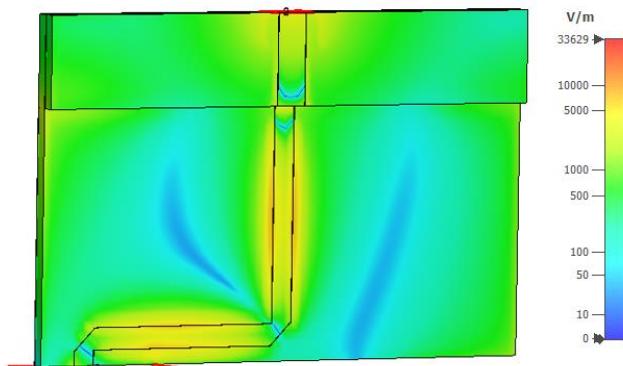
3.4.1 Mảng bức xạ chính diện



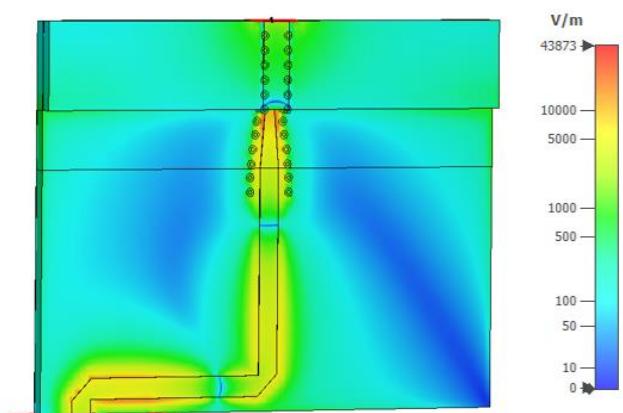
Hình 3.28 Cấu trúc tích hợp mạch chia và mảng ăng-ten

Cấu trúc tích hợp mạch chia và mảng ăng-ten được thể hiện trong Hình 3.28. Để hạn chế sự phản xạ của tín hiệu khi truyền từ đường truyền vi dải 50Ω trên mạch chia công suất vào balun stripline 50Ω của ăng-ten, cần thiết kế một cấu trúc chuyển đổi phản kháng. Trong bài báo [28], tác giả đề xuất cấu trúc chuyển đổi đơn giản nhưng có hiệu quả tốt. Cấu trúc gồm đoạn mạch hình phễu phối hợp phản kháng và 2 hàng via nối đất ở 2 bên của đoạn mạch chuyển đổi. Những hàng via này sẽ đóng vai trò như lồng Faraday giúp năng lượng điện trường không bị phân tán ra không gian trong quá trình chuyển đổi phản kháng đường mạch, giúp cải thiện rõ rệt hiệu suất chuyển đổi. Điều này được thể hiện rõ trong Hình 3.29. Điện trường của bộ chuyển đổi khi không có via cách ly 2 bên đường mạch (Hình 3.29a) sẽ phân tán ra ngoài không gian, gây suy hao tín hiệu. Trong khi đó, nếu thêm hàng via cách ly, điện trường không bị phân tán mà sẽ được truyền hết vào đường stripline.

Hình 3.30 Thể hiện hệ số phản xạ tại điểm cấp nguồn của cấu trúc. Mạch chia nguồn và mảng đều có hệ số phản xạ tốt tại dải tần từ 5,3 GHz đến 7,3 GHz, nên cấu trúc tích hợp cũng đạt hệ số phản xạ dưới -10 trong dải tần này. Hiệu suất của mảng đạt trên 87% tại tần số 5,8 GHz và độ lợi của mảng đạt 9,25 dBi với bức xạ nằm ở hướng chính diện (Hình 3.31 và Hình 3.32). Tỷ số cường độ bức xạ trước sau của mảng cũng được cải thiện rõ rệt nhờ sự tích hợp với hệ thống cấp nguồn khi búp sóng sau giảm xuống còn -7,135 dBi. Độ lợi và hiệu suất của mảng sau khi tích hợp với bộ cấp nguồn giảm so với hiệu suất và độ lợi của mảng khi mô phỏng riêng là do mạch cấp nguồn tồn tại suy hao trên đường truyền. Với độ lớn 9,25 dBi, cấu trúc mảng ăng-ten đề xuất thỏa mãn yêu cầu đặt ra về độ lợi.

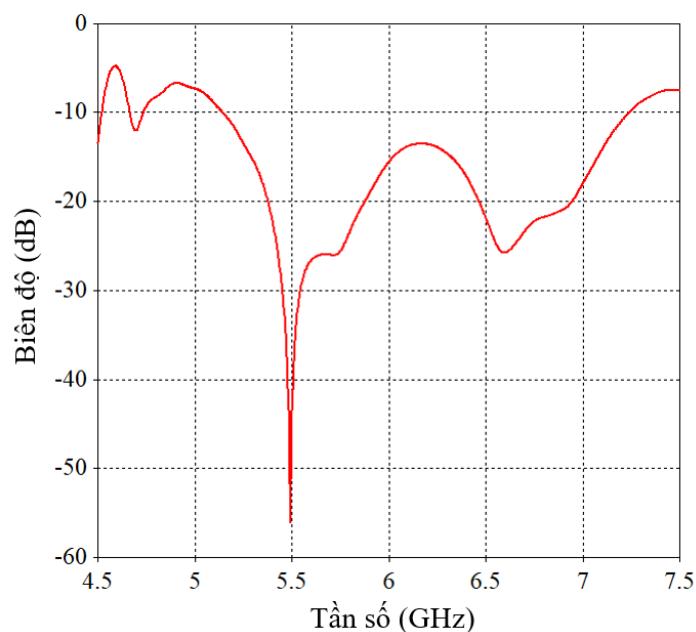


(a)

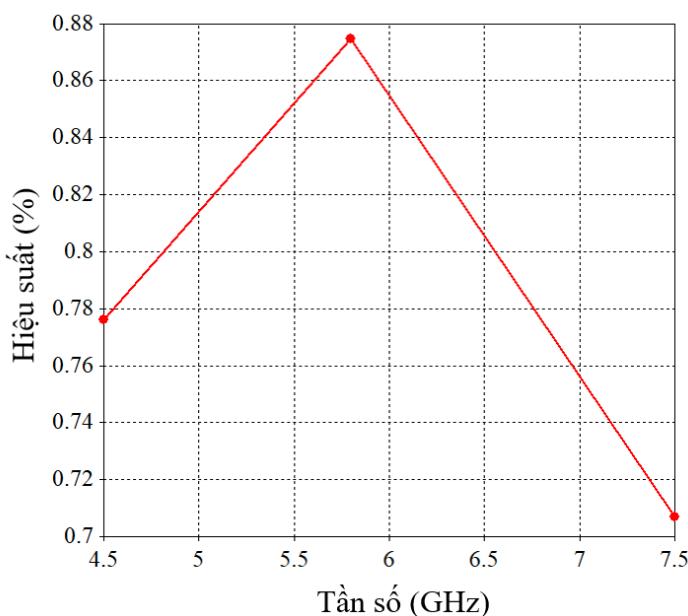


(b)

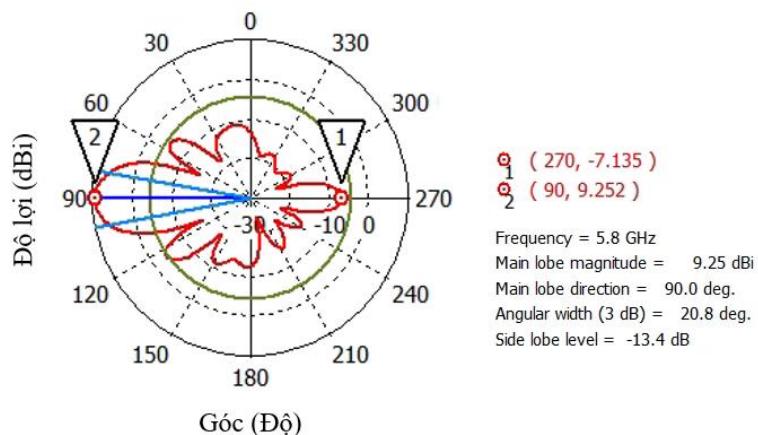
Hình 3.29 So sánh phân bố điện trường cấu trúc chuyển đổi trở kháng không có via (a) và có via (b)



Hình 3.30 Hệ số phản xạ tại điểm cấp nguồn

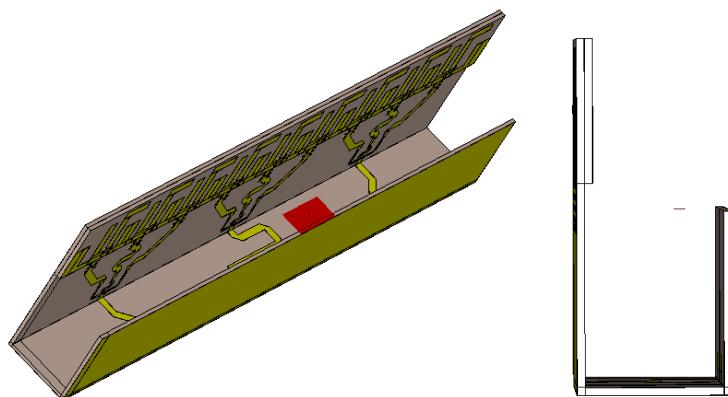


Hình 3.31 Hiệu suất bức xạ của toàn cầu trúc

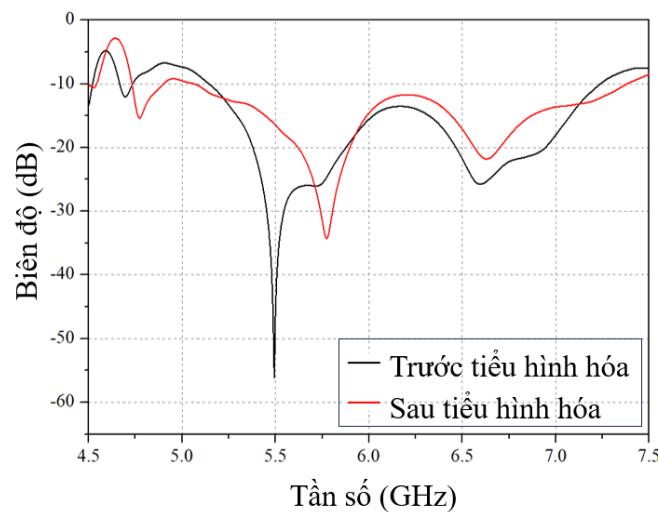


Hình 3.32 Đồ thị bức xạ của mảng trong mặt phẳng ngang

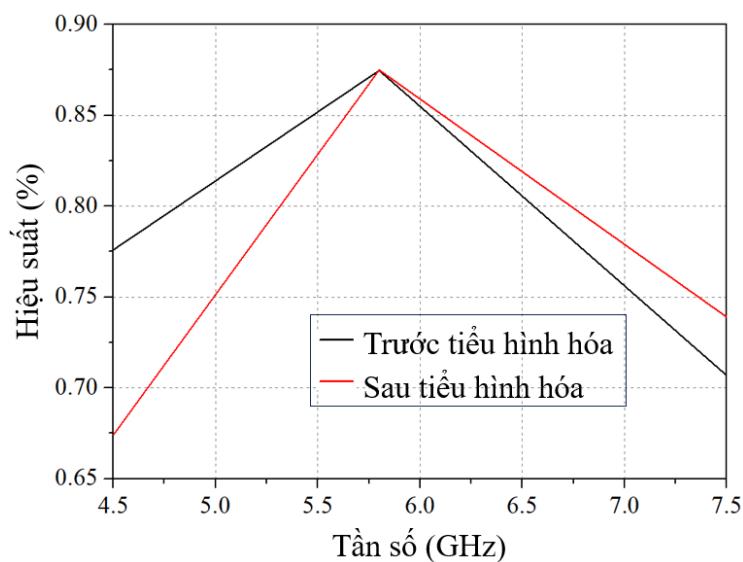
Tuy nhiên, mặc dù cấu trúc đề xuất chỉ dày 0,8 mm, diện tích bề mặt của hệ lên đến $140 \times 70 \text{ mm}^2$. Trong thực tế, cấu trúc này sẽ chiếm dụng không gian lớn khi tích hợp cùng các thành phần khác của thiết bị thu phát.



Hình 3.33 Cấu trúc sau tiểu hình hóa

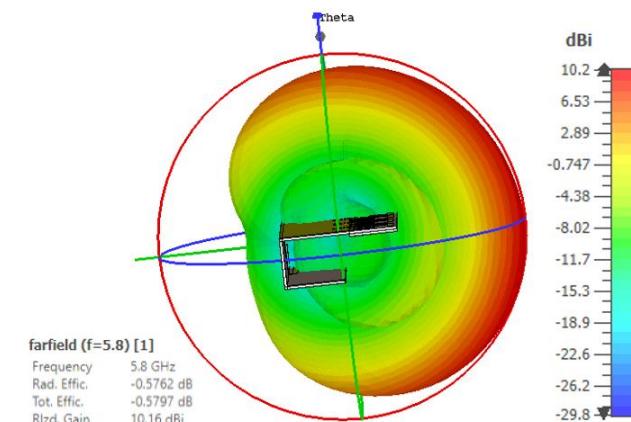


Hình 3.34 So sánh hệ số phản xạ trước và sau tiêu hình hóa

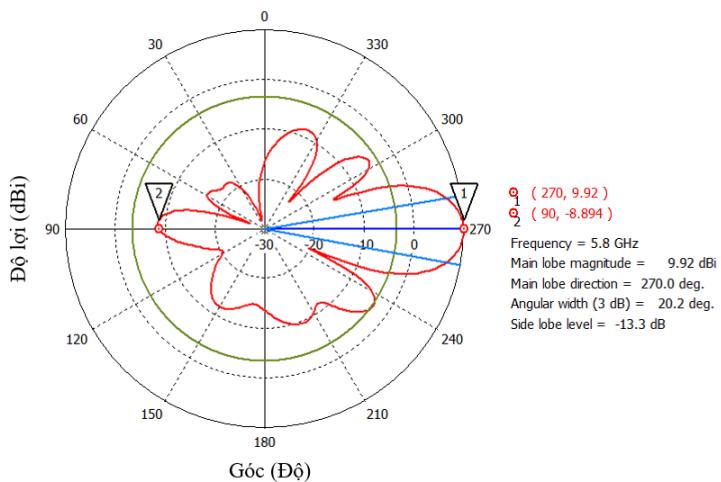


Hình 3.35 So sánh hiệu suất trước và sau tiêu hình hóa

Vì vậy, em đề xuất phương án tiêu hình hóa cấu trúc bằng cách bẻ gập cấu trúc như trong Hình 3.33. Mạch được bẻ gập vào trong để hạn chế tối đa thay đổi trên các đường truyền tín hiệu khi bẻ gập. Ngoài ra, vị trí bẻ gập cũng được lựa chọn cẩn thận để tránh ảnh hưởng đến các vùng chuyển đổi trở kháng, làm ảnh hưởng đến chất lượng cấp tín hiệu và bức xạ của hệ thống. Diện tích chiếm dụng của cấu trúc giảm 50% sau khi được tiêu hình hóa.



(a)

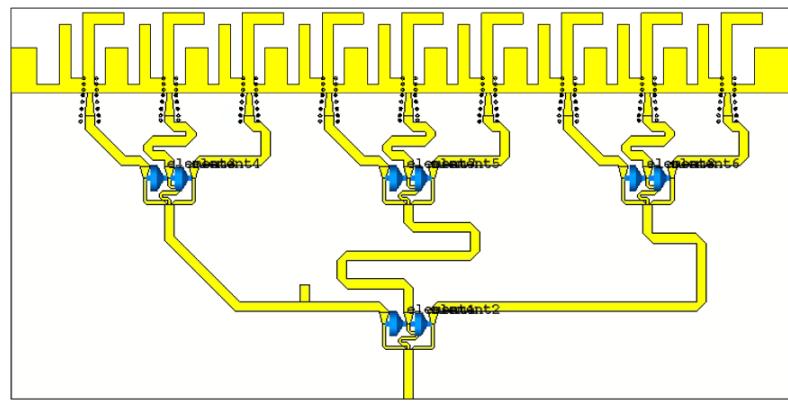


(b)

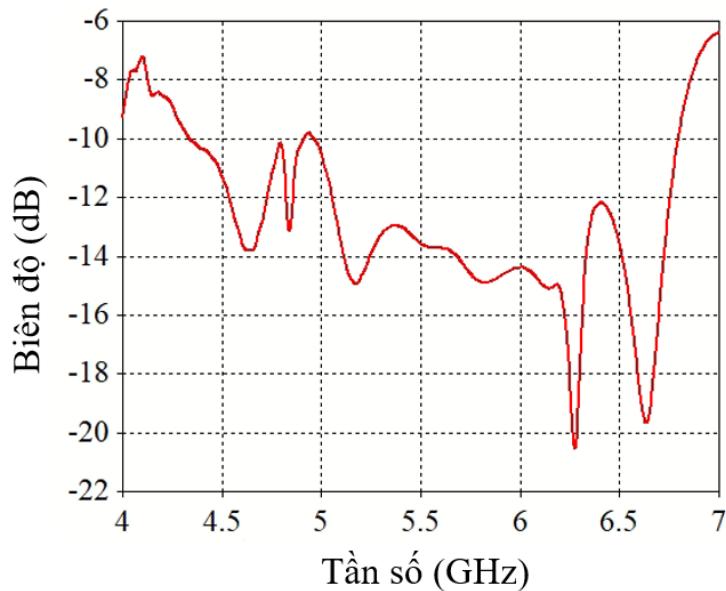
Hình 3.36 Độ thi bức xạ của cấu trúc sau tiểu hình hóa (a) dạng 3D và (b) Trong mặt phẳng đứng

3.4.2 Mảng bức xạ lệch góc

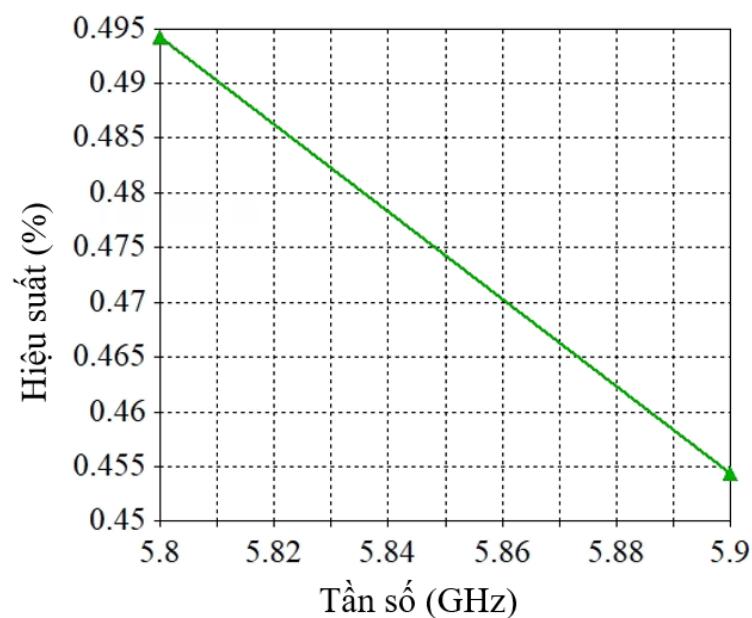
Tương tự, mạch cấp nguồn lệch pha bổ sung đoạn hở mạch được tích hợp vào mảng ăng-ten như thể hiện trong Hình 3.37. Hệ số phản xạ của của hệ thống được thể hiện trong Hình 3.38, mặc dù vẫn bao được dải tần từ 5 Ghz đến 6,8 Ghz, đỉnh công hưởng hệ số phản xạ tại đầu vào không còn được sâu như các trường hợp trước. Ngoài ra, hiệu suất của hệ thống cũng bị giảm đáng kể, từ 86% cho trường hợp cấp nguồn đồng pha xuống còn 49.5%. Đồ thị bức xạ của hệ thống được thể hiện trong Hình 3.40 cho thấy mặc dù mảng đã quay được hướng búp sóng chính đến góc 25° so với phương chính diện, độ lợi của mảng đã bị giảm sâu xuống còn 6,5 dBi. Sự suy giảm lớn về độ lợi tối đa này là do sự suy giảm lớn của hiệu suất bức xạ cùng với hiện tượng cường độ búp sóng phụ tăng lên.



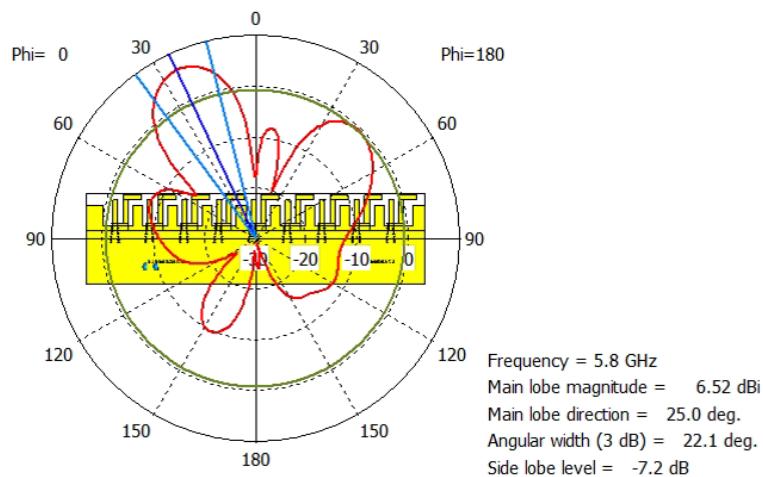
Hình 3.37 Cấu trúc tích hợp mạch chia tần số và mảng ăng-ten



Hình 3.38 Hệ số phản xạ của mạch tích hợp



Hình 3.39 Hiệu suất của mạch tích hợp

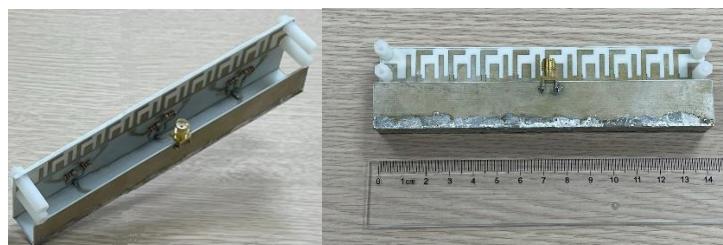


Hình 3.40 Đồ thị bức xạ trong mặt phẳng ngang

Như vậy, kết quả mô phỏng trường hợp thay góc bức xạ của mảng ăng-ten khi tích hợp với mạch nguồn không cho kết quả đồng nhất với trường hợp mô phỏng riêng mảng ăng-ten. Việc sai khác này là do tín hiệu đầu ra của mạch chia không còn được lý tưởng như khi mô phỏng riêng mảng ăng-ten. Tuy nhiên ăng-ten vẫn có thể bức xạ nghiêng góc 25° với độ lợi 6,52 dBi, thỏa mãn yêu cầu bài toán đặt ra.

3.5 Chế tạo và đo kiểm

Từ các tính toán và mô phỏng ở trên, em tiến hành chế tạo và đo thông số bức xạ của mảng ăng-ten. Cấu trúc mảng ăng-ten hoàn chỉnh được thể hiện trong Hình 3.41. Sau khi chế tạo và lắp ráp cấu trúc mảng ăng-ten bể gập, em tiến hành thu thập kết quả đo. Hệ đo đồ thị bức xạ được xây dựng sử dụng máy phân tích mạng và tiến hành đo trong phòng thí nghiệm lab Rf3i. Mô hình đo được thể hiện trong Hình 3.42.

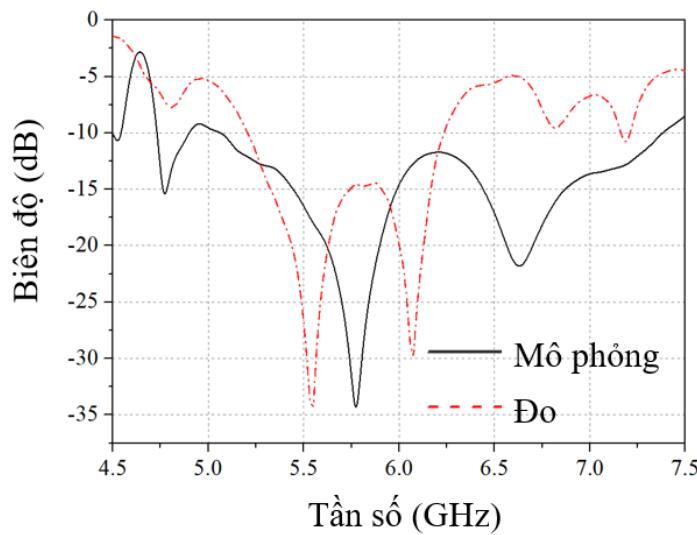


Hình 3.41 Mảng ăng-ten chế tạo



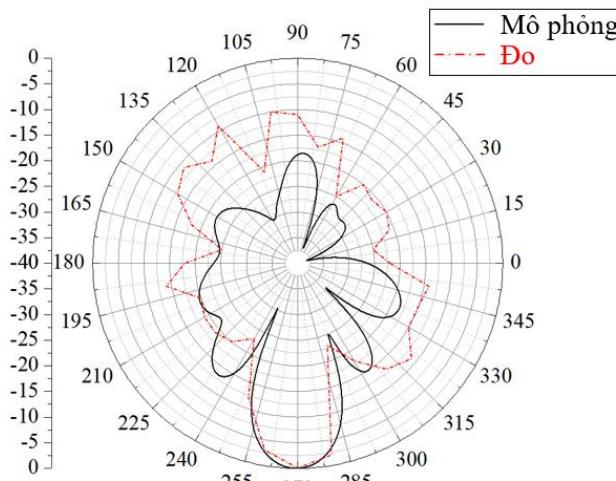
Hình 3.42 Cấu hình đo đồ thị bức xạ

Kết quả đo và kết quả mô phỏng của mảng đề xuất được thể hiện trong Hình 3.44. Xem Hình 3.44a, ta có thể thấy bảng thông của

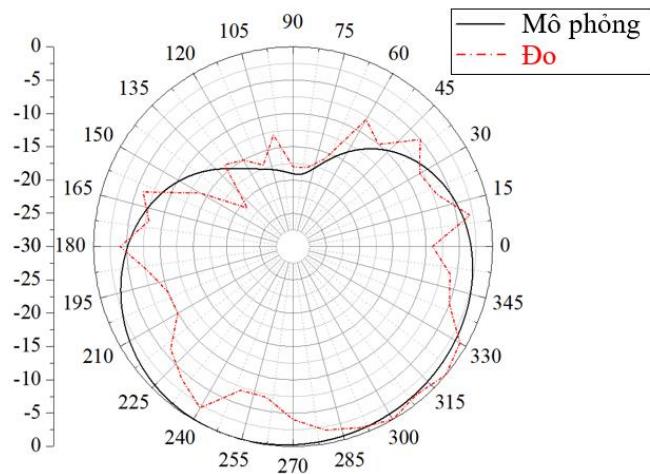


Hình 3.43 Hệ số phản xạ đo và mô phỏng của mảng

Từ Hình 3.43, có thể thấy kết quả hệ số phản xạ khi đo đạc và mô phỏng có sai lệch. Cụ thể, bảng thông khi chế tạo của mảng ăng-ten nhỏ hơn trong mô phỏng, chỉ còn đạt 17,6% từ 5,21 GHz đến 6,23 GHz so với 38%. Sai lệch về hệ số phản xạ gây ra bởi thay đổi trong phối hợp trở kháng của cấu trúc do sai số chế tạo, ảnh hưởng của nhiệt và các mối hàn, sai số của SMA và các ảnh hưởng của môi trường thực tế không đúng với môi trường lý tưởng trong mô phỏng. Tuy nhiên, mảng vẫn hoạt động tốt tại tần số 5,8 GHz mong muốn và vẫn duy trì được bảng thông tương đối rộng, đủ bao phủ toàn bộ dải tần dịch vụ của công nghệ DSRC. Như vậy, có thể thấy việc thiết kế một ăng-ten bằng thông rộng để dự trù cho những sai số khi chế tạo vào sai lệch do điều kiện môi trường đã đạt được hiệu quả mong muốn. Hình 3.44 thể hiện đồ thị bức xạ dạng 2D trong mặt phẳng E (Mặt phẳng đứng) và mặt phẳng H (Mặt phẳng ngang) của mảng ăng-ten. Kết quả mô phỏng và kết quả đo khá trùng khớp với nhau. Từ kết quả, có thể thấy mảng có búp sóng chính hướng về phía chính diện với độ rộng búp sóng chính được đảm bảo lớn hơn 20° như trong mô phỏng.



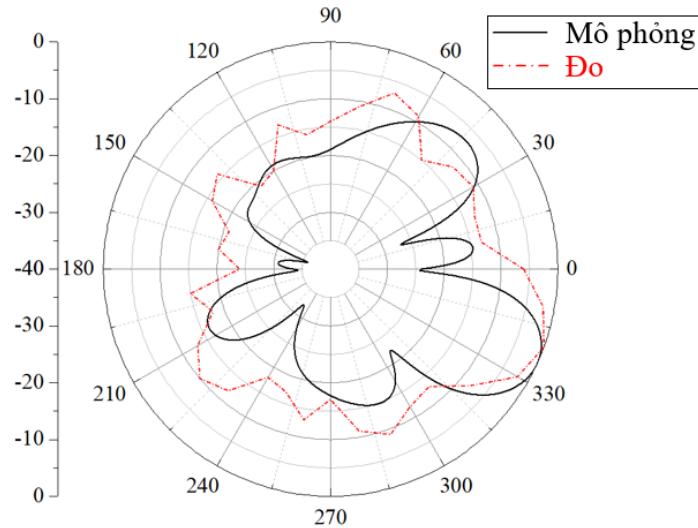
(a)



(b)

Hình 3.44 Đồ thị bức xạ dạng 2D của mảng ăng-ten tại tần số 5,8 GHz trong (a) mặt phẳng E và (b) mặt phẳng H

Tương tự, để đánh giá khả năng quét góc của mảng, em cũng chế tạo mảng ăng-ten cho cấu trúc cáp nguồn lệch pha. Hình 3.45 so sánh kết quả đo và mô phỏng đồ thị bức xạ trong mặt phẳng đứng. Có thể thấy đồ thị đo và mô phỏng tương đối trùng khớp. Búp sóng bức xạ chính của mảng khi đo lệch một chút so với kết quả khi mô phỏng. Sai lệch này có thể được gây ra bởi sai số trong chế tạo mạch chia nguồn, hoặc sai số trên các điện trở khiến pha đầu ra của mạch chia không còn đều như trong mô phỏng. Ngoài ra, việc đo đặc đồ thị bức xạ với chu kỳ đo 10° cũng có thể gây ra sai lệch trên.



Hình 3.45 Đồ thị bức xạ 2D trong mặt phẳng đứng của mảng khi quét góc

Bảng 3.3 đưa ra so sánh thông số bức xạ của mảng ăng-ten đè xuất với các cấu trúc tương tự. Các mảng ăng-ten đè xuất trong [29]–[32] là các mảng ăng-ten patch nên có độ lợi tương đối lớn. Tuy nhiên, các mảng này có kích thước lớn gấp 2 đến 3 lần so với cấu trúc em đè xuất. Ngoài ra băng thông của các mảng ăng-ten này hẹp, chỉ nhỏ hơn 10%, ngoại trừ mảng trong [32] có băng thông lớn hơn một

chút nhò sử dụng các tấm chắn kim loại giữa các phần tử. Tuy nhiên việc thêm các miếng chắn này cũng làm cấu trúc mảng trở nên phức tạp hơn. Một mảng ăng-ten Yagi được đề xuất trong [33] có băng thông rộng và độ lợi cao, tuy nhiên vấn đề về kích thước vẫn chưa được giải quyết. Nhìn chung, mảng ăng-ten em đề xuất trong khuôn khổ đồ án này có băng thông rộng, độ lợi cao, hệ số sóng phụ tốt, hiệu suất cao và kích thước nhỏ.

Bảng 3.3 So sánh với các tài liệu liên quan

Tài liệu tham khảo	Số phần tử	Kích thước (λ_0^2)	Độ lợi tối đa (dBi)	Băng thông (%)	Hiệu suất (%)	Hệ số búp sóng phụ (dB)
[29]	1×8	6,37×5,78	13,97	8,22	75	-20
[30]	1×10	6,58×0,96	14,5	1,34	60	-25,3
[31]	1×10	6,53×3,26	15,4	7,1	NA	-11
[32]	1×9	4,67×0,53	16	15	NA	-13,8
[33]	1×9	3,62×1,5	13	45	NA	NA
Mảng đề xuất	1×9	2,42×0,64	10,16	17,6	87,5	-13,3

3.6 Kết luận chương

Trong CHƯƠNG 3, em đã trình bày về quy trình tính toán chi tiết các yêu cầu về thông số của ăng-ten; kết hợp với mô hình mạch điện tương đương và khảo sát thông số, em đã đề xuất cấu trúc ăng-ten phần tử, ăng-ten mảng và mạch chia nguồn cho hai trường hợp mảng bức xạ chính diện và mảng bức xạ lệch góc. Ngoài ra, cấu trúc đã được mô phỏng, chế tạo và đo đạc thực nghiệm, thu được kết quả đo và kết quả mô phỏng khá tương đồng, đáp ứng được chỉ tiêu kỹ thuật đặt ra.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Kết luận

Sau khi nghiên cứu, mô phỏng, chế tạo và đo kiểm mảng ăng-ten cho ứng dụng thu phí không dừng, đồ án đã thu được những kết quả sau.

Đầu tiên, đồ án đưa ra tính toán chi tiết về yêu cầu thiết kế cho các thông số của ăng-ten sử dụng cho các thiết bị thu phí trên trạm dựa trên mô hình hệ thống thu phí không dừng theo tiêu chuẩn châu Âu. Yêu cầu thiết kế trên đã dự trù đến các ảnh hưởng xấu do thời tiết hoặc các yếu tố bất thường gây ảnh hưởng đến quá trình giao tiếp và thành toán, từ đó tăng độ tin cậy và tính khả dụng của thiết kế trong thực tiễn.

Tiếp đến, đồ án thiết kế thành công ăng-ten phần tử và mảng ăng-ten với ứng dụng làm ăng-ten phát cho thiết bị trạm cho hệ thống thu phí không dừng sử dụng công nghệ truyền thông xác định cự ly ngắn DSRC 5,8 GHz. Băng thông của ăng-ten đã bao phủ dải tần số 5,765 đến 5,925 GHz sử dụng trong các chuẩn DSRC trên thế giới. Độ lợi và độ rộng vùng phủ của mảng ăng-ten cũng đạt kết quả tốt, thỏa mãn các chỉ tiêu đặt ra. Kết quả mô phỏng và kết quả đo thực tế tương đồng với nhau, điều này chứng tỏ các bước tính toán và thiết kế là chính xác.

Tiếp theo là thiết kế cấu trúc chia công suất chia tín hiệu từ 1 cổng vào ra 9 cổng đầu ra với biên độ tín hiệu gần như tương đồng và pha có thể điều chỉnh được. Từ đó thiết kế và chế tạo 2 phiên bản mạch chia nguồn cho trường hợp bức xạ chính diện và bức xạ lệch góc 25°. Hai phiên bản mạch cấp nguồn này được kết nối với mảng ăng-ten qua một cấu trúc chuyển đổi giúp phối hợp trở kháng giữa đường nguồn vi dải và balun stripline của mảng ăng-ten. Kết quả mô phỏng và kết quả đo trùng khớp cho thấy thông số tính toán và thiết kế chính xác.

Cuối cùng, đồ án đề xuất phương án tiêu hình hóa cho toàn bộ cấu trúc, giúp giảm 50% diện tích chiếm dụng của cấu trúc khi lắp đặt vào thiết bị phát. Cấu trúc sau khi tiêu hình hóa dễ lắp đặt và tích hợp vào hệ thống hơn.

Hướng phát triển

Hướng nghiên cứu tiếp theo là nghiên cứu cấu trúc cấp nguồn đa búp sóng, có nhiều đầu vào để có thể thay đổi hướng búp sóng của mảng ăng-ten bằng các phần tử chuyển mạch thay vì cần thay đổi cấu trúc cấp nguồn. Ngoài ra, có thể tăng thêm nữa vùng phủ ăng-ten để hướng tới các ứng dụng quét đa làn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Auer, S. Feese, S. Lockwood, and A. Vann Easton, “History of Intelligent Transportation Systems 2021 Update,” Nov. 2021.
- [2] Hàng T. B. N., “Ùn tắc giao thông: Bài toán nan giải của đô thị hóa,” *Thời Báo Ngân Hàng*, Apr. 26, 2018. <https://thoibaonganhang.vn/un-tac-giao-thong-bai-toan-nan-giai-cua-do-thi-hoa-75228.html> (accessed Jul. 04, 2023).
- [3] baotainguyenmoitruong.vn, “Áp lực giao thông đô thị với phát triển bền vững,” *baotainguyenmoitruong.vn*, Oct. 29, 2019. <https://baotainguyenmoitruong.vn/ap-luc-giao-thong-do-thi-voi-phat-trien-ben-vung-295045.html> (accessed Jul. 04, 2023).
- [4] “Ùn tắc giao thông gây ô nhiễm môi trường.” <https://www.mt.gov.vn/moitruong/quy-chuan-chat-luong/21417/un-tac-giao-thong--gay-o-nhiem-moi-truong-.aspx> (accessed Jul. 04, 2023).
- [5] “Thu phí tự động hoàn toàn các tuyến đường cao tốc từ 1/8/2022.” <https://baochinhphu.vn/thu-phi-tu-dong-hoan-toan-cac-tuyen-duong-cao-toc-tu-1-8-2022-102220627150431277.htm> (accessed Jul. 04, 2023).
- [6] “Hình thức thu phí không dừng phổ biến tại Việt Nam hiện nay,” *ePass*, Aug. 09, 2021. <https://epass-vdtc.com.vn/tu-van/hinh-thuc-thu-phi-khong-dung/> (accessed Jul. 04, 2023).
- [7] “Where is tolling tech taking us?,” *ITS International*. <http://www.itsinternational.com/its1/feature/where-tolling-tech-taking-us> (accessed Jul. 04, 2023).
- [8] “Electronic Toll Collection Systems – Transportation Policy Research.” <https://policy.tti.tamu.edu/strategy/electronic-toll-collection-systems/> (accessed Jul. 04, 2023).
- [9] Z. Zhang, M. Li, Q. Dai, M.-C. Tang, and L. Zhu, “Compact, Wideband, Dual-Band Polarization and Pattern Diversity Antenna for Vehicle Communications,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 71, no. 5, pp. 4528–4533, May 2023, doi: 10.1109/TAP.2023.3243855.
- [10] D. Inserra, W. Hu, and G. Wen, “Antenna Array Synthesis for RFID-Based Electronic Toll Collection,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 66, no. 9, pp. 4596–4605, Sep. 2018, doi: 10.1109/TAP.2018.2851292.
- [11] S. R. Govindarajulu, R. Hokayem, M. N. A. Tarek, M. R. Guerra, and E. A. Alwan, “Low Profile Dual-Band Shared Aperture Array for Vehicle-to-Vehicle Communication,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 147082–147090, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3124311.
- [12] S. P. M. and J. M., “Design and Performance Evaluation of Superstrate Microstrip Array Antenna for V2I-DSRC Applications,” in *2021 Sixth International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, Chennai, India: IEEE, Mar. 2021, pp. 214–218. doi: 10.1109/WiSPNET51692.2021.9419465.
- [13] D. G. Patanvariya, K. S. Kola, and A. Chatterjee, “Circularly polarized two-element array for DSRC Application,” in *2019 International Conference on*

Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE), Kolkata, India: IEEE, Jan. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCECE44727.2019.9001866.

- [14] S. Samanta, K. Mandal, P. S. Reddy, and N. Nasimuddin, “Circularly Polarized Metallic Post Integrated Patch Antenna for Road Transport and Traffic Telematics Application at 5.8 GHz DSRC Band,” in *2020 URSI Regional Conference on Radio Science (URSI-RCRS)*, Varanasi, India: IEEE, Feb. 2020, pp. 1–4. doi: 10.23919/URSIRCRS49211.2020.9113638.
- [15] T. Mondal, S. Suman, and S. Singh, “Novel Design of Fern Fractal Based Triangular Patch Antenna,” in *2020 National Conference on Emerging Trends on Sustainable Technology and Engineering Applications (NCETSTEA)*, Durgapur, India: IEEE, Feb. 2020, pp. 1–3. doi: 10.1109/NCETSTEA48365.2020.9119949.
- [16] K. S. Kola, D. G. Patanvariya, S. B. Naik, M. V. Reddy, and A. Chatterjee, “A Novel Two-Element Linear Array for DSRC Band,” in *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Bangalore: IEEE, Jul. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICCCNT.2018.8494106.
- [17] A. Cidronali, G. Collodi, M. Lucarelli, S. Maddio, G. Pelosi, and S. Selleri, “A Parasitic Loaded Series Array for Intelligent Transportation Systems in C-band,” in *2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting*, Montreal, QC, Canada: IEEE, Jul. 2020, pp. 209–210. doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9330453.
- [18] A. O. Bah, P.-Y. Qin, R. W. Ziolkowski, Y. J. Guo, and T. S. Bird, “A Wideband Low-Profile Tightly Coupled Antenna Array With a Very High Figure of Merit,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 67, no. 4, pp. 2332–2343, Apr. 2019, doi: 10.1109/TAP.2019.2891460.
- [19] C. Balanis, “Arrays: Linear, Planar, and Circular,” in *Antenna Theory: Analysis and Design*, WILEY, pp. 285–312.
- [20] B. Franciscatto, “Design and implementation of a new low-power consumption DSRC transponder,” phdthesis, Université de Grenoble, 2014. Accessed: Jul. 06, 2023. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-01293522>
- [21] “EN 12253:2004 - Road transport and traffic telematics - Dedicated short-range communication - Physical layer using microwave at 5,8 GHz,” *iTeh Standards*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/0469b1e7-ad1e-485a-8163-fc6ed6710546/en-12253-2004> (accessed Jul. 06, 2023).
- [22] E. (. T. S. Institute), “Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive.” [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302500_302599/302571/01.02.00_20/en_302571v010200a.pdf
- [23] H. Bantli, E. Ring, and E. Goff, “Requirements for direct short range, vehicle to roadside communications,” in *1997 IEEE Aerospace Conference*, Snowmass, CO, USA: IEEE, 1997, pp. 41–61 vol.1. doi: 10.1109/AERO.1997.574280.

- [24] B. Munk, *Finite antenna arrays and FSS*. [Piscataway, N.J.?] : Hoboken, N.J: IEEE Press ; Wiley-Interscience, 2003.
- [25] L. Han *et al.*, “Tightly Coupled Ultra-Wideband Phased-Array Implemented by Three-Dimensional Inkjet Printing Technique,” *Electronics*, vol. 11, no. 20, p. 3320, Oct. 2022, doi: 10.3390/electronics11203320.
- [26] J. P. Doane, K. Sertel, and J. L. Volakis, “A Wideband, Wide Scanning Tightly Coupled Dipole Array With Integrated Balun (TCDA-IB),” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 61, no. 9, pp. 4538–4548, Sep. 2013, doi: 10.1109/TAP.2013.2267199.
- [27] Ö. Kasar, “A low profile compact three-way Wilkinson power divider with size reduction,” *Journal of Electrical Engineering*, vol. 71, no. 6, pp. 419–422, Dec. 2020, doi: 10.2478/jee-2020-0057.
- [28] X. Xu, Q. Huang, Z. Zhu, H. Xu, and B. Zhang, “Novel design for microstrip to stripline transitions for millimeter-wave application in LTCC,” *Acta Astronautica*, vol. 104, no. 1, pp. 256–259, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.actaastro.2014.08.003.
- [29] S.-J. Park, D.-H. Shin, and S.-O. Park, “Low Side-Lobe Substrate-Integrated-Waveguide Antenna Array Using Broadband Unequal Feeding Network for Millimeter-Wave Handset Device,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 64, no. 3, pp. 923–932, Mar. 2016, doi: 10.1109/TAP.2015.2513075.
- [30] J. Yin, Q. Wu, C. Yu, H. Wang, and W. Hong, “Low-Sidelobe-Level Series-Fed Microstrip Antenna Array of Unequal Interelement Spacing,” *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 16, pp. 1695–1698, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2017.2666427.
- [31] A. Omar, S. Al-Saif, M. A. Ashraf, and S. Alshebeili, “Design and analysis of millimeter wave series fed microstrip patch array for next generation wireless communication systems,” in *2016 17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)*, Montreal, QC, Canada: IEEE, Jul. 2016, pp. 1–2. doi: 10.1109/ANTEM.2016.7550139.
- [32] G. Yang, J. Li, S. G. Zhou, and Y. Qi, “A Wide-Angle E-Plane Scanning Linear Array Antenna With Wide Beam Elements,” *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 16, pp. 2923–2926, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2017.2752713.
- [33] F. Weinmann, “Planar 9-Element Quasi-Yagi Antenna Array for X-Band Application,” in *The European Conference on Wireless Technology, 2005.*, CNIT la Defense, Paris: IEEE, 2005, pp. 559–562. doi: 10.1109/ECWT.2005.1617776.

PHỤ LỤC

A1. Chi tiết số liệu thí nghiệm

Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có).

A2. Chi tiết các bước tính toán

Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có).

A3. Chi tiết sơ đồ mô phỏng

Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trình phụ lục tại đây (nếu có). Trìn