

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
MÔN XỬ LÝ SỐ TÍN HIỆU

Giảng viên hướng dẫn: ThS. Nguyễn Khánh Lợi

Lớp: L03 – L04

Nhóm: 10

Danh sách thành viên






Họ và tên	MSSV
Phạm Lộ Hoàng Khang	2211464
Nguyễn Huỳnh Quốc Khánh	2311517
Nguyễn Hoàng Anh Kiệt	2311774
Lý Minh Thiên	2313214
Võ Quang Vinh	2313936

Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 06 tháng 12 năm 2025



ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ, BỘ MÔN VIỄN THÔNG

BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
MÔN XỬ LÝ SỐ TÍN HIỆU (EE2015)

STT	Họ và tên	MSSV	Nhiệm vụ	Hoàn thành	Xác nhận
1	Phạm Lộ Hoàng Khang	2211464	Viết chương trình lấy mẫu và lượng tử hóa, hoàn thiện báo cáo, Slide và thuyết trình.	20%	 Phạm Lộ Hoàng Khang
2	Nguyễn Huỳnh Quốc Khánh	2311517	Viết chương trình khôi phục tín hiệu đầu thu, chuẩn bị Slide và thuyết trình.	20%	
3	Nguyễn Hoàng Anh Kiệt	2311774	Viết chương trình điều chế AM, phân tích cơ sở lý thuyết và hoàn thành báo cáo.	20%	
4	Lý Minh Thiên	2313214	Viết chương trình AM demodulation, sửa lỗi và tổng hợp toàn bộ chương trình.	20%	
5	Võ Quang Vinh	2313936	Viết chương trình phân tích FFT khử nhiễu đầu phát, chuẩn bị Slide và thuyết trình.	20%	

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	1
1. Lý thuyết lấy mẫu tín hiệu	1
1.1. Lấy mẫu tín hiệu	1
1.2. Định lý lấy mẫu	3
1.3. Hiện tượng chồng lấn (Aliasing)	4
1.4. Bộ tiền lọc lý tưởng và thực tế	5
<i>1.4.1. Bộ tiền lọc lý tưởng</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2. Bộ tiền lọc thực tế</i>	<i>6</i>
2. Lý thuyết lượng tử hóa tín hiệu	7
2.1. Khái niệm lượng tử hóa	7
2.2. Sai số lượng tử hóa	9
3. Bộ khôi phục	11
3.1. Bộ khôi phục tín hiệu tương tự	11
3.2. Bộ khôi phục lý tưởng	12
4. AM modulation và Demodulation	14
<i>4.1. Giới thiệu về điều chế AM</i>	<i>14</i>
<i>4.2. Bảng thông và công suất tín hiệu</i>	<i>17</i>
<i>4.3. Giải điều chế AM</i>	<i>18</i>
4.3.1. Tách sóng đường bao	18
4.3.2. Tách sóng đồng bộ	19
5. FFT remove noise	19
5.1. Định nghĩa FFT	19
5.2. Thuật toán FFT	20
CHƯƠNG 2. MÔ PHỎNG AUDIO TRANSCEIVER	23
1. Đặt vấn đề	23

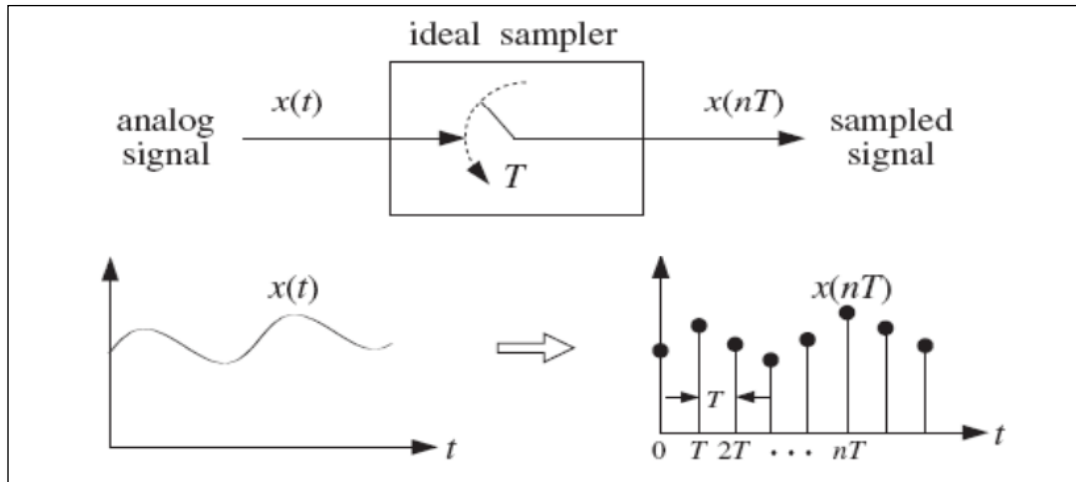
2. Chương trình phân tích FFT và lọc nhiễu	24
3. Chương trình điều chế biên độ	25
4. Chương trình lấy mẫu và lượng tử	27
5. Chương trình giải điều chế và khôi phục	31
6. Quy trình truyền nhận tín hiệu mong muốn	33
CHƯƠNG 3. KẾT LUẬN VÀ ĐÁNH GIÁ	37
1. Kết luận	37
2. Nhận xét	37
TÀI LIỆU THAM KHẢO	38

CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1. Lý thuyết lấy mẫu tín hiệu

1.1. Lấy mẫu tín hiệu

Lấy mẫu là quá trình chuyển tín hiệu từ liên tục sang rời rạc bằng cách ghi nhận giá trị tại các thời điểm rời rạc. Nếu $x(t)$ là tín hiệu đầu vào, đầu ra sau lấy mẫu là $x(nT)$, với T là chu kỳ lấy mẫu. Giá trị tín hiệu thường được giữ đến mẫu tiếp theo, nên quá trình này còn gọi là “lấy mẫu và giữ mẫu”. Đây là cầu nối giữa thế giới tương tự và số.

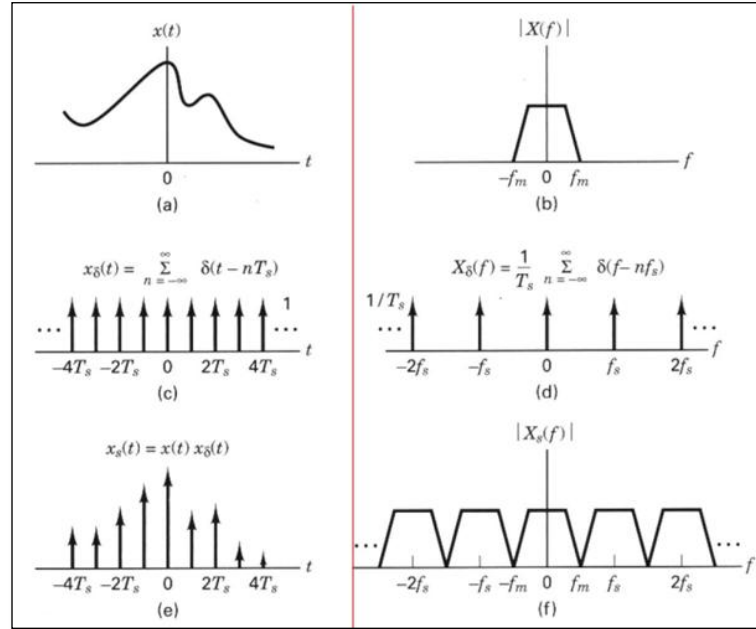


Hình 1.1. Mô tả quá trình lấy mẫu

Trong đó tín hiệu analog $x(t)$ được đo định kỳ mỗi T giây. Do đó, thời gian được rời rạc hóa theo đơn vị khoảng thời gian lấy mẫu T :

$$t = nT, n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$$

Quá trình lấy mẫu xảy ra đều đặn theo khoảng thời gian T_s , gọi là chu kỳ lấy mẫu, với tần số lấy mẫu $f_s = \frac{1}{T_s}$. Các mẫu phải đủ gần nhau để biểu diễn chính xác tín hiệu tương tự. Tuy nhiên, nếu mẫu quá gần (tần số lấy mẫu quá cao) sẽ gây khó khăn cho mạch lấy mẫu về đáp ứng phần cứng, tổn bộ nhớ và giảm tốc độ xử lý do phải xử lý quá nhiều mẫu.



Miền thời gian

Miền tần số

Hình 1.2. Mô tả quá trình lấy mẫu ở miền thời gian và miền tần số

Bên trái là quá trình được mô tả trong miền thời gian, $x(t)$ là tín hiệu liên tục cần lấy mẫu, $s(t)$ là xung lấy mẫu và $x_s(t)$ là tín hiệu đã được lấy mẫu (các mẫu có được của $x(t)$ sau quá trình lấy mẫu). Chú ý tín hiệu $x(t)$ cần lấy mẫu phải là tín hiệu có phổ phân bố hữu hạn.

Bên phải mô tả quá trình trong miền tần số: $X(f)$ là phổ của tín hiệu gốc, giới hạn trong $[-f_M, f_M]$; $S(f)$ là phổ của xung lấy mẫu; $X_s(f)$ là phổ của tín hiệu sau lấy mẫu. Phổ $X_s(f)$ chính là phổ $X(f)$ lặp tuần hoàn với chu kỳ bằng chu kỳ lấy mẫu T_s .

Quan hệ giữa ngõ vào và ra của quá trình lấy mẫu:

Xét trong miền thời gian:

$$x_s(t) = x(t)s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s)\delta(t - nT_s)$$

Xét trong miền tần số:

$$X_s(f) = X(f)S(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s)$$

Vậy quá trình lấy mẫu tạo ra một tín hiệu có phổ rộng vô hạn từ tín hiệu có phổ hữu hạn.

1.2. Định lý lấy mẫu

Định lý Nyquist mô tả cách lấy mẫu một tín hiệu hoặc dạng sóng sao cho không mất đi các phần của sóng ngõ vào. Giả sử chúng ta có một tín hiệu giới hạn băng tần $X(t)$. Giới hạn băng tần có nghĩa là nếu ta thực hiện biến đổi Fourier của tín hiệu này, $X^{\wedge}(f) = F\{X(t)\}$ thì sẽ có một tần số f_{max} sao cho:

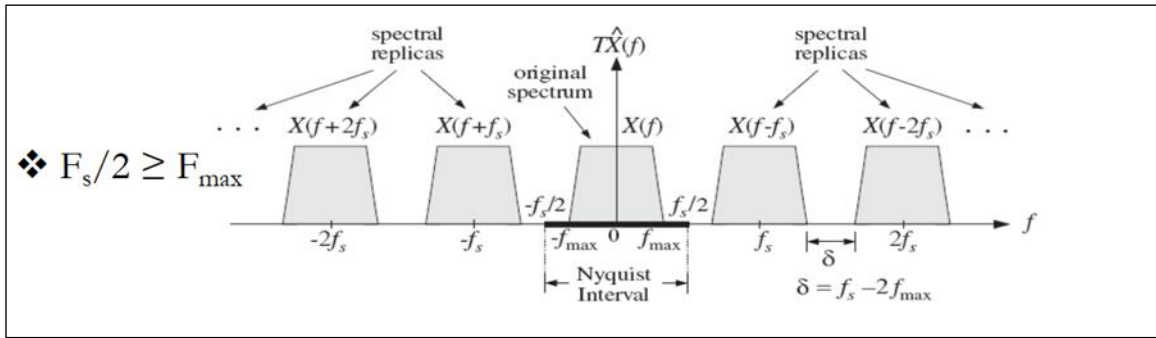
$$|X^{\wedge}(f)| = 0 \quad \forall |f| > f_{max},$$

tức là không có thành phần năng lượng nào trong tín hiệu vượt quá tần số tối đa f_{max}

Định lý Nyquist nói rằng nếu chúng ta lấy mẫu tín hiệu này, cần có tần suất lấy mẫu lớn hơn gấp đôi tần số tối đa chứa trong tín hiệu, tức là:

$$f_{sample} \geq 2f_{max}.$$

Nếu thỏa mãn điều kiện này, chúng ta sẽ không mất các phần của sóng ngõ vào trong quá trình lấy mẫu và về lý thuyết có thể tái tạo lại tín hiệu gốc từ tín hiệu đã lấy mẫu.



Hình 1.3. Mô tả quá trình lấy mẫu tín hiệu $x(t)$ với tần số là f_{max}

Ngoài ra, ta có thể định nghĩa một tần số Nyquist dựa trên tần suất lấy mẫu nhất định:

$$f_{Nyquist} = \frac{1}{2} f_{sample}$$

Những tín hiệu chứa các tần số cao hơn tần số Nyquist này sẽ không thể tái tạo hoàn hảo từ tín hiệu đã lấy mẫu và được gọi là dưới mẫu (lấy mẫu chậm hơn).

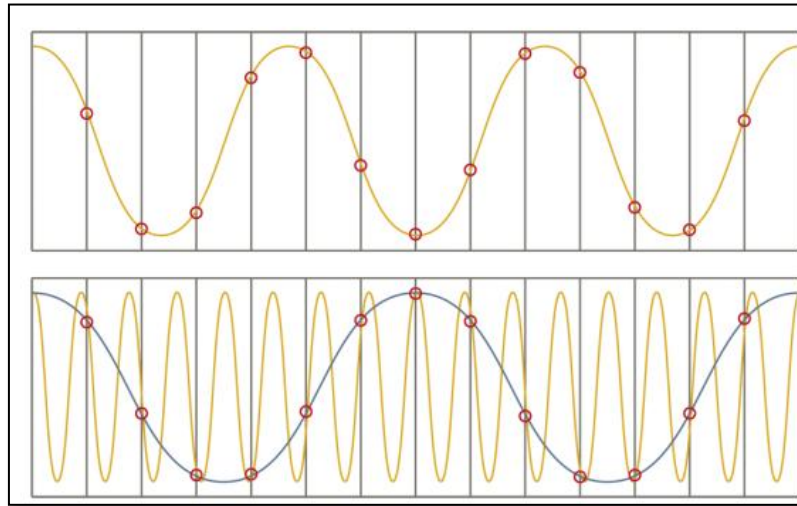
Nếu tín hiệu chỉ chứa các tần số nhỏ hơn tần số Nyquist, tín hiệu gốc có thể tái tạo hoàn hảo từ tín hiệu đã lấy mẫu, gọi là thừa mẫu. Nếu băng tần tín hiệu bằng đúng tần số Nyquist, đây là mẫu chính xác. Đôi khi, việc phát biểu định lý Nyquist theo cách khác là hữu ích. Giả sử chúng ta có một tín hiệu giới hạn băng tần với tần số tối đa f_{max} . Chu kỳ của tần số tối đa này là $\Delta t_{min} = \frac{1}{f_{max}}$. Nếu chúng ta muốn lấy mẫu chính xác tín hiệu này, ta cần lấy mẫu với chu kỳ:

$$\Delta t_{sample} \leq \frac{1}{2\Delta t_{min}}.$$

Nếu chúng ta lấy mẫu tín hiệu chậm hơn, với khoảng thời gian giữa các mẫu dài hơn, chúng ta sẽ lấy mẫu chậm hơn. Tần số lấy mẫu cũng có giới hạn trên, tần số giới hạn trên này phụ thuộc vào thời gian xử lý mỗi mẫu dữ liệu. Giới hạn trên của tần số lấy mẫu còn phụ thuộc vào từng hệ thống, giả sử T_p là thời gian để hệ thống xử lý mỗi mẫu dữ liệu, $f_p = \frac{1}{T_p}$ là tốc độ xử lý mỗi mẫu, để cho giá trị các mẫu không chồng lên nhau thì giới hạn trên của tần số lấy mẫu là: f_p

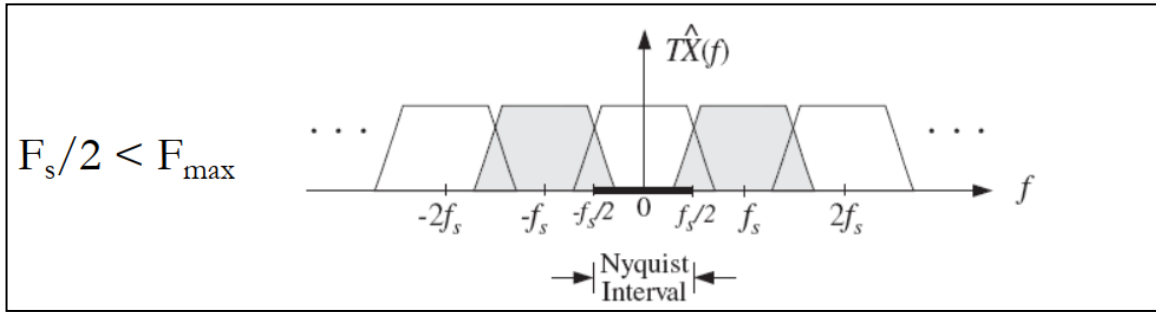
Như vậy tầm tần số lấy mẫu cho quá trình lấy mẫu một tín hiệu $x(t)$ có phổ giới hạn hữu hạn trong khoảng từ $[-f_M$ đến $f_M]$ là $2f_M \leq f_s \leq f_p$. Với tín hiệu cần lấy mẫu là $x(t)$ có phổ là $X(f)$ được phân bố hữu hạn từ $-f_M$ đến f_M .

1.3. Hiện tượng chồng lấn (Aliasing)



Hình 1.4. Mô tả ví dụ hiện tượng chồng lấn (aliasing)

Khi tín hiệu bị lấy mẫu quá ít, aliasing xảy ra. Như Hình 4, tín hiệu lấy mẫu đủ (trên, vàng) có thể tái tạo chính xác, còn tín hiệu lấy mẫu quá ít dẫn đến tín hiệu tái tạo (xanh) có tần số thấp hơn nhiều so với gốc. Aliasing xảy ra khi các tần số cao vượt quá tần số Nyquist bị phản ánh thành tần số thấp, gây sai lệch và nhiễu. Do đó, cần chọn tần số lấy mẫu hợp lý để tránh aliasing nhưng không quá cao để tiết kiệm bộ nhớ và tăng hiệu quả xử lý.



Hình 1.5. Mô tả hiện tượng chồng lấn (aliasing)

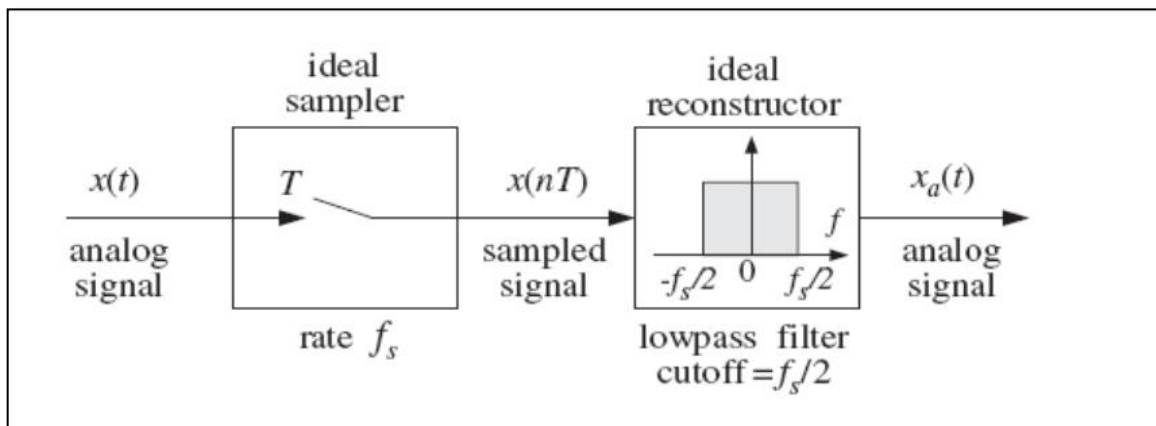
Khi tần số lấy mẫu không thỏa mãn định lý Nyquist, hiện tượng chồng lấn phổ sẽ xảy ra, như trong hình vẽ 2.4, ta thấy thành phần tần số của phổ lặp $\pm f_s$ chồng lấn vào thành phần tần số trung tâm, như vậy tín hiệu tái lập sẽ không đúng.

1.4. Bộ tiền lọc lý tưởng và thực tế

Mạch tiền lọc là một mạch lọc thông thấp được thêm vào trước mạch lấy mẫu nhằm lọc bỏ các thành phần tần số tín hiệu dư thừa – những thành phần tần số lớn hơn $f_s/2$ (giới hạn phổ tín hiệu ngõ vào) để tránh hiện tượng chồng lấn phổ (Aliasing).

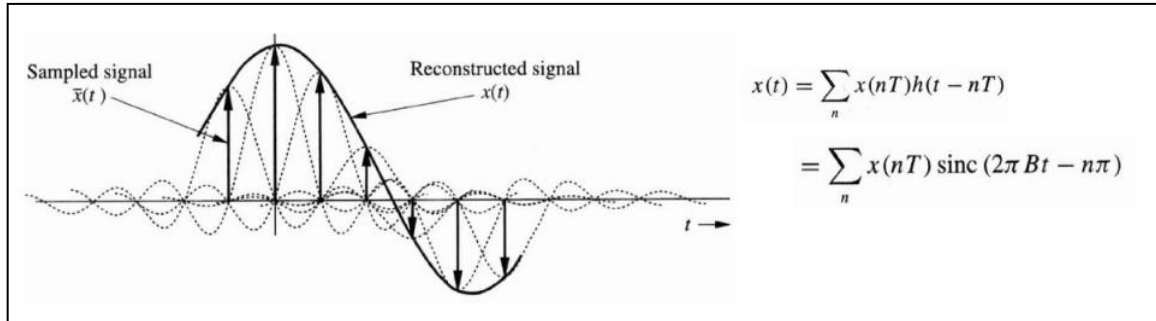
1.4.1. Bộ tiền lọc lý tưởng

Bộ tiền lọc lý tưởng là mạch lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt là $f_s/2$. Tín hiệu ngõ vào khi đi qua bộ tiền lọc, các thành phần tần số lớn hơn $f_s/2$ sẽ bị lọc bỏ hoàn toàn, các thành phần tần số nhỏ hơn $f_s/2$ được giữ nguyên, phổ của tín hiệu sau bộ lọc sẽ khoảng Nyquist $[-f_s/2 \div f_s/2]$. Như vậy tín hiệu sau khi đi qua bộ tiền lọc được lấy mẫu với tần số f_s , phổ của tín hiệu sau khi lấy mẫu là phổ của tín hiệu sau bộ tiền lọc lặp tuần hoàn với tần số f_s và hiện tượng chồng lấn phổ sẽ không xảy ra.



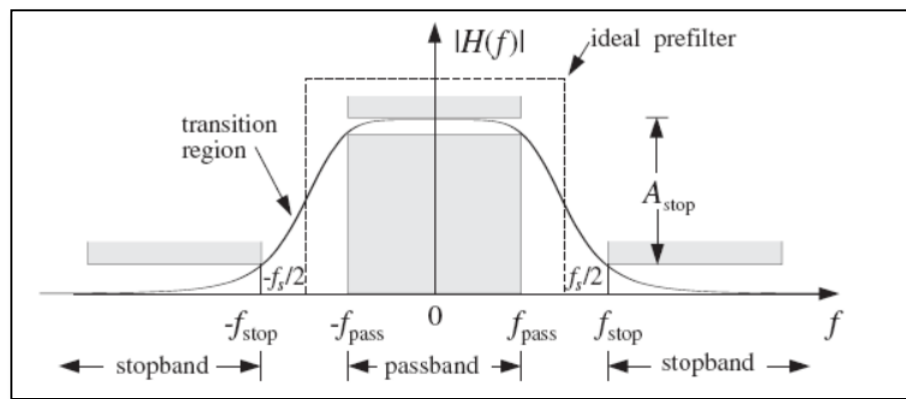
Hình 1.6. Quá trình lấy mẫu và qua bộ tiền lọc lý tưởng

Tín hiệu liên tục $x(t)$ có thể được khôi phục từ tín hiệu đã lấy mẫu bằng bộ lọc thông thấp lý tưởng, có phổ hình chữ nhật. Trong miền thời gian, bộ lọc này có dạng hàm sinc, kéo dài vô hạn do các cạnh đột ngột trong miền tần số.



Hình 1.7. Bộ tiền lọc lý tưởng ở miền thời gian là hàm sinc

1.4.2. Bộ tiền lọc thực tế



Hình 1.8. Bộ tiền lọc thực tế

Bộ lọc thực tế khác bộ lọc lý tưởng ở chỗ có vùng chuyển tiếp giữa dải thông và dải chặn. Khi dùng bộ tiền lọc thực tế, các tần số cao hơn $f_s/2$ chỉ bị suy giảm, không bị loại hoàn toàn, nên chồng lấn phổ vẫn xảy ra nhưng ở mức thấp. Vì vậy cần chọn thông số bộ lọc sao cho chồng lấn được hạn chế, giúp tái tạo tín hiệu tương tự chính xác. Trước tiên ta chọn lựa tần số cắt dải thông f_{pass} sao cho dải thông $[-f_{pass} \div f_{pass}]$ chứa trong tầm giá trị cần quan tâm (tầm tần số mong muốn) $[-f_M \div f_M]$. Tiếp theo chọn tần số cắt dải chặn f_{stop} và suy hao dải chặn A_{stop} sao cho tối thiểu ảnh hưởng của hiện tượng aliasing:

$$f_{stop} = f_s - f_{pass}$$

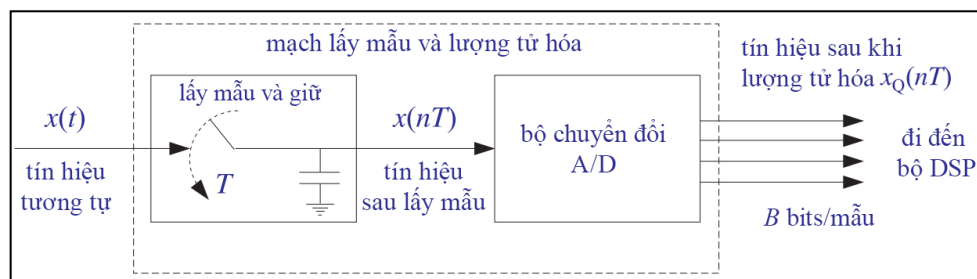
Suy hao bộ lọc tính theo dB:

$$A_{dB}(f) = -20 \log \left| \frac{H(f)}{H(f_o)} \right|$$

2. Lý thuyết lượng tử hóa tín hiệu

2.1. Khái niệm lượng tử hóa

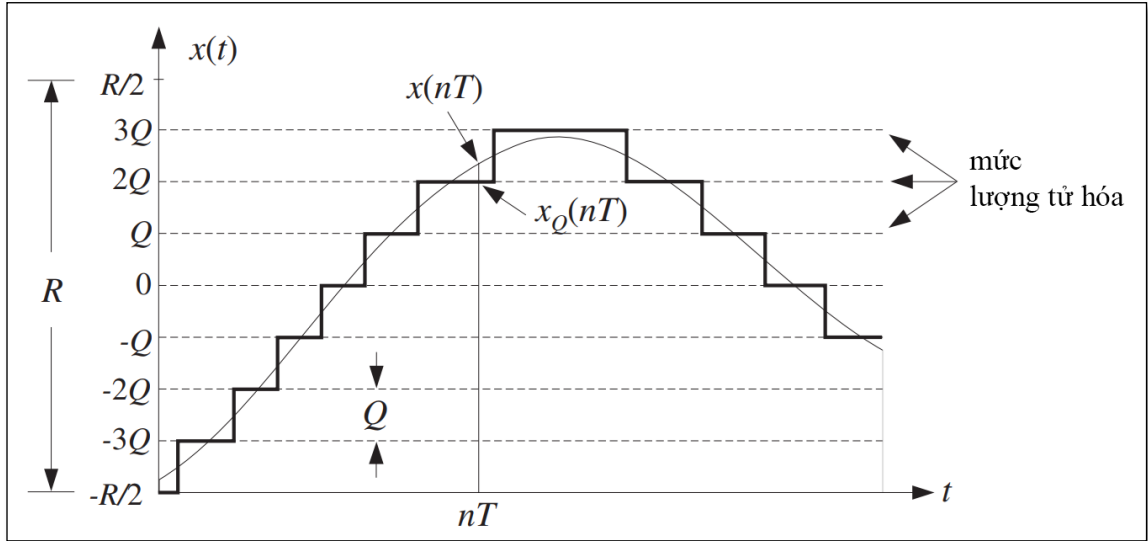
Quá trình lượng tử hóa diễn ra sau bước lấy mẫu, là quá trình chuyển các mẫu rời rạc của tín hiệu tương tự thành giá trị số rời rạc. Mỗi mẫu được giữ trong mạch sample-and-hold trong thời gian T , sau đó bộ A/D converter sẽ xấp xỉ giá trị mẫu với mức rời rạc gần nhất, biểu diễn bằng một số hữu hạn bit. Dữ liệu số này sau đó được gửi đến bộ xử lý tín hiệu số.



Hình 1.9. Chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số

Để dễ hình dung, xem biên độ của tín hiệu được lấy mẫu như một dải liên tục biểu diễn qua đồ thị $x(nT)$. Dải này được chia thành các khoảng cố định được lượng tử hóa gọi là các mẫu lượng tử hóa $x_Q(nT)$ được biểu diễn bởi B bit, mỗi khoảng tương ứng với một mã hoặc mức số khác nhau trong số 2^B giá trị khả dĩ. Một bộ chuyển đổi A/D được đặc trưng bởi một tầm toàn thang R , được chia đều (cho một bộ lượng tử hóa đồng nhất) thành 2^B mức lượng tử hóa, được gọi là bộ lượng tử đều.

Đặc tính của bộ lượng tử hóa thể hiện qua quan hệ giữa ngõ vào và ngõ ra của bộ lượng tử. Quan hệ này có thể là tuyến tính (bộ lượng tử tuyến tính) hay là phi tuyến (bộ lượng tử phi tuyến).



Hình 1.10. Tín hiệu lượng tử hóa

Khoảng cách giữa các mức được gọi là độ rộng lượng tử hóa, ngoài ra có thể gọi là độ phân giải lượng tử, được cho bởi:

$$Q = \frac{R}{2^B}$$

Phương trình này cũng có thể viết dưới dạng:

$$2^B = \frac{R}{Q} \quad (1)$$

Trong đó, Q là độ rộng lượng tử hóa (hay độ phân giải lượng tử), R là tầm toàn thang của bộ chuyển đổi A/D, và B là số bit. Khi số bit N tăng, độ phân giải lượng tử Q giảm, mẫu lượng tử hóa trở nên chính xác hơn, giúp tín hiệu đầu ra gần với tín hiệu ban đầu. Tuy nhiên, tăng số bit cũng đòi hỏi tài nguyên tính toán và bộ nhớ lớn hơn. Sau xử lý số, từ bit B được áp dụng cho bộ D/A, chuyển đổi trở lại dạng tương tự, tạo đầu ra dạng cầu thang. Mạch lấy mẫu/giữ và ADC có thể là mô-đun riêng hoặc tích hợp trên cùng một chip.

Các giá trị của R trong thực tế thường nằm trong khoảng 1-10 volt. Giả định một bộ chuyển đổi ADC lưỡng cực (bipolar) mà các giá trị lượng tử hóa có thể nằm trong phạm vi đối xứng:

$$-\frac{R}{2} \leq x_Q(nT) < \frac{R}{2}$$

Đối với một ADC đơn cực (unipolar), thay vào đó chúng ta có $0 \leq x_Q(nT) < R$. Trong thực tế, tín hiệu đầu vào $x(t)$ phải được điều chỉnh trước bằng phương tiện tương tự để nằm trong tầm toàn thang của bộ lượng tử hóa, tức là:

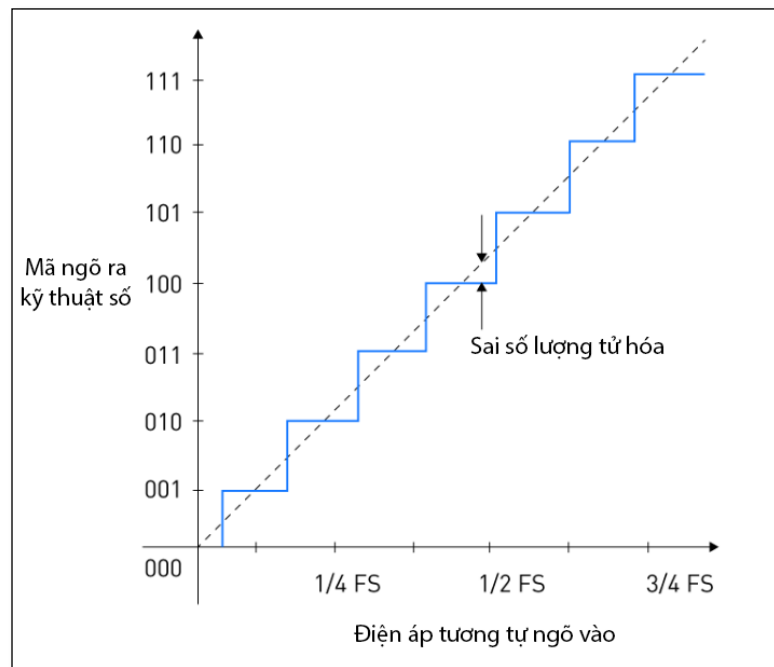
$$-\frac{R}{2} \leq x(t) < \frac{R}{2}$$

trước khi được gửi đến mạch lấy mẫu và lượng tử hóa. Ở vế phải, $\frac{R}{2}$, của tầm toàn thang không được hiện thực hóa như một trong các mức; thay vào đó, mức tối đa là $\frac{R}{2} - Q$

Có hai kiểu lượng tử hóa là kiểu làm tròn (*Around*) và kiểu cắt bớt (*Truncation*). Làm tròn được ưa chuộng trong thực tế vì nó tạo ra một biểu diễn lượng tử hóa ít sai lệch hơn của tín hiệu tương tự.

2.2. Sai số lượng tử hóa

Quá trình lượng tử hóa sẽ chuyển đổi một tập hợp giá trị liên tục thành một tập hợp rời rạc, nên sẽ phát sinh tạo ra một sự không chính xác do làm tròn xấp xỉ. Sự chênh lệch giữa giá trị thực được lấy mẫu $x(nT)$ và giá trị lượng tử hóa $x_Q(nT)$ mà nó được ánh xạ đến được gọi là sai số lượng tử hóa.



Hình 1.11. Sai số lượng tử hóa

Với $e(nT)$ là sai số lượng tử hóa, ta có:

$$e(nT) = x_Q(nT) - x(nT)$$

Sai số khi lượng tử hóa một số x nằm trong khoảng $-R/2, R/2$ là:

$$e = x_Q - x$$

Trong đó, x_Q là giá trị lượng tử hóa. Nếu x nằm giữa hai mức, nó sẽ được làm tròn lên hoặc xuống tùy thuộc vào mức nào gần nhất. Nếu x nằm ở nửa trên (hoặc nửa dưới) giữa hai mức, nó sẽ được làm tròn lên (hoặc xuống). Do đó, sai số e chỉ có thể nhận các giá trị:

$$-\frac{Q}{2} \leq e \leq \frac{Q}{2} \quad (2)$$

Vì vậy, sai số cực đại e_{max} có độ lớn là $Q/2$. Đây là một ước tính quá mức đối với sai số điển hình. Để có một giá trị đại diện cho sai số trung bình, chúng ta xét giá trị trung bình và trung bình bình phương của e , được định nghĩa bởi:

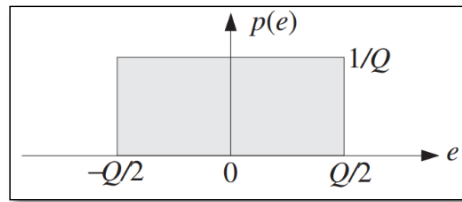
$$\bar{e} = \frac{1}{Q} \int_{-Q/2}^{Q/2} e \, de = 0, \quad \text{và} \quad \overline{e^2} = \frac{1}{Q} \int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 \, de = \frac{Q^2}{12} \quad (3)$$

Kết quả $\bar{e} = 0$ cho thấy trung bình thì một nửa giá trị được làm tròn lên và một nửa được làm tròn xuống. Vì vậy, \bar{e} không thể được dùng làm một sai số đại diện. Một giá trị thông dụng hơn là sai số căn trung bình bình phương (rms), được định nghĩa bởi:

$$e_{rms} = \sqrt{\overline{e^2}} = \frac{Q}{\sqrt{12}} = \frac{R}{\sqrt{12}} \cdot 2^{-B}$$

phương trình (2) có thể được diễn giải dưới dạng xác suất bằng cách giả định rằng sai số lượng tử hóa e là một biến ngẫu nhiên phân bố đều trên khoảng (3), tức là có mật độ xác suất:

$$p(e) = \begin{cases} \frac{1}{Q}, & \text{nếu } -\frac{Q}{2} \leq e \leq \frac{Q}{2} \\ 0, & \text{ngược lại} \end{cases}$$



Hình 1.12. Hàm mật độ xác suất của lỗi lượng tử hóa phân bố đều

Việc chuẩn hóa $1/Q$ cần thiết để đảm bảo:

$$\int_{-Q/2}^{Q/2} p(e) \, de = 1$$

Do đó, phương trình (2) thể hiện kỳ vọng thống kê:

$$E[e] = \int_{-Q/2}^{Q/2} e p(e) de \quad \text{và} \quad E[e^2] = \int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 p(e) de$$

Xem xét R và Q là phạm vi của tín hiệu và nhiễu lượng tử, tỉ số trong phương trình (1) là tỉ số tín hiệu trên nhiễu (SNR). Nó có thể được biểu diễn bằng dB:

$$20 \log_{10} \left(\frac{R}{Q} \right) = 20 \log_{10} (2^B) = B \cdot 20 \log_{10} 2, \quad \text{hay}$$

$$\text{SNR} = 20 \log \left(\frac{R}{Q} \right) = 6B \text{ dB (quy tắc 6 dB mỗi bit)} \quad (3)$$

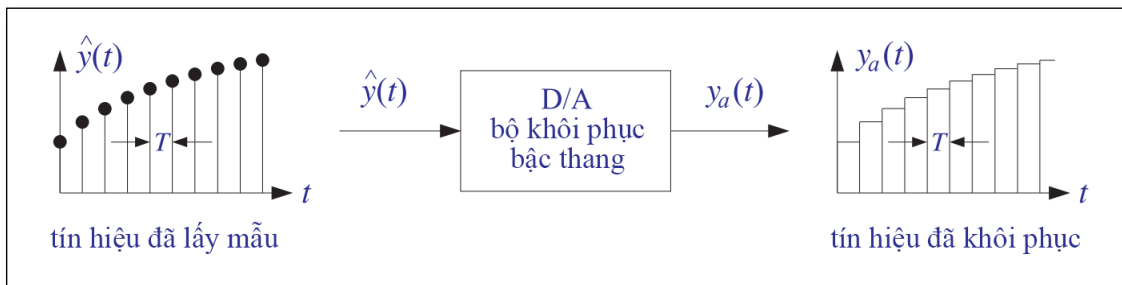
Phương trình (3) được gọi là dải động của bộ lượng tử hóa.

3. Bộ khôi phục

3.1. Bộ khôi phục tín hiệu tương tự

Khôi phục tín hiệu tương tự là quá trình chuyển tín hiệu rời rạc trở lại dạng tương tự. Nói dễ hiểu, quá trình này giống như nối các đỉnh của các mẫu rời rạc để tạo thành đường bao đại diện cho tín hiệu tương tự. Kết quả là tín hiệu dạng xung mẫu được chuyển đổi thành một hình bao gần giống với tín hiệu tương tự biểu diễn bởi $x(nT_s)$, tức là tín hiệu tương tự sau giai đoạn tiền lọc.

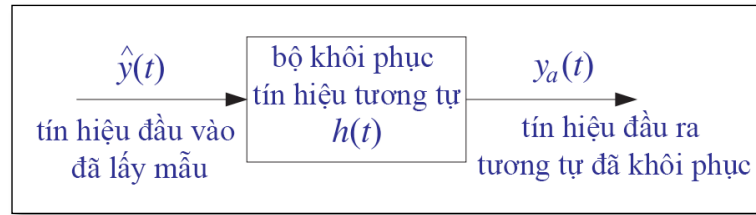
Bộ khôi phục tín hiệu tương tự được biểu diễn như một dạng lọc thông thấp của tín hiệu đã được lấy mẫu. Trong **Hình 1.13** nơi việc khôi phục thực tế được thực hiện bằng cách lấp đầy các khoảng trống giữa các mẫu bằng cách giữ giá trị của mẫu hiện tại cố định cho đến khi có mẫu tiếp theo. Đây là bộ khôi phục dạng bậc thang hoặc bộ khôi phục giữ mẫu.



Hình 1.13 Bộ khôi phục dạng bậc thang

Dễ nhận thấy từ hình trên, bất kỳ cách hợp lý nào để lấp đầy các khoảng trống giữa các mẫu đều dẫn đến một dạng khôi phục. Việc lấp đầy các khoảng trống sẽ tạo ra một tín

hiệu mượt mà và liên tục về mặt thời gian so với tín hiệu đã lấy mẫu – tín hiệu rời rạc về mặt thời gian.



Hình 1.14. Bộ khôi phục tín hiệu tương tự như một bộ lọc thông thấp

Xác định dạng của đáp ứng xung $h(t)$ của bộ khôi phục áp dụng cho cả khôi phục lý tưởng và thực tế. Mỗi quan hệ giữa ngõ đầu ra khôi phục $y_a(t)$ và các mẫu đầu vào $y(nT)$ có thể tìm bằng cách chèn tín hiệu đầu vào đã lấy mẫu

$$\hat{y}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(nT)\delta(t - nT)$$

vào phương trình tích chập của bộ tái tạo

$$y_a(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - t')\hat{y}(t')dt'$$

Do đó, ta có:

$$y_a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(nT)h(t - nT) \quad (1)$$

Điều này chỉ ra rằng cách để lấp đầy các khoảng trống giữa các mẫu là bắt đầu từ mẫu hiện tại $y(nT)$ và nội suy từ đó theo hình dạng của $h(t)$ cho đến mẫu tiếp theo. Cụ thể hơn, một bản sao của $h(t)$ phải được gắn vào mỗi mẫu $y(nT)$, và tất cả các đóng góp này phải được tổng hợp lại - đường cong kết quả chính là tín hiệu tương tự đã tái tạo. Trong miền tần số, phương trình (1) trở thành:

$$Y_a(f) = H(f)\hat{Y}(f)$$

trong đó $\hat{Y}(f)$ là phổ lặp lại được cho bởi phương trình

$$\hat{Y}(f) = \frac{1}{T} \sum_{m=-\infty}^{\infty} Y(f - mf_s)$$

3.2. Bộ khôi phục lý tưởng

Bộ khôi phục lý tưởng là một bộ lọc thông thấp lý tưởng, với tần số cắt bằng một nửa tần số Nyquist $f_s/2$.

Để có thể khôi phục hoàn toàn hoặc trong điều kiện lý tưởng, cần phải đảm bảo rằng $Y_a(f)$ phải giống hệt với phổ tương tự ban đầu $Y(f)$. Nếu phổ $Y(f)$ bị giới hạn băng thông và các bản sao của nó không bị chồng lên nhau, thì trong khoảng Nyquist $T\hat{Y}(f)$ sẽ khớp với $Y(f)$, tức là:

$$\hat{Y}(f) = \frac{1}{T}Y(f), \text{ với } -\frac{f_s}{2} \leq f \leq \frac{f_s}{2} \quad (2)$$

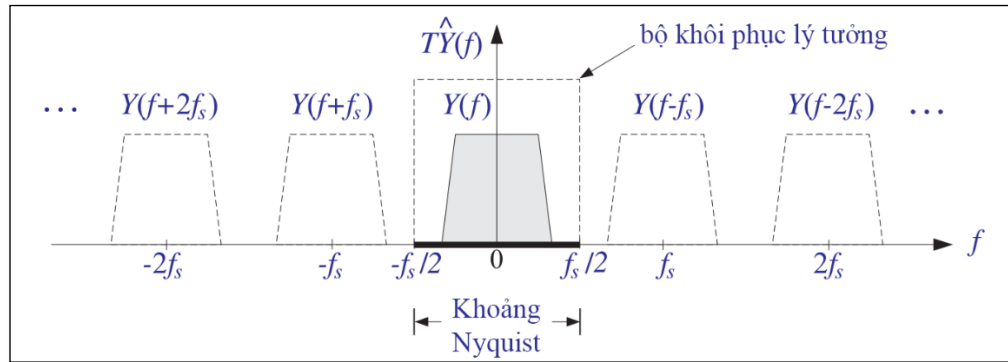
Bộ lọc khôi phục lý tưởng $H(f)$ là một bộ lọc thông thấp lý tưởng với tần số cắt $\frac{f_s}{2}$, được định nghĩa như sau:

$$H(f) = \begin{cases} T, & \text{nếu } |f| \leq \frac{f_s}{2} \\ 0, & \text{ngược lại} \end{cases}$$

Giá trị T cho độ lợi trong băng thông được giải thích bên dưới. Như minh họa trong Hình 25., bộ lọc như vậy sẽ trích xuất bản sao trung tâm và loại bỏ tất cả các bản sao khác. Sử dụng phương trình (2), ta có trong khoảng Nyquist:

$$Y_a(f) = H(f)\hat{Y}(f) = T \cdot \frac{1}{T}Y(f) = Y(f)$$

trong đó, hệ số độ lợi của bộ lọc T đã triệt tiêu yếu tố $1/T$ trong phổ.



Hình 1.15. Bộ khôi phục lý tưởng trong miền tần số

Mối quan hệ tương tự cũng đúng một cách hiển nhiên ($0 \equiv 0$) ngoài khoảng Nyquist. Do đó, ta có $Y_a(f) = Y(f)$ cho mọi f , điều này ngụ ý rằng tín hiệu khôi phục tương tự $y_a(t)$ sẽ giống hệt với tín hiệu gốc đã được lấy mẫu, tức là $y_a(t) = y(t)$. Kết hợp điều này với phương trình (1), ta có được định lý lấy mẫu Shannon biểu diễn tín hiệu $y(t)$ giới hạn băng thông theo các mẫu $y(nT)$:

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(nT)h(t - nT)$$

Phản hồi xung của bộ khôi phục lý tưởng có thể được thu được từ biến đổi Fourier ngược của $H(f)$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{j2\pi ft}df = \int_{-f_s/2}^{f_s/2} T e^{j2\pi ft}df, \text{ hoặc}$$

$$h(t) = \frac{\sin(\pi t/T)}{\pi t/T} = \frac{\sin(\pi f_s t)}{\pi f_s t} \quad (\text{bộ khôi phục lý tưởng})$$

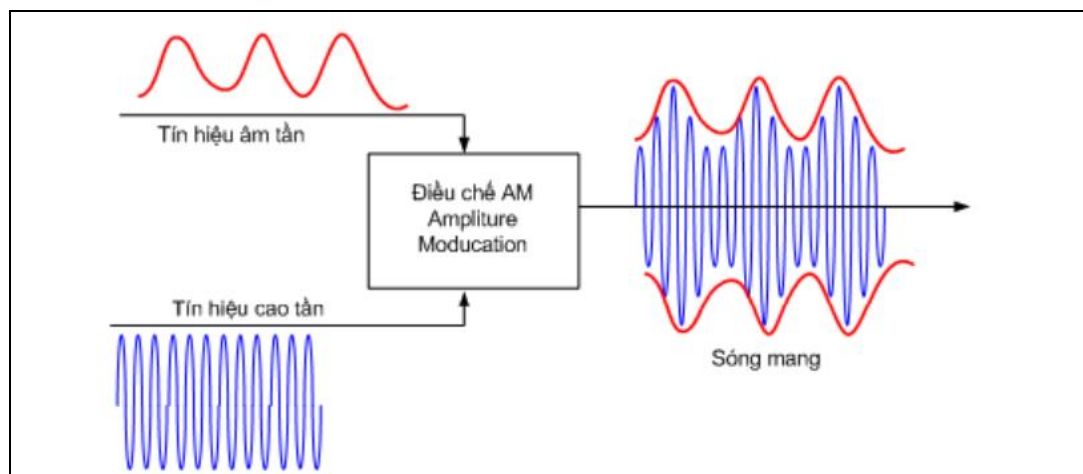
Tuy nhiên trong thực tế, bộ khôi phục lý tưởng không thể thực hiện được. Phản hồi xung không nhân quả, có một phần nhân quả đi đến vô cùng. Do đó, cần có các bộ khôi phục khác, chẳng hạn như dạng bậc thang.

Xấp xỉ của một bộ khôi phục lý tưởng thu được bằng cách cắt ngắn nó đến độ dài hữu hạn, được sử dụng trong thiết kế các bộ lọc nội suy FIR số cho ứng dụng lấy mẫu quá mức (oversampling) và ứng dụng chuyển đổi tần số lấy mẫu (sample-rate conversion application).

4. AM modulation và Demodulation

4.1. Giới thiệu về điều chế AM

Điều chế AM là quá trình điều chế tín hiệu tần số thấp (như tín hiệu âm tần, tín hiệu video) vào tần số cao tần theo phương thức biến đổi biên độ tín hiệu cao tần theo hình dạng của tín hiệu âm tần ra tín hiệu cao tần thu được gọi là sóng mang.



Hình 1.16. Tín hiệu vào và ra của mạch điều chế AM

Tín hiệu âm tần có thể lấy từ Micro sau đó khuếch đại qua mạch khuếch đại âm tần, hoặc có thể lấy từ các thiết bị khác như đài Cassette, Đầu đĩa CD. Tín hiệu cao tần được tạo bởi mạch tạo dao động, tần số cao tần là tần số theo quy định của đài phát. Tín hiệu đầu ra là sóng mang có tần số bằng tần số cao tần, có biên độ thay đổi theo tín hiệu âm tần.

Những giả định đối với tín hiệu thông tin $x(t)$ như sau:

Băng giới hạn:

$$X(f) \approx 0 \text{ khi } |f| > W$$

Chuẩn hóa:

$$\begin{aligned} |x(t)| &\leq 1 \\ S_x = [X^2(t)] &\leq 1 \end{aligned}$$

Điều chế sóng hài:

$$\begin{aligned} x(t) &= A_m \cos(w_m t) \\ A_m &\leq 1, f_m \leq W \end{aligned}$$

Biểu thức tín hiệu AM và dạng sóng trong miền thời gian.

Tín hiệu AM được biểu diễn bằng công thức :

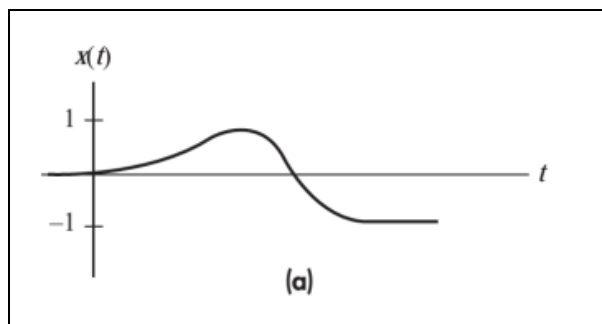
$$X_c(t) = A_c[1 + \mu x(t)]\cos(w_c t)$$

Trong đó, A_c là biên độ của sóng mang chưa điều chế, $x(t)$ là tín hiệu thông tin (thường chuẩn hóa trong khoảng $[-1,1]$, còn μ là hệ số điều chế, thể hiện mức độ ảnh hưởng của tín hiệu thông tin lên biên độ sóng mang. Sóng $\cos(w_c t)$ đóng vai trò là sóng mang, có nhiệm vụ đưa tín hiệu lên tần số cao. Hệ số điều chế μ giữ vai trò quan trọng vì nó quyết định dạng của bao tín hiệu và mức độ méo của tín hiệu AM.

Bao tín hiệu của AM được xác định bởi :

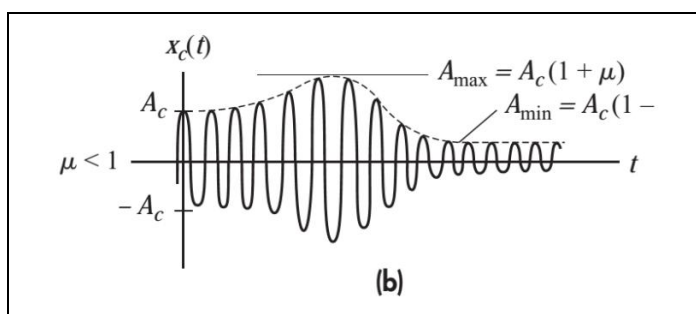
$$A(t) = A_c[1 + \mu x(t)]$$

Bao tín hiệu chính là phần đường cong “ôm bên ngoài” tín hiệu AM, và nó chứa toàn bộ thông tin của tín hiệu gốc $x(t)$. Khi các điều kiện $\mu \leq 1$ và $f_c \gg W$ (trong đó W là băng thông tín hiệu thông tin) được đảm bảo, bao tín hiệu sẽ tái tạo chính xác dạng sóng của $x(t)$. Điều này cho phép bộ thu sử dụng mạch tách sóng đơn giản như diode detector để phục hồi tín hiệu ban đầu.



Hình 1.17. Tín hiệu $x(t)$

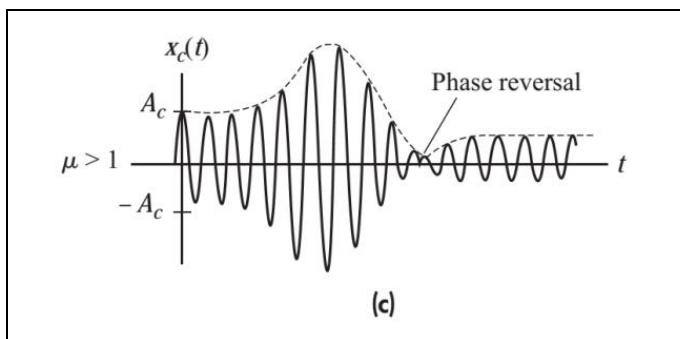
Trong trường hợp $\mu < 1$, biên độ của tín hiệu AM không bị thay đổi quá mức, và bao tín hiệu vẫn duy trì đúng hình dạng của tín hiệu thông tin. Ở mức điều chế này, $A_{\min} = A_c(1 - \mu)$ và luôn lớn hơn 0. Do đó không xảy ra hiện tượng đảo pha. Tín hiệu không bị méo và dễ dàng được giải điều chế. Tuy nhiên, mức điều chế thấp đồng nghĩa với việc tín hiệu thông tin được truyền đi yếu hơn, làm giảm chất lượng thu hoặc tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR).



Hình 1.18 Điều chế với hệ số $\mu < 1$

Khi hệ số $\mu = 1$ tín hiệu AM đạt mức điều chế tối ưu. Lúc này, $A_{\min} = 0$ và $A_{\max} = 2A_c$. Bao tín hiệu khớp hoàn toàn với dạng sóng thông tin, không gây méo tín hiệu và sử dụng hiệu quả công suất truyền. Mức điều chế $\mu = 1$ được xem là mức lý tưởng trong phát thanh AM vì nó tối ưu giữa chất lượng và công suất.

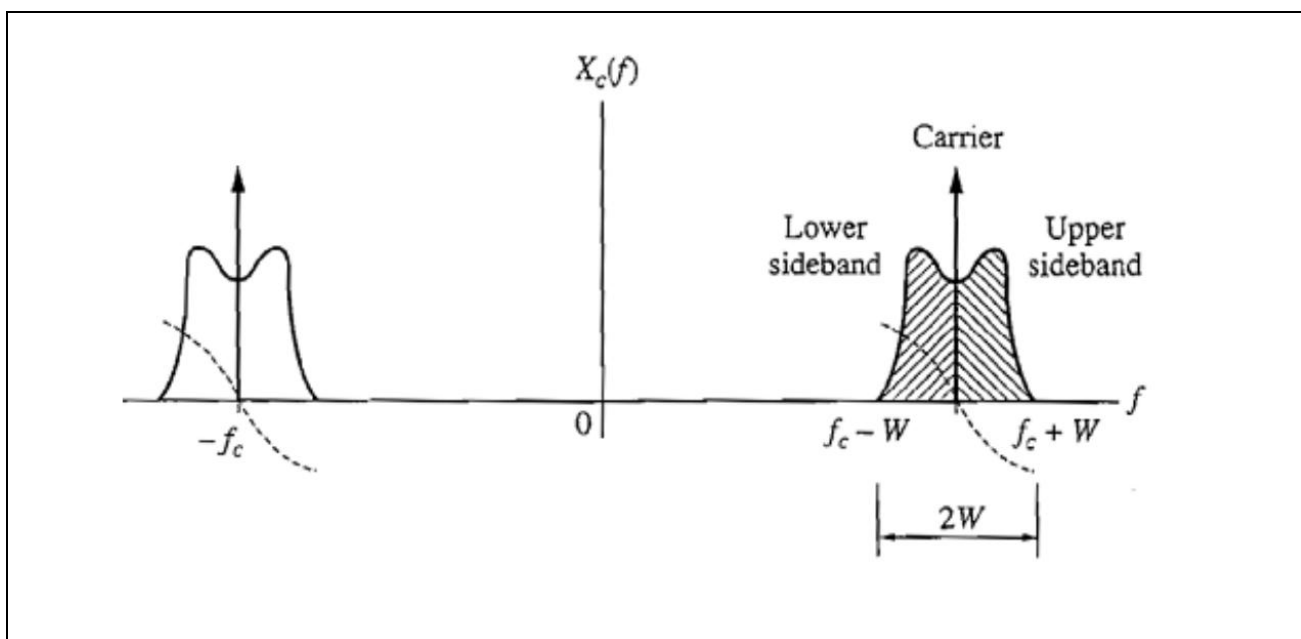
Trong trường hợp quá điều chế $\mu > 1$, tín hiệu AM sẽ xuất hiện hiện tượng đảo pha và bao tín hiệu bị méo, dẫn đến chất lượng thu suy giảm đáng kể.



Hình 1.19. Điều chế hệ số $\mu > 1$

4.2. Băng thông và công suất tín hiệu

Băng thông của tín hiệu sau điều chế bằng 2 lần băng thông của tín hiệu tin tức:
BT = 2W khi $f > 0$



Hình 1.20. Băng thông của tín hiệu AM.

Công suất tổng có thể được biểu diễn bằng công suất của sóng mang không điều chế P_c và công suất trên mỗi dải biên (sideband) P_{sb} .

$$S_T = P_c + 2P_{sb}$$

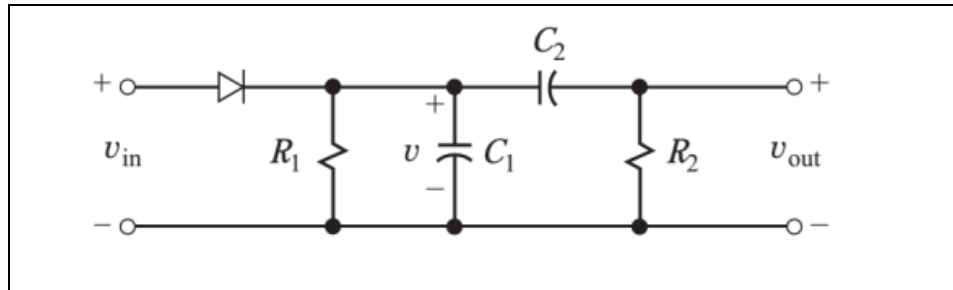
$$P_c = \frac{1}{2}A_c^2 \quad P_{sb} = \frac{1}{4}A_c^2\mu^2S_x = \frac{1}{2}\mu^2S_xP_c$$

Điều kiện để tránh méo đường bao : $|\mu x(t)| \leq 1$

Có thể kết luận có ít nhất 50% tổng công suất phát đi nằm trong thành phần sóng mang, mà thành phần này không phụ thuộc vào $x(t)$ có thể suy ra được không mang thông tin. Tín hiệu AM không phù hợp để truyền thành phần DC hoặc tín hiệu có nhiều năng lượng ở tần số thấp.

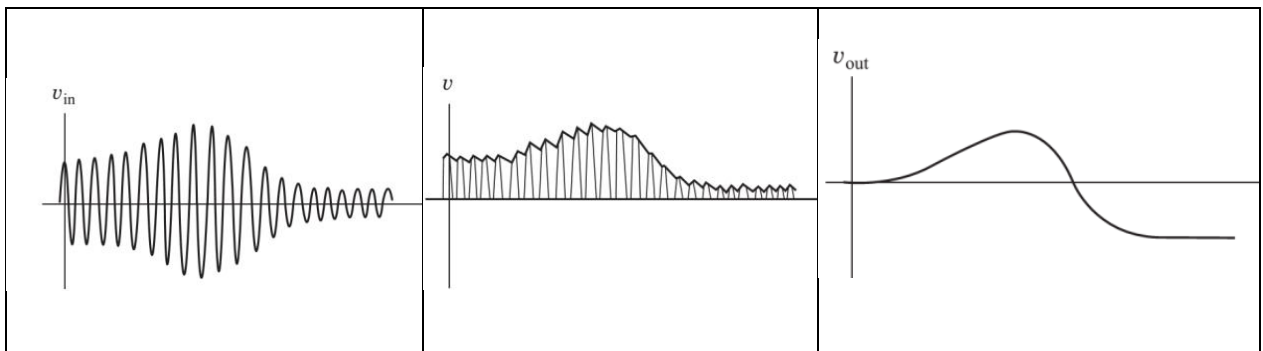
4.3. Giải điều chế AM

4.3.1. Tách sóng đường bao



Hình 1.21. Mạch tách sóng đường bao

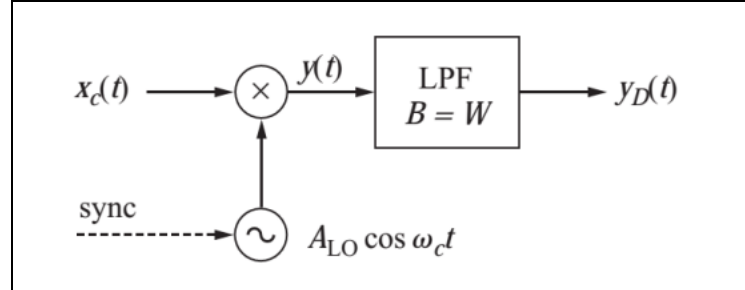
Mạch giải điều chế AM hoạt động dựa trên nguyên lý tách đường bao. Trước hết, diode chỉnh lưu tín hiệu AM, chỉ cho phần bán kỳ dương đi qua nên giữ lại các đỉnh của sóng mang. Tụ C_1 cùng điện trở R_1 tạo thành mạch RC: khi biên độ sóng tăng, C_1 nạp nhanh; khi biên độ giảm, C_1 phóng chậm qua R_1 . Nhờ đặc tính này, điện áp trên C_1 bám theo dạng đường bao của tín hiệu âm tần ban đầu. Sau đó tín hiệu đi qua $C_2 - R_2$ để lọc bỏ thành phần sóng mang tần số cao và chỉ giữ lại tín hiệu âm tần ở đầu ra. Đây chính là nguyên lý cơ bản của bộ tách bao trong giải điều chế AM.



Hình 1.22. Dạng sóng trước, trong và sau giải điều chế AM

4.3.2. Tách sóng đồng bộ

Tín hiệu dao động nội (local oscillator) được đồng bộ cả về pha và tần số với sóng mang.



Hình 1.23. Sơ đồ khối giải điều chế bằng phương pháp tách đồng bộ.

Một tín hiệu AM tổng quát:

$$\begin{aligned}
 x_c(t) &= \{K_c + K_\mu x(t)\} \cos W_c t - K_\mu x_q(t) \sin W_c t \\
 y(t) &= x_c(t) A_{LO} \cos W_c t = \frac{A_{LO}}{2} \{ (K_c + K_\mu x(t)) \\
 &\quad + (K_c + K_\mu x(t)) \cos 2W_c t - K_\mu x_q(t) \sin 2W_c t \\
 y_D(t) &= K_D (K_c + K_\mu x(t))
 \end{aligned}$$

Ở đây, K_D là một hằng số phụ thuộc vào bộ tách sóng. Nếu cần thiết, thành phần DC có thể được lọc bỏ.

Cần lưu ý rằng bộ tách sóng đồng bộ làm suy giảm hoàn toàn thành phần ở pha vuông góc (quadrature-phase component). Vì vậy, về hiệu quả, nó loại bỏ được một nửa công suất nhiễu.

5. FFT remove noise

5.1. Định nghĩa FFT

Biến đổi Fourier rời rạc (Discrete Fourier Transform – DFT) là một công cụ toán học quan trọng trong xử lý tín hiệu số, cho phép chuyển đổi tín hiệu từ miền thời gian sang miền tần số. Thông qua DFT, ta có thể phân tích xem một tín hiệu thời gian bao gồm những thành phần tần số nào và cường độ của chúng ra sao.

Giả sử có một chuỗi dữ liệu rời rạc $x(n)$ với độ dài N , DFT được định nghĩa theo công thức:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

where $W_N = e^{-j2\pi/N}$

Trong hầu hết các trường hợp, chuỗi dữ liệu $x(n)$ được giả sử là có giá trị phức. Để tính toàn bộ N giá trị của DFT, ta cần thực hiện N^2 phép nhân số phức và $N(N-1)$ phép cộng số phức. Do đó, với tín hiệu có độ dài lớn, việc tính DFT theo cách trực tiếp trở nên không hiệu quả về mặt thời gian và tài nguyên.

5.2. Thuật toán FFT

Fast Fourier Transform (FFT) là thuật toán tối ưu để tính DFT, dựa trên việc khai thác hai tính chất quan trọng của hệ số pha W_N

Thứ nhất, tính đối xứng : $W_N^{k+N/2} = -W_N^k$

Thứ hai, tính tuần hoàn : $W_N^{k+N} = W_N^k$

FFT thường được sử dụng dưới dạng Radix-2 Decimation-in-Time (DIT), chia chuỗi dữ liệu ban đầu thành hai phần: mẫu chẵn và mẫu lẻ:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_N^{k2n} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1] W_N^{k(2n+1)}$$

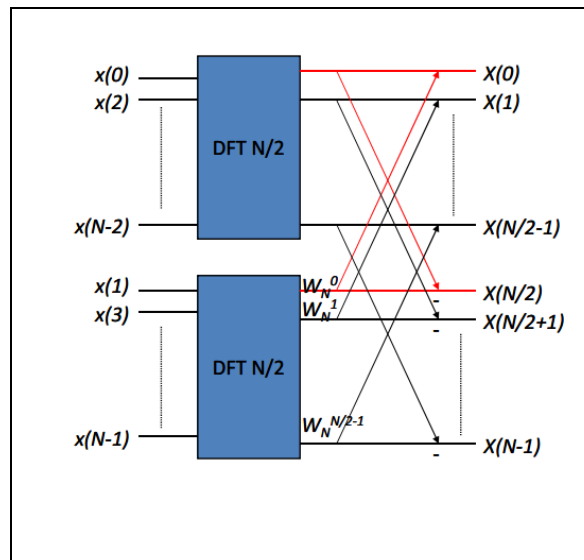
Ta sử dụng tính chất sau : $W_N^2 = W_{N/2}$ và $W_N^{k+N/2} = -W_N^k$

Nhờ đó, toàn bộ DFT có thể tính chỉ với các giá trị $k=0, 1, \dots, N/2-1$:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n] W_N^{kn} + W_N^{-k} \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n+1] W_N^{kn}$$

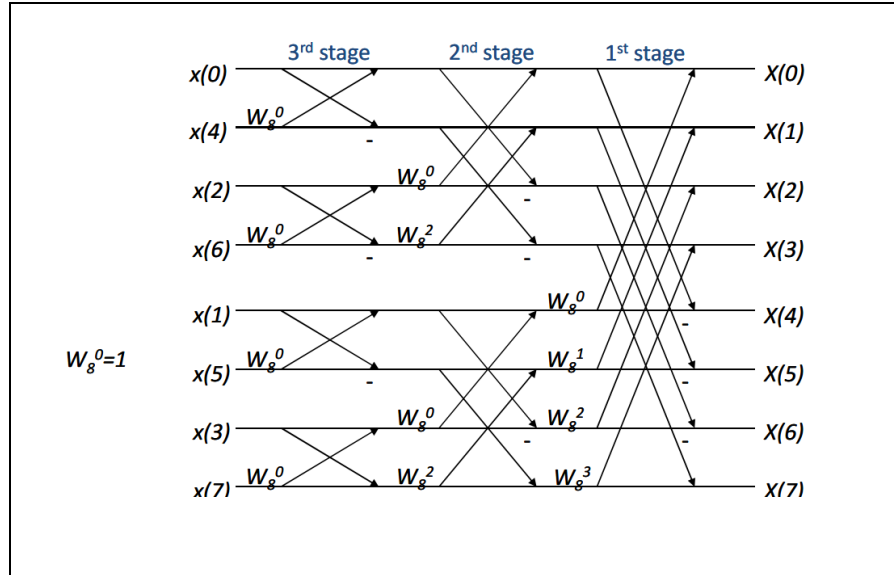
$$X\left[k + \frac{N}{2}\right] = \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n] W_N^{kn} - W_N^k \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n+1] W_N^{kn}$$

Từ đó hình thành nên khối tính toán cơ bản của thuật toán FFT, được gọi là cấu trúc bướm (butterfly).



Hình 1.24. Sơ đồ cấu trúc butterfly

Nếu $N/2$ là một số chẵn, ta có thể tiếp tục tách mỗi phép biến đổi DFT kích thước $N/2$ thành hai phép DFT có kích thước bằng một nửa. Khi $N = 2^r$, việc phân tách này có thể tiếp tục cho đến khi thu được các DFT kích thước 2, tức là các khối butterfly gồm hai phần tử.



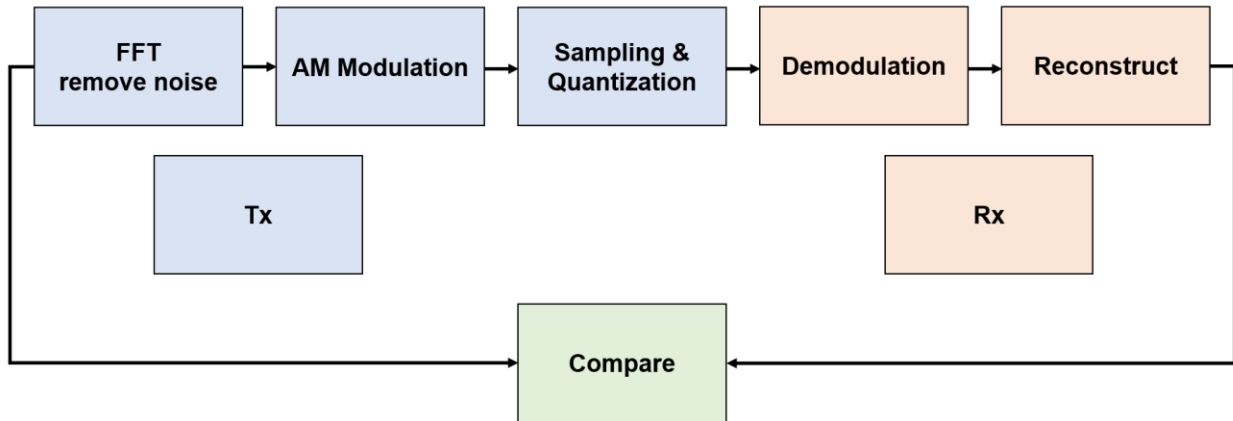
Hình 1.25. Khối butterfly gồm 2 phần tử

Như vậy, nhờ cấu trúc tính toán bướm và tính chất phân tách theo mẫu chẵn – lẻ, FFT cho phép tính DFT rất hiệu quả, tạo điều kiện để phân tích phổ tín hiệu theo thời gian thực. Khi tín hiệu được chuyển sang miền tần số, ta có thể nhận diện và loại bỏ các thành phần nhiễu, từ đó thực hiện kỹ thuật khử nhiễu bằng FFT (FFT noise removal).

CHƯƠNG 2. MÔ PHỎNG AUDIO TRANSCEIVER

1. Đặt vấn đề

Trong hệ thống thông tin, việc truyền nhận thông tin âm thanh có thể được mô tả bằng sơ đồ khối sau.



Hình 2.1. Sơ đồ khối bộ truyền nhận thông tin âm thanh

Tín hiệu đầu âm thanh ở bộ phát được phân tích FFT để chuyển từ miền thời gian sang miền tần số. Từ phổ tần số có thể dùng bộ lọc để lọc bỏ các thành phần nhiễu tần số cao. Vì khu vực âm tần con người nghe được chỉ tối đa 20KHz, những thành phần tần số cao mà cụ thể là nhiễu, con người không thể nghe nhưng lại làm chia mất công suất phổ. Ngoài ra các thành phần tần số cao dễ tạo ra các tần số ảnh khi điều chế làm ảnh hưởng chất lượng âm thanh khôi phục ở bộ thu nên cần lọc bỏ ngay từ bước đầu tiên.

Tiếp đến âm thanh được điều chế lên khu vực tần số cao hơn mà ở đây nhóm lựa chọn điều chế biên độ (AM modulation).

Tín hiệu sau điều chế vẫn là tín hiệu liên tục sẽ được lấy mẫu và lượng tử để truyền đạt có thể bằng dây hoặc không dây.

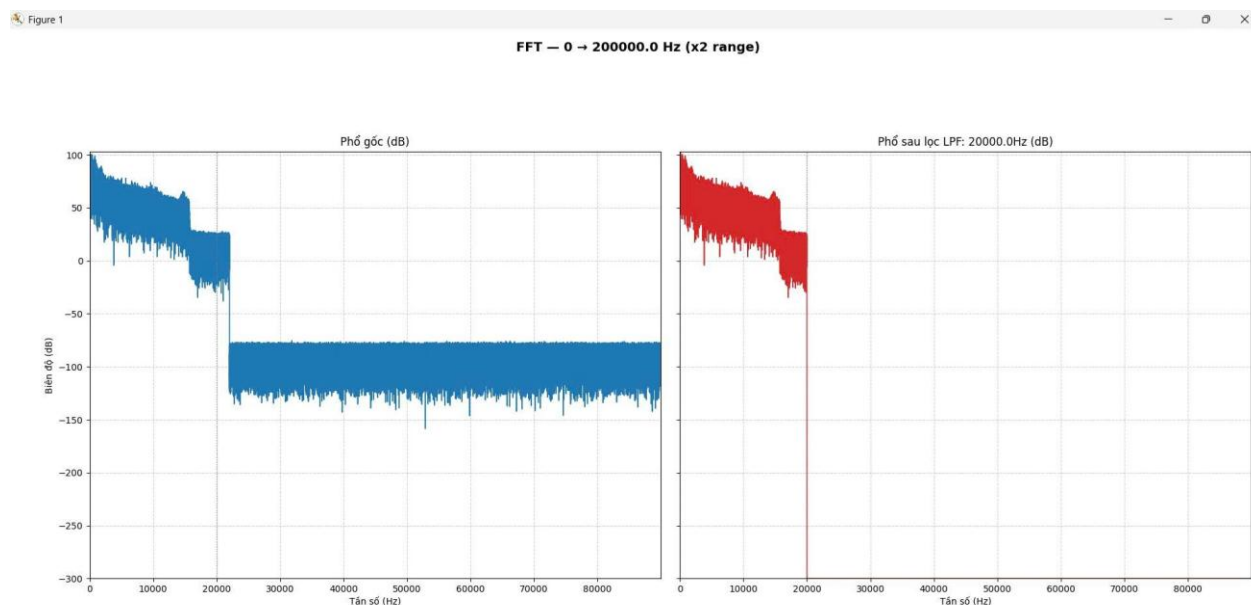
Tín hiệu được bộ thu tiếp nhận giải điều chế AM đưa về khu vực tần số gốc và dùng bộ lọc để khôi phục tín hiệu. Kết quả tín hiệu thu sẽ được đem so sánh với tín hiệu đầu vào để xác định được chất lượng của cả hệ thống.

2. Chương trình phân tích FFT và lọc nhiễu

Chương trình sử dụng giải thuật cánh bước FFT 1024 để phân tích tín hiệu rời rạc ở miền tần số. Sau đó cho phép lựa chọn tần số cắt cho bộ lọc để loại bỏ các thành phần tần số cao.

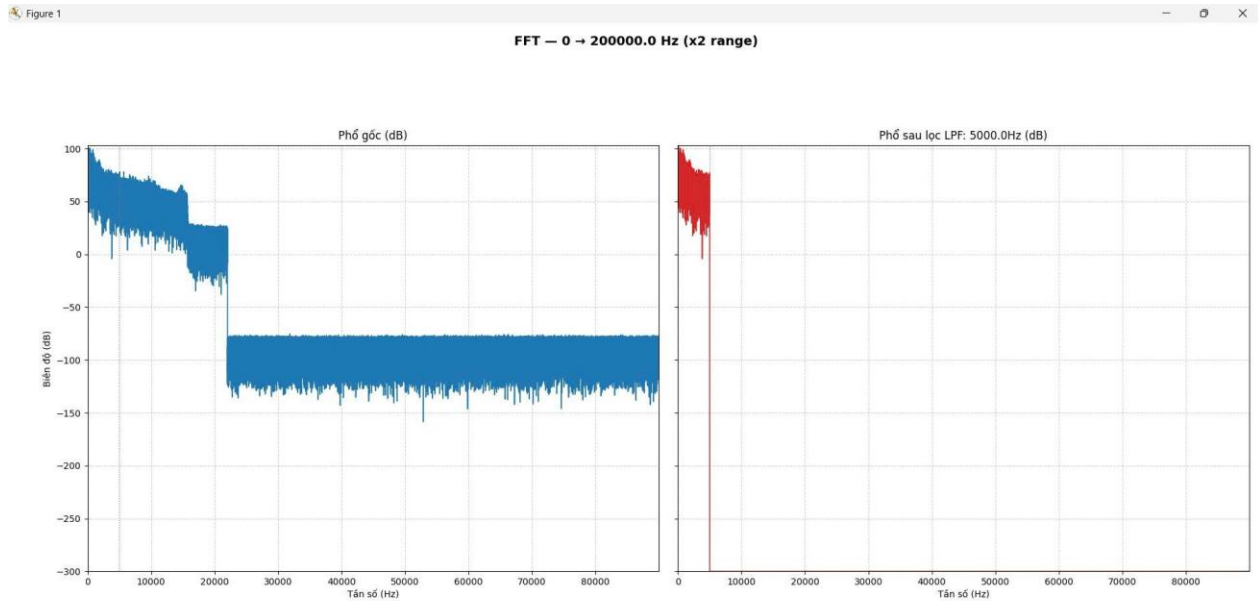
Qua **Hình 2.2**, ta có thể thấy trước khi qua bộ lọc thì tín hiệu đầu vào tồn tại rất nhiều nhiễu ở tần số cao dù công suất rất nhỏ. Sau khi qua bộ lọc, ta có thể loại bỏ hoàn toàn được nhiễu ở tần số cao.

File âm thanh của nhóm hiện tại tồn đọng ít nhiều những đề phù hợp với truyền tải thông tin đại chúng, tồn đọng nhiều thì việc có bộ lọc khử nhiễu là rất cần thiết.



Hình 2.2. Phân tích FFT và lọc nhiễu tần số cắt 20KHz

Tương tự với tần số cắt 5KHz ta có được **Hình 2.3**.



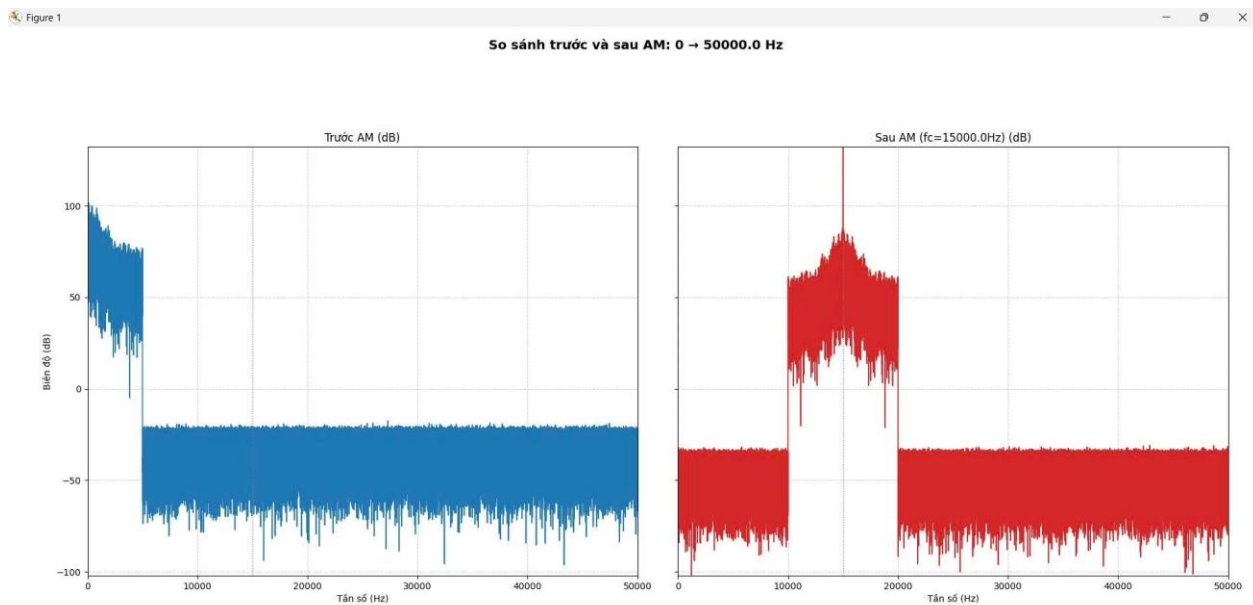
Hình 2.3. Phân tích FFT và lọc nhiễu tần số cắt 5KHz

3. Chương trình điều chế biên độ

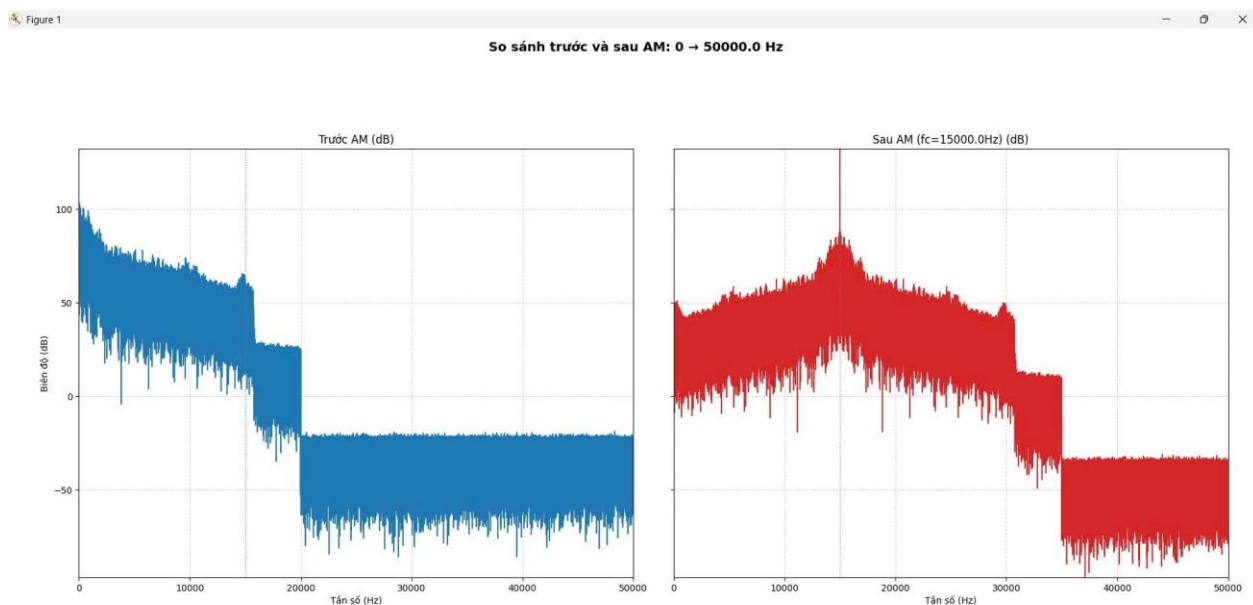
Chương trình sử dụng công thức điều chế AM đảm bảo hệ số điều chế bé hơn 1 để sử dụng phương pháp giải điều chế tách sóng đường bao.

Khi thực hiện điều chế biên độ hệ số 0.5, với tần số sóng mang 15KHz và tín hiệu đầu vào đã qua bộ lọc khử nhiễu tần số cắt 5KHz ta thu được tín hiệu sau điều chế bị dịch sang vùng tần số của sóng mang. Tín hiệu bị giảm biên độ do quá trình nhân hai tần số hàm sine với nhau như **Hình 2.4**.

Trong trường hợp giữ nguyên hệ số điều chế và tần số sóng mang nhưng thay đổi tần số lớn nhất của tín hiệu đầu vào 20KHz bằng việc thay đổi tần số cắt ở bộ khử nhiễu đầu tiên ta thu được tín hiệu sau điều chế như **Hình 2.5**. Qua đó, ta thấy được tín hiệu bị chồng lấp ở khoảng tần số thấp 0 đến 5KHz. Ngoài ra, vì hệ số ở hai trường hợp trên điều là 0.5 nên tín hiệu sau khi điều chế có phần giảm biên độ so với tín hiệu gốc.

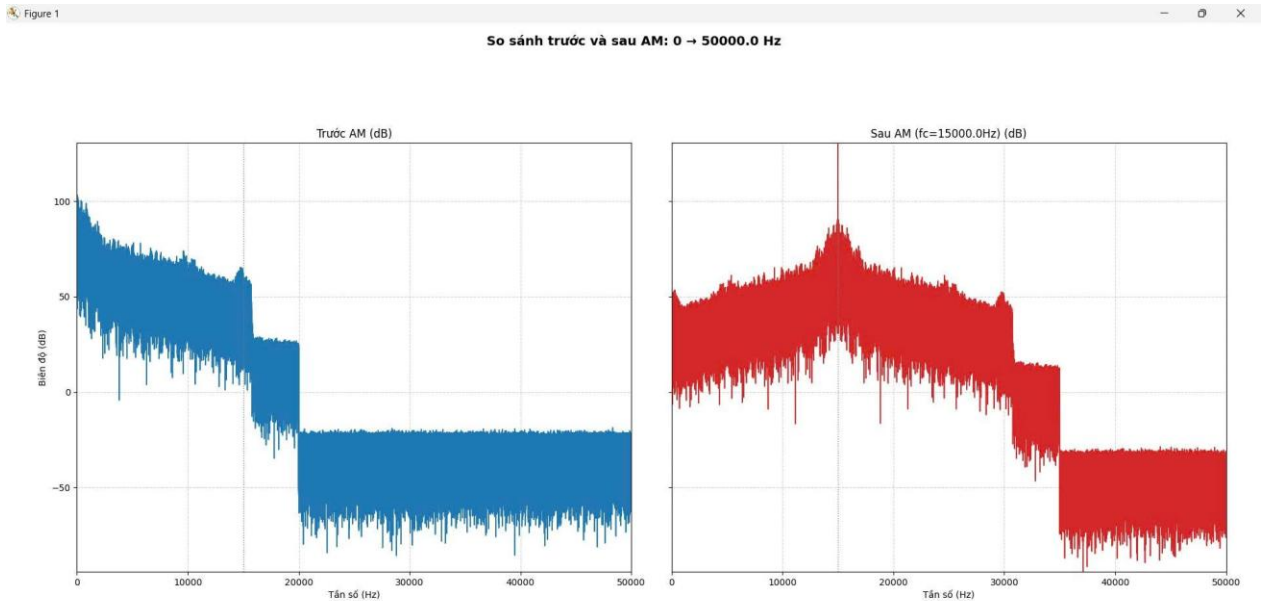


Hình 2.4. Điều chế biên độ tín hiệu 5KHz với hệ số điều chế 0.5



Hình 2.5. Điều chế biên độ tín hiệu 20KHz với hệ số điều chế 0.5

Khi tăng hệ số điều chế từ 0.5 lên 0.8, ta thấy dạng phổ tần số của tín hiệu sau điều chế không thay đổi nhưng giá trị biên độ tăng lên.

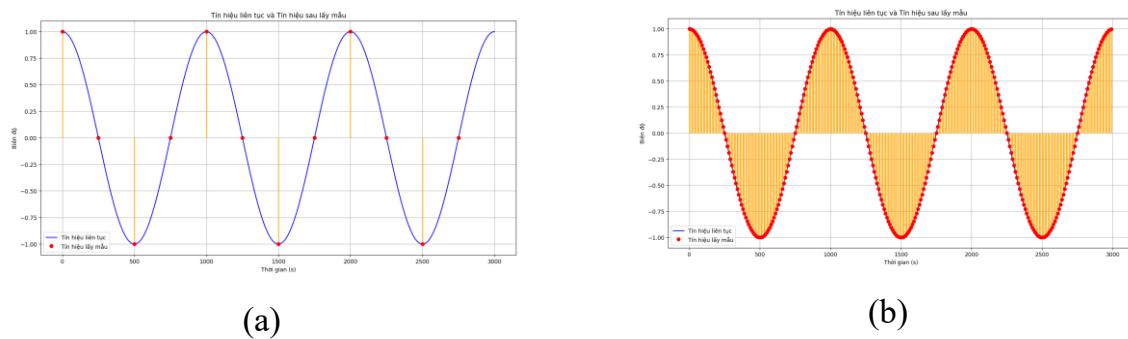


Hình 2.6. Điều chế biên độ tín hiệu 20KHz với hệ số điều chế 0.8

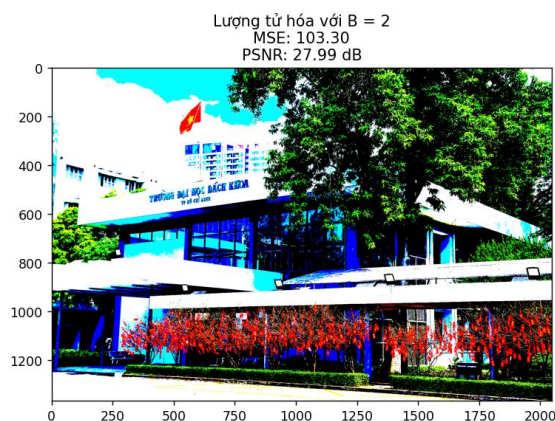
4. Chương trình lấy mẫu và lượng tử

Trước khi sử dụng phân tích tín hiệu âm thanh ngẫu nhiên và thực tế. Đây là kết quả áp dụng lấy mẫu và thực tế những tín hiệu biết trước.

Với tín hiệu đầu vào tần số 1Hz và F_s lần lượt là 1Hz và 10Hz ta có được kết quả như sau.



Hình 2.7. Tín hiệu lấy mẫu (a) Vi phạm (b) Thoả định lý lấy mẫu



(a)



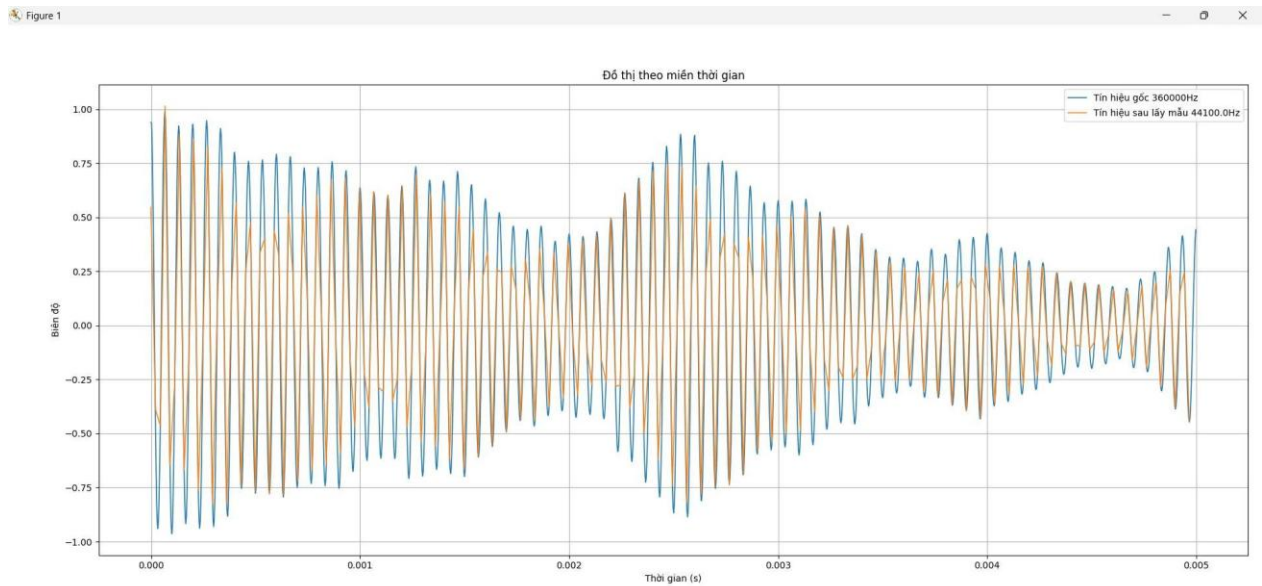
(b)

Hình 2.8. Tín hiệu lượng tử (a) 2 bits (b) 16 bits

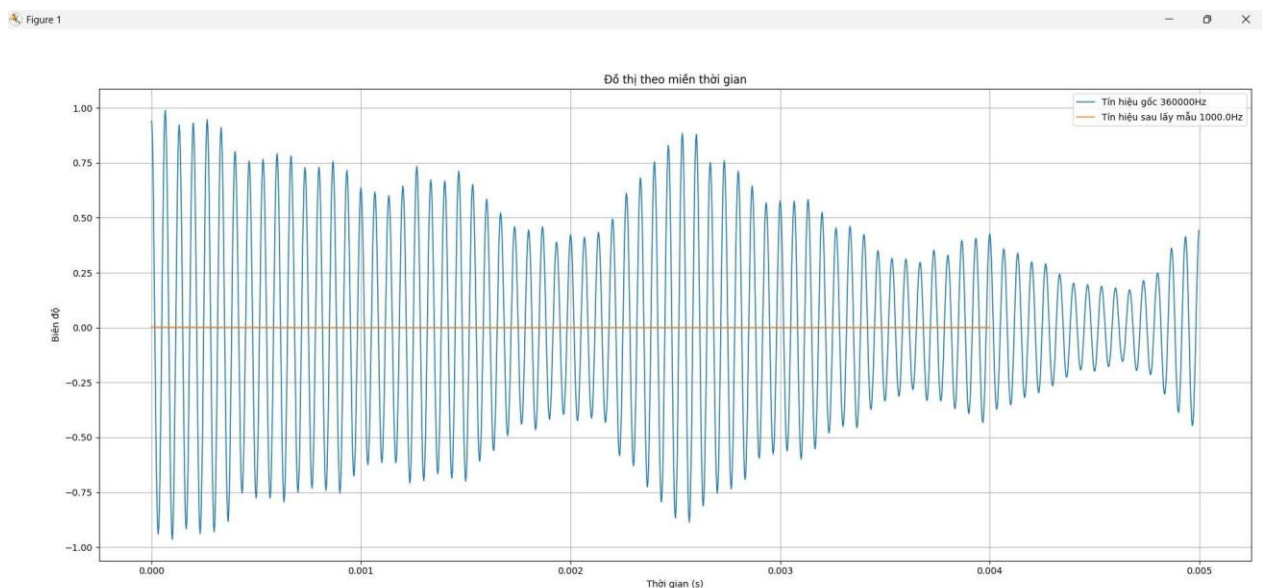
Để đảm bảo truyền đại tín hiệu ta cần chuyển tín hiệu sang miền rời rạc bằng việc lấy mẫu. Tần số lấy mẫu ảnh hưởng rất nhiều để việc đảm bảo thu được tín hiệu giống với tín hiệu gốc. Với **Hình 2.9** là kết quả lấy mẫu bằng tần số 44100Hz, ta có thể thấy Fs đảm bảo định lý lấy mẫu giúp có thể khôi phục tín hiệu, tín hiệu sau lấy mẫu có dạng gần giống với tín hiệu trước khi lấy mẫu.

Trong trường hợp lấy mẫu với tần số 1000Hz như **Hình 2.10**, ta có thể thấy tần số lấy mẫu rất thấp so với tín hiệu đầu vào dẫn đến tín hiệu sau lấy mẫu không đảm bảo và không thể khôi phục ở bộ thu.

Sau khi lấy mẫu ta đến quy trình lượng tử, vì bộ nhớ và khả năng truyền đạt của hệ thống không thể chứa vô hạn dữ liệu nên mỗi mẫu cần được lượng tử sao cho vừa đảm bảo bộ nhớ vừa đủ vừa có khả năng phân biệt giữa các mức tín hiệu khi khôi phục.

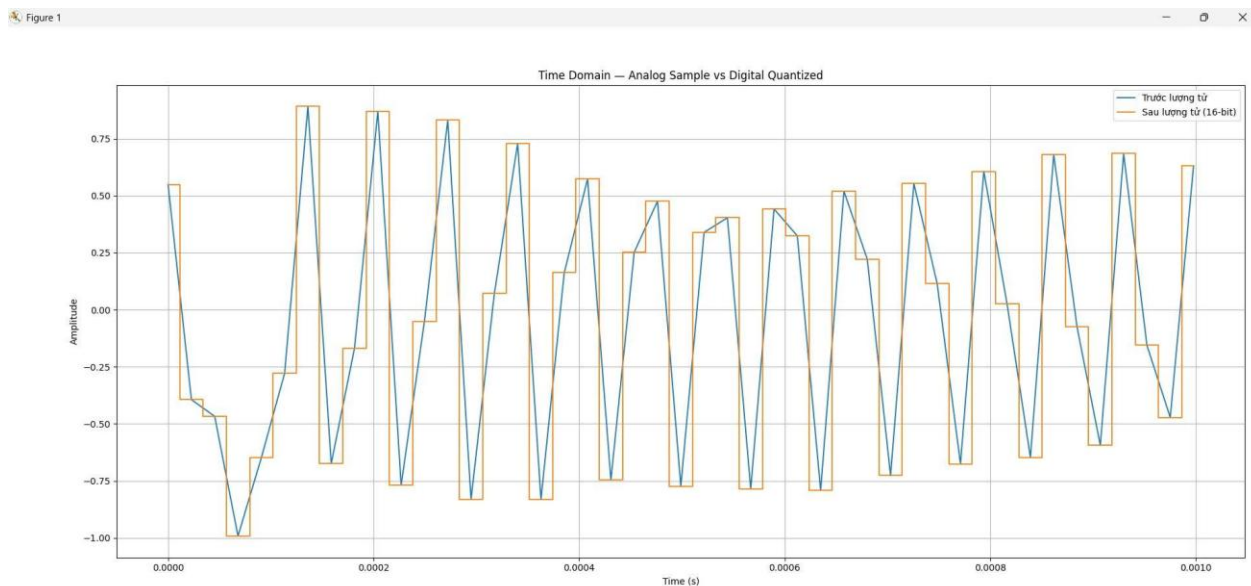


Hình 2.9. Tín hiệu sau lấy mẫu $F_s = 44100\text{Hz}$

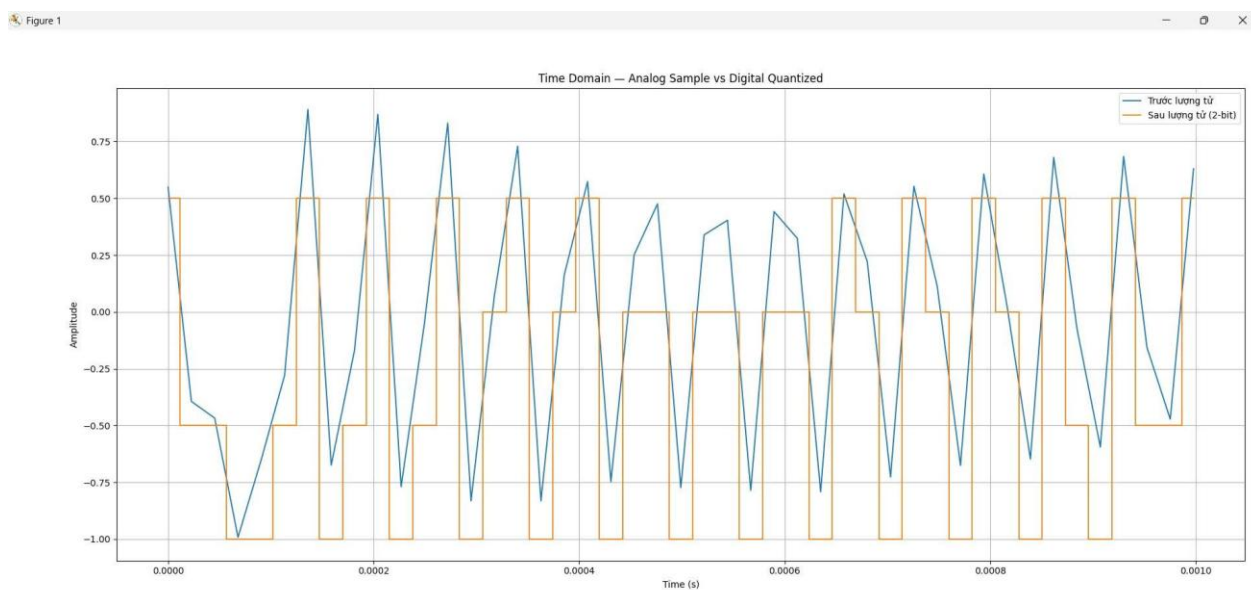


Hình 2.10. Tín hiệu sau lấy mẫu $F_s = 1000\text{Hz}$

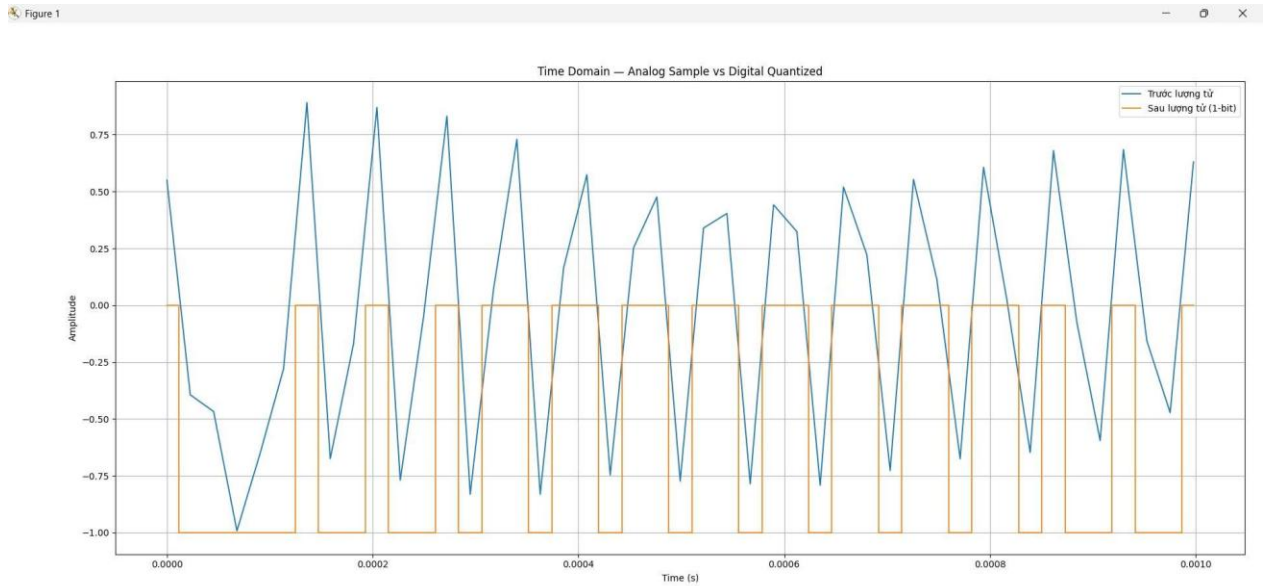
Tín hiệu khi được lấy mẫu 16 bits cho thấy độ bám theo tín hiệu lấy mẫu ổn được thể hiện rõ ở **Hình 2.11**. Khi giảm số bit lượng tử về 2 hay 1 như **Hình 2.12** và **Hình 2.13**. Ta thấy tín hiệu chỉ được lượng tử với số mức rất ít dẫn đến khó phân biệt các mức tín hiệu khác nhau khiến chất lượng âm thanh bị giảm và nghe âm thanh bị đều đều.



Hình 2.11. Tín hiệu sau lượng tử 16 bits



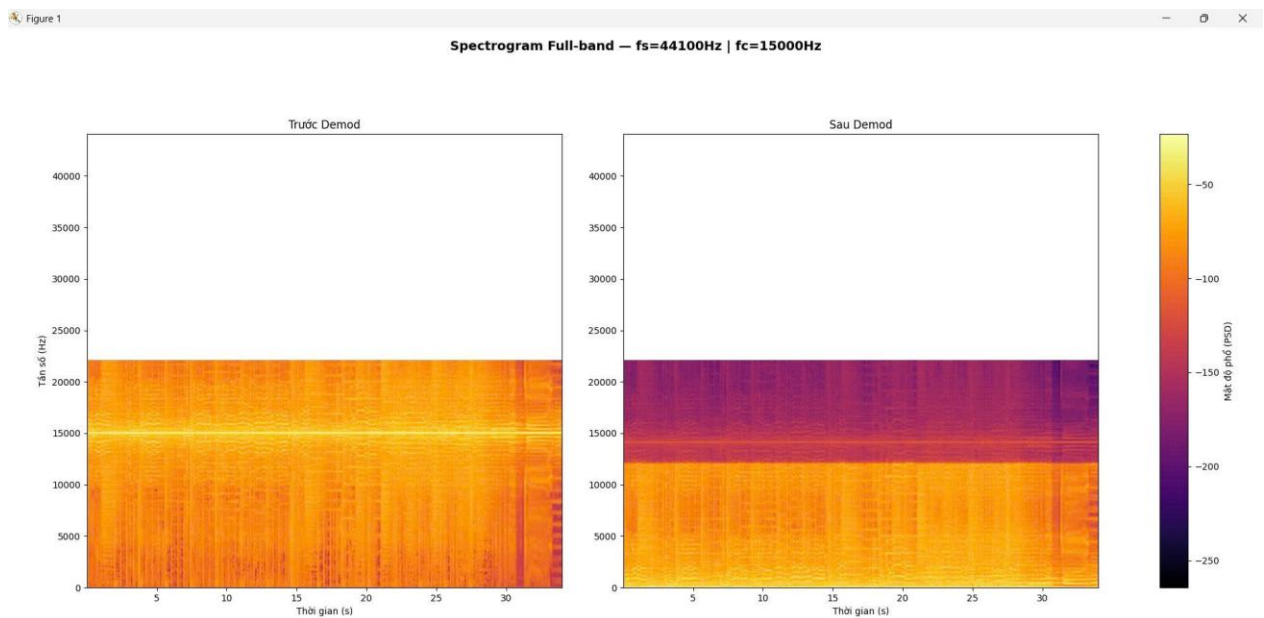
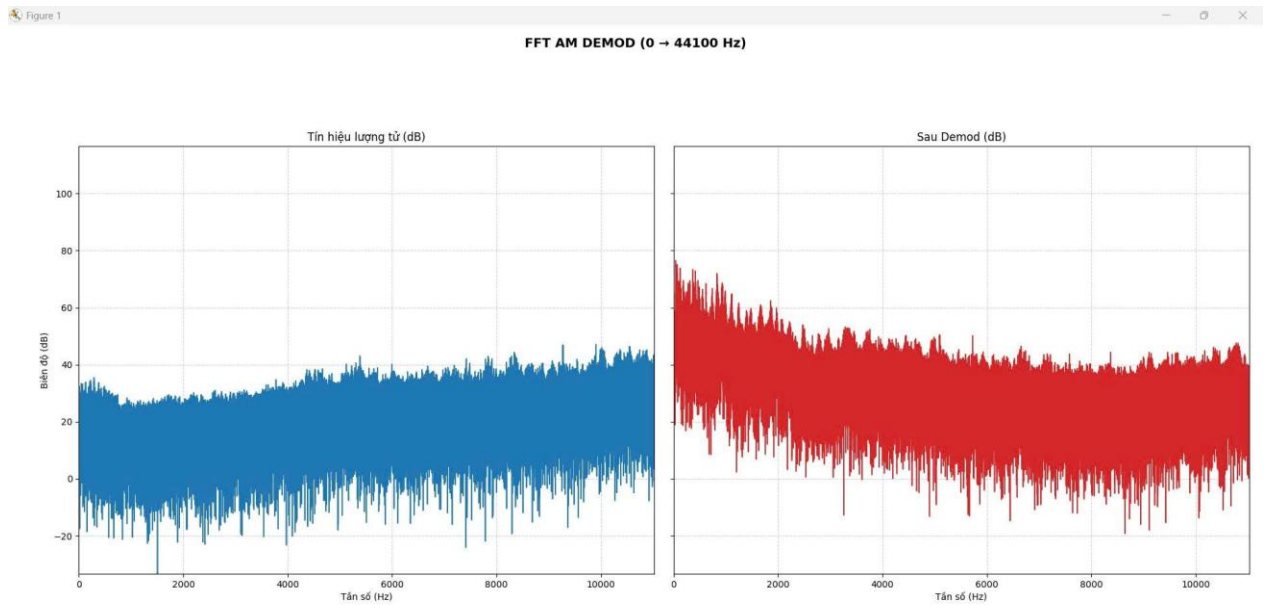
Hình 2.12. Tín hiệu sau lượng tử 2 bits



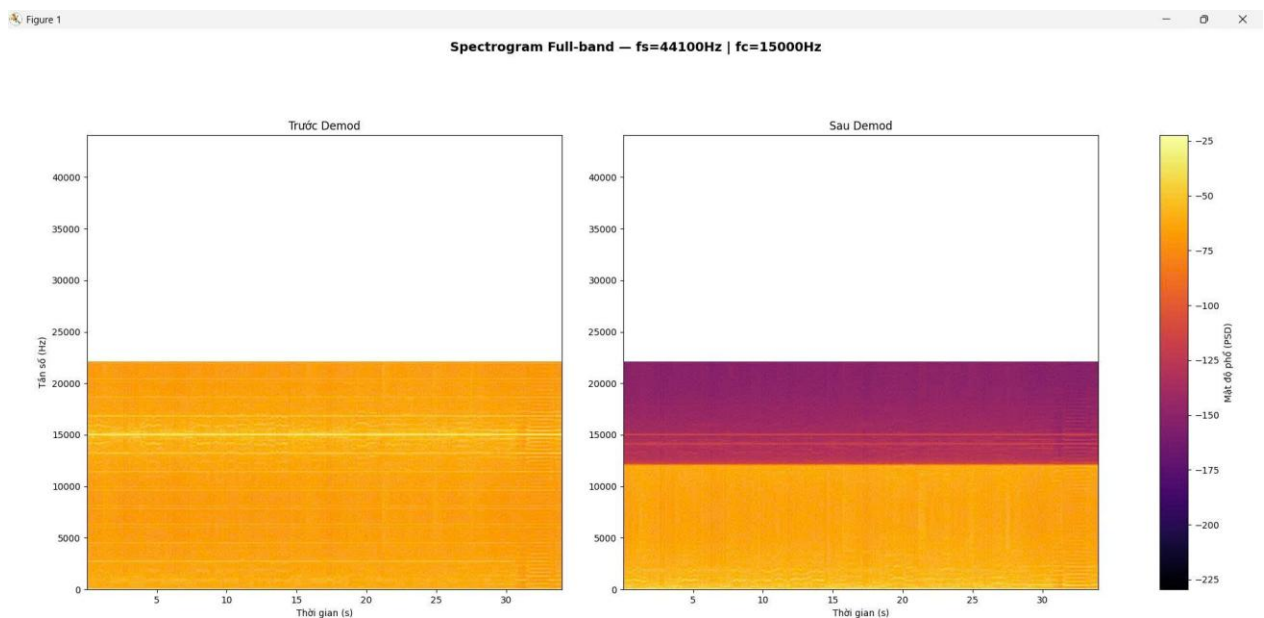
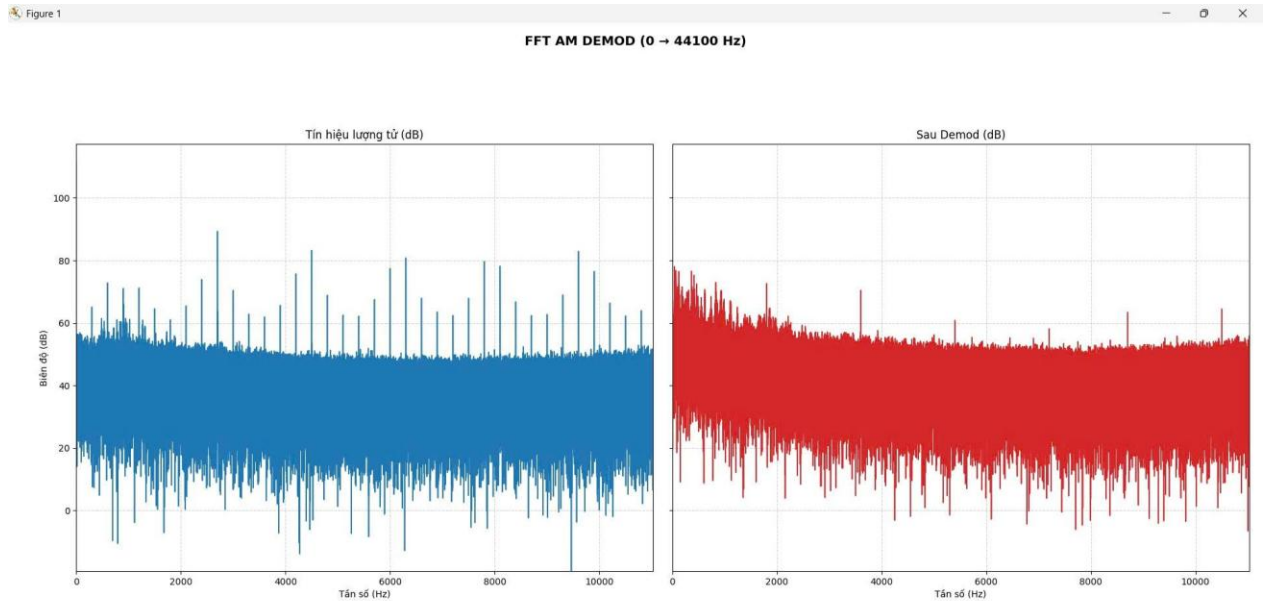
Hình 2.13. Tín hiệu sau lượng tử 1 bit

5. Chương trình giải điều chế và khôi phục

Sau khi lượng tử thì bộ phát sẽ truyền thông tin để bộ thu tiếp nhận và xử lý. Đầu tiên, tín hiệu được đưa sang bộ giải điều chế để đưa về vùng tần số ban đầu. Ngoài ra, bộ giải điều chế còn giúp đưa lại biên độ tín hiệu gốc. Sau đó, tín hiệu qua bộ lọc để khôi phục, loại bỏ các thành phần hài tần số cao và nhiễu trên đường truyền giữa bộ phát và thu. Với **Hình 2.14**, tín hiệu điều chế và lượng tử 16 bits cho kết quả giải điều chế ổn định hơn tín hiệu lượng tử 4 bits ở **Hình 2.15**. Với số bit lượng tử ít hơn ta có thể thấy việc trùng lặp nhiều mức tín hiệu dẫn đến có những thành phần tần số được đẩy lên biên độ cao hơn hẳn so với các thành phần tần số khác.



Hình 2.14. Tín hiệu sau lượng tử 16 bits sau khi giải điều chế và khôi phục



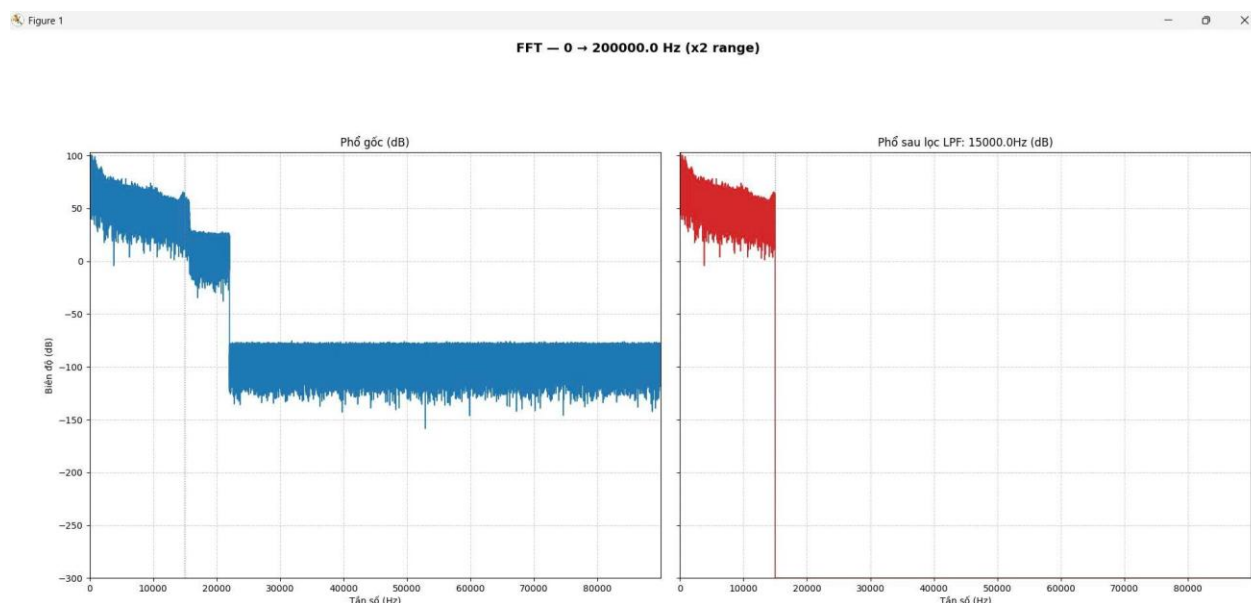
Hình 2.15. Tín hiệu sau lượng tử 4 bits sau khi giải điều chế và khôi phục

6. Quy trình truyền nhận tín hiệu mong muốn

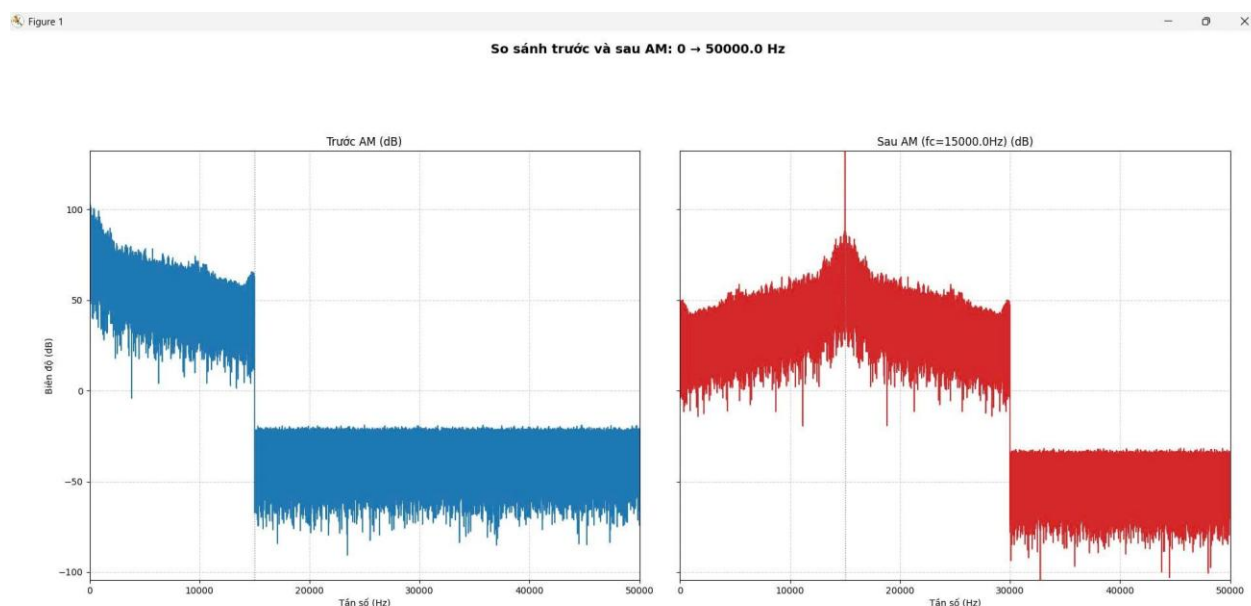
Với mỗi khâu sẽ có nhiều điều kiện và trường hợp đặc biệt ta cần lưu ý do đó nhóm có một quy trình để đảm bảo tín hiệu đầu thu khớp nhất với tín hiệu đầu vào.

Ở bước FFT và khử nhiễu ta có thể chọn tần số cắt 15KHz vì đa phần tần số nghe được con người chỉ rơi vào khoảng thấp hơn 15KHz, những thành phần cao hơn 15KHz

cho ra tiếng rất rè và không thể nghe rõ. Điều này tạo điều kiện cho việc điều chế AM theo chuẩn quốc tế với tần số sóng mang 15KHz mà không gây ra chồng lấn phổ tần số thấp.

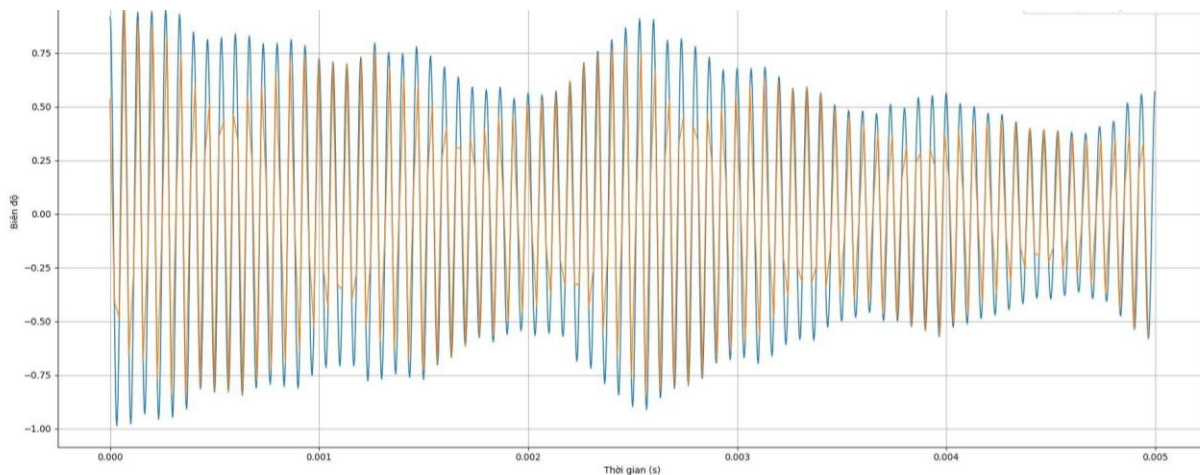


Hình 2.16. Tín hiệu được phân tích FFT và đi qua bộ lọc 15KHz

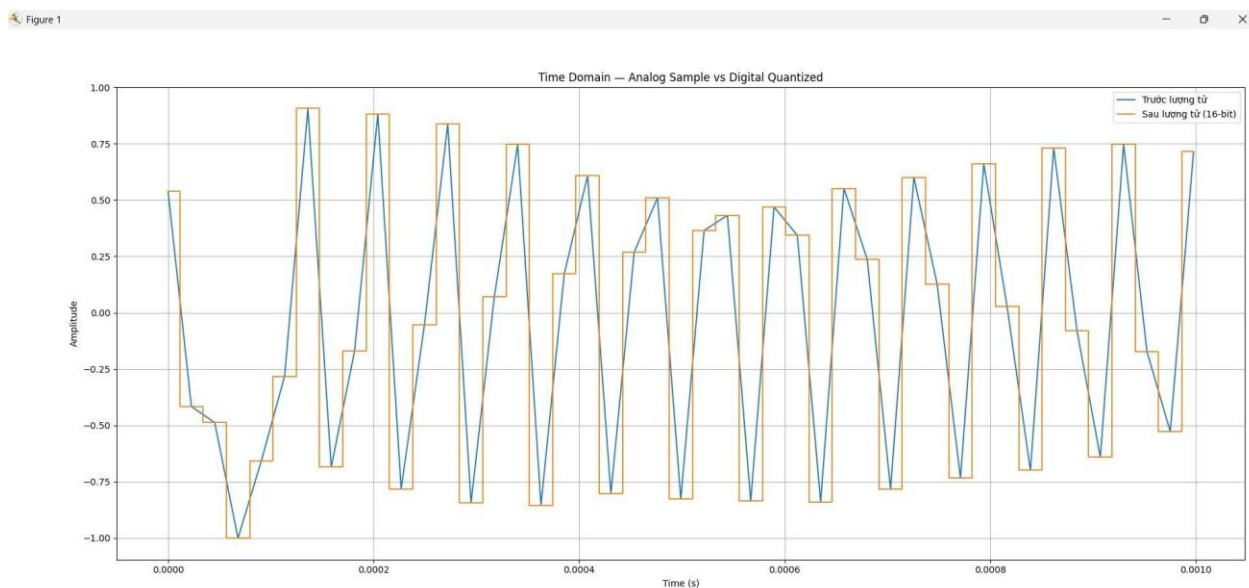


Hình 2.17. Tín hiệu sau điều chế biên độ

Với tín hiệu sau khi điều chế, ta sẽ lấy mẫu với tần số F_s là 60KHz đảm bảo định lý lấy mẫu và khôi phục tín hiệu. Tín hiệu được lượng tử 16 bits, mức tối đa cho phép vừa đảm bảo tín hiệu ra tốt mà không quá chiếm bộ nhớ và khả năng phần cứng cho phép truyền.

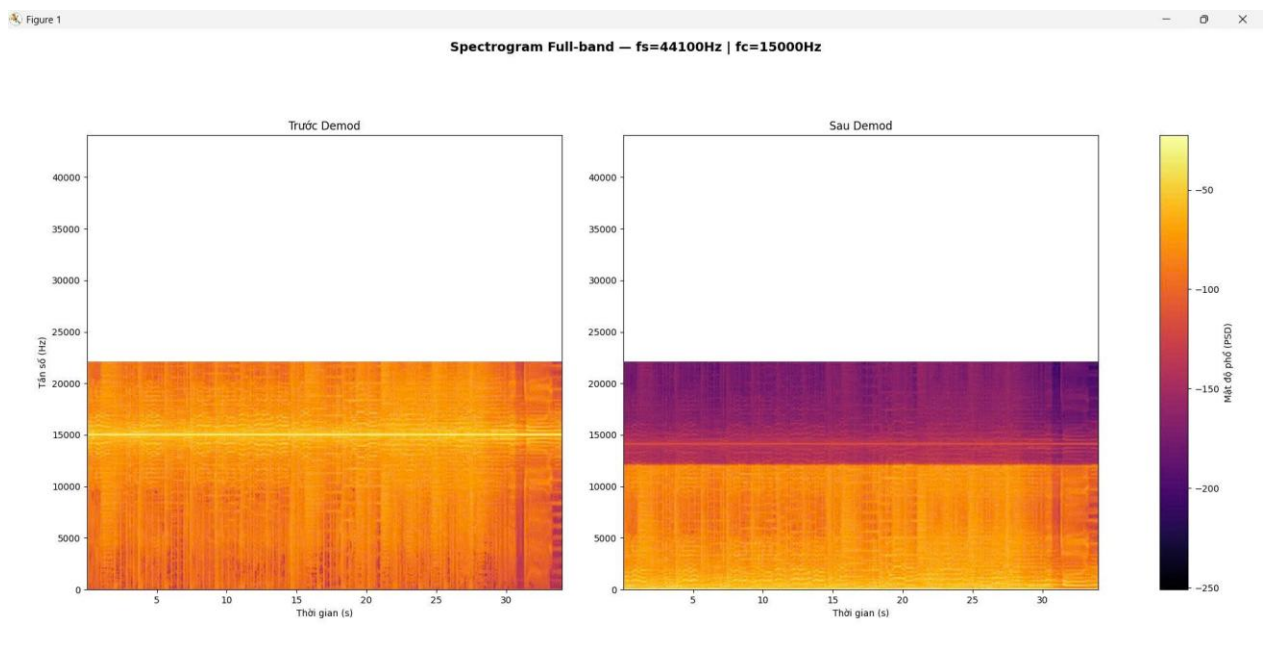
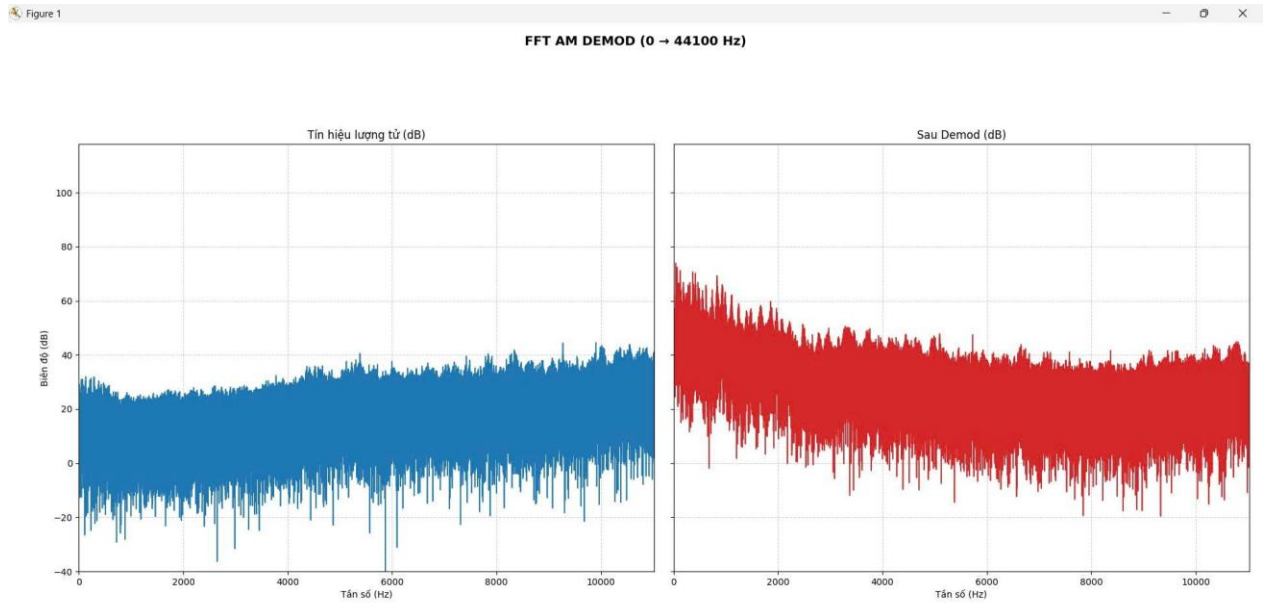


Hình 2.18. Tín hiệu sau lấy mẫu



Hình 2.19. Tín hiệu sau lượng tử

Tín hiệu sau khi lượng tử và đi qua bộ khôi phục sẽ đảm bảo được khả năng giống với tín hiệu đầu vào.



Hình 2.20. Tín hiệu sau lượng tử

Sau khi phát thử tín hiệu ở bộ phát và bộ thu đảm bảo phần trăm giống nhau lớn.

Tổng hợp code: <https://github.com/thien292005/XLSTH251>

CHƯƠNG 3. KẾT LUẬN VÀ ĐÁNH GIÁ

1. Kết luận

Qua quá trình xây dựng và mô phỏng, nhóm đã hoàn thiện hệ thống truyền nhận tín hiệu âm thanh gồm các khối: FFT, lọc nhiễu, điều chế AM, lấy mẫu, lượng tử, giải điều chế và khôi phục. Các bước xử lý được triển khai đúng lý thuyết và hoạt động ổn định trong mô phỏng.

Kết quả cho thấy FFT và lọc thông thấp loại bỏ hiệu quả nhiễu cao tần, đảm bảo phổ tín hiệu sạch trước khi điều chế. Khối điều chế AM với sóng mang 15 kHz tạo phổ điều chế rõ ràng, đúng theo biến thiên tín hiệu gốc. Lấy mẫu 60 kHz và lượng tử 16 bits cho chất lượng tái tạo tốt, trong khi giải điều chế và lọc khôi phục tái tạo tín hiệu gần giống ban đầu.

Tổng thể, mô hình cho kết quả chính xác, độ sai lệch nhỏ và phản ánh đúng các đặc trưng lý thuyết của hệ thống truyền dẫn âm thanh, khẳng định tính đúng đắn và khả năng áp dụng của phương pháp mô phỏng.

2. Nhận xét

Hệ thống mô phỏng được xây dựng đầy đủ và theo đúng trình tự xử lý tín hiệu số, từ lọc nhiễu, điều chế, lấy mẫu, lượng tử đến tái tạo, qua đó thể hiện rõ vai trò của từng khối trong DSP. Các kết quả mô phỏng trực quan cho phép quan sát rõ ảnh hưởng của tần số lấy mẫu, số bit lượng tử, méo lượng tử và nhiễu tại từng giai đoạn của hệ thống.

Tuy nhiên, mô hình vẫn còn một số hạn chế: chỉ xét dạng nhiễu đơn giản, bộ lọc tái tạo lý tưởng và chưa áp dụng các chỉ số đánh giá định lượng như SNR, SQNR hay MSE, dẫn đến việc đánh giá hiệu suất vẫn mang tính định tính.

Trong hướng phát triển, đề tài sẽ tập trung tối ưu thiết kế bộ lọc, bổ sung mô hình nhiễu thực tế, thử nghiệm các kỹ thuật lượng tử nâng cao (companding), và tích hợp các chỉ số đánh giá định lượng (SNR, SQNR, MSE). Bên cạnh đó, việc xây dựng giao diện mô phỏng trực quan (GUI) cho phép điều chỉnh tham số theo thời gian thực sẽ giúp hệ thống hoàn thiện hơn và tiệm cận ứng dụng thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Emiel Por, Maaïke van Kooten & Vanja Sarkovic, “Nyquist–Shannon sampling theorem”, pp. 1–3, May, 2019.
- [2]. J. G. Proakis and D. G. Manolakis, Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications, 4th ed. Pearson Education, 2007.
- [3]. Monolithic Power Systems, Fundamental Concepts: Sampling, Quantization, and Encoding
- [4]. Nguyễn Quốc Trung, Xử lý Tín hiệu Số. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2016.
- [5]. Nguyễn Văn Đức, Kỹ thuật Thông tin Tín hiệu, NXB Bách Khoa Hà Nội.
- [6]. Trần Công Hùng, Lý thuyết Lấy mẫu và Khôi phục Tín hiệu, ĐH Bách Khoa TP.HCM, 2018.