

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**



NGUYỄN MINH TRẦN

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN MẢNG ANTEN
VI DẢI CẤU TRÚC LÁ CÂY VỚI BÚP SÓNG DẢI QUẠT,
ĐỘ LỢI CAO VÀ MỨC BÚP PHỤ THẤP
CHO ỨNG DỤNG WI-FI ĐỊNH HƯỚNG**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ: NGÀNH CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ,
TRUYỀN THÔNG**

Hà Nội – 2016

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

NGUYỄN MINH TRẦN

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN MẢNG ANTEN
VI DẢI CẤU TRÚC LÁ CÂY VỚI BÚP SÓNG DẢI QUẠT,
ĐỘ LỢI CAO VÀ MỨC BÚP PHỤ THẤP
CHO ỨNG DỤNG WI-FI ĐỊNH HƯỚNG**

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật Điện tử, Truyền thông
Chuyên Ngành: Kỹ thuật Viễn thông
Mã Số: 60 52 02 08

**LUẬN VĂN THẠC SĨ: NGÀNH CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ,
TRUYỀN THÔNG**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS. TS. TRƯƠNG VŨ BẰNG GIANG

Hà Nội - 2016

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn tốt nghiệp: “**Nghiên cứu và phát triển mảng anten vi dải cấu trúc lá cây với búp sóng dải quạt, độ lợi cao và mức búp phụ thấp cho ứng dụng Wi-Fi định hướng**” là công trình nghiên cứu của riêng tác giả. Các số liệu, kết quả trình bày trong luận văn là hoàn toàn trung thực, chưa từng được công bố trong các bất kỳ công trình nào khác.

Trong luận văn có dùng một số tài liệu tham khảo như đã nêu trong phần tài liệu tham khảo.

Tác giả luận văn

Nguyễn Minh Trần

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành luận văn tốt nghiệp này, trước tiên, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất tới người Thầy của tôi PGS. TS. Trương Vũ Bằng Giang. Thầy là người đã luôn theo sát tôi, tận tình chỉ bảo, góp ý và hướng dẫn, định hướng cho tôi trong suốt quá trình làm luận văn này tại Khoa Điện tử Viễn thông, Trường Đại học Công nghệ. Tôi không chỉ được học ở Thầy phương pháp luận nghiên cứu khoa học, tôi còn tích lũy được rất nhiều bài học quý báu về cách làm việc chuyên nghiệp, lối tư duy đánh giá sự việc, những kinh nghiệm làm việc rất quan trọng cho tôi trong công việc sau này. Em cảm ơn Thầy rất nhiều!

Tiếp theo, tôi cũng xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới các Thầy, các Cô và các anh chị em trong Khoa, Bộ môn và phòng thí nghiệm Mô hình hóa và mô phỏng đã luôn sẵn sàng giúp đỡ tạo điều kiện tốt nhất cho tôi trong quá trình làm luận văn.

Cuối cùng, tôi xin gửi những lời cảm ơn chân thành nhất tới bố mẹ của tôi, những người luôn luôn ủng hộ, động viên tôi cả về vật chất lẫn tinh thần để tôi có thể hoàn thành luận văn tốt nhất. Con cảm ơn bố mẹ thật nhiều!

Luận văn này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài Khoa học Công nghệ cấp Đại học Quốc gia Hà Nội, mã số QG. 16.27.

Mặc dù có nhiều cố gắng, song thời gian thực hiện luận văn có hạn, nên luận văn còn nhiều hạn chế. Tôi rất mong nhận được nhiều sự góp ý, chỉ bảo của các thầy, cô để hoàn thiện hơn luận văn của mình.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Hà Nội, ngày 25 tháng 07 năm 2016

Học viên

Nguyễn Minh Trần

TÓM TẮT

Ngày nay, con người có nhu cầu sử dụng và truy cập Internet tốc độ cao mọi lúc mọi nơi. Wi-Fi (Wireless – Fidelity) hay mạng IEEE 802.11 là một trong những hệ thống truyền thông vô tuyến phổ biến nhất hiện nay. IEEE 802.11ac là chuẩn thế hệ thứ năm mới nhất của mạng này, hứa hẹn sẽ đáp ứng được những nhu cầu đang tăng cao của người dùng với những cải thiện đáng kể về tốc độ dữ liệu, độ ổn định và tin cậy mạng cũng như hiệu suất phổ rất cao.

Trong nội dung luận văn này, một mẫu anten mảng vi dải có búp sóng dải quạt với cấu trúc hình lá cây ứng dụng cho các điểm truy cập Wi-Fi ngoài trời dải tần số 5 GHz được nghiên cứu đề xuất, thiết kế và chế tạo.

Mảng anten được cấu thành từ 10 phần tử anten đơn và được sắp xếp tuyến tính để tạo búp sóng dải quạt. Mẫu anten này được thiết kế trên nền vật liệu chất lượng cao Rogers RT/Duroid 5870 tm với hằng số điện môi $\epsilon_r = 2.33$ và độ dày 1.575 mm. Để tăng tính định hướng của anten, một tấm phản xạ làm bằng chất liệu FR4-epoxy được đặt ở phía sau mảng anten. Mẫu anten đề xuất cho kết quả mô phỏng rất tốt với băng thông khá rộng, khoảng 10.5% tần số trung tâm (tính tại -10 dB suy hao phản hồi) và độ lợi khoảng 17.2 dBi (tại tần số 5.6 GHz). Ngoài ra, mức búp phụ của mảng anten này khá thấp vào khoảng -15.4 dB. Mẫu anten đã được tiến hành chế tạo và đo đạc tại phòng thí nghiệm. Các kết quả đo đạc thu được khá phù hợp với các số liệu từ kết quả mô phỏng, đáp ứng đủ các yêu cầu đặt ra của ứng dụng. Kiểm nghiệm thực tế cho thấy rằng mảng anten có thể hoạt động tốt với các router Wi-Fi 5 GHz trong nhà cũng như ngoài trời.

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ	6
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	8
DANH MỤC VIẾT TẮT	9
MỞ ĐẦU.....	10
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ CHUẨN MẠNG WI-FI.....	13
1.1. Giới thiệu	13
1.2. Lịch sử phát triển chuẩn Wi-Fi	14
1.2.1. 802.11b – Wi-Fi thế hệ thứ hai.....	15
1.2.2. 802.11a – Wi-Fi thế hệ thứ hai.....	15
1.2.3. 802.11g – Wi-Fi thế hệ thứ ba.....	16
1.2.4. 802.11n – Wi-Fi thế hệ thứ tư	17
1.2.5. 802.11ac – Wi-Fi thế hệ thứ năm	18
1.2.6. Các đặc điểm nổi bật của IEEE 802.11ac.....	18
1.3. Kết luận chương 1	22
Chương 2 ANTEN TRONG HỆ THỐNG WI-FI ĐỊNH HƯỚNG NGOÀI TRỜI... 23	
2.1. Giới thiệu về anten.....	23
2.2. Yêu cầu của anten trong hệ thống Wi-Fi ngoài trời.....	23
2.2.1. Băng tần hoạt động và băng thông	24
2.2.2. Độ lợi.....	25
2.3. Anten có độ lợi cao	26
2.3.1. Giới thiệu.....	26
2.3.2. Anten mảng vi dải.....	28
2.3.3. Hệ thống tiếp điện của mảng anten vi dải.....	30
2.3.4. Bộ chia công suất	34
2.4. Mảng anten búp sóng dải quạt	38
2.5. Kết luận chương 2.....	40

Chương 3 THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG, CHẾ TẠO VÀ ĐO ĐẠC ANTEN.....	41
3.1. Thiết kế và mô phỏng anten.....	41
3.1.1. Quy trình thiết kế.....	41
3.1.2. Phần tử đơn.....	42
3.1.3. Mảng anten vi dải 10×1	47
3.2. Chế tạo và đo đạc.....	55
3.2.1. Đo đạc mảng 10×1	55
3.2.2. Kiểm thử mẫu anten.....	59
3.3. Kết luận chương 3.....	61
KẾT LUẬN.....	62
DANH SÁCH CÁC CÔNG BỐ.....	63
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	64
PHỤ LỤC I.....	67
CÁC ĐOẠN PHẦN MỀM SỬ DỤNG TRONG LUẬN VĂN.....	67

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1-1: Wi-Fi mọi lúc mọi nơi.....	14
Hình 1-2: Lộ trình phát triển của IEEE 802.11	18
Hình 1-3: Các kênh băng thông của 802.11ac.....	19
Hình 1-4: Đa luồng dữ liệu trong 802.11ac.....	20
Hình 1-5: Công nghệ beamforming.....	21
Hình 1-6: So sánh tầm phủ sóng giữa 802.11n và 802.11ac	22
Hình 2-1: Các kênh băng thông trên băng tần 2.4 GHz	24
Hình 2-2: Các kênh băng thông cấp phát trên dải tần 5 GHz.....	25
Hình 2-3: Các loại anten có độ lợi cao a) anten parabol, b) anten loa, c) mảng anten vi dài, d) anten xoắn (Helix), e) anten Yagi	27
Hình 2-4: Giảm đồ hướng tính đặc trưng của anten búp nhọn.....	27
Hình 2-5: Giảm đồ hướng tính đặc trưng của mảng khe có búp dải quạt	28
Hình 2-6: Dàn anten 4 phần tử tiếp điện đồng pha.....	29
Hình 2-7: Phối hợp trở kháng bằng đoạn phần tư bước sóng.....	29
Hình 2-8: Mảng anten tiếp điện nối tiếp 8 phần tử.....	31
Hình 2-9: Mảng anten vi dài với hệ thống tiếp điện song song một chiều	32
Hình 2-10: Mảng anten vi dài với hệ thống tiếp điện song song hai chiều.....	33
Hình 2-11: Bộ chia T-junction	35
Hình 2-12: Sơ đồ tương đương của bộ chia T-junction	36
Hình 2-13: Cấu tạo bộ chia Wilkinson và sơ đồ mạch điện tương đương	37
Hình 2-14: Mạch chia công suất Wilkinson điển hình.....	37
Hình 2-15: Cấu trúc của mảng anten tuyến tính.....	38
Hình 2-16: a) Mảng anten hai chấn tử b) Quan sát tại trường xa.....	39
Hình 3-1: Quy trình thiết kế mảng anten.....	42

Hình 3-2: Cấu trúc cơ bản của một anten dipole mạch in	43
Hình 3-3: Mô hình đường truyền vi dải	43
Hình 3-4: Phần tử anten đơn được đề xuất.....	45
Hình 3-5: Kết quả mô phỏng suy hao phản hồi của anten đơn đề xuất.....	46
Hình 3-6: Độ lợi của phần tử đơn.....	47
Hình 3-7: Công suất bức xạ chuẩn hóa của mảng 10 phần tử theo lý thuyết.....	48
Hình 3-8: a) Mảng anten đề xuất b) Hệ thống tiếp điện của mảng anten.....	49
Hình 3-9: Khoảng cách từ mảng anten với tấm phản xạ	50
Hình 3-10: Kết quả suy hao phản hồi của mảng anten.....	51
Hình 3-11: Độ lợi của mảng anten với các khoảng cách phần tử khác nhau	52
Hình 3-12: Độ lợi của anten tại 5.6 GHz.....	52
Hình 3-13: Kết quả mô phỏng suy hao phản hồi của anten có và không có tấm phản xạ	53
Hình 3-14: So sánh giản đồ bức xạ	54
Hình 3-15: Độ lợi của mảng anten không có tấm phản xạ tại 5.6 GHz	54
Hình 3-16: Mẫu anten chế tạo thử.....	55
Hình 3-17: Đo tham số S với VNA	55
Hình 3-18: Đo độ lợi của anten với hệ thống NSI.....	56
Hình 3-19: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc của S_{11}	56
Hình 3-20: Kết quả mô phỏng và đo đạc giản đồ bức xạ của anten.....	57
Hình 3-21: Độ lợi 3D của anten	58
Hình 3-22: Cường độ tín hiệu nhận được từ anten mảng đề xuất	60

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 3-1: Các tham số của phần tử đơn (đơn vị: mm)	45
Bảng 3-2: Tổng hợp các kết quả mô phỏng	47
Bảng 3-3: Các thông số của mảng anten 10×1 (đơn vị: mm).....	50
Bảng 3-4: Bảng tổng hợp kết quả mô phỏng.....	53
Bảng 3-5: Bảng so sánh kết quả mô phỏng và đo đạc.....	58
Bảng 3-6: So sánh với tài liệu tham khảo.....	59
Bảng 3-7: Kết quả kiểm thử mẫu anten.....	60

DANH MỤC VIẾT TẮT

CCK	Complementary Code Keying
DOA	Direction of Arrival
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
HGA	High Gain Antennas
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MIMO	Multiple Input- Multiple output
MU-MIMO	Multiple User – MIMO
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
TGb	Task Group b
TGn	Task Group n
SU-MIMO	Single User – MIMO
Wi-Fi	Wireless – Fidelity
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WLAN	Wireless Local Area Network

MỞ ĐẦU

Trong thời đại công nghệ hiện nay, chúng ta đang có thể truy cập internet mọi lúc mọi nơi, không chỉ trong các tòa nhà mà ngay cả các khu thương mại, giải trí ngoài trời [1]. Google, một “ông lớn” trong làng công nghệ của thế giới, đang đầu tư hàng tỷ đô la vào dự án có tên gọi “Loon” để cung cấp hàng ngàn điểm truy cập Internet miễn phí trên toàn thế giới [3]. Hơn thế nữa, với sự ra đời của vô số các ứng dụng và công nghệ mới như thực tế ảo, hội nghị trực tuyến, phim ảnh 3D, data streaming thì nhu cầu về tốc độ dữ liệu, băng thông kênh truyền, cũng như độ ổn định và tin cậy của mạng truyền thông vô tuyến đang ngày một tăng cao. Điều này đòi hỏi các chuẩn mạng vô tuyến mới cần ra đời để đáp ứng được các yêu cầu đó.

Wi-Fi (Wireless – Fidelity) hay mạng IEEE 802.11 là hệ thống mạng vô tuyến phổ biến nhất hiện nay. Chuẩn công nghệ này được tích hợp trong hầu hết các thiết bị di động như điện thoại thông minh, máy tính bảng, laptop hay đồng hồ thông minh. IEEE 802.11ac là chuẩn thế hệ thứ năm mới nhất của chuẩn mạng này, hứa hẹn sẽ đáp ứng được những nhu cầu đang tăng cao của người dùng với những cải thiện đáng kể về tốc độ dữ liệu, độ ổn định và tin cậy mạng cũng như hiệu suất phổ rất cao. Cùng với đó, các bộ phát Wi-Fi ngoài trời đã được đưa ra nhằm đáp ứng được nhu cầu truy cập Internet của người dùng ngay cả khi đang ở các khu hội chợ, khu thương mại hay giải trí ngoài trời. Tuy vậy, để có được một vùng phủ rộng lớn, anten cần có độ lợi và hiệu suất bức xạ cao, thường từ 12-15 dBi như các thiết bị phát Wi-Fi đang có mặt trên thị trường. Nhưng cần chú ý rằng, độ rộng búp sóng (hay vùng phủ) thường tỷ lệ nghịch với độ lợi của anten. Vì thế để giải quyết vấn đề này, loại anten có búp sóng dải quạt có thể được sử dụng để cùng lúc đạt được độ lợi cao và vùng phủ rộng trên một mặt phẳng [5].

Với các ưu điểm nổi bật như gọn nhẹ, dễ tích hợp bề mặt, giá thành thấp, dễ dàng chế tạo, anten vi dải đang dần thay thế các anten dipole trong hầu hết các thiết bị. Hơn nữa, loại anten này cũng dễ dàng cung cấp được độ lợi cao bằng việc ghép các phần tử đơn thành một mảng anten.

Trong những năm gần đây, có một số mẫu anten búp dải quạt với độ lợi cao đã được nghiên cứu, thiết kế và công bố [5-13]. Các mảng anten búp dải quạt có bổ sung thêm tấm phản xạ phía sau được đề xuất trong [5-9]. Anten dải tần V trong [5] gồm có 9 phần tử hình lục giác đều và có kích thước là $4.65 \text{ mm} \times 31 \text{ mm} \times 2.63 \text{ mm}$ bao gồm cả tấm phản xạ. Anten này có thể hoạt động tốt trong dải tần 60 GHz cho ứng dụng WLAN với băng thông xấp xỉ 2 GHz và độ lợi là 15.2 dBi. Tuy nhiên, mức búp phụ còn khá cao khoảng -11 dB. Trong [6], mẫu anten tương tự bao gồm 11 phần tử hình

lục giác đều được đưa ra. Kết quả mô phỏng khá tốt với khoảng 4% băng thông và khoảng 16 dBi độ lợi, tuy vậy mức búp phụ vẫn cao giống như công trình trước. Vấn đề này đã được giải quyết trong [7] với mẫu anten dải rộng và mức búp phụ thấp cho các ứng dụng DECT, 3G và vô tuyến băng siêu rộng. Mạng tiếp điện được thiết kế và phối hợp trở kháng rất tốt đã giúp cho mảng anten này có được một băng thông siêu rộng (40% băng thông) và mức búp phụ thấp khoảng -22 dB. Tuy vậy, do mảng chỉ được thiết kế với 6 phần tử, nên nó chỉ đạt được 7 dBi độ lợi, không đáp ứng được yêu cầu của các ứng dụng ngoài trời. Mẫu anten đề xuất trong [8] cho các ứng dụng GSM, 3G và DECT bao gồm 12 phần tử đơn, với mỗi phần tử đơn là một anten đơn cực (monopole) hình tam giác mạch dải. Anten này có thể hoạt động ở hai băng tần 820 – 1050 MHz và 1700 – 2200 MHz với độ lợi đỉnh vào khoảng 18 dBi. Các mảng anten với cấu trúc Vivaldi đã được nghiên cứu [10-11] để đạt được băng thông siêu rộng cho các ứng dụng khác nhau. [10] trình bày hai mẫu anten (8×1 và 16×1 phần tử). Trong đó, bộ chia công suất Wilkinson được sử dụng làm mạng tiếp tiếp cho các mẫu anten này. Tuy đạt được băng thông siêu rộng, nhưng các mẫu anten này chỉ có độ lợi vào khoảng 14-15 dBi. Hơn nữa, còn có 2 mẫu anten khác với 4×1 phần tử được giới thiệu trong [12-13]. Mô hình trong [12] có độ lợi là 14 dBi so với chỉ 11 dBi ở trong [13]. Một số mảng anten cho ứng dụng Wi-Fi ngoài trời cũng được giới thiệu trong [14-16]. Trong [14], mảng anten dipole với độ lợi cao được thiết kế cho ứng dụng WLAN tại dải tần 5 GHz. Mẫu anten này có thể hoạt động tốt trong dải tần từ 5.1 GHz tới 5.8 GHz, với độ lợi đỉnh là 12 dB. Mảng anten 2×4 phần tử cho ứng dụng IEEE 802.11a được trình bày ở [15]. Mảng anten có thể hoạt động tốt trong dải tần từ 5.2 GHz – 5.8 GHz, có độ lợi là 13 dB trong dải tần ngoài trời 5.4-5.8 GHz, và 10 dB cho dải tần trong nhà 5.2 – 5.4 GHz. Anten ngoài trời trong [16] là sản phẩm thương mại của công ty L-Com Global Connectivity. Độ lợi anten của sản phẩm này là 14 dBi và nó có thể hỗ trợ hai dải tần 2.4 GHz và 5.8 GHz cả trong nhà và ngoài trời.

Trong luận văn này, mảng anten vi dải với búp dải quạt cho các điểm truy cập, bộ phát Wi-Fi ngoài trời được nghiên cứu, thiết kế, mô phỏng và chế tạo. Mảng anten được cấu thành từ 10 phần tử đơn với cấu trúc lá cây và được sắp xếp tuyến tính để tạo được búp dải quạt. Mẫu anten được thiết kế trên tấm vật liệu chất lượng cao Rogers RT/Duroid 5870tm, hằng số điện môi $\epsilon_r = 2.33$ và độ dày $h = 1.575$ mm. Để tăng độ lợi cũng như độ định hướng của anten, một tấm phản xạ được đặt phía sau mảng anten. Các kết quả mô phỏng thu được là rất tốt với băng thông khoảng 10.5% và độ lợi xấp xỉ 17.2 dBi. Các kết quả này thỏa mãn các yêu cầu đặt ra của ứng dụng. Mẫu anten đã được chế tạo, đo đạc và kiểm thử tại phòng thí nghiệm Bộ môn Thông tin Vô tuyến.

Các kết quả đo đạc tương thích với dữ liệu từ phần mềm mô phỏng. Anten đã được kiểm thử và có thể hoạt động tốt với router Wi-Fi chuẩn n và ac.

Luận văn được chia thành 3 chương như sau:

Chương 1: Tổng quan về mạng Wi-Fi

Chương này sẽ tóm lược lịch sử hình thành và phát triển chuẩn mạng Wi-Fi, đặc điểm chính của các chuẩn mạng đã có và sắp ban hành. Các yêu cầu kỹ thuật của anten cho mạng Wi-Fi ngoài trời cũng được đưa ra ở chương này.

Chương 2: Anten mảng vi dải độ lợi cao

Quy trình thiết kế mảng anten, hệ thống tiếp điện cho anten sẽ được thảo luận và phân tích tại chương 2.

Chương 3: Thiết kế, mô phỏng, chế tạo và đo đạc các mẫu anten

Trình bày quy trình thiết kế chi tiết của các mẫu anten được đề xuất trong luận văn. Các kết quả mô phỏng cũng như đo đạc và kiểm thử sẽ được trình bày ở nội dung chương này.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ CHUẨN MẠNG WI-FI

1.1. Giới thiệu

Trong vài thập niên trở lại đây, sự phát triển của khoa học và công nghệ đã hoàn toàn thay đổi cuộc sống của loài người. Các phát kiến, sáng chế làm cho cuộc sống sinh hoạt, làm việc và giải trí của con người trở nên dễ dàng, thuận tiện và hiện đại hơn. Một trong số đó là công nghệ truyền thông vô tuyến, đang trở nên phổ biến hơn bao giờ hết. Với sự ra đời của công nghệ này, người dùng có thể giữ kết nối mạng mà không cần tới bất kì sợi dây nào, hay mặt khác nó có thể hỗ trợ cho các thiết bị di động, điều khiển từ xa và chuyển phát dữ liệu trở nên hiệu quả hơn, nhanh hơn và chuẩn xác hơn.

Wi-Fi là một trong những hệ thống mạng vô tuyến phổ biến nhất của thế kỷ 21. Wi-Fi viết tắt của từ Wireless Fidelity là chuẩn công nghệ IEEE 802.11 (viết ngắn gọn là 802.11) cũng chính là nhóm các tiêu chuẩn kỹ thuật của công nghệ kết nối này do liên minh Wi-Fi (Wi-Fi Alliance) phát triển và chuẩn hóa [18]. Trong khi những giao thức vô tuyến khác làm việc tốt trong những trường hợp nhất định, thì công nghệ Wi-Fi hoạt động tốt với hầu hết mạng trong nhà, các mạng cục bộ trong doanh nghiệp và các mạng công cộng.

1.2. Lịch sử phát triển chuẩn Wi-Fi

Năm 1985, Ủy ban Truyền thông liên bang đã chuyển phổ tần từ 2.4 GHz đến 2.5 GHz để sử dụng cho cộng đồng công nghiệp, khoa học và y tế (hay là ISM band). Có nghĩa là người dùng có thể sử dụng tự do dải tần này mà không cần cấp phép. Tin này đã làm kích động tất cả các nhà phát triển công nghệ truyền thông vô tuyến, bởi vì họ có thể phát triển các ứng dụng trên băng tần này mà không phải lo ngại về mặt tài chính cho việc mua giấy phép phổ tần. Nhưng thật không may, điều này dẫn đến có rất nhiều các ứng dụng và thiết bị hoạt động trên cùng dải tần này [18].

Đầu năm 1990, IEEE nhận ra rằng cần có một tiêu chuẩn cơ sở hạ tầng truyền thông vô tuyến để đáp ứng được các yêu cầu của thị trường. IEEE đã thành lập một hội đồng quản trị chuyên trách tập trung phát triển chuẩn mạng LAN không dây. Hội đồng 802.11 tập trung xem xét xây dựng những giải pháp vô tuyến ổn định, giá thành rẻ, nhanh và độ tin cậy cao để có thể hình thành một chuẩn có thể được chấp nhận rộng rãi sử dụng dải tần ISM [18].

Năm 1997, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) đã giới thiệu chuẩn đầu tiên cho WLAN. Chuẩn này được gọi là 802.11 sau khi tên của nhóm được thiết lập nhằm giám sát sự phát triển của nó. Tốc độ tối đa mà chuẩn này hỗ trợ là 2 Mbps. Nó được tích hợp các phương pháp như chuyển tiếp khắc phục lỗi, trải phổ trực tiếp và trải phổ nhảy tần để tránh nhiễu. Nó cũng có tích hợp hỗ trợ truyền thông vô tuyến hồng ngoại, tuy nhiên tốc độ tối đa cũng chỉ là 2 Mbps [18]. Tuy nhiên, 802.11 chỉ hỗ trợ tốc độ cực đại lên đến 2 Mbps, sử dụng băng tần 2,4 GHz của sóng radio hoặc hồng ngoại – quá chậm đối với hầu hết các ứng dụng. Với lý do đó, các sản phẩm thiết bị vô tuyến thiết kế theo chuẩn 802.11 ban đầu dần không được sản xuất.



Hình 1-1: Wi-Fi mọi lúc mọi nơi

1.2.1. 802.11b – Wi-Fi thế hệ thứ hai

Vào tháng 7 năm 1999, IEEE đã phát triển và mở rộng dựa trên chuẩn 802.11 gốc và đưa ra một chuẩn mới, đó chính là chuẩn IEEE 802.11b. Chuẩn này hỗ trợ tốc độ tối đa lên đến 11Mbps sử dụng công nghệ phát trải phổ trực tiếp (DSSS), tương đương với mạng Ethernet truyền thống. Tuy vậy, tốc độ trên thực tế của chuẩn này vào khoảng 4 – 6 Mbps. Dưới điều kiện lý tưởng (tầm nhìn thoáng, không có nhiễu), 802.11b có thể truyền với khoảng cách lên đến hàng trăm mét. Nhưng trong điều kiện thực tế với nhiều vật cản như tường, các tòa nhà và can nhiễu từ các thiết bị vô tuyến khác sẽ làm giảm khoảng cách truyền của nó. Chuẩn 802.11b cũng thúc đẩy cho sự hình thành của Liên minh tương thích Ethernet không dây (WECA); một tổ chức phi lợi nhuận cho việc chuẩn hóa và nâng cấp công nghệ Wi-Fi. Vào tháng 10 năm 2002, WECA đã tự đổi tên hiệp hội thành liên minh Wi-Fi (Wi-Fi Alliance) [18].

IEEE 802.11b sử dụng tần số vô tuyến 2.4 GHz giống như chuẩn ban đầu IEEE 802.11. Các hãng muốn sử dụng các tần số này để giảm nhỏ chi phí trong sản xuất của họ. Các thiết bị 802.11b có thể bị xuyên nhiễu từ các thiết bị điện thoại không dây (kéo dài), lò vi sóng hoặc các thiết bị khác sử dụng cùng dải tần 2.4 GHz. Mặc dù vậy, bằng cách cài đặt các thiết bị 802.11b cách xa các thiết bị như vậy có thể giảm được hiện tượng xuyên nhiễu này.

- Ưu điểm của 802.11b: giá thành thấp nhất, phạm vi tín hiệu tốt và không dễ bị cản trở.
- Nhược điểm của 802.11b: tốc độ tối đa thấp nhất, các ứng dụng gia đình có thể xuyên nhiễu.

1.2.2. 802.11a – Wi-Fi thế hệ thứ hai

Trong khi 802.11b vẫn đang được phát triển bởi nhóm phát triển 802.11b (TGb), thì nhóm phát triển 802.11a cũng tạo một mở rộng thứ cấp tương tự cho chuẩn 802.11 có tên gọi 802.11a. Chuẩn này hoạt động tại phổ tần 5 GHz, lúc đó tại rất nhiều quốc gia đã cho sử dụng phổ tần này tự do không cần cấp phép (nhưng vẫn bị quản lý). Hiển nhiên, phổ tần này không quá “đông đúc” như với phổ tần 2.4 GHz đã được dùng cho rất nhiều ứng dụng như mở cửa gara, lò vi sóng và giám sát trẻ em. Với ít can nhiễu từ các thiết bị khác và băng thông rộng hơn, dung năng cao hơn có thể được xây dựng với chuẩn mới này. Nhưng vì 802.11b được sử dụng rộng rãi quá nhanh so với 802.11a, nên một số người

cho rằng 802.11a được tạo sau 802.11b. Tuy nhiên trong thực tế, 802.11a và 802.11b được tạo một cách đồng thời. Do giá thành cao hơn nên 802.11a chỉ được sử dụng trong các mạng doanh nghiệp còn 802.11b thích hợp hơn với thị trường cho mạng gia đình [18].

802.11a hỗ trợ băng thông lên đến 54 Mbps và sử dụng kỹ thuật hợp kênh phân chia theo thời gian phức tạp hơn, hoạt động trên dải tần 5 GHz. Tần số của 802.11a cao hơn so với 802.11b chính vì vậy đã làm cho phạm vi của hệ thống này hẹp hơn so với các mạng 802.11b. Với tần số này, các tín hiệu 802.11a cũng khó xuyên qua các vách tường và các vật cản khác hơn.

Do 802.11a và 802.11b sử dụng các tần số khác nhau, nên hai công nghệ này không thể tương thích với nhau. Chính vì vậy một số hãng đã cung cấp các thiết bị mạng hybrid cho 802.11a/b nhưng các sản phẩm này chỉ đơn thuần là bổ sung thêm hai chuẩn này.

- Ưu điểm của 802.11a: tốc độ cao, tần số 5 GHz tránh được sự xuyên nhiễu từ các thiết bị khác.
- Nhược điểm của 802.11a: giá thành đắt, phạm vi hẹp và dễ bị che khuất.

1.2.3. 802.11g – Wi-Fi thế hệ thứ ba

Không lâu sau khi 802.11a được gợi ý đề xuất, IEEE đã ngay lập tức nhận ra lợi ích của dạng sóng OFDM có thể mang lại cho chuẩn 802.11b. Vào tháng 7 năm 2000, lực lượng đặc nhiệm G đã được giao nhiệm vụ đưa dạng sóng OFDM vào phổ tần 2.4 GHz và đã đưa ra một chuẩn mới có khả năng tương thích ngược với chuẩn 802.11b. Đây không phải là một nhiệm vụ dễ dàng, nhưng sau 3 năm chuẩn mới, 802.11g, đã được hoàn thành. Điểm mấu chốt ở đây là các thiết bị 802.11g có sử dụng kỹ thuật điều chế mã bù (CCK) để đảm bảo việc hỗ trợ tương thích với các thiết bị chuẩn b. Chính điều này có ảnh hưởng không nhỏ tới tốc độ dữ liệu của mạng, nhưng cho phép kết hợp được cả 2 chuẩn và cho phép thiết bị mạng 802.11 b/g cùng tồn tại trên một topo mạng [17-18].

Vào năm 2003, các sản phẩm WLAN hỗ trợ một chuẩn mới hơn đó là 802.11g, được đánh giá cao trên thị trường. 802.11g thực hiện sự kết hợp tốt nhất giữa 802.11a và 802.11b. Nó hỗ trợ băng thông lên đến 54Mbps và sử dụng tần số 2.4 Ghz để có phạm vi rộng. 802.11g có khả năng tương thích với các chuẩn

802.11b, điều đó có nghĩa là các điểm truy cập 802.11g sẽ làm việc với các adapter mạng không dây 802.11b và ngược lại.

- Ưu điểm của 802.11g: tốc độ cao, phạm vi tín hiệu tốt và ít bị che khuất.
- Nhược điểm của 802.11g: giá thành đắt hơn 802.11b, các thiết bị có thể bị xuyên nhiễu từ nhiều thiết bị khác sử dụng cùng băng tần.

1.2.4. 802.11n – Wi-Fi thế hệ thứ tư

IEEE đã áp dụng rất nhiều kỹ thuật và phương pháp để tăng được tốc độ mạng vô tuyến. Nhận thấy sự chưa thỏa mãn với tốc độ hiện tại của người dùng, IEEE đã tạo ra một nhóm đặc nhiệm mới (TGn) vào tháng 9 năm 2003 để đưa ra chuẩn có tốc độ vượt trên 54 Mbps. Năm 2009 chuẩn mới Wi-Fi – 802.11n được ra mắt chính. Đây là chuẩn được thiết kế để cải thiện cho 802.11g trong tổng số băng thông được hỗ trợ bằng cách tận dụng nhiều tín hiệu không dây và các anten. Bằng việc sử dụng công nghệ phát đa anten phát và đa anten thu (MIMO), 802.11n – chuẩn mới được đề xuất cho phép truyền thông với đa luồng dữ liệu, phân tách không gian, để tăng tốc độ tổng. Cũng như với 802.11g thì chuẩn này có khả năng tương thích ngược lại với các chuẩn thực thi trước đó trên 2.4 GHz cũng như với 802.11a trên băng tần 5 GHz và phổ tần 3.7 GHz (802.11a được mở rộng đến 3.7 GHz bởi chuẩn 802.11y đưa ra vào tháng 11 năm 2008) [18].

Trong khi MIMO có thể cung cấp tốc độ dữ liệu cao hơn và khả năng kháng nhiễu cao hơn, nhưng nó vẫn có những giới hạn lượng dữ liệu truyền đi trong phổ tần tắc nghẽn như 2.4 GHz. Các kết nối 802.11n sẽ hỗ trợ tốc độ tối đa 600Mb/s (trên thị trường phổ biến có các thiết bị 150Mb/s, 300Mb/s và 450Mb/s), tốc độ tối đa hỗ trợ cho phổ tần 2.4 GHz là 104 Mbps. 802.11n cũng cung cấp phạm vi bao phủ tốt hơn so với các chuẩn Wi-Fi trước nó nhờ cường độ tín hiệu mạnh của nó. Chuẩn này có thể hoạt động trên cả hai băng tần 2,4GHz lẫn 5GHz và nếu router hỗ trợ thì hai băng tần này có thể cùng được phát sóng song song nhau. Thiết bị 802.11n sẽ tương thích với các thiết bị 802.11g.

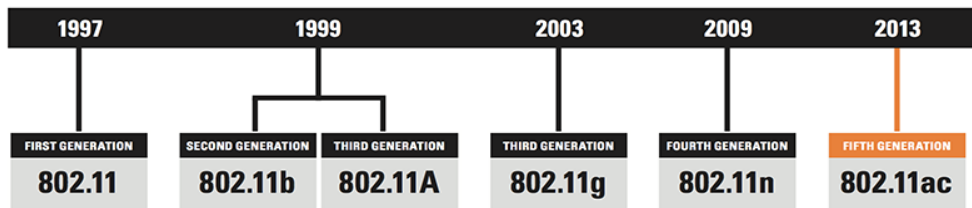
- Ưu điểm của 802.11n: tốc độ nhanh và phạm vi tín hiệu tốt nhất, khả năng chịu đựng tốt hơn từ việc xuyên nhiễu từ các nguồn bên ngoài.

- Nhược điểm của 802.11n: giá thành đắt hơn 802.11g, sử dụng nhiều tín hiệu có thể gây nhiễu với các mạng 802.11b/g ở gần.

1.2.5. 802.11ac – Wi-Fi thế hệ thứ năm

Chuẩn Wi-Fi thế hệ thứ 5, 802.11ac ra đời trong năm 2013. So với các chuẩn trước đó, 802.11ac hỗ trợ tốc độ tối đa hiện là 1730 Mb/s (sẽ còn tăng tiếp) và chỉ chạy ở băng tần 5 GHz. Một số mức tốc độ thấp hơn (ứng với số luồng truyền dữ liệu thấp hơn) bao gồm 450 Mb/s và 900 Mb/s.

Về mặt lý thuyết, Wi-Fi 802.11ac sẽ cho tốc độ cao gấp ba lần so với Wi-Fi 802.11n ở cùng số luồng truyền. Ví dụ khi dùng ăng-ten 1×1 thì Wi-Fi ac cho tốc độ 450Mb/s, trong khi Wi-Fi n chỉ là 150 Mb/s. Còn nếu tăng lên ăng-ten 3×3 với ba luồng, Wi-Fi ac có thể cung cấp 1300 Mb/s, trong khi Wi-Fi n chỉ là 450Mb/s. Tuy nhiên, những con số nói trên chỉ là tốc độ tối đa trên lý thuyết, còn trên thực tế thì tốc độ này sẽ giảm xuống tùy theo thiết bị thu phát, môi trường, vật cản, nhiễu tín hiệu [1, 2, 18].



Hình 1-2: Lộ trình phát triển của IEEE 802.11

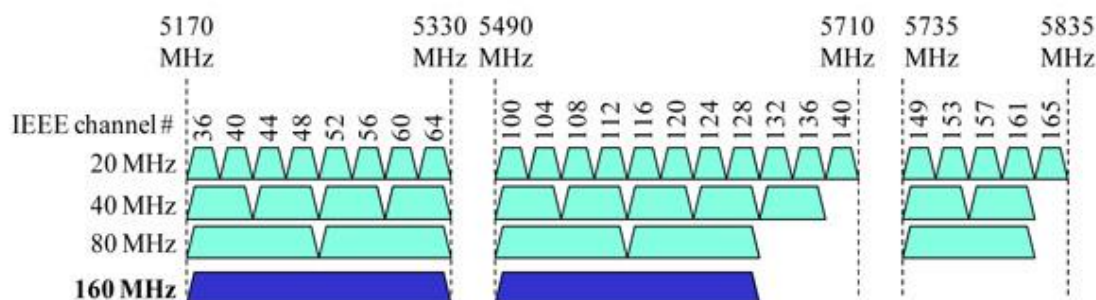
Hiện nay, hầu hết các router Wi-Fi trên thị trường có hỗ trợ chuẩn 802.11ac sẽ hỗ trợ thêm các chuẩn cũ, bao gồm b/g/n. Chúng cũng sẽ có hai băng tần 2.4 GHz lẫn 5 GHz. Đối với những router có khả năng chạy hai băng tần cùng lúc băng tần 2.4 GHz sẽ được sử dụng để phát Wi-Fi n, còn 5 GHz sẽ dùng để phát Wi-Fi ac.

1.2.6. Các đặc điểm nổi bật của IEEE 802.11ac

Là chuẩn mạng Wi-Fi mới nhất còn được biết đến với cái tên Gigabit Wi-Fi [2], Wi-Fi ac hứa hẹn chứa đựng rất nhiều ưu điểm như được kể đến trong [25] như sau:

- *Băng thông kênh truyền rộng hơn*

Băng thông rộng hơn giúp việc truyền dữ liệu giữa hai thiết bị được nhanh hơn. Với việc hoạt động chỉ trên băng tần 5 GHz, IEEE 802.11ac hỗ trợ các kênh với độ rộng băng thông 20MHz, 40MHz, 80MHz và tùy chọn thêm 160MHz. Trong khi đó, 802.11n chỉ hỗ trợ kênh 20MHz và 40MHz mà thôi. Như đã nói ở trên, kênh 80MHz thì tất nhiên chứa được nhiều dữ liệu hơn là kênh 40MHz.



Hình 1-3: Các kênh băng thông của 802.11ac

- *Nhiều luồng dữ liệu hơn*

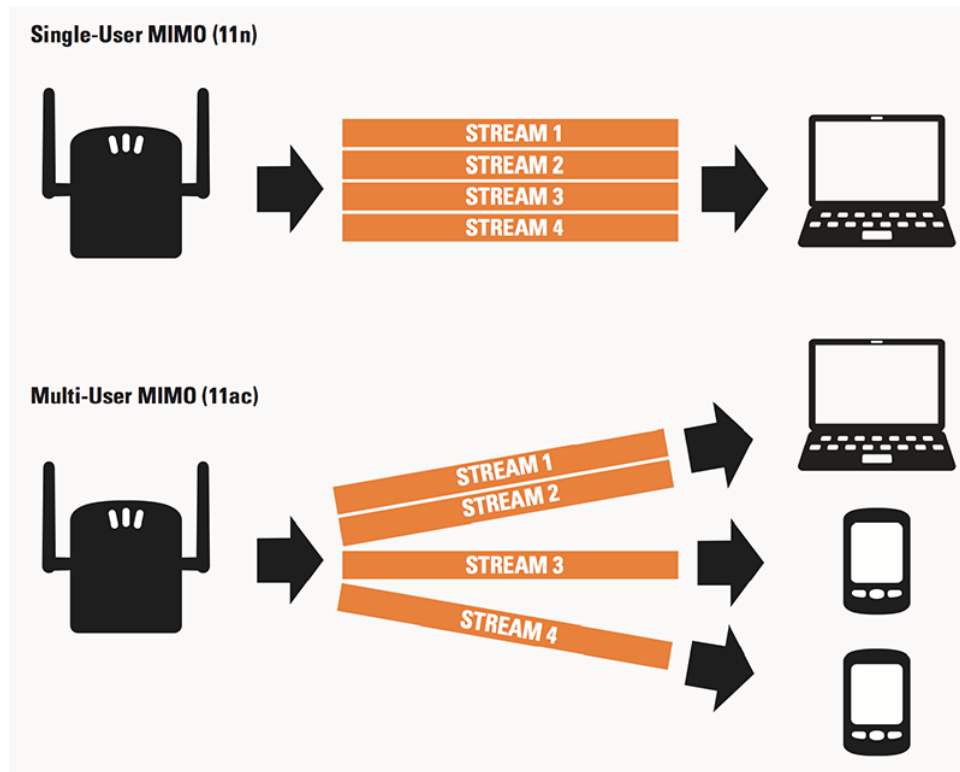
Luồng không gian (Spatial stream) là một luồng dữ liệu được truyền đi bằng công nghệ đa anten MIMO. Nó cho phép một thiết bị có thể phát đi cùng lúc nhiều luồng tín hiệu bằng cách sử dụng nhiều hơn 1 ăng-ten. 802.11n có thể cung cấp tối đa 4 luồng không gian, còn với IEEE 802.11ac thì con số này được đẩy lên đến 8 luồng. Tương ứng với đó sẽ là 8 ăng-ten, còn gắn trong hay ngoài trời thì tùy nhà sản xuất nhưng thường họ sẽ chọn giải pháp gắn trong để đảm bảo tính thẩm mỹ.

- *Hỗ trợ Multi-User MIMO*

Ở chuẩn IEEE 802.11n, một thiết bị có thể truyền nhiều spatial stream nhưng chỉ nhắm đến 1 địa chỉ duy nhất. Điều này có nghĩa là chỉ một thiết bị (hoặc một người dùng) có thể nhận dữ liệu ở một thời điểm. Người ta gọi đây là kỹ thuật MIMO đơn người dùng (SU-MIMO). Còn với chuẩn 802.11ac, một kỹ thuật mới được bổ sung vào với tên gọi MIMO đa người dùng (MU-MIMO). Nó cho phép một access point sử dụng nhiều ăng-ten để truyền tín hiệu đến nhiều thiết bị (hoặc nhiều người dùng) cùng lúc và trên cùng một băng tần. Các thiết bị nhận sẽ không phải chờ đợi đến lượt mình như SU-MIMO, từ đó độ trễ sẽ được giảm xuống đáng kể.

Tuy nhiên, MIMO đa người dùng là một kỹ thuật khó và ở thời điểm hiện tại, nó chưa có mặt trên các access point và router Wi-Fi 802.11ac. Phải đến đợt thứ

hai (wave 2) thì MU-MIMO mới có mặt, nhưng sự hiện diện cũng sẽ rất hạn chế.

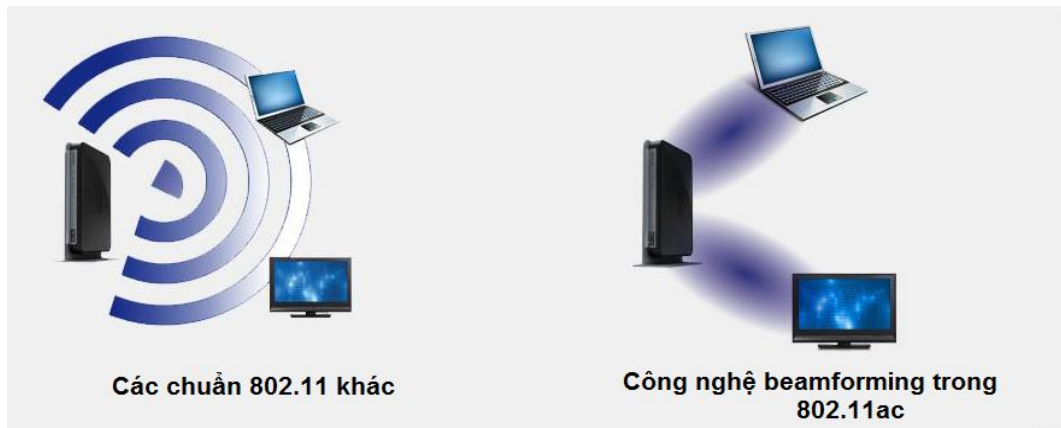


Hình 1-4: Đa luồng dữ liệu trong 802.11ac

Trong MIMO, anten phát được kí hiệu là Tx và anten thu là Rx. Trên một số thiết bị mạng như router, card mạng, chip Wi-Fi, bạn sẽ thấy những con số như 2×2 , 2×3 , 3×3 thì số đầu tiên trước dấu nhân là số anten phát (Tx), còn phía sau là số anten thu (Rx). Ví dụ, thiết bị 2×2 là có 2 anten thu và 2 anten phát.

- *Tích hợp công nghệ Beam-forming*

Wi-Fi là một mạng đa hướng, tức tín hiệu từ router phát ra sẽ tỏa ra khắp mọi hướng. Tuy nhiên, các thiết bị 802.11ac có thể sử dụng một công nghệ dùng để định hướng tín hiệu truyền nhận gọi là beamforming, hay có nghĩa là "định dạng búp sóng". Router sẽ có khả năng xác định vị trí của thiết bị nhận, ví dụ như laptop, smartphone, tablet, để rồi tập trung đầy năng lượng tín hiệu lên mức mạnh hơn hướng về phía thiết bị đó. Mục đích của beamforming đó là giảm nhiễu, tăng được chất lượng tín hiệu và tăng tốc độ dữ liệu tới từng thiết bị. Mặc dù sóng Wi-Fi vẫn tỏa ra khắp mọi hướng, tuy nhiên với công nghệ beamforming thì chùm tín hiệu có thể được định hướng tốt hơn đến một thiết bị xác định trong vùng phủ sóng.



Hình 1-5: Công nghệ beamforming

Theo giải thích của Cisco, thực chất bất kì trạm phát Wi-Fi nào có nhiều ăng-ten đều có thể định dạng búp. Thông thường, để có thể biết chính xác các thiết bị trong mạng ở đâu, thiết bị cần dùng đến bộ xác định hướng sóng đến (DOA). Tuy nhiên, Wi-Fi 802.11ac dùng kĩ thuật gọi là "sounding" để giúp router xác định vị trí của thiết bị nhận một cách chính xác hơn.

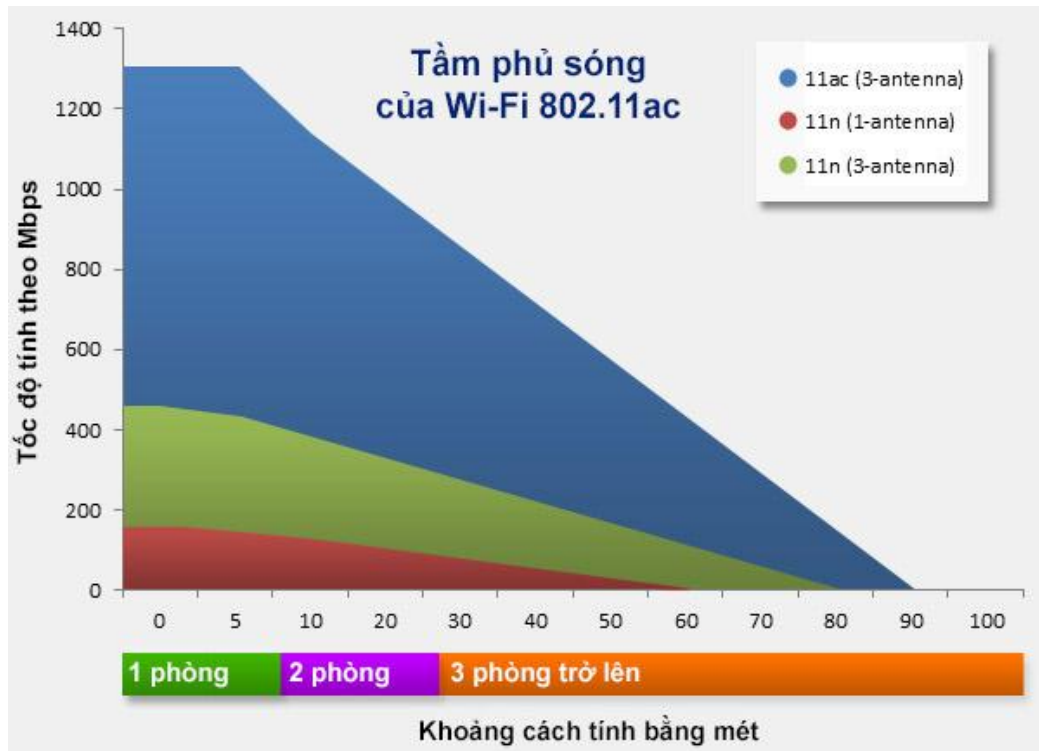
- *Tầm phủ sóng rộng hơn*

Hình 1-6 bên dưới do Netgear cung cấp, theo đó chúng ta có thể thấy rằng với cùng 3 ăng-ten, router dùng chuẩn 802.11ac sẽ cho tầm phủ sóng rộng đến 90 mét, trong khi router sử dụng chuẩn mạng 802.11n có tầm phủ sóng chỉ khoảng 80 mét là tối đa. Tốc độ của mạng 802.11ac ở từng mức khoảng cách cũng nhanh hơn 802.11n, biểu thị bằng vùng màu xanh dương luôn nằm cao hơn vùng màu xanh lá. Với những nhà, văn phòng rộng, chúng ta có thể giảm số lượng repeater cần dùng để khuếch đại và lặp tín hiệu, tiết kiệm được một phần chi phí [25].

- *Khả năng tương thích ngược*

Hiện nay, hầu hết các router Wi-Fi trên thị trường có hỗ trợ chuẩn 802.11ac sẽ hỗ trợ thêm các chuẩn cũ, bao gồm b/g/n. Chúng cũng sẽ có hai băng tần 2.4 GHz lẫn 5GHz. Đối với những router có khả năng chạy hai băng tần cùng lúc, băng tần 2,4GHz sẽ được sử dụng để phát Wi-Fi n, còn 5GHz sẽ dùng để phát Wi-Fi ac.

Cũng chính vì khả năng phát song song như trên mà tốc độ tối đa do nhà sản xuất quảng cáo sẽ là phép cộng của tốc độ tối đa trên dải 2.4 GHz và 5 GHz. Ví dụ, router RT-AC66U của Asus có "max speed" là 1.75 Gbps, bao gồm 1.3 Gbps cho chuẩn 802.11ac ở băng tần 5 GHz và 450 Mbps cho chuẩn n ở băng tần 2.4 GHz [25].



Hình 1-6: So sánh tầm phủ sóng giữa 802.11n và 802.11ac

1.3. Kết luận chương 1

Chương này đã trình bày tóm tắt về lịch sử phát triển của chuẩn mạng Wi-Fi. Các thông tin kỹ thuật của từng chuẩn mạng đã được trình bày cụ thể. Như có thể thấy, các chuẩn mạng mới nhất hiện nay đang chuyển dần sang dùng băng tần 5 GHz với các ưu điểm được chỉ rõ. Do đó, trong nội dung luận văn này, anten làm việc ở dải tần số 5 GHz cho các chuẩn Wi-Fi mới nhất được chú trọng thiết kế.

ANTEN TRONG HỆ THỐNG WI-FI ĐỊNH HƯỚNG NGOÀI TRỜI

2.1. Giới thiệu về anten

Anten là bộ phận quan trọng không thể thiếu được của bất kỳ hệ thống vô tuyến điện nào, đây chính là đầu cuối thu phát sóng (thông tin) của các hệ thống vô tuyến.

Một hệ thống liên lạc vô tuyến đơn giản luôn bao gồm máy phát, máy thu, anten phát và anten thu. Máy phát có nhiệm vụ tạo ra dao động điện cao tần, dao động điện sẽ truyền qua fide (thiết bị nối giữa máy phát/máy thu với anten) tới anten dưới dạng sóng điện từ ràng buộc. Anten phát có nhiệm vụ biến đổi sóng điện từ ràng buộc trong fide thành sóng điện từ tự do bức xạ ra không gian. Cấu tạo của anten sẽ quyết định khả năng biến đổi và bức xạ năng lượng điện từ nói trên. Anten thu có nhiệm vụ ngược với anten phát, nghĩa là tiếp nhận sóng điện từ tự do từ không gian bên ngoài và biến đổi chúng thành sóng điện từ ràng buộc [24].

2.2. Yêu cầu của anten trong hệ thống Wi-Fi ngoài trời

Như đã đề cập ở trên, anten là một phần không thể thiếu trong các hệ thống truyền thông vô tuyến. Đối với từng ứng dụng và hệ thống riêng biệt, yêu cầu

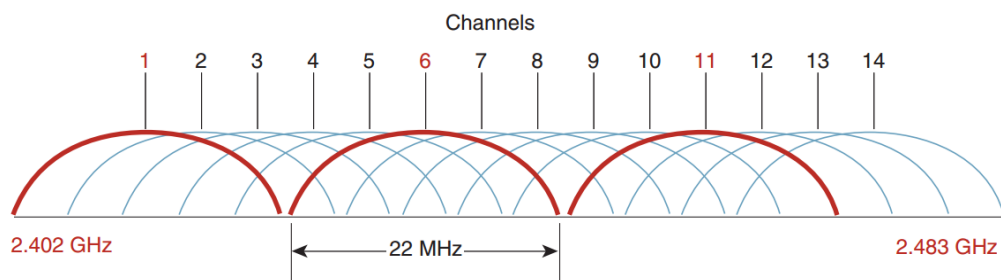
đối với anten là hoàn toàn khác nhau. Với hệ thống truyền Wi-Fi định hướng ngoài trời, anten cũng có những yêu cầu nhất định, sẽ được trình bày dưới đây.

2.2.1. Băng tần hoạt động và băng thông

Yêu cầu tối thiểu đầu tiên của một anten đó là phải hoạt động tại dải tần số của hệ thống của nó. Như đã nói ở mục 1, Wi-Fi được cấp phát và thiết kế hoạt động trên hai băng tần chính đó là 2.4 GHz và 5 GHz, đây là các băng tần trong dải ISM cho công nghiệp, khoa học và y tế. Tùy vào từng chuẩn mạng, mà anten cần phải đáp ứng các tần số hoạt động khác nhau.

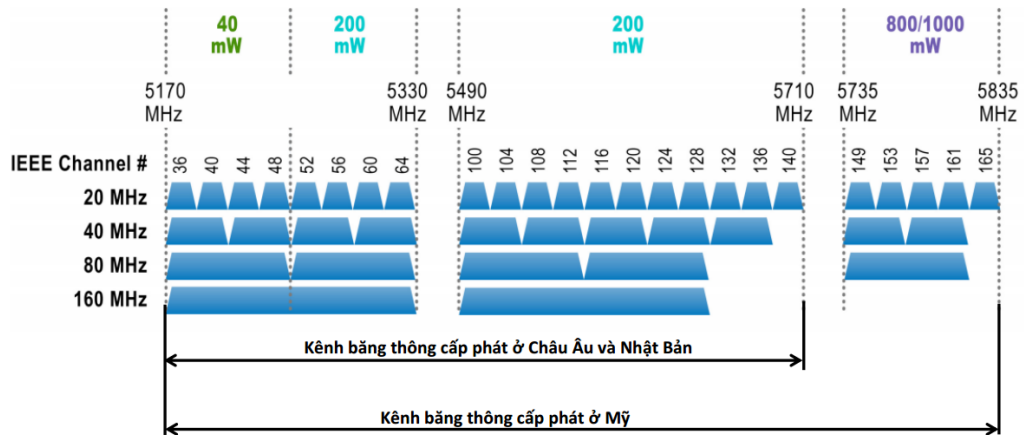
Mỗi dải tần có một đặc tính khác nhau. Những tần số thấp cho vùng phủ rộng hơn nhưng băng thông sẽ hẹp hơn nên tốc độ dữ liệu thấp hơn. Những tần số cao thì có độ phủ hẹp hơn do bị suy hao khi đâm xuyên qua các vật rắn.

Chuẩn Wi-Fi do IEEE thiết kế tận dụng toàn bộ băng thông không cần cấp phép để cung cấp tốc độ tối đa cho người dùng. Có nghĩa là, với tần số 2.4 GHz thì băng thông có thể dùng là từ 2.4 đến 2.4835 GHz (các chuẩn IEEE b/g/n hoạt động trong dải tần này). Với dải tần này, Ủy ban truyền thông liên bang (FCC) của Mỹ cho phép 11 kênh Wi-Fi được dùng, Viện Tiêu chuẩn Viễn thông Châu Âu (ETSI) cho phép tới 13 kênh truyền. Trong khi đó, Nhật Bản cho phép 14 kênh truyền hoạt động, nhưng có yêu cầu giấy phép đặc biệt khi hoạt động ở kênh 14 [22].



Hình 2-1: Các kênh băng thông trên băng tần 2.4 GHz

Tuy vậy, các thiết bị hoạt động ở dải tần 2.4 GHz dễ dàng bị nhiễu từ các thiết bị khác như lò vi sóng, điện thoại không dây, Bluetooth, vì thế IEEE đã đưa ra các chuẩn mới hoạt động ở dải tần 5 GHz. Các chuẩn như 802.11 a/n hay mới nhất là 802.11ac đều hoạt động trên dải tần này. Băng thông trên dải này từ 5170 MHz đến 5835 MHz [22].



Hình 2-2: Các kênh băng thông cấp phát trên dải tần 5 GHz

Các chuẩn Wi-Fi mới đã chuyển dần sang dùng dải tần 5 GHz và đặc biệt là IEEE 802.11ac chỉ dùng duy nhất ở tần số 5 GHz. Vậy những ưu điểm khi hoạt động ở dải tần này là gì.

Một số ưu điểm của việc dùng tần số 5 GHz như sau:

- **Tránh can nhiễu:** hoạt động tại 5 GHz sẽ giúp các thiết bị tránh được nhiễu từ những thiết bị gia dụng như lò vi sóng, điện thoại, camera quan sát, giám sát trẻ, Bluetooth, hay thậm chí là từ chính các sản phẩm sử dụng Wi-Fi truyền thống ở tần số 2.4 GHz.
- **Băng thông rộng:** Bên cạnh đó, dải tần 5 GHz cho phép các kênh băng thông rộng hơn có thể được sử dụng. Ví dụ, trong khi 802.11n sử dụng kênh tần với độ rộng 20 MHz đối với tần số 2.4 GHz, nhưng 40 MHz đối với tần 5 GHz. Hay đối với 802.11ac (chỉ hoạt động ở tần số 5 GHz) sử dụng mức 80 MHz hoặc 160 MHz (gộp 2 kênh 80 MHz) cho phép truyền dữ liệu cao hơn (ít nhất là về mặt lý thuyết).

Do đó, luận văn này sẽ tập trung thiết kế đề xuất anten có thể hoạt động trong dải tần 5 GHz (sử dụng trong IEEE 802.11n/ac, các chuẩn mới nhất hiện nay).

2.2.2. Độ lợi

Tuy việc sử dụng dải tần 5 GHz có những ưu điểm không thể chối bỏ, nhưng nó cũng tồn tại những nhược điểm nhất định. Như chúng ta đã biết, trong hầu hết các trường hợp, tín hiệu sóng vô tuyến có tần số cao hơn sẽ có vùng phủ là ngắn hơn, hay dữ liệu sẽ được truyền trong phạm vi hẹp hơn. Bởi vì, tín hiệu có tần số cao hơn ít có khả năng đi qua các vật rắn như tường, tòa nhà như là các tín hiệu tần số thấp. Hơn thế nữa, theo lý thuyết [4, 5], thì suy hao đường truyền ở

băng tần này cao hơn 8 dB so với ở tần số 2.4 GHz. Do đó, với các chuẩn sử dụng dải tần 5 GHz, đặc biệt với các thiết bị ngoài trời, anten cần phải có độ lợi cao từ 12-15 dBi như các sản phẩm thương mại [23].

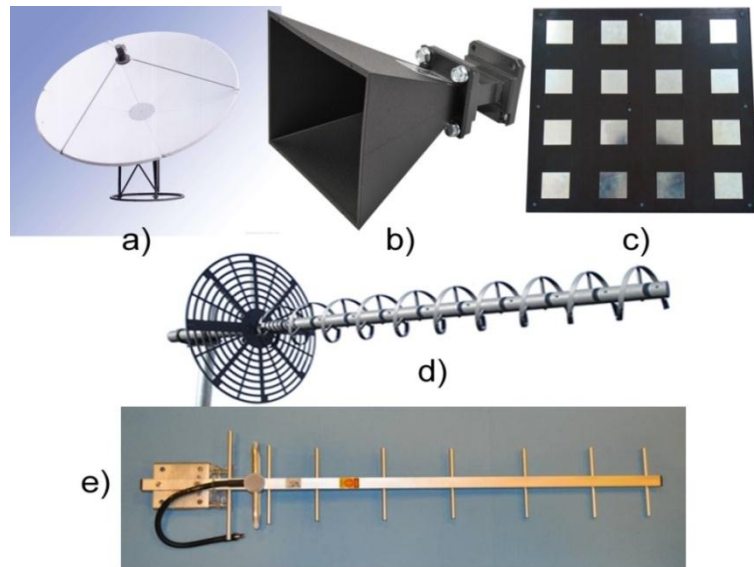
Để đáp ứng các yêu cầu của anten cho ứng dụng Wi-Fi định hướng ngoài trời, lý thuyết về anten có độ lợi cao được nghiên cứu, tìm hiểu và trình bày chi tiết ở phần tiếp theo.

2.3. Anten có độ lợi cao

2.3.1. Giới thiệu

Ra đời vào cuối thế kỷ 19 đầu thế kỷ 20, truyền thông vô tuyến đã mang lại rất nhiều tiện ích cho cuộc sống con người. Nhằm đáp ứng những nhu cầu đặt ra ngày càng cao của người dùng, các nhà khoa học luôn tìm các phương pháp, kỹ thuật mới để truyền thông tin đi hơn và nhanh hơn với hiệu suất cao nhất. Một trong những phương pháp để nâng cao hiệu suất hệ thống là thiết kế anten có độ lợi cao, phần tử không thể thiếu trong các hệ thống truyền thông vô tuyến.

Anten có độ lợi cao (High Gain Antenna – HGA) là anten định hướng có búp sóng hẹp và tập trung, cho phép hướng tín hiệu tới nơi thu hoặc mục tiêu với độ chính xác hơn. Với cùng một công suất phát, anten độ lợi cao cho phép hệ thống có thể truyền được nhiều năng lượng hơn và đi xa hơn, đến hướng cho trước, so với anten đẳng hướng; cũng như khi thu tín hiệu, loại anten này cho phép hệ thống thu nhận được tín hiệu với cường độ lớn hơn. Do đó, hệ thống thu phát tín hiệu sẽ làm việc hiệu quả hơn, công suất phát có thể giảm, vì thế giảm được chi phí duy trì, nâng cao hiệu năng hệ thống. Hơn thế nữa, HGA có độ định hướng cao, chỉ phát và thu tại các hướng nhất định tùy theo hướng của búp sóng chính nên sử dụng anten loại này có thể giảm can nhiễu. Có rất loại anten có độ lợi cao đã được nghiên cứu, chế tạo phổ biến như: anten chảo parabol, anten helix, anten yagi, anten hình nón, mảng anten vi dải.

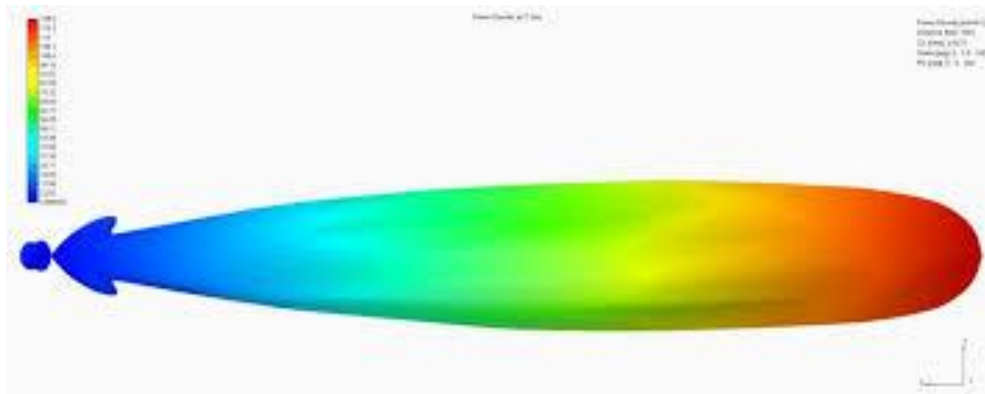


Hình 2-3: Các loại anten có độ lợi cao a) anten parabol, b) anten loa, c) mảng anten vi dải, d) anten xoắn (Helix), e) anten Yagi

Dựa vào đặc tính của đồ thị bức xạ và hướng tính, anten có độ lợi cao được chia thành 2 loại chính là:

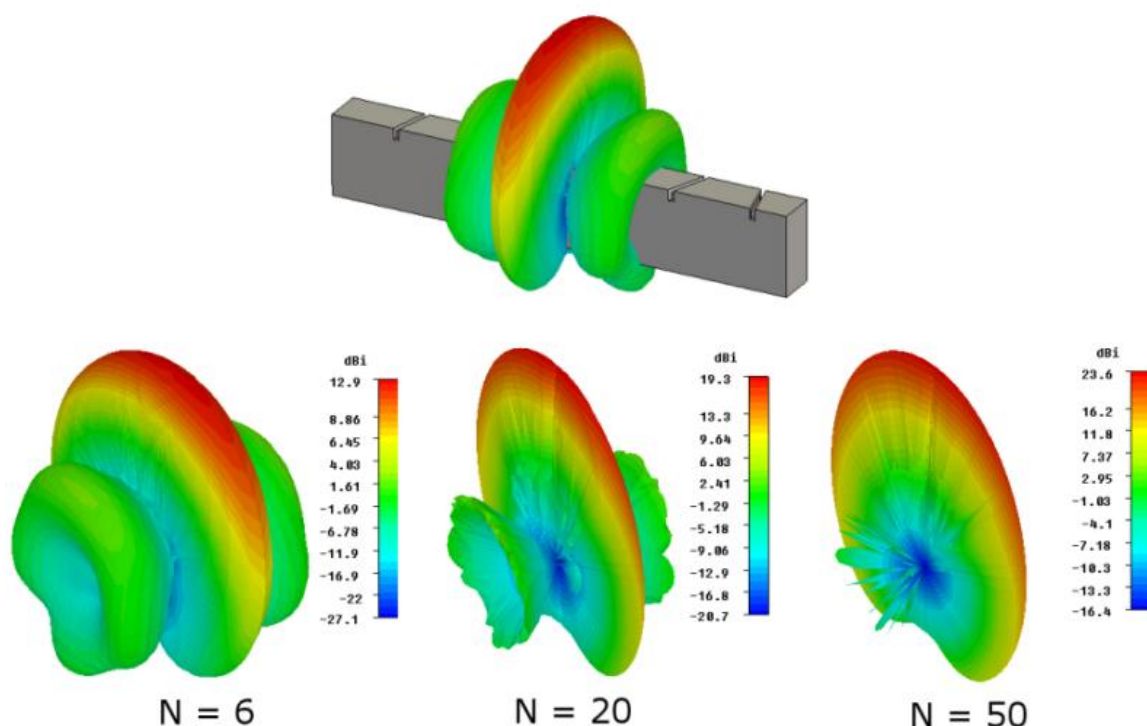
- Anten búp nhọn (hẹp) (Narrow beam antenna or pencil beam antenna)
- Anten búp dải quạt (Fan-beam antenna)

Anten búp nhọn: là anten định hướng có búp sóng chính nhọn và hẹp tại tất cả các chiều. Các anten với búp loại này khá phổ biến và quen thuộc chẳng hạn như anten Yagi, anten xoắn (Helix), anten loa, anten parabol hay anten mảng vi dải vuông. Đặc điểm của anten loại này là có độ lợi rất cao và tập trung vào hướng nhất định. Các anten loại này thường được sử dụng trong các hệ thống truyền thông điểm điểm, truyền thông vệ tinh, trong đó độ mạnh tín hiệu bị suy hao nhiều do quãng đường truyền khá lớn.



Hình 2-4: Biểu đồ hướng tính đặc trưng của anten búp nhọn

Anten búp dải quạt: là loại anten định hướng có búp sóng chính có độ rộng búp sóng hẹp tại một chiều và rộng hơn ở chiều còn lại. Anten loại này vừa cung cấp được độ lợi cao lại có được vùng phủ rộng lớn trong một mặt phẳng.



Hình 2-5: Giảm đồ hướng tính đặc trưng của mảng khe có búp dải quạt

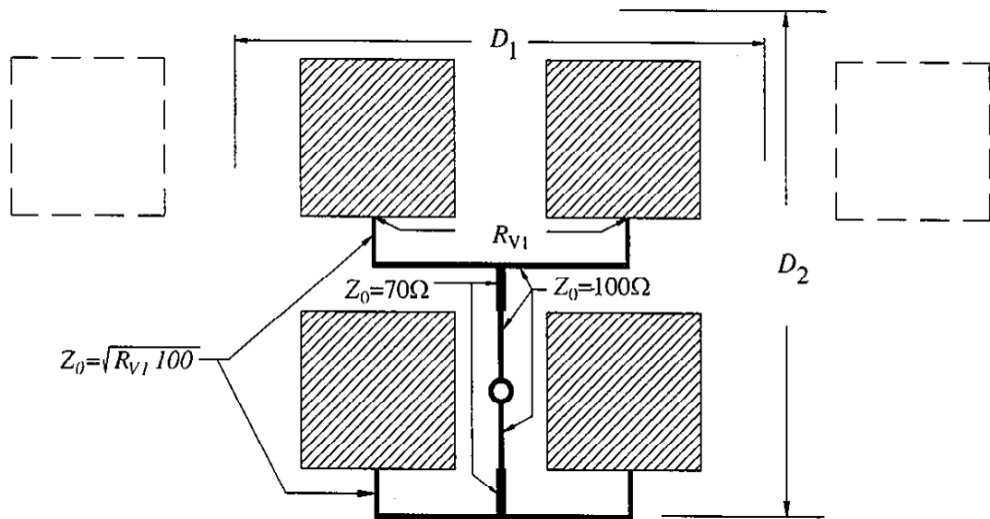
2.3.2. Anten mảng vi dải

Mảng anten vi dải là một trong những loại anten có độ lợi cao. Ngày nay, với những ưu điểm nổi bật, mảng anten vi dải đang được sử dụng rất phổ biến. Tùy vào các kỹ thuật thiết kế, mảng anten vi dải sẽ cho búp dải quạt hoặc búp nhọn phù hợp với từng yêu cầu ứng dụng cụ thể.

Mảng anten vi dải độ lợi cao được sử dụng rộng rãi trong rất nhiều ứng dụng khác nhau. Anten búp dải quạt có thể quét một vùng rộng với một hướng cho trước, được dùng trong hệ thống Wi-Fi, phát thanh truyền hình. Anten búp nhọn có thể chiếu búp sóng chính tập trung năng lượng tại một điểm, thường được dùng trong các hệ thống truyền thông điểm điểm như: radar, vệ tinh, viễn thám.

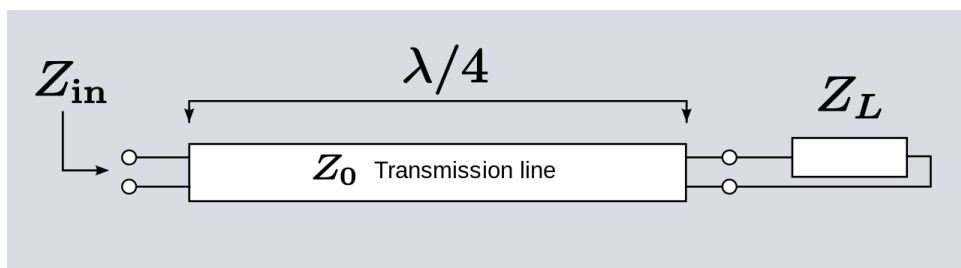
Anten mạch dải đơn thông thường được xếp vào loại anten có độ lợi trung bình từ 5-8 dBi. Tuy vậy, để có được độ lợi cao hơn, loại anten này có ưu điểm rất dễ xây dựng và tích hợp để tạo thành mảng anten. Từ anten đơn đến mảng anten đều được chế tạo dựa trên công nghệ mạch in, vì vậy việc chế tạo hết sức đơn giản và rẻ.

Mỗi phần tử anten mạch dải có thể được sử dụng như một anten độc lập hoặc chúng có thể kết hợp với nhau thành hệ anten, hay còn gọi là mảng anten vi dải. Mảng anten vi dải có thể được tiếp điện đồng pha nhằm tăng tính định hướng cho hệ anten, hoặc tiếp điện với góc pha biến đổi để có thể quét búp sóng trong không gian, tạo ra hệ anten có xử lý tín hiệu hay anten thông minh [24]. Trong nội dung luận văn này, các phần tử anten đơn được tiếp điện đồng pha sẽ được chú trọng nghiên cứu và thiết kế.



Hình 2-6: Dàn anten 4 phần tử tiếp điện đồng pha

Hình 2-6 là một ví dụ minh họa về dàn anten mảng 4 phần tử, tiếp điện đồng pha bằng đường truyền vi dải. Việc tiếp điện đồng pha được đảm bảo với khoảng cách bằng nhau từ điểm tiếp điện chung đến mỗi phần tử. Việc phối hợp trở kháng được thực hiện bằng cách các đoạn đường truyền mạch dải có độ dài bằng $\lambda_d/4$, có trở kháng sóng thích hợp nhờ thay đổi bề rộng của đường dây vi dải. Các đoạn đường truyền này được gọi là các bộ biến đổi trở kháng một phần tử bước sóng.



Hình 2-7: Phối hợp trở kháng bằng đoạn phần tử bước sóng

Nếu ký hiệu Z_0 là trở kháng đặc trưng của đường truyền một phần tử bước sóng (bộ chuyển đổi một phần tử bước sóng) thì quan hệ giữa trở kháng Z_0 với các

trở kháng vào Z_{in} và trở kháng tải Z_L (trong đó, một trong 2 đại lượng đã biết còn đại lượng còn lại cần được tính toán), sẽ theo công thức sau:

$$Z_{in}Z_L = Z_0^2 \quad (2.1)$$

Giả sử nếu ta có trở kháng tải là 100Ω và trở kháng lối vào là 50Ω thì trở kháng đặc trưng của bộ chuyển đổi phần tư bước sóng sẽ là 70Ω . Tức là, đường truyền một phần tư bước sóng với trở kháng đặc trưng là 70Ω đã chuyển trở kháng lối vào 50Ω thành trở kháng 100Ω [24].

2.3.3. Hệ thống tiếp điện của mảng anten vi dải

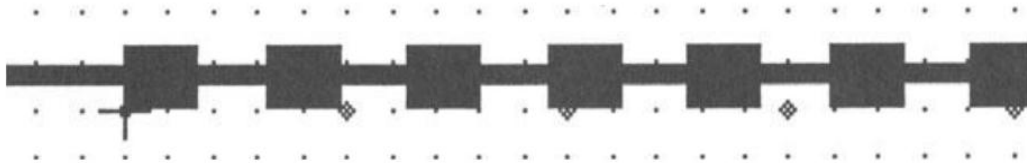
Trong một mảng anten, các phần tử trong mảng được cấp nguồn bởi các bộ chia tín hiệu cao tần hay hệ thống tiếp điện. Để các đặc tính của phần tử anten đơn không bị suy giảm khi ghép thành mảng, hệ thống tiếp điện của mảng đó cần được tối ưu để phối hợp trở kháng tốt nhất, tránh được các mất mát tối đa trên đường truyền. Ngoài ra, với mỗi loại mảng khác nhau, với các yêu cầu về búp sóng khác nhau (búp nhọn hay dải quạt) thì cũng yêu cầu có các đường tiếp điện hay hệ thống tiếp điện cũng hoàn toàn khác nhau. Thực tế, các hệ thống tiếp điện trong mảng anten kích thích một nguồn là tổ hợp các bộ chia công suất cao tần được phối hợp trở kháng với cổng vào. Trong các anten mảng pha, các kỹ thuật về đường truyền cũng như dùng các phần tử thụ động tập trung có thể giúp ta điều khiển được búp sóng theo hướng cố định hoặc giảm mức búp phụ đến một mức cho phép. Vì thế, việc thiết kế một hệ thống tiếp điện hoàn hảo là vô cùng quan trọng cần được xem xét.

Các phương pháp tiếp điện cho một mảng anten vi dải điển hình được phân loại dựa trên cấu trúc hình học có thể kể đến như hệ thống tiếp điện song song, nối tiếp. Hệ thống tiếp điện song song hay kết hợp có một cổng cấp nguồn và có rất nhiều các đường tiếp điện song song và dẫn đến các cổng ra. Mỗi đường tiếp điện được kết nối đến một phần tử bức xạ đơn. Hệ thống tiếp điện thứ hai đó là mạng tiếp điện nối tiếp. Nó bao gồm các đường truyền vi dải liên tục mà các phần nhỏ năng lượng được tương hỗ tới các phần tử đơn lẻ dọc theo đường truyền bởi nhiều cách như tương gần, tương hỗ trực tiếp, tương hỗ khe. Hệ thống tiếp điện nối tiếp sẽ tạo ra một sóng chạy nếu đường truyền kết thúc bởi một tải phối hợp, hoặc một mảng cộng hưởng nếu kết thúc là một ngắn mạch hay hở mạch. Hai loại tiếp điện này có thể đồng phẳng với các phần tử bức xạ hoặc nằm ở một lớp riêng biệt dành cho đường truyền.

Hệ thống tiếp điện nói chung có các đặc tính không mong muốn cần phải cẩn thận theo dõi để tối thiểu các ảnh hưởng xấu đến hiệu suất của mảng. Các đặc tính này có thể là các suy hao từ vật dẫn điện, suy hao của chất điện môi, suy hao sóng mặt, bức xạ ngược do các đường không liên tục như gấp khúc, chia nhánh, hay chuyển đổi. Các suy hao này sẽ tạo nên suy hao chèn của đường truyền ảnh hưởng đến độ lợi tối đa của mảng [20].

a) Hệ thống tiếp điện nối tiếp

Loại anten mảng vi dải được thiết kế đầu tiên đó là mảng anten tiếp điện nối tiếp (Series Fed Array). Mỗi phần tử đơn của loại mảng anten này được nối tiếp điện nối tiếp nhau thông qua đường truyền vi dải.



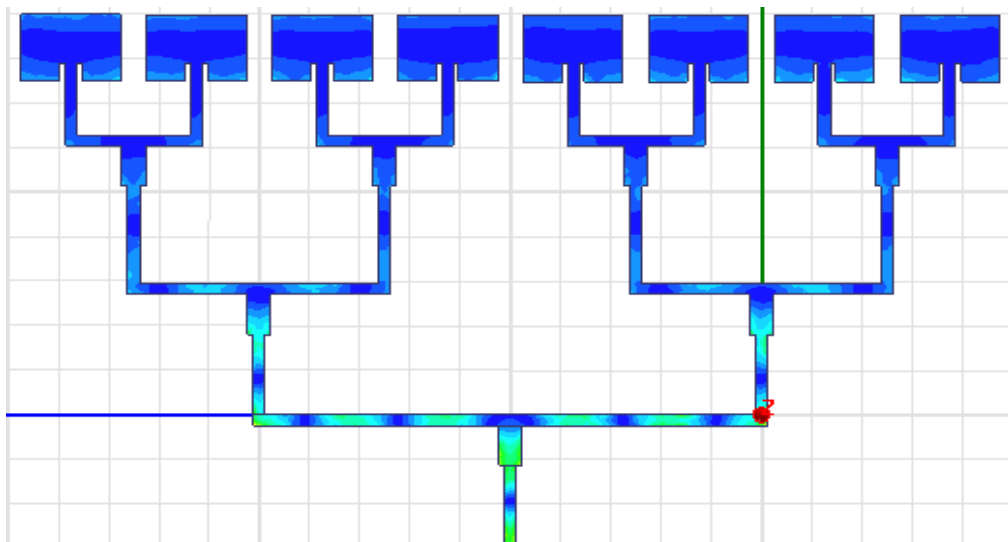
Hình 2-8: Mảng anten tiếp điện nối tiếp 8 phần tử

Ưu điểm của mảng anten vi dải sử dụng cấu trúc tiếp điện nối tiếp là có cấu tạo đơn giản, mạng tiếp điện nhỏ gọn và có độ suy hao đường truyền thấp hơn so với các loại mảng anten khác. Tuy vậy loại mảng anten này cũng có một số nhược điểm nhất định. Khuyết điểm chủ yếu nhất của loại mảng kiểu này đó là băng thông hẹp, thường đa hẹp hơn rất nhiều so với băng thông của những phần tử anten đơn. Đã có rất nhiều các bài báo, báo cáo đề xuất những loại anten kiểu này và băng thông tối đa đạt được chưa đến 1%. Vì anten mạch dải đơn có hệ số phẩm chất cao, nếu chúng được đặt nối tiếp nhau thì mỗi phần tử này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến các phần tử khác. Và do đó, nếu có bất cứ sơ xuất hay lỗi nào trong quá trình sản xuất hay những yếu tố chưa được xem xét cẩn thận trong việc thiết kế sẽ làm cho hiệu suất của mảng giảm xuống đáng kể. Vì công suất cung cấp cho mỗi phần tử phải được chuyển tới từ phần tử trước đó như hình trên, do vậy việc trở kháng thay đổi quá nhanh từ phần tử anten đầu tiên cản trở quá trình phân phối công suất tới các phần tử khác. Mặc dù đã có rất nhiều kỹ thuật cải thiện băng thông của các phần tử đơn như kỹ thuật ghép gần, kỹ thuật ghép khe, tích hợp các kỹ thuật này vào mảng anten tiếp điện nối tiếp sẽ loại bỏ các dây chêm hở và ngắn mạch làm giảm số lượng hệ số tự do của các phương pháp tiếp điện và tính linh động của nó.

b) Hệ thống tiếp điện song song một chiều

Mảng vi dải tiếp điện song song là loại mảng vi dải phổ biến nhất. Không giống như mảng anen tiếp điện nối tiếp, mỗi phần tử của mảng này được cấp nguồn kích thích bởi đường truyền riêng, độc lập với các phần tử khác trong mảng.

Cấu trúc cơ bản của một hệ thống tiếp điện song song một chiều bao gồm hệ thống các bộ chia hai như Hình 2-9 bên dưới. Hệ thống tiếp điện corporate feed là kiểu tiếp điện phổ biến trong cấu trúc tiếp điện song song. Với phân bố đồng đều, năng lượng được chia đều tại mỗi nút giao, tuy nhiên, có thể lựa chọn tỷ lệ chia công suất khác nhau để tạo ra phân bố không đều trên toàn mảng. Nếu khoảng cách từ cổng lối vào tới từng phần tử đơn là như nhau, vị trí của búp sóng sẽ độc lập với tần số và tiếp điện là băng rộng. Bằng việc tích hợp các bộ dịch pha hay mở rộng đường truyền, hướng của búp sóng chính có thể được điều khiển. Nhược điểm của tiếp điện loại này đó là nó yêu cầu đường truyền vi dải rất dài để nối giữa các phần tử đơn với cổng vào. Do đó, suy hao chèn của mạng tiếp điện rất lớn và làm giảm hiệu suất chung của mảng [20].



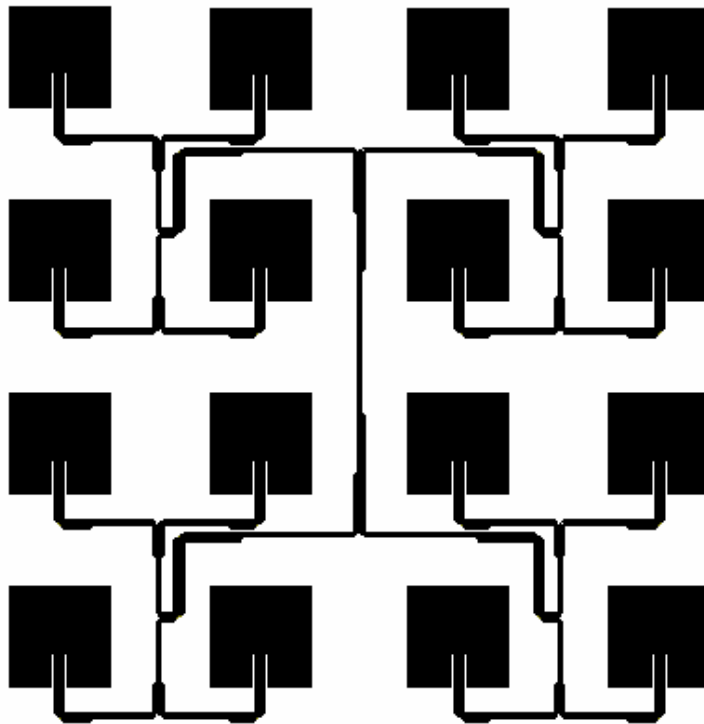
Hình 2-9: Mảng anten vi dải với hệ thống tiếp điện song song một chiều

Hình 2-9 thể hiện sơ đồ cấu trúc của một mảng anten với kiểu tiếp điện song song với 8 phần tử. Như có thể thấy, mỗi phần tử đơn được kích thích bởi đường truyền vi dải riêng của nó. Mỗi đường truyền này lại được kết nối với nhau qua bộ tổ hợp công suất 2 cổng, nếu số lượng phần tử trong mảng là lẻ thì bộ chia 2 cổng này sẽ được thay thế bằng bộ chia 3 cổng. Bộ tổ hợp công suất có thể như hình trên hoặc có thể sử dụng bộ chia Wilkinson. Bộ chia Wilkinson có thể phân tách giữa các phần tử tốt nhưng làm tăng độ phức tạp và suy hao. Chú ý rằng hầu hết các anten vi dải có băng thông nhỏ hơn băng thông của bộ chia công suất.

Trong tất cả các kiểu mảng vi dải, cấu trúc song song có băng thông rộng nhất, trong một vài trường hợp còn lớn hơn cả các phần tử đơn của mảng. Hiện tượng này có thể là do mạng tiếp điện loại bỏ được công suất phản xạ không mong muốn. Việc cách ly tốt giữa các đường tiếp điện đơn cho phép phối hợp thêm các bộ dịch pha để có thể lái búp sóng của mảng cũng như điều chỉnh biên độ dòng để giảm mức búp phụ của mảng anten [20].

c) Hệ thống tiếp điện song song hai chiều

Hệ thống tiếp điện song song một chiều có thể được sắp xếp một cách hợp lý để tạo ra hệ thống tiếp điện song song hai chiều như Hình 2-10. Các mảng con có thể được dùng để tạo ra anten lớn hơn với số phần tử là 2^n ở một bên để duy trì tính đối xứng. Nếu một trong hai bên có số phần tử là lẻ thì sự đối xứng sẽ không còn. Do vậy, trong các mảng bất đối xứng, bộ chia công suất tỷ lệ khác nhau được sử dụng để có được phân bố đồng đều.



Hình 2-10: Mảng anten vi dải với hệ thống tiếp điện song song hai chiều

Hệ thống tiếp điện song song một chiều có thể được sắp xếp một cách hợp lý để tạo ra hệ thống tiếp điện song song hai chiều như hình dưới. Các mảng con có thể được dùng để tạo ra anten lớn hơn với số phần tử là 2^n ở một bên để duy trì tính đối xứng. Nếu một trong hai bên có số phần tử là lẻ thì sự đối xứng sẽ không còn. Do vậy, trong các mảng bất đối xứng, bộ chia công suất tỷ lệ khác nhau được sử dụng để có được phân bố đồng đều [20].

2.3.4. Bộ chia công suất

Như đã nói, thực chất hệ thống tiếp điện của anten mảng là tập hợp các bộ chia công suất đều hoặc không đều tới các phần tử anten trong mảng. Hầu hết các hệ thống tiếp điện từ nối tiếp đến song song thường sử dụng bộ chia công suất ba công kiểu khớp nối T (T-Junction). Trong phần này, đặc tính của các bộ chia T-junction, Wilkinson sẽ được trình bày.

a) Bộ chia công suất T-Junction

Bộ chia công suất đơn giản nhất và cũng phổ biến nhất là bộ chia kiểu T-junction với hai cổng ra và một cổng vào. Ma trận tán xạ của một mạng ba cổng bất kỳ có 9 phần tử độc lập như sau [19]:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Nếu thiết bị là thụ động và không chứa chất liệu dị hướng, thì nó phải là thuận nghịch và ma trận tán xạ của nó sẽ đối xứng hay là $S_{ij} = S_{ji}$. Thông thường, để tránh mất mát về mặt công suất, chúng ta cần thiết kế một khớp nối là không suy hao và phải phối hợp với tất cả các cổng. Tuy vậy, xây dựng một mạng 3 cổng thuận nghịch không suy hao và phối hợp trở kháng với tất cả các cổng là không thể.

Nếu tất cả các cổng được phối hợp thì, $S_{ij} = 0$ và nếu mạng là thuận nghịch thì ma trận tán xạ lúc này trở thành.

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & 0 & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Nếu mạng đó lại không tổn hao, thì theo luật bảo toàn năng lượng, ma trận tán xạ phải thỏa mãn tính chất của ma trận đơn vị, hay thỏa mãn các điều kiện sau:

$$|S_{12}|^2 + |S_{13}|^2 = 1 \quad (2.4)$$

$$|S_{12}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \quad (2.5)$$

$$|S_{13}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \quad (2.6)$$

$$S_{13}^* S_{23} = 0 \quad (2.7)$$

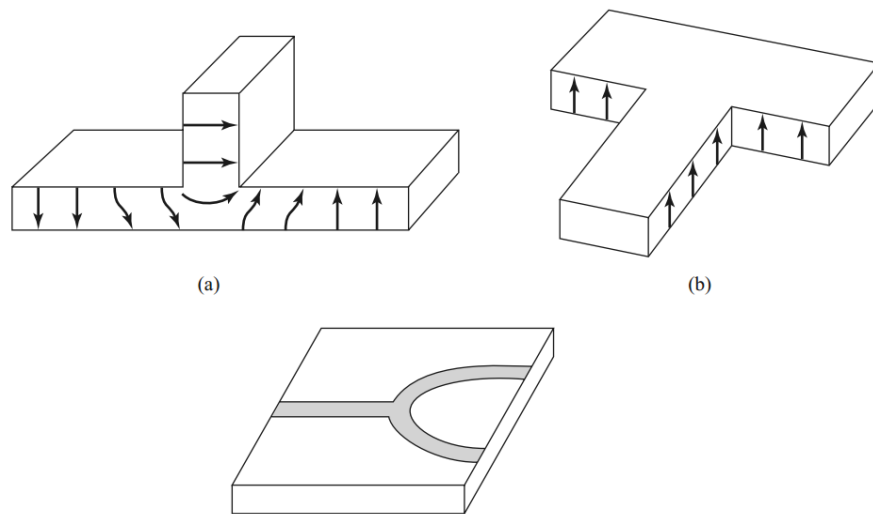
$$S_{23}^* S_{12} = 0 \quad (2.8)$$

$$S_{12}^* S_{13} = 0 \quad (2.9)$$

Những phương trình (2.6) và (2.7) ở trên thể hiện rằng ít nhất 2 trong 3 tham số (S_{12} , S_{13} , S_{23}) phải bằng 0. Tuy nhiên, điều kiện này sẽ mâu thuẫn với một trong hai phương trình ở trên, hay có nghĩa là một mạng 3 cổng không thể đồng thời không suy hao, thuận nghịch và phối hợp trở kháng với tất cả các cổng. Vì vậy, một thiết bị thực tế chỉ có thể đáp ứng được 2 trong 3 điều kiện nêu trên.

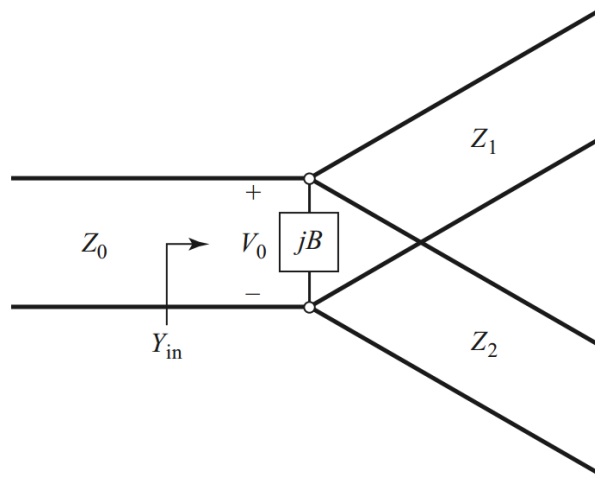
Nếu một mạng 3 cổng không thuận nghịch, thì $S_{ij} \neq S_{ji}$ và những điều kiện về bảo toàn năng lượng và phối hợp trở kháng lỗi vào có thể được đáp ứng.

Bộ chia công suất T-junction là một mạng ba cổng đơn giản có thể dùng để chia hoặc tổ hợp công suất và nó có thể được thực thi trên bất kỳ môi trường đường truyền nào. Hình dưới thể hiện một vài kiểu T-junction sử dụng phổ biến trong ống dẫn sóng và đường truyền vi dải [19].



Hình 2-11: Bộ chia T-junction

Các bộ chia T-junction không suy hao có thể được mô hình hóa là một khớp nối 3 đường truyền như hình sau đây.



Hình 2-12: Sơ đồ tương đương của bộ chia T-junction

Hầu hết trong các bộ chia sẽ tồn tại các hiệu ứng viền và các chế độ bậc cao hơn gây ra từ các phần không liên tục ở các khớp nối, dẫn đến lưu trữ năng lượng bởi một điện nạp B. Để bộ chia có thể phối hợp với trở kháng đặc trưng Z_0 của đường truyền lối vào, cần có

$$Y_{in} = jB + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (2.10)$$

Nếu giả sử các đường truyền là không suy hao (hoặc suy hao rất ít), thì trở kháng đặc trưng lúc này là thuần trở hay có giá trị thực. Nếu lại giả sử $B = 0$ thì ta có:

$$\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (2.11)$$

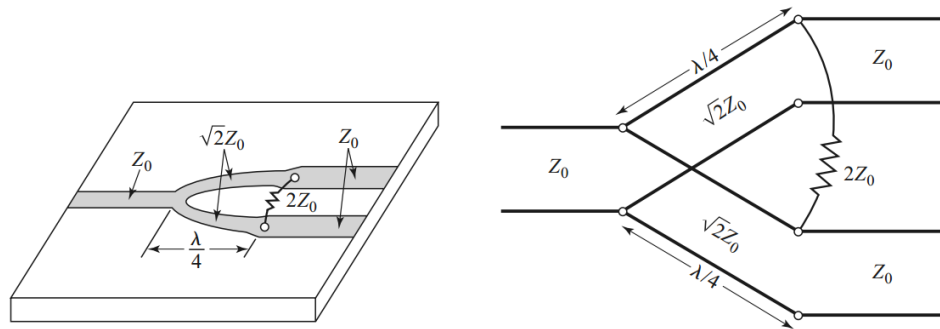
Thực tế, để loại bỏ thành phần dẫn nạp B, ta có thể sử dụng các phần tử bù không liên tục hoặc các phần tử điều chỉnh phản kháng.

Trở kháng lối ra Z_1 và Z_2 được lựa chọn để có các công suất lối ra phù hợp. Do đó, với đường truyền 50Ω , bộ chia công suất 3 dB (chia đều) có thể được tạo ra bằng 2 đường truyền 100Ω . Nếu cần thiết, ta có thể dùng bộ chuyển đổi phần tư bước sóng để đưa các trở kháng đầu ra bằng với trở kháng đầu vào để tạo ra các mạng với nhiều lối ra. Nếu đường truyền lối ra đã phối hợp, thì đường truyền lối vào sẽ được phối hợp [19].

b) Bộ chia Wilkinson

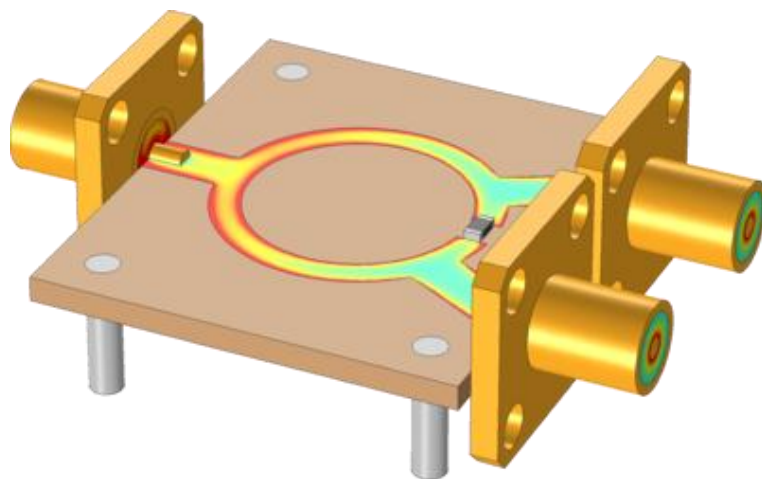
Bộ chia không suy hao T- Junction còn tồn tại mặt hạn chế là không thể phối hợp trở kháng tại tất cả các cổng và các cổng lối ra không cách ly nhau. Bộ chia

trở kháng có thể phối hợp tại tất cả các cổng nhưng nó bị suy hao và sự cách ly giữa các cổng vẫn không tốt. Tuy vậy, mạng 3 cổng không suy hao có thể phối hợp ở tất cả các cổng, với sự cách ly các cổng ra tốt. Bộ chia công suất Wilkinson là một trong các mạng 3 cổng như thế, với những đặc tính hữu ích khi tất cả các cổng ra được phối hợp, chỉ có công suất phản xạ từ các cổng ra bị suy giảm. Bộ chia Wilkinson có thể tạo ra các công suất đầu ra bất kỳ, nhưng ở đây chỉ trường hợp bộ chia đều (3 dB) được xem xét và trình bày. Bộ chia này thường được thiết kế với đường vi dải và sơ đồ tương đương của nó như Hình 2-13 [19].



Hình 2-13: Cấu tạo bộ chia Wilkinson và sơ đồ mạch điện tương đương

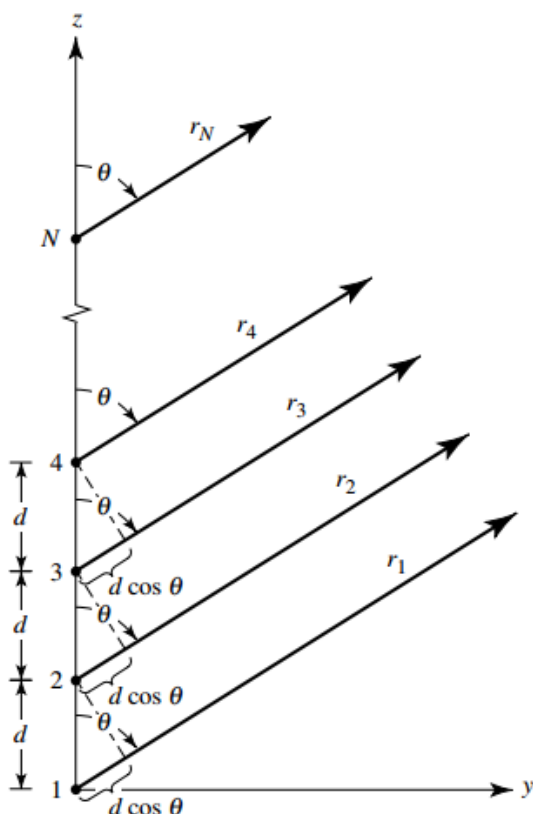
Để đơn giản hóa, ta có thể chuẩn hóa tất cả các trở kháng về trở kháng đặc trưng Z_0 như ở Hình 2-13. Mạng này là một mạng đối xứng qua mặt phẳng giữa, với một điện trở bằng 2 giá trị trở kháng đặc trưng. Các đoạn một phần tư bước sóng với trở kháng bằng căn bậc 2 giá trị trở kháng đặc trưng Z_0



Hình 2-14: Mạch chia công suất Wilkinson điển hình

2.4. Mảng anten búp sóng dải quạt

Về cơ bản, các mảng anten búp sóng dải quạt chính là các mảng anten tuyến tính, hay các phần tử được sắp xếp trên một đường thẳng như Hình 2-15. Các phần tử đơn của mảng được đặt cách nhau khoảng cách là d . Để hiểu rõ hơn về đặc tính bức xạ của anten mảng tuyến tính, ta xét trường hợp đơn giản nhất đó là mảng anten với hai phần tử ở phần tiếp theo [19].



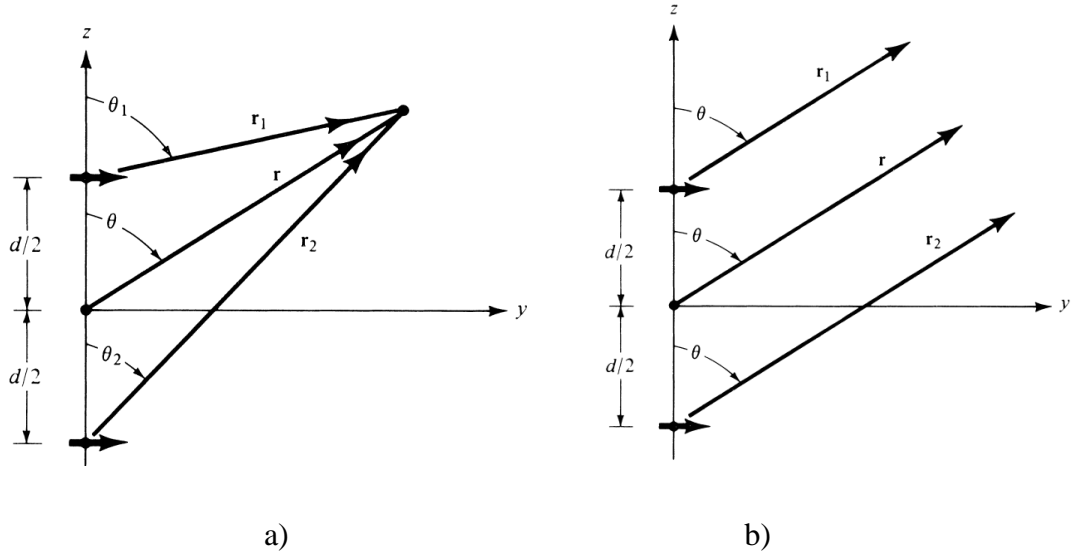
Hình 2-15: Cấu trúc của mảng anten tuyến tính

a) Mảng anten hai phần tử

Xét một mảng gồm có hai phần tử lưỡng cực đặt trên trục z như Hình 2-16 dưới đây. Trường bức xạ tổng của hai phần tử này bằng tổng trường bức xạ của mỗi phần tử, với giả sử các phần tử độc lập với nhau [19].

$$E_t = E_1 + E_2 = a_{\theta} j \eta \frac{k I_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\frac{\beta}{2})]} \cos \theta_1}{r_1} + \frac{e^{-j[kr_2 + (\frac{\beta}{2})]} \cos \theta_2}{r_2} \right\} \quad (2.12)$$

Trong đó, β là pha kích thích vào mỗi phần tử, với cường độ kích thích là như nhau.



Hình 2-16: a) Mảng anten hai chấn tử b) Quan sát tại trường xa

Tuy vậy, nếu quan sát ở trường xa, ta có thể giả sử như sau:

$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta \quad (2.13a)$$

$$\begin{cases} r_1 \approx r - \frac{d}{2} \cos \theta \\ r_2 \approx r + \frac{d}{2} \cos \theta \end{cases} \quad (\text{với sự thay đổi về pha}) \quad (2.13b)$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \quad (\text{với sự thay đổi về biên độ}) \quad (2.13c)$$

Khi đó, phương trình 2.12 sẽ trở thành

$$E_t = a_\theta j \eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left[e^{+j \frac{(kd \cos \theta + \beta)}{2}} + e^{-j \frac{(kd \cos \theta + \beta)}{2}} \right] \quad (2.14)$$

$$E_t = a_\theta j \eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left\{ 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \right\}$$

Rõ ràng có thể thấy rằng, trường tổng của mảng này bằng trường bức xạ của một chấn tử tại vị trí ban đầu nhân với một hệ số, hệ số này được gọi là hệ số mảng. Do đó, với mảng có biên độ không đổi, thì hệ số mảng được cho bởi phương trình 2.15 sau.

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.15)$$

Hay với mảng gồm n chấn tử thì dạng chuẩn hóa của hệ số mảng sẽ được viết như sau:

$$(AF)_n = \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.16)$$

b) *Mảng tuyến tính N phần tử*

Ở trên, trường bức xạ của mảng anten gồm 2 phần tử đã được tìm hiểu và chứng minh. Từ trường hợp cơ bản này, ta có thể dễ dàng tổng quát hóa đưa ra trường bức xạ tổng của mảng anten với N phần tử. Giả sử cấu trúc mảng tuyến tính với N phần tử được đưa ra như Hình 2-15. Các phần tử trong anten sẽ được kích thích với cùng cường độ tín hiệu, nhưng mỗi phần tử lệch pha nhau là β . Loại mảng với các phần tử đơn như nhau, cùng được kích thích cường độ tín hiệu như nhau với một độ lệch pha nhất định được gọi là mảng đồng nhất. Hệ số mảng AF có thể thu được bằng việc xem các phần tử như những nguồn điểm. Nếu các phần tử thực tế không là nguồn vô hướng, trường bức xạ tổng có thể hình thành bằng việc nhân hệ số mảng AF của các nguồn vô hướng với trường bức xạ của một phần tử đơn [19].

Hệ số mảng được cho bởi phương trình 2.18 như sau:

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kdcos\theta+\beta)} \quad (2.17)$$

Hay có thể viết lại như sau:

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\Psi} \quad (2.18)$$

Trong đó $\Psi = kdcos\theta + \beta$

2.5. Kết luận chương 2

Như vậy, chương hai đã đưa ra các yêu cầu kỹ thuật của anten (về băng thông, độ lợi, kích thước) cho hệ thống Wi-Fi ngoài trời cũng như những lý thuyết cơ bản về anten cho các ứng dụng này. Các loại anten có độ lợi cao cũng được giới thiệu và các kỹ thuật thiết kế liên quan đến các loại mảng anten vi dải, các bộ chia công suất đã được trình bày khái quát. Ngoài ra, đặc tính bức xạ, hệ số mảng của mảng anten tuyến tính bức xạ dải quạt cũng được đưa ra rõ ràng và đầy đủ.

THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG, CHẾ TẠO VÀ ĐO ĐẠC ANTEN

3.1. Thiết kế và mô phỏng anten

3.1.1. Quy trình thiết kế

Quy trình thiết kế một mảng anten được tuân theo các bước như Hình 3-1. Bước đầu tiên của quy trình thiết kế mảng anten đó là phải xác định được những yêu cầu của hệ thống đối với anten. Như đã đề cập ở phần trước, yêu cầu của anten cho ứng dụng Wi-Fi ngoài trời như sau:

- Dải tần hoạt động (tính tại $S_{11} < -10$ dB): phủ được phổ tần cấp phát cho Wi-Fi 5 GHz.
- Độ lợi: >15 dBi
- Kích thước: nhỏ gọn
- Mức búp phụ: ≤ -14 dB
- Búp sóng dải quạt

Các bước tiếp theo của quy trình sẽ được trình bày chi tiết ở các mục dưới đây.



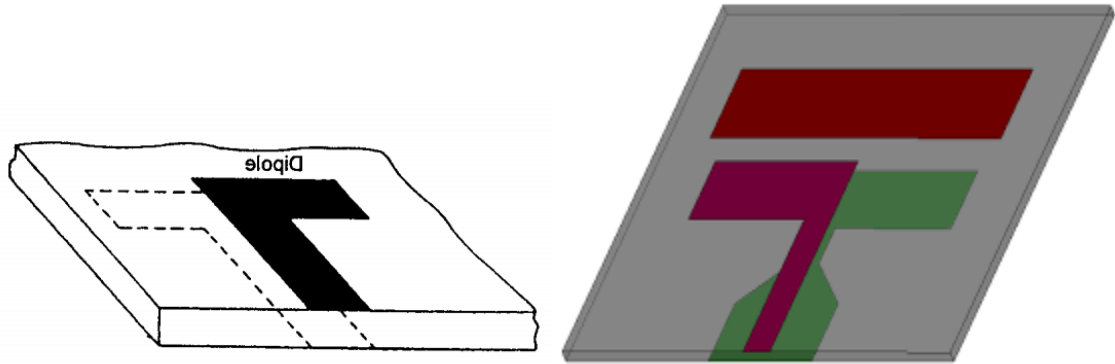
Hình 3-1: Quy trình thiết kế mảng anten

3.1.2. Phần tử đơn

a) Lựa chọn cấu trúc phần tử đơn

Để có được mảng anten, trước tiên, phần tử đơn cần được tính toán mô phỏng để đáp ứng được các yêu cầu nhất định. Phần tử đơn trong luận văn này lấy ý tưởng ban đầu từ anten dipole hai mặt trong tài liệu [20]. Dipole là loại anten cơ bản và ra đời cách đây lâu nhất. Tuy vậy, dipole mạch in lại được đưa ra sau sự ra đời của anten mạch dải hình vuông. Dù ra đời sau, nhưng anten dipole mạch in được sử dụng rộng rãi nhất trong các mảng anten bởi vì nó chiếm ít diện tích hơn rất nhiều so với các anten mạch dải khác [20]. Hơn thế nữa, anten dipole mạch in thường cho băng thông khá rộng vào khoảng 10% - 30%. Theo nguyên lý thiết kế, anten dipole mạch in được xem như là một mạch anten hình chữ

nhật hẹp. Với hai cánh bức xạ chính được đặt đối xứng nhau qua đường tiếp điện ở giữa và đối diện nhau qua tấm chất nền.



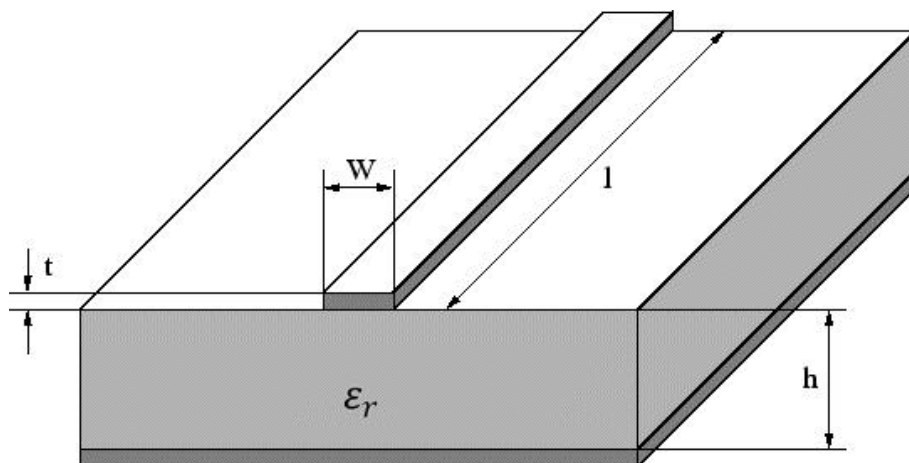
Hình 3-2: Cấu trúc cơ bản của một anten dipole mạch in

b) Tính toán, thiết kế và tối ưu phần tử anten đơn

Theo nguyên tắc thiết kế, loại anten này được tiếp điện ở giữa bằng đường tiếp điện 50Ω . Đường tiếp điện của mẫu anten này là đường vi dải song song. Tuy vậy, theo [20] thì việc thiết kế đường truyền vi dải song song đơn giản giống như đường truyền vi dải bình thường và trở kháng đặc trưng của nó được tính theo công thức sau:

$$Z_{0(\text{parallel-strips})} = 2Z_{0(\text{microstrip})}(h = d/2) \quad (3.1)$$

$$\epsilon_{re(\text{parallel-strips})} = \epsilon_{re(\text{microstrip})}(h = d/2) \quad (3.2)$$



Hình 3-3: Mô hình đường truyền vi dải

Độ rộng của đường feed vi dải thông thường được tính toán theo công thức sau đây [20].

- $W/H < 1$

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left\{ \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-0.5} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right\} \quad (3.3)$$

$$Z_c = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{re}}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{0.25W}{h} \right) \quad (3.4)$$

- $W/h \geq 1$

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-0.5} \quad (3.5)$$

$$Z_c = \frac{\eta}{\pi\sqrt{\varepsilon_{re}}} \left\{ \frac{W}{h} + 1.393 + 0.677 \ln \left(\frac{W}{h} + 1.44 \right) \right\}^{-1} \quad (3.6)$$

Trong đó ε_{re} : hằng số điện môi hiệu dụng

Z_c : trở kháng đặc trưng

ε_r : hằng số điện môi

W : Độ rộng đường truyền vi dải

h : Độ dày lớp điện môi

Do đó tính theo công thức trên, với đường truyền vi dải song song có trở kháng đặc trưng là 50Ω thì độ rộng đường truyền là 2 mm.

Thông thường, chiều dài điển hình của dipole vào khoảng $0.5\lambda_0$. Trong thiết kế này, chiều dài của phần bức xạ chính xấp xỉ 13.2 mm ($\lambda_0/4$) hay:

$$L = \frac{1}{4f\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \quad (3.7)$$

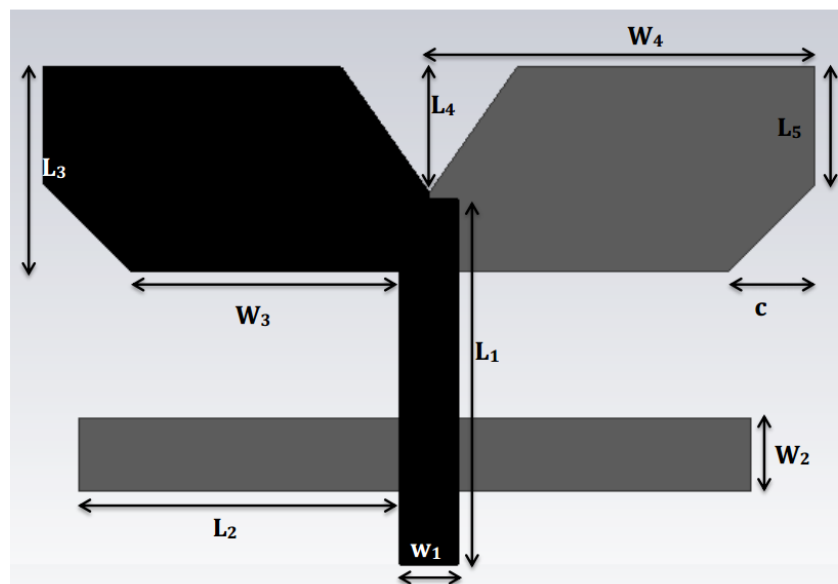
Trong đó: f là tần số hoạt động

$\varepsilon_0 = 8.85419 \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$ là hằng số điện môi của không gian tự do

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ là hằng số từ thẩm của không gian tự do

Trong luận văn này, phần tử đơn được thiết kế để hoạt động ở tần số 5.6 GHz, tần số trung tâm của dải tần 5 GHz cấp phát cho các chuẩn Wi-Fi mới nhất hiện nay.

Như đã trình bày ở trên, cấu trúc của mẫu đơn này bao gồm 2 mặt bức xạ được đặt đối xứng qua hai mặt của tấm chất nền Rogers RT/Duroid 5870tm. Mỗi tấm bức xạ có hình chữ nhật và kích thước là $13.2 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$. Theo [15, 20], để mở rộng băng thông của mặt bức xạ vuông, mỗi tấm này được cắt vát 2 góc đối diện nhau nhằm tăng sự thay đổi trở kháng theo tần số. Chính việc cắt góc này đã tạo nên cấu trúc như lá cây của phần tử anten đơn này. Thêm vào đó, lấy ý tưởng từ anten Yagi mạch in, một thanh hình chữ nhật (gọi là cross junction) được thêm vào đường truyền để tăng độ lợi của anten đơn này lên. Hình dáng cuối cùng của anten đơn được trình bày ở Hình 3-4.



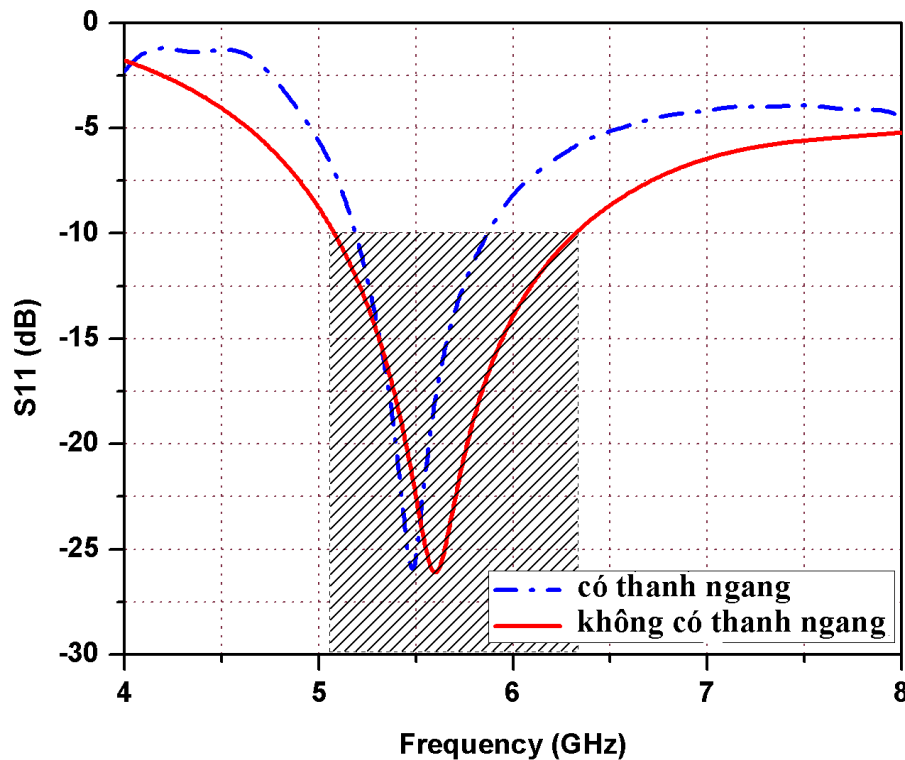
Hình 3-4: Phần tử anten đơn được đề xuất

Bảng 3-1: Các tham số của phần anten tử đơn (đơn vị: mm)

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
W_1	2	L_1	12.5
W_2	2.5	L_2	10
W_3	9.2	L_3	7
W_4	13.2	L_4	4.28
c	3	L_5	4

c) *Kết quả mô phỏng*

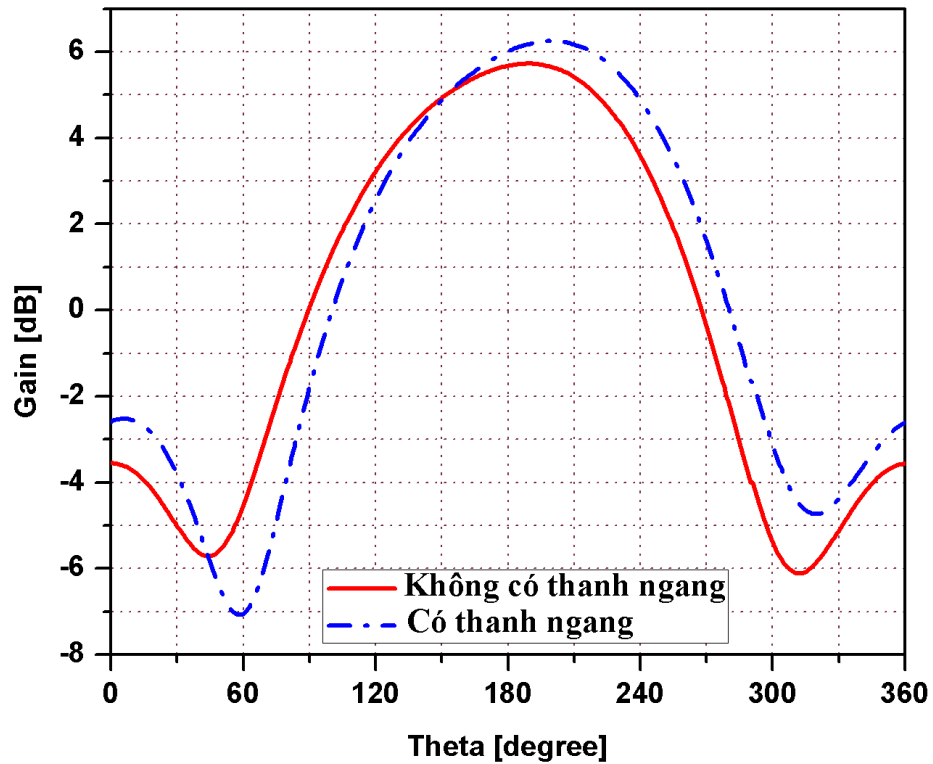
Kết quả mô phỏng của phần tử anten đơn được chiết suất từ phần mềm mô phỏng CST [21]. Đầu tiên, kết quả mô phỏng suy hao phản hồi được đưa ra ở Hình 3-5. Trong đó, tham số S của phần tử anten đơn với thanh khớp ngang và không có thanh khớp ngang được đưa ra so sánh.



Hình 3-5: Kết quả mô phỏng suy hao phản hồi của anten đơn đề xuất

Có thể dễ dàng nhận thấy rằng do ảnh hưởng của thanh ngang tần số cộng hưởng đã bị dịch xuống dưới một chút. Điều này là do thanh ngang thêm vào mang tính dung kháng đã kéo tần số hoạt động xuống phía dưới. Băng thông tính tại $S_{11} \leq -10$ dB của phần tử anten không có thanh chắn ngang là rộng hơn. Tuy vậy, cả hai đều thỏa mãn yêu cầu băng thông của hệ thống.

Giản đồ bức xạ của phần tử anten đơn có và không có thanh chắn ngang cũng được đưa ra so sánh ở Hình 3-6.



Hình 3-6: Độ lợi của phần tử đơn

Như có thể thấy, độ lợi của phần tử đơn có thêm thanh chắn ngang cao hơn so với phần tử không có thanh ngang, đúng với giả định đặt ra. Vì vậy, phần tử đơn với thanh ngang được sử dụng để xây dựng mảng anten ở các phần sau. Các kết quả mô phỏng được tổng hợp trong Bảng 3-2 dưới đây:

Bảng 3-2: Tổng hợp các kết quả mô phỏng

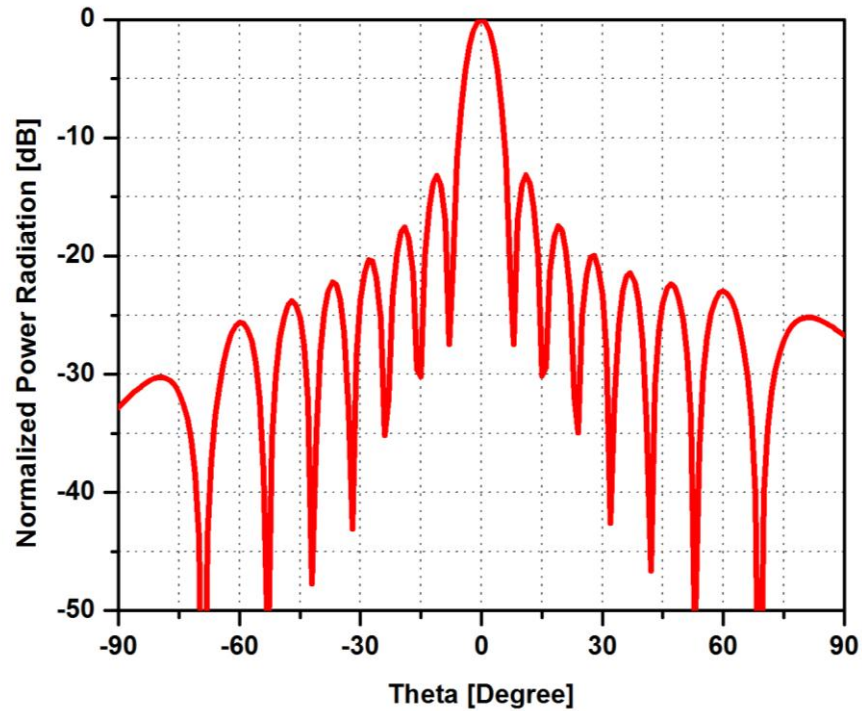
Phần tử đơn	Kết quả mô phỏng	
	Băng thông	Độ lợi
Có thanh ngang	690 MHz (5.17 – 5.86 GHz)	6.35 dBi
Không có thanh ngang	1.24 GHz (5.08 – 6.32 GHz)	5.73 dBi

3.1.3. Mảng anten vi dải 10×1

Như đã đề cập ở trên, mảng anten có búp sóng dải quạt thực chất là mảng anten tuyến tính. Để đáp ứng các yêu cầu về độ lợi cũng như búp sóng dải quạt, số lượng phần tử đơn cần được tính toán hợp lý. Theo định nghĩa, anten búp sóng dải quạt là loại anten định hướng có độ rộng búp sóng hẹp tại một chiều và rộng hơn ở chiều còn lại. Theo các tài liệu tham khảo, thì một búp sóng nửa công

suất của anten này tối thiểu phải phải lớn hơn 70^0 . Dựa vào công thức (3.8), để có độ lợi lớn hơn 17 dB, thì góc nửa công suất còn lại phải nhỏ hơn 8^0 . Hơn nữa, theo hệ số mảng của mảng tuyến tính đưa ra ở phía trên, ta thấy rằng mảng anten 10×1 phần tử đáp ứng được nhu cầu đặt ra.

$$D = 10 \log_{10} \left[\frac{4\pi}{(HPBW)_H (HPBW)_E} \right] > 17 \text{ dB} \quad (3.8)$$



Hình 3-7: Công suất bức xạ chuẩn hóa của mảng 10 phần tử theo lý thuyết

a) Thiết kế mạng tiếp điện và mảng anten

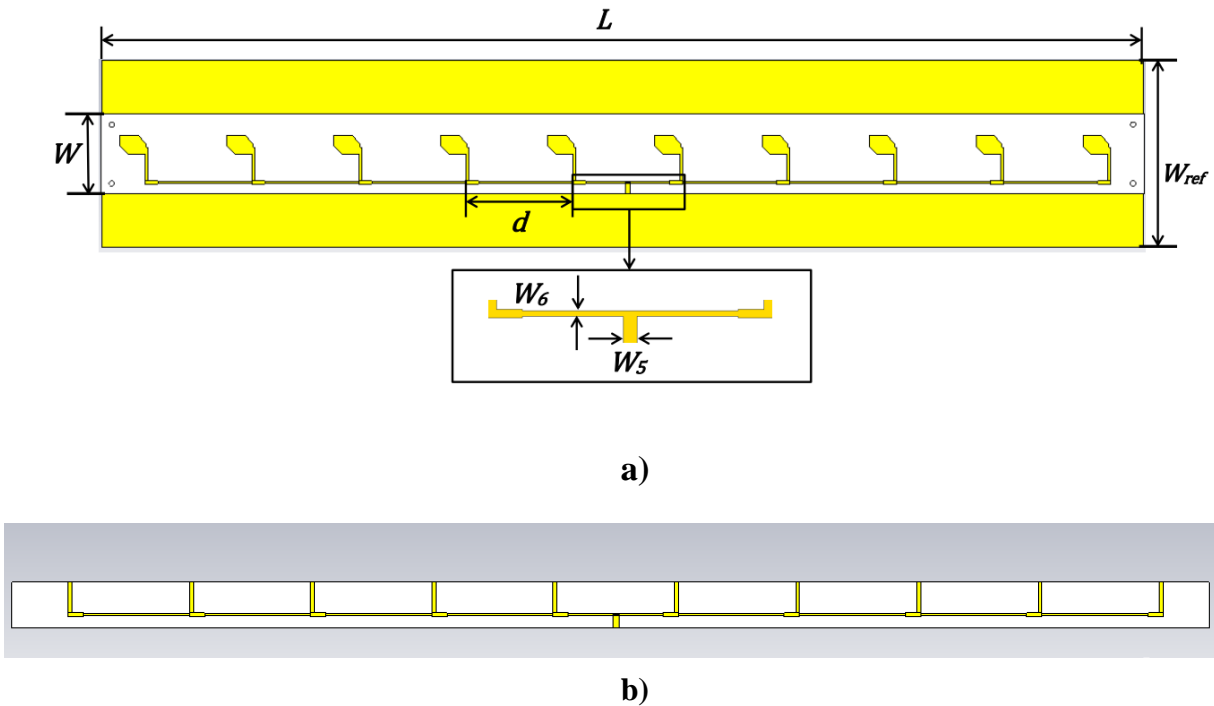
Mảng anten này được cấu thành từ 10 phần tử anten đơn và các anten đơn này kết nối với nhau qua một hệ thống tiếp điện song song sử dụng bộ chia công suất T-junction như ở Hình 3-8 b. Để đảm bảo các anten đơn được tiếp điện đồng biên độ, bộ chia công suất T-junction được thiết kế chia đồng đều công suất sang 10 cổng ra.

Hơn thế nữa, xét hai điểm trên cùng một phương truyền, ta có phương trình sóng cơ bản như sau:

$$u_M = u_0 \cos \left(\omega t - \frac{2\pi d}{\lambda} \right) \quad (3.9)$$

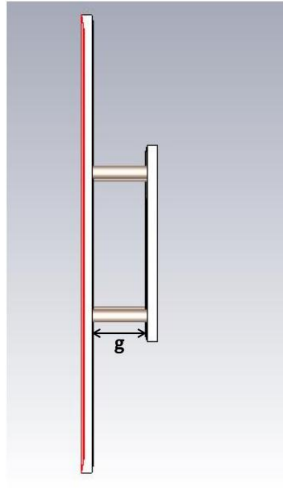
Trong đó: d là khoảng cách giữa hai điểm đang xét

Do vậy, để pha giữa hai điêm là như nhau thì d phải bằng λ . Trong thiết kế này, các phần tử đơn này sẽ được đặt cách nhau khoảng cách d là 0.75λ , kết hợp với đường tiếp điện vào phần tử đơn là 0.25λ , để đảm bảo pha vào các mặt bức xạ là như nhau. Khoảng cách giữa các phần tử này cũng được khảo sát và so sánh trong phân kết quả mô phỏng. Mười phần tử đơn này được sắp xếp tuyến tính để hình thành được búp sóng dải quạt như thể hiện ở Hình 3-8 a.



Hình 3-8: a) Mảng anten đề xuất b) Hệ thống tiếp điện của mảng anten

Hệ thống tiếp điện 1×10 được thiết kế để phối hợp với trở kháng đầu vào là 50Ω . Hơn nữa, một tấm phản xạ được đặt ở phía dưới tấm bức xạ chính cách mảng anten một khoảng g , nhằm tăng tính định hướng của anten như Hình 3-9 dưới đây.



Hình 3-9: Khoảng cách từ mảng Anten với tấm phản xạ

Các tham số của mảng Anten 10×1 phần tử được trình bày trong Bảng 3-3.

Bảng 3-3: Các thông số của mảng Anten 10×1 (đơn vị: mm)

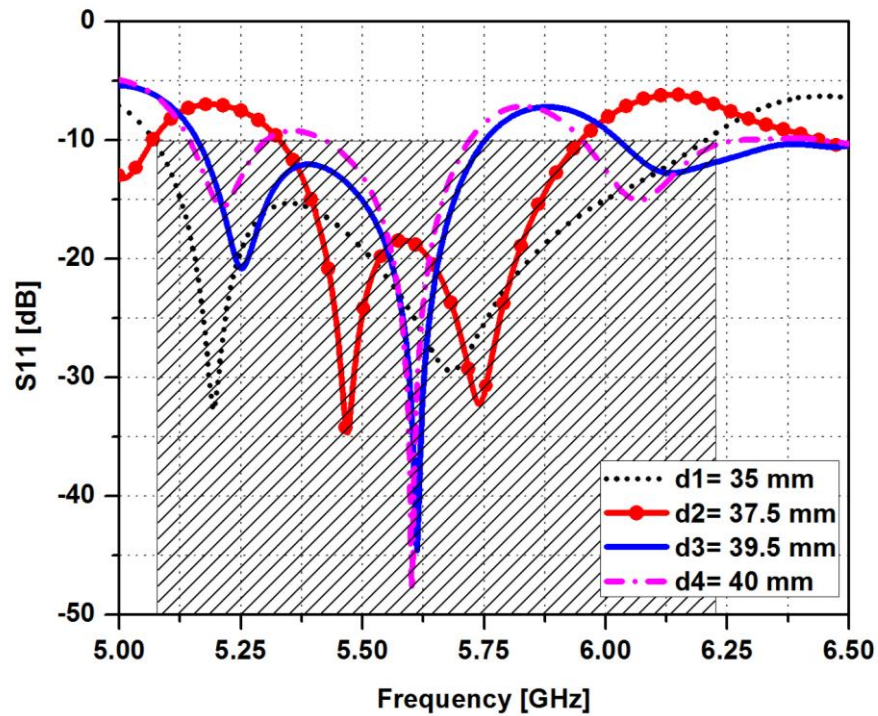
Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
L	390	g	10
W	30	W_5	2
W_{ref}	70	W_6	0.8

b) Mô phỏng và tối ưu mảng

Ảnh hưởng của khoảng cách phần tử đơn (d), tấm chắn phản xạ đến tham số S và độ lợi được khảo sát và trình bày ở phần này.

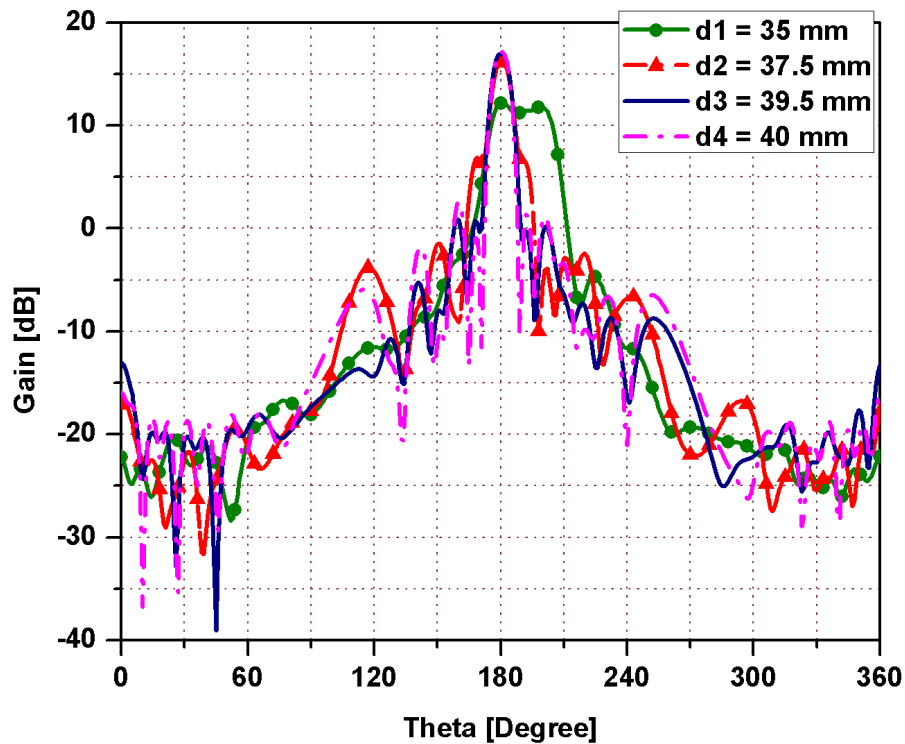
- *Ảnh hưởng khoảng cách phần tử*

Đầu tiên, các kết quả suy hao phản hồi khác nhau tương ứng với các khoảng cách phần tử khác nhau được thể hiện ở Hình 3-10. Như có thể thấy, với khoảng cách $d = 35$ mm, mảng Anten đạt được băng thông rộng nhất khoảng 1.2 GHz, các trường hợp còn lại băng thông hẹp hơn, tuy vậy vẫn đáp ứng được các yêu cầu đặt ra của hệ thống.

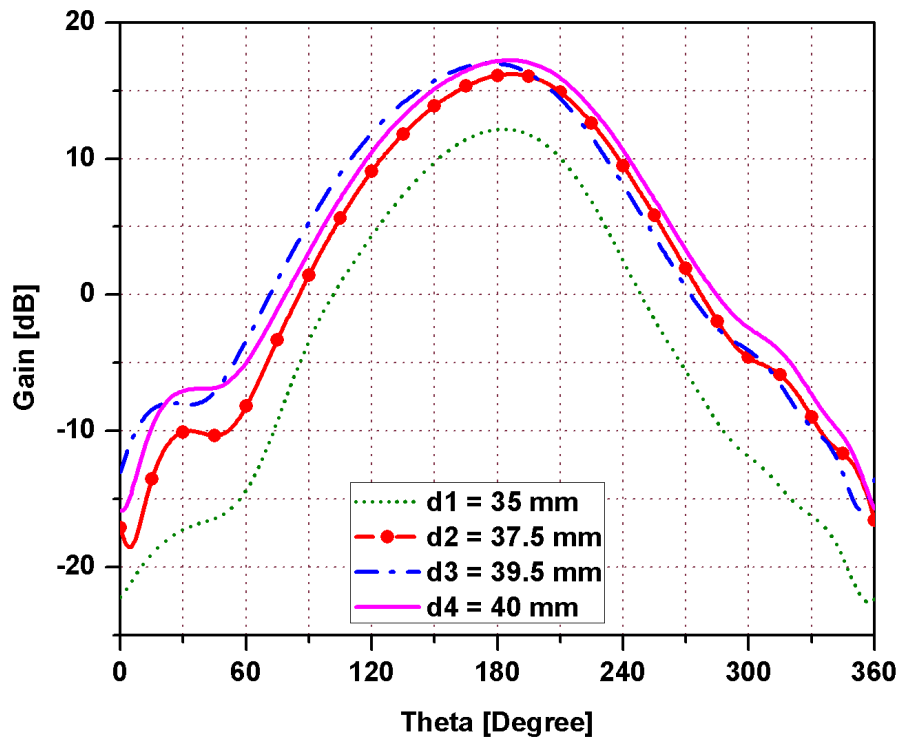


Hình 3-10: Kết quả suy hao phản hồi của mảng Anten

Tuy đạt được băng thông rộng nhất (1.2 GHz) nhưng độ lợi của mảng Anten với trường hợp khoảng cách này lại là thấp nhất. Thay vào đó, độ lợi của trường hợp d_3 , d_4 lại là tốt nhất như thể hiện ở Hình 3-11.



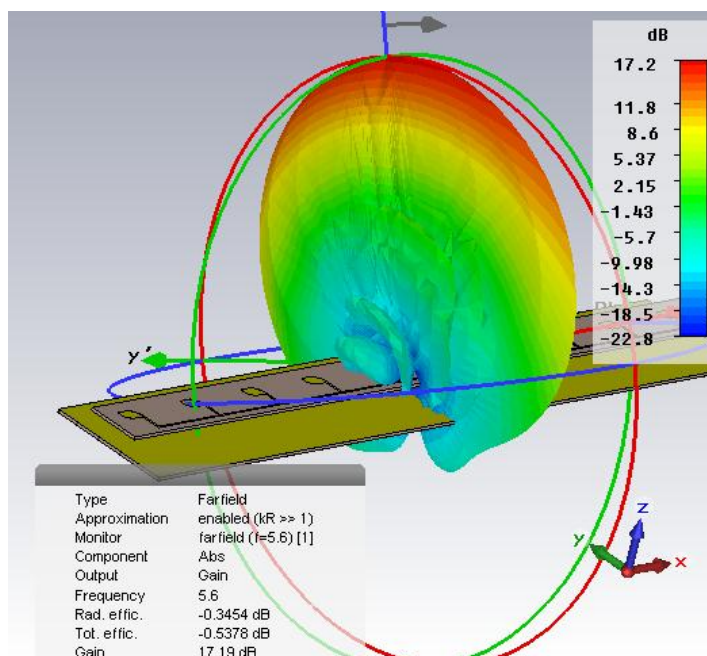
a) mặt phẳng E



b) mặt phẳng H

Hình 3-11: Độ lợi của mảng Anten với các khoảng cách phần tử khác nhau

Hơn thế nữa, mức búp phụ thấp nhất đạt ở trường hợp d_3 với -15.4 dB. Hình ảnh 3D của độ lợi được thể hiện ở Hình 3-12.

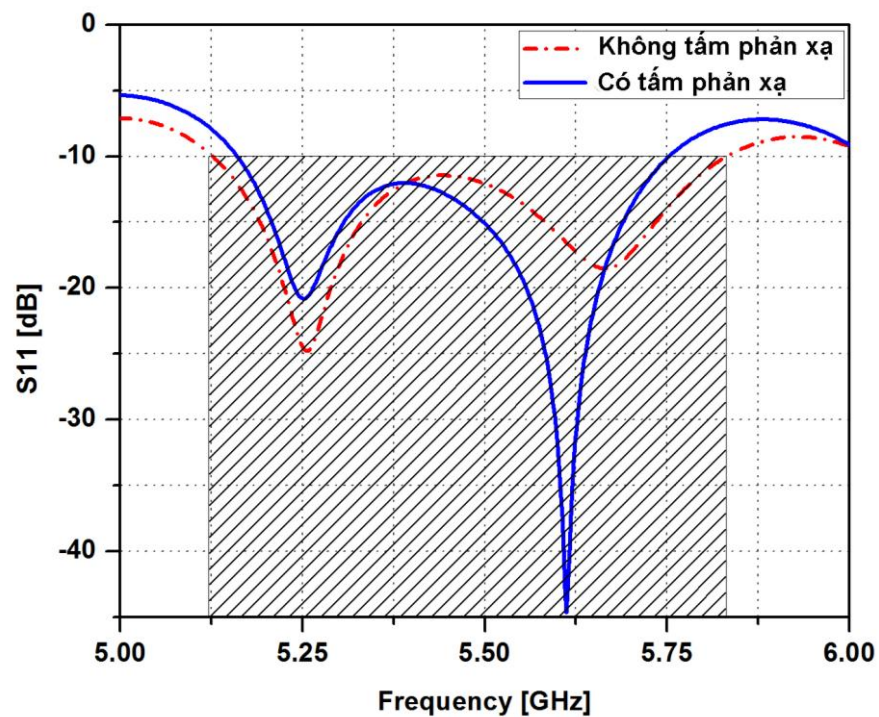
**Hình 3-12: Độ lợi của Anten tại 5.6 GHz**

Bảng 3-4: Bảng tổng hợp kết quả mô phỏng

Khoảng cách d	Băng thông (MHz)	Độ lợi (dBi)	Mức búp phụ (dB)
d_1	1.13 GHz	12.2	-28.9
d_2	600 MHz	16.1	-9.2
d_3	590 MHz	17.2	-15.4
d_4	500 MHz	17.2	-14.5

- *Ảnh hưởng của tấm phản xạ*

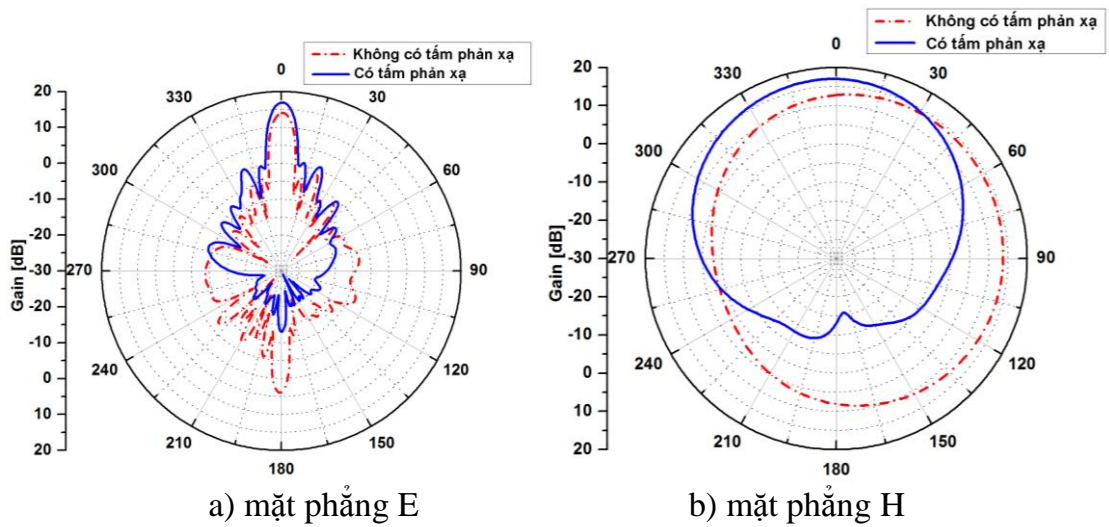
Các kết quả mô phỏng của mảng anten không có tấm phản xạ và khi được thêm tấm phản xạ được thể hiện ở Hình 3-13 tới Hình 3-15 sau đây.



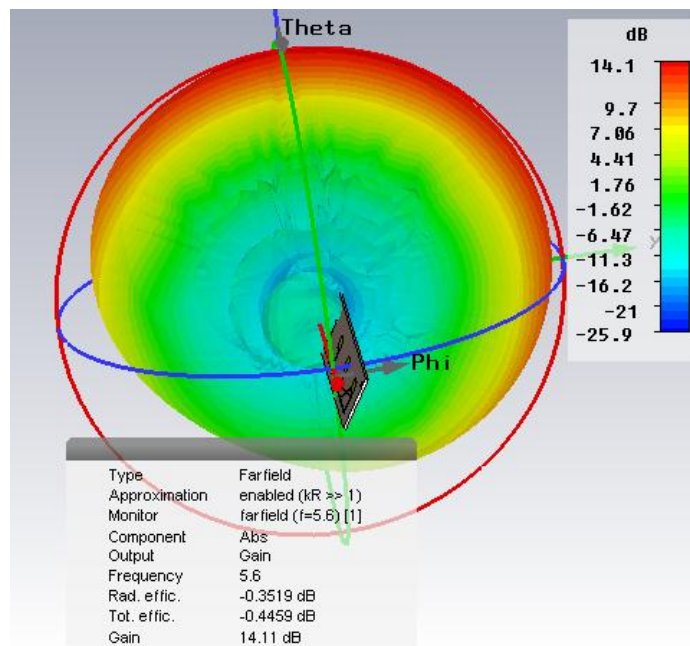
Hình 3-13: Kết quả mô phỏng suy hao phản hồi của anten có và không có tấm phản xạ

Dễ dàng có thể thấy, tấm phản xạ có ảnh hưởng không nhỏ đến sự phối hợp trở kháng của toàn mảng anten. Tấm phản xạ tạo với anten các phần tử dung kháng song song, bổ sung vào tổng trở kháng tổng của toàn mảng. Hơn thế nữa, tấm phản xạ này giúp đẩy toàn bộ phần tín hiệu bức xạ xuống phía dưới của mảng

được cộng dồn lên phía trên và làm giảm búp sau (back-lobe) như thể hiện ở Hình 3-14.



Hình 3-14: So sánh giản đồ bức xạ



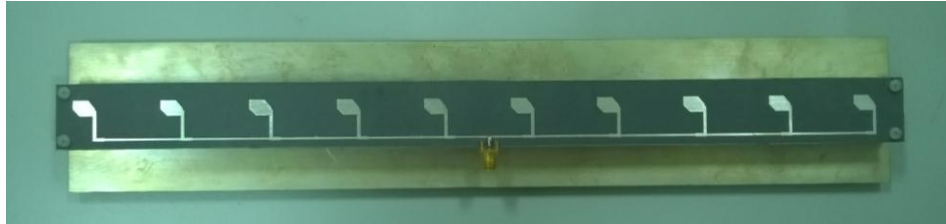
Hình 3-15: Độ lợi của mảng anten không có tấm phản xạ tại 5.6 GHz

Dựa vào những kết quả mô phỏng thu được ở trên, ta thấy trường hợp khoảng cách d_3 là tốt nhất so với tất cả các trường hợp còn lại. Do vậy, mẫu sản phẩm với khoảng cách d_3 và có tấm phản xạ đã được lựa chọn đưa ra chế tạo, đo đạc để kiểm chứng kết quả mô phỏng. Các quá trình chế thử và đo đạc được đưa ra ở phần tiếp theo sau đây.

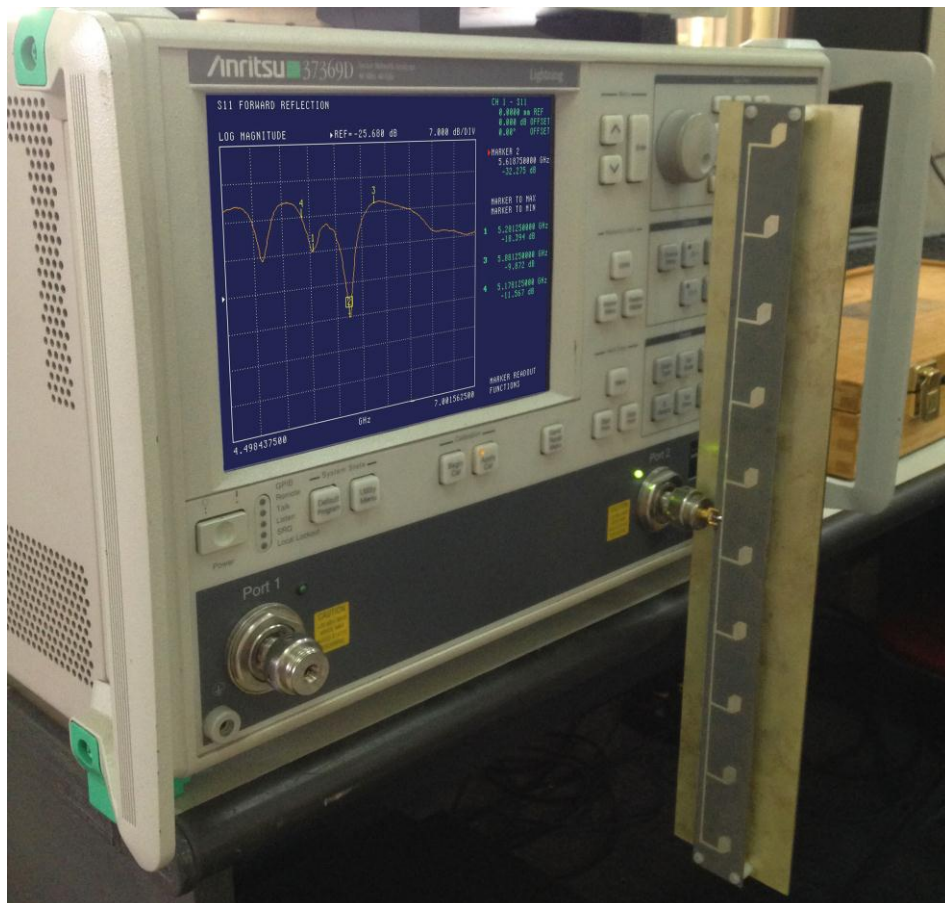
3.2. Chế tạo và đo đạc

3.2.1. Đo đạc mảng 10×1

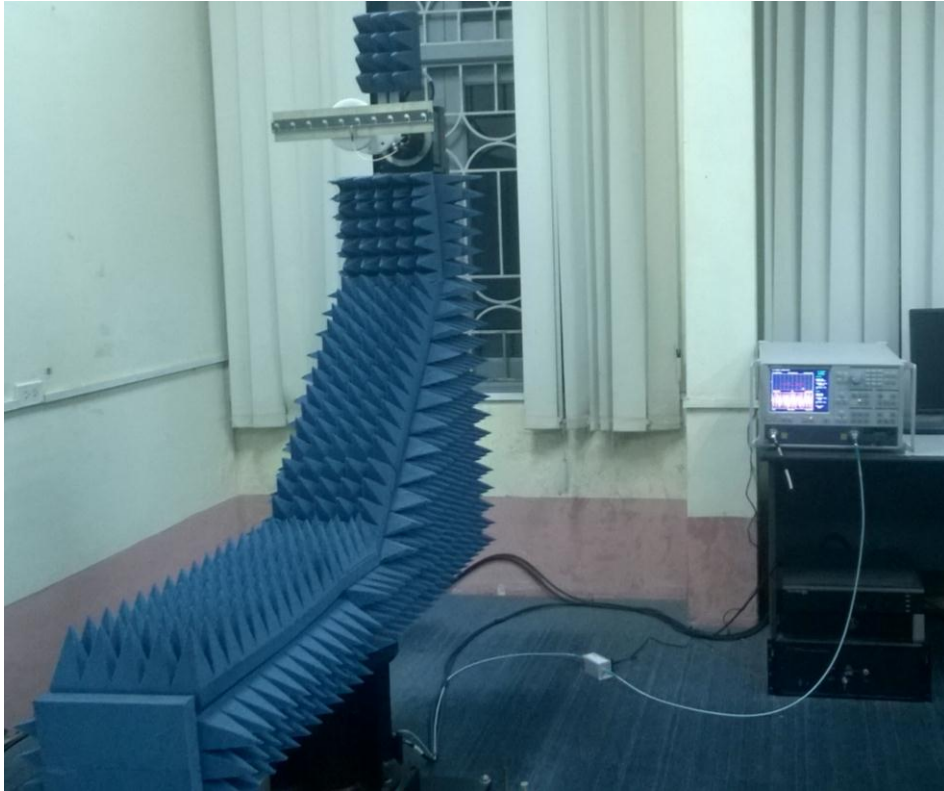
Mảng anten 10×1 thử nghiệm đã được chế tạo như ở Hình 3-16. Sau đó, mẫu anten này đã được đo đạc sử dụng các hệ thống đo trong phòng thí nghiệm thuộc Bộ môn Thông tin vô tuyến như trong Hình 3-17 và Hình 3-18.



Hình 3-16: Mẫu anten chế tạo thử



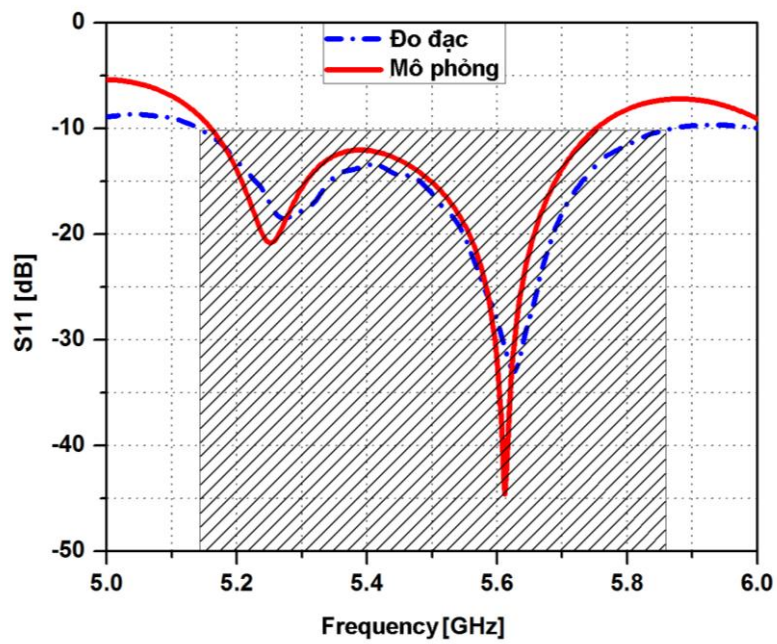
Hình 3-17: Đo tham số S với VNA



Hình 3-18: Đo độ lợi của anten với hệ thống NSI

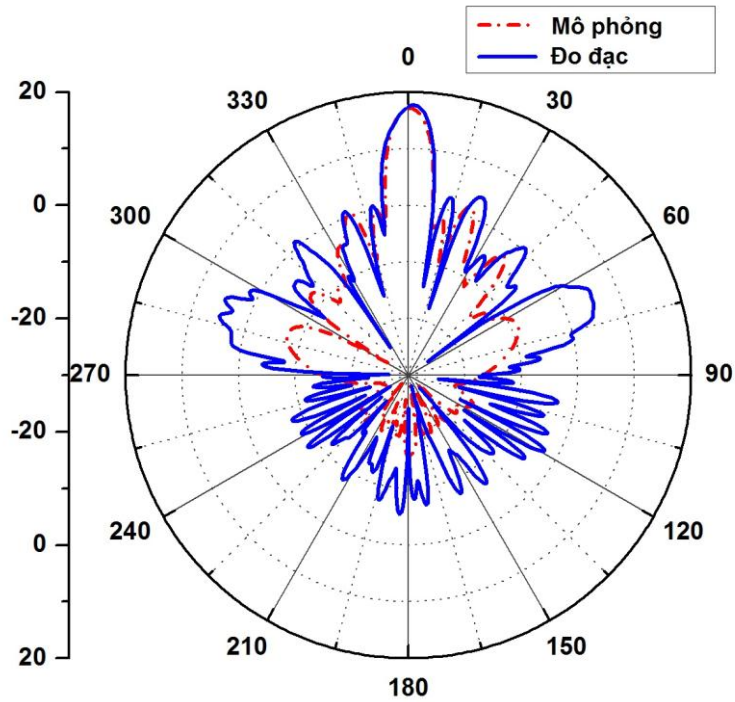
- **Kết quả đo đạc**

Kết quả đo đạc suy hao phản hồi của mảng anten được đưa ra và so sánh với các dữ liệu từ mô phỏng như thể hiện ở trong Hình 3-19.

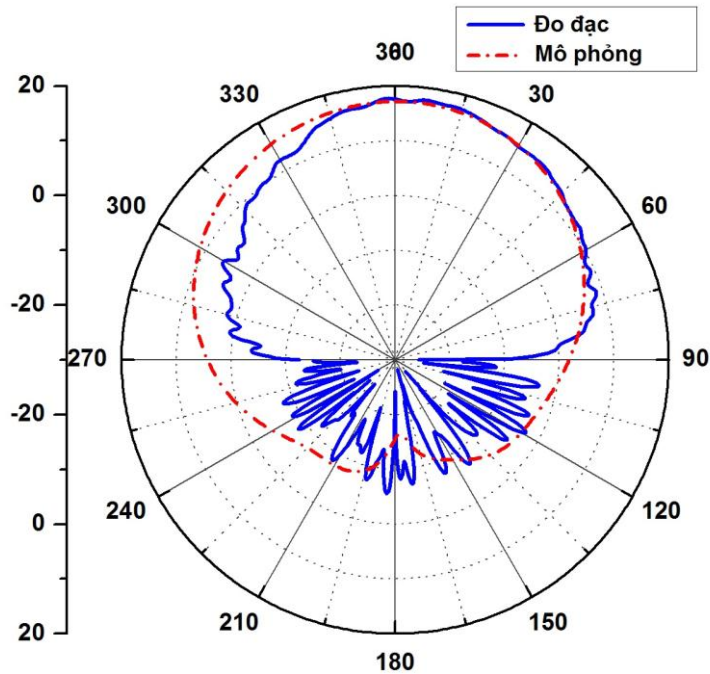


Hình 3-19: So sánh kết quả mô phỏng và đo đạc của S_{11}

Để dàng có thể nhận thấy rằng, các kết quả khá tương thích với nhau. Bảng thông tính từ suy hao phản hồi nhỏ hơn -10 dB trong đo đạc vào khoảng 740 MHz so với 580 MHz trong mô phỏng.



a) Mặt phẳng E



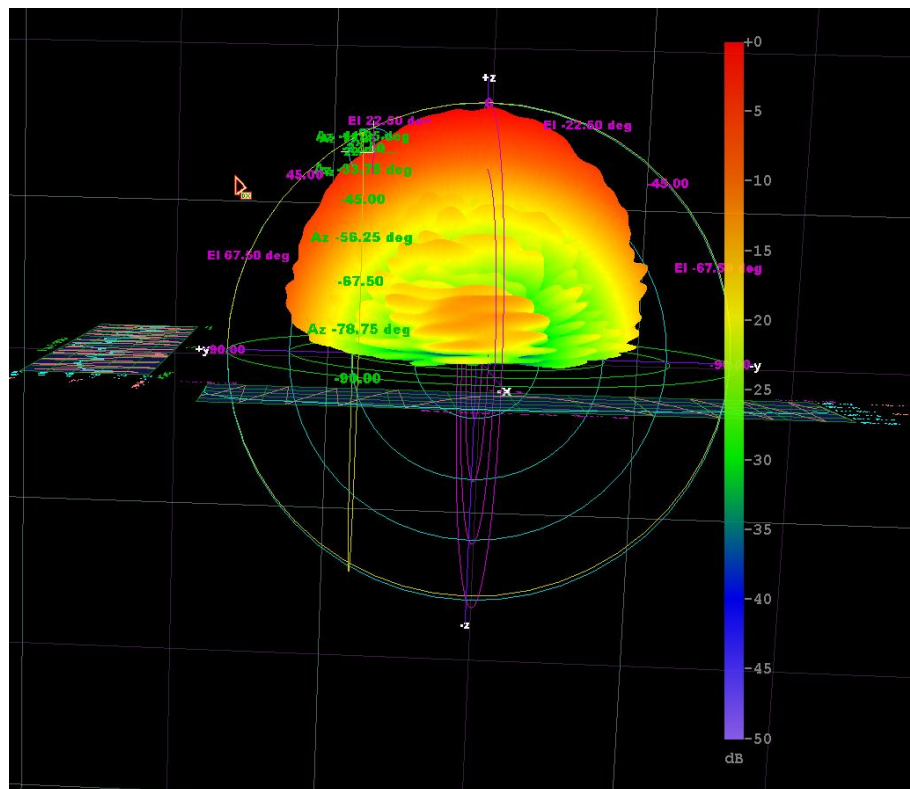
b) Mặt phẳng H

Hình 3-20: Kết quả mô phỏng và đo đạc giản đồ bức xạ của anten

Như có thể thấy, các kết quả đo đạc khá phù hợp với kết quả mô phỏng. Độ lợi đo đạc được vào khoảng 17.7 dBi so với 17.2 dBi ở trong mô phỏng. Các góc nửa công suất (HPBW) của kết quả đo đạc đạt được là $7.6^0 \times 55^0$, cùng với mức búp phụ là -15.48 dB. Do đó, tất cả các kết quả đo đạc khá phù hợp với dữ liệu từ mô phỏng.

Bảng 3-5: Bảng so sánh kết quả mô phỏng và đo đạc

Tham số	Kết quả đo đạc	Kết quả mô phỏng
Tần số hoạt động	5.6 GHz	5.6 GHz
Độ lợi	17.7 dBi	17.2 dBi
Băng thông	740 MHz (5.12 GHz - 5.86 GHz)	590 MHz (5.16 GHz – 5.75 GHz)
Mức búp phụ	- 15.48 dB	- 15.4 dB



Hình 3-21: Độ lợi 3D của anten

Các kết quả của mảng anten này được so sánh với các công bố trong tài liệu tham khảo như ở Bảng 3-6. Như có thể thấy, dù có ít hoặc nhiều phần tử hơn, mảng anten đề xuất vẫn có các kết quả về băng thông, độ lợi cũng như mức búp phụ là tốt hơn so với các mẫu đã công bố trước đó.

Bảng 3-6: So sánh với tài liệu tham khảo

Mẫu	Kích thước	Chất nền	Băng thông	Độ lợi	Búp phụ
[4]	4.65 mm × 31 mm × 2.64 mm (9 × 1 phần tử)	Rogers RT/Duroid 5880	3%	15.2 dBi	-10.7 dB
[5]	103.3 mm × 27.5 mm × 12 mm (11 × 1 phần tử)	Rogers TMM 10i	4.5%	16.6 dBi	-10 dB
Đề xuất	390 mm × 30 mm × 10 mm (10 × 1 phần tử)	Rogers RT/Duroid 5870	10.5%	17.2 dBi	-15.4 dB

3.2.2. Kiểm thử mẫu anten

Mẫu anten đã được kiểm thử với router Wi-Fi trong điều kiện có nhiều vật cản. Do phòng thí nghiệm không có đủ những thiết bị kỹ thuật cần thiết, việc kiểm chứng mức tín hiệu thu được của anten ở phía thu được thực hiện sử dụng điện thoại thông minh. Mô hình kiểm chứng chi tiết như sau:

- **Bên phát**

Router TP-Link Archer C2

- Chuẩn mạng hỗ trợ: IEEE 802.11ac/n/a (5 GHz), IEEE 802.11b/g/n (2.4 GHz)
- Công suất phát: < 20 dBm (2.4 GHz), < 23 dBm (5 GHz)

Anten phát:

- Anten dipole:
 - o Độ lợi: < 5 dBi
- Anten mảng đề xuất:
 - o Độ lợi: 17.2 dBi

- **Bên thu**

Điện thoại Sony Z3:

- Chuẩn Wi-Fi hỗ trợ: IEEE 802.11a/b/g/n/ac
- Tần số hỗ trợ: 2.4 GHz, 5 GHz

Chất lượng tín hiệu nhận được từ anten mảng đề xuất được so sánh với cường độ tín hiệu nhận từ anten dipole đi kèm cùng bộ phát như ở Bảng 3-7 dưới đây.

Bảng 3-7: Kết quả kiểm thử mẫu anten

Khoảng cách	Cường độ tín hiệu thu	
	Mảng 10x1	Dipole
15 m	-47 dBm	-71 dBm
35 m	-57 dBm	-82 dBm
55 m	-70 dBm	-85 dBm
75 m	- 71 dBm	Không tìm thấy
110 m	-78 dBm	
120 m	-83 dBm	
135 m	-86 dBm	



a) 15 m

b) 135 m

Hình 3-22: Cường độ tín hiệu nhận được từ anten mảng đề xuất

Do bộ router sử dụng trong bài thử nghiệm là bộ router sử dụng trong nhà nên công suất phát khá nhỏ. Vì thế, khoảng cách phát tín hiệu của anten còn khá ngắn khoảng 150 m. Tuy vậy, cường độ tín hiệu thu được từ mảng anten cao hơn hẳn so với anten dipole của bộ định tuyến. Điều này chứng minh rằng mảng anten đề xuất

có thể làm việc tốt với các bộ phát Wi-Fi trong nhà cũng như ngoài trời với hiệu suất cao hơn hẳn so với các dipole thông thường.

3.3. Kết luận chương 3

Chương 3 trình bày về quy trình thiết kế, mô phỏng chế tạo và đo kiểm mảng anten dải quạt. Mảng anten đã được mô phỏng và tối ưu các tham số. Các kết quả mô phỏng cũng như đo đạc thu được của anten rất tốt. Kiểm chứng thực tế đã chứng minh rằng mảng anten được đề xuất có thể hoạt động tốt với các bộ phát Wi-Fi trong nhà cũng như ngoài trời với hiệu suất cao hơn hẳn so với các anten dipole thông thường.

KẾT LUẬN

Trong suốt thời gian nghiên cứu thực hiện luận văn, với sự hướng dẫn tận tình của PGS. TS. Trương Vũ Bằng Giang, cùng với những cố gắng và nỗ lực của bản thân, toàn bộ nội dung của luận văn đã hoàn thiện và đáp ứng được các yêu cầu đặt ra.

Luận văn đã đề xuất, thiết kế một mảng anten vi dải với búp sóng dải quạt, độ lợi cao cho ứng dụng Wi-Fi định hướng ngoài trời. Quy trình thiết kế mảng anten từ phần tử anten đơn đã được trình bày chi tiết. Mảng anten đề xuất có kết quả mô phỏng tốt với băng thông khoảng 590 MHz (phù được các kênh băng thông tại băng tần 5 GHz), độ lợi tại 5.6 GHz là 17.2 dBi, mức búp phụ là -15.4 dB.

Một mẫu anten đã được chế tạo và đo đạc để kiểm chứng kết quả mô phỏng. Các phép đo được thực hiện sử dụng các thiết bị đo tại Bộ môn Thông tin Vô tuyến. Các kết quả đo đạc khá phù hợp với các dữ liệu từ mô phỏng. Mảng anten cũng đã được kiểm thử trên bộ định tuyến thực. Kết quả cho thấy rằng, anten có thể làm việc tốt với các router Wi-Fi (IEEE 802.11n/ac) chuẩn 5 GHz.

Trên cơ sở các kết quả đã thu được, luận văn có thể được phát triển theo các hướng tiếp theo như sau:

- Tối ưu phần tử đơn theo các hình dạng như tam giác, cánh cung để có được băng thông rộng hơn.
- Nghiên cứu, tối ưu đường tiếp điện để có được mức búp phụ thấp < -20 dB.
- Chế tạo anten bằng các thiết bị chuyên dụng nhằm giảm thiểu tối đa sự sai khác giữa phần mềm mô phỏng và thực nghiệm trước khi chuyển giao cho các doanh nghiệp.

DANH SÁCH CÁC CÔNG BỐ

Các công bố liên quan tới luận văn

[1] T. T. Toan, N. M. Hung, N. M. Tran, T. V. B. Giang, “A Pencil – Beam Planar Dipole Array Antenna for IEEE 802.11ac Outdoor Access Point Routers”, accepted to be published in *VNU Journal of Computer Science and Communication Engineering*, 2016.

[2] T. T. Toan, N. M. Tran, T. V. B. Giang, “A Fan-Beam Array Antenna with Reflector Back for 5 GHz Outdoor Wi-Fi Applications”, submitted to *the International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, 2016.

[3] T. T. Toan, N. X. Anh, N. M. Tran, T. V. B. Giang, “Gain Enhancement of Microstrip Patch Antennas by Using Electromagnetic Band Gap Technique”, submitted to *Journal of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology*, 2016.

Các công bố khác trong quá trình học tập

[4] N. Q. Duy, N. M. Tran, T. V. B. Giang, ICDV 2014, “A Wideband Microstrip Antenna for IEEE 802.11ac Indoor Applications”, in *Proceedings of the 5th IEICE International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (IEICE ICDV 2014)*, pp. 110 – 112, 14 – 15 November, 2014.

[5] N. M. Tran, T. V. B. Giang, “Design and Fabrication of an antenna for Global Navigation Satellite System Applications”, in *Proceedings of the 5th IEICE International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (IEICE ICDV 2014)*, pp. 156 – 158, 14 – 15 November 2014.

[6] N. M. Tran, T. V. B. Giang, “Dual-band Microstrip Antenna for 4G-LTE Handheld Devices”, in *VNU Journal of Computer Science and Communication Engineering*, Vol. 31, No. 1, pp. 55-59, 2015.

[7] L. T. Tung, D. H. My, N. M. Tran, T. V. B. Giang, “Design and Fabrication an Indoor Antenna for DVB-T2 Receivers”, in *Proceedings of Vietnam Japan Microwave 2015 (VJMW 2015)*, pp. 44 – 47, 10-11 August, 2015.

[8] N. M. Tran, T. V. B. Giang, “A Sprout – Shape Fan Beam Linear Array Antenna for IEEE 802.11ac Outdoor Wireless Access Point”, in *Proceedings of Vietnam Japan International Symposium on Antennas and Propagation*, pp. 102 – 106, Nha Trang 29 Feb – 01 Mar, 2016.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Anh

- [1]. M. Rai, R. Watson, D. Huang, “Understanding the IEEE 802.11ac Wi-Fi standard”, Preparing for the next gen of WLAN, July 2013.
- [2]. S. Chelstraete, “An Introduction to 802.11ac”, Principal Engineer, Quantenna Communications, Inc., Sep 2011.
- [3]. Internet: <https://www.google.com/loon/>
- [4]. Goldsmith, “WIRELESS COMMUNICATIONS”, Stanford University, © 2014 by Andrea Goldsmith, 2004.
- [5]. H. Oraizi, M. N. Jahromi, “Fan-beam Reflector Back Array Antenna for V-Band WLAN Applications”, in Microwave Conference, 2009. APMC. Asia Pacific, Singapore, pp. 1759 – 1762, 07-10 Dec. 2009.
- [6]. M. N. Jahromi, “Novel Ku Band Fan Beam Reflector Back Array Antenna”, in Electromagnetic Research Letters, Vol. 3, pp. 95 – 103, 2008.
- [7]. R. M. Edwards, A. Falahati, M. N. Jahromi, “Wideband Fan – Beam Low Side Lobe Array Antenna Using Ground Reflector for DECT, 3G and Ultra – wideband Wireless Applications”, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 61, No. 02.
- [8]. M. NaghshvarianJahromi, M. NejatiJahromi, A. Falahti, “Dual-band Fan-beam Array Antenna for GSM900, DECT and 3G Wireless Applications”, in Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), 2011 IEEE – APS Topical Conference, pp. 524 – 527, 12-16 Sept., Torino.
- [9]. M. Nejati Jahromi, M. Naghshvarian Jahromi, “Composition of L-Shape Grounded Reflector with Planar Monopole Array to Explore Fan-beam Antenna Characteristics for DECT, 3G and 4G Wireless Applications”, in Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference, pp. 1126 – 1129, 12-14 Aug., Harbin, Heilongjiang, China.

- [10]. Y. Yang, Y. Wang, A. E. Fathy, “Design of Compact Vivaldi Antenna Arrays for UWB See Through Wall Applications”, in *Electromagnetics Research*, PIER 82, pp. 401 – 481, 2008.
- [11]. J. Han, X. Liu, W. Li, Y. Suo, “An X-band Substrate intergrated Waveguide Vivaldi Array Antenna”, in *PIERS Proceedings*, Guangzhou, China.
- [12]. S. Garg, R. Gowri, “Circularly Polarized Antenna Array for L-Band Applications”, in *IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology*, pp. 312 – 316, 13 – 14 Feb. 2015, Ghaziabad.
- [13]. T. I. Huque, K. Hosain, S. Islam, A. A. Chowdhury, “Design and Performance Analysis of Microstrip Array Antennas with Optimum Parameters for X – band Applications”, in *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 2, No. 4, 2011.
- [14]. S. A. Nasir, M. Mustaqim, B. A. Khawaja, “Antenna array for 5th generation 802.11ac Wi-Fi applications”, in *11th Annual High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies (Photonics for Energy)*, pp. 20-24, 15-17 Dec. 2014.
- [15]. D. C. Chang, S. H. Yen, “High Gain Antenna Array with Finite Ground Plane for IEEE 802.11a WiFi Application”, in *Electromagnetics, Applications and Student Innovation (iWEM), 2011 IEEE International Workshop*, pp. 125-129, Taipei, 8-10 Aug. 2011.
- [16]. L-com Global Connectivity, “HyperLink Wireless 2.4/5.8 GHz Triple Element Dual Polarized Flat Panel Antenna Model: HG2458 – 14DP-3NF”, internet: http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG2458-14DP-3NF.PDF”
- [17]. Alexander, Tom, “Optimizing and Testing WLANs: Proven Techniques for Maximum Performance, Newnes”, 2007.
- [18]. J. Berg, “The IEEE 802.11 Standardization Its History, Specifications, Implementations, and Future”, in *Technical Report GMU – TCOM – TR – 8*.
- [19]. C. A. Balanis, “Antenna Theory 3rd Edition: Analysis and Design”, Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, Published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

[20]. P. Bhartia, I. Bahl, R. Garg, and A. Ittipiboon, “Microstrip Antenna Design Handbook”, Artech House Inc. Norwood, MA 2001.

[21]. Internet: <https://www.cst.com/Products/CSTS2>

[22]. Cisco, “Chapter 3: WLAN Radio Frequency Design Considerations”, Enterprise Mobility 7.3 Design Guide, Apr 20, 2015.

[23]. The internet: <http://www.broadbandbuyer.co.uk/products/17001-ubiquiti-am-5g16-120/specifications/#content>

Tiếng Việt

[24]. P. Anh, “Lý Thuyết và Kỹ thuật Anten”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.

[25]. Internet: <https://tinhte.vn/threads/mot-so-thong-tin-co-ban-ve-802-11ac-chuan-wi-fi-the-he-thu-nam.2124649/>

PHỤ LỤC I

CÁC ĐOẠN PHẦN MỀM SỬ DỤNG TRONG LUẬN VĂN

- *Đoạn lệnh vẽ trường tổng của mảng tuyến tính theo hệ số mảng*

```
%%..... Radiation Pattern of Linear Array Antenna .....%%
%..... Name: Nguyen Minh Tran
%..... Date: 26/04/2016
%.....
close all, clear all, clc;
beta = input('Enter the phase excitation:');
m = input('Enter the number of elements:');
d = input('Enter the element spacing d (in wavelengths):');
i_file = load('Pat.txt'); %....Import the radiation pattern of the
single element
ang = [];
G = [];
ang = [i_file(:,1)]; %.... Matrix of the angle of pattern
G = [i_file(:,2)]; %.... The amplitude of the pattern or Gain in dB
G = 10.^(G./10); %.... The normal Gain
G = G/max(G); %.... Normalized the Gain
A1 = exp (j * 2*pi*d * [0: m-1]'*(beta*pi/180));% array response
vector
thetas = ang';
tnew = thetas * pi/180;
am = exp (j*2*pi*d*[0: m-1]'*(sin(tnew)));
AF = abs (A1'* am);% .....The Array Factor (AF)
AF = AF / max (AF); %.... Normalized the AF
AF1 = AF.*G'; %.... The Radiation Pattern of the Array
figure, polar (tnew, AF1)
AF1 = 20 * log10 (AF1);% log figure log plot
title ('Normalized magnitude response array polar diagram')
figure, plot (thetas, AF1);
title ('E-Plane Radiation Pattern');
xlabel ('angle[degrees]');
ylabel ('Normalized Beam Power[dB]');
grid on
```

- *Đoạn lệnh tính toán đường truyền vi dải*

```
%.....Microstrip line calculation.....%
%..... Name: Nguyen Minh Tran.....%
%..... Date: 16/12/2014.....%
clc, clear all, close all;
W=input('Enter the width of line:');
H=input('Enter the thickness of substrate:');
e=input('Enter the dielectric constant:');
r=W/H;
if (r<1)
    eff= (e+1)/2 + (e-1)/2*((1+12*H/W)^(-1/2)+0.04*(1-r)^2);
    Z0=(60/sqrt(eff))*log(8*H/W + 0.25*r)
else
    eff= (e+1)/2 + (e-1)/2*(1+12*H/W)^(-1/2);
    Z0= (120*pi)/(sqrt(eff)*(r+1.393+(2/3)*(r+1.444)))
end
```