

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**VIỆN ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**



**ĐỒ ÁN**

**TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC**

Đề tài:

**NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH TRUYỀN THÔNG  
VÔ TUYẾN SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ SDR**

**Giảng viên hướng dẫn: PGS.TS. Đỗ Trọng Tuấn**

**Sinh viên:** Lê Bảo Sơn

**SHSV:** 20102090

**Lớp:** ĐTVT 2 - K55

**Viện:** Điện Tử - Viễn Thông

Hà Nội, 01/2017

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**VIỆN ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**



**ĐỒ ÁN**

**TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC**

Đề tài:

**NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH TRUYỀN THÔNG  
VÔ TUYẾN SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ SDR**

**Giảng viên hướng dẫn: PGS.TS. Đỗ Trọng Tuấn**

**Sinh viên:** Lê Bảo Sơn

**SHSV:** 20102090

**Lớp:** ĐTVT 2 - K55

**Viện:** Điện Tử - Viễn Thông

Hà Nội, 01/2017

# NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN

Giảng viên đánh giá: PGS.TS. Đỗ Trọng Tuấn

Họ và tên Sinh viên: Lê Bảo Sơn MSSV: 20102090

Tên đề án: Nghiên cứu mô hình truyền thông vô tuyến sử dụng công nghệ SDR

**Chọn các mức điểm phù hợp cho sinh viên trình bày theo các tiêu chí dưới đây:  
Rất kém (1); Kém (2); Đạt (3); Giỏi (4); Xuất sắc (5)**

Có sự kết hợp giữa lý thuyết và thực hành (20)						
1	Nêu rõ tính cấp thiết và quan trọng của đề tài, các vấn đề và các giả thuyết (bao gồm mục đích và tính phù hợp) cũng như phạm vi ứng dụng của đồ án	1	2	3	4	5
2	Cập nhật kết quả nghiên cứu gần đây nhất (trong nước/quốc tế)	1	2	3	4	5
3	Nêu rõ và chi tiết phương pháp nghiên cứu/giải quyết vấn đề	1	2	3	4	5
4	Có kết quả mô phỏng/thực nghiệm và trình bày rõ ràng kết quả đạt được	1	2	3	4	5
Có khả năng phân tích và đánh giá kết quả (15)						
5	Kế hoạch làm việc rõ ràng bao gồm mục tiêu và phương pháp thực hiện dựa trên kết quả nghiên cứu lý thuyết một cách có hệ thống	1	2	3	4	5
6	Kết quả được trình bày một cách logic và dễ hiểu, tất cả kết quả đều được phân tích và đánh giá thỏa đáng.	1	2	3	4	5
7	Trong phần kết luận, tác giả chỉ rõ sự khác biệt (nếu có) giữa kết quả đạt được và mục tiêu ban đầu đề ra đồng thời cung cấp lập luận để đề xuất hướng giải quyết có thể thực hiện trong tương lai.	1	2	3	4	5
Kỹ năng viết (10)						
8	Đồ án trình bày đúng mẫu quy định với cấu trúc các chương logic và đẹp mắt (bảng biểu, hình ảnh rõ ràng, có tiêu đề, được đánh số thứ tự và được giải thích hay đề cập đến trong đồ án, có căn lề, dấu cách sau dấu chấm, dấu phẩy v.v), có mở đầu chương và kết luận chương, có liệt kê tài liệu tham khảo và có trích dẫn đúng quy định	1	2	3	4	5
9	Kỹ năng viết xuất sắc (cấu trúc câu chuẩn, văn phong khoa học, lập luận logic và có cơ sở, từ vựng sử dụng phù hợp v.v.)	1	2	3	4	5
Thành tựu nghiên cứu khoa học (5) (chọn 1 trong 3 trường hợp)						
10a	Có bài báo khoa học được đăng hoặc chấp nhận đăng/đạt giải SVNC khoa học giải 3 cấp Viện trở lên/các giải thưởng khoa học (quốc tế/trong nước) từ giải 3 trở lên/ Có đăng ký bằng phát minh sáng chế	5				
10b	Được báo cáo tại hội đồng cấp Viện trong hội nghị sinh viên nghiên cứu khoa học nhưng không đạt giải từ giải 3 trở lên/Đạt giải khuyến khích trong các kỳ thi quốc gia và quốc tế khác về chuyên ngành như TI contest.	2				
10c	Không có thành tích về nghiên cứu khoa học	0				
Điểm tổng		/50				
Điểm tổng quy đổi về thang 10						

**3. Nhận xét thêm của Thầy/Cô** (giảng viên hướng dẫn nhận xét về thái độ và tinh thần làm việc của sinh viên)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Ngày:     /     /2017  
Người nhận xét  
(Ký và ghi rõ họ tên)

# NHẬN XÉT CỦA CÁN BỘ PHẢN BIỆN

Giảng viên đánh giá:

Họ và tên Sinh viên: *Lê Bảo Sơn*      MSSV: *20102090*

Tên đề án: **Nghiên cứu mô hình truyền thông vô tuyến sử dụng công nghệ SDR**

*Chọn các mức điểm phù hợp cho sinh viên trình bày theo các tiêu chí dưới đây:*

**Rất kém (1); Kém (2); Đạt (3); Giỏi (4); Xuất sắc (5)**

Có sự kết hợp giữa lý thuyết và thực hành (20)						
1	Nêu rõ tính cấp thiết và quan trọng của đề tài, các vấn đề và các giả thuyết (bao gồm mục đích và tính phù hợp) cũng như phạm vi ứng dụng của đồ án	1	2	3	4	5
2	Cập nhật kết quả nghiên cứu gần đây nhất (trong nước/quốc tế)	1	2	3	4	5
3	Nêu rõ và chi tiết phương pháp nghiên cứu/giải quyết vấn đề	1	2	3	4	5
4	Có kết quả mô phỏng/thực nghiệm và trình bày rõ ràng kết quả đạt được	1	2	3	4	5
Có khả năng phân tích và đánh giá kết quả (15)						
5	Kế hoạch làm việc rõ ràng bao gồm mục tiêu và phương pháp thực hiện dựa trên kết quả nghiên cứu lý thuyết một cách có hệ thống	1	2	3	4	5
6	Kết quả được trình bày một cách logic và dễ hiểu, tất cả kết quả đều được phân tích và đánh giá thỏa đáng.	1	2	3	4	5
7	Trong phần kết luận, tác giả chỉ rõ sự khác biệt (nếu có) giữa kết quả đạt được và mục tiêu ban đầu đề ra đồng thời cung cấp lập luận để đề xuất hướng giải quyết có thể thực hiện trong tương lai.	1	2	3	4	5
Kỹ năng viết (10)						
8	Đồ án trình bày đúng mẫu quy định với cấu trúc các chương logic và đẹp mắt (bảng biểu, hình ảnh rõ ràng, có tiêu đề, được đánh số thứ tự và được giải thích hay đề cập đến trong đồ án, có căn lề, dấu cách sau dấu chấm, dấu phẩy v.v), có mở đầu chương và kết luận chương, có liệt kê tài liệu tham khảo và có trích dẫn đúng quy định	1	2	3	4	5
9	Kỹ năng viết xuất sắc (cấu trúc câu chuẩn, văn phong khoa học, lập luận logic và có cơ sở, từ vựng sử dụng phù hợp v.v.)	1	2	3	4	5
Thành tựu nghiên cứu khoa học (5) (chọn 1 trong 3 trường hợp)						
10a	Có bài báo khoa học được đăng hoặc chấp nhận đăng/đạt giải SVNC khoa học giải 3 cấp Viện trở lên/các giải thưởng khoa học (quốc tế/trong nước) từ giải 3 trở lên/ Có đăng ký bằng phát minh sáng chế	5				
10b	Được báo cáo tại hội đồng cấp Viện trong hội nghị sinh viên nghiên cứu khoa học nhưng không đạt giải từ giải 3 trở lên/Đạt giải khuyến khích trong các kỳ thi quốc gia và quốc tế khác về chuyên ngành như TI contest.	2				
10c	Không có thành tích về nghiên cứu khoa học	0				
Điểm tổng		/50				
Điểm tổng quy đổi về thang 10						

**3. Nhận xét thêm của Thầy/Cô**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Ngày:     /     /2017  
Người nhận xét  
(Ký và ghi rõ họ tên)

## LỜI NÓI ĐẦU

Đảm bảo thông tin liên lạc luôn là một nhu cầu cần thiết trong nhiều lĩnh vực đời sống xã hội. Với sự phát triển của khoa học và công nghệ, các thiết bị thông tin liên lạc hiện nay đã có những tính năng ngày càng ưu việt, nhỏ gọn và thuận tiện trong quá trình sử dụng. Bên cạnh các thiết bị thu phát vô tuyến truyền thống, thời gian gần đây, vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm (*software defined radio* - SDR) đang trở thành một xu hướng phát triển thiết bị liên lạc vô tuyến phổ biến trên thế giới.

Năng lực điện toán của máy tính ngày càng được nâng cao, rất nhiều các khâu xử lý trong thu phát vô tuyến trước đây chỉ có thể thực thi trên phần cứng, nay đã có thể triển khai thông qua các chương trình phần mềm. Công nghệ SDR nổi trội so với vô tuyến truyền thống trước đây nhờ ưu điểm là khả năng linh hoạt theo ngữ cảnh sử dụng, cho phép can thiệp, đưa thêm các chức năng gia tăng vào thiết bị. Trong khuôn khổ đồ án tốt nghiệp này, em đã thực hiện **“nghiên cứu mô hình truyền thông vô tuyến sử dụng công nghệ SDR”** do PGS.TS. Đỗ Trọng Tuấn trực tiếp hướng dẫn. Trong quá trình làm việc, em cùng với các thành viên trong nhóm, bao gồm các bạn khóa 57 và khóa 58 đã có sự trao đổi cùng nhau đi đến thống nhất các phương án về thiết bị phần cứng và phần mềm. Nội dung đồ án đang thực hiện nằm trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ **“Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy thu phát SSB sóng ngắn sử dụng FPGA và DSP phục vụ thông tin liên lạc duyên hải”** - mã số: **B2016-BKA-10**.

Để có thể hoàn thiện tốt đề tài này, em đã nhận được sự quan tâm, ủng hộ, giúp đỡ của rất nhiều người. Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất tới PGS.TS. Đỗ Trọng Tuấn, người trực tiếp hướng dẫn, chỉ bảo tận tình, chu đáo, động viên khích lệ giúp em có thể hoàn thành đồ án này. Cùng với đó, em cũng xin gửi lời cảm ơn tới Th.S Lương Tuấn Hải, bạn Triệu Ngọc Xuân, cùng các thành viên khác trong nhóm nghiên cứu đã giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi xuyên suốt quá trình em thực hiện đồ án này.

Con xin cảm ơn gia đình, anh chị em và bạn bè đã là chỗ dựa tinh thần vững chắc cho con trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện đồ án.

Trong quá trình thực hiện, em đã cố gắng để đạt được kết quả tốt nhất. Tuy nhiên, do còn những hạn chế về mặt kiến thức và kinh nghiệm nên đồ án không thể tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong quý Thầy Cô và các bạn có những góp ý để đồ án của em được hoàn thiện hơn.

Hà nội, ngày 6 tháng 01 năm 2017

Sinh viên thực hiện:

Lê Bảo Sơn



## TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Trong đồ án này, em cùng các thành viên trong nhóm nghiên cứu tập trung vào hai khía cạnh chính. Khía cạnh thứ nhất là tiến hành các khảo sát trên dải sóng HF (3 - 30 MHz) và VHF (30 - 300MHz). Nội dung phần đầu tập trung vào các đặc điểm trên kênh truyền và các ảnh hưởng của điều kiện môi trường tác động lên kênh truyền. Khía cạnh thứ hai là việc triển khai các mô hình thu – phát dựa trên nguyên lý điều chế phổ biến. Nội dung phần thứ hai tập trung chủ yếu vào các phương pháp điều chế đơn biên, điều chế tần số, ứng dụng công nghệ *vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm* (SDR) với mục tiêu ban đầu là truyền âm thanh (giọng nói), tạo tiền đề cho truyền tải nội dung đa phương tiện như các tệp tin hình ảnh, video sau này.

## ABSTRACT

In this project, students and members of the research team focused on two main aspects. The first aspect is to conduct surveys on HF bands (3-30 MHz) and VHF (30 - 300MHz). Contents of the first part focus on the characteristics of the channels and the impacts of environmental conditions impact on the channel. The second aspect is the implementation of a transmit-receive model - based on a common modulation principles. Contents of the second section focus mainly on single-sideband modulation method, frequency modulation, wireless technology applications with software defined (SDR) with the initial goal is to transmit sound (voice), paving the way for the transmission of multimedia content such as text files, photos, and video later.

## MỤC LỤC

<b>LỜI NÓI ĐẦU .....</b>	<b>1</b>
<b>TÓM TẮT ĐỒ ÁN .....</b>	<b>3</b>
<b>MỤC LỤC.....</b>	<b>4</b>
<b>DANH MỤC HÌNH ẢNH.....</b>	<b>7</b>
<b>DANH SÁCH BẢNG BIỂU .....</b>	<b>9</b>
<b>DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT .....</b>	<b>10</b>
<b>NỘI DUNG .....</b>	<b>11</b>
<b>CHƯƠNG 1: MỞ ĐẦU .....</b>	<b>11</b>
<i>1.1. Lý do lựa chọn đề tài.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2. Mục tiêu của đồ án.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3. Phạm vi công việc.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4. Phương thức nghiên cứu .....</i>	<i>13</i>
<i>1.5. Tổ chức của báo cáo đồ án .....</i>	<i>13</i>
<b>CHƯƠNG 2: KHẢO SÁT KÊNH TRUYỀN .....</b>	<b>14</b>
<i>2.1. Đặc tính lan truyền trong dải HF.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2. Đặc tính lan truyền trong dải VHF .....</i>	<i>17</i>
<i>2.3. Hiệu ứng đa đường.....</i>	<i>18</i>
<i>2.4. Suy hao .....</i>	<i>19</i>
<i>2.5. Hiệu ứng Doppler.....</i>	<i>20</i>
<i>2.6. Hiện tượng tán sắc .....</i>	<i>20</i>
<i>2.6. Tóm lược chương hai .....</i>	<i>21</i>
<b>CHƯƠNG 3: VẤN ĐỀ PHÂN TÍCH TÍN HIỆU VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐIỀU CHẾ ĐƠN</b>	
<b>BIÊN, ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ .....</b>	<b>22</b>
<i>3.1. Khái niệm về điều chế .....</i>	<i>22</i>
<i>3.2. Vấn đề phân tích tín hiệu và dữ liệu I/Q .....</i>	<i>24</i>
<i>3.3. Các phương thức điều chế đơn biên.....</i>	<i>26</i>

3.3.2. Phương thức lọc.....	27
3.3.3. Phương thức xoay pha (phương thức Hartley).....	27
3.3.4. Phương thức kết hợp giữa quay pha và lọc (phương thức Weaver).....	29
3.4. Điều chế tần số.....	30
3.5. Tóm lược chương ba.....	32
CHƯƠNG 4: ỨNG DỤNG SDR VÀO HỆ THỐNG THU PHÁT VÔ TUYẾN.....	33
4.1. Vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm.....	33
4.2. Mô hình của máy thu phát vô tuyến ứng dụng SDR.....	34
4.2.1. Digital Downconverter.....	35
4.2.2. Digital Upconverter.....	36
4.3. GNU Radio.....	38
4.4. GNU Radio Companion.....	39
4.5. HackRF One.....	40
4.6. Tóm lược chương bốn.....	42
CHƯƠNG 5: THỬ NGHIỆM.....	43
5.1. Cấu hình các thiết bị thử nghiệm.....	43
5.2. Triển khai mô hình thu phát đơn biên trên GNU Radio và HackRF One.....	44
5.2.1. Mục đích thử nghiệm.....	44
5.2.2. Kịch bản thử nghiệm.....	45
5.2.3. Mô hình điều chế đơn biên trên GNU Radio.....	46
5.2.4. Mô hình giải điều chế SSB trên GNU Radio.....	47
5.2.5. Thử nghiệm.....	49
5.3. Triển khai mô hình điều chế tần số trên GNU Radio và HackRF.....	51
5.3.1. Mục đích thử nghiệm.....	51
5.3.2. Kịch bản thử nghiệm.....	51
5.3.3. Mô hình điều chế FM trên GNU Radio.....	52
5.3.4. Mô hình giải điều chế FM trên GNU Radio.....	53
5.3.5. Thử nghiệm.....	54
5.4. Kết quả.....	55
5.5. Tóm lược chương năm.....	57

<b>KẾT LUẬN .....</b>	<b>58</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>59</b>
<b>PHỤ LỤC: CÁC CẢNH BÁO CỦA GNU RADIO .....</b>	<b>60</b>
<b>BẢNG ĐỐI CHIẾU THUẬT NGỮ VIỆT-ANH.....</b>	<b>61</b>

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 2.1. Các lớp khí quyển (theo Cơ quan không gian Hoa Kỳ - NASA) .....	15
Hình 2.2. Các phương thức lan truyền sóng .....	17
Hình 2.3. Vùng mù trong truyền thông HF.....	18
Hình 2.4. Lan truyền sóng trong tầm nhìn thẳng .....	18
Hình 3.1. Các phương thức điều chế tín hiệu tương tự phổ biến .....	22
Hình 3.2. Phổ tín hiệu sau điều chế AM truyền thống.....	23
Hình 3.3. Biểu diễn biên độ của một tín hiệu cosine .....	24
Hình 3.4. Biểu diễn dữ liệu I/Q của một tín hiệu cosine.....	25
Hình 3.5. Thành phần I của tín hiệu cosin .....	26
Hình 3.6. Thành phần Q của tín hiệu cosin.....	26
Hình 3.7. Tạo tín hiệu đơn biên bằng lọc thông dải.....	27
Hình 3.8. Tạo tín hiệu SSB theo phương thức Hartley .....	28
Hình 3.9. Tạo tín hiệu đơn biên theo phương thức Weaver.....	29
Hình 3.10. Điều chế NBFM .....	31
Hình 3.11. Điều chế WBFM .....	32
Hình 4.1. Mô hình máy thu phát vô tuyến truyền thống .....	34
Hình 4.2. Mô hình đề xuất máy thu phát vô tuyến ứng dụng SDR.....	34
Hình 4.3. Chuyển đổi tín hiệu từ trung tần về băng gốc .....	35
Hình 4.4. Khối DDC .....	35
Hình 4.5. FIR Filter Decimation .....	36
Hình 4.6. Khối DUC .....	37
Hình 4.7. Chuyển đổi tín hiệu từ băng gốc lên trung tần.....	37
Hình 4.8. Tín hiệu đi qua bộ nội suy.....	38
Hình 4.9. Sơ đồ các thành phần của GNU Radio.....	39
Hình 4.10. Một sơ đồ khối đơn giản trong GNU Radio Companion.....	40
Hình 4.11. Cấu tạo một bo mạch HackRF One .....	41
Hình 4.12. Sơ đồ khối của bo mạch HackRF One .....	41
Hình 5.1. Mô hình điều chế SSB theo phương thức Hartley trên GNU Radio.....	46

Hình 5.2. Mô hình giải điều chế SSB theo phương thức Weaver trên GNU Radio	48
Hình 5.3. Đưa tín hiệu trung tần về âm tần	48
Hình 5.4. Lọc tín hiệu ở âm tần	49
Hình 5.5. Giải điều chế SSB theo phương thức Weaver	49
Hình 5.6. Giao diện chương trình điều chế SSB	50
Hình 5.7. Giao diện chương trình giải điều chế SSB	51
Hình 5.8. Mô hình máy phát điều tần trên GNU Radio	53
Hình 5.9. Mô hình máy thu điều tần trên GNU Radio	53
Hình 5.10. Giao diện chương trình điều chế FM	54
Hình 5.11. Giao diện chương trình giải điều chế FM	54
Hình 5.12. Tín hiệu gốc trên miền thời gian	55
Hình 5.13. Tín hiệu sau giải điều chế SSB trên miền thời gian	55
Hình 5.14. Tín hiệu sau giải điều chế FM trên miền thời gian	55
Hình 5.15. Phổ tín hiệu gốc (a), tín hiệu sau giải điều chế SSB (b) và tín hiệu sau giải điều chế FM (c)	56
Hình 5.16. Cảnh báo xuất hiện khi phát trực tiếp tín hiệu giải điều chế SSB qua loa	57

## **DANH SÁCH BẢNG BIỂU**

Bảng 2.1. Các băng sóng.....	14
Bảng 4.1. Các linh kiện chính trên HackRF One và chức năng .....	42
Bảng 5.1. Các phần mềm và thiết bị yêu cầu trong quá trình thử nghiệm.....	43
Bảng 5.2. Cấu hình máy tính sử dụng trong thử nghiệm .....	44
Bảng 5.3. Một số thông số cấu hình trong thử nghiệm mô hình thu phát đơn biên..	45
Bảng 5.4. Thông số tệp âm thanh mẫu.....	45
Bảng 5.6. Một số thông số cấu hình trong thử nghiệm mô hình thu phát điều tần...	52

## DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Từ gốc
ADC	Analog digital converter
AM	Amplitude modulation
API	Application Programing Interface
CPLD	Complex Programmable Logic Device
DAC	Digital analog converter
DDC	Digital down converter
DSB	Double sideband
DSP	Digital signal processor
DUC	Digital up converter
FIR	Finite impulse response
FM	Frequence modulation
FPGA	Field Programmable Gate Arrays
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System
GPP	General purpose processor
GRC	GNU Radio Companion
HF	High frequency
IF	Intermediate frequency
I/Q	In-phase/Quadrature
RF	Radio frequency
SDR	Software defined radio
SMA	SubMiniature version A
SoC	System on Chip
SSB	Single Sideband
VHF	Very high frequency
WAV	Waveform Audio File
WBFM	Wide band frequence modulation



## NỘI DUNG

### CHƯƠNG 1: MỞ ĐẦU

Chương này sẽ trình bày về bốn chủ đề chính: lý do thực hiện, mục tiêu của đề tài, phạm vi công việc đã hoàn thành trong đồ án. Phần cuối là tổ chức kết cấu của báo cáo.

#### 1.1. Lý do lựa chọn đề tài

Radio tần số cao (HF) đã được sử dụng từ nhiều thập kỷ trước, và tới nay vẫn được coi là một phương thức hiệu quả cho thông tin ngoài tầm nhìn. Các tần số được đề cập nằm trong dải từ 3 – 30 MHz. Sử dụng các tính chất khúc xạ của tầng điện ly, có thể sử dụng dải tần được đề cập ở trên trong liên lạc vô tuyến đường dài bằng cách truyền sóng trời. Lợi ích quan trọng nhất của hệ thống thông tin sử dụng dải sóng ngắn (từ đây xin được gọi tắt là *hệ thống thông tin HF*) nằm ở điểm kể trên, giúp cự ly thông tin có thể đạt được khoảng cách rất xa, lên đến hàng ngàn kilomet. Ngoài ra, còn một điểm quan trọng khác, đó là chi phí bỏ ra cho hệ thống thông tin HF là rẻ hơn so với các hệ thống có chức năng tương đương, điển hình là vệ tinh do không tốn chi phí cho hoạt động thuê kênh vệ tinh.

Radio tần số rất cao (VHF) sử dụng dải tần số 30 - 300 MHz nằm ngay phía trên HF. Việc lợi dụng hiện tượng khúc xạ tần điện ly giúp cho máy phát HF có khả năng truyền thông tin đi rất xa. Tuy nhiên, HF có nhưng nhược điểm cố hữu là vùng mù và khả năng đâm xuyên không tốt, khiến cho khả năng phủ sóng tại cự ly ngắn và trung bình của HF không được đánh giá cao. VHF là một sự bổ sung cần thiết, cho phép triển khai hệ thống thông tin một cách toàn diện bất chấp cự ly thông tin. Thực tế ứng dụng cho thấy, VHF vẫn đang được sử dụng rất phổ biến trong lĩnh vực truyền thông quảng bá, điển hình là các đài vô tuyến FM.

Hơn nữa, truyền thông HF và VHF cũng là loại hình phổ biến trong vô tuyến nghiệp dư, hiện đã phát triển mạnh ở các quốc gia phát triển, gần đây đang được thúc

đẩy tại Việt Nam, nhằm gia tăng môi trường hoạt động, thúc đẩy nghiên cứu về lĩnh vực vô tuyến điện tại nước ta.

## 1.2. Mục tiêu của đồ án

Như đã đề cập trong phần tóm tắt đề tài, trong phạm vi đồ án này em xin đưa ra hai mục tiêu chính:

- Tiến hành các khảo sát trên dải HF và VHF, tập trung vào các đặc điểm trên kênh truyền và các ảnh hưởng của điều kiện môi trường tác động lên kênh truyền.
- Thiết kế thiết bị thu – phát sử dụng dải sóng ngắn dựa trên nguyên lý điều chế đơn biên (*Single Side Band*), điều chế tần số (*FM*), ứng dụng công nghệ vô tuyến định nghĩa thông qua phần mềm (*Software Defined Radio*).

## 1.3. Phạm vi công việc

Phạm vi công việc tập trung vào các điểm sau đây. Thứ nhất, về khảo sát kênh truyền dải HF và VHF:

- Khảo sát các ứng dụng về HF và VHF ở Việt Nam và trên Thế Giới.
- Các ảnh hưởng từ môi trường đến điều kiện kênh truyền.

Thứ hai, nghiên cứu mô hình bị thu – phát và ứng dụng công nghệ vô tuyến định nghĩa thông qua phần mềm:

- Lý thuyết điều chế biên độ
- Tín hiệu I/Q
- Các mô hình điều chế đơn biên
- Mô hình điều chế tần số
- Thực thi phần mềm điều chế và giải điều chế trên công cụ GNU Radio.

#### **1.4. Phương thức nghiên cứu**

Phương thức nghiên cứu được đề xuất:

- Tổng hợp thông tin từ các tài liệu, các báo cáo đã có của các tổ chức nghiên cứu, giáo dục.
- Phân tích và thực thi mô phỏng các phương thức điều chế trên phần mềm máy tính.
- Đánh giá kết quả, chuẩn bị triển khai trên phần cứng kết hợp.

#### **1.5. Tổ chức của báo cáo đồ án**

Tổ chức của báo cáo gồm lời nói đầu, tóm tắt đồ án, mục lục và các danh mục hình ảnh, bảng biểu, nội dung báo cáo, kết luận và các phụ lục.

Phần nội dung chính bao gồm 5 chương, lần lượt là:

- Chương mở đầu: Lý do lựa chọn đề tài, mục tiêu của đồ án, phạm vi công việc.
- Chương thứ hai: Một số đặc tính trên kênh truyền của tín hiệu ở dải tần HF và VHF.
- Chương thứ ba: Phân tích tín hiệu, điều chế SSB và FM.
- Chương thứ bốn: Ứng dụng SDR trong hệ thống thu phát vô tuyến.
- Chương thứ năm: Thử nghiệm.

Các chương được mở đầu bằng lời dẫn và kết thúc bằng phần tóm lược nội dung chương và giới thiệu chương kế tiếp.

## CHƯƠNG 2: KHẢO SÁT KÊNH TRUYỀN

Để có thể áp dụng một cách hiệu quả, yêu cầu bắt buộc là phải có một số hiểu biết cơ bản về tính chất lan truyền của dải sóng. Trong chương này sẽ trình bày về tính chất lan truyền của hai dải sóng được đề cập chủ yếu trong đề tài là HF và VHF.

Dải tần truyền thông vô tuyến được chia ra một vài loại. Dựa vào tính chất vật lý, đặc điểm lan truyền, có thể chia thành các băng sóng như trong bảng 2.1.

Tên băng tần (Băng sóng)	Ký hiệu	Phạm vi tần số
Tần số vô cùng thấp	ULF	30 - 300 Hz
Tần số cực thấp	ELF	300 - 3000 Hz
Tần số rất thấp	VLF	3 - 30 kHz
Tần số thấp (sóng dài)	LF	30 - 300 kHz
Tần số trung bình (sóng trung)	MF	300 - 3000 kHz
Tần số cao (sóng ngắn)	HF	3 - 30 MHz
Tần số rất cao (sóng mét)	VHF	30 - 300 MHz
Tần số cực cao (sóng decimet)	UHF	300 - 3000 MHz
Tần số siêu cao (sóng centimet)	SHF	3 - 30 GHz
Tần số vô cùng (sóng milimet)	EHF	30 - 300 GHz
Dưới milimet		300 - 3000 GHz

Bảng 0.1. Các băng sóng

Nhìn chung về ứng dụng, HF và VHF là 2 dải tần cạnh nhau, mang trong nó những ưu điểm có thể bổ sung lẫn nhau. Các ứng dụng phổ biến của HF hiện nay là:

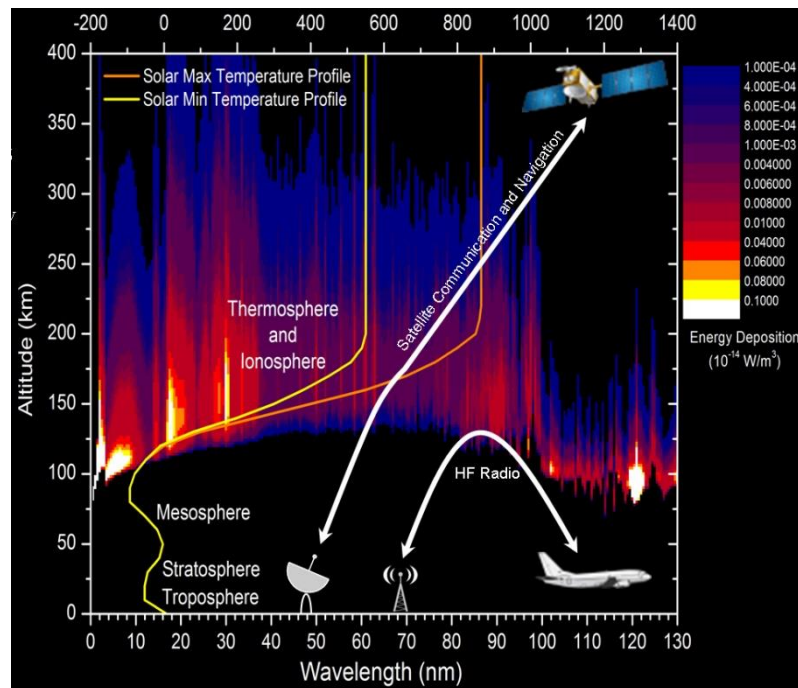
- Hệ thống thông tin liên lạc quân sự
- Hệ thống thông tin hàng không
- Phát thanh quốc tế và khu vực
- Dịch vụ hàng hải xa bờ, hệ thống thông tin nguy hiểm và an toàn hàng hải toàn cầu (GMDSS)
- Radar ngoài đường chân trời

Với VHF, phổ biến nhất phải kể đến:

- Phát thanh và truyền hình quảng bá
- Liên lạc hàng hải
- Kiểm soát không lưu
- Thông tin quân sự

## 2.1. Đặc tính lan truyền trong dải HF

Lĩnh vực chủ yếu áp dụng dải tần này thường là các mạng vô tuyến cự ly gần, nội bộ. Ở dải sóng ngắn (HF), sự ion hóa của năng lượng mặt trời tại tầng thượng lưu của khí quyển gây ra một hiện tượng gọi là sóng trời (*skywave*), giúp liên lạc đường dài, thậm chí là truyền thông xuyên lục địa.



Hình 0.1. Các lớp khí quyển (theo Cơ quan không gian Hoa Kỳ - NASA)

Hình 2.1 mô tả về các lớp không khí có độ cao lên đến 400 km tính từ mặt đất. Các lớp không khí bao quanh Trái Đất này được gọi chung là khí quyển. Độ cao của khí quyển ước tính đạt tới trên 560 km tính từ bề mặt Trái Đất. Tầng đối lưu được tính từ bề mặt Trái Đất và mở rộng lên đến độ cao từ 8 – 15 km. Đây là tầng thấp nhất và có mật độ không khí cao nhất trong khí quyển. Tầng bình lưu nằm ngay phía

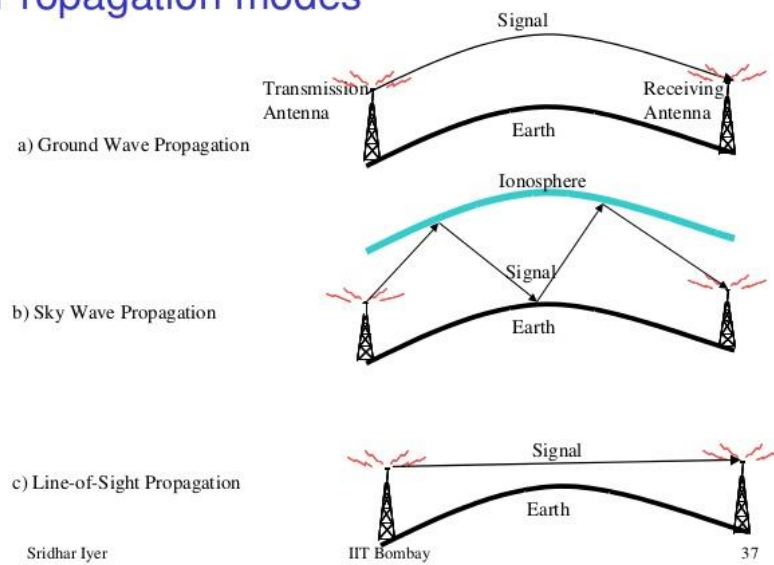
trên tầng đối lưu, mở rộng lên tới độ cao 50 km. Mật độ không khí ở tầng này loãng hơn, độ ẩm cũng thấp hơn. Lớp ozone hấp thụ bức xạ cực tím từ mặt trời cũng nằm trong lớp này. Chín mươi phần trăm lượng không khí của khí quyển nằm ở tầng đối lưu và tầng bình lưu. Tầng giữa là tầng kế tiếp tầng bình lưu, kéo dài tới độ cao 85 km. Tính chất hóa học trong tầng này là ở trạng thái kích thích, vì chúng hấp thụ năng lượng từ mặt trời. Tầng nhiệt bắt đầu ở phía trên tầng giữa và kéo dài lên đến 600 km. Phản ứng hóa học xảy ra nhanh hơn nhiều so với ở trên bề mặt của Trái Đất.

Đối với thông tin bằng sóng ngắn, tầng điện ly là khu vực quan trọng nhất. Phạm vi của nó nằm trong khoảng độ cao từ 50 và tối đa đến 300 km so với bề mặt Trái Đất. Tầng điện ly là một khu vực bất định. Trong ngày, có thể có bốn khu vực hiện nay được gọi là vùng D, E, F1 và F2. Trong số các khu vực này, chỉ có các vùng E, F1 và F2 khúc xạ sóng ngắn. Các điều kiện của các vùng khác nhau từ ngày và đêm theo với chu kỳ mặt trời. Sự lan truyền của sóng ngắn, như thể hiện trong hình 2.2, được chia làm ba dạng:

- Lan truyền sóng đất
- Lan truyền trong tầm nhìn thẳng (Line of Sight)
- Lan truyền sóng trời

Truyền sóng đất là hình thức lan truyền chủ yếu với các tần số dưới 2 MHz. Ở trường hợp này, sóng điện từ có xu hướng đi theo bề mặt địa hình của Trái Đất. Hình thức lan truyền này được sử dụng nhiều với điều chế biên độ (AM) trong phát thanh quảng bá. Sóng lan truyền trên bề mặt Trái Đất, chịu sự suy giảm tần số do hấp thụ của đất.

## Propagation modes



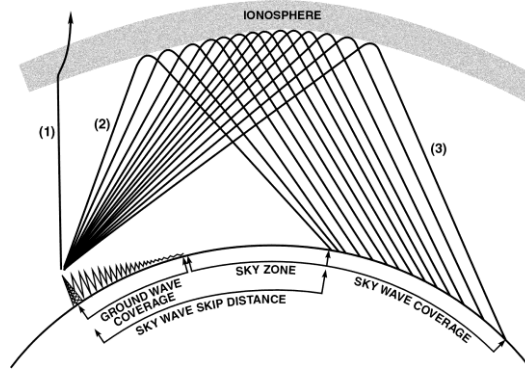
Hình 0.2. Các phương thức lan truyền sóng

Truyền sóng tầm nhìn thẳng là hình thức phổ biến ở các tần số trên 30 MHz. Sóng điện từ lan truyền theo một đường thẳng trong không gian. Điểm bất lợi ở đây là đường tín hiệu có thể nằm ngay trên đường chân trời, bị chặn lại bởi địa hình hoặc các công trình nhân tạo.

Truyền sóng trời là phương thức phổ biến với các tần số nằm trong dải từ 3 tới 30 MHz. Ở đây, sóng có thể lan truyền một cự ly rất dài nhờ sự phản xạ liên tục ở tầng điện ly. Truyền sóng trời gây ra chủ yếu bởi sự phản xạ ở các vùng F, bởi vì ở các vùng này, các trạm phát sóng quốc tế trong dải sóng ngắn có thể được nghe thấy tín hiệu từ phía bên kia của thế giới tại hầu hết thời gian trong ngày và đêm.

### 2.2. Đặc tính lan truyền trong dải VHF

Như đã nhắc đến trong mục 2.1 trên đây, kiểu lan truyền của dải HF là sóng trời, chủ yếu dựa theo phản xạ tầng điện ly. Điều này dẫn đến hiện tượng xuất hiện vùng mù, được mô tả như trong hình 2.3.

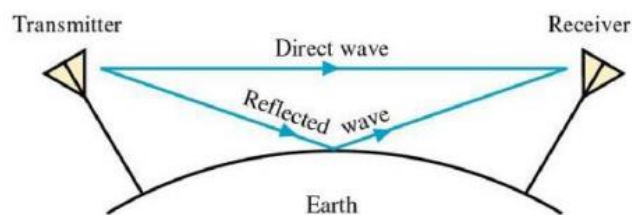


Hình 0.3. Vùng mù trong truyền thông HF

Để hạn chế vùng mù này, trong các hệ thống thông tin vô tuyến thường sử dụng kết hợp thêm một dải tần số khác, ví dụ như VHF.

Không giống như HF, hình thức lan truyền chủ yếu của VHF là lan truyền sóng trong tầm nhìn thẳng. Điều này yêu cầu đường truyền không bị cản trở bởi các chướng ngại vật. Trong hệ thống thông tin VHF, anten cần phải đặt ở trên cao để giảm thiểu cản trở trên đường truyền. Sóng đi từ điểm phát tới điểm thu theo hai hình thức:

- Sóng trực tiếp: đi thẳng từ anten phát đến anten thu
- Sóng phản xạ: đi tới điểm thu sau khi phản xạ trên trên mặt đất hoặc bề mặt các chướng ngại vật



Hình 0.4. Lan truyền sóng trong tầm nhìn thẳng

### 2.3. Hiệu ứng đa đường

Nói về truyền thông HF, lợi thế của hình thức này tới từ những đặc điểm độc đáo của nó, ví dụ như sự đơn giản, khả năng kết nối gần như toàn cầu với công suất phát thấp, không yêu cầu chuyển tiếp và chi phí phải chăng. Đương nhiên, truyền thông sóng ngắn cũng có những điểm yếu liên quan tới sự bất thường ở tầng điện ly



gây ra. Fading gây ra bởi sự rối loạn từ mặt trời và nhiễu đa đường làm giảm độ tin cậy trong truyền thông HF.

Nói về truyền thông VHF, đây vẫn là hình thức vô tuyến phổ biến trên thế giới. Với bước sóng từ 10 đến 1 m, dải sóng VHF có khả năng đâm xuyên tốt hơn so với HF rất nhiều. Mặc dù vậy, dải sóng này cũng bị hạn chế bởi yêu cầu đường truyền trong tầm nhìn thẳng, chỉ thích hợp với truyền thông trong khu vực vùng, cự ly ngắn đến trung bình xấp xỉ 100 kilomet. Cũng giống với HF, VHF cũng chịu ảnh hưởng từ hiệu ứng đa đường, nhưng chủ yếu đến từ phản xạ sóng với mặt đất và các bề mặt chướng ngại vật.

Fading đa đường là hiện tượng phát sinh do sự phân tán tín hiệu của anten phát. Một số phương thức truyền có sự biến đổi về biên độ và pha. Với HF, điều này xảy ra do sự phản xạ của tín hiệu tại những vùng khác nhau ở tầng điện ly và do hiện tượng nhảy tín hiệu (signal hopping). Với VHF, điều này xảy ra do sự phản xạ của tín hiệu tại trên bề mặt. Những tín hiệu này ảnh hưởng lẫn nhau và dẫn đến sai khác pha khi tới được máy thu. Fading đa đường dẫn đến fading lựa chọn theo thời gian và fading lựa chọn theo tần số. Đây đều là những nguyên nhân gây giới hạn tốc độ bit. Nếu tín hiệu được truyền đi theo phương thức truyền sóng trời có tốc độ bit cao hơn mức cho phép của hệ thống, một hiện tượng được biết đến là can nhiễu liên ký tự (**ISI**) sẽ xảy ra. Đây là hiện tượng các ký hiệu cạnh nhau can thiệp với nhau.

Fading lựa chọn theo thời gian gây ra bởi trễ do hiện tượng đa đường tới một pha. Trễ pha sẽ gây tắt sóng hoặc suy hao biên độ của sóng. Trường hợp tệ nhất xảy ra khi cùng một tín hiệu đi theo những đường khác nhau tới máy thu với sai khác pha  $180^\circ$ , kết quả là các sóng này sẽ đập tắt lẫn nhau. Một trễ diễn ra trong khoảng mili giây theo đa đường, là khởi đầu của fading chọn lọc theo tần số. Fading chọn lọc theo tần số là nguyên nhân gây ra những suy giảm tần số nhất định.

## 2.4. Suy hao

Suy hao sóng là một trong những yếu tố tác động đến cường độ của trường tín hiệu. Có nhiều nguyên nhân gây ra hiện tượng suy hao của trường. Khi sóng vô tuyến

truyền trong một môi trường ngoài sự suy hao do môi trường gây ra như bị hấp thụ trong các phân tử khí, trong hơi nước,... tổn hao do mây, mưa, do vật chắn sóng... thì sự tổn hao lớn nhất chính là do sự khuếch tán tất yếu của sóng ra mọi phương, hiện tượng này gọi là tổn hao trong không gian tự do.

Sóng vô tuyến khi lan truyền trong tầng đối lưu ngoài các hiện tượng khúc xạ, phản xạ còn bị suy hao do hấp thụ của các phân tử do mây mưa, hấp thụ do sương mù, tuyết. Các hấp thụ này phụ thuộc vào tần số điều kiện khí tượng của từng vùng và phương của tia sóng bao gồm:

- Hấp thụ phân tử: Hấp thụ phân tử trong tầng đối lưu do phân tử hơi nước và oxi. Hấp thụ phân tử phụ thuộc vào tần số, khi tần số  $f < 10\text{GHz}$  thì có thể bỏ qua.
- Hấp thụ trong mưa và sương mù: Hấp thụ sóng trong mưa phụ thuộc vào cường độ mưa tích lũy (mm/h).

## 2.5. Hiệu ứng Doppler

Một nguồn A phát ra sóng có tần số  $f$  truyền tới một máy thu B. Nếu nguồn A hay máy thu B chuyển động thì tần số sóng điện từ do máy A phát ra sẽ khác với tần số do nguồn B thu được, đó chính là hiệu ứng Doppler.

Khi có sự chuyển động tương đối giữa máy phát và máy thu thì tần số sóng điện từ sẽ bị thay đổi: Nếu chuyển động lại gần nhau thì tần số sẽ tăng cao lên, chuyển động ra xa thì tần số sẽ thấp đi. Vấn đề này đặc biệt làm ảnh hưởng đến chất lượng thông tin hệ thống thông tin liên lạc HF: Nó làm thay đổi tần số sóng mang khiến thay đổi dạng của tín hiệu điều chế và kết quả là làm méo dạng tín hiệu.

## 2.6. Hiện tượng tán sắc

Trên thực tế, tín hiệu sóng mang bao gồm một nhóm tần số (chứ không phải là một tín hiệu đơn lẻ như tần số lý tưởng), do đó, khi tín hiệu này mang thông tin đi qua môi trường không gian tự do có chiết suất thay đổi theo không gian và thời gian thì nó bị phân tán tần số. Điều này khiến cho thông tin ở phía thu bị méo dạng.

## **2.6. Tóm lược chương hai**

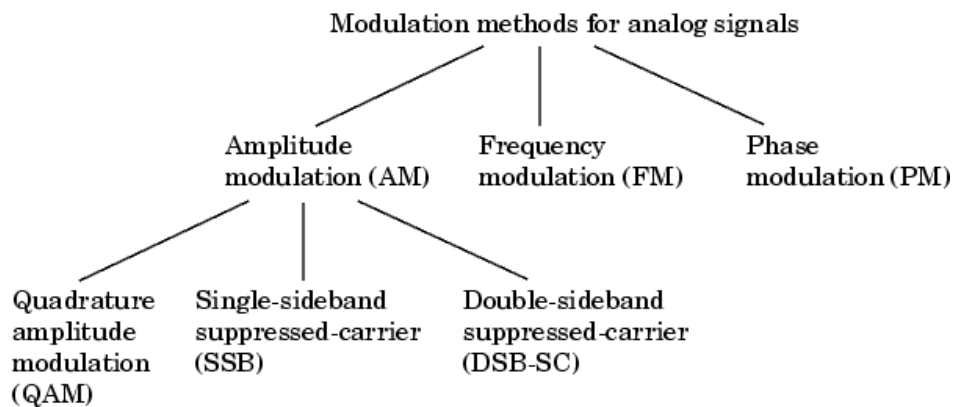
Kết thúc chương hai, trên đây là các hiểu biết sơ lược của em về các đặc tính lan truyền của sóng vô tuyến dải tần HF và VHF. Một số hiệu ứng ảnh hưởng đến kênh truyền cũng đã được đề cập trong chương này. Ở chương kế tiếp em xin đề cập về vấn đề phân tích dữ liệu và các phương thức điều chế SSB và FM.

## CHƯƠNG 3: VẤN ĐỀ PHÂN TÍCH TÍN HIỆU VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐIỀU CHẾ ĐƠN BIÊN, ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ

Chương này tập trung vào trình bày các khái niệm cơ bản về phân tích tín hiệu, điều chế tín hiệu, cụ thể là điều chế đơn biên và điều chế tần số cũng như các phương thức điều chế phổ biến hiện nay của hai hình thức này.

### 3.1. Khái niệm về điều chế

Về điều chế nói chung, đây là hình thức ánh xạ tin tức vào sóng mang bằng cách thay đổi thông số của sóng mang theo tin tức. Có ba kỹ thuật điều chế tương tự chính là điều chế biên độ, điều chế tần số và điều chế pha, như thể hiện ở hình 3.1.



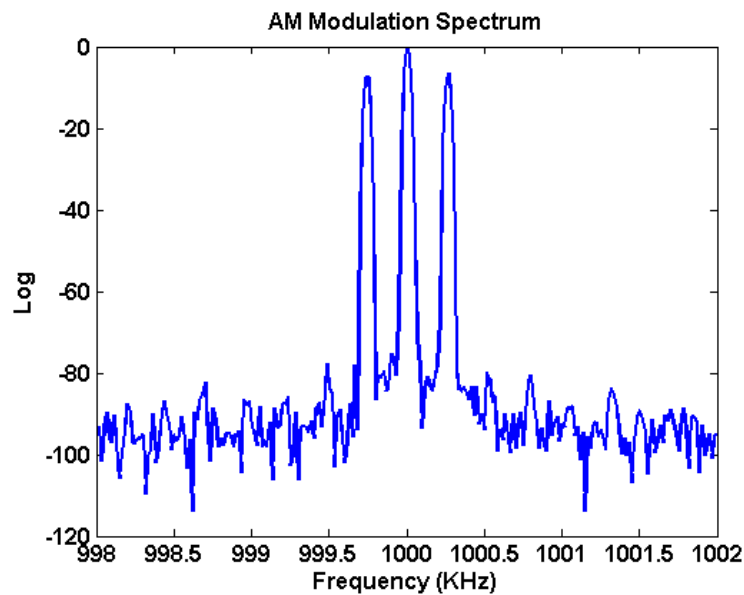
Hình 0.1. Các phương thức điều chế tín hiệu tương tự phổ biến

Về điều chế đơn biên, lý do lựa chọn kỹ thuật điều chế biên độ trong đề tài này là bởi:

- Đây là dạng điều chế đơn giản nhất, thiết kế ít phức tạp, tốn kém.
- Do yêu cầu phải có khả năng truyền thông tin ở cự ly rất xa, tần số sóng mang không quá lớn, triển khai phương thức điều chế biên độ thích hợp trong điều kiện này.

Đây là quá trình điều chế tạo một biên tần (có thể chọn biên trên hoặc biên dưới) của tín hiệu AM truyền. Trong điều chế biên độ, điều chế đơn biên (SSB) là hình thức điều chế thực hiện phức tạp hơn cả. Tuy vậy, SSB có được ưu điểm mà so

với các hình thức như điều chế song biên (DSB) hay AM truyền thống (từ đây xin phép được gọi tắt là AM) gặp hạn chế, đó là vấn đề hiệu quả sử dụng công suất. Tại sao lại như vậy? Đơn giản là vì tín hiệu sau điều chế chỉ mang một thành phần biên của tín hiệu ban đầu và không kèm theo tín hiệu sóng mang, do đó, công suất chỉ tập trung vào phần mang thông tin có ích, không yêu cầu truyền công suất qua sóng mang.



Hình 0.2. Phổ tín hiệu sau điều chế AM truyền thống

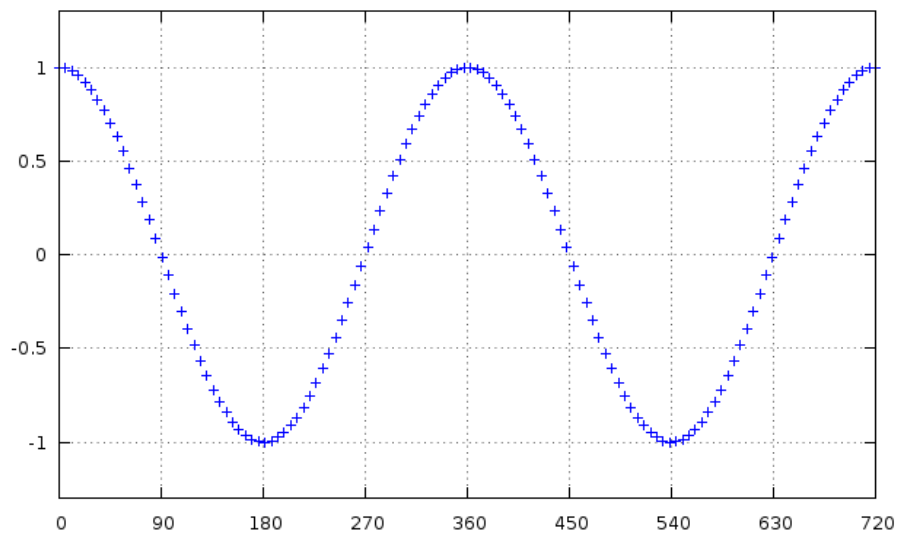
Ở cùng một cự ly thông tin, công suất phát trong điều chế SSB sẽ thấp hơn nhiều so với AM, một yêu cầu nổi bật với các hệ thống liên lạc cự ly rất dài. Việc chỉ có một biên tín hiệu được phát đi cũng giúp tiết kiệm băng thông cao tần hơn so với 2 phương pháp AM và DSB.

Về điều chế tần số, FM sử dụng sự thay đổi của tần số để biểu diễn tín hiệu mong muốn. Việc không thay đổi biên độ của tín hiệu giúp cho FM ít nhiễu hơn so với AM. Ưu điểm khác nữa của FM là tính chọn lọc cao, và vì có tần số cao nên lượng thông tin chuyển tải nhiều hơn. Tuy nhiên, cũng vì sử dụng tần số cao nên FM không phải là sự lựa chọn tốt trong việc truyền tải thông tin cự ly dài.

### 3.2. Vấn đề phân tích tín hiệu và dữ liệu I/Q

Trước khi đi vào các phương thức điều chế cụ thể, em xin phép được trình bày những hiểu biết của bản thân về vấn đề dữ liệu I/Q. Đây là phần lý thuyết quan trọng, tạo tiền đề cho xây dựng các nguyên lý điều chế và giải điều chế sau này.

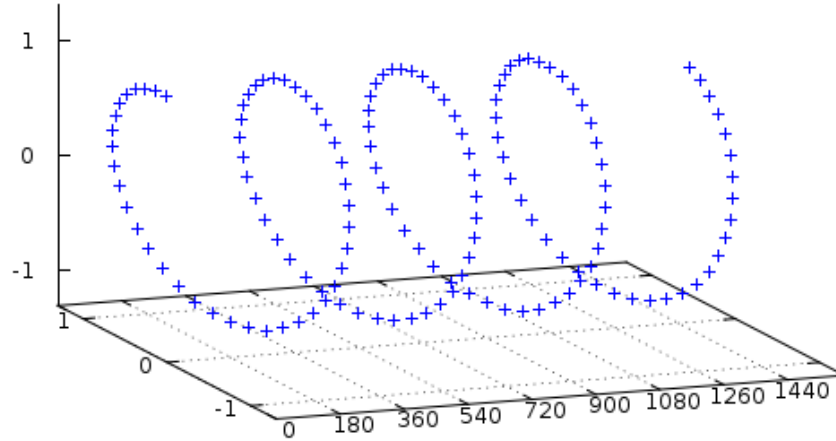
Khẳng định rằng sử dụng dữ liệu I/Q có thể đại diện được cho một tín hiệu. Nó biểu diễn thông tin nhiều hơn và chính xác hơn so với việc chỉ sử dụng một số mẫu đại diện cho biên độ của tín hiệu ở một số thời điểm nhất định. Giả sử như bên dưới đây là đồ thị biên độ của một tín hiệu cosine.



Hình 0.3. Biểu diễn biên độ của một tín hiệu cosine

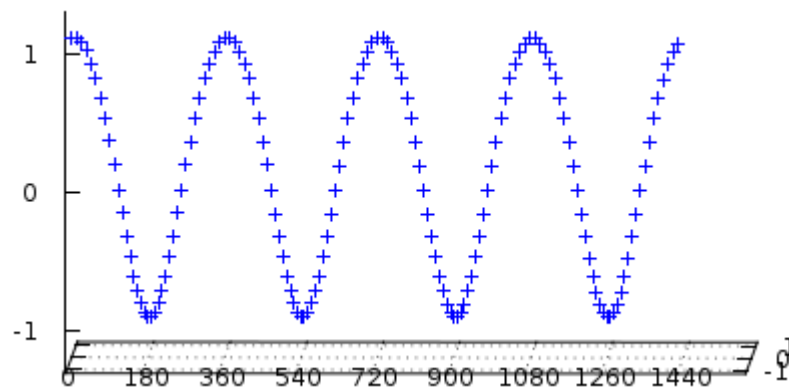
Với một tín hiệu đơn giản như trên hình 3.3, dựa vào đồ thị ta có thể nhận xét được biên độ, tần số và pha của tín hiệu này. Tuy nhiên nếu là một tín hiệu phức tạp, được trộn từ nhiều tín hiệu có pha và biên độ khác nhau, việc sử dụng đồ thị mô tả như hình 3.3 chỉ có thể cung cấp thông tin về biên độ của tín hiệu tổng hợp mà không thể cho biết pha và tần số của các tín hiệu thành phần. Lấy một ví dụ, ta đều biết rằng  $\cos(\omega) = \cos(-\omega)$ , đồ thị biên độ theo thời gian của 2 tín hiệu này là giống nhau, điều này dẫn đến một vấn đề giả sử ta trộn 2 tín hiệu có tần số  $f_1$  và  $f_2$ , tín hiệu kết quả  $f_1 \otimes f_2$  có thể sẽ là  $f_1 - f_2$  hoặc  $f_1 + f_2$ , đều có thể chấp nhận được. Vấn đề thứ hai là xác định công suất của tín hiệu. Do chỉ biểu diễn biên độ của tín hiệu tại điểm lấy mẫu, đồ thị biên độ không thể cho biết được công suất do tại mỗi điểm công suất

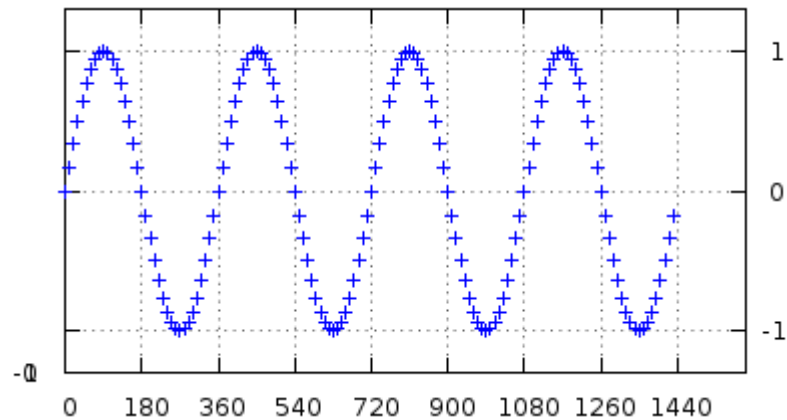
của tín hiệu có thể khác nhau, và cũng không chắc chắn việc lấy mẫu đã rơi vào đỉnh của tín hiệu.



Hình 0.4. Biểu diễn dữ liệu I/Q của một tín hiệu cosine

Dữ liệu I/Q (In-phase/Quadrature), như hình 3.4, có thể giải quyết vấn đề này. Thay vì chỉ nhìn tín hiệu trên một đường cong phẳng, tín hiệu sẽ được hiển thị trên một đồ thị có hình đường vặn nút chai trong không gian 3 chiều. Nếu quan sát tín hiệu theo góc nhìn từ hướng bên, như trong hình 3.5, ta thấy tín hiệu được biểu diễn giống với đồ thị biểu diễn biên độ tín hiệu như trong hình 3.3. Đây là thành phần I (In-phase) của tín hiệu xoắn ốc đã trình bày ở hình 3.4. Nếu nhìn theo hướng từ trên xuống, chúng ta sẽ quan sát thấy tín hiệu lệch pha  $90^\circ$ . Đây là thành phần Q (Quadrature) của tín hiệu.



*Hình 0.5. Thành phần I của tín hiệu cosin**Hình 0.6. Thành phần Q của tín hiệu cosin*

Nhìn vào hướng xoắn ốc theo trục thời gian, ta thấy nó gió ngược chiều kim đồng hồ. Điều này có nghĩa cho chúng ta biết đây là vùng tần số dương. Chiều của xoắn ốc có thể ngược chiều kim đồng hồ, vẫn tạo cùng I nhưng khác nhau tín hiệu Q, đại diện cho một tần số âm. Ta cũng thấy rằng bán kính của xoắn ốc là không đổi ở mỗi mẫu, nếu I nhỏ thì Q lớn và ngược lại. Bán kính là biên độ đỉnh của tín hiệu.

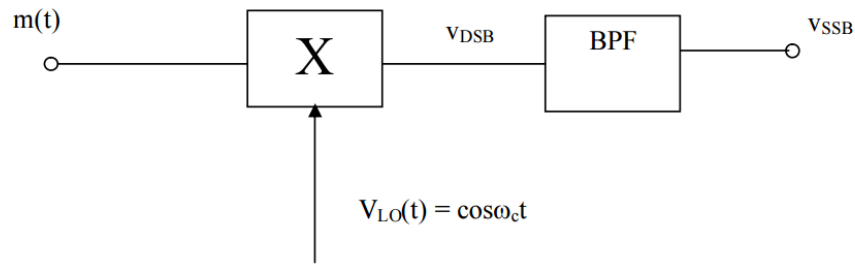
Các trục của khóa học  $90^\circ$ , do bán kính phải bằng  $\sqrt{I^2 + Q^2}$ . Đây là biên độ đỉnh của tín hiệu của bạn, và bạn có thể nhìn thấy bạn biết điều này cho mỗi mẫu.

### 3.3. Các phương thức điều chế đơn biên

Điều chế đơn biên có thể thực hiện theo ba phương thức chính: phương thức sử dụng lọc thông dải, phương thức quay pha (phương thức Hartley) và phương thức kết hợp giữa quay pha và lọc (phương thức Weaver). Trong phần này, em xin trình bày về cơ sở lý thuyết của cả ba phương thức điều chế kể trên.



### 3.3.2. Phương thức lọc



Hình 0.7. Tạo tín hiệu đơn biên bằng lọc thông dải

Hình 3.7 là mô hình tạo tín hiệu đơn biên bằng lọc thông dải. Tín hiệu điều chế  $m(t)$  và tải tin  $V_{LO}(t)$  được đưa vào bộ điều chế cân bằng. Sau bộ điều chế cân bằng ta thu được hai dải biên (DSB). Sau đó dùng bộ lọc BPF ta thu được biên trên hoặc biên dưới. Nhưng do  $\omega_{m(t)} \ll \omega_c$  nên  $\omega_c \pm \omega_{m(t)}$  rất gần  $\omega_c$ , mặt khác khi muốn lọc tần số càng cao thì bộ lọc có băng thông lọc càng lớn, do đó việc lọc rất khó khăn. Trong thực tế ta chọn tần số trung gian nằm trong khoảng  $100 \div 500\text{MHz}$  vì ở dải tần số đó ta có bộ lọc thạch anh và bộ lọc cơ điện tốt nhất. Sau đó để chuyển  $f_{TG}$  lên tần số tải tin  $f_c$  ta dùng thêm một vài bộ điều chế cân bằng và bộ lọc dải ở các tần số khác nhau. Phương thức đó gọi là phương thức tổng hợp.

### 3.3.3. Phương thức xoay pha (phương thức Hartley)

Tín hiệu tin tức  $m(t)$  và sóng mang  $v_c$  trực tiếp đi qua bộ điều chế cân bằng 1; tín hiệu tin tức  $m(t)$  và tín hiệu sóng mang  $v_c$  trước khi đi qua bộ điều chế cân bằng 2 được xoay pha  $90^\circ$ . Tín hiệu đầu ra của 2 bộ điều chế cân bằng được đưa qua bộ tổng (hoặc hiệu) và ở đầu ra của bộ tổng (hoặc hiệu) là tín hiệu đơn biên SSB như trong hình 3.8.

Phương thức quay pha được thực hiện ở ngay tần số làm việc. Ở đầu ra của bộ điều chế cân bằng 1 ta nhận được:

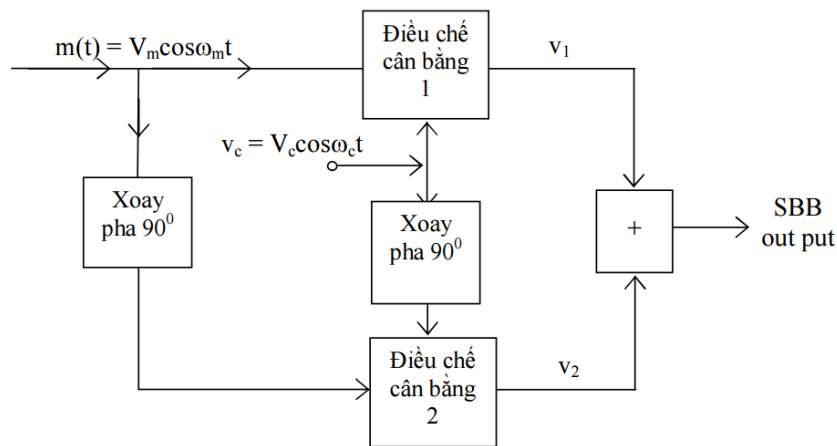
$$v_1 = V_m \cos \omega_m t \cdot V_c \cos \omega_c t = \frac{V_m V_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (1)$$

Bộ xoay  $90^\circ$  biến đổi cos thành sin, do đó đầu ra của bộ điều chế cân bằng 2 ta nhận được:

$$v_2 = V_m \sin \omega_m t \cdot V_c \sin \omega_c t = \frac{V_m V_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (2)$$

Ở đầu ra ở bộ tổng ta nhận được:

$$v_{SSB} = v_1 + v_2 = V_c V_m \cos(\omega_c - \omega_m)t$$



Hình 0.8. Tạo tín hiệu SSB theo phương thức Hartley

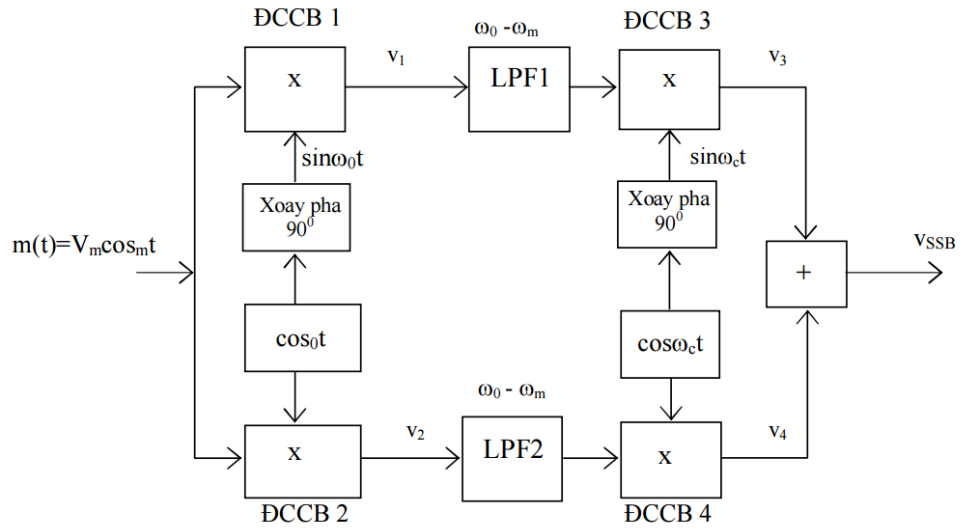
Đây chính là điều biên tần số dưới của tín hiệu SSB. Nếu thay mạch tổng bằng mạch hiệu ta sẽ nhận được biên tần trên.

Phương thức này có thể mở rộng cho trường hợp hệ thống điều chế có số lượng bộ điều chế  $n \geq 3$ , lúc đó sẽ có  $n$  mạch quay pha  $180^\circ/n$ .

Hạn chế của phương thức: Đầu ra SSB chỉ đúng khi hai bộ điều chế cân bằng hoàn toàn giống nhau để  $v_1$  và  $v_2$  có biên độ như nhau và hai bộ di pha phải tạo ra di pha chính xác (đúng  $90^\circ$ ). Nếu không ở đầu ra ta sẽ thu được cả 2 biên tần. Đây là khó khăn lớn nhất vì thực hiện quay pha chính xác đối với một tín hiệu có dải tần rộng không phải đơn giản. Vì vậy phương thức này ít được sử dụng trong thực tế.

### 3.3.4. Phương thức kết hợp giữa quay pha và lọc (phương thức Weaver)

Một phương thức tạo tín hiệu đơn biên khác là phương thức Weaver, như trong hình 3.9:



Hình 0.9. Tạo tín hiệu đơn biên theo phương thức Weaver

- Tín hiệu ngõ ra của bộ điều chế cân bằng 1:

$$v_1 = m(t)\sin\omega_0 t = V_m \cos\omega_m t \cdot \sin\omega_0 t = \frac{Vm}{2} [\sin(\omega_0 + \omega_m)t + \sin(\omega_0 - \omega_m)t] \quad (3)$$

Qua bộ lọc LPF1 còn lại thành phần:  $\frac{Vm}{2} \sin(\omega_0 - \omega_m)t$

- Tín hiệu ngõ ra bộ điều chế cân bằng 2:

$$v_2 = m(t)\cos\omega_0 t = V_m \cos\omega_m t \cdot \cos\omega_0 t = \frac{Vm}{2} [\cos(\omega_0 + \omega_m)t + \cos(\omega_0 - \omega_m)t] \quad (4)$$

Qua bộ lọc LPF2 còn lại thành phần:  $\frac{Vm}{2} \cos(\omega_0 - \omega_m)t$

- Tín hiệu ngõ ra bộ điều chế cân bằng 3:

$$v_3 = \frac{Vm}{2} \sin(\omega_0 - \omega_m)t \cdot \sin\omega_c t = \frac{Vm}{4} [\cos(\omega_c - \omega_0 + \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_0 - \omega_m)t] \quad (5)$$

- Tín hiệu ngõ ra bộ điều chế cân bằng 4:

$$v_4 = \frac{V_m}{2} \cos(\omega_0 - \omega_m)t \cdot \cos\omega_c t = \frac{V_m}{4} [\cos(\omega_c + \omega_0 - \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_0 + \omega_m)t] \quad (6)$$

- Qua bộ cộng:

$$v_{SSB}(t) = v_3 + v_4 = \frac{V_m}{2} \cos(\omega_c - \omega_0 + \omega_m)t \quad (7)$$

Đây là biên tần trên của tín hiệu SSB. Nếu ta thay bộ tổng bằng bộ hiệu ta sẽ thu được biên tần trên. Phương thức này không cần dùng mạch quay pha với tín hiệu điều chế nên dễ thực hiện hơn. Đây cũng là phương thức được thực nhiều trong các mạch điều chế có sử dụng DSP hoặc FPGA hiện nay.

### 3.4. Điều chế tần số

Một tín hiệu điều chế góc, cũng được gọi là một tín hiệu điều chế hàm mũ, có dạng:

$$S_m(t) = A \cos(\omega t + \theta(t)) = \text{Re}\{A \exp[j\phi(t)]\} \quad (8)$$

Trong đó pha  $\phi_i(t)$  được định nghĩa như:

$$\phi_i(t) = \omega t + \theta(t) \quad (9)$$

và tần số tức thời của tín hiệu điều chế được định nghĩa là

$$\omega_i(t) = \frac{d}{dt} [\omega t + \theta(t)] = \omega + \frac{d(\theta(t))}{dt} \quad (10)$$

Hàm  $\theta(t)$  và  $\frac{d(\theta(t))}{dt}$  được gọi tương ứng là pha tức thời và tần số lệch.

Độ lệch pha của sóng mang  $\phi(t)$  có sự liên quan đến tín hiệu tin tức âm tần. Tùy thuộc vào bản chất của mối quan hệ giữa  $\phi(t)$  và  $s(t)$ , chúng ta có hình thức khác nhau của điều chế góc:

$$\frac{d(\theta(t))}{dt} = k_f s(t) \quad (11)$$

$$\phi(t) = k_f \int_{t_0}^t s(\lambda) d\lambda + \omega t \quad (12)$$

Với  $k_f$  là một hằng số dịch tần, (tính bằng (rad/sec)/volt).

Thường giả định,  $t_0 = -\infty$  và  $\phi(-\infty) = 0$ .

Kết hợp các công thức (11) và (12), ta có thể thể hiện các tín hiệu tần số điều chế là:

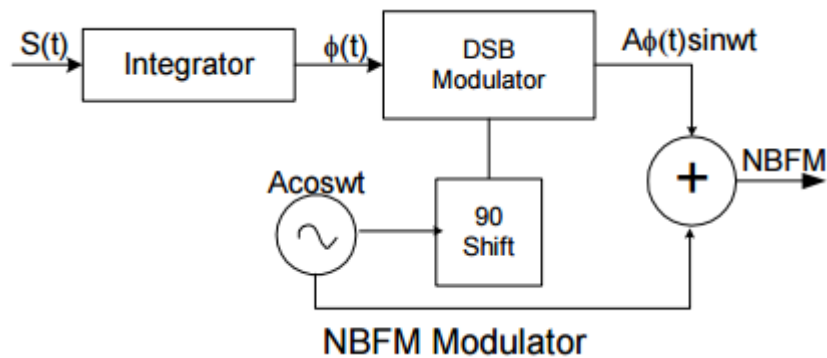
$$S_m(t) = A \cos \left[ \omega t + k_f \int_{-\infty}^t s(\tau) d\tau \right] \quad (13)$$

FM có 2 dạng điều chế là FM băng hẹp (NBFM) có nhiều điểm tương đồng với tín hiệu DSB hoặc AM. Tín hiệu NBFM được minh họa như sau:

$$\begin{aligned} S_m(t) &= A \cos[\omega t + \phi(t)] = A \cos \omega t \cos \phi(t) - A \sin \omega t \sin \phi(t) \\ &\approx A \cos \omega t - A \phi(t) \sin \omega t \end{aligned} \quad (14)$$

Với xấp xỉ  $\cos \phi = 1$  và  $\sin \phi \approx \phi$ , khi  $\phi$  rất nhỏ.

Để điều chế tín hiệu NBFM, có thể dùng một hệ thống như trong hình 3.10

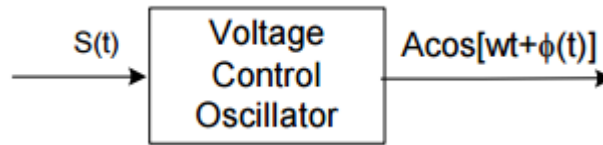


Hình 0.10. Điều chế NBFM

Tín hiệu đi qua khâu tích phân trước khi đi vào điều chế và một bộ điều chế DSB để tạo ra thành phần cầu phương của tín hiệu NBFM. Sóng mang được đưa vào thành phần cầu phương để tạo ra một tín hiệu NBFM gần đúng.

Ngày nay trong các máy thu phát FM thường sử dụng phương thức điều chế băng rộng (WBFM). Có 2 phương pháp cơ bản để tạo ra một tín hiệu FM là trực tiếp

và gián tiếp. Phương pháp trực tiếp làm cho việc sử dụng một thiết bị được gọi là VCO có tần số dao động phụ thuộc tuyến tính vào điện áp điều chế.



Hình 0.11. Điều chế WBFM

### 3.5. Tóm lược chương ba

Kết thúc chương ba, trong chương này đã trình bày về khái niệm điều chế, bản chất tín hiệu và mô tả tín hiệu dựa theo dữ liệu I/Q. Các phương pháp điều chế đơn biên và điều chế tần số cũng đã được trình bày trong nội dung chương này. Chương tiếp theo em xin trình bày về các nội dung: SDR, phần mềm và phần cứng được sử dụng cho thử nghiệm trong phạm vi đồ án này.

## CHƯƠNG 4: ỨNG DỤNG SDR VÀO HỆ THỐNG THU PHÁT VÔ TUYẾN

Trong chương này, em xin trình bày về GNU Radio và triển khai mô hình điều chế và giải điều chế trên phần mềm này, nhằm đáp ứng mục tiêu về thiết kế thiết bị thu – phát ứng dụng công nghệ SDR.

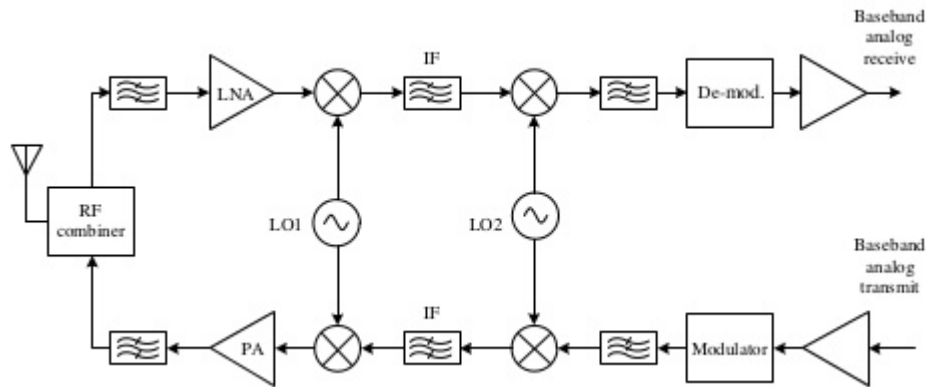
### 4.1. Vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm

Vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm hay Software Define Radio (SDR) là một hệ thống thông tin vô tuyến, nơi các thành phần thường được thực hiện trên phần cứng (ví dụ bộ trộn, bộ lọc, bộ khuếch đại, bộ điều chế / giải điều chế, phát hiện, v.v...) được thay thế thực hiện bằng phần mềm trên máy tính cá nhân hoặc hệ thống nhúng. SDR sử dụng một nền tảng phần cứng thống nhất để cung cấp các tiêu chuẩn thông tin, các lược đồ điều chế và tần số khác nhau thông qua các module phần mềm. Nó hỗ trợ việc triển khai các hệ thống thông tin vô tuyến đa băng tần và đa tiêu chuẩn. Một cách cụ thể, SDR định nghĩa là một tập hợp các kỹ thuật phần cứng và phần mềm trong đó một vài hoặc toàn bộ các chức năng hoạt động của vô tuyến (còn được gọi là xử lý lớp vật lý) được thực hiện thông qua phần mềm hoặc phần sụn (firmware) có thể thay đổi hoạt động dựa trên các kỹ thuật xử lý lập trình được. Các thiết bị này gồm có các ma trận cổng logic bán dẫn trường cho phép lập trình được FPGA (Field Programmable Gate Arrays), các bộ xử lý tín hiệu số DSP (Digital Signal Processor), các bộ xử lý chức năng chung GPP (General Purpose Processor), hệ thống trên chip lập trình được SoC (System on Chip) hoặc các bộ xử lý có thể lập trình theo ứng dụng cụ thể khác.

SDR không phải là mới, nhưng với sự phát triển nhanh chóng của các thiết bị điện tử kỹ thuật số làm cho nhiều quá trình thử nghiệm nặng về lý thuyết trở nên khả thi. SDR đang trở thành một xu hướng mới trong thiết kế thiết bị thông tin vô tuyến do khả năng tùy biến linh hoạt của mình.

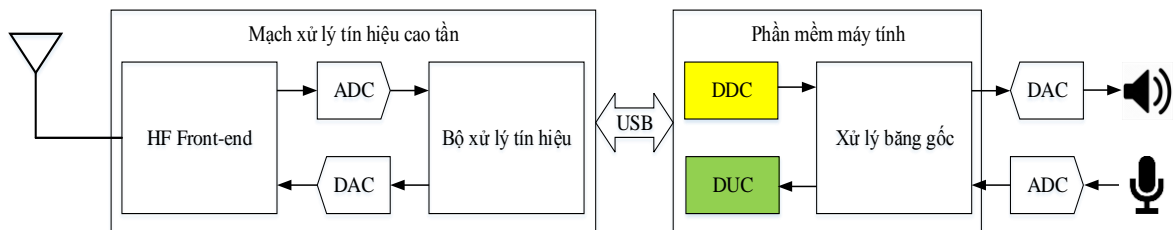
#### 4.2. Mô hình của máy thu phát vô tuyến ứng dụng SDR

Ý tưởng về thiết kế máy thu phát vô tuyến ứng dụng SDR được dựa trên mô hình một máy thu phát vô tuyến truyền thống, gồm 3 thành phần cơ bản là khối xử lý băng gốc, trung tần và cao tần như mô tả trong hình 4.1.



Hình 0.1. Mô hình máy thu phát vô tuyến truyền thống

Điểm khác biệt ở đây là các bộ phận băng gốc và trung tần sẽ được chuyển sang cho phần mềm trên máy tính đảm trách. Với quá trình phát tín hiệu, phần mềm sẽ đảm nhiệm việc tiếp nhận dữ liệu từ các ngoại vi, tiến hành điều chế và cho ra tín hiệu cuối cùng là tín hiệu trung tần ở dạng phức (dữ liệu I/Q – đã được trình bày ở phần 3.2.1). Một mạch xử lý tín hiệu được kết nối với máy tính sẽ tiếp nhận tín hiệu trung tần, đưa lên cao tần, qua khuếch đại công suất và phát đi. Quá trình thu tín hiệu diễn ra ngược lại. Tín hiệu cao tần được mạch xử lý thu lại, tín hiệu tách sóng và cho ra tín hiệu trung tần ở đầu ra cũng dưới dạng phức. Phần mềm trên máy tính lấy dữ liệu từ mạch xử lý, tiến hành giải điều chế, thu được tín hiệu ban đầu và phát lại thông qua loa. Mô hình được thể hiện như trong hình 4.2.

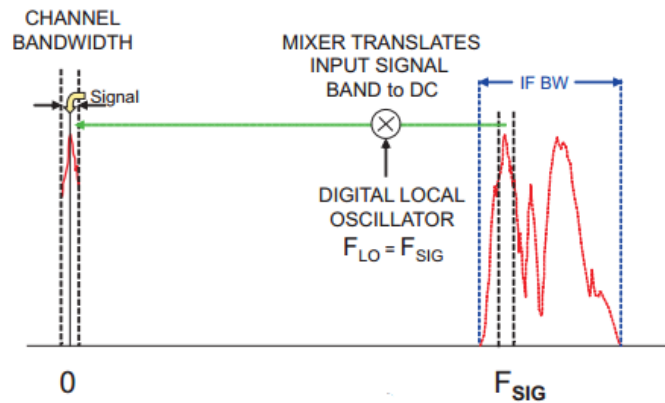


Hình 0.2. Mô hình đề xuất máy thu phát vô tuyến ứng dụng SDR



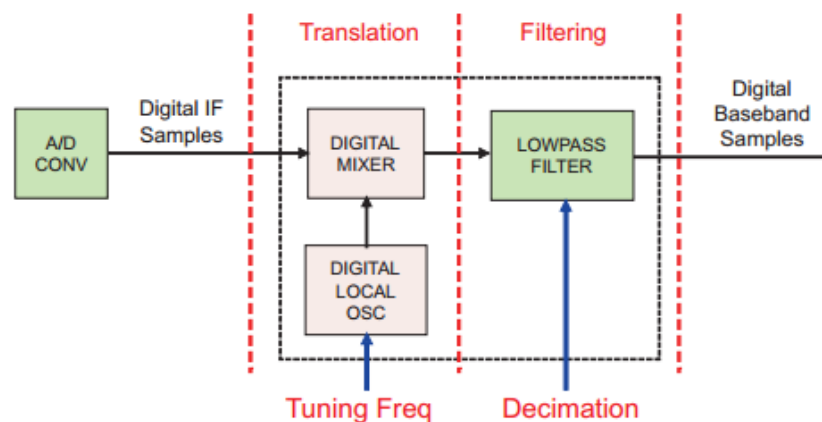
Trên hình 4.2, có hai khối DDC và DUC được đánh dấu lần lượt màu vàng và màu xanh. Hai khối này tương ứng với khối trung tần trong mô hình máy phát truyền thống. Đây là hai khối quan trọng được trình bày ngay sau đây.

#### 4.2.1. Digital Downconverter



Hình 0.3. Chuyển đổi tín hiệu từ trung tần về băng gốc

Ở đầu ra của bộ trộn tần, các tín hiệu tần số cao (thể hiện trong hình 4.3) đã được chuyển xuống tần số thấp hơn dưới dạng phức với các phần tử I và Q thông qua đổi tần, sử dụng bộ dao động nội kỹ thuật số. Trong hình, mẫu dữ liệu phức của các tín hiệu trung tần được tiến hành trộn tần để đưa về tín hiệu băng gốc. Bằng cách điều chỉnh bộ dao động nội, bất cứ phần nào của tín hiệu đầu vào cao tần có thể được trộn xuống âm tần. Điều này cũng tương tự như bộ phận đổi tần từ cao tần về trung tần và từ trung tần về âm tần trên các máy thu tương tự.

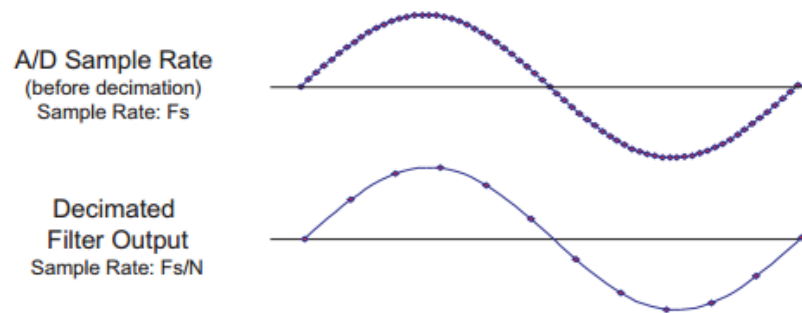


Hình 0.4. Khối DDC

Mạch xử lý cao tần đưa ra tín hiệu trung tần (IF) được lấy mẫu và số hóa. Đây là dữ liệu đầu vào của phần mềm phía thu. Khối Digital Downconverter (DDC) trong phần mềm sẽ đón các dữ liệu này. DDC là một khối chuyển đổi tín hiệu từ tần số cao về tần số thấp hơn. DDC gồm 3 phần:

- 1 khối trộn tần kỹ thuật số
- 1 bộ dao động số
- 1 bộ lọc thông thấp

Do các bộ ADC



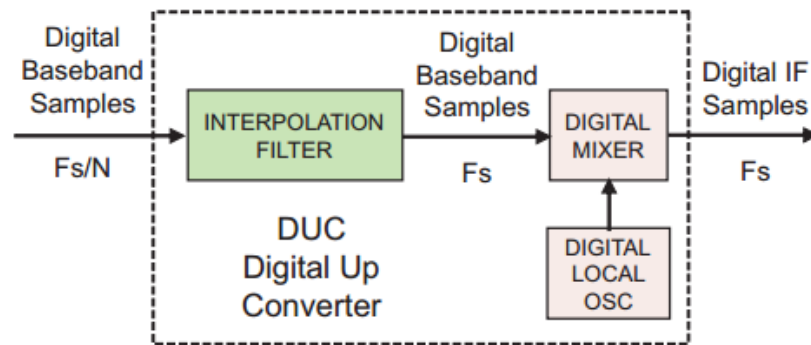
Hình 0.5. FIR Filter Decimation

Bộ trộn tần kỹ thuật số và bộ dao động kỹ thuật số chuyển mẫu tín hiệu trung tần về băng gốc. Các bộ lọc thông thấp FIR giới hạn băng thông tín hiệu và đóng vai trò như một giảm lấy mẫu tín hiệu (downsampling). Do đầu ra của bộ lọc FIR giới hạn băng thông, các định lý Nyquist cho phép chúng ta hạ thấp tỷ lệ mẫu. Nếu chúng ta chỉ giữ lại một mẫu trong số  $N$  mẫu ở đầu vào, như thể hiện trong hình 4.5 ở trên, ta đã giảm tỷ lệ lấy mẫu xuống  $N$  lần. Hoạt động này được gọi là chiết suất (*decimation*). Bộ lọc có chức năng chiết suất được gọi là *decimator*. Hệ số  $N$  được gọi là hệ số chiết suất.

#### 4.2.2. Digital Upconverter

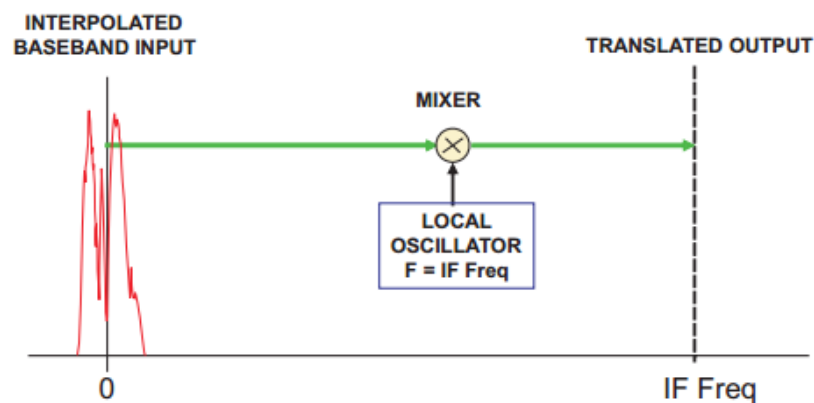
Ngược lại với phía thu, ở phía phát ta cần các khối đổi tần nhằm mục đích đưa tín hiệu từ dải tần số thấp lên dải tần số cao hơn. Khối Digital Upconverter (DUC)

được sử dụng cho nhiệm vụ này. Mục đích chính khi sử dụng khối này là dịch tần tín hiệu băng gốc lên trung tần.



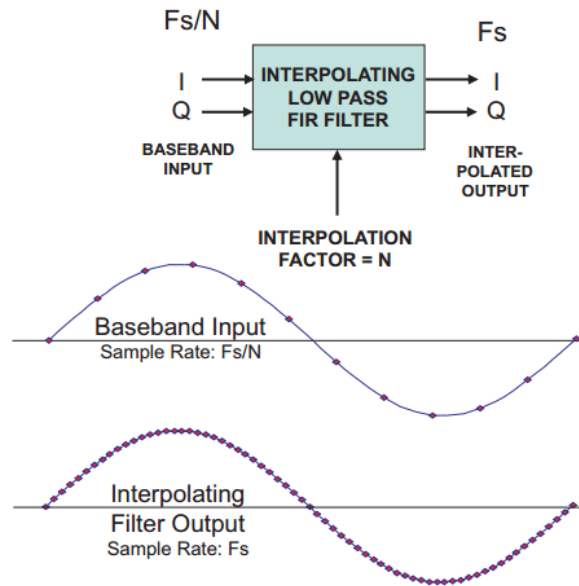
Hình 0.6. Khối DUC

Mô hình một khối DUC được mô tả như ở hình 4.6. Trên hình ta có thể thấy bộ trộn tín hiệu số và bộ tạo dao động số phục vụ dịch tần từ băng gốc lên trung tần. Bộ trộn đưa một mẫu tín hiệu duy nhất ở đầu ra, tương ứng với hai mẫu tín hiệu từ đầu vào. Tốc độ lấy mẫu ở đầu ra của bộ trộn tín hiệu phải bằng với tốc độ lấy mẫu  $f_s$  của bộ DAC được cài đặt trên mạch xử lý tín hiệu cao tần. Điều này dẫn tới tốc độ lấy mẫu trên bộ tạo dao động số và luồng tín hiệu đầu vào cũng phải bằng tốc độ lấy mẫu  $f_s$  của bộ DAC đã đề cập đến ở trên. Thông thường, bộ tạo dao động số có tần số hoạt động tương ứng với bộ trộn tín hiệu và bộ DAC. Tuy nhiên, đầu vào tín hiệu băng gốc thường làm việc ở một tần số lấy mẫu nhỏ hơn rất nhiều. Để giải quyết vấn đề này ta sử dụng đến bộ nội suy (*interpolator*).



Hình 0.7. Chuyển đổi tín hiệu từ băng gốc lên trung tần

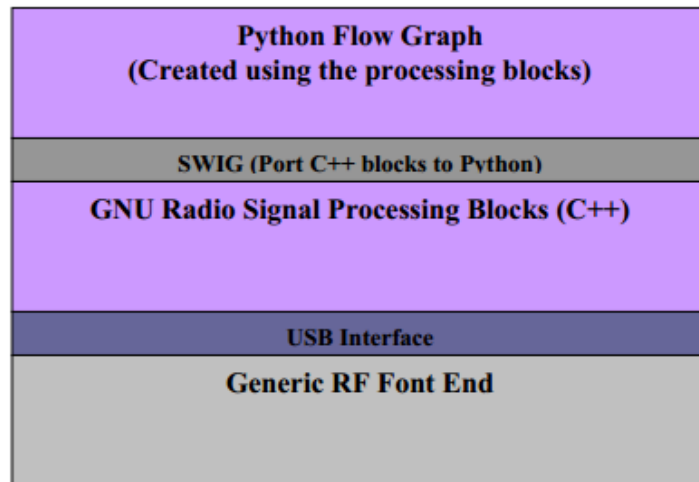
Các bộ nội suy đưa tín hiệu từ đầu vào băng gốc có tần số lấy mẫu  $f_s/N$ , đưa ra tín hiệu đầu ra với tần số lấy mẫu  $f_s$  tương đương tần số lấy mẫu ở bộ trộn tín hiệu và DAC. Hình 4.8 miêu tả về ảnh hưởng của bộ nội suy lên việc lấy lại mẫu tín hiệu trong miền thời gian. Bộ nội suy làm gia tăng tần số lấy mẫu tín hiệu theo tỉ lệ  $N$ , được gọi là hệ số nội suy. Bộ nội suy có nguyên lý làm việc ngược với *decimator* được trình bày ở khối DDC.



Hình 0.8. Tín hiệu đi qua bộ nội suy

### 4.3. GNU Radio

Dự án GNU Radio được bảo trợ bởi Eric Blosson với mục đích là tạo ra một khung làm việc cho vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm SDR. Cung cấp các giao diện lập trình ứng dụng (API), GNU Radio tập trung vào phát triển phần mềm và giao diện cho người dùng front-end. Trong GNU Radio đã có triển khai rất nhiều khối xử lý tín hiệu để tạo ra và phân tích sóng.

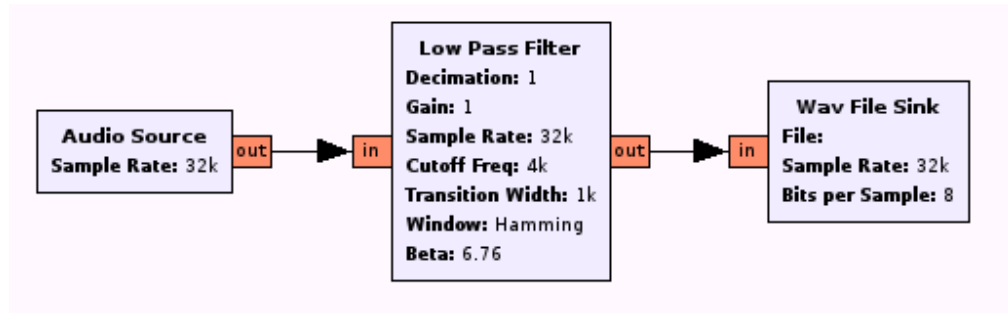


*Hình 0.9. Sơ đồ các thành phần của GNU Radio*

Sử dụng GNU Radio, một mô hình vô tuyến có thể được xây dựng bằng cách sử dụng các khối xử lý tín hiệu và kết nối chúng thông qua các đường dữ liệu. Các thành phần trong GNU Radio được liên kết với nhau như hình 4.9. Các khối xử lý tín hiệu được thực thi trên C++ và phần đồ họa được xây dựng bằng Python. Về mặt khái niệm, mỗi khối xử lý tín hiệu sẽ có nhiệm vụ xử lý dòng dữ liệu nhận được từ các cổng vào và trả kết quả ở cổng ra của nó. Thuộc tính cơ bản của một khối bao gồm số lượng các cổng vào và cổng ra cũng như kiểu dữ liệu đi qua khối. Một số khối chỉ có cổng vào, ngược lại, một số khối chỉ có cổng ra. Cổng vào và ra phục vụ như nơi tiếp nhận và nguồn dữ liệu trên sơ đồ.

#### **4.4. GNU Radio Companion**

Để dễ dàng hơn trong thao tác sử dụng, GNU Radio cung cấp một công cụ gọi là GNU Radio Companion (*GRC*), với khả năng tạo ra các sơ đồ dựa theo các khối đồ họa. Ứng dụng này cung cấp nhiều khối đồ họa được xác định trước, xây dựng từ các khối xử lý có trong thư viện của GNU Radio, được tổ chức trong các nhóm khác nhau như khối nguồn tín hiệu, khối nhận tín hiệu cũng như chức năng điều chế và giải điều chế.



Hình 0.10. Một sơ đồ khối đơn giản trong GNU Radio Companion

Ví dụ như trong hình 4.10, một sơ đồ được cấu thành bởi 3 khối Audio Source, Low Pass Filter và Wave File Sink. Audio Source là khối nguồn âm, nó không có đầu vào và chỉ có đầu ra, âm thanh được thu lại từ microphone trên máy tính. Các khối không có đầu vào được gọi chung là *Source*. Low Pass Filter chính là một bộ lọc thông thấp, với đầu vào là tín hiệu chưa qua lọc, đầu ra là một tín hiệu đã được lọc thông thấp có tần số cắt 4000 Hz. Wave File Sink là khối nhận dữ liệu sau lọc và lưu lại dữ liệu dưới dạng wav file. Khối này không có đầu ra. Các khối có chung đặc điểm như Wave File Sink đều được gọi chung là *Sink*.

#### 4.5. HackRF One

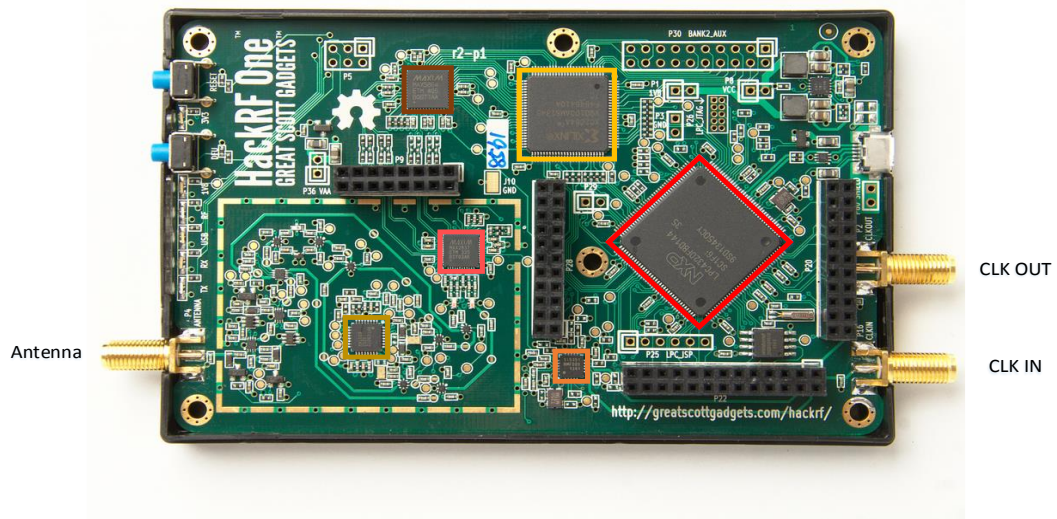
HackRF One là nền tảng phần cứng hiện tại của dự án HackRF. Nó là một ngoại vi SDR có khả năng truyền hoặc nhận tín hiệu radio từ 1 MHz đến 6 GHz. Được thiết kế để cho phép thử nghiệm và phát triển các công nghệ vô tuyến hiện đại thế hệ tiếp theo, HackRF One là một nền tảng phần cứng nguồn mở có thể được sử dụng như một USB ngoại vi hoặc được lập trình để hoạt động độc lập.

Các tính năng kỹ thuật của Hack RF One:

- Thu phát bán song công
- Tần số hoạt động: 1 MHz - 6 GHz
- Hỗ trợ tốc độ lấy mẫu: 1 Msps - 20 Msps (quadrature)
- Độ phân giải: 8 bits
- Giao diện: USB (USB Micro-B connector)
- Cấp nguồn: thông qua USB

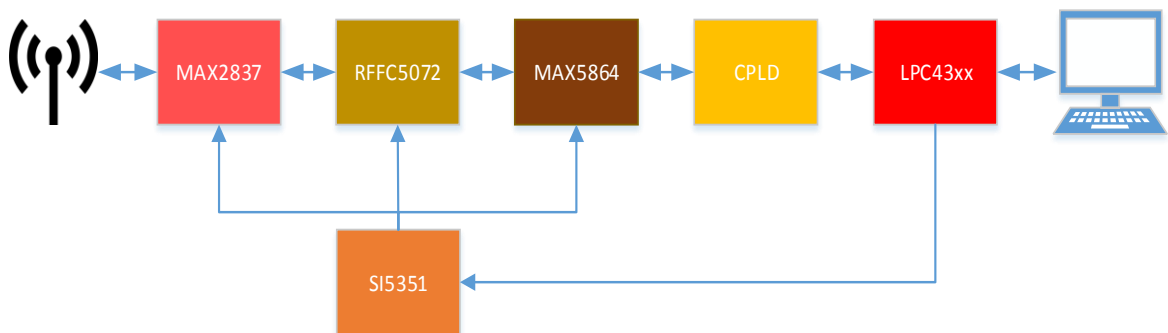
- Điều khiển công suất đầu ra Anten qua phần mềm (tối đa 50 mA tại 3.3V)
- Ngõ ra Anten SMA (50 ohm)
- Ngõ vào / ra tín hiệu clock cho đồng bộ SMA

Về cấu tạo, một bo mạch HackRF One có kết cấu tương tự như hình 4.11.



Hình 0.11. Cấu tạo một bo mạch HackRF One

Sơ đồ khối của bo mạch được mô tả như trong hình 4.12.



Hình 0.12. Sơ đồ khối của bo mạch HackRF One

Danh sách các linh kiện chính và chức năng của chúng được trình bày trong bảng 4.1 dưới đây:

*Bảng 0.1. Các linh kiện chính trên HackRF One và chức năng*

STT	Tên linh kiện	Mã màu	Chức năng
1	MAX2837		RF Transceiver
2	MAX5864		Bộ chuyển đổi ADC/DAC
3	Si5351		Bộ tạo xung
4	LPC43xx ARM Cortex-M4		Vi điều khiển chính kiêm USB Front-end và đồng xử lý dữ liệu I/Q
5	RFFC5072		RF Front-end mixer
6	CoolRunner-II CPLD		Xử lý dữ liệu I/Q

#### **4.6. Tóm lược chương bốn**

Kết thúc chương bốn, trong chương này đã trình bày về khái niệm vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm (SDR), mô hình hệ thống thu phát ứng dụng công nghệ SDR và 2 khối quan trọng trong mô hình là DDC và DUC. Chương này cũng đã giới thiệu khái quát về frame-work GNU Radio, GRC và bo mạch phần cứng HackRF One. Chương thứ năm sẽ trình bày về các kịch bản lắp ráp và kết quả thử nghiệm hệ thống.



## CHƯƠNG 5: THỬ NGHIỆM

Trong chương này, em xin trình bày về kịch bản thử nghiệm 2 mô hình điều chế và giải điều chế FM và SSB triển khai trên các thiết bị và phần mềm đã trình bày trong chương 4.

### 5.1. Cấu hình các thiết bị thử nghiệm

Các thiết bị và phần mềm trong hệ thống được sử dụng cho thử nghiệm này được trình bày trong bảng 5.1:

*Bảng 0.1. Các phần mềm và thiết bị yêu cầu trong quá trình thử nghiệm*

STT	Tên thiết bị/phần mềm	Chức năng
Phần cứng		
1	HackRF One	Bo mạch SDR
2	Owon SmartDS 5032E	Oscilloscope
3	Máy vi tính	Yêu cầu sử dụng Linux, cấu hình phần cứng chi tiết xem tại bảng 5.2
Phần mềm		
4	Hệ điều hành	Ubuntu Linux 16.04 - 64 bit
5	GNU Radio & GRC	Bộ thư viện và framework hỗ trợ SDR
6	Audacity	Phần mềm phân tích dữ liệu âm thanh
7	Python 3	Yêu cầu bởi GNU Radio, dành cho GRC & xây dựng giao diện đồ họa
8	GCC v4.9 trở lên	Yêu cầu bởi GNU Radio cho hoạt động của framework
9	Gr-osmosdr	Thư viện lập trình và khối giao tiếp giữa GNU Radio và phần cứng

10	Hackrf và libhackrf	Thư viện lập trình và driver của bo mạch HackRF One
11	Gqrx	Phần mềm SDR sử dụng để so sánh đối chiếu

Bảng 0.2. Các phần mềm và thiết bị yêu cầu trong quá trình thử nghiệm (tiếp theo)

Hai máy tính được sử dụng trong thử nghiệm có cấu hình như trong bảng 5.2 dưới đây:

Bảng 0.3. Cấu hình máy tính sử dụng trong thử nghiệm

STT	Tên thiết bị	Tên mã	Đặc điểm kỹ thuật chính
1	Vi xử lý	Intel Core i3 370M	Xung nhịp: 2.4 GHz
2	RAM	Không có	4Gb DDR3. Xung nhịp: 1066 MHz
3	Thiết bị âm thanh	Intel IDT Audio	Tốc độ lấy mẫu: 48000 Ksps. Yêu cài đặt cầu sử dụng Alsa hoặc PulseAudio Server
4	Thiết bị đồ họa	Intel HD Graphics	Độ phân giải: 1366 x 768 px
5	USB port	Không có	Sử dụng chuẩn USB 2.0

## 5.2. Triển khai mô hình thu phát đơn biên trên GNU Radio và HackRF One

### 5.2.1. Mục đích thử nghiệm

Dựa theo yêu cầu về hệ thống thu phát đơn biên trên dải tần HF 3 - 30MHz, thử nghiệm này nhằm mục đích đánh giá mô hình điều chế / giải điều chế theo các tiêu chí:

- Độ ổn định trong làm việc của hệ thống thu – phát: đánh giá thông qua các cảnh báo của hệ thống, mức độ chiếm dụng tài nguyên của hệ thống.
- Chất lượng âm thanh: theo hai cách là sử dụng phần mềm phân tích tín hiệu âm thanh và thông qua cảm quan của người nghe.

### 5.2.2. Kịch bản thử nghiệm

Để chuẩn bị cho thử nghiệm, hai máy vi tính đã được cài đặt sẵn các phần mềm yêu cầu tại bảng 5.1. Các máy được tính chỉ chạy duy nhất GRC kèm theo một trong hai mô hình điều chế hoặc giải điều chế. Bên phát sử dụng một tệp tin định dạng **wav** có sẵn. Bên thu lưu lại tín hiệu âm thanh tín hiệu sau điều chế trong một tệp **wav** khác để thuận tiện cho so sánh giữa phía thu và phía phát sau thử nghiệm. Thử nghiệm chỉ diễn ra trong khu vực phòng thí nghiệm, chưa thực hiện trên thực địa và chưa sử dụng khuếch đại công suất. Để đảm bảo tính tương thích với các thiết bị thu - phát SSB đã có trên thị trường, một số thông số cấu hình trong thử nghiệm được thiết lập như trong bảng 5.3:

*Bảng 0.4. Một số thông số cấu hình trong thử nghiệm mô hình thu phát đơn biên*

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Dải thông giọng nói	0 - 3000	Hz
2	Tần số trung tần	400 - 600	kHz
3	Dải tần làm việc	3 - 30	MHz
4	Tốc độ lấy mẫu trên phần cứng	1.024	Mbps

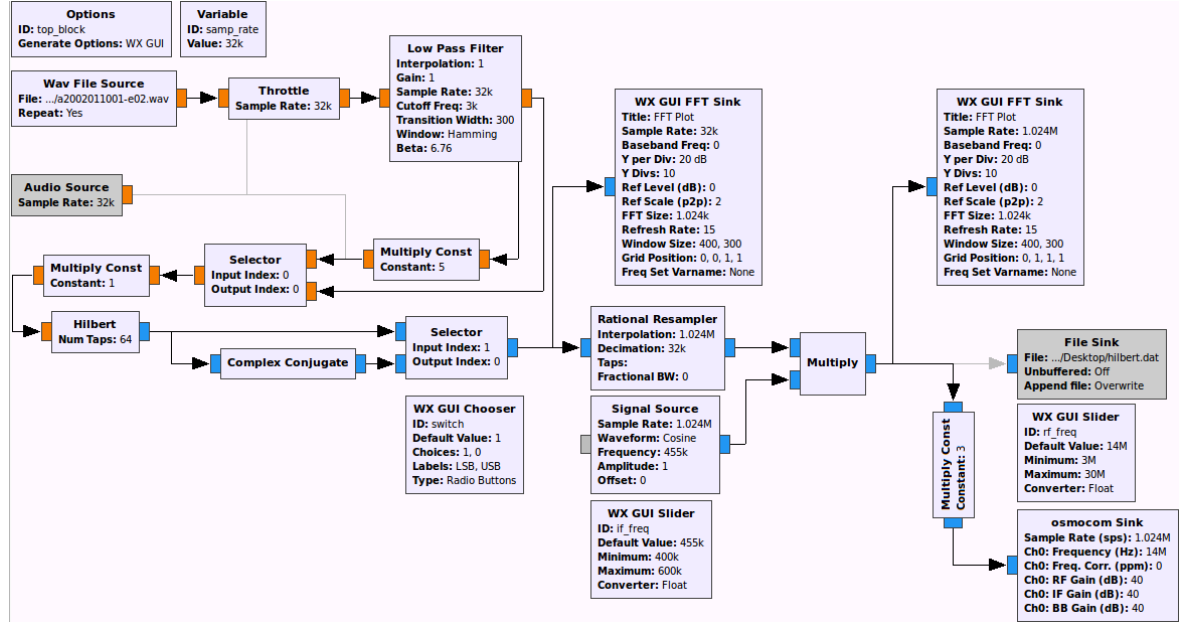
Tệp âm thanh mẫu **wav** có thông số nêu trong bảng 5.4:

*Bảng 0.5. Thông số tệp âm thanh mẫu*

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Tần số lấy mẫu	44.1	kHz
2	Số lượng bit mã hóa trên 1 mẫu	8	bit
3	Kiểu mã hóa	PCM	

### 5.2.3. Mô hình điều chế đơn biên trên GNU Radio

Hình 5.1 là mô hình điều chế đơn biên GNU Radio. Mô hình điều chế được thực thi ở đây dựa theo phương thức Hartley.



Hình 0.1. Mô hình điều chế SSB theo phương thức Hartley trên GNU Radio

Tín hiệu được lấy từ nguồn là tệp mẫu wav được lấy mẫu và cho qua bộ lọc thông thấp để lấy dải tần tương ứng với tín hiệu giọng nói của con người (0 - 3kHz). Để đảm bảo quá trình lấy mẫu không gây tiêu tốn quá nhiều tài nguyên của hệ thống, một bộ *Throttle* được đưa vào giữa nguồn wav và bộ lọc để giới hạn tốc độ lấy mẫu.

So sánh với mô hình đã trình bày ở chương 3, khối Hilbert trên GNU Radio được sử dụng để thay thế cho các khối trong hình 3.9. Biến đổi Hilbert trong thực tế sẽ đưa một tín hiệu thực  $u(t)$  mở rộng thành một tín hiệu phức  $H(u)(t)$ , trong cùng một miền. Một tín hiệu, giả sử là  $u(t)$ , sau khi đi qua biến đổi Hilbert sẽ được phân tích thành:

$$\begin{aligned} u_a(t) &= u(t) + i.H(u)(t) = u_m(t).cos(\omega t) + i.u_m(t).sin(\omega t) \\ &= u_m(t).e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (5.1)$$

với  $u_a(t)$  là phân tích của tín hiệu  $u(t)$  và  $u_m(t)$  là bản tin.

Ứng dụng trong điều chế đơn biên, tín hiệu SSB có coi là:

$$u(t) = \text{Re}\{u_a(t)\} = m(t) \cdot \cos(\omega t) - i \cdot \hat{m}(t) \cdot \sin(\omega t) \quad (5.2)$$

Với  $u_a(t) = (m(t) + i \cdot \hat{m}(t)) \cdot e^{i\omega t}$ , trong đó  $m(t)$  là tín hiệu và  $\hat{m}(t)$  là biến đổi Hilbert của  $m(t)$ .

Kết quả  $u(t)$  ở công thức trên đây đại diện cho tín hiệu băng dưới LSB. Nếu tín hiệu đi qua *Complex Conjugate*, kết quả thu được sẽ là:

$$\bar{u}(t) = m(t) \cdot \cos(\omega t) + i \cdot \hat{m}(t) \cdot \sin(\omega t) \quad (5.3)$$

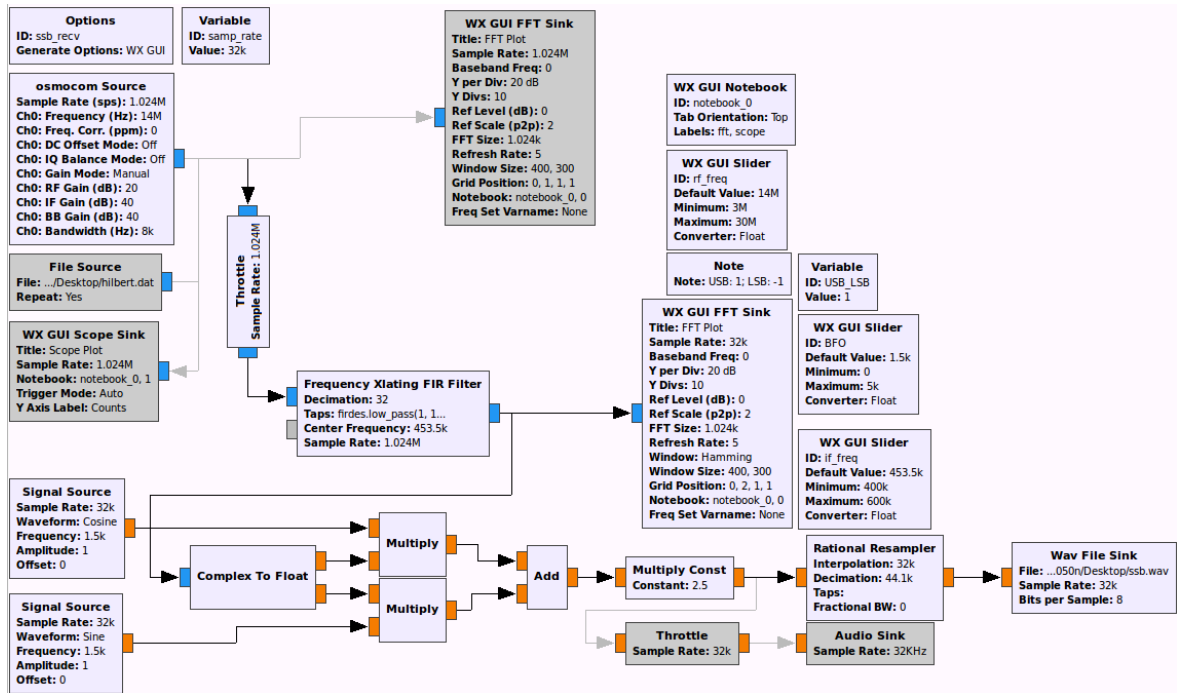
là liên hợp của  $u(t)$ , chính là tín hiệu SSB ở băng trên (USB).

Cụm 3 khối *Rational Resampler*, *Multiply* và *Signal Source* đóng vai trò như một bộ DUC (đã trình bày ở chương 4 – mục 4.2.2). Trong đó, khối *Rational Resampler* có hệ số nội suy lớn hơn hệ số chiết suất, đóng vai trò như khối nội suy trong DUC, đảm bảo đồng bộ tốc độ dòng dữ liệu với tốc độ của tín hiệu trung tần trong sinh ra từ khối *Signal Source*. Khối *Multiply* đóng vai trò như khối mixer trong bộ DUC. Tín hiệu đi qua *Multiply* là tín hiệu trung tần.

*Osmocom Sink* là thành phần trung gian giữa phần mềm và phần cứng. Khối này tiếp nhận tín hiệu từ phần mềm và chuyển xuống phía bo mạch phần cứng. Các thông số của khối này chính là thông số thiết lập hoạt động trên mạch phần cứng. Tốc độ lấy mẫu ở khối này tương đương với tốc độ lấy mẫu ở đầu ra của khối *Multiply*.

#### **5.2.4. Mô hình giải điều chế SSB trên GNU Radio**

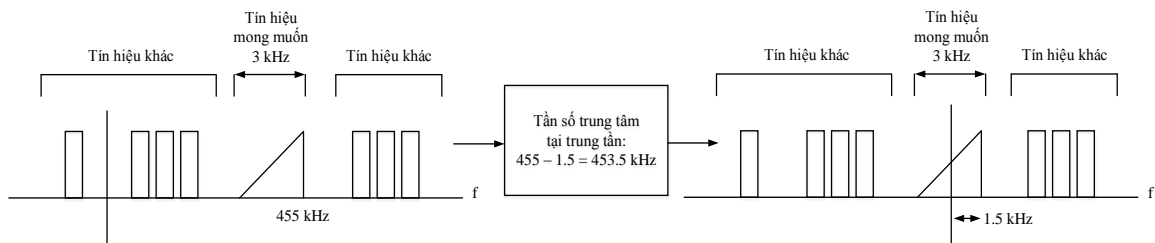
Hình 5.2 là sơ đồ giải điều chế đơn biên theo phương thức Weaver trên GNU Radio cho băng dưới LSB.



Hình 0.2. Mô hình giải điều chế SSB theo phương thức Weaver trên GNU Radio

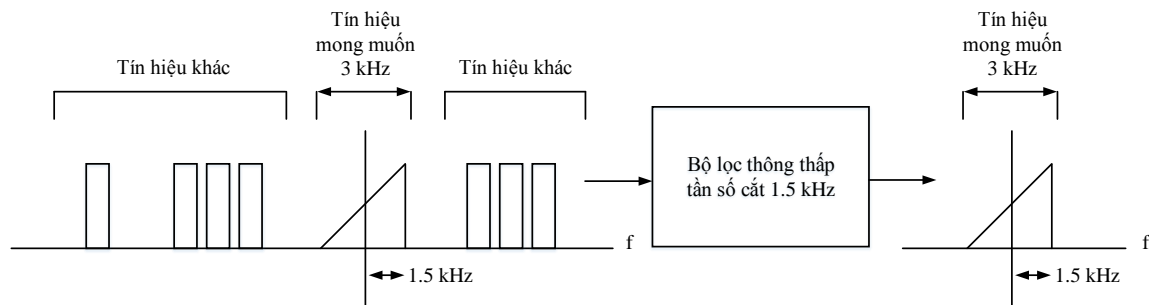
Tương tự với *Osmocom Sink* ở mục 5.3.3, *Osmocom Source* cũng là một khối trung gian giữa phần cứng và phần mềm. Khác biệt ở chỗ *Osmocom Source* nhận dữ liệu từ bo mạch và đưa lên phần mềm để thực hiện giải điều chế. Các thông số của khối này cũng mang ý nghĩa là thông số thiết lập hoạt động trên mạch phần cứng. Tín hiệu sau khi đi ra từ khối này tương đương với tín hiệu trung tần trong các máy thu truyền thống.

Trong xây dựng mô hình máy thu, bước đầu tiên là sử dụng một bộ lọc kênh để loại bỏ các tín hiệu không quan tâm. Bước này là để đưa tín hiệu quan tâm xuống tần số âm tần như hình 5.3.

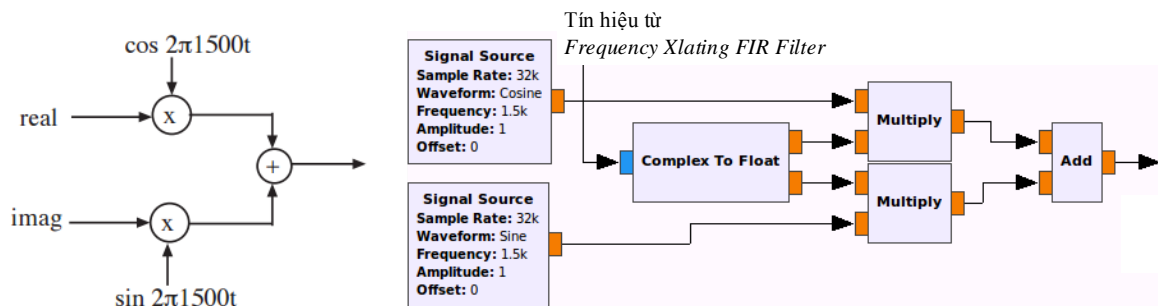


Hình 0.3. Đưa tín hiệu trung tần về âm tần

Bước thứ hai là áp dụng một bộ lọc thông thấp để lọc ra tín hiệu mong muốn như trong hình 5.4.



Hình 0.4. Lọc tín hiệu ở âm tần

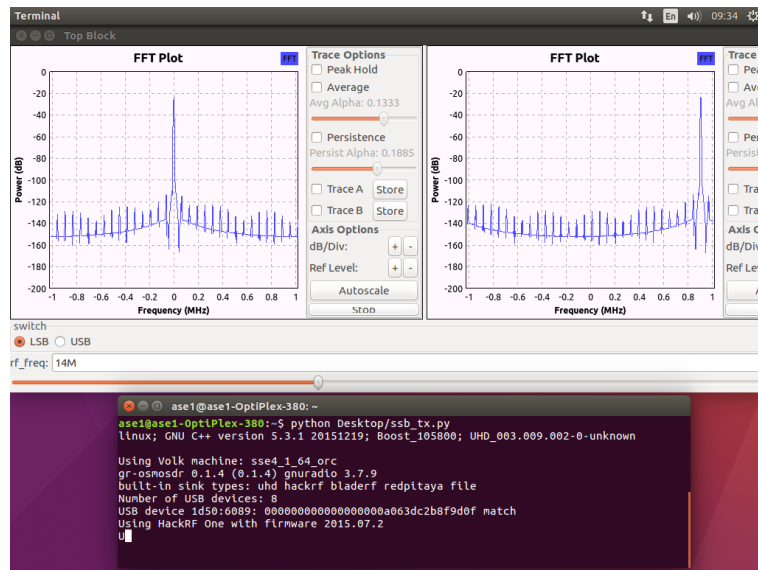


Hình 0.5. Giải điều chế SSB theo phương thức Weaver

Trong GRC, khối *Frequency Xlating FIR Filter* thực hiện được cùng lúc 2 chức năng này. Tín hiệu sau khi đi ra từ *Frequency Xlating FIR Filter* là một luồng dữ liệu I/Q đại diện cho tín hiệu trước giải điều chế. Để thu được tín hiệu mong muốn, thay cho VCO và bộ quay pha tín hiệu trong mô hình lý thuyết, ta sử dụng 2 khối *Signal Source* lần lượt đưa 2 tín hiệu cosine và sine có cùng tần số như hình 5.5. Lấy tín hiệu cosine trộn với thành phần I, tín hiệu cosine trộn với thành phần Q, sau đó cộng 2 kết quả thu được với nhau, ta thu được tín hiệu mong muốn.

### 5.2.5. Thử nghiệm

Giao diện chương trình điều chế SSB như trong hình 5.6. Trên giao diện có 2 đồ thị FFT. Đồ thị phía bên trái là của tín hiệu tại âm tần. Đồ thị phía phải là tín hiệu trung tần. Cụm nút chọn lựa chế độ phát bằng trên hoặc bằng dưới, thông qua việc thay đổi nguồn đầu vào của bộ *Selector* (sơ đồ khối hình 5.1).

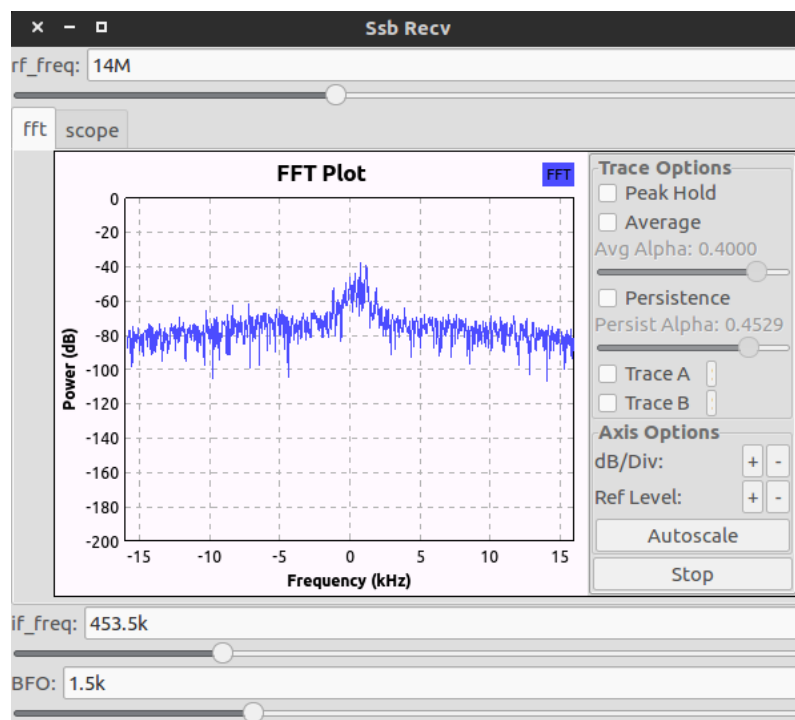


Hình 0.6. Giao diện chương trình điều chế SSB

Mặc định, sau khi khởi động sẽ phát tín hiệu ở băng dưới. Thanh trượt  $rf\_freq$  đại diện cho tần số của sóng mang. Khi thay đổi giá trị trên thanh trượt, giá trị của tần số sóng mang trên khối *Osmocom Sink* thay đổi theo.

Giao diện chương trình giải điều chế SSB như trong hình 5.7. Thanh trượt  $rf\_freq$  đại diện cho tần số của sóng mang. Khi thay đổi giá trị trên thanh trượt, giá trị của tần số sóng mang trên khối *Osmocom Source* thay đổi theo. Thanh trượt  $if\_freq$  (trên giao diện giải điều chế) đại diện cho tần số trung tâm của bộ lọc kênh. Thanh trượt  $BFO$  điều khiển tần số 2 bộ *Signal Source*. Giá trị  $if\_freq$  được tính bằng giá trị của tần số trung tần phía phát  $\pm BFO$  (dấu '-' là thu LSB, '+' là USB). Tab FFT hiển thị phổ của tín hiệu thu được tại âm tần chỉ gồm 1 băng.





Hình 0.7. Giao diện chương trình giải điều chế SSB

### 5.3. Triển khai mô hình điều chế tần số trên GNU Radio và HackRF

#### 5.3.1. Mục đích thử nghiệm

Dựa theo yêu cầu về hệ thống thu phát FM trên dải tần VHF 30 - 300MHz, thử nghiệm này nhằm mục đích đánh giá mô hình điều chế / giải điều chế theo các tiêu chí:

- Độ ổn định trong làm việc của hệ thống thu – phát: đánh giá thông qua các cảnh báo của hệ thống, mức độ chiếm dụng tài nguyên của hệ thống.
- Chất lượng âm thanh: theo hai cách là sử dụng phần mềm phân tích tín hiệu âm thanh và thông qua cảm quan của người nghe.
- Thử nghiệm thu tín hiệu với các thiết bị thu FM thương mại có sẵn.

#### 5.3.2. Kịch bản thử nghiệm

Để chuẩn bị cho thử nghiệm, hai máy vi tính đã được cài đặt sẵn các phần mềm yêu cầu tại bảng 5.1. Các máy được tính chỉ chạy duy nhất GRC kèm theo một trong hai mô hình điều chế hoặc giải điều chế. Bên phát sử dụng một tệp tin định

dạng **wav** có sẵn. Bên thu lưu lại tín hiệu âm thanh tín hiệu sau điều chế trong một tệp **wav** khác để thuận tiện cho so sánh giữa phía thu và phía phát sau thử nghiệm. Thử nghiệm chỉ diễn ra trong khu vực phòng thí nghiệm, chưa thực hiện trên thực địa và chưa sử dụng khuếch đại công suất. Để đảm bảo tính tương thích với các thiết bị thu - phát FM đã có trên thị trường, một số thông số cấu hình trong thử nghiệm được thiết lập như trong bảng 5.6:

*Bảng 0.6. Một số thông số cấu hình trong thử nghiệm mô hình thu phát điều tần*

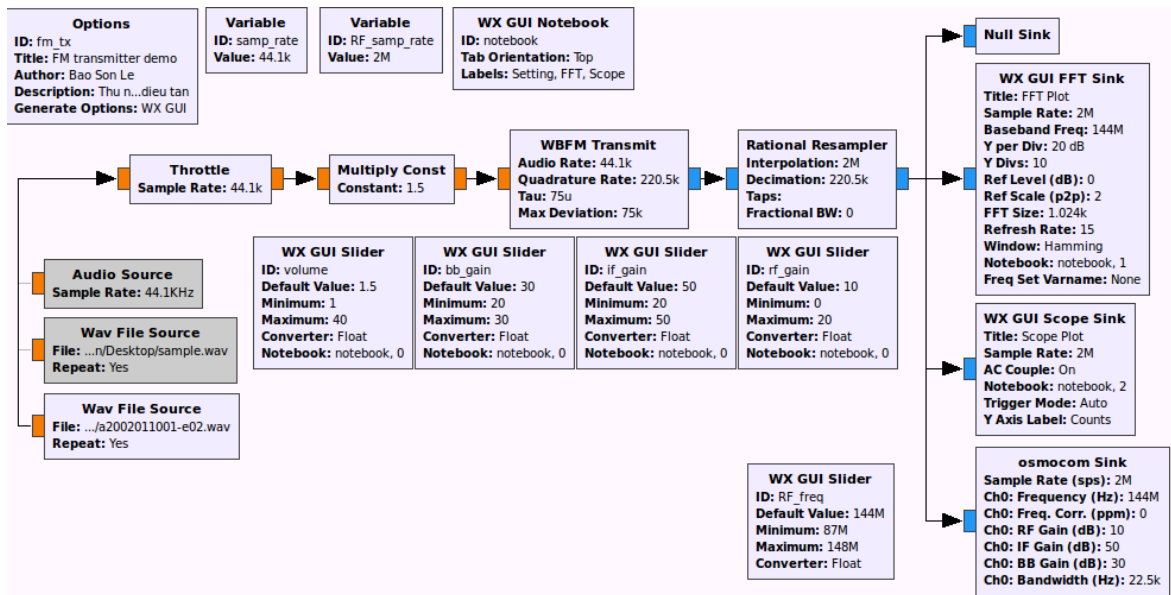
STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Dải thông giọng nói	0 – 20000	Hz
2	Độ dịch tần tối đa	75	kHz
3	$\tau$ (tau)	75	$\mu$ s
4	Dải tần làm việc	87 - 148	MHz
5	Tốc độ lấy mẫu trên phần cứng	2	Mbps

Tập âm thanh mẫu **wav** được sử dụng lại từ thử nghiệm trước, có thông số như đã nêu trong bảng 5.4.

### **5.3.3. Mô hình điều chế FM trên GNU Radio**

Một mô hình máy phát điều tần trên GNU Radio được biểu diễn như trong hình 5.8. Khác với điều chế SSB, GNU Radio đã có khối điều chế FM, ta có thể sử dụng trực tiếp khối này. Trong mô hình điều chế trên hình 5.6, máy phát lựa chọn hình thức điều chế FM dải rộng (WBFM). Một lưu ý là khi thiết lập thông số cho khối *WBFM Transmit* là *Quadrature Rate* luôn phải là bội số của *Audio Rate*.

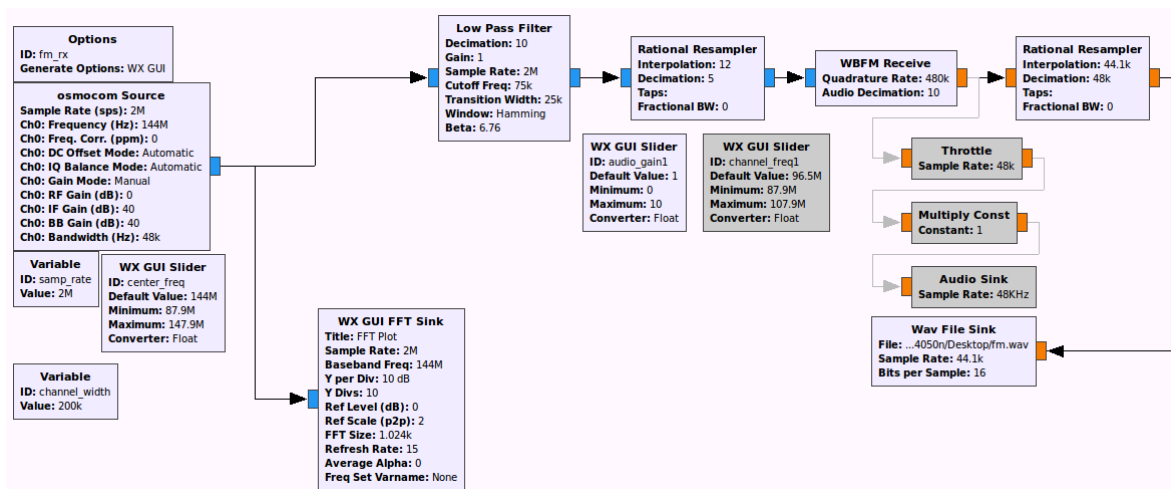
WBFM là hình thức sử dụng phổ biến hiện nay trong phát thanh thương mại và quảng bá. Lựa chọn điều chế FM dải rộng cũng giúp việc thử nghiệm được thuận lợi hơn do các thiết bị thu thương mại như đài cassette, điện thoại di động v.v... đều có khả năng thu và giải điều chế FM.



Hình 0.8. Mô hình máy phát điều tần trên GNU Radio

#### 5.3.4. Mô hình giải điều chế FM trên GNU Radio

Một mô hình máy thu điều tần trên GNU Radio được biểu diễn như hình 5.7:



Hình 0.9. Mô hình máy thu điều tần trên GNU Radio

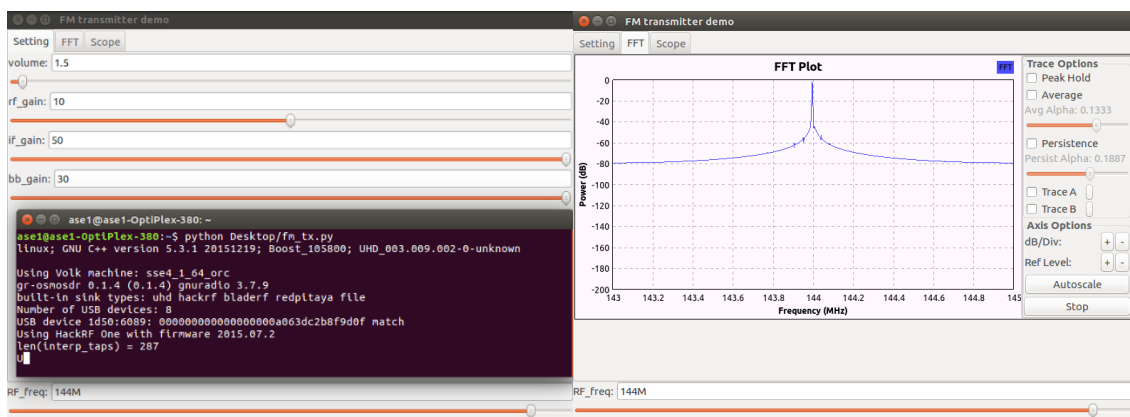
Một khối lọc thông thấp có tần số cắt ở 75 kHz (tương đương với độ dịch tần tối đa) được sử dụng như một bộ lọc kênh ở đầu vào máy thu.

GNU Radio cũng cung cấp khối giải điều chế FM, ta có thể sử dụng trực tiếp khối này. Trong mô hình điều chế trên hình 5.9, máy thu lựa chọn hình thức giải điều chế FM dải rộng (WBFM) để đồng bộ với hình thức điều chế phía phát. Khối *WBFM*

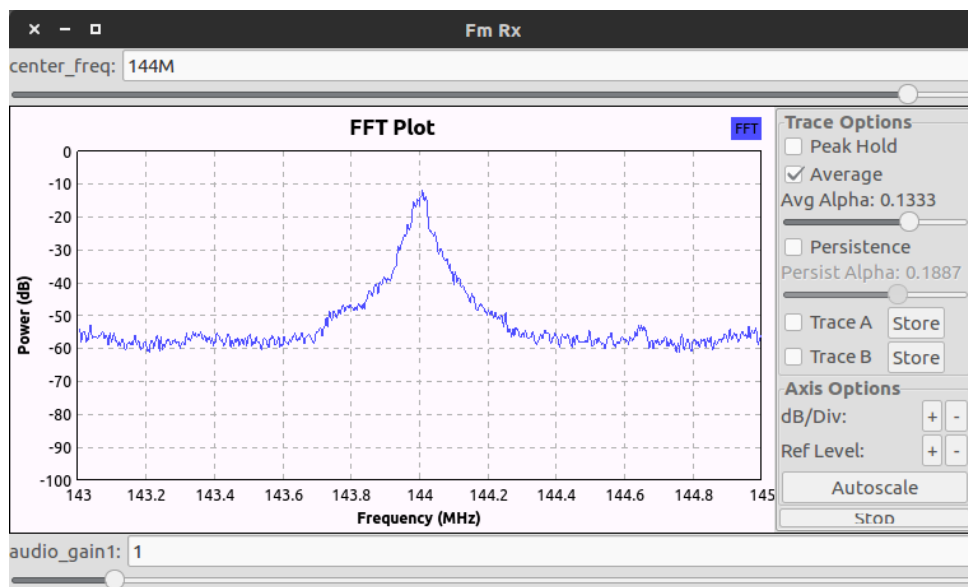
Receive chỉ yêu cầu 2 tham số truyền vào là *Quadrature Rate* và *Audio Decimation*. Tốc độ của dòng dữ liệu sau khi đi ra từ bộ thu chính bằng thương của *Quadrature Rate* và *Audio Decimation*.

### 5.3.5. Thử nghiệm

Giao diện chương trình điều chế FM, gồm 3 tab. Tab Setting gồm các thanh trượt theo thứ tự lần lượt từ trên xuống cấu hình cho các thông số âm lượng loa, khuếch đại ở âm tần, trung tần, cao tần và tần số của sóng mang. Tab FFT là phổ tín hiệu tín hiệu ở cao tần và tab Scope là đồ thị dạng sóng tín hiệu FM.



Hình 0.10. Giao diện chương trình điều chế FM

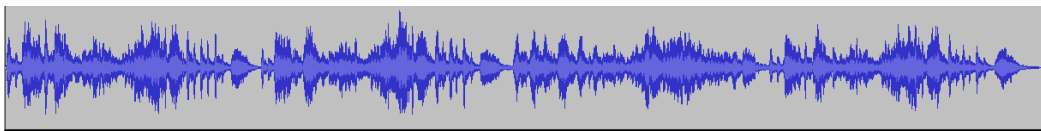


Hình 0.11. Giao diện chương trình giải điều chế FM

Giao diện của chương trình giải điều chế FM như trong hình 5.11 gồm một đồ thị FFT phổ tín hiệu ở cao tần. Thanh trượt *center\_freq* điều khiển tần số trung tâm ở cao tần. Thanh trượt *audio\_gain* điều khiển âm lượng trên loa.

#### 5.4. Kết quả

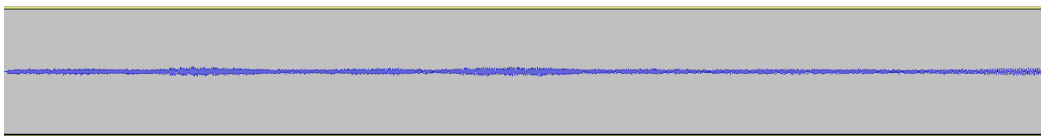
Dưới đây là so sánh đồ thị biên độ của tín hiệu theo trục thời gian giữa tín hiệu gốc, tín hiệu sau giải điều chế SSB và tín hiệu sau giải điều chế FM được lưu lại trong các tệp wav.



*Hình 0.12. Tín hiệu gốc trên miền thời gian*

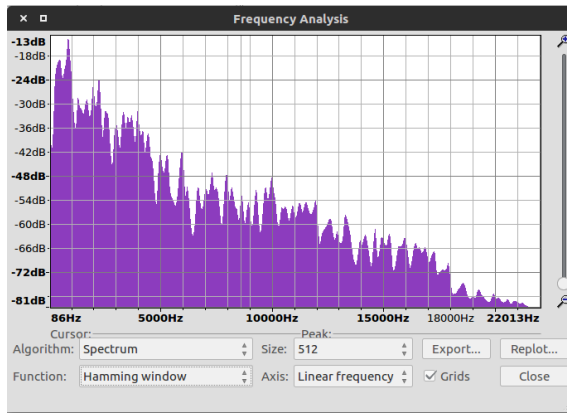


*Hình 0.13. Tín hiệu sau giải điều chế SSB trên miền thời gian*

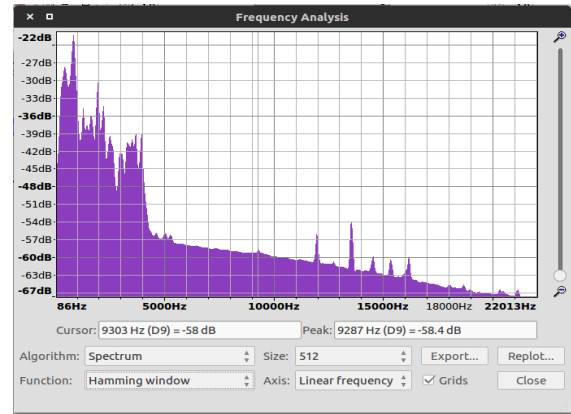


*Hình 0.14. Tín hiệu sau giải điều chế FM trên miền thời gian*

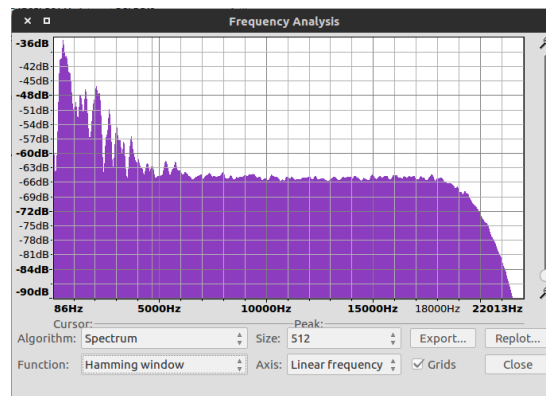
Tín hiệu sau giải điều chế SSB có dạng tương đồng với tín hiệu gốc, biên độ tín hiệu bị suy hao, có thể nhận ra rất rõ khi so sánh trên hình 5.12 và 5.13. Tín hiệu sau giải điều chế FM trên hình 5.14 gần bằng không. Tuy nhiên, ta vẫn có thể nghe thấy âm thanh khi phát lại tệp tin. Điều này xảy ra là do tệp tin wav được mã hóa theo tín hiệu của thành phần Q của tín hiệu.



(a)



(b)



(c)

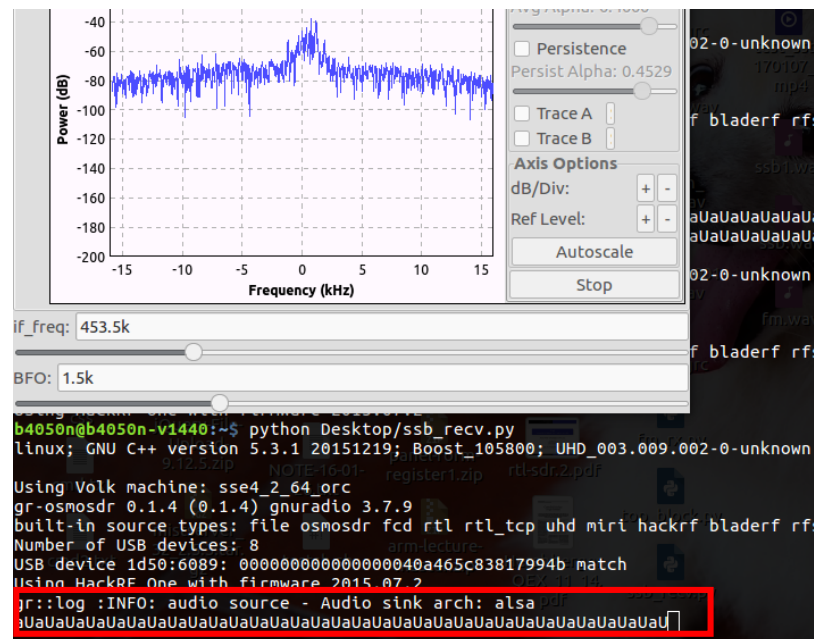
Hình 0.15. Phổ tín hiệu gốc (a), tín hiệu sau giải điều chế SSB (b) và tín hiệu sau giải điều chế FM (c)

So với phổ của tín hiệu ban đầu (hình 5.15a), phổ của tín hiệu sau giải điều chế SSB (hình 5.15b) có phần tương đồng ở dải tần từ 0 đến 3.5 kHz, suy hao trung bình từ 6 đến 10 dB. Từ 3.5 kHz trở đi cường độ tín hiệu bị suy giảm nhiều. Đây là ảnh hưởng từ các bộ lọc thông thấp, chứng tỏ các bộ lọc đã hoạt động tốt. Phổ của tín hiệu sau giải điều chế FM (hình 5.15c) cắt tại 22.013 kHz do không bị hạn chế băng thông, tuy nhiên chứa thêm nhiều tần số lạ do không lọc xử lý.

Về cảm quan, âm thanh thu được từ giải điều chế FM có chất lượng tốt hơn SSB do dải cao của tín hiệu gốc đã bị lọc trước khi điều chế.

Một hiện tượng xảy ra trong quá trình phát tín hiệu giải điều chế SSB trực tiếp trên loa (hình 5.16, được đóng khung đỏ). Xuất hiện liên tục các thông báo ‘aU’

(audio underun). Cảnh báo hiện lên liên tục và âm thanh bị ngắt quãng do khối audio không có đủ số mẫu để làm việc.



Hình 0.16. Cảnh báo xuất hiện khi phát trực tiếp tín hiệu giải điều chế SSB qua loa

## 5.5. Tóm lược chương năm

Kết thúc chương năm, trong chương này đã trình bày về cấu hình lắp đặt, các kịch bản và kết quả thử nghiệm hệ thống theo 2 phương thức điều chế và giải điều chế là SSB và FM, hoạt động trên 2 dải tần là HF (3 - 30MHz) và VHF (87 – 148 MHz).

## KẾT LUẬN

Sau quá trình cài đặt, thử nghiệm và chỉnh sửa, các mô hình điều chế và giải điều chế bước đầu đã cho kết quả, hoạt động thu phát tín hiệu âm thanh đã diễn ra. Cũng trong khuôn khổ đồ án, nhóm nghiên cứu đã thu được một số trải nghiệm liên quan đến lĩnh vực xử lý tín hiệu và vô tuyến điện. Tuy nhiên, kết quả đạt được vẫn còn có nhiều hạn chế. Mô hình thu tín hiệu SSB hoạt động không ổn định, chưa đạt được yêu cầu. Hệ thống chỉ thử nghiệm trong môi trường phòng thí nghiệm, vẫn chưa được triển khai trong môi trường làm việc thực tế.

Hướng đi tiếp theo được hướng đến trong ngắn hạn sẽ là đảm bảo độ ổn định của mô hình giải điều chế SSB. Trong dài hạn, mục tiêu được đặt ra là đưa vào các chức năng truyền nhận tệp tin, mở rộng khả năng ứng dụng của hệ thống. Một phần mềm điều khiển được thiết kế chuyên biệt có đầy đủ các chức năng thu phát cơ bản cũng được tính đến. Cuối cùng, tuy là kết quả chưa thật sự như mong đợi nhưng qua quá trình thực hiện đồ án, có thể coi đây những bước đi đầu tiên để tiếp tục đưa vào thiết kế và tích hợp các thiết bị thu phát dựa theo công nghệ SDR.



## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Markus Dillinger, Kambiz Madani, Nancy Alonistioti, Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions, 2003, ISBN: 978-0-470-85164-7.
- [2] Tony J. Roupheal, RF and Digital Signal Processing for Software Defined Radio, 2008, ISBN 978-0-7506-8210-7.
- [3] Eugene Grayver, Implementing Software Defined Radio, 2012, ISBN 978-1-4419-9331-1
- [4] Rodger H. Hosking, Software Defined Radio Handbook, 2013.
- [5] Stoytcho Gultchev, Klaus Moessner, Duminda Thilakawardana, Terence Dodgson, Rahim Tafazolli, Sunil Vadgama, Stephen Truelove Evaluation of Software Defined Radio Technology, 2006.
- [6] Phan Anh, Trường điện tử và truyền sóng, 2002.
- [7] Ratcliffe J. A., Weekes K, "Physics of the Upper Atmosphere," Academic Press, USA, 1960.
- [8] OsmoSDR, <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/GrOsmoSDR>, truy cập lần cuối ngày 04/01/2017.
- [9] GNU Radio Manual, <http://gnuradio.org/doc/doxygen/index.html>, truy cập lần cuối ngày 04/01/2017.
- [10] HackRF wiki, <https://github.com/mossmann/hackrf/wiki>, truy cập lần cuối ngày 04/01/2017.

**PHỤ LỤC: CÁC CẢNH BÁO CỦA GNU RADIO**

STT	Cảnh báo	Nguồn ảnh hưởng	Ý nghĩa
1	u	USRP	Gặp trục trặc với phần cứng USRP
2	a	Audio	Gặp trục trặc với Audio Card
3	O	Overrun	PC không bắt được dữ liệu từ usrp hoặc thẻ âm thanh
4	U	Underun	PC không cung cấp dữ liệu một đủ nhanh
5	aUaU	Audio Underun	Không đủ số lượng mẫu có sẵn để gửi đến card âm thanh
6	uUuU	USRP Underun	Không đủ số lượng mẫu có sẵn để gửi đến USRP
7	uOuO	USRP Overrun	USRP mất lấy mẫu trong một khoảng thời gian

## BẢNG ĐỐI CHIẾU THUẬT NGỮ VIỆT-ANH

Từ viết tắt	Từ gốc
Band Pass Filter	Bộ lọc thông dải
Complex Conjugate	Phức liên hợp
Decimation	Sự chiết suất mẫu
Decimator	Bộ chiết suất mẫu
Digital Downconverter	Khối hạ tần kỹ thuật số
Digital Upconverter	Khối nâng tần kỹ thuật số
Framework	Khung làm việc
Low Pass Filter	Bộ lọc thông thấp
Interpolation	Sự nội suy
Interpolator	Bộ nội suy
Mixer	Bộ trộn
Multiply	Bộ nhân
Resampler	Lấy mẫu lại
Software defined radio	Vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm
Throttle	Tiết lưu