

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
CHƯƠNG TRÌNH KỸ SỰ CHẤT LƯỢNG CAO VIỆT PHÁP
KHOA ĐIỆN - ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN VIỄN THÔNG



LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP

THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG HỆ THỐNG
RADAR TẦM NGẮN THỜI GIAN THỰC
TRÊN BĂNG TẦN 2.4 GHz

SINH VIÊN THỰC HIỆN:
LÊ HOÀNG ANH - 41100075

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN:
TS. TRỊNH XUÂN DŨNG

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6 năm 2016

NHIỆM VỤ LUẬN VĂN

PHIẾU CHẤM ĐIỂM BẢO VỆ LVTN DÀNH CHO GVHD

**PHIẾU CHẤM ĐIỂM BẢO VỆ LVTN DÀNH CHO
GVPB**

LỜI CÁM ƠN

Sau gần 5 năm học tập và rèn luyện tại **Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM**, em đã tích lũy cho mình rất nhiều kiến thức cũng như kinh nghiệm sống để làm hành trang cho mình trước khi trở thành một kỹ sư trong tương lai. Bên cạnh những nỗ lực và cố gắng của bản thân mình, em đã nhận được rất nhiều sự quan tâm và giúp đỡ của quý **Thầy Cô, Gia đình và Bạn bè**. Với lòng biết ơn sâu sắc nhất, em xin chân thành gửi đến quý **Thầy Cô Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM, quý Thầy Cô Khoa Điện - Điện Tử** - những người đã cùng với tri thức và tinh huyết truyền đạt vốn kiến thức quý báu của mình cho chúng em trong suốt thời gian học tập tại trường.

Dặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến Thầy hướng dẫn của mình - **TS. Trịnh Xuân Dũng** - người đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ em trong quá trình thực hiện luận án này.

Qua đây, em cũng xin gửi đến gia đình và bạn bè của mình lời cảm ơn chân thành và đặc biệt là mẹ em người đã luôn ủng hộ và hỗ trợ để em có thể hoàn thành tốt luận án này.

Trong quá trình thực hiện luận án chắc chắn không thể tránh khỏi những sai sót, do vậy em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu của quý Thầy Cô để em học hỏi thêm nhiều kinh nghiệm và hoàn thiện luận án của mình.

Sau cùng, em xin kính chúc quý **Thầy Cô Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM** và **Thầy Trịnh Xuân Dũng** được dồi dào sức khỏe, đạt được nhiều thành công trong cuộc sống và luôn giữ vững ngọn lửa đam mê của mình trong việc truyền đạt kiến thức cho thế hệ mai sau.

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6 năm 2016

LÊ HOÀNG ANH

TÓM TẮT

Trong luận án này, một hệ thống Radar tầm ngắn được xây dựng có khả năng xác định vận tốc (Doppler mode) và khoảng cách (Ranging mode) của vật thể chuyển động trong tầm hoạt động của Radar. Ngoài ra, hệ thống Radar còn có khả năng tái hiện hình ảnh vật chấn phía trước Radar (SAR mode).

Luận án này tập trung vào việc thiết kế một hệ thống Radar bao gồm các khối chính: khối phát tín hiệu, khối thu tín hiệu, khối xử lý tín hiệu và hiển thị. Trong đó, khối phát tín hiệu bao gồm: bộ điều chế xung tam giác (Modulator), bộ phát sóng cao tần điều khiển bằng điện áp (VCO), bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier), bộ chia công suất (Splitter) và anten phát (Horn Antenna - Circular Wave Guide); khối thu tín hiệu bao gồm: anten thu (Horn Antenna - Circular Wave Guide), bộ khuếch đại công suất nhiễu thấp (LNA), bộ trộn tần (Mixer), bộ lọc và khuếch đại tín hiệu dây nền (Video Amplifier); khối xử lý tín hiệu và hiển thị được sử dụng là laptop - thiết bị quen thuộc đối với sinh viên.

Hệ thống Radar này được thiết kế và sử dụng ở băng tần ISM - 2.4GHz và được kết nối với máy tính thông qua đầu thu *microphone* để xử lý dữ liệu trên phần mềm MATLAB. Đặc biệt, Radar được thiết kế có khả năng xử lý dữ liệu realtime trong việc xác định khoảng cách và vận tốc vật thể thông qua việc sử dụng *DAQ toolbox* trong MATLAB, từ đó nâng cao tính ứng dụng của Radar trong thực tế.

Mục lục

Nhiệm vụ luận văn	ii
Phiếu chấm điểm bảo vệ LVTN dành cho GVHD	iii
Phiếu chấm điểm bảo vệ LVTN dành cho GVPB	iv
Lời cảm ơn	v
Tóm tắt luận văn	vi
Mục lục	vi
Danh sách hình vẽ	x
Danh sách bảng	xiv
Danh mục từ viết tắt	xv
1 Mở đầu	1
1.1 Mục đích	1
1.2 Mục tiêu nghiên cứu	1
1.3 Phạm vi nghiên cứu và đối tượng nghiên cứu	1
1.3.1 Phạm vi nghiên cứu	1
1.3.2 Đối tượng nghiên cứu	2
1.4 Phương pháp nghiên cứu	2
1.5 Các đóng góp chính	2
1.6 Cấu trúc luận văn	2
2 Giới thiệu tổng quan về các hệ thống Radar	3
2.1 Tổng quan về Radar	3
2.1.1 Lịch sử ra đời và phát triển của Radar	4
2.1.2 Nguyên lý cơ bản của Radar	5
2.2 Các thành phần cơ bản của Radar	6
2.2.1 Anten	7
2.2.1.1 Anten loa (Horn Antenna)	7

2.2.1.2	Anten chảo parabol (Parabol Antenna)	9
2.2.2	Duplexer	10
2.2.3	Bộ trộn tần (Mixer)	11
2.2.4	Bộ tạo dao động (Oscillator)	12
2.2.5	Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier)	13
2.2.6	Bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)	13
2.2.7	Bộ phát radar	13
2.2.8	Bộ thu radar	14
2.3	Phương trình Radar	15
2.3.1	Phương trình Friss	15
2.3.2	Diện tích phản xạ (Radar Cross Section - RCS)	15
2.3.3	Phương trình radar	16
2.3.4	Tầm hoạt động của radar	18
2.4	Các loại Radar phổ biến	19
2.4.1	CW Radar	19
2.4.2	FMCW Radar	20
2.4.3	Synthetic Aperture Radar	21
2.4.4	Simple Pulse Radar	22
2.4.5	Moving - Target Indication (MTI) Radar	23
2.4.6	Pulse Doppler Radar	23
2.4.7	Radar sử dụng mảng anten (Phased - Array Radar)	24
2.5	Các dãy tần số hoạt động của Radar	26
2.6	Ứng dụng của Radar	28
2.6.1	Ứng dụng trong quân sự	28
2.6.2	Viễn thám môi trường	28
2.6.3	Điều khiển không lưu	28
2.6.4	Ứng dụng khác	28
2.7	Kết luận chương	29
3	Phân tích đề tài	30
3.1	Mục đích và yêu cầu thiết kế	30
3.1.1	Mục đích thiết kế	30
3.1.2	Yêu cầu thiết kế	30
3.2	Các loại Radar được sử dụng	31
3.2.1	Continuous Wave (CW) Radar	31
3.2.1.1	Cấu trúc của một hệ thống CW Radar	32
3.2.1.2	Hiệu ứng Doppler	32
3.2.1.3	CW Doppler Radar	32
3.2.1.4	Xử lý dữ liệu đối với hệ thống CW radar	37
3.2.1.5	Tầm hoạt động của hệ thống CW Radar	38
3.2.2	Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar	38

3.2.2.1	Cấu trúc của một hệ thống FMCW Radar	39
3.2.2.2	FMCW Radar	41
3.2.2.3	Xử lý dữ liệu đối với hệ thống FMCW	47
3.2.2.4	Tầm hoạt động và độ phân giải của hệ thống FMCW Radar	47
3.3	Kết luận chương	47
4	Thiết kế khối phần cứng của hệ thống Radar	48
4.1	Mô tả chung	48
4.2	Sơ đồ khối của hệ thống radar	48
4.2.1	Hệ thống CW radar	48
4.2.2	Hệ thống FMCW radar	49
4.3	Lựa chọn linh kiện, tính toán và mô phỏng	50
4.3.1	Anten	50
4.3.1.1	Phân tích	51
4.3.1.2	Mô phỏng	52
4.3.2	Video Amplifier	55
4.3.2.1	Phân tích	56
4.3.2.2	Mô phỏng	63
4.3.3	Modulator	63
4.3.3.1	Phân tích	65
4.4	Thiết kế, đo đặc và kiểm tra	66
4.4.1	Anten	66
4.4.1.1	Thông số S_{11} (Return Loss)	66
4.4.1.2	Đồ thị bức xạ (Radiation Pattern)	70
4.4.1.3	Hệ số cách ly (Isolation)	77
4.4.2	VCO (Voltage Controlled Oscillator)	77
4.4.3	Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier) và bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)	80
4.4.4	Bộ chia công suất (Splitter)	82
4.4.5	Bộ trộn tần (Mixer)	83
4.4.6	Bộ điều chế (Modulator) và bộ khuếch đại điện áp (Video Amplifier)	85
4.4.6.1	Modulator	87
4.4.6.2	Video amplifier	89
4.4.7	Hệ thống Radar hoàn chỉnh	90
4.5	Kết luận chương	91
5	Hệ thống xử lý tín hiệu Radar và phân tích kết quả thử nghiệm	92
5.1	CW Radar	92
5.1.1	Giải thuật Matlab	92
5.1.2	Cấu hình hệ thống	93
5.1.3	Chạy thử nghiệm và phân tích kết quả	95

5.2 FMCW Radar	100
5.2.1 Giải thuật Matlab	100
5.2.2 Cấu hình hệ thống	102
5.2.3 Chạy thử nghiệm và phân tích kết quả	103
5.2.3.1 Dùng bộ lọc thông cao để loại bỏ <i>Coupling</i>	107
5.2.3.2 Giải thuật CCD - Coherent Change Detection - loại bỏ tín hiệu tĩnh	112
5.3 Kết luận chương	113
6 Kết luận và hướng phát triển	115
6.1 Những đóng góp của luận án	115
6.2 Hướng phát triển	115
Tài liệu tham khảo	117

Danh sách hình vẽ

2.1	Hệ thống Radar cơ bản	6
2.2	Hệ thống Radar với Duplexer	6
2.3	Sơ đồ khối của một hệ thống Radar đơn giản	7
2.4	Dịnh nghĩa về độ lợi của anten	8
2.5	Các dạng cấu hình cơ bản của anten horn	8
2.6	Đồ thị bức xạ 3D của một anten horn	9
2.7	Anten parabol	9
2.8	Đồ thị bức xạ của anten parabol	10
2.9	Sơ đồ khối của bộ circulator	11
2.10	Sơ đồ khối của bộ mixer	11
2.11	Cách thức chuyển tần lên và xuống của mixer	12
2.12	Mô hình bộ phát tín hiệu radar cơ bản	14
2.13	Mô hình bộ thu tín hiệu radar cơ bản	14
2.14	Mô hình truyền sóng trong không gian tự do	15
2.15	Đặc tính tán xạ của vật thể trong truyền và nhận sóng radar	16
2.16	Mô hình truyền sóng radar cơ bản	17
2.17	Mô hình CW radar	20
2.18	Sóng điều chế dùng trong FMCW Radar	20
2.19	Mô hình Synthetic Aperture Radar	21
2.20	Dạng xung phát ra từ Pulse Radar	23
2.21	Mô hình radar phát xung và độ phân giải tương ứng với độ rộng xung	23
2.22	Tín hiệu nhận về từ MIT radar đối với vật thể chuyển động và không chuyển động	24
2.23	Hệ thống mảng anten	25
2.24	Hệ thống radar sử dụng mảng anten	25
3.1	Sơ đồ khối hệ thống CW Radar điển hình	31
3.2	Hệ thống CW Radar và hiệu ứng Doppler	33
3.3	Sự trễ pha của tín hiệu thu đối với tín hiệu phát	34
3.4	Vận tốc tương đối và vận tốc thực tế của vật thể chuyển động so với radar	35
3.5	Hệ thống CW radar sử dụng bộ dịch pha 90^0	36
3.6	Các dạng điều chế trong hệ thống FMCW radar	40
3.7	Sơ đồ khối hệ thống FMCW radar đơn giản	40

3.8	Điều chế xung tam giác và dạng sóng ngõ ra tương ứng	41
3.9	Trường hợp vật thể không chuyển động	42
3.10	Trường hợp vật thể chuyển động lại gần radar với $f_d < f_b$	43
3.11	Trường hợp vật thể chuyển động ra xa radar với $f_d < f_b$	43
3.12	Trường hợp vật thể chuyển động lại gần radar với $f_d > f_b$	45
3.13	Trường hợp vật thể chuyển động ra xa radar với $f_d > f_b$	45
4.1	Sơ đồ khối ở chế độ CW radar	49
4.2	Sơ đồ khối ở chế độ FMCW radar	49
4.3	Hình dạng của một cantenna	51
4.4	Hình dạng 3D của cantenna mô phỏng trong CST	52
4.5	Mặt trước của cantenna	53
4.6	Mặt trên của cantenna	53
4.7	Kết quả mô phỏng - Hệ số S_{11}	54
4.8	Kết quả mô phỏng - Đồ thị bức xạ 3D	54
4.9	Schematic của mạch Video Amplifier	55
4.10	Sơ đồ bộ lọc thông thấp bậc 2 cơ bản	56
4.11	Sơ đồ mạch thông thấp Sallen Key (Unity Gain)	57
4.12	Sơ đồ mạch Sallen Key dạng tổng quát	58
4.13	Sơ đồ khối mạch Sallen Key dạng tổng quát	59
4.14	Mạch lọc thông thấp Sallen Key	60
4.15	Mạch lọc thông thấp Sallen Key với điện trở hiệu chỉnh độ lợi	62
4.16	Biến đổi Thevenin	62
4.17	Mạch Sallen Key sau khi biến đổi Thevenin	62
4.18	Sơ đồ mô phỏng mạch LPF Sallen-Key trong proteus	64
4.19	Dáp ứng tần số của bộ lọc LPF Sallen-Key	64
4.20	Sơ đồ mạch Ramp Generator mô tả trong datasheet XR2206	65
4.21	Sơ đồ nguyên lý của mạch Modulator	66
4.22	Cantenna 1	66
4.23	Cantenna 2	67
4.24	Sơ đồ kết nối để đo S_{11} sử dụng VNA	67
4.25	Hệ số S_{11} của anten monopole	68
4.26	Hệ số S_{11} của cantenna 1	68
4.27	Hệ số S_{11} của cantenna 2	69
4.28	Thiết lập kênh truyền cho hai anten mẫu	71
4.29	Thiết lập kênh truyền cho hai anten mẫu trên thực tế	71
4.30	Thay thế anten mẫu bằng cantenna	72
4.31	Thay thế anten mẫu bằng cantenna trên thực tế	72
4.32	Đồ thị bức xạ của cantenna 1 - Phân cực ngang	73
4.33	Đồ thị bức xạ của cantenna 1 - Phân cực dọc	74
4.34	Đồ thị bức xạ của cantenna 2 - Phân cực ngang	75

4.35	Đồ thị bức xạ của cantenna 2 - Phân cực dọc	76
4.36	Kiểm tra thông số cách ly (isolation) bằng VNA	77
4.37	Bộ VCO	78
4.38	Quan hệ giữa tần số tổng hợp và giá trị điện áp Vtune	79
4.39	Bộ khuếch đại công suất	80
4.40	Bộ khuếch đại nhiễu thấp	80
4.41	Dộ lợi theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+	81
4.42	Công suất ngõ ra tại điểm gãy 1dB theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+	81
4.43	Hệ số Noise Figure theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+	82
4.44	Bộ chia công suất	82
4.45	Tổng suy hao ở hai port theo tần số của bộ Splitter ZX10-2-42+	83
4.46	Bộ trộn tần	83
4.47	Suy hao trong quá trình chuyển đổi theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+	84
4.48	Hệ số cách ly LO-RF theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+	84
4.49	Hệ số cách ly LO-IF theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+	85
4.50	Schematic của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium	86
4.51	Layout của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium	86
4.52	Mô hình 3D của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium	87
4.53	Hình ảnh thực tế bộ Modulator và Video Amplifier	87
4.54	Dạng sóng tam giác tạo ra từ bộ Modulator	88
4.55	Dạng sóng xung vuông tạo ra từ bộ Modulator	88
4.56	Hình ảnh tổng hợp xung tam giác và xung vuông với cùng độ rộng xung	88
4.57	Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 10 KHz	89
4.58	Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 15 KHz	89
4.59	Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 22 KHz	89
4.60	Đáp ứng tần số thực tế của mạch Video Amplifier	90
4.61	Hệ thống radar hoàn chỉnh với các mức công suất cụ thể	90
4.62	Hệ thống Radar hoàn chỉnh	91
5.1	Sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu đối với hệ thống CW Radar	93
5.2	Thiết lập hệ thống radar xác định vận tốc vật thể	94
5.3	Thu thập dữ liệu về vận tốc của vật thể (xe máy)	94
5.4	Giao diện GUI được thiết kế xử lý dữ liệu vận tốc thời gian thực	95
5.5	Giao diện GUI xác định vận tốc 10 km/h	96
5.6	Đồ thị Doppler xác định vận tốc 10 km/h trong 25 s	96
5.7	Giao diện GUI xác định vận tốc 20 km/h	97
5.8	Đồ thị Doppler xác định vận tốc 20 km/h trong 25 s	97
5.9	Giao diện GUI xác định vận tốc 30 km/h	98
5.10	Đồ thị Doppler xác định vận tốc 30 km/h trong 25 s	98
5.11	Giao diện GUI xác định vận tốc 40 km/h	99
5.12	Đồ thị Doppler xác định vận tốc 40 km/h trong 25 s	99

5.13	Sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu đối với hệ thống FMCW Radar	101
5.14	Thiết lập hệ thống radar xác định khoảng cách vật thể	102
5.15	Vật thể dùng để xác định khoảng cách	102
5.16	Giao diện GUI được thiết kế xử lý dữ liệu khoảng cách thời gian thực	103
5.17	Giao diện GUI xác định khoảng cách 2m	104
5.18	Vật thể đặt tại khoảng cách 2m	104
5.19	Giao diện GUI xác định khoảng cách 4m	105
5.20	Vật thể đặt tại khoảng cách 4m	105
5.21	Giao diện GUI xác định khoảng cách 6m	106
5.22	Vật thể đặt tại khoảng cách 6m	106
5.23	Bộ lọc FIR thiết kế trên công cụ FDA toolbox của Matlab ($f_c = 200Hz$)	107
5.24	Vật thể đặt tại khoảng cách 2m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)	108
5.25	Vật thể đặt tại khoảng cách 4m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)	109
5.26	Vật thể đặt tại khoảng cách 6m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)	109
5.27	Bộ lọc FIR thiết kế trên công cụ FDA toolbox của Matlab ($f_c = 350Hz$)	110
5.28	Vật thể đặt tại khoảng cách 4m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 350Hz$)	110
5.29	Vật thể đặt tại khoảng cách 6m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 30Hz$)	111
5.30	Sơ đồ xử lý dữ liệu với giải thuật Coherent Change Detection	112
5.31	Hình ảnh thu nhận từ vật thể chuyển động khi chưa sử dụng giải thuật CCD . .	113
5.32	Hình ảnh thu nhận từ vật thể chuyển động khi sử dụng giải thuật CCD	113

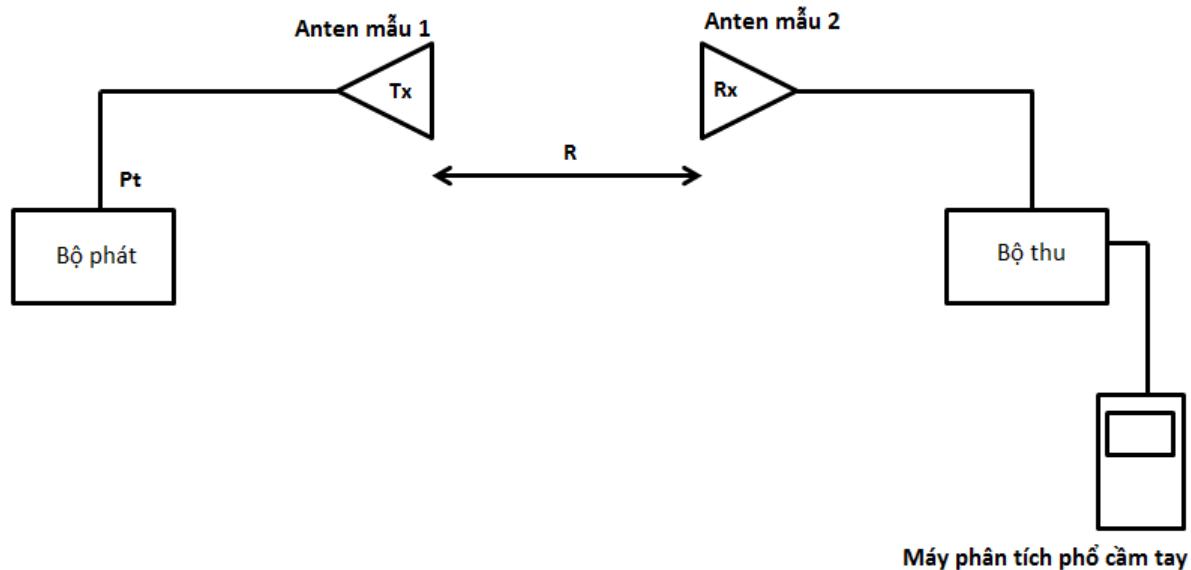
Danh sách bảng

2.1	RCS của một số vật thể điển hình	16
2.2	Ví dụ về tính toán phương trình Radar	18
2.3	Mối liên hệ giữa PRF và khả năng làm việc của radar phát xung	22
2.4	Các dãy tần số hoạt động của radar theo chuẩn IEEE	26
3.1	Phân tích kết quả ngõ ra từ 2 kênh I và Q	37
3.2	Bảng phân tích kết quả đối với trường hợp vật thể chuyển động - Low Doppler .	42
3.3	Bảng phân tích kết quả đối với trường hợp vật thể chuyển động - High Doppler	44
3.4	Bảng phân tích ảnh hưởng của vận tốc vật thể đối với phép đo khoảng cách .	46
4.1	Danh sách các module cần thiết cho hệ thống radar	50
4.2	Danh sách các thông số thiết kế cantenna	52
4.3	Danh sách các thông số thiết kế cantenna	63
4.4	Danh sách các thông số thiết kế cantenna	69
4.5	Bảng tính toán giá trị công suất nhận theo phương trình Friss	71
4.6	Các giá trị tham chiếu	71
4.7	Độ lợi của cantenna 1 (Phân cực ngang)	73
4.8	Độ lợi của cantenna 1 (Phân cực dọc)	74
4.9	Độ lợi của cantenna 2 (Phân cực ngang)	75
4.10	Độ lợi của cantenna 2 (Phân cực dọc)	76
4.11	Độ cách ly giữa hai anten	77
4.12	Các thông số đầu vào cung cấp cho VCO	78
4.13	Giá trị đo được từ VCO	79
4.14	Quan hệ giữa điện áp Vtune và tần số ngõ ra bộ VCO	79
4.15	Độ lợi đo được từ các bộ LNA ZX60-272LN+	81
4.16	Độ lợi suy hao đo được từ các port của bộ Splitter ZX10-2-42+	83
4.17	Công suất tín hiệu tại ngõ ra bộ Mixer ZX05-43MH+	85
5.1	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 10 km/h	96
5.2	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 20 km/h	97
5.3	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 30 km/h	98
5.4	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 40 km/h	99
5.5	Tổng hợp số liệu kết quả đo ở các khoảng cách khác nhau	111

Danh mục từ viết tắt

BTS	Base Transceiver Station
BW	Band Width
BWC	British War Council
CCD	Coherent Change Detection
CF	Continuous Frequency
CL	Conversion Loss
CW	Continuous Wave
DAQ	Data Acquisition Toolbox
DFT	Discrete Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FM	Frequency Modulation
FNBW	First Null Beam Width
GND	Ground
GUI	Graphical User Interface
HF	High Frequency
HPBW	Half Power Beam Width
IF	Intermediate Frequency
IL	Insertion Loss
INF	Input Noise Figure

ISAR	Inverse Synthetic Aperture Radar
ISM	International Safety Management
ITU	International Telecommunication Union
LNA	Low Noise Amplifier
LO	Local Oscillator
MTI	Moving - Target Indication
NF	Noise Figure
PA	Power Amplifier
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRP	Pulse Repetition Period
PW	Pulse Width
RADAR	Radio Detection and Ranging
RCS	Radar Cross Section
RF	Radio Frequency
SAR	Synthetic Aperture Radar
SNR	Signal to Noise Ratio
UHF	Ultra High Frequency
VCO	Voltage Controlled Oscillator
VCXO	Voltage Controlled Crystal Oscillator
VHF	Very High Frequency
VNA	Vector Network Analyzer
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio



Hình 4.28: Thiết lập kênh truyền cho hai anten mẫu



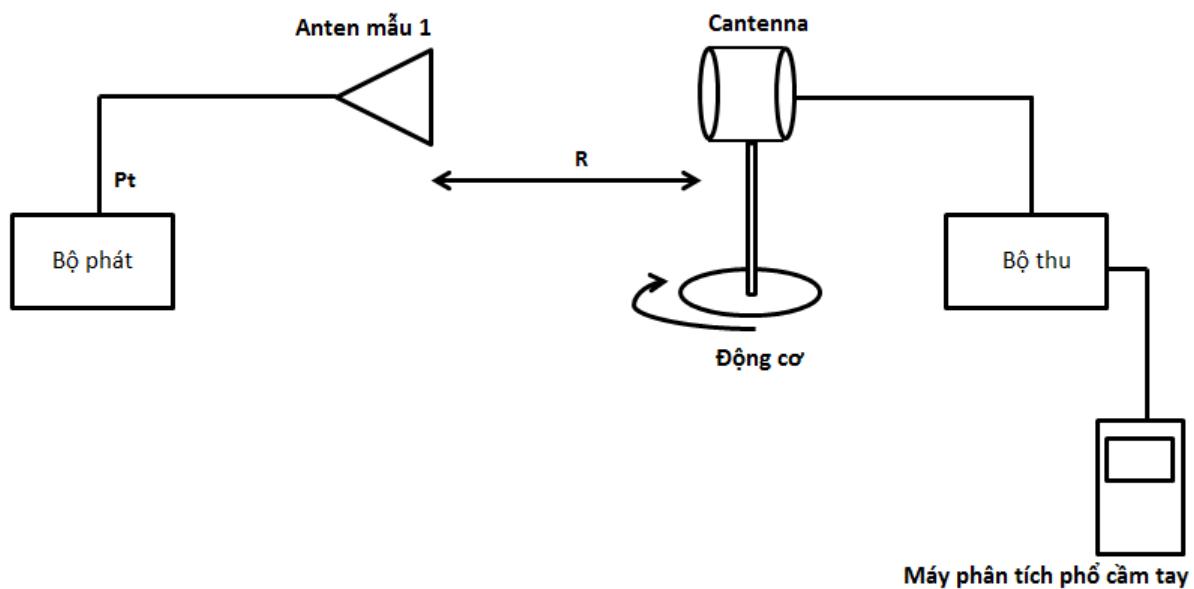
Hình 4.29: Thiết lập kênh truyền cho hai anten mẫu trên thực tế

Freq [GHz]	λ [m]	P_t [dBm]	G_t [dB]	G_r [dB]	R [m]	P_r [dBm] (Ước lượng)
2.4	0.125	12	8.25	8.25	3.8	-23.142

Bảng 4.5: Bảng tính toán giá trị công suất nhận theo phương trình Friss

Công suất thu [dBm](phân cực ngang)	Công suất thu [dBm] (phân cực dọc)	Độ lợi [dBi]
-24.8	-24.8	8.25

Bảng 4.6: Các giá trị tham chiếu



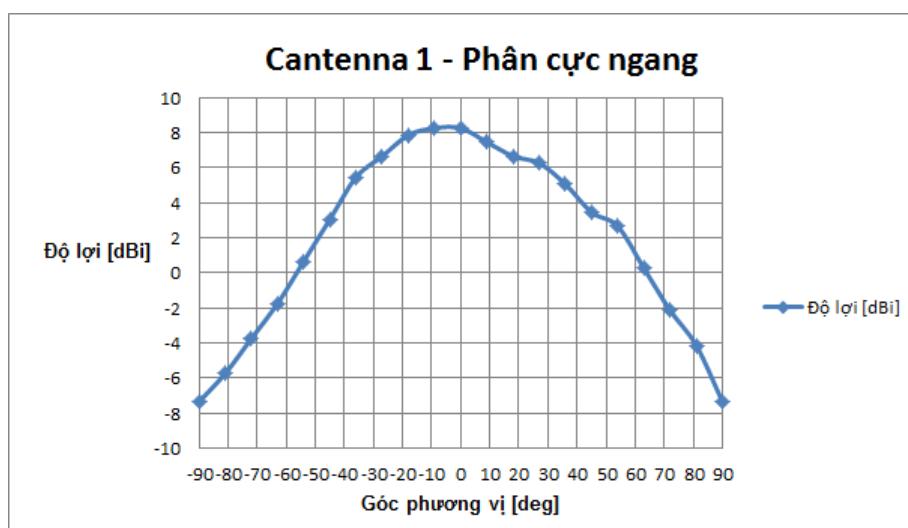
Hình 4.30: Thay thế anten mẫu bằng cantenna



Hình 4.31: Thay thế anten mẫu bằng cantenna trên thực tế

Cantenna 1		
Phân cực ngang		
Góc phương vị [degree]	Pr [dBm]	Độ lợi [dBi]
90	-40.4	-7.35
81	-37.2	-4.15
72	-35.2	-2.15
63	-32.8	0.25
54	-30.4	2.65
45	-29.6	3.45
36	-28	5.05
27	-26.8	6.25
18	-26.4	6.65
9	-25.6	7.45
0	-24.8	8.25
-9	-24.8	8.25
-18	-25.2	7.85
-27	-26.4	6.65
-36	-27.6	5.45
-45	-30	3.05
-54	-32.4	0.65
-63	-34.8	-1.75
-72	-36.8	-3.75
-81	-38.8	-5.75
-90	-40.4	-7.35

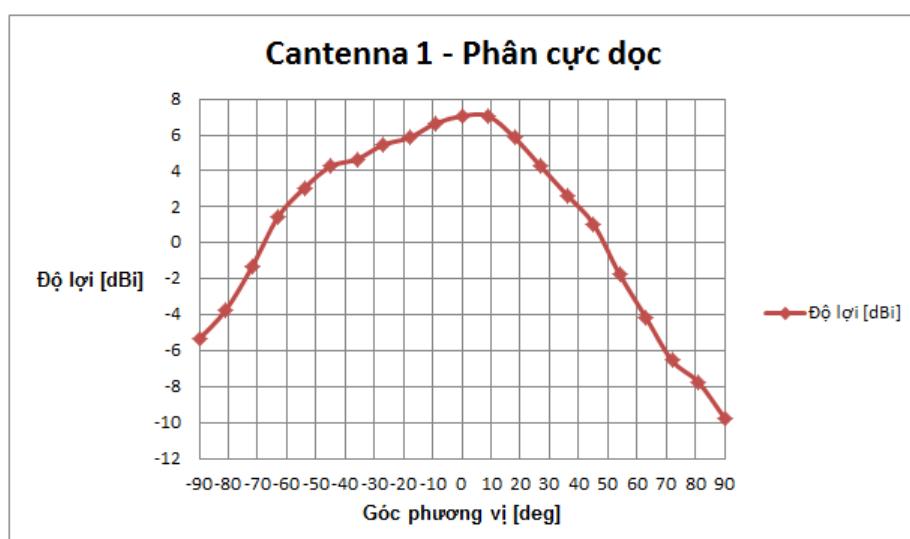
Bảng 4.7: Độ lợi của cantenna 1 (Phân cực ngang)



Hình 4.32: Đồ thị bức xạ của cantenna 1 - Phân cực ngang

Cantenna 1		
Phân cực dọc		
Góc phương vị [degree]	Pr [dBm]	Độ lợi [dBi]
90	-42.8	-8.75
81	-40.8	-6.75
72	-39.6	-5.55
63	-37.2	-3.15
54	-34.8	-0.75
45	-32	2.05
36	-30.4	3.65
27	-28.8	5.25
18	-27.2	6.85
9	-26	8.05
0	-26	8.05
-9	-26.4	7.65
-18	-27.2	6.85
-27	-27.6	6.45
-36	-28.4	5.65
-45	-28.8	5.25
-54	-30	4.05
-63	-31.6	2.45
-72	-34.4	-0.35
-81	-36.8	-2.75
-90	-38.4	-4.35

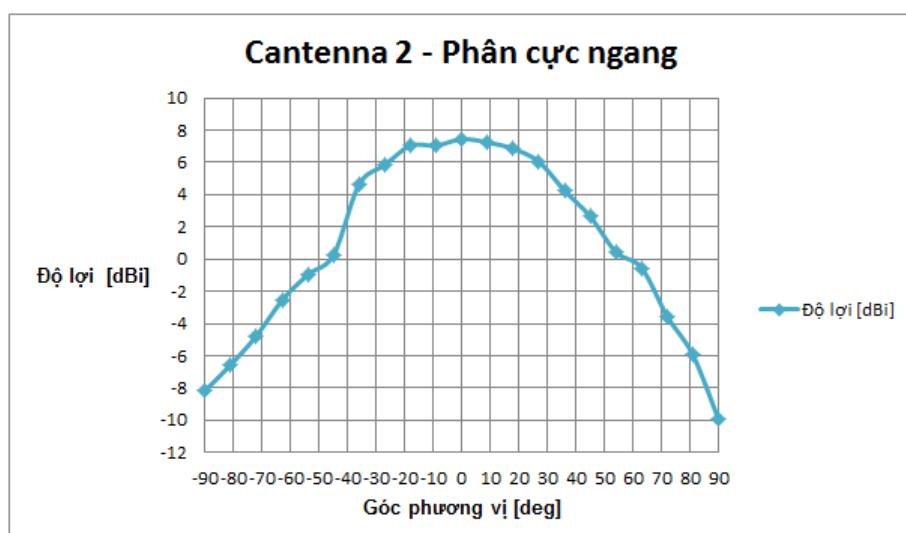
Bảng 4.8: Độ lợi của cantenna 1 (Phân cực dọc)



Hình 4.33: Đồ thị bức xạ của cantenna 1 - Phân cực dọc

Cantenna 2		
Phân cực ngang		
Góc phương vị [degree]	Pr [dBm]	Độ lợi [dBi]
90	-43	-9.95
81	-39	-5.95
72	-36.6	-3.55
63	-33.6	-0.55
54	-32.6	0.45
45	-30.4	2.65
36	-28.8	4.25
27	-27	6.05
18	-26.2	6.85
9	-25.8	7.25
0	-25.6	7.45
-9	-26	7.05
-18	-26	7.05
-27	-27.2	5.85
-36	-28.4	4.65
-45	-32.8	0.25
-54	-34	-0.95
-63	-35.6	-2.55
-72	-37.8	-4.75
-81	-39.6	-6.55
-90	-41.2	-8.15

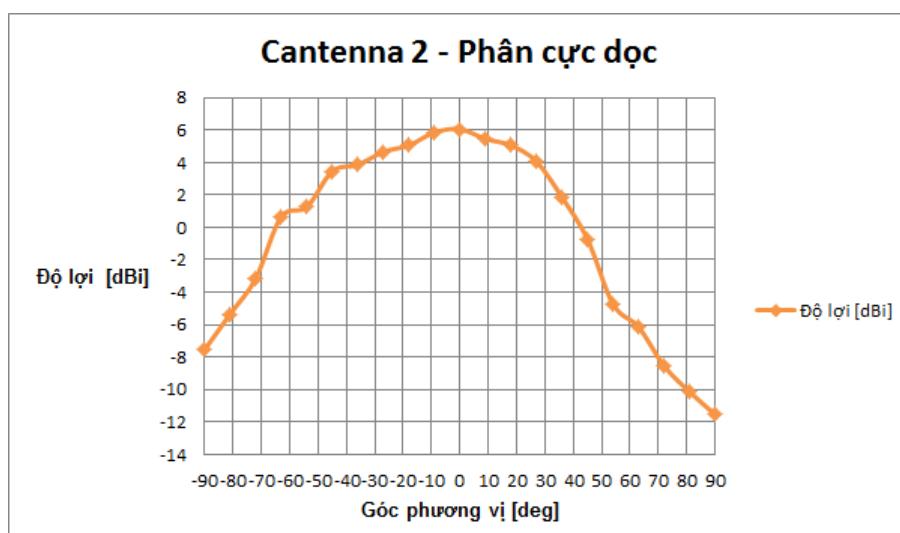
Bảng 4.9: Độ lợi của cantenna 2 (Phân cực ngang)



Hình 4.34: Đồ thị bức xạ của cantenna 2 - Phân cực ngang

Cantenna 2		
Phân cực dọc		
Góc phương vị [degree]	Pr [dBm]	Độ lợi [dBi]
90	-44.6	-11.55
81	-43.2	-10.15
72	-41.6	-8.55
63	-39.2	-6.15
54	-37.8	-4.75
45	-33.8	-0.75
36	-31.2	1.85
27	-29	4.05
18	-28	5.05
9	-27.6	5.45
0	-27	6.05
-9	-27.2	5.85
-18	-28	5.05
-27	-28.4	4.65
-36	-29.2	3.85
-45	-29.6	3.45
-54	-31.8	1.25
-63	-32.4	0.65
-72	-36.2	-3.15
-81	-38.4	-5.35
-90	-40.6	-7.55

Bảng 4.10: Độ lợi của cantenna 2 (Phân cực dọc)



Hình 4.35: Đồ thị bức xạ của cantenna 2 - Phân cực dọc

4.4.1.3 Hệ số cách ly (Isolation)

Một thông số quan trọng đối với hệ thống anten trên là độ cách ly (isolation). Độ cách ly giữa hai anten được hiểu là mức độ rò rỉ tín hiệu giữa hai anten khi chúng được đặt cạnh nhau trong quá trình thu và phát.

Hình 4.36 mô tả cách thiết lập hai anten kết nối với máy VNA để kiểm tra độ cách ly giữa hai anten.



Hình 4.36: Kiểm tra thông số cách ly (isolation) bằng VNA

Với thiết lập trên, hai thông số ta cần quan sát trên máy VNA đó là S_{21} và S_{12} , trong đó S_{12} thể hiện mức tín hiệu từ cantenna 1 truyền sang cantenna 2 khi port 1 được kích tín hiệu, tương tự với S_{21} thể hiện mức tín hiệu từ cantenna 2 truyền sang cantenna 1 khi port 2 được kích tín hiệu. Như vậy, giá trị của hai thông số trên càng thấp độ cách lý sẽ càng cao, thông thường hai thông số trên sẽ có giá trị xấp xỉ nhau.

Khoảng cách	Hệ số cách ly: Anten thu (S_{12})	Hệ số cách ly: Anten phát (S_{21})
1 [inches]	-25 [dBm]	-25 [dBm]
2 [inches]	-29 [dBm]	-29 [dBm]
3 [inches]	-33 [dBm]	-33 [dBm]
4 [inches]	-35 [dBm]	-35 [dBm]
5 [inches]	-37 [dBm]	-37 [dBm]
6 [inches]	-40 [dBm]	-40 [dBm]

Bảng 4.11: Độ cách ly giữa hai anten

4.4.2 VCO (Voltage Controlled Oscillator)

VCO là một bộ dao động và tổng hợp tần số được điều khiển bằng điện áp DC. Tần số dao động và mức công suất ngõ ra phụ thuộc vào sự thay đổi của điện áp DC cung cấp cũng như



Hình 4.37: Bộ VCO

sự thay đổi tải của toàn hệ thống. Thông thường VCO hoạt động dưới nguồn cấp 5V DC và yêu cầu một đầu vào điều chỉnh điện áp (tuning - voltage) để tổng hợp tần số mong muốn.

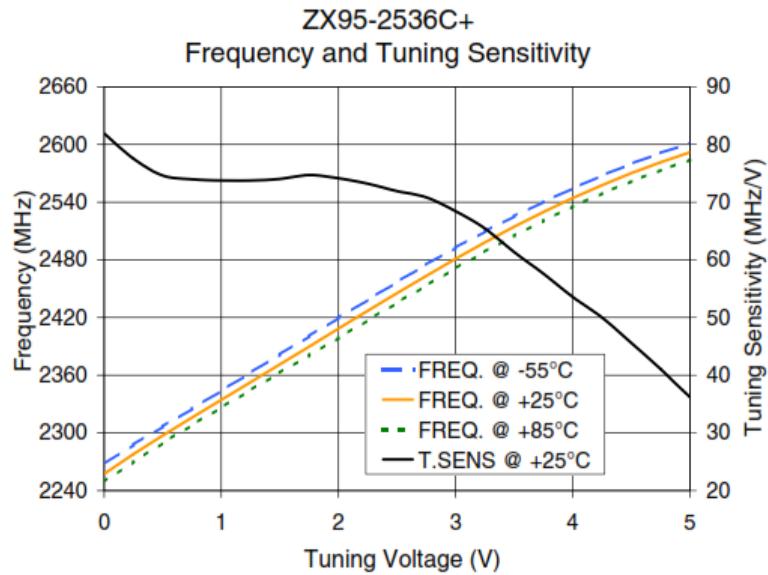
VCO được chọn để thiết kế hệ thống radar này là ZX95-2536C+ - sản phẩm từ nhà cung cấp Mini-Circuits. VCO này hoạt động ở mức điện áp 5V DC, dòng vào tối đa là 45 mA và có khả năng hoạt động trong dãy tần từ 2315 đến 2536 MHz. Giá trị điện áp Vtune (tuning-voltage) được phép cung cấp nằm trong khoảng $0.5 \div 5$ VDC với mức công suất ngõ ra thông thường là +6dBm.

Hình 4.38 cho thấy mức điện áp Vtune và tần số được tổng hợp ở ngõ ra bộ VCO có mối quan hệ gần như tuyến tính. Giá trị độ nhạy của mức điện áp Vtune này trong khoảng từ 55 - 77 MHz/V, nghĩa là ứng với sự thay đổi 1V DC giá trị điện áp Vtune thì tần số được tổng hợp sẽ thay đổi trong khoảng từ 55 - 77 MHz.

VCO được kiểm tra và đo đạc các thông số sử dụng máy phân tích phổ với các thông số đầu vào được trình bày ở bảng 4.12. Giá trị công suất ngõ ra của bộ VCO ở 2.4 GHz đo được ở mức 3.89 dBm tại giá trị Vtune 2.026 VDC (Bảng 4.13). Giá trị ánh xạ giữa điện áp đầu vào Vtune và tần số ngõ ra của bộ VCO được trình bày ở bảng 4.14.

Thông số đầu vào	Giá trị
Điện áp cung cấp [V]	5
Dòng điện cung cấp (tối đa) [mA]	45
Khoảng điện áp Vtune [V]	$0 \div 5$
Trở kháng đầu vào [ohm]	50

Bảng 4.12: Các thông số đầu vào cung cấp cho VCO



Hình 4.38: Quan hệ giữa tần số tổng hợp và giá trị điện áp Vtune

Thông số	Giá trị ước lượng	Giá trị đo thực tế	Sai số (%)
Vtune [VDC]	2	2.026	13
Công suất ngõ ra [dBm]	5.58	3.89	30.3
Tần số ngõ ra [MHz]	2400	2400	

Bảng 4.13: Giá trị đo được từ VCO

Vtune [VDC]	Tần số ngõ ra [MHz]
0.502	2283
2.026	2400
4.82	2574
Băng thông [MHz]	291

Bảng 4.14: Quan hệ giữa điện áp Vtune và tần số ngõ ra bộ VCO

4.4.3 Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier) và bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)

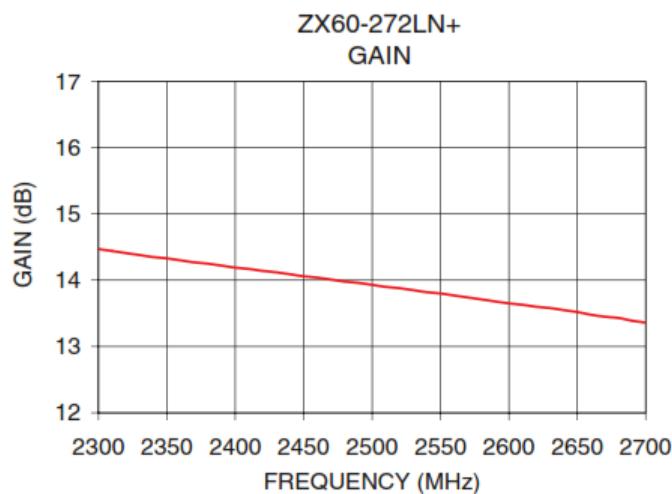
Trong phần thiết kế này bộ khuếch đại công suất nhiễu thấp (LNA) được sử dụng cho cả phía thu và phát. Bộ khuếch đại được chọn đó là ZX60-272LN+ (một sản phẩm từ nhà cung cấp Mini-Circuits) với hệ số NF = 0.8 dB (Noise Figure) có khả năng đạt được công suất ngõ ra tối đa là 18.5 dBm với độ lợi khoảng 14.19 dB tại tần số 2.4 GHz và hoạt động ở dãy tần số $2300 \div 2700$ [MHz].



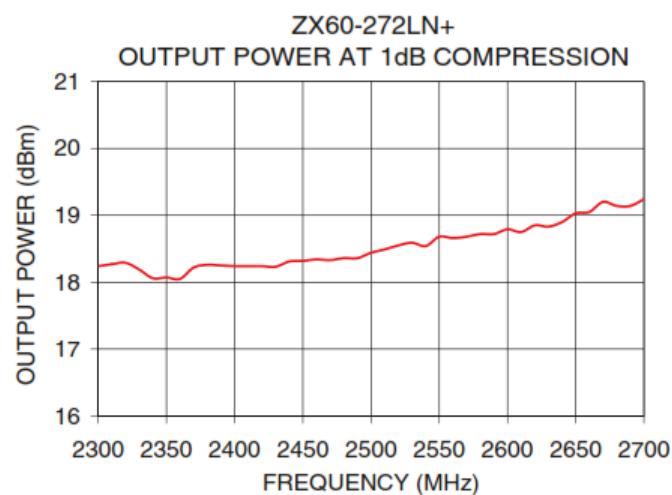
Hình 4.39: Bộ khuếch đại công suất



Hình 4.40: Bộ khuếch đại nhiễu thấp



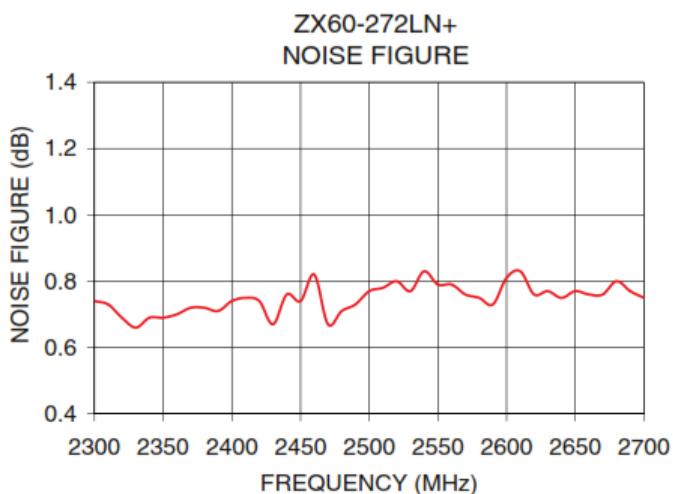
Hình 4.41: Độ lợi theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+



Hình 4.42: Công suất ngõ ra tại điểm gãy 1dB theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+

Bộ khuếch đại	Độ lợi ước lượng [dB]	Độ lợi thực tế [dB]	Sai số (%)
LNA 1 (Bộ phát)	14	13	7.1
LNA 2 (Bộ thu)	14	12.6	10

Bảng 4.15: Độ lợi đo được từ các bộ LNA ZX60-272LN+



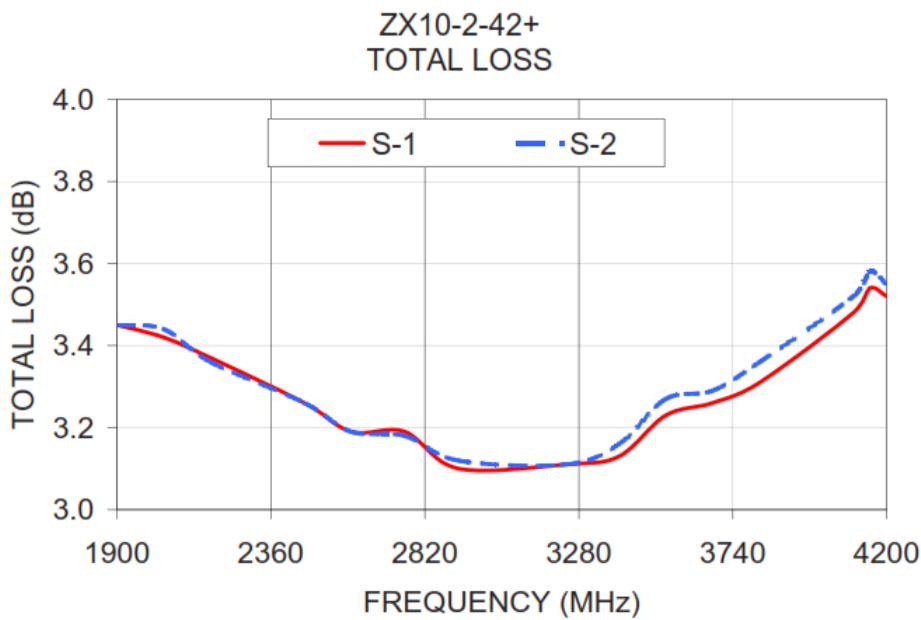
Hình 4.43: Hệ số Noise Figure theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+

4.4.4 Bộ chia công suất (Splitter)

Bộ chia công suất (Splitter) được sử dụng trong thiết kế này là ZX10-2-42+ (một sản phẩm từ nhà cung cấp Mini-Circuits) với hệ số IL = 0.2 dB (Insertion Loss) và hoạt động ở dãy tần số 1900 ÷ 4200 [MHz]. Mục đích của việc sử dụng bộ chia công suất nhằm chia tín hiệu ở ngõ ra bộ khuếch đại thành hai luồng tín hiệu ở port 1 và port 2. Hệ số cách ly giữa hai port tín hiệu khoảng 23 dB (thông thường) và thấp nhất là 10 dB, đặc biệt ở tần số 2.4 GHz hệ số cách ly là khoảng 17 dB và tổng suy hao ở hai port là khoảng 3.2 dB.



Hình 4.44: Bộ chia công suất



Hình 4.45: Tổng suy hao ở hai port theo tần số của bộ Splitter ZX10-2-42+

Tổng suy hao	Suy hao ước lượng [dB]	Suy hao thực tế [dB]	Sai số (%)
Port 1	3.26	4.23	29.8
Port 2	3.26	4.25	30.4

Bảng 4.16: Độ lợi suy hao đo được từ các port của bộ Splitter ZX10-2-42+

4.4.5 Bộ trộn tần (Mixer)

Bộ trộn tần được sử dụng trong thiết kế này đó là ZX05-43MH+ (một sản phẩm từ nhà cung cấp Mini-Circuits) với hệ số CL = 6.1 dB (Conversion Loss), công suất port LO +13 dBm và hệ số cách ly giữa hai port LO-RF khoảng 35 dB. Bộ trộn tần hoạt động trong dãy tần số 824 ÷ 4200 [MHz], trong đó ở tần số 2.4 GHz hệ số cách ly giữa LO-RF và LO-IF lần lượt là 31.8 và 14.4 dB với hệ số suy hao trong quá trình đổi tần (Conversion Loss) là khoảng 5.12 dB.



Hình 4.46: Bộ trộn tần