

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

Chương 1

Mở đầu

1.1 Mục đích

Xây dựng một hệ thống Radar hoàn chỉnh có khả năng xác định vận tốc và khoảng cách của vật thể trong tầm hoạt động của radar. Ngoài ra, radar còn có khả năng cải tiến để thực hiện việc tái tạo hình ảnh vật chấn phía trước radar.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Luận án tập trung vào việc thiết kế toàn bộ khối phần cứng và giải thuật xử lý dữ liệu cho hệ thống radar để thực hiện các chức năng vừa được đề cập với các yêu cầu đặt ra:

- Radar hoạt động ở dãy tần cho phép của ITU đối với Việt Nam.
- Tầm hoạt động ngắn và chi phí thấp.

1.3 Phạm vi nghiên cứu và đối tượng nghiên cứu

1.3.1 Phạm vi nghiên cứu

Phần cứng: Các kiến thức liên quan đến anten và truyền sóng để thiết kế anten, kỹ năng thiết kế phần cứng (tần số thấp) để thiết kế các *module* cần thiết hỗ trợ cho hệ thống và các kiến thức liên quan về lĩnh vực siêu cao tần để tiến hành đo kiểm cũng như xây dựng toàn bộ hệ thống radar hoàn chỉnh.

Phần mềm: Nắm rõ về lý thuyết radar từ đó đưa ra những phương trình toán phù hợp, hiểu rõ các phương pháp xử lý tín hiệu số nhằm lựa chọn phương pháp xử lý tối ưu để xử lý dữ liệu cho hệ thống, kỹ năng lập trình MATLAB với các công cụ hỗ trợ và thiết kế giao diện GUI từ đó thiết kế giải thuật xử lý dữ liệu thời gian thực cho hệ thống radar.

1.3.2 Đối tượng nghiên cứu

- Các hệ thống radar trên thực tế.
- Nguyên lý và các phương pháp xử lý dữ liệu tương ứng với các loại radar.
- Các phương trình radar liên quan đến đặc tính lan truyền và phản xạ của sóng điện từ trong không gian tự do.
- Các phương trình toán học liên quan đến giải thuật xác định vận tốc và khoảng cách vật thể.
- Các bộ phận chính cấu tạo nên một hệ thống radar hoàn chỉnh.

1.4 Phương pháp nghiên cứu

Xây dựng một hệ thống radar hoàn chỉnh, đo kiểm các thông số cần thiết sau đó thử nghiệm các phép đo trên thực tế và đánh giá sai số của toàn bộ hệ thống.

1.5 Các đóng góp chính

Luận án xây dựng hoàn chỉnh một hệ thống radar với những tính năng được đề cập ở mục 1.1 và đạt những yêu cầu đặt ra ở mục 1.2.

1.6 Cấu trúc luận văn

Cấu trúc của luận án được trình bày bao gồm sáu chương:

Chương *MỞ ĐẦU* trình bày khái quát về mục đích, đối tượng, phạm vi nghiên cứu và các đóng góp chính của luận án này.

Chương *2* trình bày tổng quan về các hệ thống radar trên thực tế với lịch sử hình thành, nguyên lý cơ bản, các bộ phận cơ bản của một hệ thống radar. Ngoài ra, chương *2* còn trình bày về phương trình radar, các dãy tần số hoạt động cũng như ứng dụng của các loại radar.

Chương *3* đi sâu vào việc phân tích mục đích và yêu cầu đối với hệ thống radar cần thiết kể từ đó tham chiếu với các hệ thống radar được trình bày ở chương *2* chọn lựa và đưa ra những phương trình toán phù hợp.

Chương *4* trình bày chi tiết về quá trình thiết kế toàn bộ khối phần cứng cho hệ thống radar bao gồm hệ thống anten, khối thu và phát tín hiệu cao tần, khối điều chế, khối lọc và khuếch đại tín hiệu dãy nền với các bước phân tích, tính toán, mô phỏng và đo kiểm cần thiết.

Chương *5* trình bày chi tiết giải thuật xử lý dữ liệu thời gian thực đối với mỗi phép đo, từ đó tiến hành thử nghiệm trên thực tế và đánh giá sai số.

Cuối cùng, chương *6* là phần kết luận chung về những điều đạt được và chưa đạt được đối với hệ thống radar được thiết kế từ đó đưa ra những hướng phát triển mới cho đề tài luận án này.

Chương 2

Giới thiệu tổng quan về các hệ thống Radar

2.1 Tổng quan về Radar

Thuật ngữ RADAR nguyên là chữ viết tắt của cụm từ "Radio Detection and Ranging" nghĩa là phát hiện và đo khoảng cách bằng sóng vô tuyến điện.

Radar là một thiết bị được phát triển trong quân đội có khả năng thu và phát sóng điện từ giúp phát hiện các vật thể chuyển động hoặc không chuyển động trong tầm hoạt động của nó. Với sự xuất hiện của radar, lần đầu tiên con người đã có khả năng quan sát xa hơn tầm nhìn thẳng của mắt người. Radar còn cho phép nhìn xuyên qua các vật cản như khói, bụi, mây, mưa, tán lá và nhất là tạo khả năng quan trắc trong mọi thời tiết, suốt ngày đêm.

Trong thế chiến thứ II, khái niệm về Radar đã trở nên quen thuộc và được biết đến như một thiết bị thiết yếu sử dụng trong quân đội giúp các bên tham chiến có thể phát hiện các vật thể chuyển động hoặc sự xâm nhập bất hợp pháp từ phía kẻ thù.

Radar là thiết bị không thể thiếu trong việc kiểm soát không lưu hiện nay, đã được nhà khoa học người Scotland - Robert Watson Watt phát minh cách đây gần 100 năm.

Radar thuộc loại phương tiện quan trắc, định vị dựa trên hiện tượng phản xạ của sóng điện từ khi gặp vật cản trên đường truyền sóng.

Cùng với sự phát triển của khoa học và kỹ thuật, radar nhờ đó cũng liên tục được cải tiến và phát triển để phục vụ không chỉ cho mục đích quân sự mà còn cho các mục đích dân sự. Ngày nay, với những tính năng ưu việt, radar vẫn đóng vai trò là một giám sát viên chuyên nghiệp được dùng trên các loại tàu hàng hải, máy bay,... hoặc dùng trong việc dự báo thời tiết, kiểm tra tốc độ của các phương tiện giao thông,... từ đó đi sâu vào phục vụ đời sống con người. Cùng nhìn lại những giai đoạn lịch sử hình thành và phát triển của radar sẽ cho ta có cái nhìn rõ nét hơn về thiết bị này.

2.1.1 Lịch sử ra đời và phát triển của Radar

Những giai đoạn lịch sử của radar từ những khám phá đầu tiên về lý thuyết trường điện từ cho đến rất nhiều thử nghiệm radar trên thực tế kéo dài từ thế kỷ 19 cho đến tận đầu thế kỷ 20 trước khi nó được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ trong và sau thế chiến thứ 2.

Năm 1842, Christian Andreas Doppler công bố phát hiện của mình về sóng âm. Ông nhận thấy rằng khi một nguồn âm di chuyển lại gần một nguồn thu âm đứng yên thì nguồn thu âm đó thu được tín hiệu âm thanh có tần số cao hơn tần số của nguồn và ngược lại khi nguồn âm di chuyển ra xa nguồn thu âm đứng yên thì nguồn thu âm đó thu được tín hiệu âm thanh có tần số thấp hơn tần số của nguồn. Hiện tượng trên cũng được chứng minh đúng với sóng điện từ và còn được gọi là hiệu ứng Doppler. [1]

Năm 1864, các phương trình về lý thuyết điện từ được đưa ra bởi James Clark Maxwell hay còn gọi là phương trình Maxwell. [2]

Năm 1886, những lý thuyết của Maxwell được thử nghiệm trên thực tế và được Heinrich Hertz chứng minh những lý thuyết trên đúng với cả sóng điện từ và sóng ánh sáng. [3]

Năm 1888, Heinrich Hertz chứng minh rằng sóng vô tuyến có thể bị phản xạ khi gặp các vật thể kim loại hoặc các vật liệu điện môi. [3]

Những năm 1900, nhà phát minh Nikola Tesla đã đưa ra ý tưởng về những thiết bị giống radar. [4]

Những thử nghiệm phát hiện vật thể với sóng vô tuyến (radio wave) đầu tiên được thực hiện vào năm 1904 bởi nhà phát minh người Đức Christian Hülsmeyer. Ông đã chứng minh khả năng phát hiện một con tàu trong điều kiện sương mù dày đặc nhưng không thể xác định khoảng cách so với máy phát. Ông được cấp bằng sáng chế cho phát minh này vào tháng 4/1904 và sáng chế sau đó đã được Hülsmeyer cải tiến với khả năng ước lượng khoảng cách đến con tàu. [5]

Năm 1922, Guglielmo Marconi chứng minh rằng có thể phát hiện được những chiếc tàu trên biển và truyền thông xuyên qua các lục địa bằng sóng vô tuyến [6]. Cùng thời điểm đó, Albert Hoyt Taylor và Leo C. Young đã sử dụng CW (Continuous Wave) Radar để phát hiện một con tàu bằng gỗ trên biển. [7]

Trong suốt những năm 1920 đến 1930, Mỹ, Đức, Pháp, Liên Xô và đặc biệt là Anh đã tập trung nghiên cứu về radar và công nghệ này được xem là một bí mật quân sự. Tuy nhiên, mặc dù đã bỏ ra rất nhiều thời gian nghiên cứu nhưng những hệ thống radar tốt nhất lúc bấy giờ chỉ có thể cung cấp thông tin về phương hướng của những vật thể lớn xuất hiện trong một khoảng cách gần. Những thông số về khoảng cách và độ cao so với mặt biển vẫn chưa thể tính toán được.

Robert Watson Watt - một nhà cổ vũ khoa học trong lĩnh vực truyền thông đã được mời đến Ban chiến tranh của Anh (BWC - British War Council) để đánh giá về một chùm tia chét (death ray - trên lý thuyết là một chùm hạt hay một loại vũ khí điện tử). Tại đây ông đã phát minh ra một thiết bị radar hoàn chỉnh, sử dụng trong quân sự và ngày 26/2/1935, phát minh này của ông được cấp bằng sáng chế. [8]

Ngay sau khi ra đời, radar đã phát huy tác dụng chiến lược của nó trong trận không chiến

tại Anh diễn ra năm 1940. Mặc dù chỉ có cự ly hoạt động trong 10 dặm (16 km) nhưng hệ thống đã có độ phân giải đủ lớn để có thể phát hiện một máy bay ném bom hay tiêm kích đang đến gần. Quan trọng hơn, hệ thống đã được sử dụng để chỉ dẫn cho các máy bay tiêm kích của Anh chống lại không quân Đức ngay từ mặt đất trong khi máy bay Đức phải tìm kiếm mục tiêu trên không.

Bước đột phá thật sự chỉ xuất hiện khi một hệ thống radar nhận dạng hiện đại được tạo ra nhờ phát minh của sóng cực ngắn (vi ba) sử dụng trong nhà hay chính xác là từ thiết bị tạo ra sóng vi ba - magnetron. Magnetron được phát minh bởi John Randall và Harry Boot vào năm 1940 tại đại học Birmingham [9], tuy vậy cự ly của radar vẫn chưa lớn, chỉ hơn 80 km.

Radar ngày nay đã phát triển đa dạng ở nhiều dải sóng khác nhau như sóng âm, sóng vô tuyến điện, quang học và lazer. Bên cạnh các siêu radar khổng lồ, các radar siêu mini cũng được chế tạo trước hết dùng cho các vật bay do thám siêu nhỏ. Mỗi hệ thống được thiết kế riêng cho từng nhiệm vụ khác nhau.Thêm vào đó, những cải tiến về công nghệ có thể thay đổi cách thức hoạt động của một hệ thống radar.

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của các ngành khoa học kỹ thuật điện tử, công nghệ thông tin, ngành cơ - điện tử, vật liệu mới, tự động hóa, công nghệ nano... Radar ngày nay cũng đã được đổi mới và phát triển đa dạng với nhiều dải sóng khác nhau. Radar cũng được thiết kế và triển khai cả ở trong các ứng dụng dân dụng.

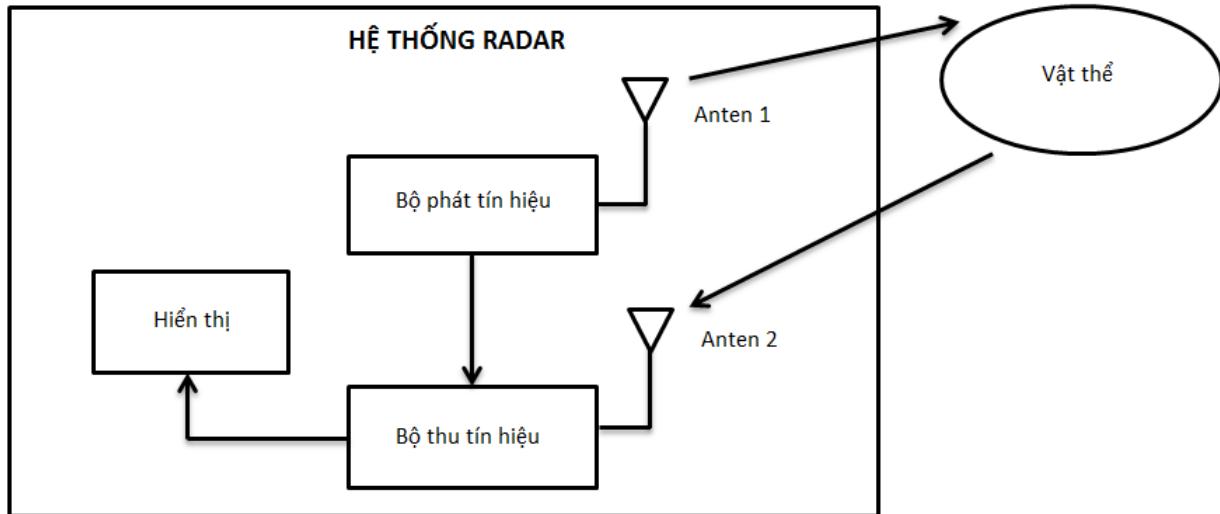
2.1.2 Nguyên lý cơ bản của Radar

Radar hoạt động dựa trên sự bức xạ và phản xạ của sóng điện từ trong không gian. Sóng điện từ lan truyền trong không gian theo đường thẳng và với tốc độ xấp xỉ bằng với tốc độ ánh sáng trong chân không ($3.10^8 m/s$). Cụ thể, radar tạo ra một lượng năng lượng điện từ bức xạ vào không gian và phân tích năng lượng điện từ phản xạ ngược trở về từ vật chấn trong tầm hoạt động của nó. Lấy một ví dụ đơn giản, khi ta đứng trong một hang động ta có thể nghe được tiếng vọng của mình từ vách của hang động hoặc việc con dơi có khả năng dò tìm đường đi của nó bằng cách phân tích sóng siêu âm phản xạ lại do chính nó phát ra, cơ bản cho ta nguyên lý hoạt động của radar.

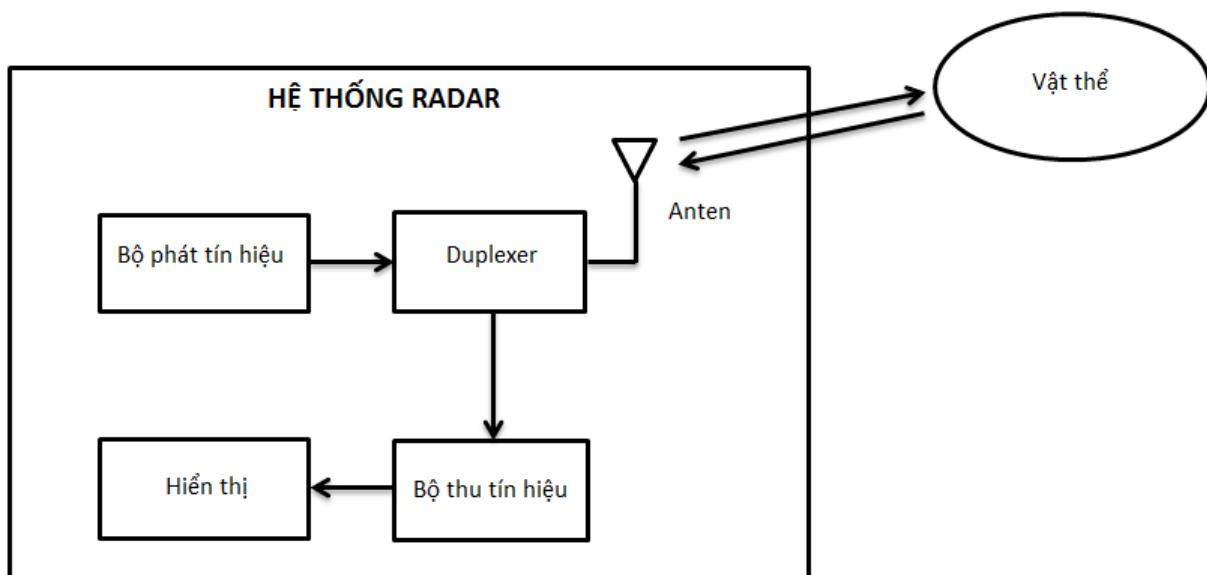
Một hệ thống radar đơn giản được minh họa ở hình 2.1. Hệ thống radar trên bao gồm một bộ phát, một bộ thu và 2 anten có nhiệm vụ bức xạ năng lượng điện từ ở phía phát (Transmitter) và thu nhận năng lượng điện từ phản xạ lại từ vật thể ở phía thu (Receiver). Cụ thể, hệ thống sẽ tạo ra tín hiệu RF (Radio Frequency - vô tuyến) ở phía bộ phát và bức xạ ra không gian nhờ anten ở phía phát. Tín hiệu trên khi gặp vật chấn sẽ bị phản xạ lại, tuy nhiên theo nhiều hướng khác nhau trong đó sẽ có những tín hiệu phản xạ lại về phía anten thu. Từ đó, anten ở phía thu sẽ thu nhận tín hiệu phản xạ lại rồi chuyển sang bộ thu, bộ thu sẽ phân tích sự sai biệt giữa tín hiệu phát và tín hiệu thu để đưa ra những thông tin về khoảng cách, vận tốc, hướng di chuyển của vật thể, ...

Một cải tiến cho hệ thống radar ở trên đó là thay vì sử dụng 2 anten (1 cho phía phát và 1 cho phía thu) hệ thống radar ở hình 2.2 chỉ sử dụng 1 anten cho việc thu và phát. Tuy nhiên với hệ thống này, do chỉ sử dụng 1 anten nên cần phải cách ly tín hiệu phát và tín hiệu thu

người ta dùng thêm một bộ duplexer cho anten, từ đó giảm được sự cồng kềnh của hệ thống này so với hệ thống sử dụng 2 anten ở trên. Ngoài ra duplexer còn giúp bảo vệ bộ thu khỏi những tín hiệu công suất lớn từ bộ phát. Ở phần tiếp theo chúng ta sẽ cùng tìm hiểu chi tiết chức năng và nhiệm vụ của những bộ phận cấu thành nên một hệ thống radar.



Hình 2.1: Hệ thống Radar cơ bản

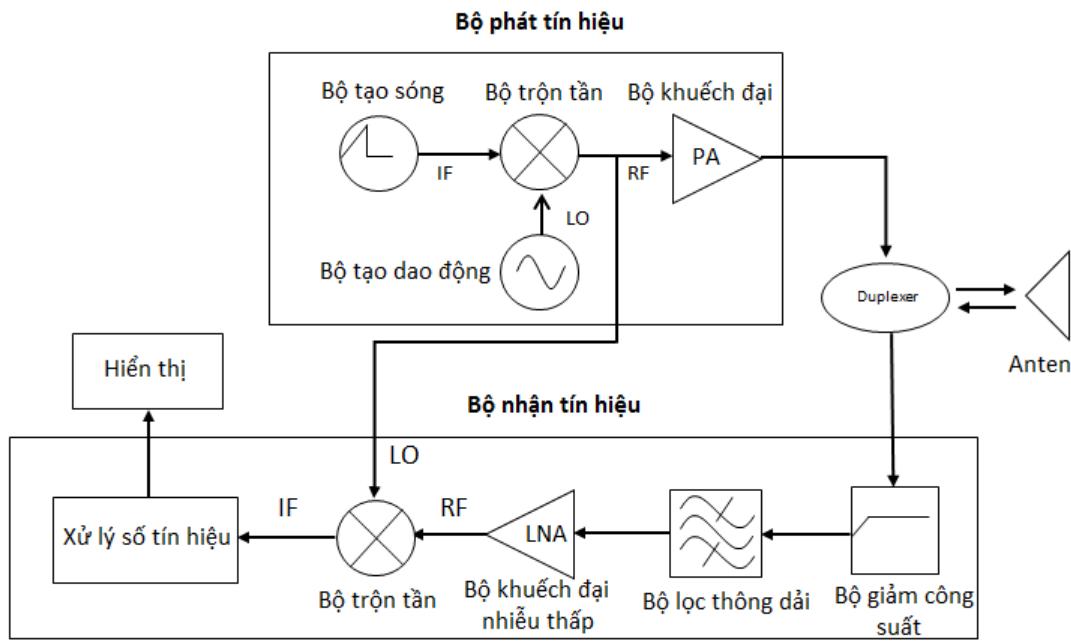


Hình 2.2: Hệ thống Radar với Duplexer

2.2 Các thành phần cơ bản của Radar

Như đã đề cập ở phần trước, một hệ thống radar cơ bản bao gồm một bộ phát, một bộ thu và hệ thống anten thu, phát. Hình 2.3 minh họa một hệ thống radar với các bộ phận cơ bản mang

những chức năng đặc trưng. Sau đây chúng ta sẽ cùng làm rõ chức năng của các bộ phận riêng biệt trong radar.



Hình 2.3: Sơ đồ khái niệm của một hệ thống Radar đơn giản

2.2.1 Anten

Trong hệ thống radar, anten đóng vai trò là bộ phận tương tác giữa chính hệ thống đó với tất cả các loại sóng điện từ có mặt trong không gian. Nhờ đó, anten hoạt động như một bộ phận truyền dẫn, lan truyền và định hướng bức xạ năng lượng điện từ ra không gian cũng như thu nhận sóng điện từ phản hồi từ vật thể.

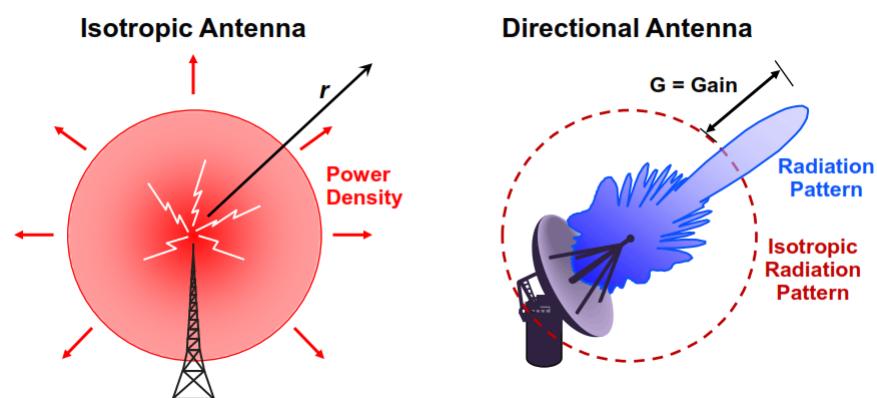
Trong thiết kế anten, có rất nhiều thông số được quan tâm chẳng hạn như: đồ thị bức xạ của anten (Radiation Pattern), mật độ công suất bức xạ (W), cường độ bức xạ (U), beamwidth (Half Power Beamwidth - HPBW, First Null Beamwidth - FNBW), độ định hướng (D), độ lợi (Gain), hiệu suất (Antenna Efficiency), băng thông (Bandwidth) và cuối cùng là tính phân cực của anten (Polarization) (chương 2, [10]). Tuy nhiên, để đánh giá nhanh một anten người ta thường dựa vào 2 thông số đó là độ lợi và đồ thị bức xạ.

Nhìn vào hình 2.4 ta thấy rằng, độ lợi của một anten được hiểu là sự chênh lệch về cường độ bức xạ của chính anten đó so với anten có đồ thị bức xạ đẳng hướng (*isotropic*).

Có hai loại anten thường được dùng trong hệ thống radar đó là anten loa và anten chảo parabol sẽ được đề cập ở phần tiếp theo.

2.2.1.1 Anten loa (Horn Antenna)

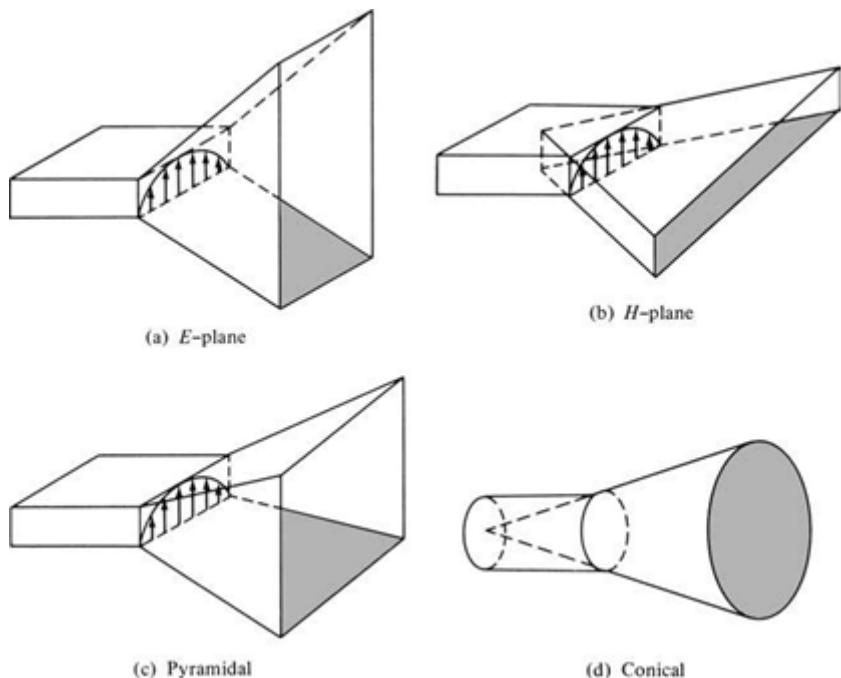
Anten loa thường được sử dụng để trong việc truyền và nhận tín hiệu RF (vô tuyến) hoặc được dùng như là *feeder* trong anten parabol.



Hình 2.4: Định nghĩa về độ lợi của anten
(MIT Open CourseWare, [11])

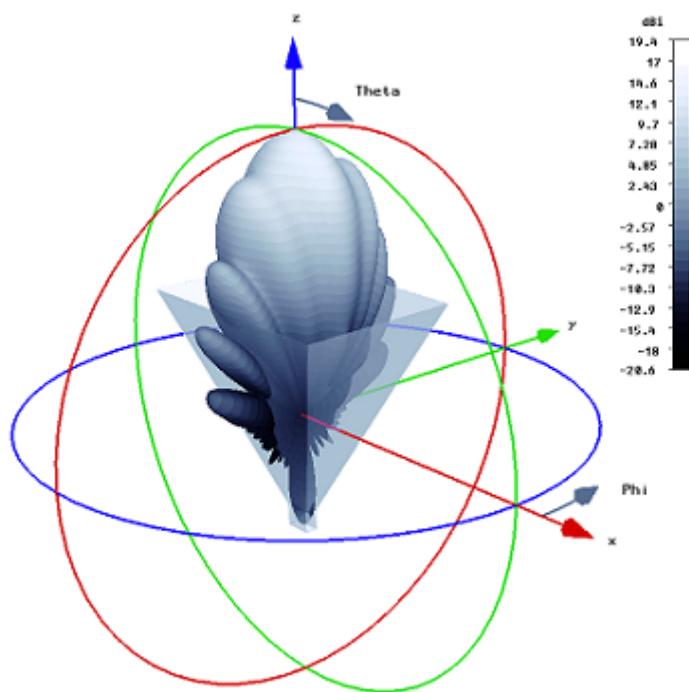
Hình dạng điển hình của một anten loa đó là bề mặt định hướng sóng dạng loe ra giống như một cái loa (horn) cho phép sóng bức xạ từ anten ra không gian tự do theo một hướng xác định.

Có 4 loại anten loa được mô tả ở hình 2.5



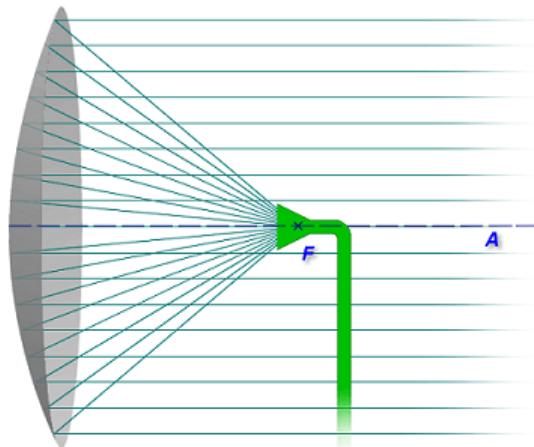
Hình 2.5: Các dạng cấu hình cơ bản của anten horn
(Hình 13.1, trang 740, [10])

Với cấu trúc khá đơn giản, anten loa thường được sử dụng ở băng tần UHF (300MHz - 3GHz) hoặc thậm chí còn cao hơn nữa. Anten loa thường có dạng đồ thị bức xạ định hướng cao (Hình 2.6) với độ lợi lớn có thể lên đến 25 dB, tuy nhiên thường thì độ lợi nằm trong khoảng 10 - 20 dB. Đặc biệt anten loa còn có băng thông rất lớn từ đó nâng cao hiệu suất hoạt động của anten ở các dãy tần khác nhau.



Hình 2.6: Đồ thị bức xạ 3D của một anten horn
(Hình 1.8, trang 11, [12])

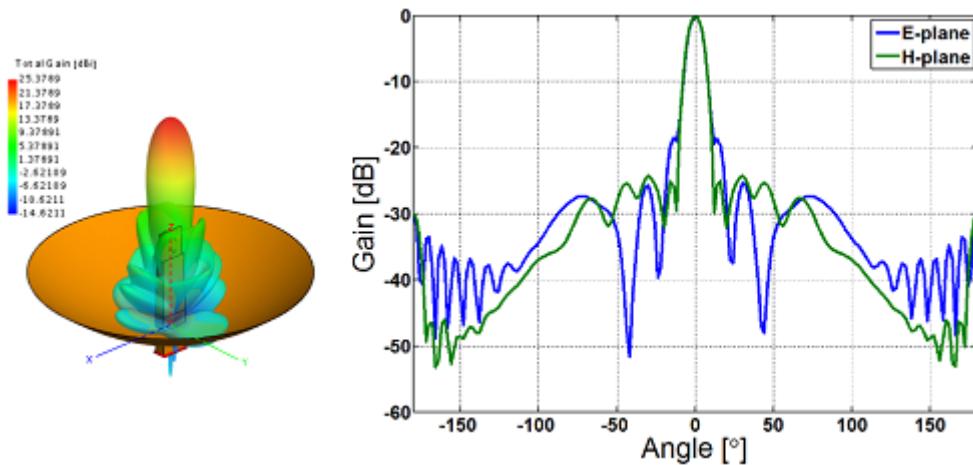
2.2.1.2 Anten chảo parabol (Parabol Antenna)



Hình 2.7: Anten parabol

Hình 2.7 mô tả một anten parabol thường gấp trong thực tế với cấu trúc gồm một bát phản xạ hình parabol (reflector) - còn gọi là chảo parabol - và một nguồn phát sóng điện tử gọi là *feeder* (thường là anten *dipole*). Vật liệu tạo nên bộ phản xạ thường là một tấm lưới kim loại với kích thước của những lỗ lưới đó phải nhỏ hơn $\lambda/10$. Chính tấm lưới đó tạo nên bát phản xạ cho sóng điện tử tựa như một tấm gương phản xạ ánh sáng hình parabol. Từ đó, nâng cao được tính định hướng và độ lợi của anten lên rất nhiều. Thông thường, với cùng một công suất phát thì anten parabol có thể cho độ lợi lớn nhất và với búp sóng hẹp nhất. Để tạo nên

búp sóng hẹp, bề mặt phản xạ phải lớn hơn rất nhiều so với chiều dài bước sóng do đó anten parabol thường được sử dụng cho các dãy tần số cao (UHF hoặc SHF).



Hình 2.8: Đồ thị bức xạ của anten parabol

2.2.2 Duplexer

Như đã trình bày ở phần trên, duplexer được sử dụng trong trường hợp chỉ dùng 1 anten cho cả việc thu và phát tín hiệu. Có 2 yêu cầu được đưa ra mà một bộ duplexer cần thỏa mãn:

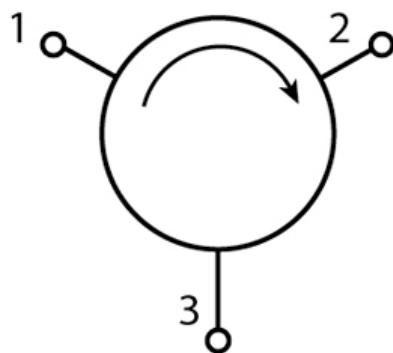
Thứ nhất: Cách ly bộ thu khỏi những tín hiệu công suất lớn ở bộ phát để tránh phá hủy các bộ phận ở phía thu

Thứ hai: Dảm bảo quá trình truyền và nhận được xảy ra liên tục trên cùng một anten.

Trên thực tế, bộ duplexer thường dùng chính là circulator - một hệ thống mạng 3 cửa được mô tả ở hình 2.9 và với ma trận S như sau:

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Giả sử ta mắc anten vào cổng (port) 2 của bộ circulator, tín hiệu ngõ ra của bộ phát được mắc vào cổng 1 và tín hiệu ngõ vào của bộ thu sẽ mắc vào port 3 của bộ circulator. Một cách lý tưởng, nhìn vào ma trận S ta thấy rằng khi có tín hiệu từ cổng 1 (từ bộ phát) tín hiệu đó sẽ được đẩy vào anten và bức xạ ra không gian đồng thời không có tín hiệu vào cổng 3. Tương tự, nếu có một tín hiệu lọt vào anten (port 2), tín hiệu đó sẽ được chuyển vào cổng 3 của bộ circulator đồng thời cách lý tín hiệu đó với cổng 1. Tuy nhiên, trên thực tế tín hiệu sẽ không được cách ly hoàn toàn mà vẫn tồn tại một lượng suy hao khoảng 0.1 - 0.5 dB.

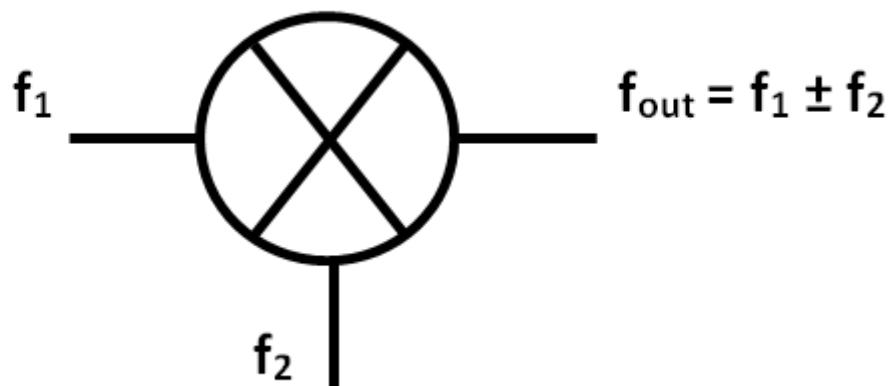


Hình 2.9: Sơ đồ khối của bộ circulator

2.2.3 Bộ trộn tần (Mixer)

Mixer hay còn gọi là bộ trộn tần được sử dụng để chuyển đổi tần số của tín hiệu vào thành một tín hiệu có cùng dạng với tín hiệu ban đầu nhưng ở một tần số khác, có thể cao hơn hoặc thấp hơn tần số ban đầu.

Thông thường, người ta thường chuyển tín hiệu từ trung tần (IF) sang tín hiệu cao tần (RF) và ngược lại tùy thuộc vào mục đích của người thiết kế và sử dụng hệ thống đó. [13]

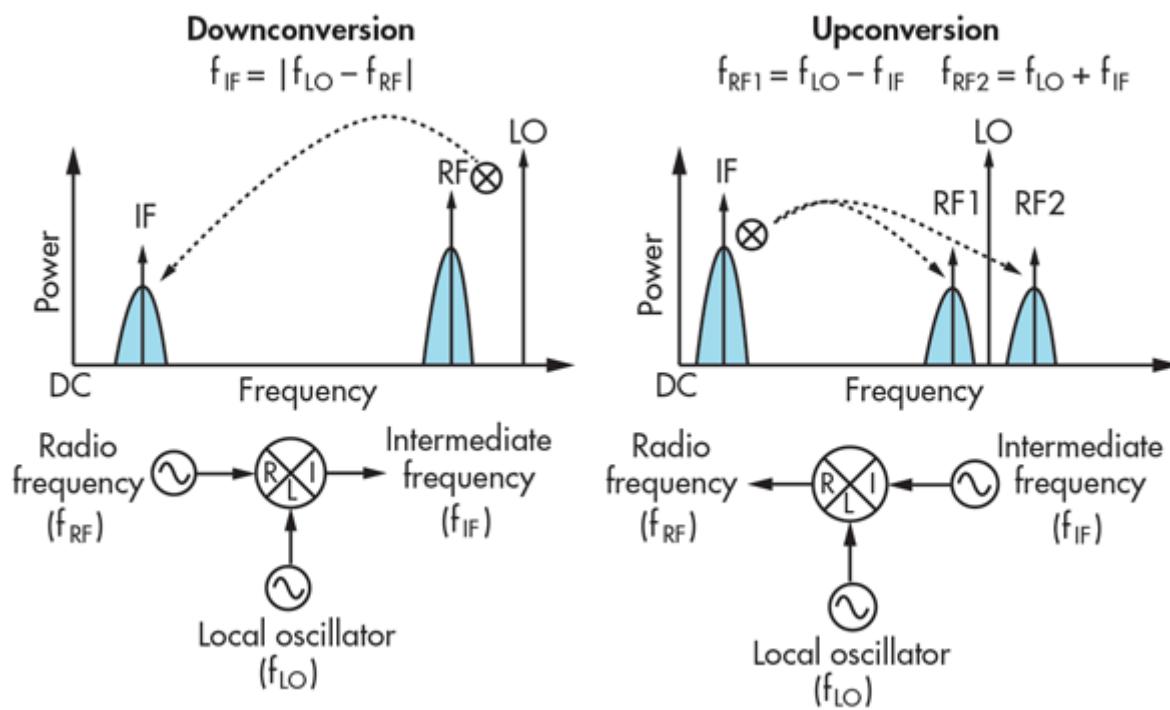


Hình 2.10: Sơ đồ khối của bộ mixer

Nhìn vào hình 2.10 ta thấy rằng, mixer hoạt động như một bộ nhân tín hiệu giữa hai port đầu vào từ đó tạo ra tín hiệu ngõ ra với 2 tần số: $f_1 \pm f_2$

$$\cos(f_1) * \cos(f_2) = \frac{1}{2} [\cos(f_1 - f_2) + \cos(f_1 + f_2)]. \quad (2.1)$$

Quan sát hình 2.11 ta thấy:



Hình 2.11: Cách thức chuyển tần lên và xuống của mixer

Việc chuyển tần lên hoặc xuống phải thông qua một tín hiệu từ oscillator với tần số f_{LO} . Do đó, tín hiệu từ oscillator chỉ được phép là tín hiệu đầu vào của mixer, còn port RF và IF có thể chuyển đổi vai trò cho nhau hoặc là đầu vào thứ hai của mixer hoặc là ngõ ra của mixer.

Đối với chuyển tần xuống, tín hiệu đầu vào thứ hai chính là tín hiệu RF và tín hiệu ở ngõ ra sẽ là tín hiệu IF, với $f_{IF} = |f_{LO} - f_{RF}|$. Ngược lại, đối với chuyển tần lên thì tín hiệu đầu vào thứ hai chính là tín hiệu IF và tín hiệu ngõ ra sẽ là tín hiệu RF, với $f_{RF_1} = f_{LO} - f_{IF}$ và $f_{RF_2} = f_{LO} + f_{IF}$.

Trong thực tế người ta thường sử dụng mixer kết hợp với một bộ lọc để chọn lọc tần số mong muốn ở trung tần hoặc cao tần. Như ta đã biết, tín hiệu ở ngõ ra bộ mixer tồn tại ở hai tần số như đã đề cập ở phương trình 2.1. Do đó, đối với việc chuyển tần xuống, để lấy được tín hiệu trung tần ta phải sử dụng bộ lọc thông thấp (LPF) để loại bỏ tín hiệu không mong muốn $f_{out} = f_{LO} + f_{IF}$. Tương tự, đối với việc chuyển tần lên ta phải sử dụng bộ lọc thông dải (BPF) để chọn lọc tín hiệu mong muốn hoặc là f_{RF_1} hoặc f_{RF_2} .

2.2.4 BỘ TẠO DAO ĐỘNG (Oscillator)

Dao động và tổng hợp tần số là phần rất quan trọng trong lĩnh vực truyền thông vô tuyến. Mạch dao động biến đổi năng lượng điện một chiều thành tín hiệu xoay chiều dùng làm sóng mang trực tiếp hoặc thông qua mixer để đổi tần các tín hiệu từ IF lên RF hoặc ngược lại.

Có nhiều kiểu mạch dao động như:

- Mạch dao động LC: clapp, colpitt, hartley, Pierce,...
- Mạch dao động thạch anh: song song, nối tiếp, tinh chỉnh tần số cộng hưởng,...

- VCO và VCXO

Trong đó, VCO và VCXO được sử dụng trong nhiều ứng dụng đặc biệt là trong phần thiết kế radar ở chương 3 do nó có thể thay đổi tần số trong một khoảng xác định tùy thuộc vào giá trị điện áp DC đặt vào chân varicap (Vtune) của mạch VCO hoặc VCXO.

2.2.5 Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier)

Bộ khuếch đại công suất thường được dùng để nâng mức công suất tín hiệu RF từ mức thấp sang một mức cao hơn tùy thuộc vào độ lợi của bộ khuếch đại đó. Trong radar bộ khuếch đại công suất được dùng ở phía phát để nâng cao mức công suất cho tín hiệu phát từ đó nâng cao được tầm hoạt động của radar. Bộ khuếch đại công suất phải thỏa mãn các yêu cầu như: hiệu suất cao, ít sai dạng tín hiệu và độ chọn lọc tần số cao.

2.2.6 Bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)

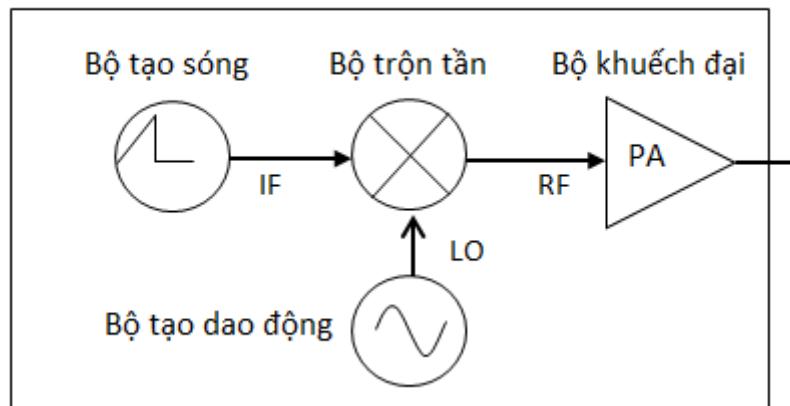
Nhiều là tín hiệu không mong muốn, xuất hiện từ nhiều nguồn khác nhau chèn vào tín hiệu hữu ích làm giảm chất lượng tín hiệu thu dẫn đến sai lệch thông tin. Chất lượng thu của hệ thống được đánh giá theo hệ số SNR (tỷ số mức tín hiệu trên nhiễu) chỉ sự tương quan độ mạnh của tín hiệu so với nhiễu. Mức tín hiệu thu được từ anten thường rất nhỏ và đã bao gồm nhiễu từ môi trường truyền, nếu tín hiệu đó được khuếch đại trong một môi trường nhiễu cao sẽ dẫn đến mức tín hiệu trên nhiễu giảm xuống từ đó giảm đáng kể lượng thông tin ta thu nhận được, đôi khi làm sai lệch hoặc mất thông tin.

Bộ khuếch đại nhiễu thấp được dùng để nâng cao mức tín hiệu với ít nhất có thể lượng nhiễu được cộng vào tín hiệu tùy thuộc vào chất lượng thiết kế. Trong radar, bộ khuếch đại nhiễu thấp được dùng như một bộ tiền khuếch đại cho tín hiệu ở phía phát cũng như là bộ khuếch đại công suất cho tín hiệu ở phía thu. Đối với bộ khuếch đại nhiễu thấp, thông số được quan tâm đó là "Input Noise Figure" đặc trưng cho lượng nhiễu cộng vào tín hiệu sau khi khuếch đại. Bộ khuếch đại lý tưởng sẽ có hệ số INF = 0 dB, tuy nhiên trong thực tế không bao giờ đạt được như vậy, thông thường hệ số INF < 3dB được xem là tốt và INF < 1.2 dB được xem là rất tốt.

2.2.7 Bộ phát radar

Mô hình phát sóng radar cơ bản được minh họa ở hình 2.12. Trong đó, hệ thống phát bao gồm một bộ tạo sóng tín hiệu ở dải nền (Waveform Generator) kết hợp với bộ trộn tần (Mixer) và bộ tạo dao động (Oscillator) từ đó đưa tín hiệu lên dây tần số mong muốn sau đó được khuếch đại lên nhờ bộ khuếch đại công suất (PA) và truyền đến anten bức xạ ra không gian tự do.

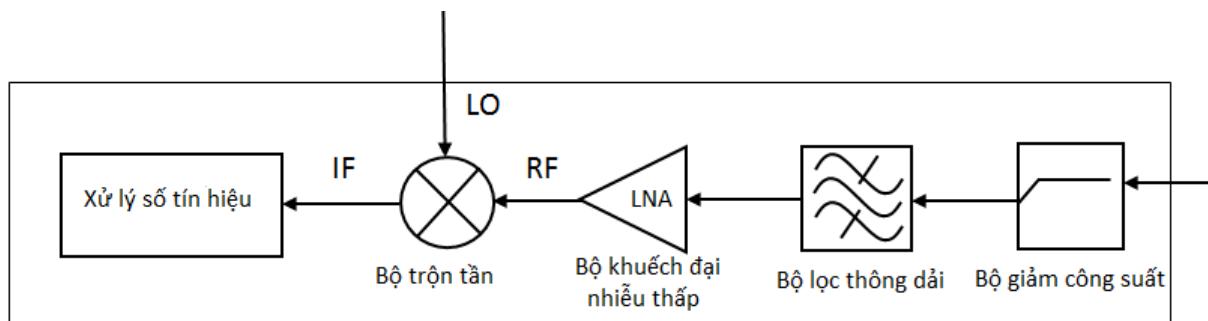
Câu hỏi đặt ra ở đây đó là vì sao phải chuyển tần số lên cao mà không phát trực tiếp tín hiệu ở dải nền ra không gian tự do?



Hình 2.12: Mô hình bộ phát tín hiệu radar cơ bản

Chúng ta biết rằng, kích thước anten phụ thuộc trực tiếp với bước sóng tín hiệu, việc đổi tần số lên cao đó là giúp ta thu nhỏ được kích thước của anten đặc biệt là đối với các hệ thống radar sử dụng mảng anten cho việc thu, phát tín hiệu. Ngoài ra, việc chuyển tần số lên cao nhằm giúp ta tận dụng hết dãy phổ sóng điện từ. Tuy nhiên, việc đưa tín hiệu lên tần số cao dẫn đến mức suy hao của tín hiệu trong quá trình lan truyền càng lớn, do đó tùy theo mục đích và yêu cầu của từng hệ thống mà ta lựa chọn tần số phù hợp.

2.2.8 Bộ thu radar



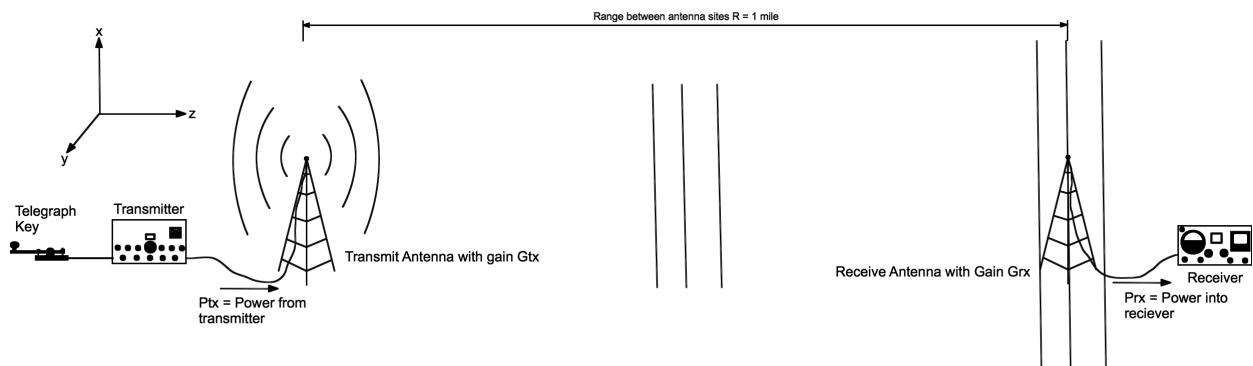
Hình 2.13: Mô hình bộ thu tín hiệu radar cơ bản

Hình 2.13 minh họa một mô hình thu tín hiệu radar cơ bản. Cũng tương tự như ở phía phát, ở phía thu ta cũng sử dụng một bộ khuếch đại công suất để khuếch đại tín hiệu. Tuy nhiên, điểm khác biệt là trước khi qua tầng khuếch đại công suất, tín hiệu phải đi qua bộ limiter để hạn chế những tín hiệu công suất lớn có thể gây phá hủy các bộ phận phía thu. Đặc biệt, tín hiệu được đi qua bộ lọc thông dải để nâng cao tính chọn lọc tín hiệu sau đó được đưa qua bộ khuếch đại nhiễu thấp - đã được nói ở trên - nhằm hạn chế tối đa mức công suất nhiễu cộng vào tín hiệu sau khi được khuếch đại. Tín hiệu sau khi được khuếch đại được trộn với tín hiệu ở phía phát thông qua bộ trộn tần để thu được thông tin sai lệch giữa tín hiệu thu và phát. Tín hiệu mang thông tin được chuyển vào bộ xử lý tín hiệu để phân tích và trả về kết quả tùy

theo mục đích sử dụng của radar đó. Thông thường, tín hiệu trước khi xử lý được cho qua một bộ lọc thông thấp bên trong bộ xử lý tín hiệu để chọn tín hiệu một lần nữa nhằm hạn chế xử lý thông tin của những tín hiệu không cần thiết.

2.3 Phương trình Radar

2.3.1 Phương trình Friis



Hình 2.14: Mô hình truyền sóng trong không gian tự do
(Hình 1.11, trang 14, [12])

Phương trình Friis được dùng để ước lượng công suất được truyền từ anten phát đến anten thu thông qua không gian tự do với một mức công suất cho trước P_t . Đặc biệt, phương trình Friis được sử dụng nhiều trong việc thiết kế tuyến liên lạc vệ tinh và viba [10].

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r. \quad (2.2)$$

Trong đó:

P_t : Công suất bức xạ tại anten phát

P_r : Công suất nhận được từ anten thu

G_t : Độ lợi anten phát

G_r : Độ lợi anten thu

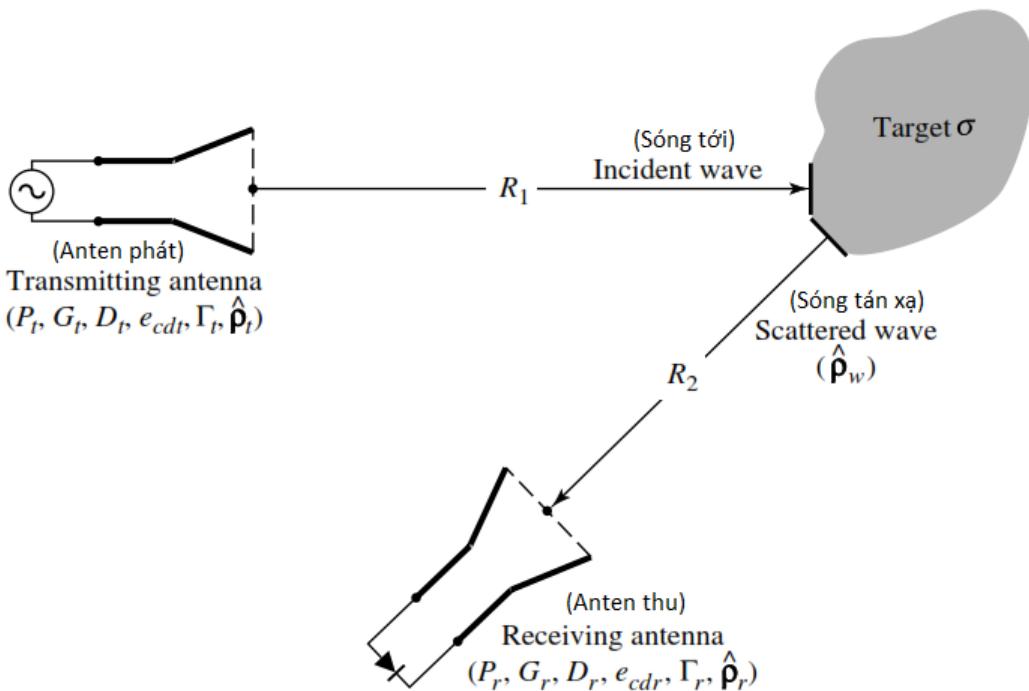
R: Khoảng cách giữa anten phát và thu

Giả sử đặt vào anten phát một mức công suất biết trước P_t , biết được độ lợi anten phát và anten thu. Từ đó dựa vào phương trình Friis ta sẽ ước lượng được khoảng cách lớn nhất R_{max} mà tại đó anten vẫn còn thu được mức tín hiệu thấp nhất (so với công suất nhiễu $P_N = kTB$) mà không bị mất thông tin.

2.3.2 Diện tích phản xạ (Radar Cross Section - RCS)

Thông số RCS - hay còn gọi diện tích phản xạ của vật thể - là một thông số được xét ở trường xa của tín hiệu phát (far-field), nó là đại lượng đặc trưng cho tính tán xạ sóng điện từ của vật

thể và được định nghĩa là bề mặt mà sóng phản xạ ngược về anten thu khi mà sóng tới vật thể và tán xạ theo nhiều hướng khác nhau. [10]



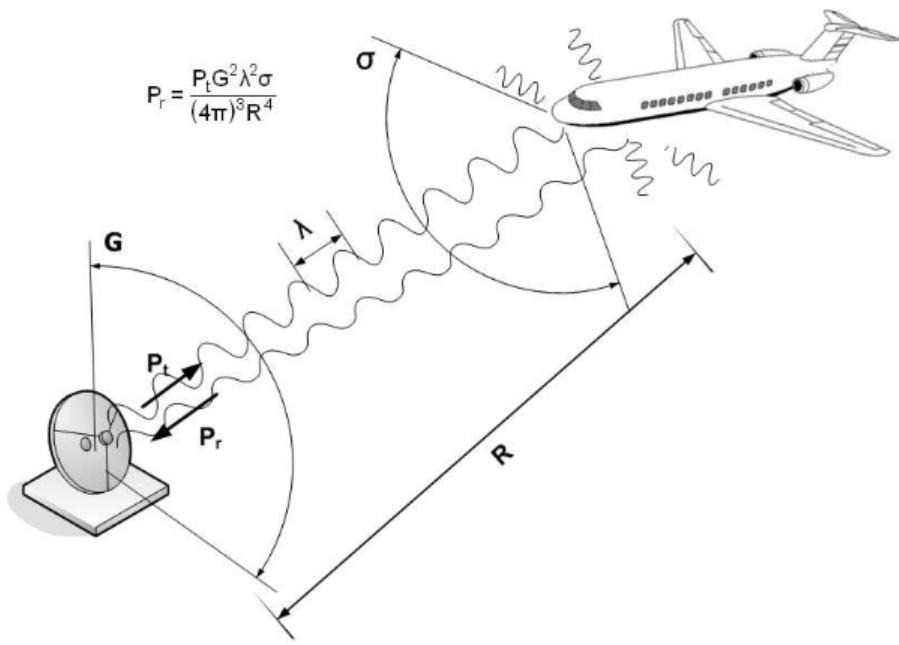
Hình 2.15: Đặc tính tán xạ của vật thể trong truyền và nhận sóng radar
 (Hình 2.32, trang 96, [10])

Vật thể	RCS [m^2]	RCS [dBsm]
Xe tải	200	23
Ô tô	100	20
Máy bay dân dụng	100	20
Tàu biển	10	10
Máy bay chiến đấu loại lớn	6	7.78
Máy bay chiến đấu loại nhỏ	2	3
Con người (trưởng thành)	1	0
Tên lửa	0.5	-3
Chim	0.01	-20
Côn trùng	0.00001	-50

Bảng 2.1: RCS của một số vật thể điển hình
 (Bảng 2.2, trang 99, [10])

2.3.3 Phương trình radar

Hình 2.16 mô tả một mô hình truyền sóng radar điển hình, trong đó, sóng điện từ được bức xạ ra không gian với công suất phát là P_t tới vật thể bay trong trường hợp này là một chiếc



Hình 2.16: Mô hình truyền sóng radar cơ bản
(Hình 1, trang 6, [14])

máy bay và một phần sóng điện từ phản xạ lại anten với công suất nhận là P_r . Qua đó ta thấy rằng, dựa vào thời gian trễ giữa tín hiệu thu và tín hiệu phát ta có thể tính toán được khoảng cách của chiếc máy bay trên với hệ thống radar. Ngoài ra, việc xác định được sự thay đổi tần số giữa tín hiệu thu và tín hiệu phát còn cho ta thông tin về vận tốc của chiếc máy bay đó thông qua hiệu ứng Doppler.

Tuy nhiên, một vấn đề đặt ra ở đây đó là làm sao để xác định mức công suất thu cần thiết để có thể thu được hai thông tin đã đề cập ở trên. Ta biết rằng, sóng phản xạ về từ không gian tự do sẽ kèm theo nhiễu, do vậy việc thu nhận tín hiệu với mức tín hiệu vừa đủ và với hệ số SNR (tỉ số tín hiệu trên nhiễu) thích hợp thực sự là một bài toán cần giải quyết.

Để giải quyết bài toán này, người ta đã đưa ra một phương trình truyền sóng của radar như sau:

$$P_r = P_t + 2G + \sigma_{dBsm} + 20\log_{10}(\lambda) - 30\log_{10}(4\pi) - 40\log_{10}(R). \quad (2.3)$$

Trong đó:

P_t : Công suất phát tại anten [dBm].

G : Độ lợi của anten [dBi].

λ : Bước sóng của tín hiệu phát [m], với $\lambda = \frac{c}{f}$

σ : Diện tích phản xạ Radar (RCS) [dBsm]

R : Khoảng cách từ anten phát đến vật thể [m].

Phân tích bảng 2.2 ta thấy:

Ví dụ 1: Một hệ thống radar với anten có độ lợi 28 dBi phát sóng điện từ ở tần số 10 GHz với công suất phát là 63 dBm vào một vật thể ở khoảng cách 8114 m. Vật thể có hệ số RCS là

Thông số	Viết tắt	Ví dụ 1	Ví dụ 2	Đơn vị
Công suất phát	Pt	63	13	dBm
Độ lợi anten	G	28	8	dBi
Bước sóng (tần số)	λ	$0.03(10.10^9)$	$0.125(2.4.10^9)$	m(Hz)
RCS	σ	12	0.3	$dBsm$
Khoảng cách	R	8114	5	m
Công suất nhận/tuyến tính	Pr	0.132	107151	pW
Công suất nhận/logarithm	Pr/log	-98.8	-49.7	dBm

Bảng 2.2: Ví dụ về tính toán phương trình Radar

12 $dBsm$. Từ đó tính công suất nhận ở thang logarithm là -98.8 dBm.

Ví dụ 2: Một hệ thống radar khác được sử dụng trong phòng thí nghiệm với công suất phát 13 dBm được kết nối với một anten có độ lợi 8 dBi với tần số tín hiệu phát là 2.4 GHz. Hệ số RCS của một vật thể cách radar 5 m được tính toán là 0.3 $dBsm$. Từ đó tính được công suất nhận ở thang logarithm là -49.7 dBm

So sánh kết quả nhận được từ hai ví dụ trên ta thấy, công suất nhận được ở ví dụ 1 thấp hơn so với ví dụ 2 là 49.1 dB mặc dù công suất và độ lợi của anten phát ở hệ thống radar ví dụ 1 lớn hơn nhiều so với ở ví dụ 2. Lý do cho sự sai biệt này nằm ở hai thông số bước sóng và khoảng cách của vật thể làm ảnh hưởng rất lớn đến kết quả công suất nhận được ở hai ví dụ trên. Hệ thống radar ngày nay đều hướng đến việc sử dụng tín hiệu tần số cao đặc biệt là với các hệ thống radar sử dụng mảng anten. Lý do rất đơn giản, kích thước anten tỉ lệ trực tiếp với chiều dài bước sóng của tín hiệu, tần số càng cao, bước sóng tín hiệu sẽ giảm tương ứng, từ đó làm giảm đáng kể kích thước của mảng anten được thiết kế. Như vậy ta thấy rằng, càng nâng tần số hoạt động lên cao, công nghệ radar phải đổi mới với vấn đề thiết kế bộ thu có độ nhạy cao hơn đặc biệt là đối với các vật thể ở khoảng cách xa.

2.3.4 Tầm hoạt động của radar

Tầm hoạt động tối đa của một hệ thống radar được trình bày ở phương trình 2.4 (trang 31, [12])

$$R_{\max}^4 = \frac{P_{ave} G_{tx} A_{rx} \rho_{rx} \sigma n E_i(n) e^{2\alpha R_{\max}}}{(4\pi)^2 k T_0 B_n \tau F_r (SNR)_1 L_s}, \text{ với} \quad (2.4)$$

R_{\max} : tầm hoạt động tối đa của hệ thống radar [m]

P_{ave} : công suất phát trung bình [W]

G_{tx} : độ lợi anten phát

A_{rx} : khẩu độ anten thu [m^2]

ρ_{rx} : hiệu suất anten thu

σ : diện tích phản xạ radar (RCS) [m^2]

L_s : tổng suy hao của hệ thống

α : hệ số suy hao của tín hiệu lan truyền trong không gian tự do

F_n : hệ số *Noise Figure* của hệ thống

k : hằng số Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$)

T_0 : nhiệt độ chuẩn ($27^{\circ}C = 290^{\circ}K$)

B_n : băng thông nhiễu của hệ thống [Hz]

$(SNR)_1$: tỉ số tín hiệu trên nhiễu

n : số lượng xung nhận được *

$E_i(n)$: hiệu xuất phát xung *

τ : độ rộng xung [s] *

f_r tần số xung được lặp lại [Hz] *

Trong phương trình trên:

Khẩu độ (A_{rx}) và hiệu suất (ρ) của anten nhận liên quan đến độ lợi anten thu (G_{rx}) qua phương trình 2.5

$$G_{rx} = \frac{4\pi A_{rx}\rho}{\lambda_c^2}, \text{ với} \quad (2.5)$$

λ_c : bước sóng tín hiệu tại tần số trung tâm của hệ thống [m]

Hệ số suy hao (α) thông thường gần bằng 0 đối với những hệ thống radar tầm ngắn, từ đó suy ra $e^{2\alpha R_{max}} = 1$.

Hệ số diện tích phản xạ radar (σ) đã được trình bày ở bảng 2.1.

Công thức trên được tổng quát hóa cho radar sử dụng tín hiệu xung và radar sử dụng tín hiệu liên tục.

Đối với radar sử dụng tín hiệu liên tục, các thông số có dấu được bỏ qua và công suất phát trung bình được tính theo công thức: $P_{ave} = P_t$, với P_t : công suất phát của hệ thống [W].

Đối với radar sử dụng tín hiệu xung, phương trình 2.4 được sử dụng một cách đầy đủ và công suất phát trung bình được tính theo công thức: $P_{ave} = P_t \tau f_r$

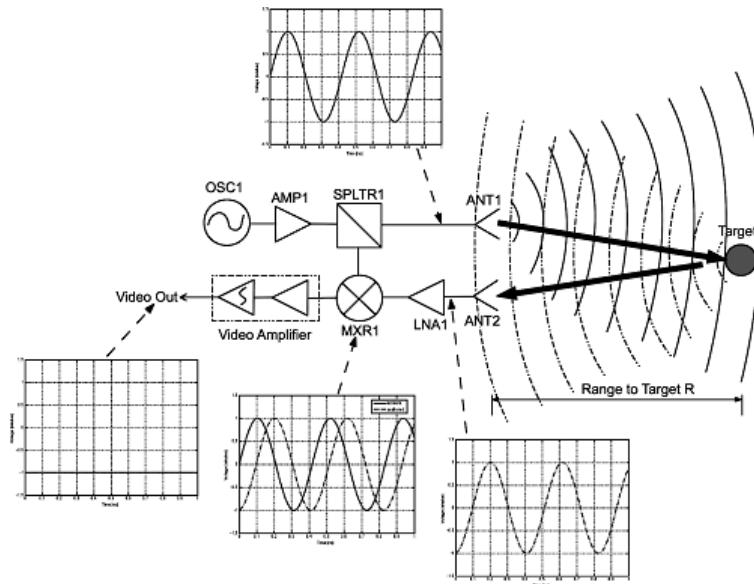
2.4 Các loại Radar phổ biến

Có rất nhiều loại radar phổ biến được sử dụng hiện nay, tùy thuộc vào mục đích và công năng sử dụng cũng như dãy tần số hoạt động hoặc kiểu tín hiệu phát xạ (sóng liên tục hoặc dạng xung) mà ta chia ra nhiều loại radar khác nhau. Trong phần này chúng ta chỉ xem xét một cách tổng quan nhất về một số loại radar phổ biến, trong đó có 3 loại radar được trình bày chi tiết ở chương 2 đó là CW (Continuous Wave) Radar, FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) Radar và Radar khẩu độ tổng hợp (Synthetic Aperture Radar).

2.4.1 CW Radar

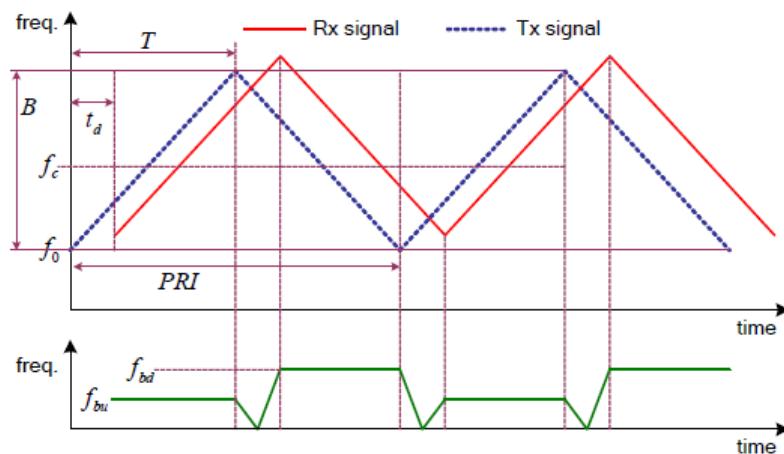
Hệ thống CW (Continuous Wave) radar tạo ra tín hiệu ở một tần số cố định và thường được sử dụng để xác định vận tốc của vật thể. Nó hoạt động dựa theo hiệu ứng Doppler bằng cách xác định sai lệch tần số của tín hiệu thu và phát từ đó đưa ra thông tin về vận tốc vật thể. Tuy

nhiên, hệ thống radar này không thể xác định được khoảng cách từ vật thể đến radar do không thể xác định được khoảng thời gian trễ giữa tín hiệu thu và phát, đó cũng chính là nhược điểm của radar loại này. Một số ứng dụng của CW radar đó là xác định vận tốc của các phương tiện giao thông hoặc cảm biến chuyển động thường được sử dụng ở các trung tâm thương mại.



Hình 2.17: Mô hình CW radar
(Hình 1.23, trang 30, [12])

2.4.2 FMCW Radar



Hình 2.18: Sóng điều chế dùng trong FMCW Radar

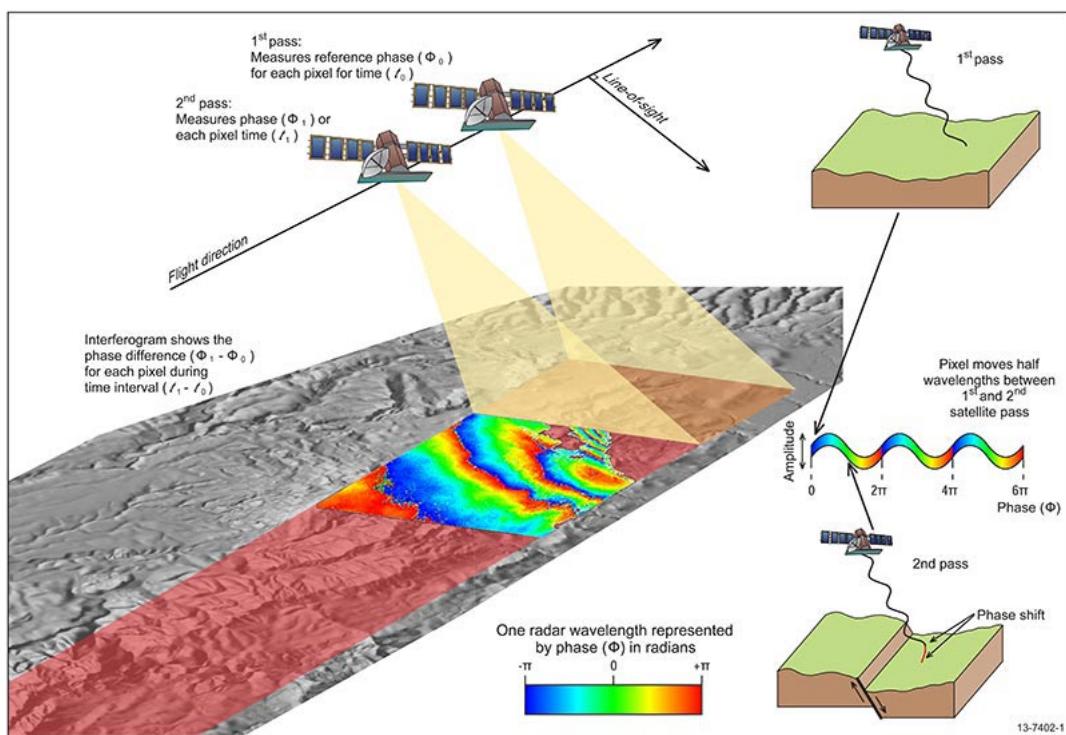
Đối với hệ thống CW radar ta không thể xác định được khoảng cách của vật thể do không thể xác định được thời gian trễ giữa tín hiệu thu và phát. Tuy nhiên, ta có thể phát triển hệ thống trên để có thể xác định được khoảng thời gian trễ trong việc đo khoảng cách vật thể bằng cách điều chế tín hiệu phát sao cho tần số của tín hiệu thay đổi theo một chu kỳ, thông

thường là hàm răng cưa (Hình 2.18). Khi tín hiệu phản hồi được thu nhận, từ sự thay đổi về tần số ta xác định được thông tin về thời gian trễ của tín hiệu từ đó xác định được khoảng cách vật thể.

Một số ứng dụng của radar này trong thực tế đó là xác định độ cao hiện thời của máy bay hoặc khảo sát tính bằng phẳng của một bề mặt nào đó. Ngoài ra còn có một loại radar khác có thể xác định được khoảng cách vật thể đó là radar phát xung sẽ được đề cập ở phần sau.

2.4.3 Synthetic Aperture Radar

Hệ thống Radar khẩu độ tổng hợp thuộc vào nhóm *mapping radar*. Những radar loại này thường được sử dụng trên máy bay hoặc vệ tinh để tái hiện lại hình ảnh của một vùng trên mặt đất bằng việc quét bề mặt đó bằng sóng điện từ. Trong trường hợp này, hệ thống SAR sẽ di chuyển dọc theo bề mặt mà nó muốn tái hiện và lưu trữ dữ liệu rồi chuyển sang bộ xử lý tín hiệu từ đó tái hiện lại hình ảnh của bề mặt đó. Độ phân giải của hệ thống càng cao ta sẽ thu được hình ảnh càng rõ nét và có thể so sánh với ảnh chụp từ *camera*.



Hình 2.19: Mô hình Synthetic Aperture Radar

Một ưu điểm của hệ thống *mapping radar* này so với *camera* đó là có thể thu thập dữ liệu bất kể ngày và đêm và không bị ảnh hưởng bởi mây, mù hay thời tiết.

Ngược lại đối với công nghệ phòng thủ, một hệ thống ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) được sử dụng theo cách ngược lại, trong trường hợp này radar sẽ đứng yên và tái hiện lại hình ảnh của vật thể di chuyển khi vật thể này di chuyển ngang qua búp sóng anten của hệ thống.

Điểm khác nhau chính yếu nằm ở việc hoặc radar di chuyển hoặc vật thể chuyển động. Đối với hệ thống SAR thì radar sẽ di chuyển động còn vật thể cần xác định sẽ đứng yên, trong khi đó đối với hệ thống ISAR thì radar sẽ đứng yên và vật thể sẽ di chuyển động. Một điểm chung dễ nhận thấy đó là cả hai hệ thống đều sử dụng cùng một nguyên lý hoạt động đó là dựa vào chuyển động tương đối của radar và vật thể từ đó tái hiện lại hình ảnh vật thể đó.

2.4.4 Simple Pulse Radar

Hệ thống radar phát xung (Pulse Radar) không sử dụng sóng mang liên tục như 3 loại radar đã đề cập ở trên, thay vào đó tín hiệu phát từ radar này ở dạng xung theo một chu kỳ xác định.

Đối với hệ thống radar phát xung những thông số tín hiệu cần được quan tâm đó là:

- Sóng mang liên tục - CF (Continuous Frequency)
- Độ rộng xung - PW (Pulse Width)
- Dạng điều chế (Modulation)
- Tần số lặp lại xung - PRF (Pulse Repetition Frequency), với $PRF = \frac{1}{PRP}$
Trong đó PRP: Chu kỳ lặp lại xung (Pulse Repetition Period) (Hình 2.20)

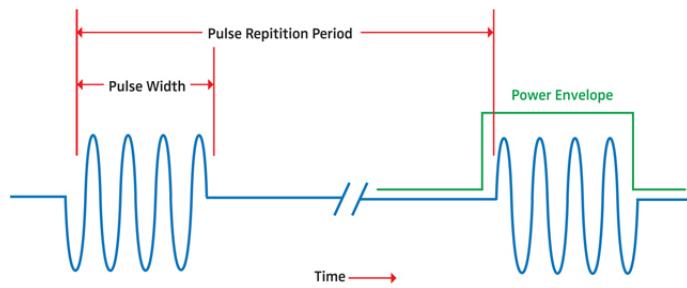
Trong đó thông số PRF là thông số quyết định đến mức độ rõ ràng (unambiguous) về thông tin nhận được (vận tốc hoặc khoảng cách) (Bảng 2.3). Do đó cần có sự chọn lựa PRF phù hợp với mục đích và yêu cầu của radar. [15]

PRF	Độ rõ ràng về khoảng cách	Độ rõ ràng về vận tốc
PRF thấp	Có	Không
PRF trung bình	Không	Không
PRF cao	Không	Có

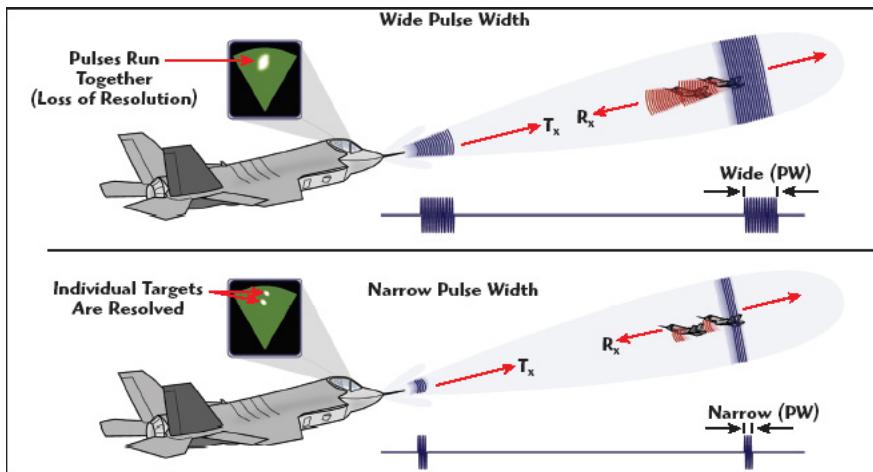
Bảng 2.3: Mối liên hệ giữa PRF và khả năng làm việc của radar phát xung
(Bảng 3.1, [15])

Khoảng cách vật thể được xác định nhờ vào thời gian trễ giữa xung nhận về và xung đã phát đi trước đó. Ta thấy rằng, độ rộng xung phát đi càng hẹp, sự chính xác trong việc tính toán thời gian trễ giữa tín hiệu phát và thu càng chính xác nhờ đó thông tin về khoảng cách của vật thể càng chính xác hơn. Do đó, độ rộng xung của tín hiệu sẽ quyết định độ phân giải khoảng cách của vật thể. Thông thường radar này được ứng dụng trong các hệ thống radar giám sát biển, xác định khoảng cách và radar thời tiết.

Từ ý tưởng về radar phát xung đơn giản, người ta đã phát triển thêm 2 loại radar phát xung khác đó là Pulse Doppler radar và MTI radar với khả năng xác định không chỉ khoảng cách mà còn cả vận tốc của vật thể được ứng dụng rất nhiều trong thực tế.



Hình 2.20: Dạng xung phát ra từ Pulse Radar



Hình 2.21: Mô hình radar phát xung và độ phân giải tương ứng với độ rộng xung

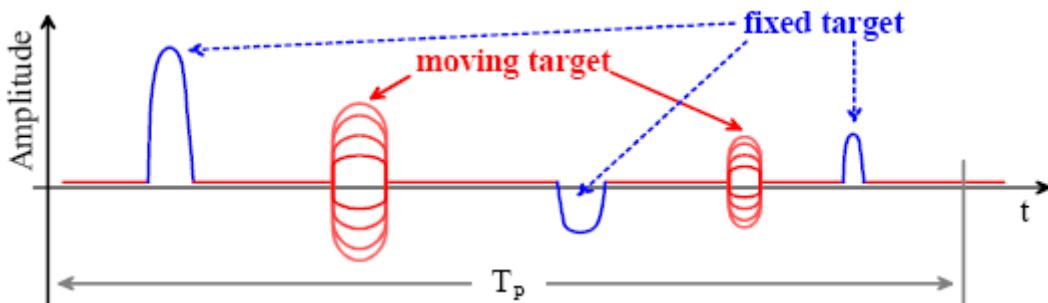
2.4.5 Moving - Target Indication (MTI) Radar

Ý tưởng xây dựng hệ thống MTI radar đó là một hệ thống có khả năng phân biệt được các vật thể chuyển động với vận tốc cao như máy bay hoặc tên lửa so với các vật thể khác có tốc độ chậm hoặc không di chuyển như các tòa nhà, ngọn núi, mây,... Nhờ đó, MTI radar thường được dùng trong các trạm quan sát các vật thể bay ở mặt đất hoặc trong các hệ thống giám sát, phòng thủ trong quân đội.

Hoạt động tương tự như một hệ thống pulse radar, tuy nhiên hệ thống sử dụng tín hiệu xung với hệ số PRF thấp, từ đó cho ta thông tin về khoảng cách vật thể một cách chính xác trong khi thông tin về vận tốc vật thể nhận được khá mơ hồ. Chính vì vậy, đối với những vật thể đứng yên hoặc chuyển động rất chậm, tín hiệu nhận về ít có sự thay đổi về mặt biên độ trong khi đối với những vật thể có vận tốc chuyển động lớn cho ta sự thay đổi về biên độ của tín hiệu nhận về từ đó giúp phân biệt được các vật thể khác nhau. (Chương 4, [14])

2.4.6 Pulse Doppler Radar

Tương tự như hệ thống MIT, hệ thống Pulse Doppler radar cũng hoạt động dựa trên hiệu ứng Doppler để xác định vận tốc vật thể. Tuy nhiên, hệ thống này hoạt động với thông số PRF cao hơn so với hệ thống MIT.



Hình 2.22: Tín hiệu nhận về từ MIT radar đối với vật thể chuyển động và không chuyển động (Hình 7, trang 15, [14])

Hệ thống *Pulse Doppler radar* thường sử dụng hệ thống PRF ở mức trung bình và cao, trong đó hệ thống hoạt động với thông số PRF cao sẽ cho ta thông tin rõ ràng về vận tốc, nhưng khá mơ hồ về thông tin khoảng cách vật thể, đối với hệ thống hoạt động với thông số PRF trung bình cho ta thông tin về khoảng cách cũng như vận tốc vật thể một cách không rõ ràng.

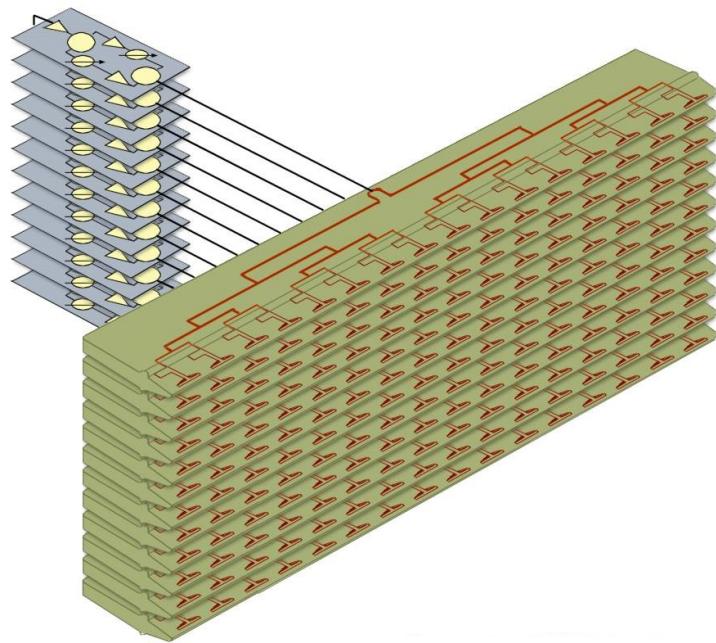
2.4.7 Radar sử dụng mảng anten (Phased - Array Radar)

Đối với những hệ thống radar vừa đề cập, anten sử dụng trong hệ thống thường được đặt cố định với một hướng bức xạ xác định. Thông thường, độ rộng búp sóng của anten sử dụng trong radar khá hẹp nhằm tăng tính chính xác trong việc xác định vật thể. Tuy nhiên, điều đó gây khó khăn cho radar trong việc quan sát các vùng rộng lớn, do vậy ngày xưa người ta thường thiết kế hệ thống anten có thể xoay được nhờ đó giúp radar có thể hoạt động ở vùng không gian rộng hơn. Việc thiết kế anten xoay dựa vào cơ học khiến cho hệ thống radar hoạt động với độ trễ rất cao (do dùng *motor* để xoay anten) có thể dẫn đến việc mất thông tin và hệ thống trở nên cồng kềnh hơn.

Ngày nay, với sự ra đời của hệ thống mảng anten (Hình 2.23) - bản chất là hệ thống anten được ghép nối từ nhiều anten nhỏ, đơn giản theo cấu trúc 2 chiều hoặc 3 chiều - người ta có thể tạo ra hệ thống radar hoạt động theo mọi hướng mặc dù anten vẫn được đặt cố định.

Tùy thuộc vào sự lệch pha của dòng điện đặt vào mỗi anten, ta thay đổi được hướng bức xạ của hệ thống anten nhờ đó giúp thay đổi được hướng của búp sóng anten mà không cần phải xoay anten. Lợi thế của mảng anten đó là có thể giúp thay đổi hướng của búp sóng anten mặc dù anten vẫn được giữ cố định nhờ đó làm giảm sự cồng kềnh so với hệ thống anten xoay. Ngoài ra, tốc độ thay đổi hướng của búp sóng anten trong hệ thống dùng mảng anten có thể đạt được rất cao, do vậy hạn chế được sự mất tín hiệu do độ trễ cơ học gây ra.

Tuy nhiên, việc thiết kế hệ thống mảng anten mất chi phí rất lớn, do vậy hệ thống *Phased Array Radar* thường được sử cho các mục đích quân sự hoặc các ứng dụng trong vệ tinh.



Hình 2.23: Hệ thống mảng anten



Hình 2.24: Hệ thống radar sử dụng mảng anten

Ký hiệu các dãy tần	Dãy tần chuẩn	Dãy tần phân chia dựa theo ITU
HF	$3 \div 30$ [MHz]	
VHF	$30 \div 300$ [MHz]	$138 \div 144$ [MHz], $216 \div 255$ [MHz]
UHF	$300 \div 1000$ [MHz]	$420 \div 450$ [MHz], $890 \div 942$ [MHz]
L	$1.0 \div 2.0$ [GHz]	$1215 \div 1400$ [MHz]
S	$2.0 \div 4.0$ [GHz]	$2.3 \div 2.5$ [GHz], $2.7 \div 3.7$ [GHz]
C	$4.0 \div 8.0$ [GHz]	$4.2 \div 4.4$ [GHz], $5.25 \div 5.925$ [GHz]
X	$8.0 \div 12.0$ [GHz]	$8.5 \div 10.68$ [GHz]
K_u	$12.0 \div 18.0$ [GHz]	$13.4 \div 14$ [GHz], $15.7 \div 17.7$ [GHz]
K	$18.0 \div 27.0$ [GHz]	$24.05 \div 24.25$ [GHz], $24.65 \div 24.75$ [GHz]
K_a	$27.0 \div 40.0$ [GHz]	$33.4 \div 36$ [GHz]
V	$40.0 \div 75.0$ [GHz]	$59.0 \div 64.0$ [GHz]
W	$75 \div 110.0$ [GHz]	$76.0 \div 81.0$ [GHz], $92.0 \div 100$ [GHz]

Bảng 2.4: Các dãy tần số hoạt động của radar theo chuẩn IEEE
(Bảng 1.1, [16])

2.5 Các dãy tần số hoạt động của Radar

HF ($3 \div 30$ [MHz]:) Phần lớn các loại radar hoạt động ở dãy tần HF được dùng để xác định các vật thể ở khoảng cách rất xa (lớn hơn 3700 km - 2000 nautical mile [16]) vì sóng điện từ ở băng tần HF được khúc xạ rất tốt khi đi qua tầng điện ly.

Mục tiêu của các radar hoạt động ở băng tần HF thường là trực thăng, tàu biển, tên lửa đạn đạo. Ngoài ra, các loại radar vừa đề cập còn được dùng để thu nhận sóng phản xạ từ bề mặt của các đại dương, từ đó thu nhận thông tin về hướng cũng như tốc độ của gió lướt trên mặt biển.

VHF ($30 \div 300$ [MHz]:) Hệ thống radar đầu tiên được chế tạo vào những năm 1930 hoạt động ở băng tần VHF. Vào thời điểm đó băng tần VHF được xem là băng tần cao nhất mà công nghệ chế tạo radar có thể đạt tới được. Tần số sóng radar ở băng tần này thích hợp cho các ứng dụng như các hệ thống giám sát bầu trời (Air Surveillance) hoặc xác định tên lửa đạn đạo. Tại băng tần này, hệ số phản xạ đối với mặt đất khá cao đặc biệt là đối với mặt nước, do vậy sự giao thoa giữa sóng phản xạ trực tiếp và sóng phản xạ từ bệ mặt giúp tăng một cách đáng kể tầm hoạt động của hệ thống radar ở băng tần VHF. Tuy nhiên, hiện tượng giao thoa sóng luôn tồn tại một vấn đề bên cạnh sự cộng hưởng sóng đó là sự triệt tiêu sóng tại điểm nút. Như vậy, trong trường hợp tín hiệu bị triệt tiêu sẽ gây ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả làm việc của radar.

Đối với cùng một loại vật thể, diện tích bề mặt phản xạ (RCS) của radar hoạt động ở băng tần VHF cao hơn so với các băng tần cao hơn, ngoài ra chi phí cho việc xây dựng radar ở băng tần VHF cũng thấp hơn so với các băng tần cao hơn với cùng tầm hoạt động.

UHF ($300 \div 1000$ [MHz]:) Những đặc trưng của hệ thống radar hoạt động ở băng tần VHF cũng được mở rộng để hoạt động ở băng tần UHF. Loại radar thường được thiết kế hoạt động ở băng tần UHF đó là MTI (Moving - Target Indication) radar. Ngoài ra, băng tần UHF

còn phù hợp cho việc thiết kế các hệ thống radar hoạt động ở tầm xa như xác định và theo dõi vệ tinh hoặc tên lửa đạn đạo. Đặc biệt, dãy tần số trên (upper portion) thuộc dãy tần UHF được sử dụng cho các hệ thống radar quan sát theo dõi bầu trời (Air Surveillance) hoặc các radar có khả năng khảo sát hướng cũng như tốc độ của các luồng gió.

Băng tần L (1.0 ÷ 2.0 [GHz]:) Dãy tần L cũng phù hợp đối với *Air Surveillance radar*. Tuy nhiên, ở những dãy tần càng cao, ảnh hưởng của thời tiết đối với tín hiệu càng lớn đặc biệt là mưa hoặc bão. Do vậy, việc thiết kế radar ở dãy tần L phụ thuộc vào tần số đến việc giảm thiểu ảnh hưởng của thời tiết đến chất lượng của radar. Ngoài ra, radar hoạt động ở dãy tần này cũng được dùng để xác định vệ tinh hoặc các tên lửa được bắn ở khoảng cách giữa các châu lục (liên lục địa - *intercontinental ballistic missile*).

Băng tần S (2.0 ÷ 4.0 [GHz]:) Tầm hoạt động của hệ thống radar ở băng tần S vào khoảng $50 \div \text{nautical mile}$ và đặc biệt là các hệ thống radar 3D. Ta biết rằng, dãy tần số thấp thích hợp đối với các radar giám sát tầm xa, tuy nhiên độ chính xác cao trong việc xác định vị trí vật thể lại đạt được ở các radar hoạt động ở dãy tần cao. Radar ở băng tần S cho ta một sự thỏa hiệp tối ưu về hai khả năng làm việc trong cùng một hệ thống radar vừa được đề cập.

Các loại radar quan sát thời tiết thường được thiết kế ở băng tần S. Lý do là vì ở tần số thấp hơn, mức công suất tín hiệu phản xạ nhận về khá yếu, trong khi đó ở tần số cao hơn, tín hiệu lan truyền bị suy hao rất nhanh và do đó gây sai số lớn trong việc xác định thông tin về thời tiết. Có nhiều loại radar quan sát thời tiết được thiết kế để hoạt động ở tần số cao hơn, tuy nhiên tầm hoạt động thường ngắn hơn so với radar được thiết kế ở băng tần S.

Băng tần C (4.0 ÷ 8.0 [GHz]:) Băng tần C nằm giữa băng tần S và băng tần X, do đó các radar được thiết kế ở băng tần C mang những thuộc tính như những radar hoạt động ở băng tần S và X. Ngày xưa, rất nhiều ứng dụng được thực hiện ở những hệ thống radar hoạt động ở băng tần C, tuy nhiên ngày nay các ứng dụng đó được thực hiện ở các radar hoạt động hoặc ở băng tần S hoặc ở băng tần X.

Băng tần X (8.0 ÷ 12.0 [GHz]:) Băng tần X được dùng phổ biến đối với các radar ứng dụng trong quân sự. Radar hoạt động ở băng tần X được dùng cho các máy bay không vận trong quân sự với vai trò đánh chặn, chiến đấu hoặc tấn công đối với các vật thể dưới mặt đất. Đặc biệt, băng tần X thường được sử dụng cho các loại radar xác định hình ảnh vật thể (*imaging radar*) dựa trên nguyên lý SAR hoặc ISAR. Ngoài ra, băng tần X còn phù hợp cho việc thiết kế các loại radar thám hiểm đại dương, radar dung trên máy bay nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của thời tiết đối với tầm quan sát của phi công, hoặc các loại radar nhằm xác định vận tốc vật thể.

Băng tần K_u, K, K_a (12.0 ÷ 40.0 [GHz]:) Tín hiệu ở tần số càng cao, kích thước anten được thiết kế dành cho tín hiệu đó càng giảm, điều này gây khó khăn cho việc tạo ra mức công suất lớn. Do vậy, tầm hoạt động của các loại radar hoạt động ở băng tần cao hơn băng tần

X thường thấp hơn so với hoạt động ở băng tần X. Băng tần này được sử dụng cho các radar kích thước nhỏ với tầm hoạt động ngắn.

2.6 Ứng dụng của Radar

2.6.1 Ứng dụng trong quân sự

Radar đầu tiên được thiết kế và chế tạo vào những năm 1930 nhằm mục đích chống lại các máy bay ném bom của các bên tham chiến. Do vậy, vai trò của radar đối với việc phòng thủ trong chiến tranh là vô cùng quan trọng. Trong các trận giao tranh, radar được sử dụng như một thiết bị theo dõi các vật thể trên bầu trời như máy bay chiến đấu, trực thăng, tên lửa và các vật thể bay không xác định khác. Ngoài ra, radar còn được sử dụng để điều khiển các vũ khí đánh chặn, súng cối, đại bác hoặc tên lửa.

2.6.2 Viễn thám môi trường

Ứng dụng chủ yếu của các loại radar viễn thám đó là quan sát và theo dõi tình hình thời tiết, từ đó đưa ra những dự đoán để đánh giá về diễn biến của các loại thời tiết như mưa, bão,... Ngoài ra, radar viễn thám còn được sử dụng trên các loại máy bay nhằm xác định độ cao của máy bay so với mực nước biển hoặc các loại radar tái hiện hình ảnh mặt đất được sử dụng trên máy bay hoặc vệ tinh.

2.6.3 Điều khiển không lưu

Ta biết rằng, tai nạn trong hàng không luôn gây thiệt hại rất lớn về con người. Do vậy, an toàn là một vấn đề quan trọng hàng đầu đối với vận chuyển không lưu hiện nay. Các máy bay dân dụng luôn được trang bị hệ thống radar giúp phi cơ kiểm soát được đường bay, quan sát và theo dõi các máy bay lân cận khác cũng như cung cấp thông tin về thời tiết giúp định hướng đường bay phù hợp cho máy bay nhằm hạn chế những rủi ro có thể xảy ra.

2.6.4 Ứng dụng khác

Radar còn được sử dụng trong các trạm quan sát đại dương với vai trò điều hướng cho các loại tàu biển cũng như tìm kiếm cứu nạn đối với các loại tàu, thuyền gặp sự cố trên biển. Ngoài ra, radar còn được sử dụng để khảo sát bề mặt của các hành tinh lân cận Trái đất trong hệ mặt trời chẳng hạn như sao Kim. Bên cạnh đó, radar còn được ứng dụng trong các lĩnh vực dân sự như thiết bị kiểm tra tốc độ của phương tiện giao thông - một ứng dụng của CW Radar - hoặc được ứng dụng trong sinh học với việc khảo sát sự di chuyển của các loại chim hoặc côn trùng,...

2.7 Kết luận chương

Tổng quan về một hệ thống radar đã được trình bày trong chương 2 giúp người thiết kế có một cái nhìn khát quát về cấu tạo, chức năng cũng như ứng dụng của các loại radar trên thực tế. Những thông tin được đưa ra ở chương 2 sẽ là nền tảng cơ bản qua đó giúp người thiết kế đưa ra những quyết định phù hợp để xây dựng và hiện thực hóa một hệ thống radar. Trong phần tiếp theo, chúng ta sẽ cùng phân tích yêu cầu và mục đích đối với hệ thống radar cần thiết kể từ đó có những chọn lựa phù hợp trong việc xây dựng một hệ thống radar dựa trên những kiến thức được cung cấp ở chương 2.

Chương 3

Phân tích đề tài

Ở chương trước, chúng ta đã được tìm hiểu về nguyên lý hoạt động, những bộ phận và những đặc trưng cơ bản của một hệ thống radar cũng như những ứng dụng thực tế mà nó mang lại đối với cuộc sống của chúng ta. Từ đó, tạo nên cảm hứng và hình thành nên ý tưởng thực hiện một hệ thống radar trên thực tế, đó cũng chính là lý do thực hiện luận án này. Trong chương này, chúng ta sẽ xem xét và phân tích các vấn đề từ đó tính toán và đưa ra những lựa chọn hợp lý trước khi bắt đầu quá trình thiết kế.

3.1 Mục đích và yêu cầu thiết kế

Việc đưa một ý tưởng trở thành một sản phẩm trên thực tế luôn đòi hỏi người thiết kế hệ thống phải có những suy tính, tính toán và có những bước chuẩn bị thật chu đáo để hạn chế tối đa những sai lầm có thể mắc phải trong quá trình thiết kế. Để đạt được điều đó, người thiết kế phải nắm rõ mục đích thiết kế để làm gì và những yêu cầu như thế nào đối với hệ thống cần thiết kế, từ đó đưa ra những sự lựa chọn hợp lý và tối ưu cho hệ thống của mình.

3.1.1 Mục đích thiết kế

Như đã trình bày ở phần trước, mục đích của luận án này là hiện thực hóa một hệ thống radar trên thực tế với những tính năng cơ bản nhất như xác định vận tốc và sự thay đổi khoảng cách của vật thể chuyển động và ngoài ra là khả năng tái hiện hình ảnh vật chấn trong tầm hoạt động của radar. Từ đó, kiểm chứng lại những lý thuyết đã được đưa ra ở chương 2 cũng như củng cố và học hỏi thêm nhiều kiến thức thông qua quá trình thực hiện hệ thống radar này.

3.1.2 Yêu cầu thiết kế

Yêu cầu được đưa ra đối với hệ thống radar này:

Thứ nhất: Radar phải thực hiện được các chức năng đã trình bày ở phần 3.1.1.

Thứ hai: Radar có khả năng xử lý dữ liệu thời gian thực (realtime) ở hai chế độ: Đo vận tốc (Doppler) và đo khoảng cách (Ranging) với độ chính xác khoảng 90% so với dữ liệu thực tế.

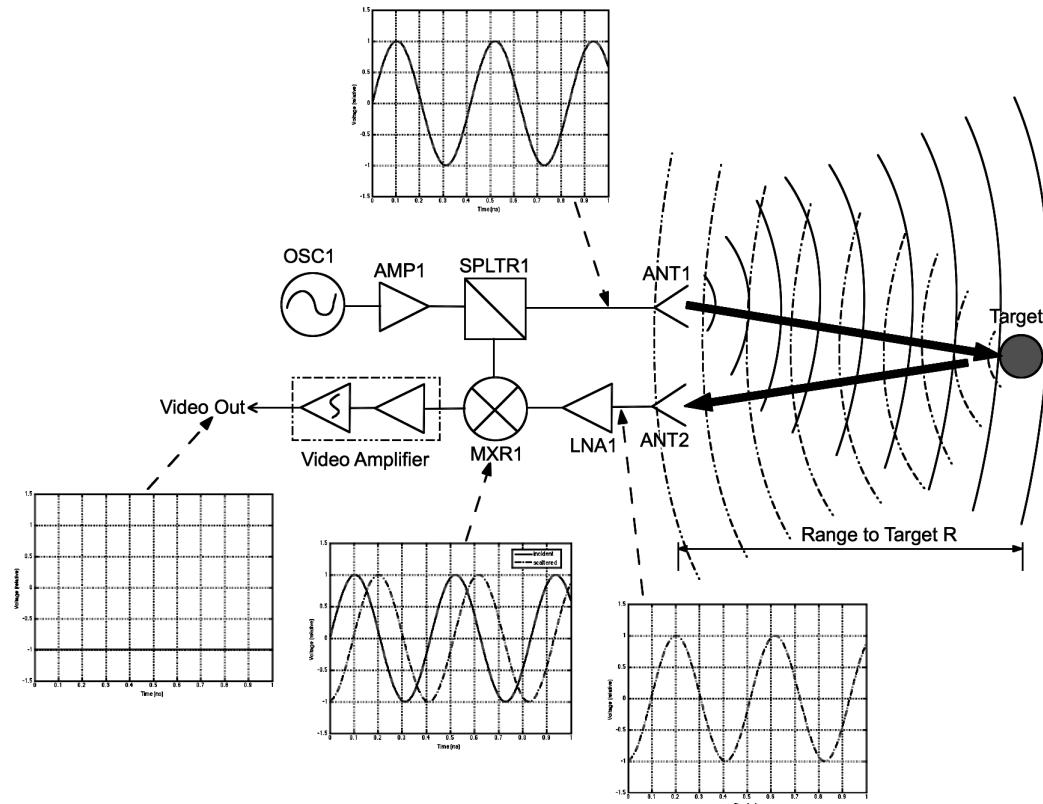
Thứ ba: Tầm hoạt động của hệ thống radar này được yêu cầu thiết kế trong khoảng dưới 50 m (tầm ngắn), chi phí xây dựng thấp, cấu trúc đơn giản, băng thông $200 \div 300$ [MHz].

Thứ tư: Hệ thống cần được thiết kế để hoạt động trong dãy tần cho phép của ITU đối với Việt Nam cụ thể là băng tần ISM - 2.4 GHz.

3.2 Các loại Radar được sử dụng

Sau khi đã hiểu rõ mục đích và yêu cầu thiết kế của hệ thống radar, chúng ta sẽ cùng đi sâu tìm hiểu về hai loại radar phổ biến có thể dùng để thực hiện những tính năng được đưa ra ở phần 3.1.1.

3.2.1 Continuous Wave (CW) Radar



Hình 3.1: Sơ đồ khối hệ thống CW Radar diễn hình
(Hình 1.23, trang 30, [12])

Một hệ thống CW radar hay còn gọi là Doppler radar hoạt động như một cảm biến chuyển động giúp đóng, mở cửa tự động ở các trung tâm thương mại hoặc được dùng trong công nghệ chế tạo "súng bắn tốc độ" được cảnh sát giao thông sử dụng để xác định vận tốc các phương

tiện đang lưu thông trên đường. Đó là hai ví dụ điển hình cho ứng dụng của hệ thống CW radar trong thực tế. Trong phần này, chúng ta sẽ cùng tìm hiểu kĩ hơn về cấu trúc của các bộ phận trong radar, cách thu nhận và xử lý tín hiệu cũng như tầm hoạt động của hệ thống radar này.

3.2.1.1 Cấu trúc của một hệ thống CW Radar

Hầu hết hệ thống CW Doppler Radar đều có cấu tạo tương tự với dạng radar được minh họa ở hình 3.1. Trong đó, sóng mang ở dạng liên tục được tạo ra bởi VCO (OSC1) ở một tần số cố định (điện áp ở Vtune là hằng số), kế đến được khuếch đại lên một mức công suất nhất định thông qua bộ khuếch đại công suất (AMP1), sau đó được chia thành hai phần bởi bộ chia công suất (SPLTR1) và một phần công suất được bức xạ ra không gian nhờ anten ở phía phát, phần còn lại được đưa vào chân LO của bộ trộn tần (MXR1). Sóng bức xạ sau khi gặp vật thể đang chuyển động sẽ bị tán xạ theo nhiều hướng khác nhau và một phần năng lượng đó phản xạ vào anten ở phía thu, từ đó tín hiệu thu nhận được khuếch đại nhờ một bộ khuếch đại nhiễu thấp (LNA1) và sau đó được đưa vào chân RF của bộ trộn tần (MXR1) kết hợp với tín hiệu phát tại chân LO tạo ra tín hiệu ở ngõ ra bộ trộn tần và được chuyển vào bộ Video Amplifier để lọc và khuếch đại tín hiệu lên một lần nữa. Tín hiệu ở ngõ ra bộ Video Amplifier sẽ được số hóa và được xử lý để xác định vận tốc vật thể dựa theo hiệu ứng Doppler.

Trong phần tiếp theo chúng ta sẽ tìm hiểu lại về hiệu ứng Doppler (Phần 3.2.1.2) và ứng dụng của hiệu ứng Doppler đối với việc tính toán vận tốc vật thể (Phần 3.2.1.3).

3.2.1.2 Hiệu ứng Doppler

Năm 1842, nhà vật lý học người Áo Christian Andreas Doppler đã có một phát biểu về một hiện tượng của sóng âm mà sau này hiện tượng đó được gọi là hiệu ứng mang tên ông - hiệu ứng Doppler.

Một cách ngắn gọn, hiệu ứng Doppler được phát biểu như sau:

- Nếu sóng được phát ra từ nguồn phát cố định đến một đầu thu cố định thì tần số thu bằng tần số phát.
- Nếu khoảng cách giữa đầu thu và đầu phát thay đổi trong khoảng thời gian thu nhận sóng thì bước sóng sẽ dài ra hoặc ngắn lại: bước sóng ngắn lại (tần số tăng) khi đầu thu và đầu phát di chuyển lại gần nhau, ngược lại bước sóng sẽ dài ra (tần số giảm) khi đầu thu và đầu phát di chuyển ra xa nhau.

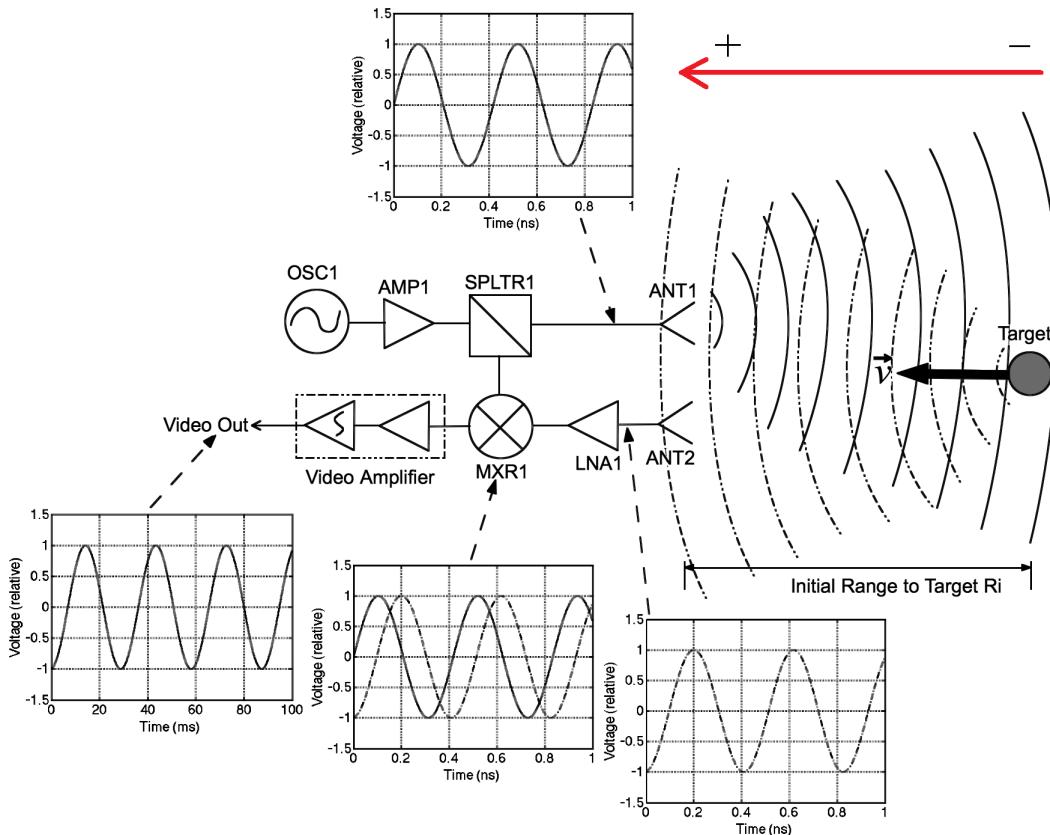
Hiệu ứng Doppler là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến việc truyền tín hiệu vì khi người dùng chi chuyển (lại gần hoặc ra xa) đối với trạm BTS thì tần số sóng tới máy thu sẽ thay đổi, từ đó ảnh hưởng đến việc thu nhận và xử lý thông tin.

3.2.1.3 CW Doppler Radar

Xét một vật thể đang chuyển động về phía radar và với chiều dương vận tốc được cho như hình 3.2. Gọi khoảng cách ban đầu và khoảng cách tức thời của vật thể so với radar lần lượt là R_i

và R , từ đó ta có quan hệ của khoảng cách theo vận tốc và thời gian chuyển động như sau:

$$R = vt + R_i. \quad (3.1)$$



Hình 3.2: Hệ thống CW Radar và hiệu ứng Doppler
(Hình 2.1, trang 40, [12])

Mặt khác, xét một vật thể đứng yên trước radar và gọi n là số bước sóng tín hiệu được phát ra trong khoảng thời gian từ khi tín hiệu được phát ra đến khi thu nhận từ anten thu, ta có:

$$n = \frac{2R}{\lambda}, \text{ với} \quad (3.2)$$

λ : chiều dài một bước sóng [m].

R : khoảng cách từ radar đến vật thể [m].

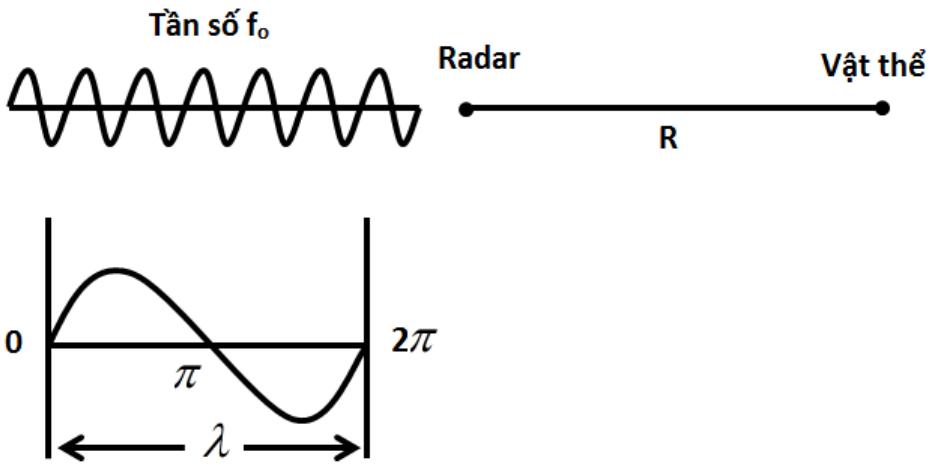
Như vậy, độ trễ pha của tín hiệu thu so với tín hiệu phát được tính như sau:

$$\phi_R = n2\pi = \frac{4\pi R}{\lambda} = \frac{4\pi R f_o}{c}, \text{ với} \quad (3.3)$$

$$\lambda = \frac{c}{f_o}$$

c : vận tốc ánh sáng trong chân không [m/s].

f_o : tần số của tín hiệu phát từ radar [Hz].



Hình 3.3: Sự trễ pha của tín hiệu thu đối với tín hiệu phát

Ở chương trước ta đã biết vận tốc lan truyền của sóng điện từ trong không gian tự do xấp xỉ bằng với vận tốc ánh sáng trong chân không. Như vậy, vận tốc của tín hiệu phát từ radar nhanh hơn rất nhiều so với vận tốc chuyển động của vật thể mà ta đang xét ($c \gg v$), từ đó ta thấy rằng, trong khoảng thời gian từ khi sóng bức xạ từ anten phát và trở về anten thu thì khoảng cách của vật thể được xem là không đổi.

Khi vật thể chuyển động, khoảng cách R thay đổi và ϕ_R cũng thay đổi tương ứng. Do đó, từ phương trình 3.1 và 3.3 ta có:

$$\phi_R(t) = \frac{4\pi f_o(vt + R_i)}{c} \quad (3.4)$$

Ta thấy rằng, sự thay đổi của ϕ_R theo thời gian tương ứng với một tần số góc, trên thực tế ta gọi là ω_d - tần số góc Doppler.

Từ đó, bằng một phép đạo hàm đơn giản cho hai vế của phương trình 3.4 ta được:

$$\frac{d\phi_R(t)}{dt} = \frac{d\frac{4\pi f_o(vt + R_i)}{c}}{dt} \quad (3.5)$$

$$\omega_d = \frac{4\pi f_o v}{c} = 2\pi f_d \quad (3.6)$$

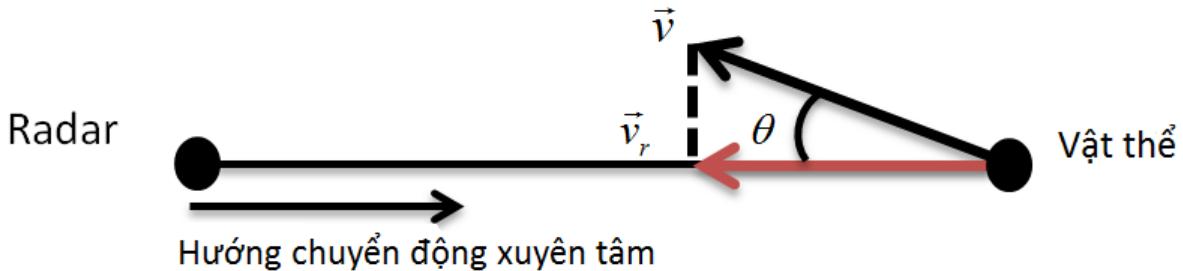
$$v = \frac{c}{2f_o} f_d \quad (3.7)$$

Trong đó:

f_d : tần số dịch chuyển Doppler hay còn gọi là sự chênh lệch tần số giữa tín hiệu thu và phát [Hz].

v : là vận tốc vật thể [m/s].

Giả sử radar này hoạt động ở tần số $f_o = 2.4 \text{ GHz}$. Vận tốc của các phương tiện giao thông dao động trong khoảng $v = 5 \div 50 \text{ [m/s]}$, từ đó ta tính được khoảng tần số Doppler trong khoảng: $f_d = 80 \div 800 \text{ [Hz]}$.



Hình 3.4: Vận tốc tương đối và vận tốc thực tế của vật thể chuyển động so với radar

Tuy nhiên vấn đề không đơn giản như vậy. Quan sát lại hình 3.2, ta thấy rằng vận tốc của vật thể đang xét so với radar là vận tốc xuyên tâm. Giả sử radar đứng yên và đang thu nhận tín hiệu từ vật thể chuyển động, nếu vật thể chuyển theo một góc lệch θ so với hướng nhận tín hiệu xuyên tâm của anten thu như hình 3.4, với \vec{v} là vận tốc thực tế của vật thể so với mặt đất và \vec{v}_r là vận tốc tương đối mà radar thu nhận được. Từ đó ta suy ra công thức tổng quát cho việc tính toán vận tốc cho hiệu ứng Doppler như sau:

$$v = \frac{c}{2f_o} f_d \frac{1}{\cos \theta}, \text{ với} \quad (3.8)$$

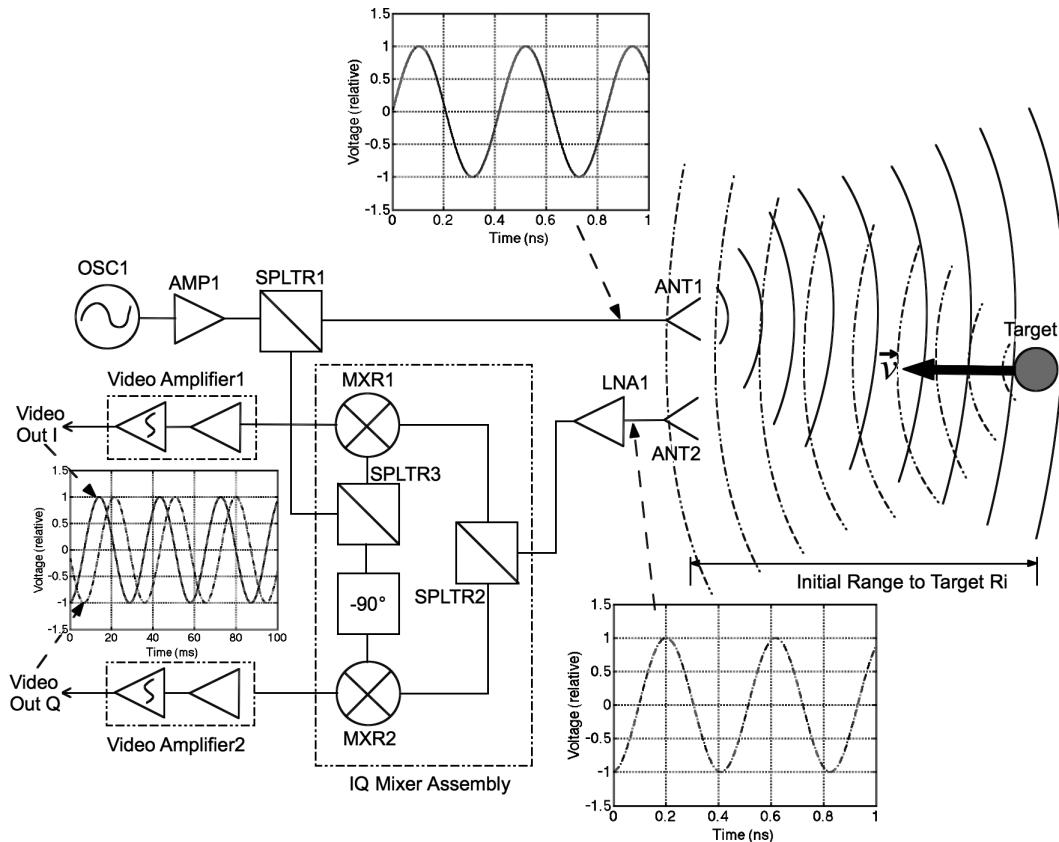
θ : góc lệch so với hướng chuyển động xuyên tâm với radar.

Như vậy, nếu ta đặt hướng của anten thu vuông góc với hướng chuyển động của vật ($\theta = 90^\circ$) ta sẽ không thu được kết quả nhận về từ radar. Trên thực tế, để thu được kết quả chính xác nhất, ta phải chọn vị trí thu nhận tín hiệu của radar sao cho hướng di chuyển của vật thể gần với hướng xuyên tâm của radar nhất có thể.

Một vấn đề khác cần bàn luận ở đây đó là làm sao ta xác định được dấu của v hay hướng chuyển động của vật thể so với radar?

Quan sát lại hình 3.2, ta thấy cấu trúc của hệ thống CW radar bao gồm một bộ phát sóng với tần số f_o cố định và một bộ thu. Tín hiệu từ bộ tạo sóng (oscillator) sau khi được khuếch đại sẽ được chia đôi bởi bộ chia công suất (spliter), một phần được bức xạ ra không gian tự do nhờ anten phát, một phần được truyền thẳng vào chân LO của bộ trộn tần (mixer) và được trộn với tín hiệu thu được từ anten thu ($f_o \pm f_d$) nhờ đó ta được tín hiệu với hai tần số $\pm f_d$ và $2f_o \pm f_d$ theo nguyên lý được trình bày ở phần 2.2.3. Dấu cộng hoặc trừ của f_d được dùng để diễn tả chiều di chuyển của vật thể so với radar. Nếu f_d mang dấu cộng nghĩa là vật thể chuyển động lại gần radar và ngược lại nếu f_d mang dấu trừ nghĩa là vật thể chuyển động

ra xa radar. Tuy nhiên, như đã đề cập ở phần 2.2.3, tín hiệu mang tần số âm sẽ được dịch pha 180° để trở thành tín hiệu mang tần số dương tương ứng. Do đó, đối với hệ thống CW radar như hình 3.2, ta không thể xác định được chiều của vận tốc vật thể. Để giải quyết vấn đề này người ta đề xuất một cấu trúc mới đối với hệ thống CW radar để có thể xác định được chiều vận tốc của vật thể như hình 3.5.



Hình 3.5: Hệ thống CW radar sử dụng bộ dịch pha 90°
(Hình 2.2, trang 41, [12])

Nhìn vào hình 3.5 ta thấy, ở phía phát không có gì thay đổi so với hệ thống radar ở hình 3.2, tuy nhiên ở phía thu có sự thay đổi ở số kênh tín hiệu nhận về để xử lý đó là 2 kênh I và kênh Q. Đối với kênh I, tín hiệu nhận về được trộn giữa tín hiệu phát và tín hiệu thu (tương tự với hệ thống radar ở hình 3.2), đối với kênh Q tín hiệu nhận về được trộn giữa tín hiệu phát đã được dịch pha -90° với tín hiệu thu được từ anten thu.

Giả sử tín hiệu hai tín hiệu ở kênh I và Q được hiển thị trên máy dao động ký (oscilloscope), ta lần lượt xét hai trường hợp chuyển động của vật thể so với radar, từ đó phân tích tín hiệu sẽ hiển thị trên máy dao động ký.

Bảng 3.1 cho ta kết quả phân tích tín hiệu ở ngõ ra tại kênh I và kênh Q, từ đó ta rút ra nhận xét sau:

- Nếu tín hiệu tại kênh Q trễ pha hơn kênh I (cụ thể là 90°), ta suy ra vật thể chuyển động lại gần radar.

- Nếu tín hiệu tại kênh Q sớm pha hơn kênh I (cụ thể là 90^0), ta suy ra vật thể chuyển động ra xa radar.

Trường hợp	Vật thể chuyển động lại gần	Vật thể chuyển động ra xa
Tín hiệu phát	f_o	f_o
Tín hiệu thu	$f_o + f_d$	$f_o - f_d$
Tín hiệu tại kênh I	$+f_d = f_d$	$-f_d = f_d$
Tín hiệu tại kênh Q	$+f_d - 90^0 = f_d - 90^0$	$-f_d - 90^0 = f_d + 90^0$

Bảng 3.1: Phân tích kết quả ngõ ra từ 2 kênh I và Q

Như vậy đối với hệ thống trên ta đã giải quyết được bài toán về xác định hướng của chuyển động so với radar. Tuy nhiên, trên thực tế người ta không dùng oscilloscope để quan sát tín hiệu, thay vào đó người ta sẽ số hóa tín hiệu ở hai kênh I và Q. Đặc biệt, người ta nhận ra rằng, nếu tín hiệu phát là thực thì tín hiệu ở kênh I sẽ là thực và tín hiệu ở kênh Q sẽ là thuần ảo.

3.2.1.4 Xử lý dữ liệu đối với hệ thống CW radar

Tín hiệu ở ngõ ra bộ mixer sẽ được đưa qua bộ *video amplifier* để lọc và khuếch đại tín hiệu thêm một lần nữa trước khi được xử lý. Cấu tạo bộ *video amplifier* bao gồm một tầng khuếch đại và một tầng lọc tín hiệu (bộ lọc thông thấp) để loại bỏ tín hiệu ứng với tần số $2f_o \pm f_d$. Như vậy tín hiệu sau khi đi qua bộ *video amplifier* chỉ đơn thuần là tín hiệu với tần số f_d . Tuy nhiên, trên thực tế tín hiệu ta nhận được sau khi đi qua bộ khuếch đại là một tín hiệu không chỉ có một tần số mà là tổ hợp những tần số f_d khác nhau tương ứng với nhiều vật thể chuyển động với những vận tốc khác nhau. Trong phần này, chúng ta sẽ phân tích rõ hơn về cách xử lý tín hiệu đối với những tín hiệu vừa được đề cập.

Có ba phương pháp được dùng để xử lý tín hiệu đối với hệ thống CW radar: sử dụng bộ đếm tần số (frequency counter), bộ chuyển đổi tần số sang điện áp (frequency - voltage converter) và biến đổi *Fourier* rời rạc. Trong đó, đếm tần số và biến đổi tần số sang điện áp là hai phương pháp khá đơn giản, tuy nhiên tồn tại vấn đề đó là chỉ xử lý được những tín hiệu đơn tần hay cụ thể là chỉ xử lý được tín hiệu từ một vật thể đơn lẻ. Nếu tín hiệu nhận về từ nhiều vật thể, kết quả trả về từ hai phương pháp trên sẽ là của vật thể có cường độ lớn nhất.

Đối với phương pháp biến đổi *Fourier* rời rạc (hay còn gọi là phân tích phổ DFT của tín hiệu), tín hiệu nhận về từ nhiều vật thể khác nhau sẽ được số hóa (digitizing) kế đến được chuyển đổi từ miền thời gian sang miền tần số. Từ đó ta có được dạng phổ *Doppler* của tín hiệu với những vạch phổ tương ứng với những vật thể khác nhau, nhờ đó phương pháp này có khả năng xử lý các tín hiệu đến từ nhiều vật thể khác nhau.

Công thức biến đổi *Fourier* rời rạc (Discrete Fourier Transform - DFT) được trình bày ở phương trình 3.11

$$S_\omega = \sum_{n=0}^{N-1} s_n e^{-j\omega n/N}, \text{ với} \quad (3.9)$$

$$j = \sqrt{-1}$$

$$\omega = 2\pi f$$

N: số mẫu DFT

Khi sử dụng *DFT*, vấn đề quan trọng cần phải nắm rõ đó là phô DFT của tín hiệu được tính toán với N điểm tương ứng với số mẫu trong miền thời gian của tín hiệu. Từ đó, thời gian lấy mẫu sẽ được tính theo công thức: $t_{sample} = N/f_s$, với f_s là tần số lấy mẫu của tín hiệu. Như vậy, mỗi bước nhảy tần số giữa hai điểm DFT sẽ là: $\delta f = 1/t_{sample}$ (đối với tín hiệu phức) và $\delta f = 2/t_{sample}$ đối với tín hiệu thực.

Tương ứng với N mẫu tín hiệu ở miền thời gian ta sẽ có n điểm DFT ở miền tần số, trong một số trường hợp để nâng cao tính liên tục cho phô DFT, người ta thường thêm các điểm 0 (zeros padding) vào mẫu tín hiệu ở miền thời gian. Ngoài ra, một giải thuật tính toán nhanh phô DFT được biết đến với tên gọi FFT (Fast Fourier Transform) được sử dụng trong các phần mềm tính toán hiện nay nhằm nâng cao hiệu suất tính toán. Trong đó, MATLAB là một phần mềm xử lý số hỗ trợ các công cụ tính toán hiện đại bao gồm cả giải thuật FFT.

3.2.1.5 Tầm hoạt động của hệ thống CW Radar

Tầm hoạt động của hệ thống *CW radar* được tính toán dựa theo phương trình 2.4. Tuy nhiên, hệ thống *CW radar* sử dụng sóng mang liên tục, do đó phương trình tầm hoạt động của hệ thống *CW radar* được giản lược và được trình bày ở phương trình 3.10

$$R_{\max}^4 = \frac{P_{ave} G_{tx} A_{rx} \rho_{rx} \sigma e^{2\alpha R_{\max}}}{(4\pi)^2 k T_0 B_n (SNR)_1 L_s}, \text{ với} \quad (3.10)$$

R_{\max} : tầm hoạt động tối đa của hệ thống radar [m]

P_{ave} : công suất phát trung bình [W]

G_{tx} : độ lợi anten phát

A_{rx} : khẩu độ anten thu [m^2]

ρ_{rx} : hiệu suất anten thu

σ : diện tích phản xạ radar (RCS) [m^2]

L_s : tổng suy hao của hệ thống

α : hệ số suy hao của tín hiệu lan truyền trong không gian tự do

F_n : hệ số *Noise Figure* của hệ thống

k : hằng số Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$)

T_0 : nhiệt độ chuẩn ($27^\circ C = 290^\circ K$)

B_n : băng thông nhiễu của hệ thống [Hz]

$(SNR)_1$: tỉ số tín hiệu trên nhiễu

3.2.2 Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar

Ở phần 3.2.1, ta thấy rằng nguyên lý cơ bản của một hệ thống CW radar đó là tần số dịch chuyển Doppler của vật thể chuyển động được dùng để xác định chuyển động cũng như vận

tốc tương đối của vật thể đó so với radar. Mặt khác, về cơ bản một trong những chức năng chính của một hệ thống radar đó là xác định khoảng cách vật thể, tuy nhiên đối với hệ thống CW radar ta chỉ xác định được khoảng cách nếu vật thể cách radar một khoảng nhỏ hơn giá trị một nửa bước sóng ($\lambda/2$), khi đó sự chênh lệch về pha của tín hiệu ($0 \div \pi$) sẽ cho ta giá trị chính xác của khoảng cách. Đối với những khoảng cách xa ($R \gg \lambda/2$), ta không thể xác định được khoảng thời gian từ lúc tín hiệu phát đi đến khi tín hiệu đó được nhận về từ anten thu, do đó ta không thể xác định được khoảng cách vật thể. Lý do đó là ta không thể phân biệt được từng phần của một tín hiệu liên tục.

Có hai giải pháp được đưa ra để giải quyết vấn đề trên đó là:

Giải pháp 1: Sử dụng tín hiệu xung Đối với hệ thống radar phát xung, tín hiệu được sử dụng là tín hiệu dạng xung được phát ra trong một khoảng PW (pulse width) nhất định và tồn tại một khoảng thời gian mà tại đó không có tín hiệu được phát ra cho đến hết chu kỳ (Hình 2.18). Nhờ đó, giúp ta phân biệt được thời điểm phát xung và thời điểm nhận được xung đã phát đó, qua đó tính toán được thời gian trễ của tín hiệu cũng như khoảng cách vật thể.

Giải pháp 2: Sử dụng điều chế tần số (FM) cho tín hiệu phát. Tín hiệu phát sẽ được thay đổi tần số một cách liên tục trong một chu kỳ. Từ đó, sự sai biệt giữa tần số của tín hiệu thu so với tín hiệu phát sẽ cho ta thông tin về thời gian trễ nhờ đó ta tính được khoảng cách vật thể. Sự thay đổi tần số của tín hiệu phát trong một khoảng thời gian càng lớn, sự chính xác trong việc xác định khoảng cách vật thể càng cao. Hệ thống radar hoạt động dựa theo nguyên lý vừa đề cập được gọi là FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) radar.

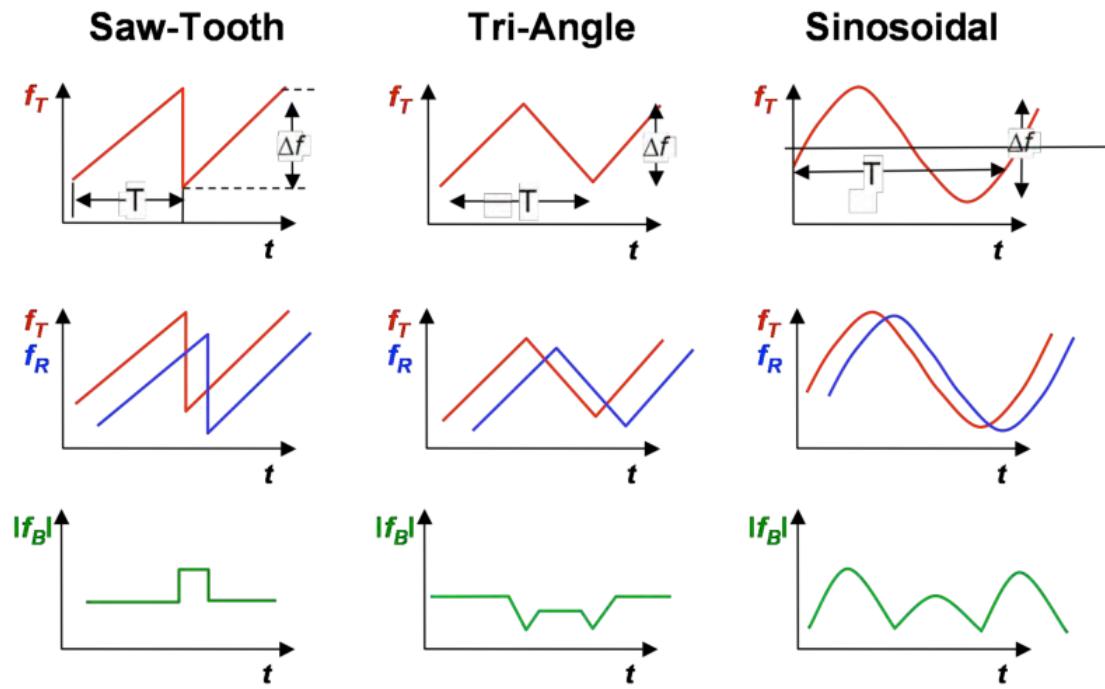
Đối với mỗi hệ thống được nêu ra ở trên, hệ thống nào cũng có ưu và nhược điểm của nó. Tuy nhiên, với những ưu điểm về: chí phí xây dựng thấp, cấu trúc hệ thống khá đơn giản, có thể xác định khoảng cách của các vật thể gần radar (near zero),... hệ thống FMCW radar là một lựa chọn tối ưu cho việc thiết kế một hệ thống radar thỏa mãn những yêu cầu đã đặt ra. Đó cũng chính là lý do trong phần này chúng ta chỉ tập nghiên cứu về cấu trúc hệ thống, các phương pháp xử lý tín hiệu cũng như tầm hoạt động của hệ thống FMCW radar.

3.2.2.1 Cấu trúc của một hệ thống FMCW Radar

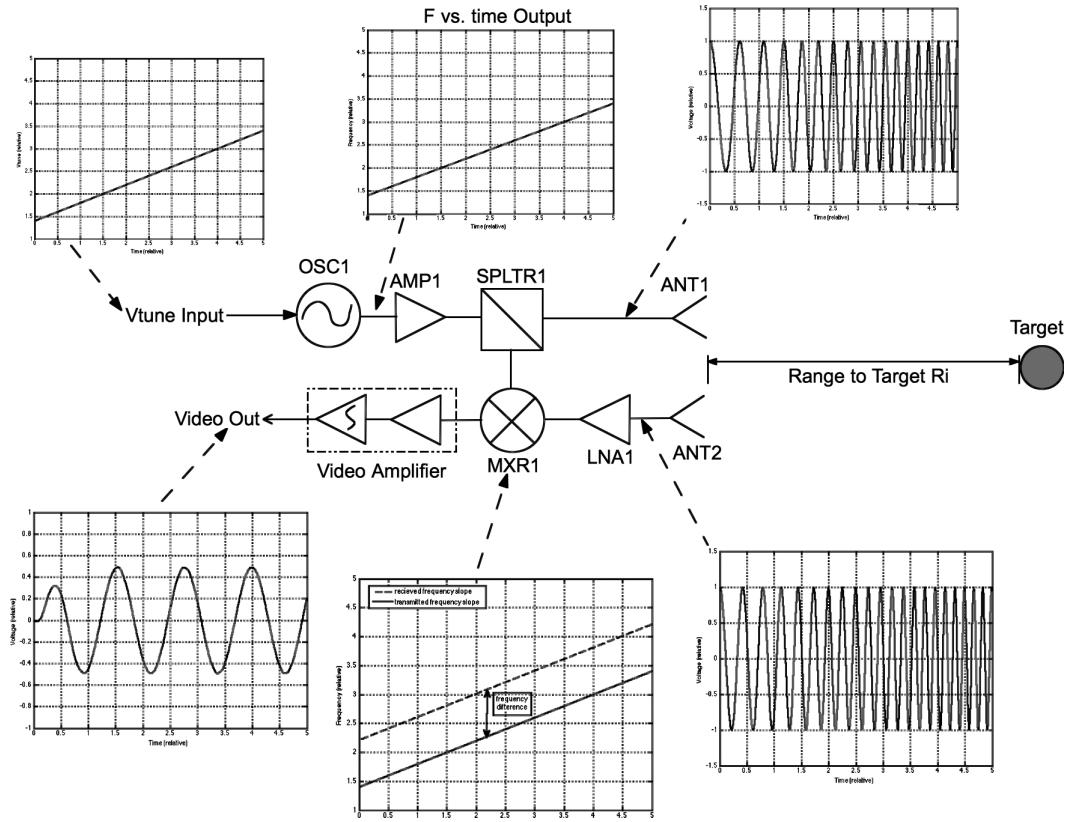
Có 3 loại điều chế tần số được minh họa ở hình 3.6

Tuy nhiên, trong phần này chúng ta chỉ tập trung nghiên cứu về hệ thống FMCW được điều chế dưới dạng xung tam giác (Tri-Angle) (Hình 3.7).

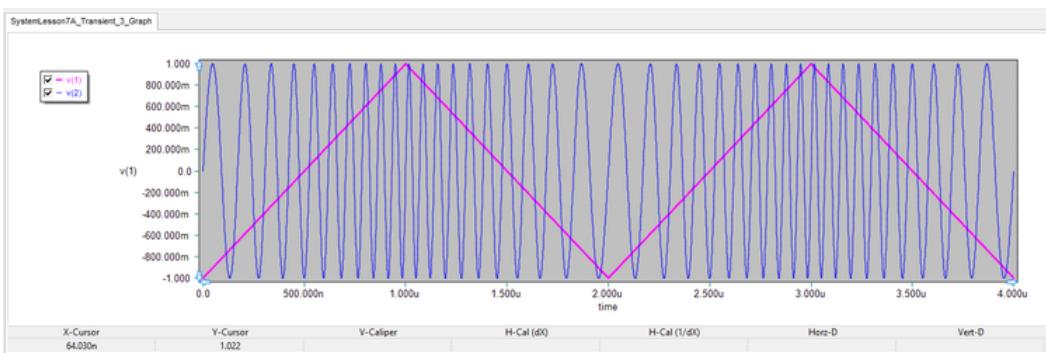
Nhìn vào hình 3.7 ta thấy, OSC1 là một bộ VCO với tần số tín hiệu ngõ ra được điều khiển bởi điện áp DC tại chân Vtune. Như vậy, một bộ điều chế sẽ được dùng để tạo ra dạng sóng tam giác đặt vào chân Vtune của OSC1. Từ đó tín hiệu dạng sin tại ngõ ra của bộ OSC1 cũng thay đổi tần số tương ứng (Hình 3.8).



Hình 3.6: Các dạng điều chế trong hệ thống FMCW radar
(Hình 7.7, trang 45, [17])



Hình 3.7: Sơ đồ khối hệ thống FMCW radar đơn giản
(Hình 3.1, trang 70, [12])



Hình 3.8: Điều chế xung tam giác và dạng sóng ngõ ra tương ứng

Cấu trúc và cách thức hoạt động của hệ thống radar này hoàn toàn giống như hệ thống CW radar đã được trình bày trước đó. Điểm khác biệt duy nhất đó là đối với hệ thống CW radar, giá trị điện áp tại Vtune được giữ cố định - hằng số - do vậy, tín hiệu phát tại anten là tín hiệu dạng sine liên tục với một tần số. Đối với hệ thống FMCW radar, tần số được thay đổi liên tục theo một chu kỳ và tuân theo quy tắc điều chế dạng xung tam giác (Hình 3.8). Từ đó tín hiệu cũng được bức xạ ra không gian tự do nhờ anten phát sau đó được thu nhận lại tại anten thu khi có vật thể và được trộn với tín hiệu phát tại bộ trộn tần (MXR1). Tương tự, tín hiệu tại ngõ ra bộ trộn tần cũng được đưa qua bộ Video Amplifier để lọc và khuếch trước khi được số hóa và xử lý tín hiệu.

Tùy theo mức độ chuyển động hoặc không chuyển động của vật thể nằm trong tầm hoạt động của radar mà tín hiệu nhận được tại ngõ ra của bộ Video Amplifier sẽ khác nhau.

Trong phần tiếp theo chúng ta sẽ cùng tìm hiểu về các đặc trưng về thông tin tín hiệu cũng như phương trình tính toán cho các loại thông tin đó tương ứng với các loại vật thể khác nhau vừa được đề cập.

3.2.2.2 FMCW Radar

Đối tượng của hệ thống FMCW radar được chia làm 2 loại: vật thể chuyển động hoặc vật thể không chuyển động. Đối với vật thể chuyển động, ta có vật thể chuyển động lại gần radar hoặc vật thể chuyển động ra xa radar. Sau đây ta sẽ xem xét các thông tin nhận được từ các loại vật thể vừa được đề cập, từ đó đưa ra phương trình tính toán cho các loại vật thể tương ứng.

Vật thể không chuyển động (No Doppler)

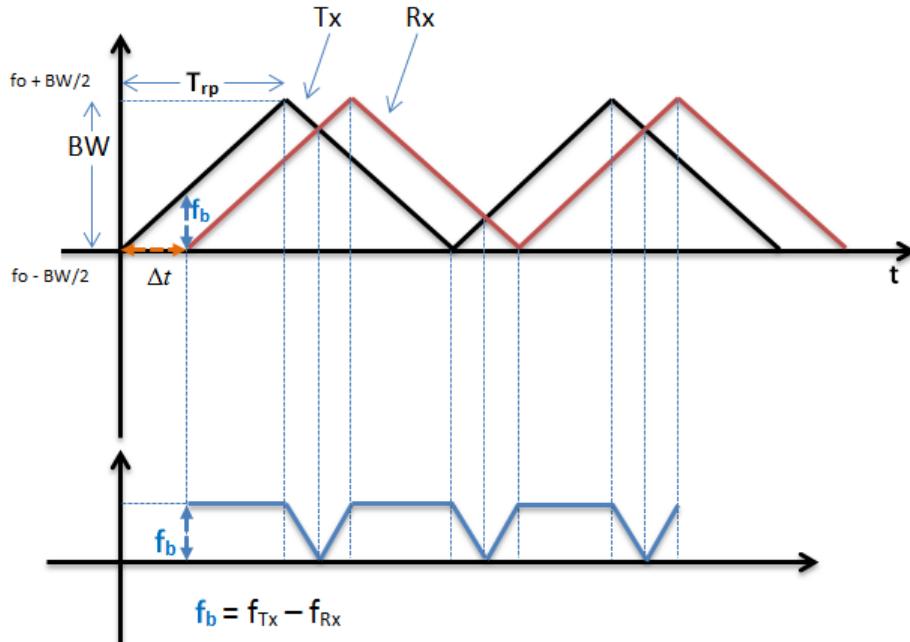
Đối với trường hợp vật thể không chuyển động, tín hiệu thu chỉ chứa thông tin về khoảng cách vật thể.

Gọi R là khoảng cách của vật thể so với radar, ta có:

$$R = c \frac{\Delta t}{2}, \text{ với} \quad (3.11)$$

Δt : Thời gian trễ giữa tín hiệu thu so với tín hiệu phát [s].

c: vận tốc ánh sáng trong chân không [m/s].



Hình 3.9: Trường hợp vật thể không chuyển động

Ta lại có:

$$\frac{f_b}{\Delta t} = \frac{BW}{T_{rp}}, \text{ với} \quad (3.12)$$

$f_b = f_{Tx} - f_{Rx}$ [Hz].

BW: Băng thông của tín hiệu điều chế [Hz].

T_{rp} : Nửa chu kỳ xung tam giác [s].

Từ 3.11 và 3.12, suy ra:

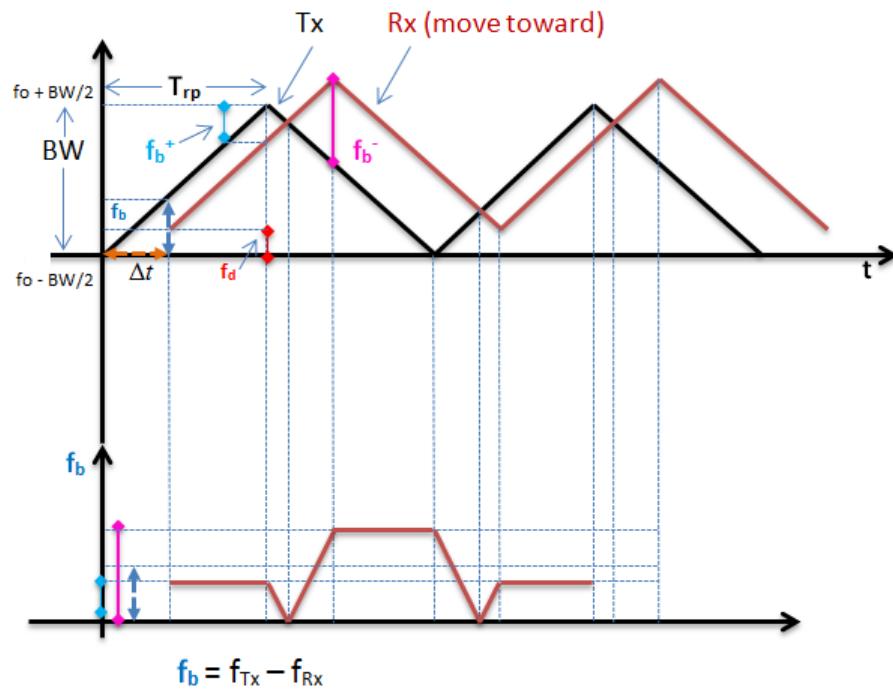
$$R = \frac{cT_{rp}}{2BW} f_b \quad (3.13)$$

Vật thể chuyển động (Low Doppler - $f_d < f_b$) : Đối với trường hợp vật thể chuyển động, thông tin nhận về từ tín hiệu thu sẽ bao gồm tần số f_b đặc trưng cho khoảng cách và tần số f_d đặc trưng vận tốc chuyển động của vật thể đó.

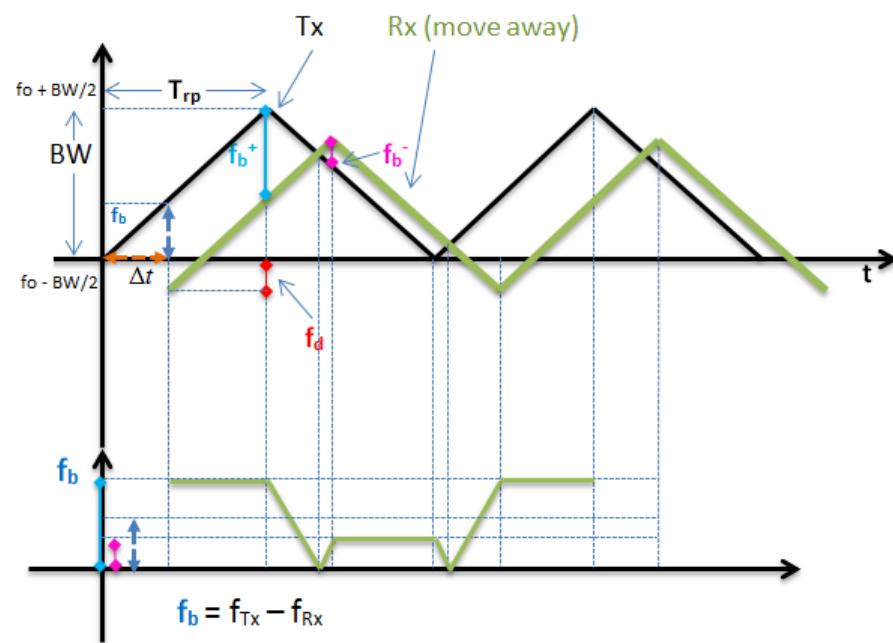
Phân tích hình 3.10 và 3.11 ta được bảng 3.2.

	Độ dốc hướng lên	Độ dốc hướng xuống
Di chuyển lại gần	$f_b = f_b^+ = f_b - f_d = \frac{2R.BW}{cT_{rp}} - f_d$	$f_b = f_b^- = f_b + f_d = \frac{2R.BW}{cT_{rp}} + f_d$
Di chuyển ra xa	$f_b = f_b^+ = f_b + f_d = \frac{2R.BW}{cT_{rp}} + f_d$	$f_b = f_b^- = f_b - f_d = \frac{2R.BW}{cT_{rp}} - f_d$

Bảng 3.2: Bảng phân tích kết quả đối với trường hợp vật thể chuyển động - Low Doppler



Hình 3.10: Trường hợp vật thể chuyển động lại gần radar với $f_d < f_b$



Hình 3.11: Trường hợp vật thể chuyển động ra xa radar với $f_d < f_b$

Từ kết quả bảng 3.2 ta thấy rằng, đối với cả hai trường hợp chuyển động lại gần hoặc ra xa radar ta đều có kết quả như sau:

$$f_b = \frac{f_b^+ + f_b^-}{2}$$

$$f_d = \frac{f_b^+ - f_b^-}{2}$$

$$\langle f_b \rangle = \frac{2R.BW}{cT_{rp}}$$

Theo công thức 3.7 ta có:

$$v = \frac{c}{2f_o} f_d$$

Từ đó suy ra:

$$R = \frac{cT_{rp}}{2BW} \langle f_b \rangle \quad (3.14)$$

$$v = \frac{c}{2f_o} \frac{(f_b^+ - f_b^-)}{2} \quad (3.15)$$

Vật thể chuyển động (High Doppler - $f_d > f_b$) Tương tự phần trên, kết quả phân tích được trình bày trong bảng 3.3

	Độ dốc hướng lên	Độ dốc hướng xuống
Di chuyển lại gần	$f_b = f_b^+ = f_d - f_b = f_d - \frac{2R.BW}{cT_{rp}}$	$f_b = f_b^- = f_d + f_b = f_d + \frac{2R.BW}{cT_{rp}}$
Di chuyển ra xa	$f_b = f_b^+ = f_d + f_b = f_d + \frac{2R.BW}{cT_{rp}}$	$f_b = f_b^- = f_d - f_b = f_d - \frac{2R.BW}{cT_{rp}}$

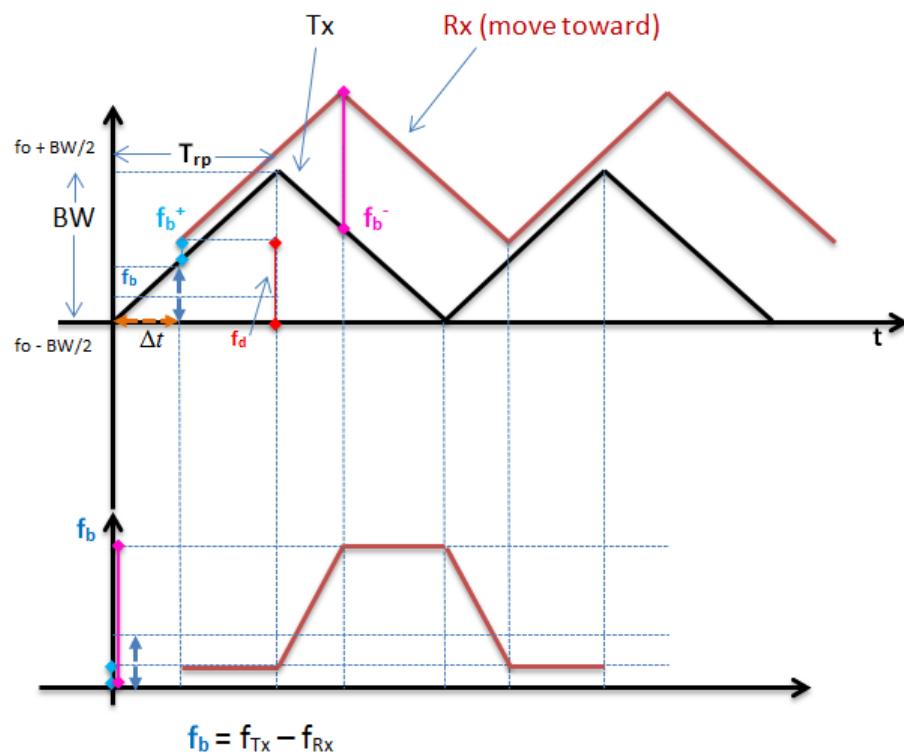
Bảng 3.3: Bảng phân tích kết quả đối với trường hợp vật thể chuyển động - High Doppler

Từ kết quả bảng 3.3 ta thấy rằng, đối với cả hai trường hợp chuyển động lại gần hoặc ra xa radar ta đều có kết quả như sau:

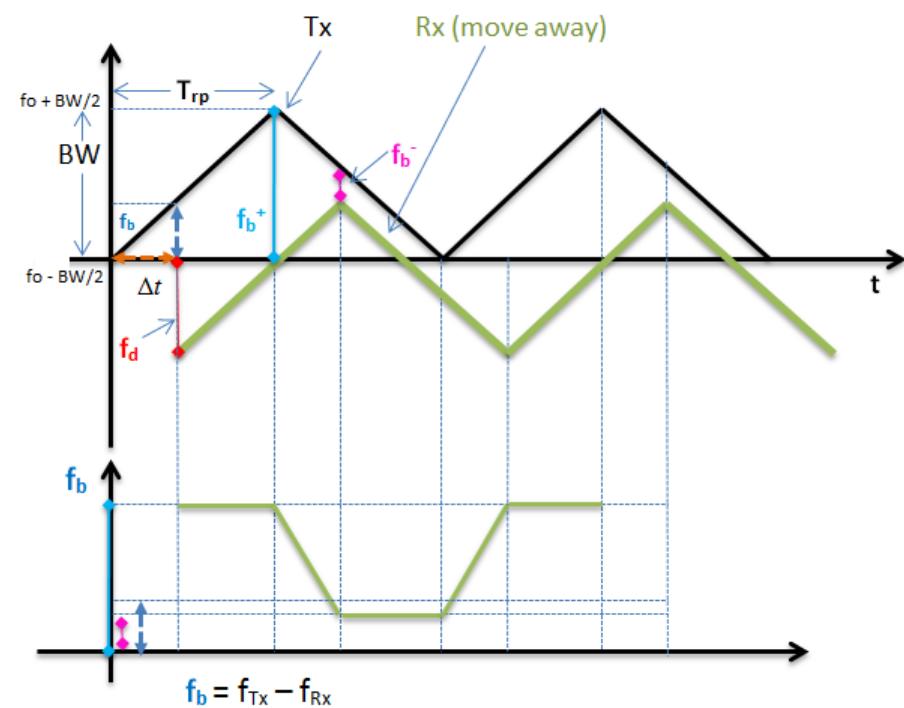
$$f_b = \frac{f_b^+ - f_b^-}{2}$$

$$f_d = \frac{f_b^+ + f_b^-}{2}$$

$$\langle f_b \rangle = \frac{2R.BW}{cT_{rp}}$$



Hình 3.12: Trường hợp vật thể chuyển động lại gần radar với $f_d > f_b$



Hình 3.13: Trường hợp vật thể chuyển động ra xa radar với $f_d > f_b$

Theo công thức 3.7 ta có:

$$v = \frac{c}{2f_o} f_d$$

Từ đó suy ra:

$$R = \frac{cT_{rp}}{2BW} \langle f_b \rangle \quad (3.16)$$

$$v = \frac{c}{2f_o} \frac{(f_b^+ + f_b^-)}{2} \quad (3.17)$$

Tóm lại:

- Trường hợp vật thể đứng yên: Không tồn tại sai số do hiệu ứng Doppler gây ra, sai số của phép đo chỉ phụ thuộc vào sai số nội tại của hệ thống.
- Trường hợp vật thể chuyển động: Sai số phép đo không chỉ phụ thuộc vào sai số nội tại của hệ thống mà còn phụ thuộc vào sai số do vật thể di chuyển gây ra (f_d). Tuy nhiên, đối với trường hợp vật thể di chuyển rất chậm, sai số về phép đo khoảng cách có thể được bỏ qua. Xét ví dụ sau đây để cùng làm rõ vấn đề này.

Giả sử ta đang xác định vị trí của một vật thể cách radar một khoảng là 5 m. vật thể đang di chuyển lại gần radar với tốc độ 1 m/s. Giá trị f_b và f_d được tính toán được cho trong bảng

Khoảng cách (R) [m]	5
Vận tốc vật thể (v) [m/s]	1
Vận tốc lan truyền sóng điện từ (c) [m/s]	3.10^8
Băng thông tín hiệu (BW) [Hz]	3.10^8
Nửa chu kỳ điều chế xung tam giác (rTp) [s]	20.10^{-3}
Tần số trung tâm của tín hiệu (f_o) [Hz]	$2.4.10^9$
f_b [Hz]	500
f_d [Hz]	16
Sai số: f_d/f_b [%]	3.2

Bảng 3.4: Bảng phân tích ảnh hưởng của vận tốc vật thể đối với phép đo khoảng cách

3.2.2.3 Xử lý dữ liệu đối với hệ thống FMCW

Phương pháp xử lý dữ liệu đối với hệ thống *FMCW radar* được sử dụng tương tự đối với hệ thống *CW radar*. Tín hiệu liên tục ở miền thời gian được số hóa, kế đến được biến đổi DFT bằng giải thuật FFT (hỗ trợ trong phần mềm MATLAB), từ đó trả về dạng phổ của tín hiệu với các vạch phổ tương ứng với các khoảng cách của các vật thể khác nhau.

3.2.2.4 Tầm hoạt động và độ phân giải của hệ thống FMCW Radar

Tương tự với hệ thống *CW radar*, hệ thống *FMCW radar* cũng sử dụng sóng mang liên tục, do vậy tầm hoạt động của hệ thống *FMCW radar* được trình bày ở phương trình 3.10.

Độ phân giải khoảng cách đối với hệ thống FMCW radar được hiểu là khoảng cách nhỏ nhất giữa hai vật thể và tại đó radar còn có thể phân biệt được hai vật thể khác nhau. Hệ số độ phân giải của hệ thống là một thông số phụ thuộc vào băng thông điều chế tín hiệu và được trình bày ở phương trình 3.18

$$\rho_r = \frac{cK}{2BW}, \text{ với} \quad (3.18)$$

c: vận tốc ánh sáng lan truyền trong chân không [m/s] BW: băng thông tín hiệu điều chế [Hz]
K: trọng số của hàm cửa sổ áp dụng cho giải thuật DFT, với K = 0.89 (cửa sổ chữ nhật) và K = 1.43 (cửa sổ hanning) (trang 75, phần 3.2.2, [12]).

3.3 Kết luận chương

Từ mục đích và yêu cầu thiết kế được đặt ra, hệ thống CW radar và FMCW radar được lựa chọn để phân tích từ đó định hướng cho quá trình thiết kế khối phần cứng radar ở chương 4. Các phương trình và các phương pháp xử lý dữ liệu đối với hai loại radar vừa đề cập sẽ được sử dụng để thiết kế giải thuật cho hệ thống xử lý dữ liệu được trình bày ở chương 5. Trong phần tiếp theo, quá trình thiết kế khối phần cứng của hệ thống Radar sẽ được trình bày chi tiết.

Chương 4

Thiết kế khối phần cứng của hệ thống Radar

Từ những phân tích cho việc hình thành một hệ thống radar, trong phần này chúng ta sẽ cùng đi sâu vào quá trình hiện thực hóa hệ thống radar với những yêu cầu và mục đích đã đặt ra ở chương 3.

4.1 Mô tả chung

Hệ thống radar được thiết kế để hoạt động trong dãy tầnISM - 2.4 GHz với công suất phát 13 dBm. Hệ thống được cung cấp nguồn 5V DC (cấp nguồn cho các module RF) và được chuyển đổi thành 12V DC nhờ một bộ DC - DC converter (5V - 12V) để cấp nguồn cho IC điều chế (XR2206) và IC khuếch đại (LM837).

Hệ thống radar sẽ hoạt động ở 2 chế độ làm việc. Ở chế độ CW radar, radar được dùng để xác định vận tốc của vật thể chuyển động, trong khi đó, ở chế độ làm việc thứ hai - FMCW radar - radar được dùng để xác định khoảng cách của các vật thể chuyển động hoặc không chuyển động cũng như tái hiện hình ảnh của các vật chắn trong tầm hoạt động của radar.

4.2 Sơ đồ khối của hệ thống radar

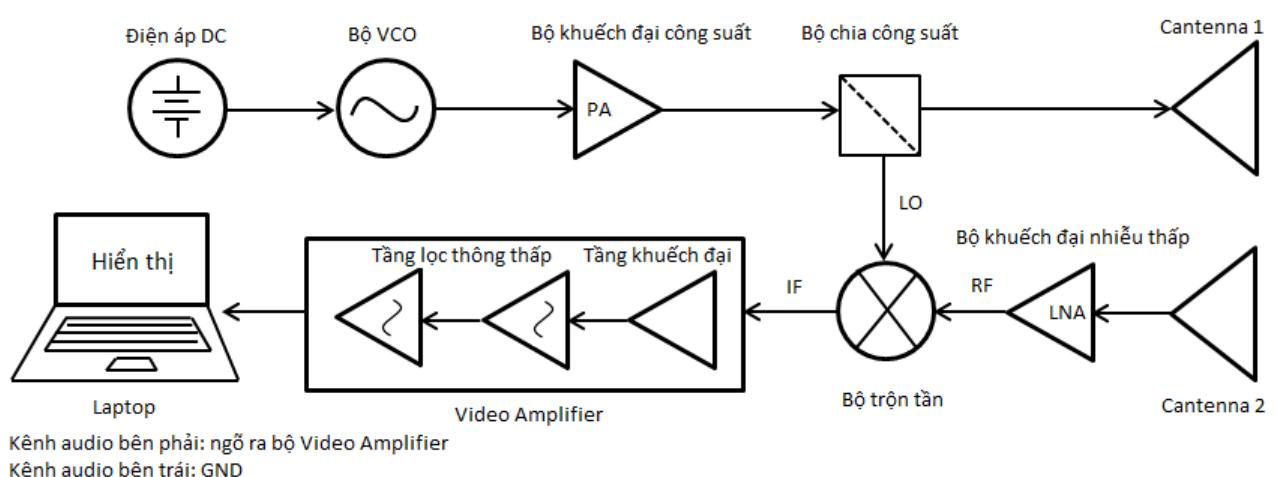
Như đã đề cập ở phần trên, radar sẽ hoạt động ở hai chế độ làm việc: CW radar và FMCW radar. Do vậy, trong phần thiết kế, chúng ta sẽ xây dựng một hệ thống radar có thể chuyển đổi linh hoạt giữa hai chế độ làm việc vừa đề cập, từ đó tích hợp được nhiều tính năng làm việc trong cùng một hệ thống radar.

4.2.1 Hệ thống CW radar

Đối với hệ thống CW radar, hệ thống bao gồm bộ tổng hợp tần số nhờ điện áp (VCO), bộ khuếch đại công suất (PA, LNA), bộ chia công suất (SPLTR), anten thu và phát, bộ trộn tần (MXR) và cuối cùng là bộ khuếch đại tín hiệu trung tần (Video Amplifier) (Hình 4.1).

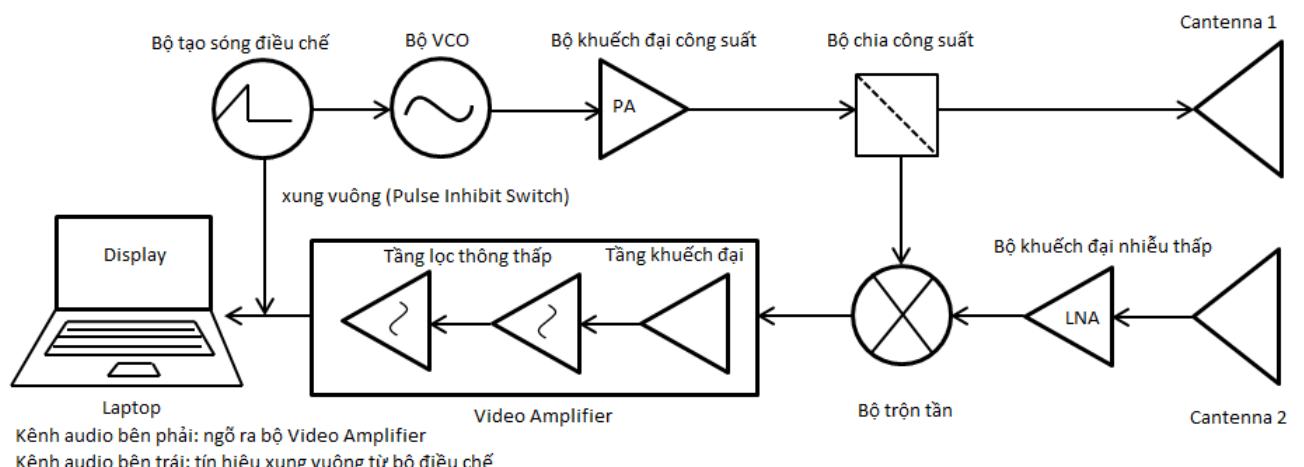
Ở phía phát, VCO được cung cấp một giá trị điện áp DC (hằng số) ở chân Vtune tương ứng với tần số 2.4 GHz, tiếp theo tín hiệu được khuếch đại nhờ bộ khuếch đại công suất và sau đó được đưa vào bộ chia công suất để tách thành hai luồng tín hiệu giống nhau. Một phần sẽ được đưa trực tiếp vào anten phát và bức xạ ra ngoài, phần còn lại sẽ được đưa vào chân LO của bộ trộn tần.

Ở phía thu, tín hiệu thu nhận từ anten thu sẽ được đưa vào bộ khuếch đại nhiễu thấp để khuếch đại tín hiệu, tiếp theo tín hiệu được đưa vào chân RF của bộ trộn tần, sau đó tín hiệu ở ngõ ra IF được chuyển vào bộ video amplifier. Cuối cùng, tín hiệu tại ngõ ra của bộ video amplifier được đưa vào laptop thông qua cổng audio (kênh phải) và được xử lý thời gian thực (realtime) thông qua bộ DAQ toolbox trong Matlab.



Hình 4.1: Sơ đồ khái niệm ở chế độ CW radar

4.2.2 Hệ thống FMCW radar



Hình 4.2: Sơ đồ khái niệm ở chế độ FMCW radar

Đối với hệ thống FMCW radar, cấu tạo và nguyên lý hoạt động hoàn toàn tương tự với hệ thống CW radar, tuy nhiên khác biệt duy nhất nằm ở giá trị điện áp DC đặt vào chân Vtune của bộ VCO được thay đổi liên tục (tuyến tính) theo hàm xung tam giác thay vì là hằng số ở hệ thống CW radar. Hàm xung tam giác sẽ được tạo ra bởi mạch điều chế tín hiệu (Modulator), ngoài ra mạch điều chế còn tạo ra hàm xung vuông cùng tần số với hàm tam giác giúp xác định thời điểm bắt đầu của xung tam giác và còn được gọi là "Pulse Inhibit Switch". Tín hiệu xung vuông đó cũng sẽ được đưa vào laptop thông qua cổng audio (cổng trái) cùng với tín hiệu từ ngõ ra bộ video amplifier (kênh phải) và được xử lý realtime thông qua bộ DAQ toolbox trong Matlab.

4.3 Lựa chọn linh kiện, tính toán và mô phỏng

Từ hai sơ đồ khối cho hai hệ thống nêu trên, ta sẽ tiến hành thiết kế một hệ thống radar có thể chuyển đổi giữa hai chế độ làm việc bao gồm: bộ VCO, bộ khuếch đại công suất (PA, LNA), bộ chia công suất (SPLTR), bộ trộn tần (MXR), anten phát và thu, bộ khuếch đại tín hiệu trung tần (Video Amplifier) và cuối cùng là bộ điều chế (Modulator) có khả năng tạo ngõ ra điện áp DC cố định (hằng số) hoặc tạo ngõ ra dạng xung tam giác cung cấp cho chân Vtune của VCO từ đó giúp chuyển đổi giữa hai chế độ làm việc.

Các module được sử dụng trong quá trình thiết kế radar được trình bày trong Bảng 4.1. Trong đó, các module RF được mua từ nhà cung cấp các thiết bị siêu cao tần: Mini-Circuits, còn lại 3 module cần phải thiết kế đó là: Anten thu và phát, Video Amplifier, Modulator.

Modules	Tên modules	Ghi chú	Chi phí
Bộ VCO	ZX95-2536C+	Mini-Circuits	\$42.5 \simeq 950.000 VND
Bộ khuếch đại công suất	ZX60-272LN+	Mini-Circuits	\$39.95 \simeq 892.000 VND
Bộ khuếch đại nhiễu thấp	ZX60-272LN+	Mini-Circuits	\$39.95 \simeq 892.000 VND
Bộ trộn tần	ZX05-43MH+	Mini-Circuits	\$46.45 \simeq 1.036.000 VND
Bộ chia công suất	ZX10-2-42+	Mini-Circuits	\$34.95 \simeq 780.000 VND
Bộ khuếch đại	Video Amplifier	Tự thiết kế	0 VND
Bộ điều chế	Modulator	Tự thiết kế	0 VND
Anten	Cantenna	Tự thiết kế	0 VND
Tổng chi phí			4.550.000 VND

Bảng 4.1: Danh sách các module cần thiết cho hệ thống radar

Tiếp theo, trong phần này chúng ta sẽ cùng tìm hiểu về quá trình thiết kế các module vừa đề cập.

4.3.1 Anten

Ở chương 2, chúng ta đã phân tích rõ về đặc điểm cấu tạo cũng như những ưu điểm của hai loại anten thường được sử dụng cho radar đó là anten horn và anten parabol. Cả hai loại anten trên đều có độ lợi và độ định hướng cao, đặc biệt, nếu so sánh giữa hai loại anten thì anten

parabol cho độ lợi và độ định hướng cao hơn. Tuy nhiên, khuyết điểm của anten parabol so với anten horn đó là tính phức tạp trong cấu trúc thiết kế cũng như chi phí thiết kế thường cao hơn nhiều so với việc thiết kế một chiếc anten horn. Do vậy, trong phần thiết kế này, ta sẽ thiết kế bộ anten thu, phát dưới dạng anten horn và với bề mặt định hướng dang hình trụ (hay còn gọi cantenna [11]). (Hình 4.3)

4.3.1.1 Phân tích

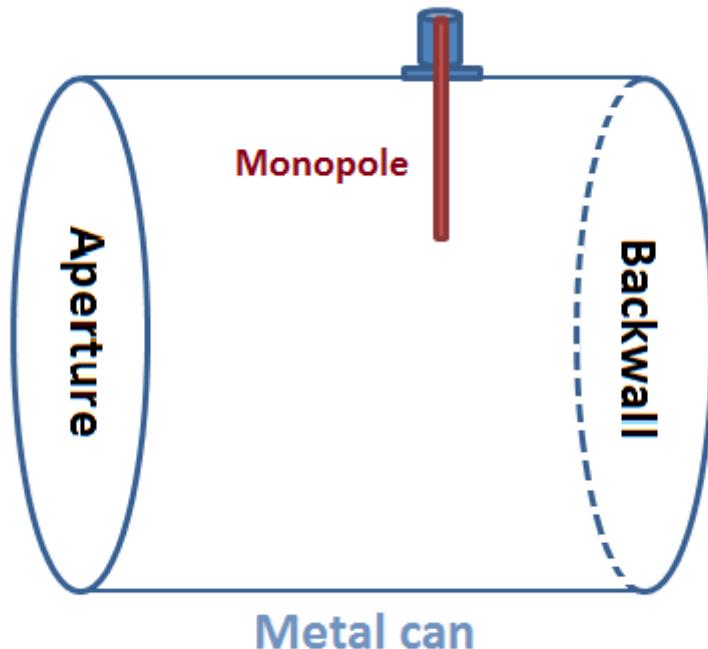
Độ lợi của một anten có bề mặt định hướng theo một hình dạng xác định được tính theo công thức sau:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}, (\text{công thức 1, [11]}), \text{với} \quad (4.1)$$

A_e : Hiệu suất bề mặt định hướng [m^2].

λ : bước sóng của tín hiệu [m].

Dối với anten có hình dạng như hình 4.3. Ta có công thức tính độ lợi (dB) và độ rộng nửa công suất (HPBW) như sau:



Hình 4.3: Hình dạng của một cantenna

$$G_{m,dBi} = 10\log_{10}\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2, (\text{công thức 2, [11]}) \quad (4.2)$$

$$HPBW = 58^0 \frac{\lambda}{D}, (\text{công thức } 3, [11]) \quad (4.3)$$

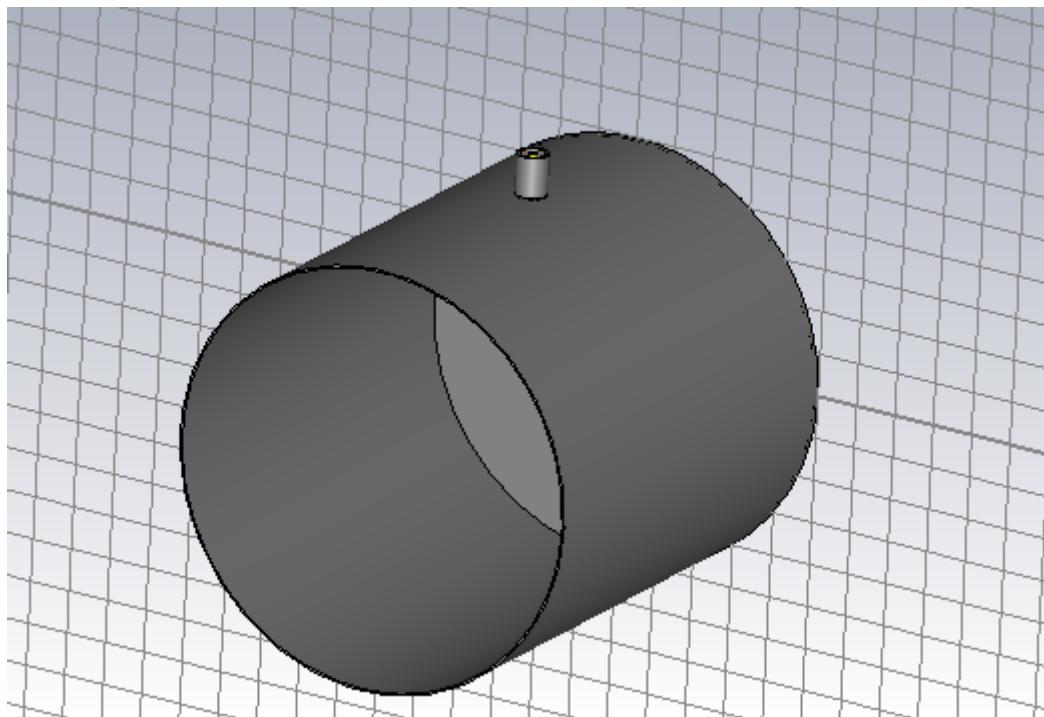
Bảng 4.2 liệt kê các thông số cần thiết cho việc thiết kế cantenna hoạt động ở dãy tần 2.4 GHz.

Thông số	Công thức	Giá trị	Đơn vị
Tần số, f		$2.4 * 10^9$	[Hz]
Bước sóng, λ	$\lambda = \frac{c}{f}$	12.5	[cm]
Chiều dài lon hình trụ, L		11	[cm]
Bán kính của lon hình trụ, D	$D = 0.8\lambda$	10	[cm]
Tần số cắt, f_c , với $\lambda_c = 1.705D$	$f_c = \frac{c}{\lambda_c}$	$1.8 * 10^9$	[Hz]
Bước sóng định hướng, λ_g	$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_c})^2}}$	18.5	[cm]
Chiều dài anten monopole	$\frac{\lambda}{4}$	3	[cm]
Khoảng cách đặt monopole so với đáy lon	$\frac{\lambda_g}{4}$	4.6	[cm]

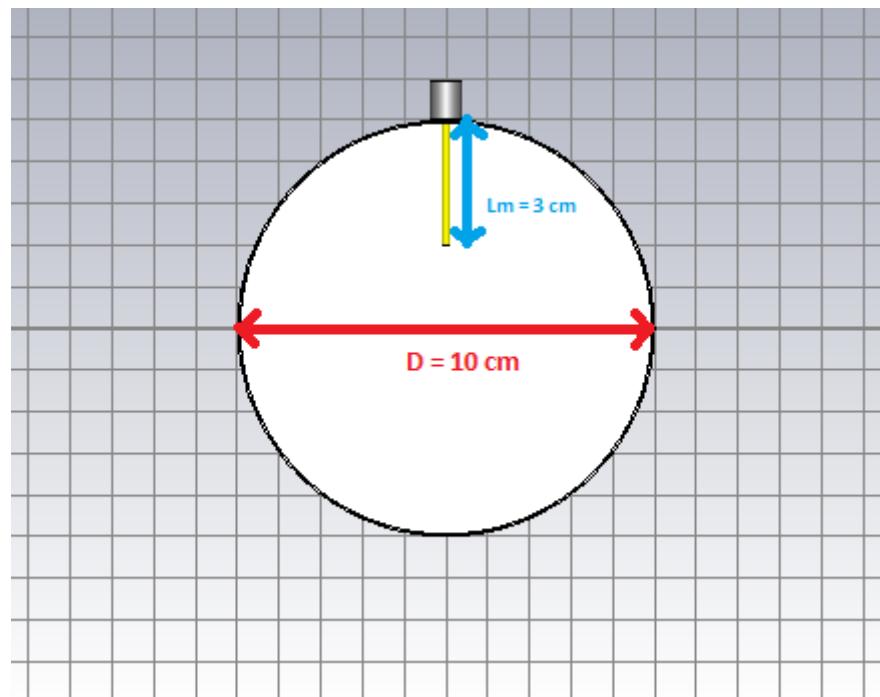
Bảng 4.2: Danh sách các thông số thiết kế cantenna

4.3.1.2 Mô phỏng

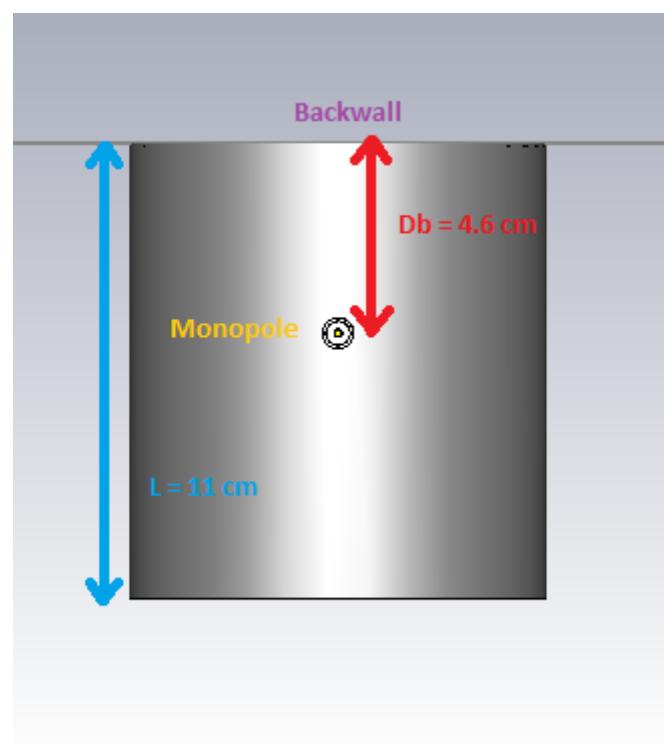
Dựa vào các thông số thiết kế được đưa ra ta tiến hành mô phỏng trên CST



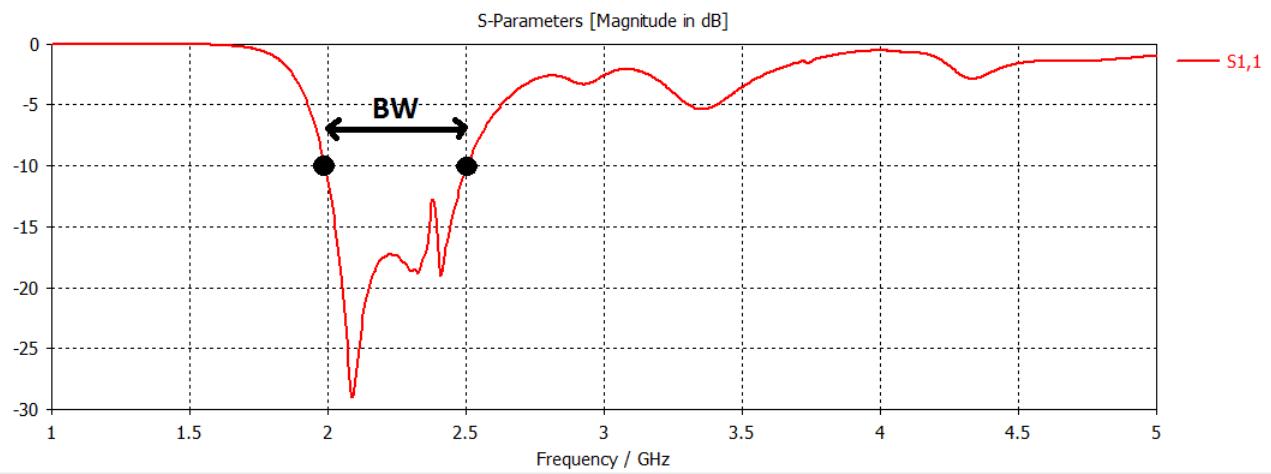
Hình 4.4: Hình dạng 3D của cantenna mô phỏng trong CST



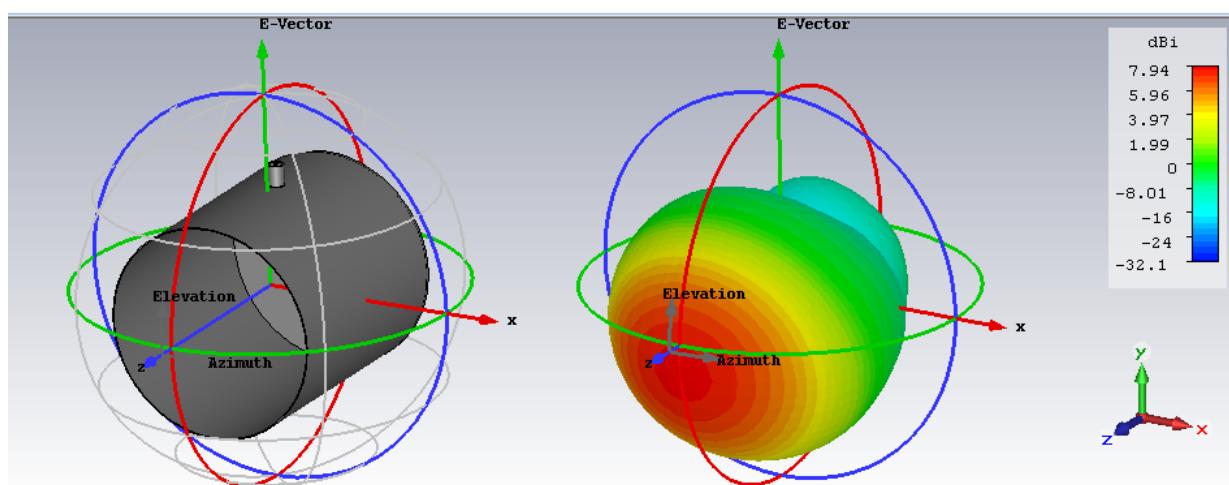
Hình 4.5: Mặt trước của cantenna



Hình 4.6: Mặt trên của cantenna



Hình 4.7: Kết quả mô phỏng - Hệ số S_{11}



Hình 4.8: Kết quả mô phỏng - Đồ thị bức xạ 3D

4.3.2 Video Amplifier

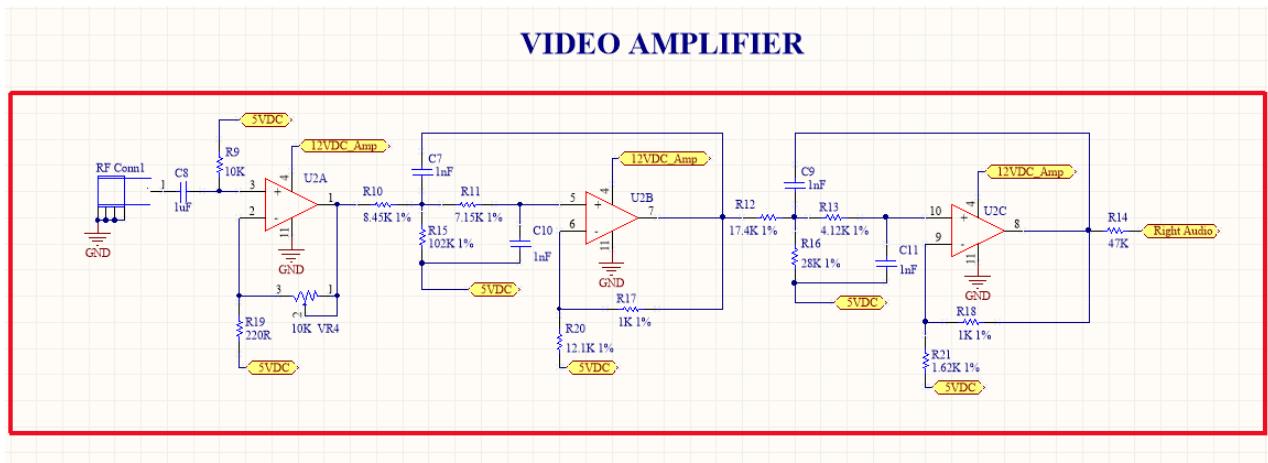
Ta biết rằng, cấu tạo của bộ Video Amplifier sẽ bao gồm một tầng khuếch đại và một tầng lọc (thông thấp) nhằm khuếch đại cũng như chọn lọc những tần số ở dãy nền (f_d hoặc f_b) từ đó được vào laptop để xử lý. Như vậy việc lựa chọn cấu trúc mạch khuếch đại cũng như cấu trúc bộ lọc sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến dữ liệu được liệu được xử lý qua đó ảnh hưởng đến kết quả đạt được.

Bộ lọc là một thiết bị cho phép tín hiệu ở một dãy tần số nhất định đi qua và ngăn chặn hoặc hạn chế các tín hiệu ở những tần số còn lại đi qua bộ lọc. Mạch lọc được sử dụng trong rất nhiều ứng dụng ngày nay đặc biệt trong viễn thông. Trong viễn thông, bộ lọc bandpass được sử dụng đối với dãy tần tín hiệu audio (0 KHz - 20 KHz) cho việc xử lý dữ liệu tiếng nói và âm thanh. Những bộ lọc bandpass đối với tín hiệu ở dãy tần cao hơn (vài trăm MHz) được sử dụng trong việc chuyển kênh đối với hệ thống các tổng đài điện thoại. Đặc biệt, đối với những hệ thống xử lý số tín hiệu luôn yêu cầu phải có những bộ lọc thông thấp có khả năng chống hiện tượng chồng phỏ (aliasing) cũng như loại bỏ hoặc chế nhiễu đối với tín hiệu cần xử lý.

Do vậy, yêu cầu đặt ra đối với bộ lọc thông thấp dùng trong mạch video amplifier đó là khả năng chống nhiễu cao (low noise) cũng như hạn chế hiện tượng chồng phỏ có thể xảy ra đối với tín hiệu cần xử lý.

Đối với những tín hiệu tần số cao (lớn hơn 1 MHz), những bộ lọc được thiết kế sử dụng các phần tử thụ động như L, R, C hay còn được gọi là bộ lọc LRC. Tuy nhiên, đối với những dãy tần thấp hơn (dưới 1 MHz), giá trị cuộn cảm cần sử dụng phải lớn ảnh hưởng đến kích thước cũng như tăng chi phí trong việc thiết kế. Giải pháp được đưa ra đó là sử dụng bộ lọc tích cực (active filter), trong trường hợp này, bộ lọc tích cực sử dụng phần tử op-amp kết hợp với các điện trở và tụ điện để tạo ra một bộ lọc có đáp ứng tương tự với bộ lọc RLC nhưng ở dãy tần thấp hơn.

Trong bài luận văn này, chúng ta sẽ sử dụng bộ lọc thông thấp Sallen-Key bậc 4 (2 tầng) để thiết kế bộ Video Amplifier [16]. (Hình 4.9).



Hình 4.9: Schematic của mạch Video Amplifier

4.3.2.1 Phân tích

Hàm truyền tổng quát của bộ lọc thông thấp có dạng như sau:

$$H_{LP} = \frac{K\omega_c^2}{s^2 + s\frac{\omega_c}{Q} + \omega_c^2} = \frac{K}{-(\frac{\omega}{\omega_c})^2 + \frac{j\omega}{Q\omega_c} + 1} = \frac{K}{-(\frac{f}{f_c})^2 + \frac{jf}{Qf_c} + 1}, \text{ với} \quad (4.4)$$

$$s = j\omega$$

Q: Hệ số phẩm chất

f_c : Tần số cắt của bộ lọc

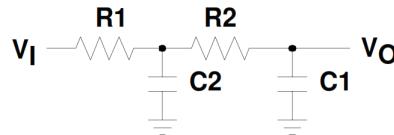
K: Độ lợi dải thông của bộ lọc

Khi $f \ll f_c \Rightarrow H_{LP} = K$: Mạch sẽ cho tín hiệu đi qua với độ lợi K.

Khi $f = f_c \Rightarrow H_{LP} = -jKQ$: Tín hiệu đi qua bộ lọc được cải thiện nhờ hệ số phẩm chất Q.

Khi $f \gg f_c \Rightarrow H_{LP} = -K(\frac{f_c}{f})^2$: Tín hiệu đi qua sẽ bị suy hao tỉ lệ với bình phương của tần số tín hiệu.

Với hai giá trị điểm cực tìm được từ hàm truyền trên, phương trình 4.4 đặc trưng cho bộ lọc thông thấp bậc 2.



Hình 4.10: Sơ đồ bộ lọc thông thấp bậc 2 cơ bản

Hình 4.10 thể hiện một bộ lọc thông thấp bậc 2 với cấu tạo gồm hai tầng RC.

Ta có:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{s^2(R_1R_2C_1C_2) + s(R_1C_2 + R_2C_1 + R_1C_1) + 1}, \text{ với} \quad (4.5)$$

Từ phương trình 4.4 ta suy ra:

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (4.6)$$

$$Q = \frac{1}{\omega_c(R_1C_2 + R_2C_1 + R_1C_1)} = \frac{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}{(R_1C_2 + R_2C_1 + R_1C_1)} \quad (4.7)$$

Ta lại có:

$$ab + cd \geq 2\sqrt{abcd}, \text{ với} \quad (4.8)$$

a, b, c, d ≥ 0

$$ab + cd + ad > 2\sqrt{abcd} \quad (4.9)$$

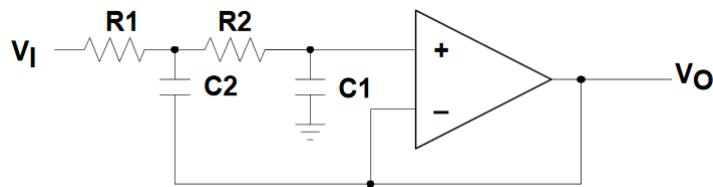
$$\frac{\sqrt{abcd}}{ab + cd + ad} < \frac{1}{2} \quad (4.10)$$

Từ phương trình 4.10 và 4.7 ta suy ra:

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(R_1 C_2 + R_2 C_1 + R_1 C_1)} < \frac{1}{2} \quad (4.11)$$

Như vậy, mạch lọc thông thấp như hình 4.10 bị giới hạn vì hệ số phảm chất luôn nhỏ hơn 1/2. Với $R_1 = R_2$ và $C_1 = C_2$ ta suy ra $Q = 1/3$. Hệ số phảm chất Q đạt được giá trị 1/2 khi trở kháng của tầng 2 lớn hơn rất nhiều so với tầng 1 ($R_1 \ll R_2$ và $C_1 \ll C_2$). Tuy nhiên, hầu hết mạch lọc yêu cầu hệ số $Q > 1/2$.

Hệ số Q lớn hơn 1/2 có thể đạt được nếu sử dụng mạch khuếch đại hồi tiếp dương. Nếu hồi tiếp dương được điều khiển bám theo tần số cắt của mạch, ta có thể thay đổi giá trị Q ở những giá trị ta mong muốn. Như vậy, giới hạn của mạch không còn nằm ở hệ số phảm chất Q mà chủ yếu là do những giới hạn mang tính vật lý như công suất nguồn cung cấp hoặc sai số của linh kiện.



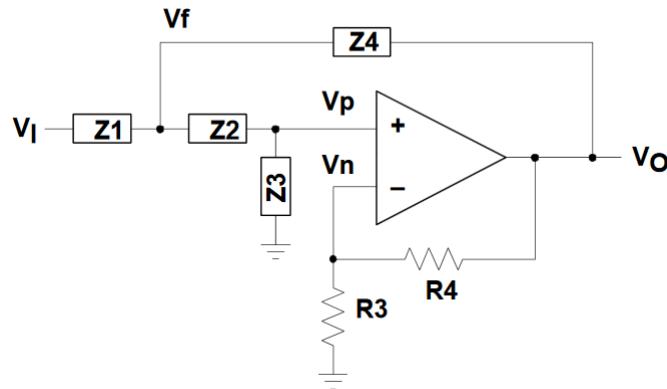
Hình 4.11: Sơ đồ mạch thông thấp Sallen Key (Unity Gain)

Hình 4.11 mô tả một bộ khuếch đại với độ lợi đồng nhất (unity gain) được R. P. Sallen và E. L. Key công bố vào năm 1995, do vậy thường được gọi là bộ lọc Sallen Key. Bộ khuếch đại trên được sử dụng như một bộ lọc thông thấp với do tụ điện C_2 không còn được nối xuống đất, thay vào đó nó được sử dụng như một chân hồi tiếp dương cho mạch, từ đó nâng cao được hệ số phảm chất Q của mạch.

Cơ chế hoạt động của mạch được mô tả như sau:

- Ở miền tần số thấp, tụ C_1 và C_2 được xem như hở mạch ($Z_C \gg R$) tín hiệu được đệm trực tiếp ở ngõ ra.

- Ở miền tần số cao, tụ C_1 và C_2 được xem như ngắn mạch ($Z_C \ll R$), tín hiệu đầu vào được nối thẳng xuống đất, như vậy không có tín hiệu xuất hiện ở ngõ ra.
- Ở miền tần số lân cận tần số cắt, trở kháng ở tụ C_1 và C_2 cùng bậc với R_1 và R_2 , hồi tiếp dương ở tụ C_2 giúp nâng cao được hệ số phâm chất của mạch.



Hình 4.12: Sơ đồ mạch Sallen Key dạng tổng quát

Hình 4.12 mô tả mạch Sallen Key dạng tổng quát với Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 là các trở kháng tổng quát (các linh kiện thụ động) và R_3, R_4 mang các giá trị quyết định giá trị độ lợi dải thông.

Để tìm lời giải cho mạch tổng quát này, ta sẽ đưa ra phương trình toán cho V_i, V_o, V_p, V_n và ây dựng sơ đồ khối cho mạch.

Theo KCL (Kirchhoff's Current Law - Định luật Kirchhoff đối với dòng điện) tại nút V_f :

$$V_f \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) = V_i \left(\frac{1}{Z_1} \right) + V_p \left(\frac{1}{Z_2} \right) + V_o \left(\frac{1}{Z_4} \right) \quad (4.12)$$

Theo KCL tại nút V_p :

$$V_p \left(\frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) = V_f \left(\frac{1}{Z_2} \right) \Rightarrow V_f = V_p \left(1 + \frac{Z_2}{Z_3} \right) \quad (4.13)$$

Từ phương trình 4.12 và 4.13:

$$V_p = V_i \left(\frac{Z_2 Z_3 Z_4}{Z_2 Z_3 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_3 + Z_2 Z_2 Z_4 + Z_2 Z_2 Z_1} \right) + V_o \left(\frac{Z_1 Z_2 Z_3}{Z_2 Z_3 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_3 + Z_2 Z_2 Z_4 + Z_2 Z_2 Z_1} \right) \quad (4.14)$$

Theo KCL tại nút V_n :

$$V_n \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = V_o \left(\frac{1}{R_4} \right) \Rightarrow V_n = V_o \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad (4.15)$$

Để đơn giản hóa cho việc tính toán, ta sẽ đưa ra sơ đồ khối cho mạch trên từ đó giải quyết bài toán trên.

Gọi $a(f)$ là độ lợi vòng hở của mạch,

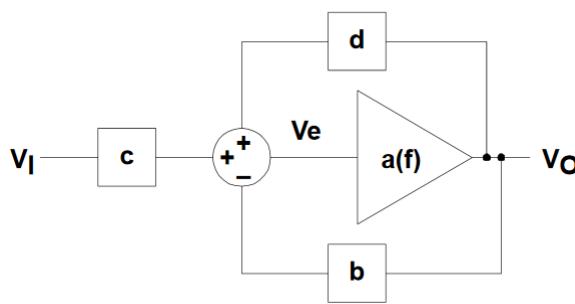
$$b = \frac{R_3}{R_3+R_4} = \frac{1}{K},$$

$$c = \frac{Z_2 Z_3 Z_4}{Z_2 Z_3 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_3 + Z_2 Z_2 Z_4 + Z_2 Z_2 Z_1} = \frac{N_1}{D},$$

$$d = \frac{Z_1 Z_2 Z_3}{Z_2 Z_3 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_4 + Z_1 Z_2 Z_3 + Z_2 Z_2 Z_4 + Z_2 Z_2 Z_1} = \frac{N_2}{D},$$

$$V_e = V_p - V_n$$

Từ đó ta có sơ đồ khối như hình 4.13



Hình 4.13: Sơ đồ khối mạch Sallen Key dạng tổng quát

Từ đó ta suy ra: $V_o = a(f)V_e$ và $V_e = cV_i + dV_o - bV_o$.

Giải hai phương trình trên ta được:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{c}{b} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{a(f)b} - \frac{d}{b}} \right] \quad (4.16)$$

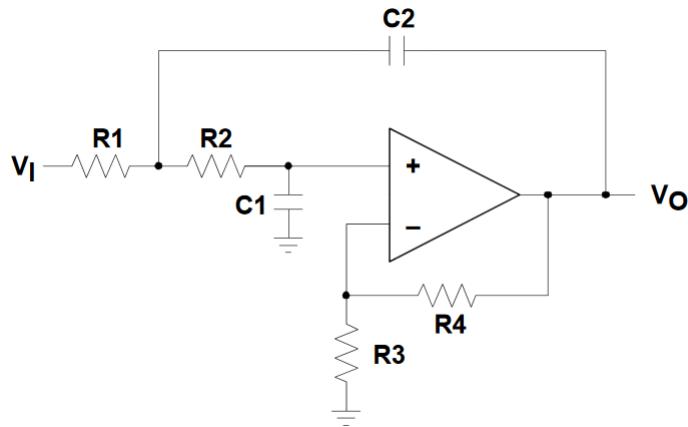
Một cách lý tưởng hóa bài toán trên, ta giả sử rằng $a(f)b$ rất lớn ($\frac{1}{a(f)b} \approx 0$). Từ đó suy ra:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{c}{b} \left[\frac{1}{1 - \frac{d}{b}} \right] \quad (4.17)$$

Ta có: $\frac{1}{b} = K$, $c = \frac{N_1}{D}$ và $d = \frac{N_2}{D}$ (đã đề cập ở trên). Từ đó suy ra:

$$\frac{V_o}{V_i} = \left[\frac{K}{\frac{D}{N_1} - \frac{K \cdot N_2}{N_1}} \right] \quad (4.18)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{K}{\frac{Z_1 Z_2}{Z_3 Z_4} + \frac{Z_1}{Z_3} + \frac{Z_2}{Z_3} + \frac{Z_1(1-K)}{Z_4} + 1} \quad (4.19)$$



Hình 4.14: Mạch lọc thông thấp Sallen Key

Quay trở lại với mạch thông thấp Sallen Key được minh họa ở hình 4.14.

Ta có: $Z_1 = R_1$, $Z_2 = R_2$, $Z_3 = \frac{1}{sC_1}$, $Z_4 = \frac{1}{sC_2}$ và $K = 1 + \frac{R_4}{R_3}$

Từ phương trình 4.19 suy ra:

$$\frac{V_o}{V_i}(LPF) = \frac{K}{s^2(R_1R_2C_1C_2) + s(R_1C_1 + R_2C_1 + R_1C_2(1 - K)) + 1} \quad (4.20)$$

Từ phương trình hàm truyền tổng quát của bộ lọc thông thấp (Phương trình 4.4) với $s = j2\pi f$, ta tính toán được $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$ và $Q = \frac{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}{R_1C_1 + R_2C_1 + R_1C_2(1 - K)}$.

Ta nhận thấy rằng, tần số cắt f_c và hệ số phẩm chất Q của mạch là một hàm nhiều biến ($R_1, R_2, C_1, C_2, \dots$). Do vậy, với việc lựa chọn các thông số cho các phần tử trong mạch một cách phù hợp ta sẽ đơn giản hóa việc tính toán cũng như thiết kế mạch với tần số cắt và hệ số phẩm chất mong muốn. Một số phương pháp đơn giản hóa được trình bày như sau:

Phương pháp 1: Lựa chọn các linh kiện theo tỉ lệ

Chọn $R_1 = mR$, $R_2 = R$, $C_1 = C$, $C_2 = nC$, ta được: $f_c = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{mn}}$ và $Q = \frac{\sqrt{mn}}{m+1+mn(1-K)}$. Biểu thức f_c và Q được đơn giản hóa nhưng vẫn tồn tại mối quan hệ giữa hai thông số trên. Do vậy, việc thiết kế nên bắt đầu từ việc chọn độ lợi và Q dựa theo m,n và K, sau đó chọn C và tính toán R để đạt được f_c mong muốn.

Chú ý rằng, với $K = 1 + \frac{m+1}{mn} \Rightarrow Q = \infty$. Với những giá trị Q lớn, chất lượng mạch sẽ giảm xuống do khi đó các điểm cực sẽ di chuyển về phía nửa bên phải mặt phẳng s và mạch bắt đầu dao động. Hầu hết các mạch lọc đều yêu cầu hệ số phẩm chất không quá cao và đó cũng là một trong những vấn đề cần cân nhắc trong việc thiết kế mạch lọc.

Phương pháp 2: Lựa chọn các linh kiện theo tỉ lệ và độ lợi bằng 1

Chọn $R_1 = mR$, $R_2 = R$, $C_1 = C$, $C_2 = nC$ và $K = 1$, ta được: $f_c = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{mn}}$ và $Q = \frac{\sqrt{mn}}{m+1}$. Với thiết kế như thế này, ta duy trì độ lợi dải thông với giá trị 1, tuy nhiên vẫn tồn tại mối quan hệ giữa f_c và Q. Do vậy, việc thiết kế nên bắt đầu từ việc chọn lựa m,n để tính toán Q, sau đó chọn C và tính toán R để đạt được f_c mong muốn.

Phương pháp 3: Lựa chọn giá trị điện trở theo tỉ lệ và giá trị tụ điện đồng nhất

Chọn $R_1 = mR$, $R_2 = R$ và $C_1 = C_2 = C$, ta được: $f_c = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{m}}$ và $Q = \frac{\sqrt{m}}{1+2m-mK}$. Lý do cho việc chọn lựa cùng giá trị tụ điện là do sự hạn chế về giá trị của tụ điện so với giá trị của các điện trở. Tương tự như hai phương pháp trên, tồn tại mối quan hệ giữa f_c và Q, do vậy, việc thiết kế nên bắt đầu từ việc chọn lựa giá trị m và K để tính toán độ lợi và hệ số Q, sau đó chọn C và tính toán R để đạt được f_c mong muốn.

Phương pháp 4: Lựa chọn giá trị các linh kiện đồng nhất với nhau

Chọn $R_1 = R_2 = R$ và $C_1 = C_2 = C$, ta được: $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ và $Q = \frac{1}{3-K}$. Đối với phương pháp này, thông f_c và hệ số phẩm chất Q độc lập với nhau, khi đó việc thiết kế trở nên đơn giản hơn rất nhiều, tuy nhiên vẫn tồn tại hạn chế đó là độ lợi ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số phẩm chất. Do vậy, trong thiết kế cần có sự đánh đổi giữa độ lợi và mức suy hao trong dải thông.

Trở lại với sơ đồ mạch Video Amplifier được thiết kế theo MIT Open Courseware [16] (Hình 4.9). Ta thấy, sơ đồ mạch bao gồm một tầng khuếch đại (không đảo) với độ lợi xấp xỉ $1 + \frac{10}{0.22} = 46.45$ và hai tầng lọc thông thấp Sallen Key.

Mạch lọc được thiết kế gồm hai tầng lọc thông thấp bậc 2 nhằm tăng độ chọn lọc tín hiệu cho bộ lọc. Đối với sơ đồ mạch Sallen Key thông thường, op-amp sẽ được cung cấp nguồn đôi (split supply), tuy nhiên việc thiết kế nguồn đôi cung cấp cho op-amp gây phức tạp cho việc thiết kế. Đó là lý do trong thiết kế này sử dụng nguồn đơn cung cấp cho op-amp cụ thể là $V+ = 12V$ DC và $V- = GND$, do vậy cần phải có một điện áp trung gian (virtual ground) phân cực cho các linh kiện cấu thành nên bộ lọc ($R_9, R_{19}, R_{15}, C_{10}, R_{20}, R_{16}, C_{11}, R_{21}$ - Hình 4.9). Điện trở ở ngõ ra bộ khuếch đại (R_{14}) có tác dụng hạn chế dòng vào của tín hiệu đối với đầu thu microphone của laptop.

Sau đây chúng ta sẽ tính toán tần số cắt của mạch lọc thông thấp trên.

Xét mạch như hình 4.15. Bằng phép biến đổi đơn giản như hình 4.16 ta được sơ đồ mạch như hình 4.17.

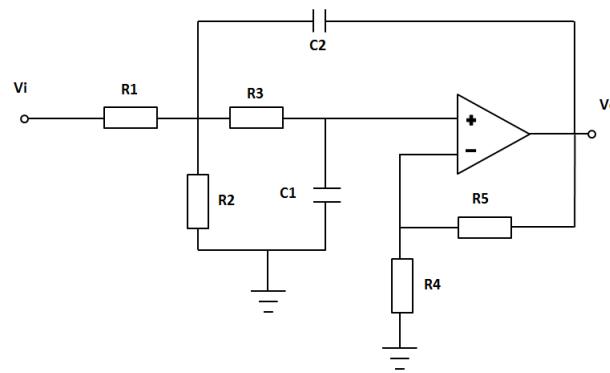
Từ phương trình 4.20 ta giải mạch ở hình 4.17 như sau:

$$\frac{V_o}{V_i^*} = \frac{K}{s^2(R_{td}R_3C_1C_2) + s(R_{td}C_1 + R_3C_1 + R_{td}C_2(1 - K)) + 1}, \text{ với} \quad (4.21)$$

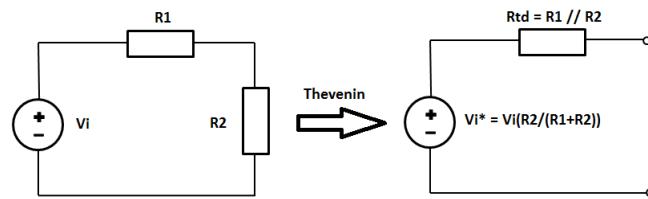
$$R_{td} = R_1 // R_2 = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

$$K = 1 + \frac{R_5}{R_4}$$

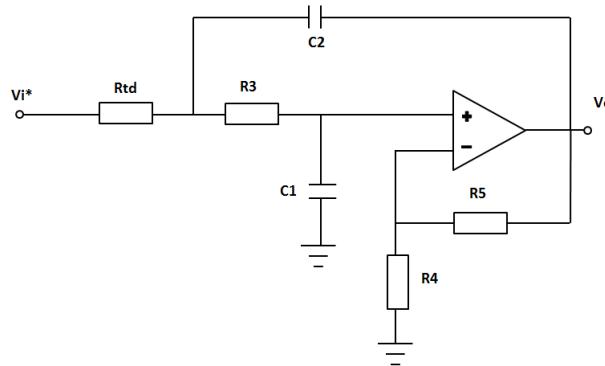
$$V_i^* = V_i \frac{R_2}{R_1+R_2}$$



Hình 4.15: Mạch lọc thông thấp Sallen Key với điện trở hiệu chỉnh độ lợi



Hình 4.16: Biến đổi Thevenin



Hình 4.17: Mạch Sallen Key sau khi biến đổi Thevenin

Từ đó suy ra:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{K \frac{R_2}{R_1+R_2}}{s^2 \left(\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} R_3 C_1 C_2 \right) + s \left(\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} C_1 + R_3 C_1 + \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} C_2 (1 - K) \right) + 1} \quad (4.22)$$

Theo phương trình 4.4 ta tính toán được:

Tần số cắt: f_c

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} R_3 C_1 C_2}} \quad (4.23)$$

Hệ số phẩm chất: Q

$$Q = \frac{1}{2\pi f_c \left(R_3 C_1 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_2 \frac{R_5}{R_4} \right)} \quad (4.24)$$

Độ lợi dải thông: H

$$H = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \quad (4.25)$$

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Tần số cắt tầng lọc thứ nhất	21.3	[KHz]
Tần số cắt tầng lọc thứ hai	23.9	[KHz]
Độ lợi của bộ Video Amplifier	33.1	[dB]

Bảng 4.3: Danh sách các thông số thiết kế cantenna

Các thông số được đưa ra để thiết kế mạch Video Amplifier với tần số cắt 15 KHz [11], tuy nhiên giá trị tính toán theo lý thuyết được đưa ra ở bảng 4.3.

Sau đây, chúng ta sẽ tiến hành mô phỏng để kiểm tra thông số về tần số cắt cũng như độ lợi của mạch Video Amplifier.

4.3.2.2 Mô phỏng

Tiếp theo chúng ta sẽ tiến hành mô phỏng sơ đồ mạch Video Amplifier được minh họa ở hình 4.19 với chương trình mô phỏng Proteus.

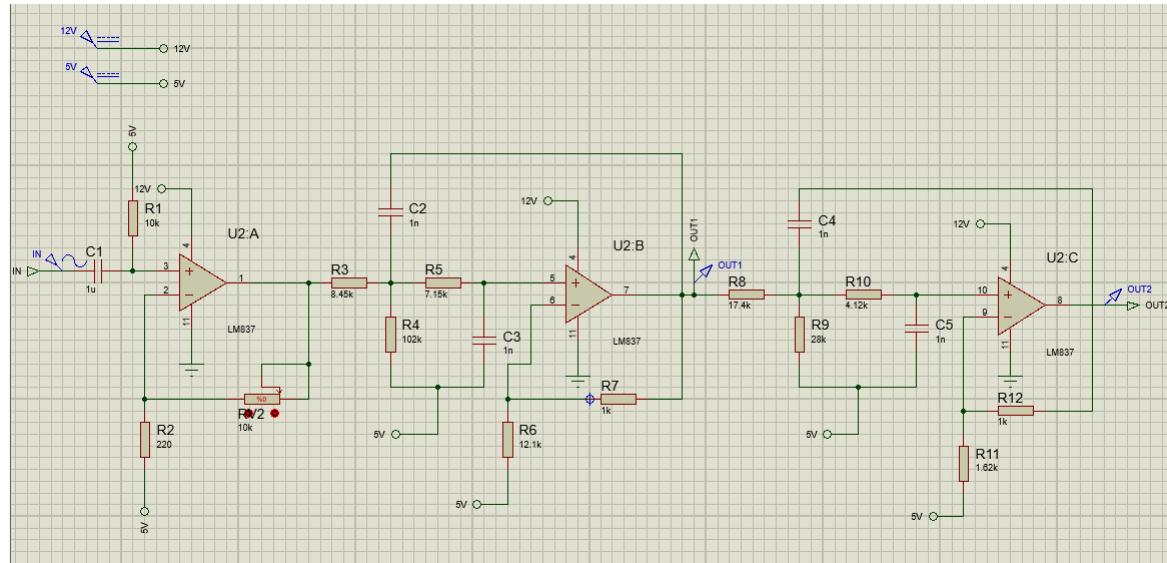
Kết quả mô phỏng cho ta giá trị tần số cắt của mạch Video Amplifier là 15 KHz và độ lợi xấp xỉ 34 dB (Hình 4.19). Tuy nhiên, giá trị tần số cắt giữa lý thuyết và kết quả mô phỏng có sự sai biệt rõ ràng. Lý giải cho điều này, ta biết rằng giá trị tính toán lý thuyết được sử dụng đối với op-amp lý tưởng với tổng trở ngõ vào là vô cùng. Tuy nhiên, với linh kiện được mô phỏng tổng trở ngõ vào xác định, do đó tạo nên sự khác biệt giữa hai kết quả này.

4.3.3 Modulator

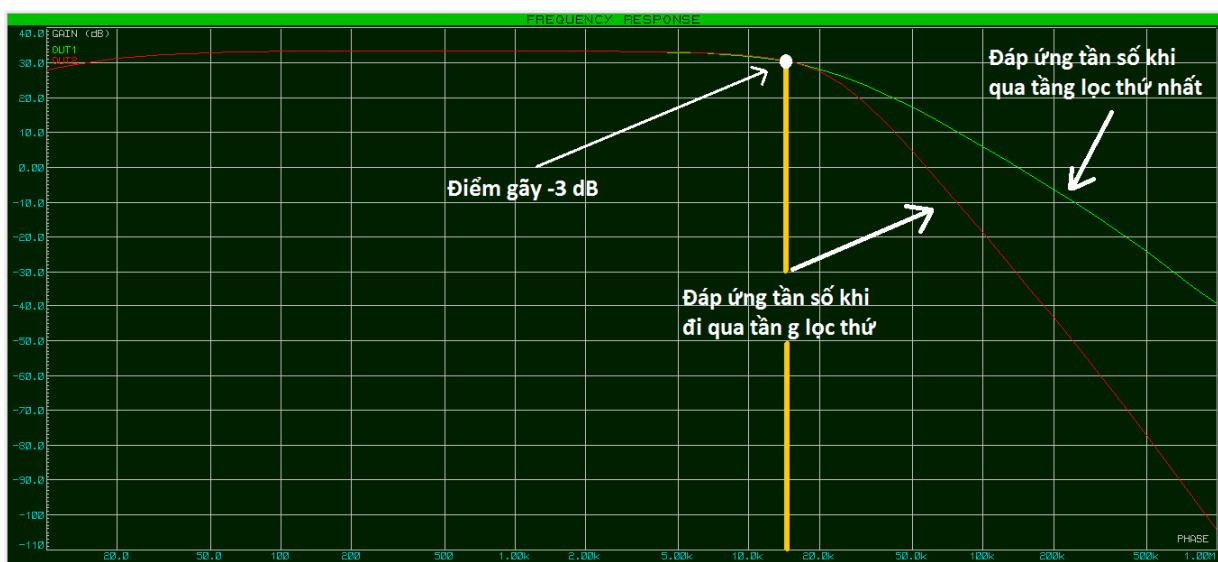
Mục tiêu thiết kế của mạch Modulator đó là mạch vừa có khả năng tạo điện áp DC cố định (hằng số) cũng như tạo dạng sóng điều chế xung tam giác cung cấp cho chân Vtune của bộ VCO, từ đó chuyển đổi qua lại giữa hai chế độ làm việc [16].

Trong phần này chúng ta sẽ sử dụng IC XR2206 để thiết kế mạch điều chế xung tam giác.

4. THIẾT KẾ KHỐI PHẦN CỨNG CỦA HỆ THỐNG RADAR



Hình 4.18: Sơ đồ mô phỏng mạch LPF Sallen-Key trong proteus

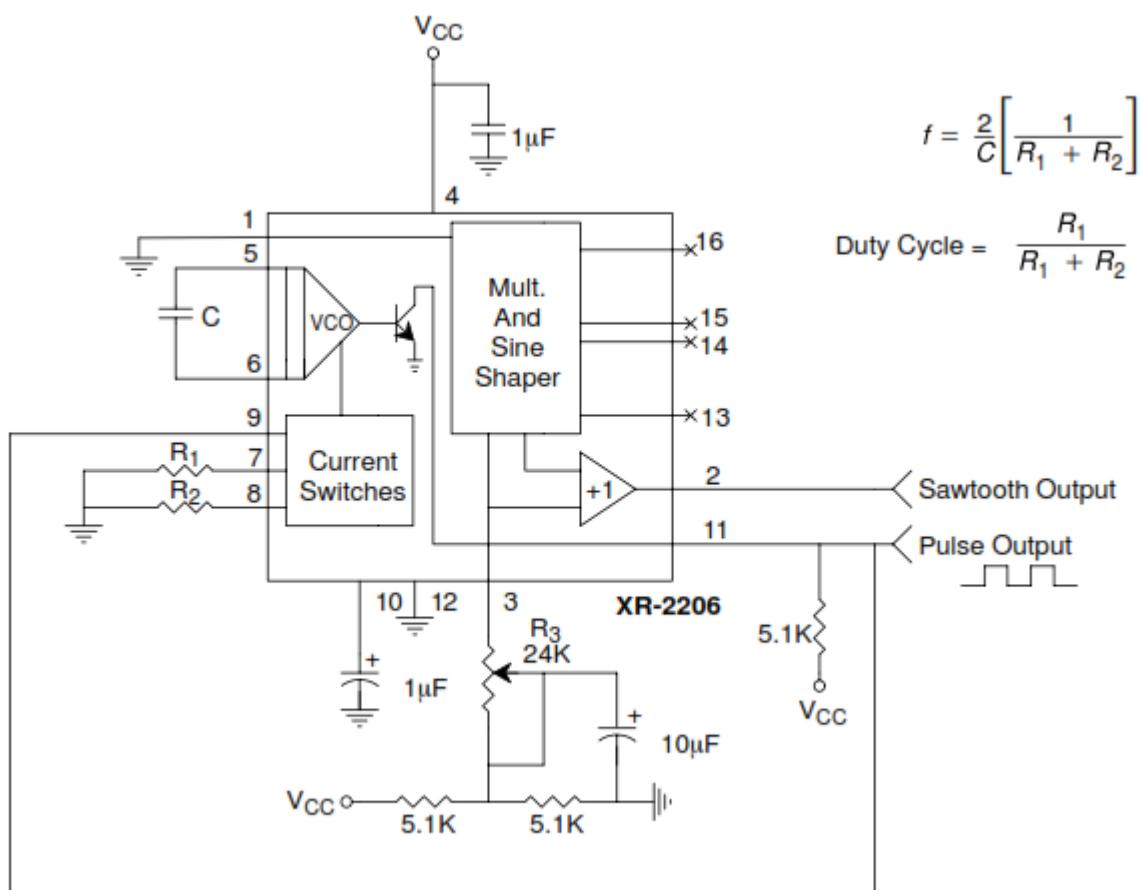


Hình 4.19: Đáp ứng tần số của bộ lọc LPF Sallen-Key

4.3.3.1 Phân tích

Datasheet của IC XR2206 mô tả như sau: XR2206 có khả năng tạo ra dạng sóng hình sin, xung vuông, tam giác, hàm dốc (ramp) và xung với chất lượng rất tốt, độ chính xác cũng như độ ổn định rất cao. Tần số hoạt động của IC trong khoảng từ dưới 0.01 Hz cho đến hơn 1 MHz.

Sơ đồ mạch để tạo dạng xung tam giác được mô tả ở hình 4.20

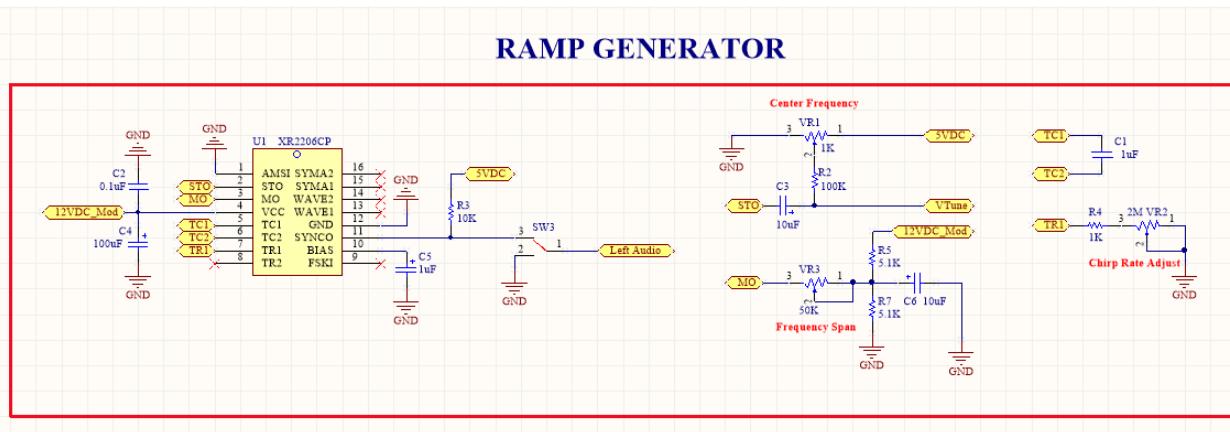


Hình 4.20: Sơ đồ mạch Ramp Generator mô tả trong datasheet XR2206

Đối với mạch điều chế xung tam giác vừa đề cập ở trên, tín hiệu ngõ ra được lấy ở chân số 2 của IC. Trong trường hợp này chân số 9 của IC sẽ được hở mạch, do vậy chỉ có điện trở tại chân số 7 được kích hoạt do vậy ta bỏ qua điện trở được nối ở chân số 8. Độ rộng xung và chu kỳ tín hiệu sẽ phụ thuộc vào giá trị điện trở tại chân số 7 (R_1). Thông thường giá trị điện trở này nằm trong khoảng $1K \div 2M$ [ohm]. Ngoài ra, tần số của tín hiệu còn phụ thuộc vào giá trị tụ C (tụ timing) nằm giữa chân số 5 và 6 với giá trị nằm trong $1000p \div 100\mu$ [F].

Bên cạnh đó, giá trị biên độ của dạng sóng sẽ được điều khiển thông qua biến trở tại chân số 3, từ đó ta có thể thay đổi được tầm điện áp DC của ngõ ra Vtune nhờ đó ta thay đổi được băng thông của tín hiệu được điều chế ở VCO.

Từ hướng dẫn trong datasheet của IC XR2206 ta thiết kế mạch điều chế với sơ đồ nguyên lý được minh họa ở hình 4.21.

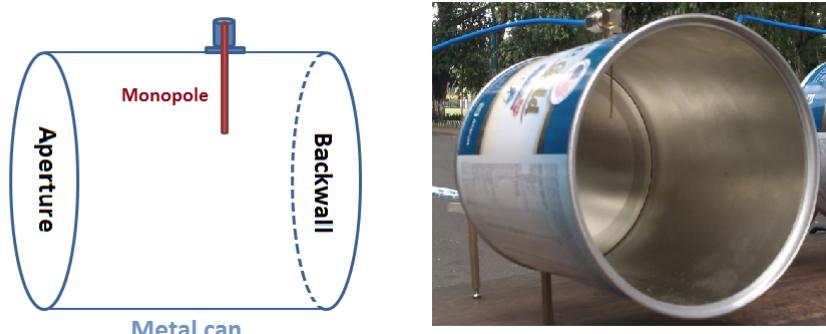


Hình 4.21: Sơ đồ nguyên lý của mạch Modulator

Dối với mạch được thiết kế như hình 4.21, giá trị tụ timing được chọn cố định, do vậy tần số của tín hiệu được điều chỉnh thông qua biến trở VR2 (Chirp Rate Adjust). Giá trị biên độ của tín hiệu được điều chỉnh thông qua biến trở VR3 (Frequency Span) và biến trở VR1 (Center Frequency) được dùng để cân chỉnh dạng xung tam giác nằm giữa trong khoảng $0 \div 5V$ DC từ đó tránh gây hư hỏng cho VCO khi điện áp cung cấp tại Vtune vượt ngưỡng $0 \div 5V$.

4.4 Thiết kế, đo đạc và kiểm tra

4.4.1 Anten

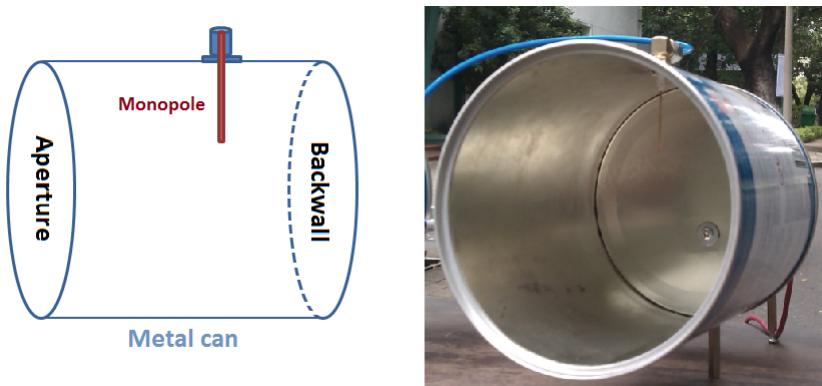


Hình 4.22: Cantenna 1

4.4.1.1 Thông số S_{11} (Return Loss)

Thông thường để khảo sát một anten người ta thường khảo sát hai thông số đó là S_{11} và S_{12} . Thiết bị dùng để xác định hai thông số trên đó là Vector Network Analyzer (VNA) với băng tần 2.4 GHz và được mắc theo sơ đồ hình 4.24.

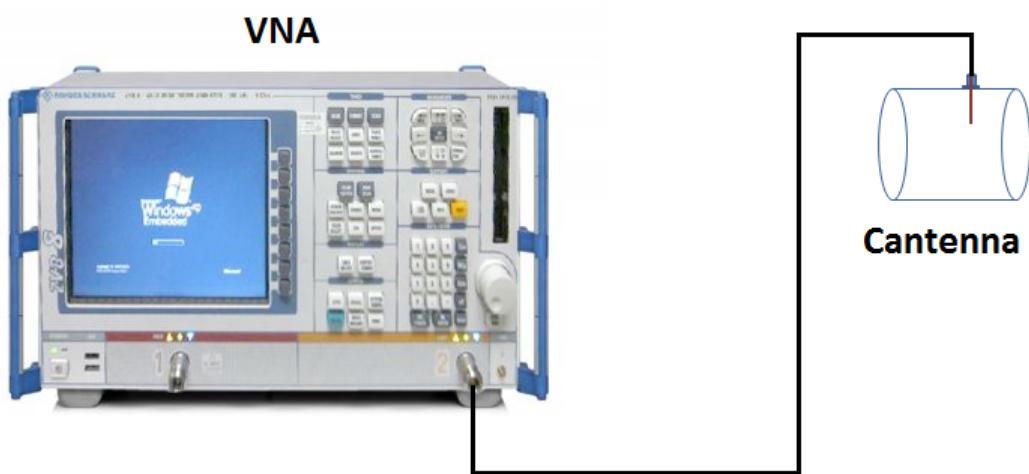
Tuy nhiên trong phần này chúng ta chỉ khảo sát thông số S_{11} của hai anten được thiết kế, từ đó suy ra hệ số sóng đứng (VSWR) và trở kháng đầu vào (input impedance) của anten. Dối với một anten lý tưởng thì $VSWR = 1 : 1$ và $Z_{in} = Z_o$ (50 ohm)



Hình 4.23: Cantenna 2

Thông số S_{11} thể hiện tỉ số mức công suất phản xạ về nguồn so với công suất do nguồn đó phát ra. Lấy ví dụ ta đo được thông số S_{11} tại một tần số nào đó là -20 dB. Như vậy, mức công suất phản xạ về nguồn so với công suất phát tại nguồn là: $10^{-20/10} = 0.01 = 1\%$

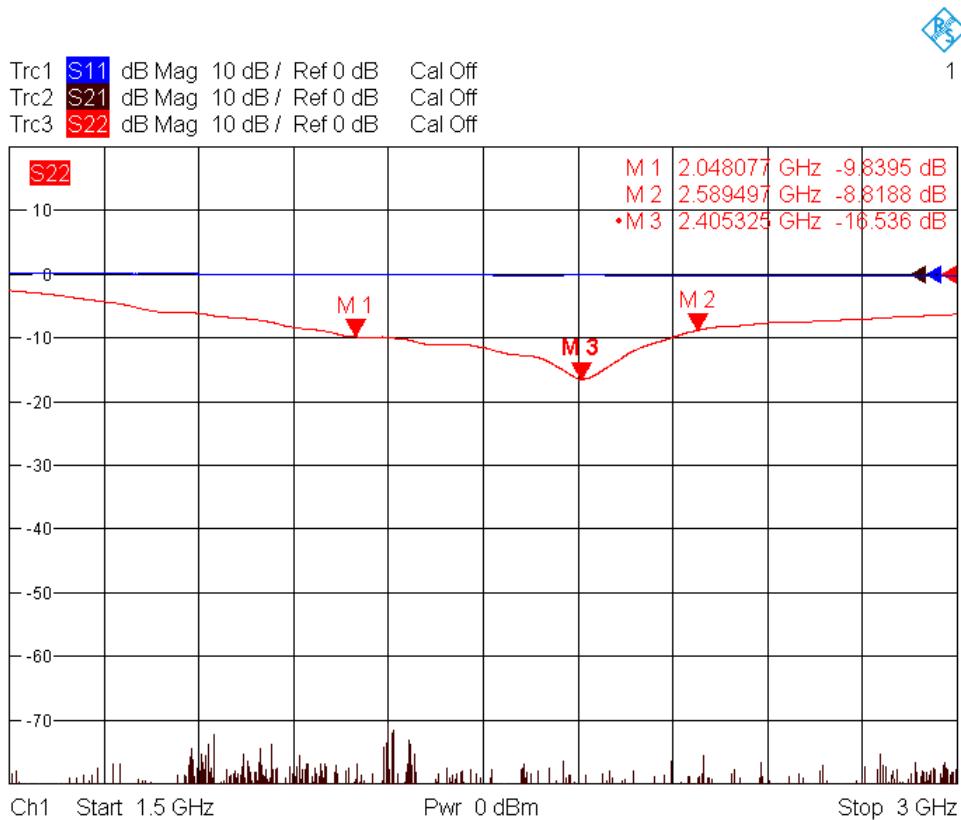
Máy VNA được sử dụng để đo S_{11} và VSWR cho anten



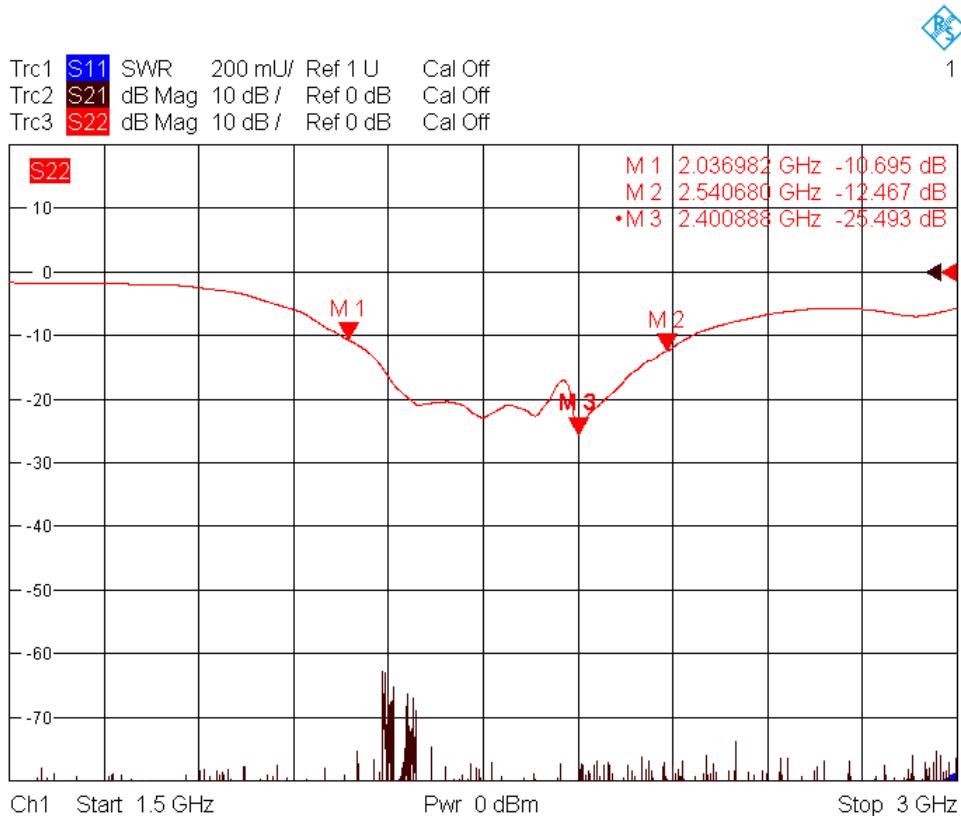
Hình 4.24: Sơ đồ kết nối để đo S_{11} sử dụng VNA

Quan sát hình 4.25 và 4.26 ta thấy rằng có sự khác biệt giữa hệ số S_{11} của monopole (khi chưa lắp vào cantenna) và hệ số S_{11} của cantenna. Điều đó cho thấy việc sử dụng bề mặt định hướng sóng cho anten monopole giúp nâng cao độ định hướng cũng như công suất phát cho anten.

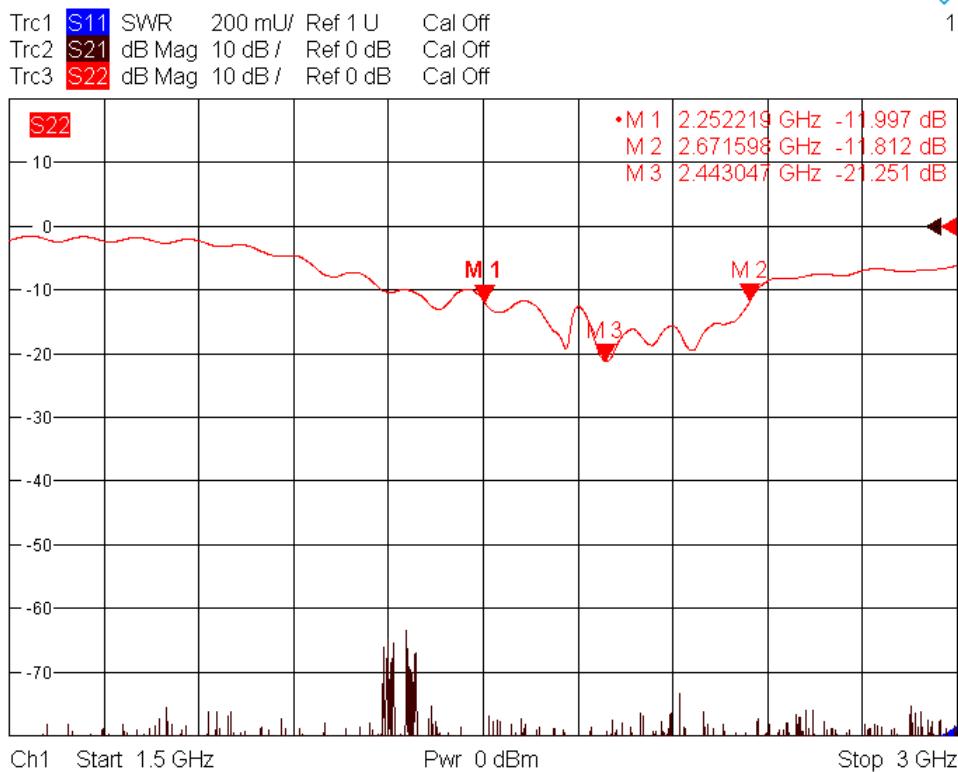
So sánh giữa chất lượng giữa cantenna 1 và cantenna 2, ta thấy tại tần số 2.4 GHz S_{11} của cantenna 1 xấp xỉ -25 dB trong khi đó đối với cantenna 2 là -21 dB. Điều đó cho thấy, cantenna 1 được thiết kế tốt hơn so với cantenna 2, tuy nhiên trong chừng mực cho phép, đáp ứng của hai cantenna được xem là chấp nhận được.



Hình 4.25: Hệ số S_{11} của anten monopole



Hình 4.26: Hệ số S_{11} của cantenna 1


 Hình 4.27: Hệ số S_{11} của cantenna 2

Từ hai hệ số S_{11} của hai cantenna đo được ở trên, ta sẽ lần lượt tính hệ số sóng đứng (VSWR) và trở kháng đầu vào (Z_{in}) của 2 cantenna vừa được thiết kế.

Ta có mối quan hệ giữa VSWR và Z_{in} đối với S_{11} như sau:

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (4.26)$$

$$Z_{in} = Z_o \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}, \text{ với} \quad (4.27)$$

Z_o : trở kháng chuẩn 50 ohm

Parameters	Cantenna 1	Cantenna 2	Unit
S_{11}	-25	-21	[dB]
VSWR	$\frac{1+10^{-25/10}}{1-10^{-25/10}} = \frac{1.0032}{0.9968}$	$\frac{1+10^{-21/10}}{1-10^{-21/10}} = \frac{1.0079}{0.9921}$	None
Z_{in}	50.3210	50.7963	[ohm]

Bảng 4.4: Danh sách các thông số thiết kế cantenna

4.4.1.2 Đồ thị bức xạ (Radiation Pattern)

Có hai cách để xác định đồ thị bức xạ của một anten.

Cách 1: Sử dụng phương trình Friss. (Xem lại phần 2.3.1)

Từ phương trình 2.2 ta có:

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r$$

Trong đó:

P_t : Công suất bức xạ tại anten phát

P_r : Công suất nhận được từ anten thu

G_t : Độ lợi anten phát

G_r : Độ lợi anten thu

R: Khoảng cách giữa anten phát và thu

Như vậy, với một mức công suất phát (P_t) cho trước, khoảng cách (R) và công suất thu của anten (P_r) ta đo được và giả sử rằng hai anten được thiết kế với chất lượng giống hệt nhau ($G_t \simeq G_r$). Một cách đơn giản, ta tính toán ra được độ lợi của anten theo các góc khác nhau, từ đó vẽ được đồ thị bức xạ của anten đó.

Tuy nhiên, phương pháp này mang lại sai số lớn do trên thực tế kênh truyền không lý tưởng, tồn tại suy hao trên đường dây thu và phát, sự sai biệt về chất lượng của hai anten, nhiễu trên đường truyền sóng,... Do vậy, để loại bỏ những sai số do điều kiện không lý tưởng của kênh truyền, người ta thường dùng cách thứ hai để xác định dạng đồ thị bức xạ của anten.

Cách 2: Tính độ lợi dựa trên sự chênh lệch công suất thu với anten mẫu.

Đối với cách đo này, trước tiên ta sẽ sử dụng hai anten mẫu để thiết lập kênh truyền (Hình 4.28). Từ đó ta đo được công suất thu của anten mẫu tại góc 0° (góc bức xạ công suất lớn nhất). Giá trị công suất tại góc 0° được dùng làm giá trị tham chiếu cho các giá trị đo được ở cantenna.

Sau đó, ta sẽ thay thế anten mẫu ở phía thu thành anten mà ta muốn xác định đồ thị bức xạ, trong trường hợp này là cantenna. Giá trị công suất thu đo được đối với cantenna ở các góc khác nhau sẽ so sánh với giá trị tham chiếu ở trên, nhờ đó ta xác định được sự chênh lệch về độ lợi của cantenna so với antena mẫu. Với giá trị độ lợi của anten mẫu ta biết trước, ta sẽ xác định được độ lợi thực tế của cantenna ở các góc khác nhau, từ đó xác định được dạng đồ thị bức xạ của cantenna.