

Lab 4-5: Modulation

Mô phỏng các phương pháp điều chế tín hiệu

Sinh viên thực hiện: Hoàng Nhật Minh - 21020696

Giảng viên hướng dẫn: Nguyễn Hồng Thịnh

Mã lớp học phần: ELT2031E 21

ABSTRACT: Mục đích của bài thực hành:

- Tìm hiểu về các phương pháp điều chế và giải điều chế tín hiệu như BPSK, QPSK và QAM.
- Xây dựng mô hình truyền phát tín hiệu khi sử dụng các phương pháp điều chế.
- Thay đổi tham số, so sánh đánh giá các phương pháp điều chế tín hiệu khác nhau.

KEYWORDS: BPSK, QPSK and QAM.

1 Pre-lab

1.1 Reading

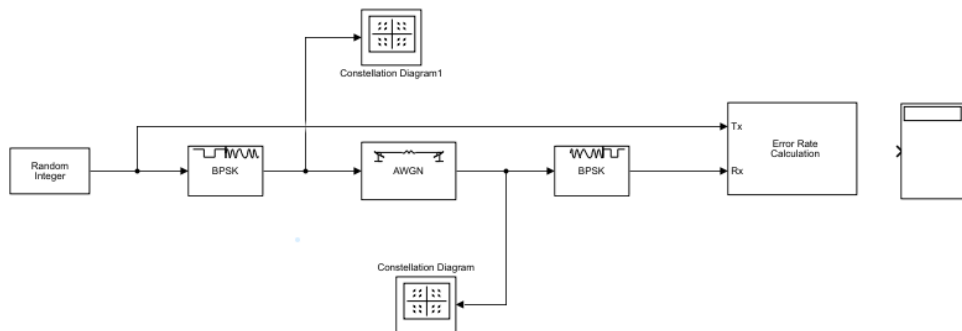
Tìm hiểu trước các tài liệu sau trước khi làm thực hành:

- Transmission signal qua Gaussian channel.
- Đọc trước các phương pháp modulation/demodulation: BPSK, QPSK và QAM.
- Tìm hiểu các tham số đánh giá chất lượng của một hệ truyền thông.
- Sự khác nhau giữa các phương pháp, ưu nhược điểm của mỗi loại.

2 Lab

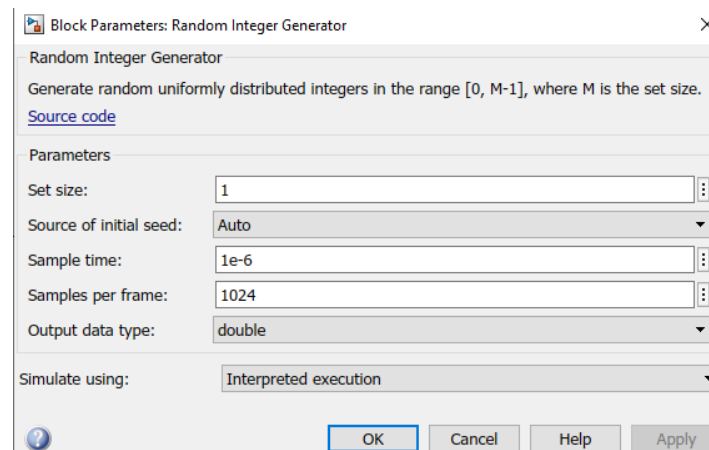
2.1 BPSK

2.1.1 Xây dựng mô hình Simulink

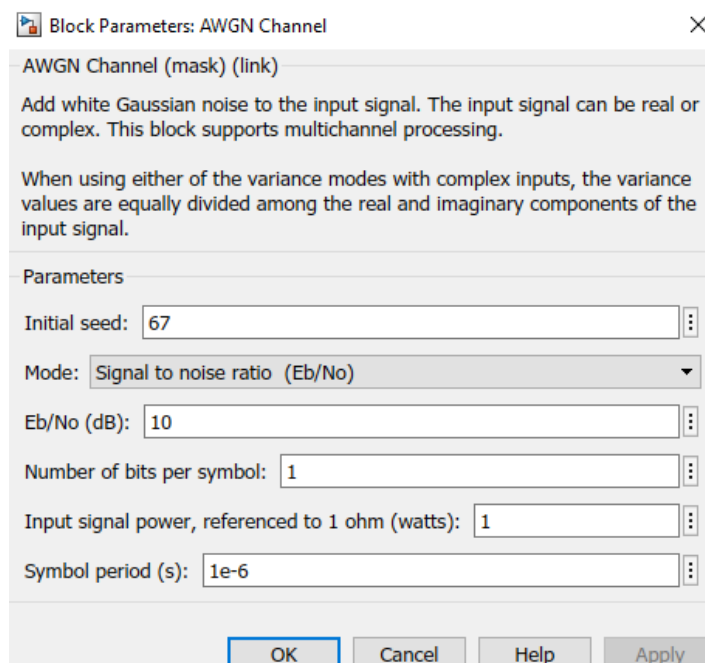


Hình 1: Sơ đồ Simulink mô tả sử dụng BPSK

2.1.2 Điều chỉnh kích thước cài đặt giá trị phù hợp cho Random Integer Generator (input của BPSK modulator nên là 0 hoặc 1). Điều chỉnh Sample Time trong Random Integer Generator và tham số Symbol period trong AWGN thành $1e-6$. Điều chỉnh Sample per frame trong Random Integer Generator thành 1024

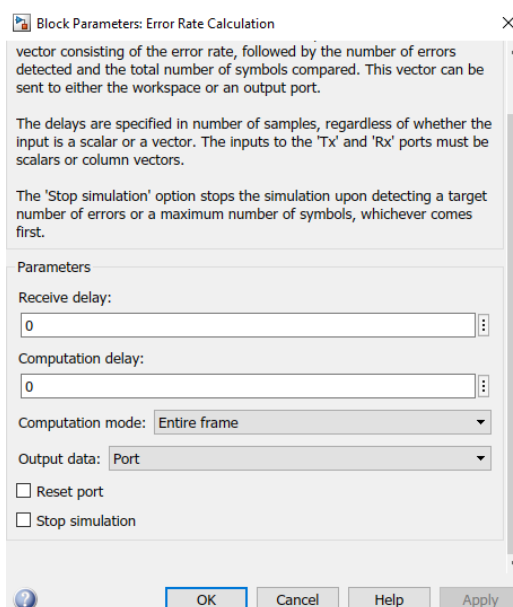


Hình 2: Điều chỉnh size, sample time và samples per frame trong RIG



Hình 3: Điều chỉnh symbol period trong AWGN

2.1.3 Với khối Error Rate Calculation, điều chỉnh Output data field thành "port" để có thể kết nối với khối Display



Hình 4: Điều chỉnh Output data field "port" của Error Rate Calculation

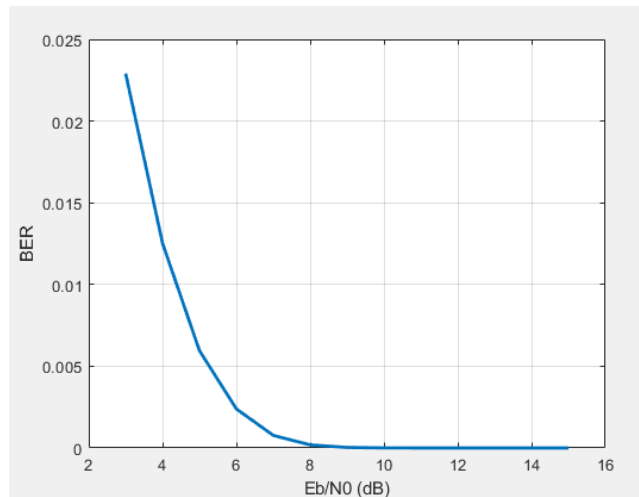
- 2.1.4** Khối Display sẽ biểu diễn 3 giá trị: Đầu tiên là BER, tiếp theo là số bit bị lỗi, cuối cùng là tổng số bit nhận được
- 2.1.5** Điều chỉnh simulation time thành 10 giây
- 2.1.6** Thay đổi giá trị của Eb/N0 trong AWGN, bắt đầu từ giá trị 3, tăng thêm 1 mỗi bước, kết thúc tại giá trị 15, và quan sát error rate hiển thị ở khối Display. Tạo bảng lưu lại các giá trị Eb/N0 và BER tương ứng

Bảng 1: Kết quả giá trị Eb/N0 và BER trong AWGN của BPSK

Eb/N0	Bit Error Rate (BER)
3dB	0.02291
4dB	0.01252
5dB	0.005954
6dB	0.00239
7dB	0.0007685
8dB	0.0001884
9dB	3.28e-05
10dB	4.6e-06
11dB	5e-07
12dB	2e-07
13dB	0
14dB	0
15dB	0

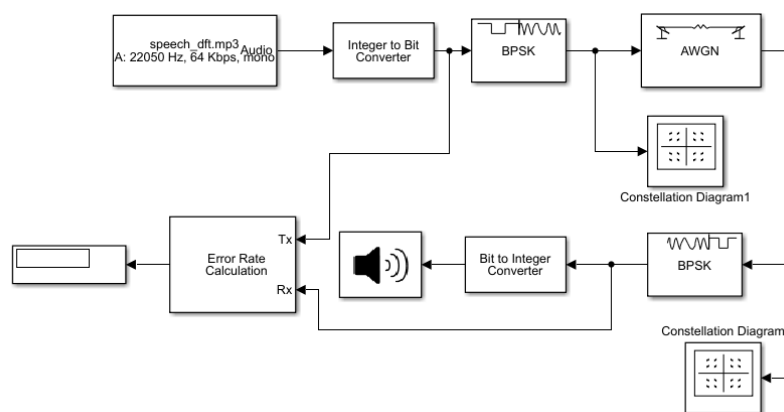
2.1.7 Nhận xét kết quả

- Nhận thấy việc tăng tỉ số Eb/N0 làm giảm tỉ số Bit error rate, điều này về cơ bản đúng với lý thuyết.
- Tuy nhiên vẫn có vài sai số xảy ra, bằng chứng là đồ thị không mịn mà vẫn có chỗ nhấp nhô (vì bước lấy mẫu lớn, nếu lấy mẫu nhỏ hơn thì đường cong sẽ mịn hơn).



Hình 5: Đồ thị của BER theo E_b/N_0

2.2 Truyền tệp nhạc bằng BPSK



Hình 6: Sơ đồ Simulink mô tả truyền tín hiệu âm thanh khi sử dụng BPSK

- 2.2.1 Trong khối From Multimedia File, chọn tệp nhạc sẽ sử dụng và đặt tham số Samples per audio channel thành 1024, và kiểm tra Inherit sample time trong file box. Mở audio file trong command window, tìm time duration T và đặt Simulation Time thành T giây
- 2.2.2 Trong 2 khối Integer to Bit Converter và Bit to Integer Converter, đặt tham số Number of bits per integer thành 16, và Output data type lần lượt thành double và int16
- 2.2.3 Thay đổi giá trị của SNR trong AWGN và xem error rate được hiển thị trong khối Display

```
>> info = audioread("acoustic.wav")

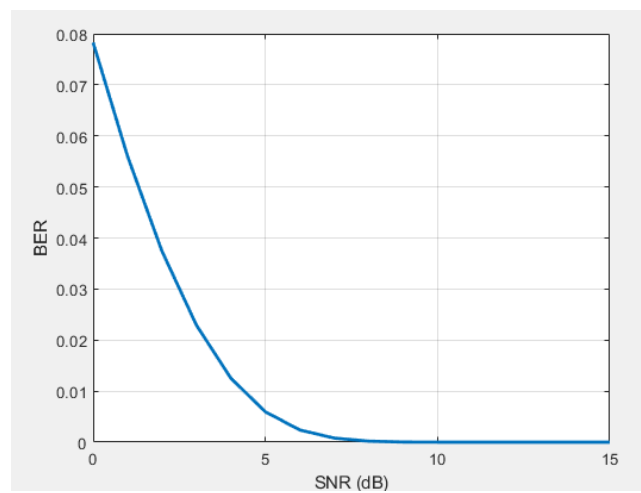
info =

    struct with fields:

        Filename: 'C:\Users\PC\Documents\MATLAB\acoustic.wav'
        CompressionMethod: 'Uncompressed'
        NumChannels: 1
        SampleRate: 11025
        TotalSamples: 148799
        Duration: 13.4965
        Title: []
        Comment: []
        Artist: []
        BitsPerSample: 16
```

Hình 7: Thông tin của file nhạc

2.2.4 Tạo bảng ghi lại giá trị của SNR và Bit Error Rate (BER) tương ứng (ghi lại ít nhất 10 giá trị để có thể có hình vẽ đẹp)



Hình 8: Đồ thị của BER theo SNR

Bảng 2: Kết quả giá trị SNR và BER của acoustic.wav trong AWGN của BPSK

SNR	Bit Error Rate (BER)
0dB	0.0783
1dB	0.0560
2dB	0.0374
3dB	0.02291
4dB	0.0124
5dB	0.005954
6dB	0.00239
7dB	0.0008
8dB	0.0002
9dB	3.28e-05
10dB	4.6e-06
11dB	5e-07
12dB	2e-07
13dB	0
14dB	0
15dB	0

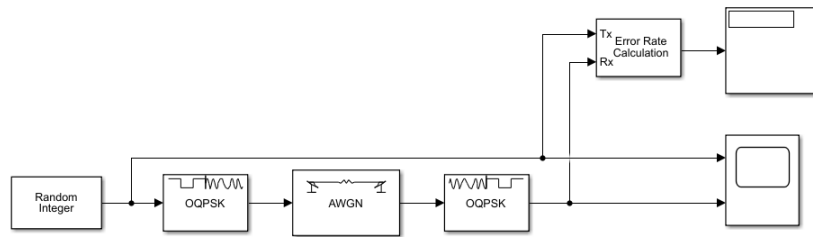
2.2.5 Nhận xét về chất lượng nhạc khi thay đổi giá trị SNR. Vẽ BER với SNR và nhận xét về hình vẽ

Khi giảm tăng dần SNR lên, chất lượng file nhạc được cải thiện dần theo. Cụ thể SNR = 0, nhiễu rất nhiều và giảm đến 7 thì chỉ còn 1 chút nhiễu và từ 8 trở đi gần như không còn nghe tiếng rè rè nữa (nhiều 0). Hình dạng đồ thị mô phỏng trùng khớp với lý thuyết

- Khi giảm tăng dần SNR lên, chất lượng file nhạc được cải thiện dần theo. Khi SNR = 0, hiện tượng nhiễu rất nhiều và có xu hướng giảm dần, khi SNR đến 7 thì chỉ còn 1 chút nhiễu và SNR từ 8 trở đi thì gần như không còn nghe tiếng rè nhiễu (nhiều gần như bằng 0).
- Hình dạng đồ thị mô phỏng trùng khớp với giá trị lý thuyết.

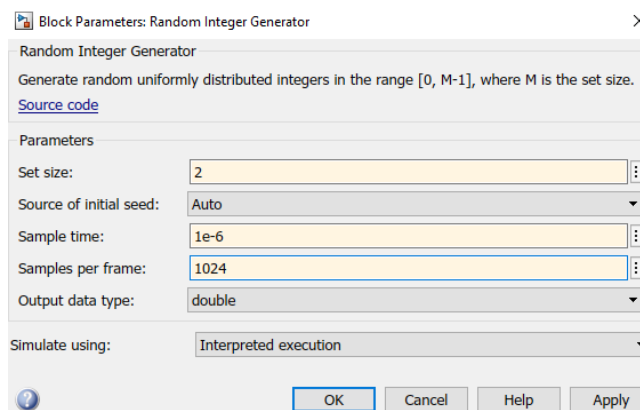
2.3 Mô phỏng QPSK tiêu chuẩn

2.3.1 Xây dựng mô hình Simulink



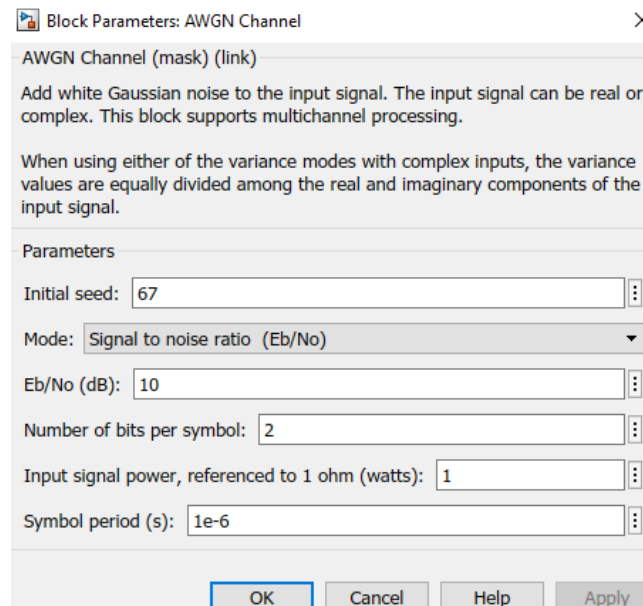
Hình 9: Sơ đồ simulink khi sử dụng QPSK

2.3.2 Trong Random Integer Generator, thay đổi set size thành 1 giá trị phù hợp (input của QPSK modulator nên là 0, 1, 2 hoặc 3). Đặt Sample Time thành 1e-6 và Samples per frame thành 1024



Hình 10: Điều chỉnh size, sample time và samples per frame trong RIG

2.3.3 Trong AWGN, đặt Symbol period thành $1e-6$ và Number of bits per symbol thành 2 (vì QPSK sử dụng 2 bits mỗi symbol)



Hình 11: Điều chỉnh Symbol period, Number of bits per symbol trong AWGN

2.3.4 Với Error Rate Calculation, đặt Output data field thành "port" để có thể kết nối với khối Display

2.3.5 Khối Display sẽ biểu diễn 3 giá trị: Đầu tiên là BER, tiếp theo là số bit bị lỗi, cuối cùng là tổng số bit nhận được

2.3.6 Điều chỉnh simulation time thành 10 giây

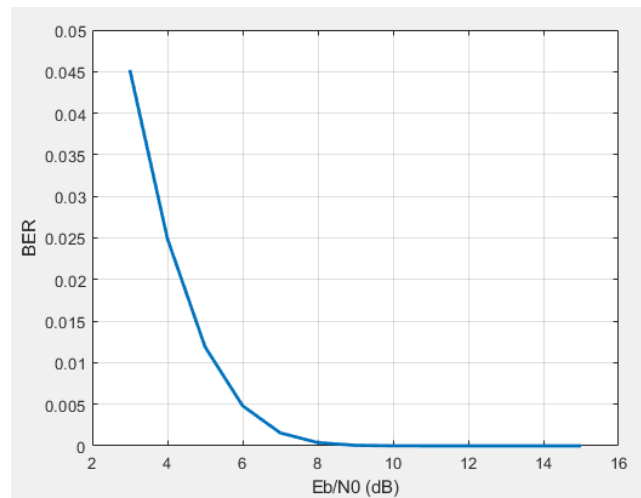
2.3.7 Ở trong QPSK Modulator và Demodulator, đặt Constellation ordering thành Gray. Ghi lại các điểm Constellation

2.3.8 Thay đổi giá trị E_b/N_0 trong AWGN, bắt đầu từ giá trị 3, tăng thêm 1 mỗi bước, kết thúc tại giá trị 15, và quan sát error rate hiển thị ở khối Display. Tạo bảng lưu lại các giá trị E_b/N_0 và BER tương ứng

Bảng 3: Kết quả giá trị E_b/N_0 và BER trong AWGN của QPSK

E_b/N_0	Bit Error Rate (BER)
3dB	0.04521
4dB	0.02491
5dB	0.01191
6dB	0.004816
7dB	0.00156
8dB	0.0003888
9dB	6.63e-05
10dB	9.3e-06
11dB	7e-07
12dB	2e-07
13dB	0
14dB	0
15dB	0

2.3.9 Vẽ BER với E_b/N_0 và so sánh với giá trị lý thuyết. Nhận xét về kết quả



Hình 12: Đồ thị của BER theo E_b/N_0 của QPSK

Nhận xét:

- Dạng đồ thị mô phỏng tương đồng với lý thuyết.
- Từ đồ thị ta nhìn thấy khi tăng tỉ số E_b/N_0 thì chỉ số BER giảm. Từ giá trị $E_b/N_0 = 8$ trở đi thì BER $\rightarrow 0$.

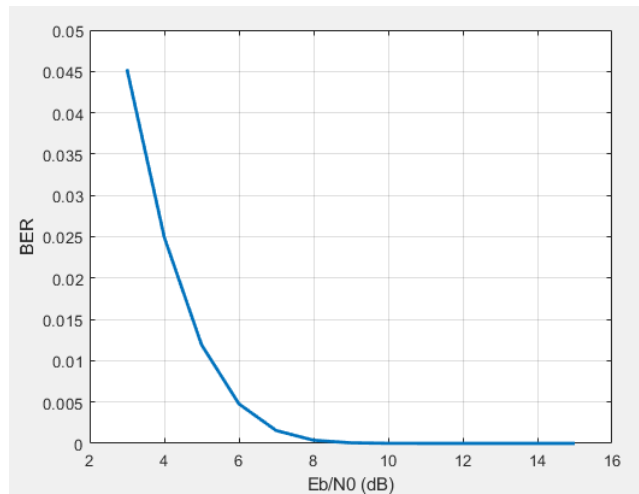
2.3.10 Lặp lại cho Binary Constellation ordering trong QPSK modulator và demodulator và nhận xét kết quả

Bảng 4: Kết quả giá trị E_b/N_0 và BER trong AWGN của QPSK

E_b/N_0	Bit Error Rate (BER)
3dB	0.04528
4dB	0.02494
5dB	0.01192
6dB	0.004783
7dB	0.001552
8dB	0.0003818
9dB	6.84e-05
10dB	1.04e-05
11dB	1e-06
12dB	1e-07
13dB	0
14dB	0
15dB	0

Nhận xét:

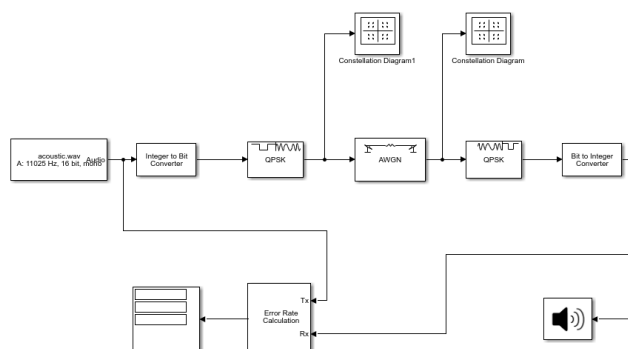
- 2 đồ thị cho ra kết quả khá tương đồng nhau.
- Tuy nhiên ta vẫn cần hiểu sự khác nhau giữa binary và gray constellation: Việc sử dụng ánh xạ ký hiệu mã hóa Gray sẽ cải thiện hiệu suất BER vì các điểm Constellation được mã hóa Gray chỉ khác nhau một bit so với mỗi điểm lân cận liền kề. Còn đối với ánh xạ ký hiệu mã nhị phân, một số điểm Constellation liền kề khác nhau hai bit. Ví dụ: các giá trị được mã hóa nhị phân cho 1 (0 0 0 1) và 2 (0 0 1 0) khác nhau bởi hai bit (bit thứ ba và thứ tư).



Hình 13: Đồ thị của BER theo E_b/N_0 của QPSK với Binary Constellation ordering

2.4 Truyền tệp nhạc bằng QPSK

2.4.1 Mô hình sau được sử dụng để mô phỏng việc truyền tệp nhạc bằng điều chế QPSK với kênh AWGN. Có thể quan sát được constellations ở bên phát với thu và Bit Error Rate

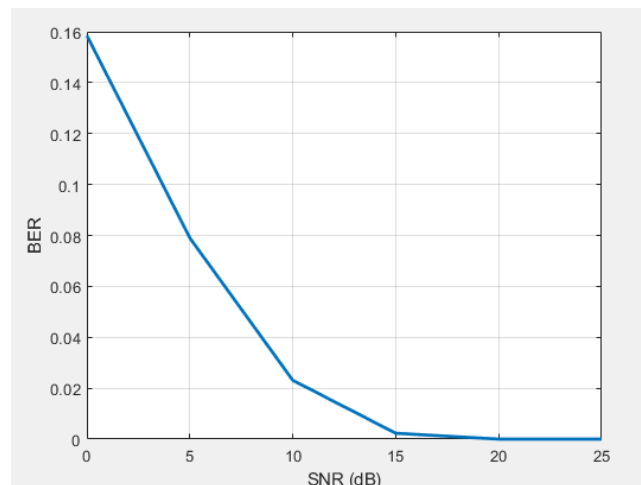


Hình 14: Sơ đồ simulink truyền file nhạc khi sử dụng QPSK

2.4.2 Thay đổi giá trị của SNR trong AWGN và quan sát chất lượng nhạc. Chọn ít nhất 3 giá trị của SNR (cao, trung, thấp) và nhận xét chất lượng nhạc

Bảng 5: Kết quả giá trị SNR và BER trong AWGN của QPSK

SNR	Bit Error Rate (BER)
0dB	0.1585
5dB	0.079
10dB	0.0231
15dB	0.0023
20dB	0
25dB	0



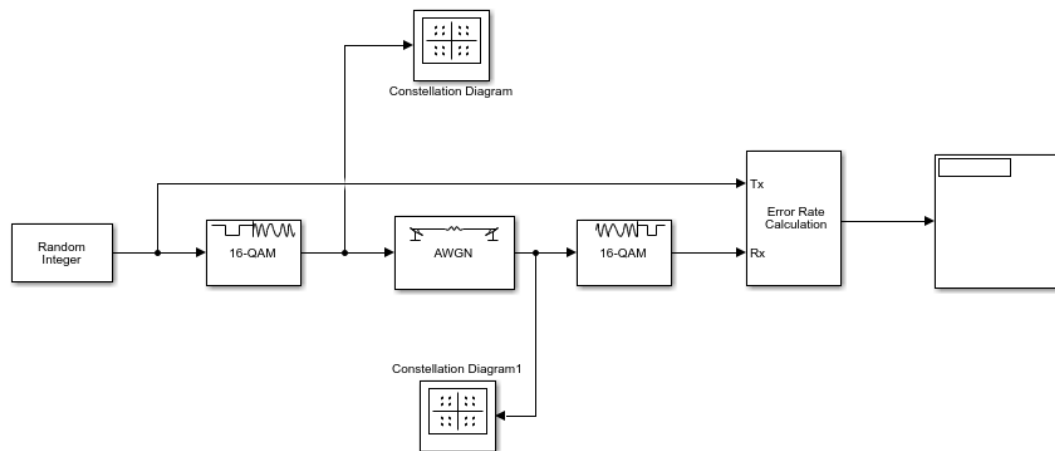
Hình 15: Đồ thị BER theo SNR

Nhận xét:

- Ta thấy dạng đồ thị mô phỏng tương đồng với lý thuyết.
- Càng tăng chỉ số SNR thì chỉ số BER càng giảm.
- Xét SNR trên đoạn $[0; 15]$ với bước là 3, chọn 3 giá trị (low, mid, high) = (0, 7, 15).
- Khi SNR = 0 thì nhạc khá khó nghe, nhiều nhiễu, SNR = 7 thì nghe được âm thanh tốt hơn nhưng nhiễu vẫn còn, khi SNR = 15 thì nhạc nghe khá mượt, gần như không còn tình trạng nhiễu.

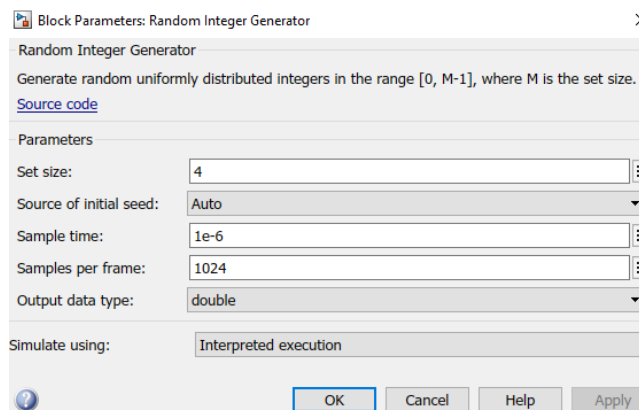
2.5 QAM

2.5.1 Xây dựng mô hình Simulink



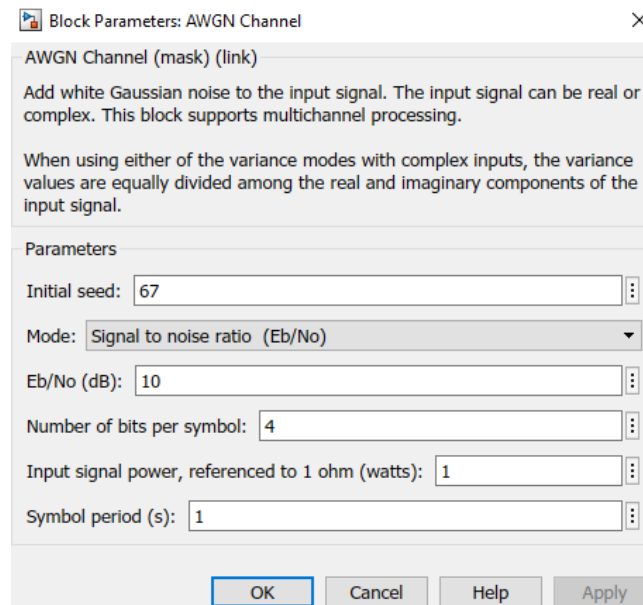
Hình 16: Sơ đồ simulink khi sử dụng QAM

2.5.2 Trong Random Integer Generator, thay đổi set size thành 1 giá trị phù hợp (input của 16 QAM modulator nên là 0, 1, 2, ..., 15). Đặt Sample Time thành 1e-6 và Samples per frame thành 1024



Hình 17: Điều chỉnh size, sample time, samples per frame trong RIG

2.5.3 Trong AWGN, đặt Number of bits per symbol thành 4 (vì 16 QAM sử dụng 4 bits mỗi symbol)



Hình 18: Điều chỉnh Number of bits per symbol trong AWGN

2.5.4 Với Error Rate Calculation, đặt Output data field thành "port" để có thể kết nối với khối Display

2.5.5 Khối Display sẽ biểu diễn 3 giá trị: Đầu tiên là BER, tiếp theo là số bit bị lỗi, cuối cùng là tổng số bit nhận được

2.5.6 Đặt simulation time là 10 giây

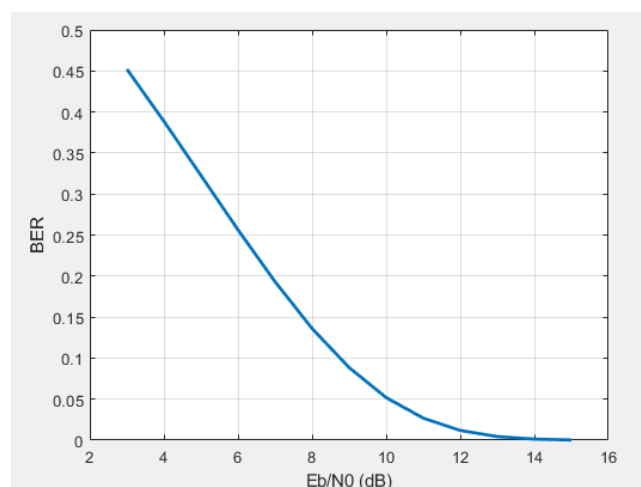
2.5.7 Ở trong QPSK Modulator và Demodulator, đặt Constellation ordering thành Gray, đặt Normalization method thành Peak Power, và đặt giá trị của Peak Power là 1 Watt

2.5.8 Thay đổi giá trị E_b/N_0 trong AWGN, bắt đầu từ giá trị 3, tăng thêm 1 mỗi bước, kết thúc tại giá trị 15, và quan sát error rate hiển thị ở khối Display. Tạo bảng lưu lại các giá trị E_b/N_0 và BER tương ứng

Bảng 6: Kết quả giá trị E_b/N_0 và BER trong AWGN của 16-QAM

E_b/N_0	Bit Error Rate (BER)
3dB	0.4522
4dB	0.3887
5dB	0.3226
6dB	0.2564
7dB	0.1932
8dB	0.1361
9dB	0.0885
10dB	0.0519
11dB	0.0269
12dB	0.0119
13dB	0.0044
14dB	0.0013
15dB	0.0003

2.5.9 Vẽ BER với E_b/N_0 và so sánh với giá trị lý thuyết. Nhận xét về kết quả



Hình 19: Đồ thị BER theo E_b/N_0

Nhận xét:

- Dạng đồ thị mô phỏng tương đồng với lý thuyết.

- Dễ nhận thấy đối với phương pháp 16-QAM, giá trị BER giảm đều và khá chậm khi E_b/N_0 tăng cho nên đồ thị trông khá mịn.
- Tuy nhiên kết quả 16-QAM mang lại là giá trị BER tương đối cao khi $E_b/N_0 < 8$. Mãi đến khi $E_b/N_0 > 14$ thì BER mới 0.
- Do đó đối với 16-QAM phải chọn tỉ lệ E_b/N_0 cao.

2.5.10 Lặp lại với các giá trị khác nhau của Peak Power và vẽ kết quả

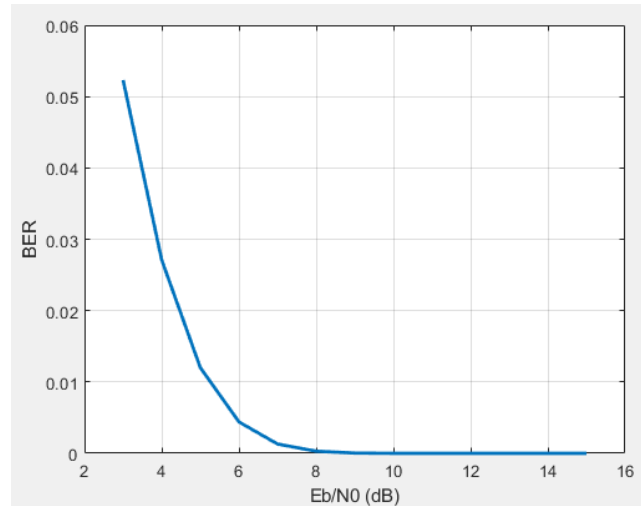
Khi Peak Power = 5:

Bảng 7: Kết quả giá trị E_b/N_0 và BER trong AWGN của 16-QAM

E_b/N_0	Bit Error Rate (BER)
3dB	0.0523
4dB	0.0271
5dB	0.012
6dB	0.0044
7dB	0.0013
8dB	0.0003
9dB	0.00004
10dB	0
11dB	0
12dB	0
13dB	0
14dB	0
15dB	0

Nhận xét:

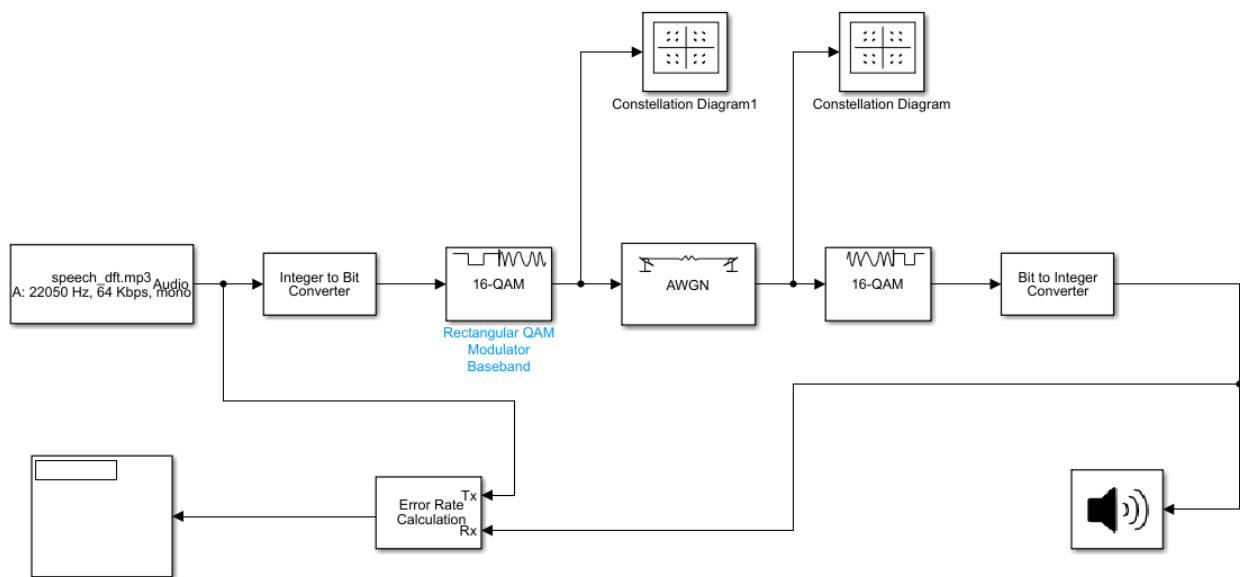
- Tăng Peak power lên đến 5 thấy khi E_b/N_0 thấp, BER nhỏ, tức là cải thiện hơn so với Peak power = 1



Hình 20: Đồ thị BER theo Eb/N0 khi Peak Power = 5

2.6 Truyền tệp nhạc bằng 16 QAM

2.6.1 Mô hình sau được sử dụng để mô phỏng việc truyền tệp nhạc bằng điều chế 16 QAM với kênh AWGN. Có thể quan sát được constellations ở bên phát với thu và Bit Error Rate



Hình 21: Sơ đồ simulink thực hiện truyền file âm nhạc với QAM

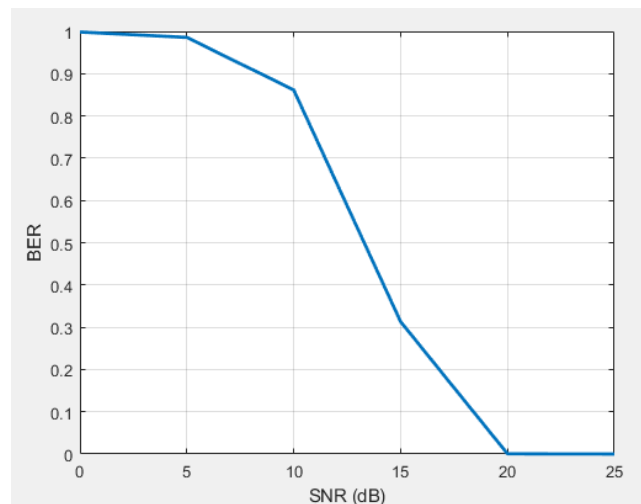
2.6.2 Trong 2 khối Integer to Bit Converter và Bit to Integer Converter, đặt Number of bits per integer thành 16 (điều này liên quan đến tệp nhạc chứ không phải sơ đồ điều chế)

2.6.3 Ở trong Modulator và Demodulator, đặt Constellation ordering thành Gray, đặt Normalization method thành Peak Power, và đặt giá trị của Peak Power là 1 Watt

2.6.4 Thay đổi giá trị của SNR trong AWGN và quan sát chất lượng nhạc. Chọn ít nhất 3 giá trị của SNR (cao, trung, thấp) và nhận xét chất lượng nhạc

Bảng 8: Kết quả giá trị SNR và BER trong AWGN của 16-QAM

SNR	Bit Error Rate (BER)
0dB	0.9985
5dB	0.9858
10dB	0.8614
15dB	0.3132
20dB	0.0005
25dB	0



Hình 22: Đồ thị BER theo SNR

Nhận xét:

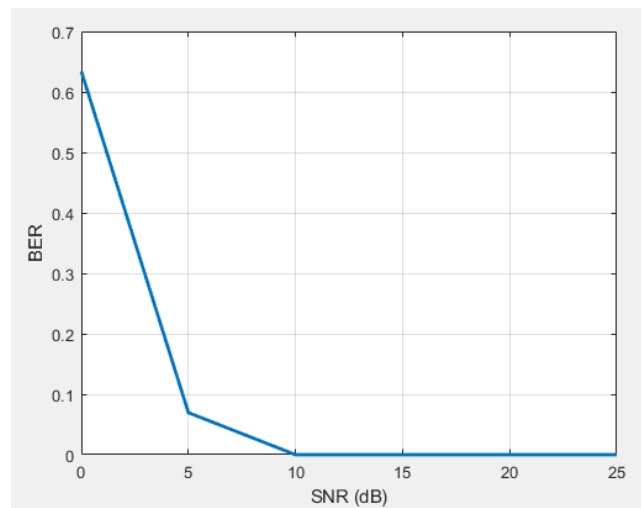
- Dạng đồ thị mô phỏng tương đồng với lý thuyết
- Khi $SNR < 15$, chỉ số BER khá cao, đặc biệt trong đoạn $[0; 5]$ không nghe được tiếng nhạc, chỉ nghe được tiếng rè nhiễu.
- Khi $SNR > 20$, ta thu được chất lượng âm thanh tốt nhất.

2.6.5 Lặp lại cho các normalization methods khác nhau trong khối modulator và demodulator

a. Min

Bảng 9: Kết quả giá trị SNR và BER trong AWGN của 16-QAM

SNR	Bit Error Rate (BER)
0dB	0.6341
5dB	0.0695
10dB	0
15dB	0
20dB	0
25dB	0

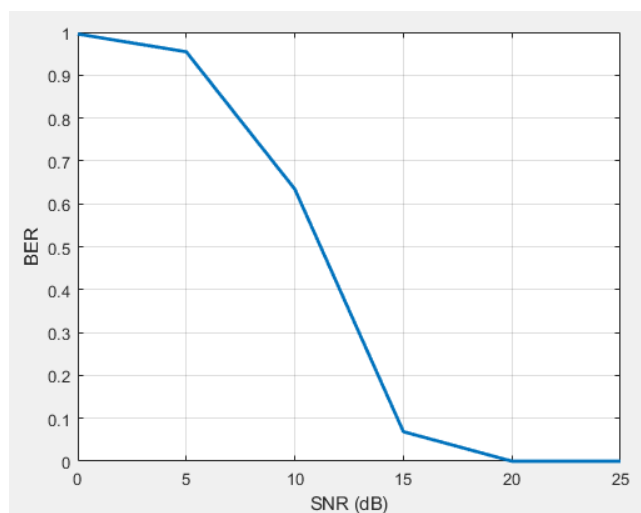


Hình 23: Đồ thị BER theo SNR khi normalization method là Min

b. Average

Bảng 10: Kết quả giá trị SNR và BER trong AWGN của 16-QAM

SNR	Bit Error Rate (BER)
0dB	0.9959
5dB	0.9544
10dB	0.6341
15dB	0.0688
20dB	0
25dB	0



Hình 24: Đồ thị BER theo SNR khi normalization method là Average

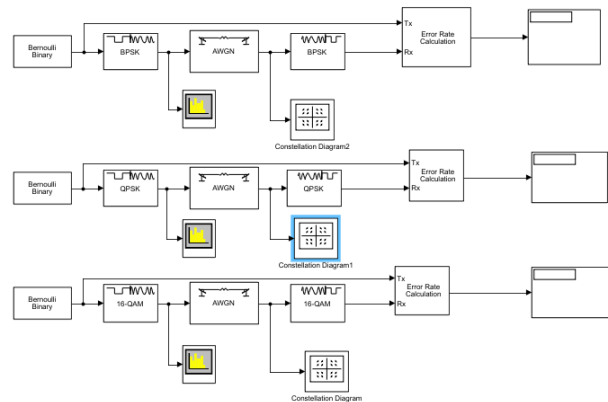
Nhận xét:

Trong 3 phương pháp, normalization method "Min" đạt được kết quả tốt nhất.

2.7 Comparing 16 QAM, QPSK, BPSK

Hiểu về trade-off của việc sử dụng 16 QAM, QPSK, và BPSK

2.7.1 Xây dựng mô hình Simulink



Hình 25: Sơ đồ simulink thực hiện các phương pháp điều chế tín hiệu BPSK, QPSK, QAM

2.7.2 Trong Bernoulli generator cho phần BPSK, đặt Sample time thành $1e-6$ và Samples per frame thành 1024

2.7.3 Trong Bernoulli generator cho phần QPSK, đặt Sample time thành $0.5e-6$ và Samples per frame thành 1024

2.7.4 Trong Bernoulli generator cho phần 16 QAM, đặt Sample time thành $0.25e-6$ và Samples per frame thành 1024

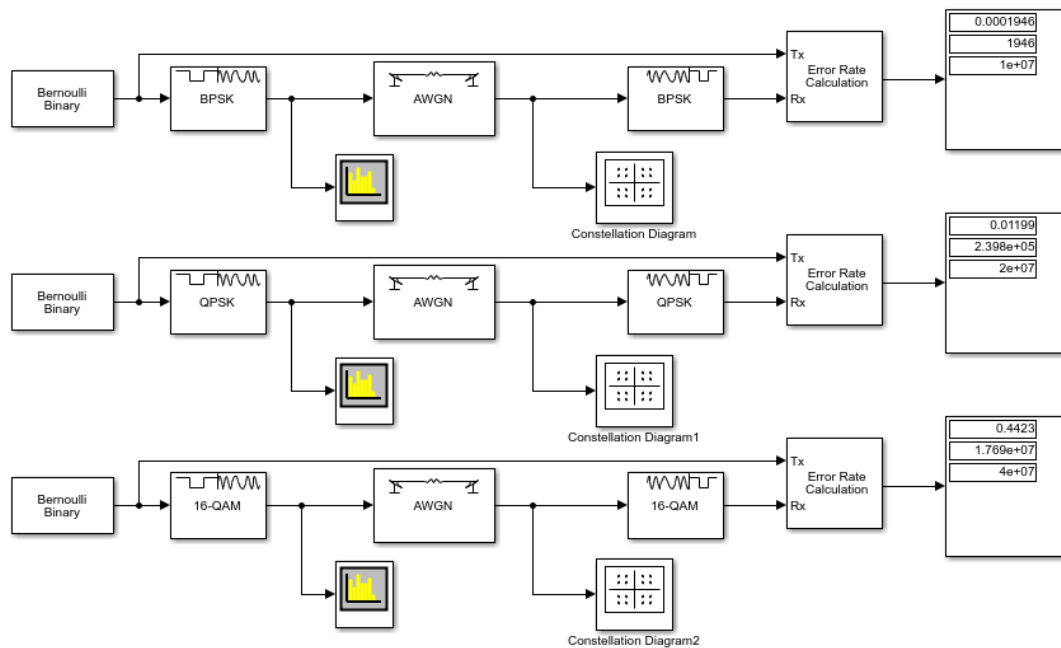
2.7.5 Với 2 khối 16 QAM Modulator và Demodulator, sử dụng Gray Constellation ordering, đặt Normalization method thành Peak Power, và đặt Peak Power là 1 Watt

2.7.6 Chọn giá trị giống nhau của SNR cho các khối AWGN

Chọn SNR = 8

2.7.7 Đặt simulation time là 10 giây

2.7.8 Chạy simulation và quan sát bit error rate và number of transmitted samples từ khối Display cho các sơ đồ, và quan sát bằng thông được sử dụng cho các sơ đồ từ khối spectrum analyzer. Giải thích từ sự quan sát

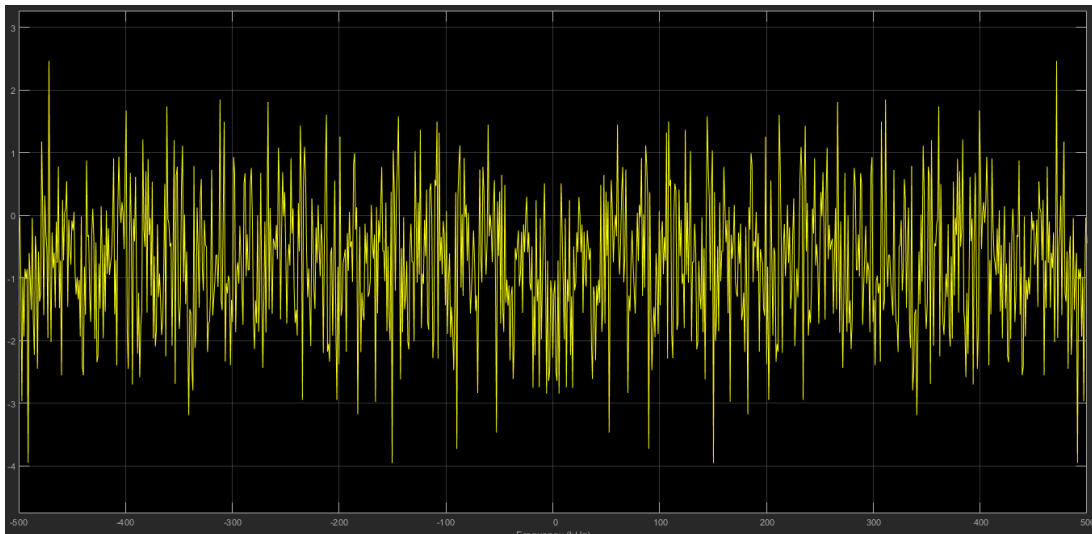


Hình 26: BER của BPSK, QPSK, QAM với SNR = 8

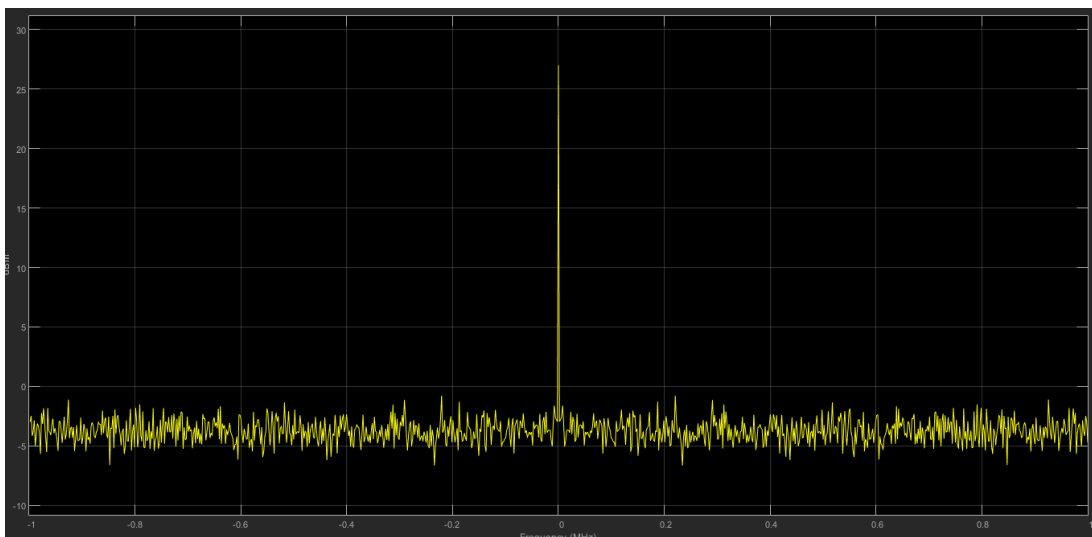
BER của BPSK, QPSK, QAM

- BPSK: 0.0001946
- QPSK: 0.0119
- QAM: 0.4423

Phổ của BPSK, QPSK, QAM:



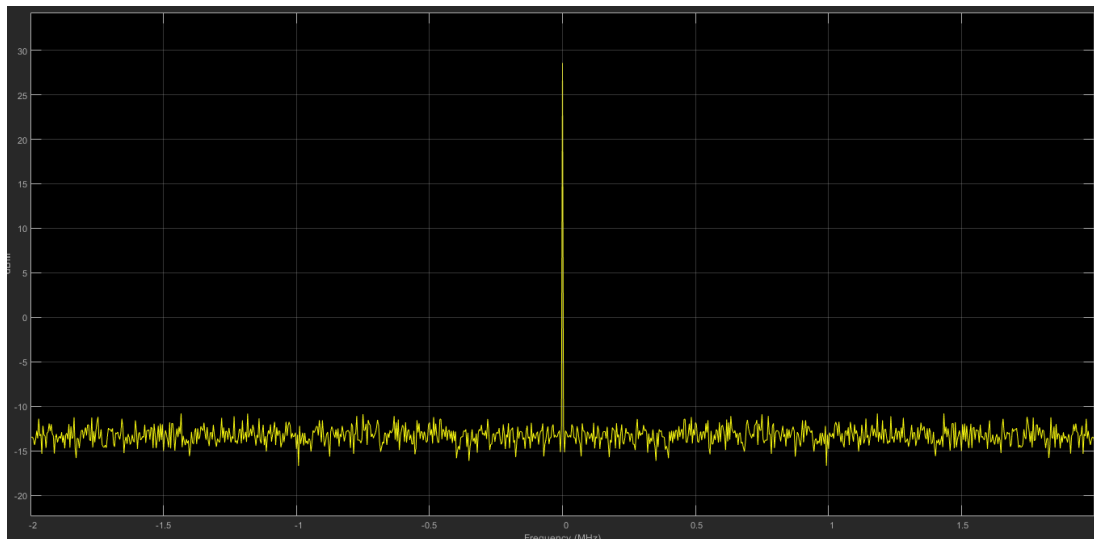
Hình 27: Phổ của BPSK



Hình 28: Phổ của QPSK

Nhận xét:

- BPSK: Băng thông hẹp
- QPSK: Băng thông rộng. Có thể thấy băng thông của QPSK rộng gấp đôi so với phổ băng thông của BPSK. Thêm nữa, độ nhiễu của tín hiệu QPSK cũng nhỏ hơn BPSK.
- 16-QAM: Băng thông rộng. Có thể thấy 16-QAM gần như tương đương với QPSK. Tuy nhiên nếu để ý kĩ, ta thấy số bit được truyền đi gấp đôi nên độ nhiễu của 16 có thể rộng hơn QPSK.



Hình 29: Phổ của QAM

3 Kết luận

Mô phỏng thành công các sơ đồ điều chế số và ảnh hưởng của chúng đến tỷ lệ lỗi bit (BER)

- Mô phỏng thành công các sơ đồ điều chế số.
- ảnh hưởng của các sơ đồ điều chế số đến tỷ lệ lỗi bit (BER).
- So sánh tỉ lệ lỗi bit và phổ của các sơ đồ điều chế BPSK, QPSK và 16-QAM.
- 16-QAM và BPSK cho kết quả chỉ số BER tốt hơn và tính toàn vẹn vùng phủ sóng tốt hơn của tín hiệu khi nó được truyền dọc theo kênh AWGN