

**ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**  
**Trường Công nghệ thông tin và truyền thông**

# **MINIPROJECT**

**Nhập môn Kỹ thuật truyền thông**

**Phạm Duy Tùng**

tung.pd200573@sis.hust.edu.vn

**Lê Đức Minh**

minh.ld200395@sis.hust.edu.vn

**Trương Đăng Biển**

bien.td200063@sis.hust.edu.vn

**Lớp: CTTN Khoa học Máy tính K65**

**Giảng viên hướng dẫn: TS. Trịnh Văn Chiến**

**HÀ NỘI, 06/2022**

## MỤC LỤC

<b>CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU .....</b>	<b>1</b>
1.1 Phát biểu bài toán .....	1
1.2 Bố cục báo cáo .....	1
<b>CHƯƠNG 2. ĐIỀU CHẾ BIÊN ĐỘ</b> <b>(Amplitude Shift Keying modulation - ASK).....</b>	<b>3</b>
2.1 Tổng quan .....	3
2.2 Điều chế tín hiệu bằng ASK .....	3
2.3 Giải điều chế .....	4
2.4 Điều chế, giải điều chế tín hiệu dưới sự ảnh hưởng của nhiễu Gauss .....	4
2.5 Xác suất lỗi bit theo lý thuyết.....	5
<b>CHƯƠNG 3. ĐIỀU CHẾ PHA</b> <b>(Phase Shift Keying modulation - PSK) .....</b>	<b>7</b>
3.1 Tổng quan .....	7
3.2 Điều chế tín hiệu bằng PSK .....	7
3.3 Giải điều chế .....	7
3.4 Điều chế, giải điều chế tín hiệu dưới ảnh hưởng của nhiễu Gauss .....	8
3.5 Xác suất lỗi bit theo lý thuyết.....	9
<b>CHƯƠNG 4. ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ</b> <b>(Frequency Shift Keying modulation - FSK) .....</b>	<b>11</b>
4.1 Tổng quan .....	11
4.2 Điều chế tín hiệu bằng FSK .....	11
4.3 Giải mã tín hiệu.....	12
4.4 Điều chế, giải điều chế tín hiệu dưới ảnh hưởng của nhiễu Gauss .....	12
4.5 Xác suất lỗi bit theo lý thuyết.....	13
<b>CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN .....</b>	<b>15</b>

## DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 2.1	Chuỗi bit dữ liệu được sinh ngẫu nhiên . . . . .	3
Hình 2.2	Sóng mang với ASK . . . . .	3
Hình 2.3	Tín hiệu điều chế . . . . .	4
Hình 2.4	Chuỗi bit giải điều chế . . . . .	4
Hình 2.5	Tín hiệu điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN . . . . .	4
Hình 2.6	Chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN . . . . .	5
Hình 2.7	Vùng voronoi điều chế ASK . . . . .	5
Hình 3.1	Sóng mang với PSK . . . . .	7
Hình 3.2	Điều chế chuỗi bit 1001 với PSK . . . . .	8
Hình 3.3	Chuỗi bit dữ liệu . . . . .	8
Hình 3.4	Tín hiệu điều chế . . . . .	8
Hình 3.5	Chuỗi bit giải điều chế . . . . .	8
Hình 3.6	Tín hiệu điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN . . . . .	9
Hình 3.7	Chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN . . . . .	9
Hình 3.8	Vùng Voronoi điều chế PSK . . . . .	10
Hình 4.1	Sóng mang với FSK . . . . .	11
Hình 4.2	Chuỗi bit 1101 điều chế với FSK . . . . .	11
Hình 4.3	Chuỗi bit dữ liệu . . . . .	12
Hình 4.4	Tín hiệu điều chế . . . . .	12
Hình 4.5	Chuỗi bit giải điều chế . . . . .	12
Hình 4.6	Tín hiệu điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN . . . . .	13
Hình 4.7	Chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN . . . . .	13

# CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU

## 1.1 Phát biểu bài toán

Điều chế và giải điều chế tín hiệu số là một thành phần quan trọng với các hệ thống truyền thông. Một số vấn đề có thể gặp trong khi thực hiện quá trình này có thể kể đến như:

- **Interference:** Trong hệ thống truyền thông, tín hiệu có thể bị can thiệp bởi nhiều yếu tố như nhiễu nhiệt, nhiễu khí quyển hay nhiễu điện từ. Điều này có thể làm cho tín hiệu số bị ảnh hưởng, dẫn đến lỗi trong tín hiệu đã giải mã.
- **Channel Distortion:** Tín hiệu cũng có thể bị ảnh hưởng bởi kênh truyền thông, dẫn đến sự giảm chất lượng tín hiệu. Điều này có thể gây suy giảm tín hiệu, tăng tỷ lệ lỗi bit (BER) và giảm hiệu suất hệ thống.
- **Bandwidth Requirements:** Các phương pháp điều chế tín hiệu số yêu cầu băng thông lớn hơn so với các phương pháp điều chế tín hiệu tương tự. Điều này có thể gây vấn đề đối với các hệ thống có tài nguyên băng thông hạn chế, chẳng hạn như hệ thống truyền thông vệ tinh hoặc hệ thống truyền thông radio tần số thấp.
- **Complexity:** Phương pháp điều chế và giải điều chế số yêu cầu các thuật toán phức tạp và kỹ thuật xử lý tín hiệu để được triển khai trong hệ thống truyền thông. Điều này làm tăng độ phức tạp của hệ thống và gia tăng nguy cơ xảy ra lỗi và hỏng hóc hệ thống.
- **Power Consumption:** Độ phức tạp của các thuật toán điều chế và giải điều chế số làm tăng tiêu thụ năng lượng của hệ thống truyền thông, làm cho việc thiết kế hệ thống truyền thông tiết kiệm năng lượng trở nên khó khăn hơn.

## 1.2 Bố cục báo cáo

Trong báo cáo này, chúng em sẽ thảo luận về ba kỹ thuật điều chế tín hiệu số cơ bản - Điều chế biên độ (ASK), Điều chế pha (PSK) và Điều chế tần số (FSK). Mục đích của báo cáo này là cung cấp một cái nhìn tổng quan về các kỹ thuật điều chế số này và ứng dụng của chúng trong các hệ thống truyền thông hiện đại.

Chương 2: Điều chế biên độ (ASK). Trong chương này, chúng em sẽ thảo luận về kiến thức cơ bản của Điều chế biên độ (ASK), bao gồm cách điều chế và giải điều chế khi có và không có nhiễu. Chúng em cũng nghiên cứu các chỉ số đánh giá hiệu suất trên giải điều chế, ví dụ như tỷ lệ lỗi bit (BER).

Chương 3: Điều chế pha (PSK). Trong chương này, chúng em sẽ thảo luận về

nguyên lý khi thực hiện Điều chế pha (PSK), bao gồm định nghĩa, đặc điểm chính. Chúng em cũng xem xét quá trình giải điều chế PSK dưới tác động của Nhiễu Gaussian (AWGN).

Chương 4: Điều chế tần số (FSK). Trong chương này, chúng em sẽ thảo luận kiến thức cơ bản của Điều chế tần số (FSK), bao gồm định nghĩa, nguyên tắc hoạt động và đặc điểm chính. Chúng em cũng xem xét tác động của nhiễu trong quá trình điều chế FSK.

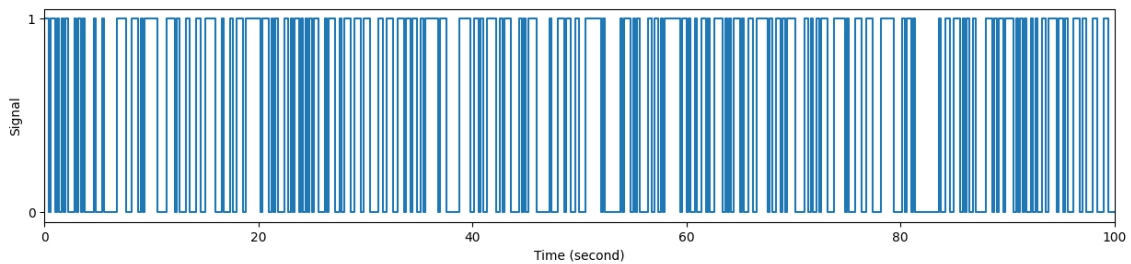
## CHƯƠNG 2. ĐIỀU CHẾ BIÊN ĐỘ (Amplitude Shift Keying modulation - ASK)

### 2.1 Tổng quan

Điều chế biên độ (Amplitude Shift Keying modulation - ASK) là một phương pháp điều chế dựa trên biên độ trong đó thông tin được mã hóa sử dụng sóng mang bằng cách thay đổi biên độ của sóng theo chu kỳ giữa một tập rời rạc các biên độ khác nhau. Dạng đơn giản nhất của ASK là 2-ASK, trong đó mỗi bit được biểu diễn bởi biên độ khác nhau của tín hiệu. Trong miniproject này, nhóm sẽ thực hiện điều chế theo ASK và giải điều chế với một tín hiệu số được sinh ngẫu nhiên, trong trường hợp có và không có nhiễu Gauss trắng cộng tính (AWGN).

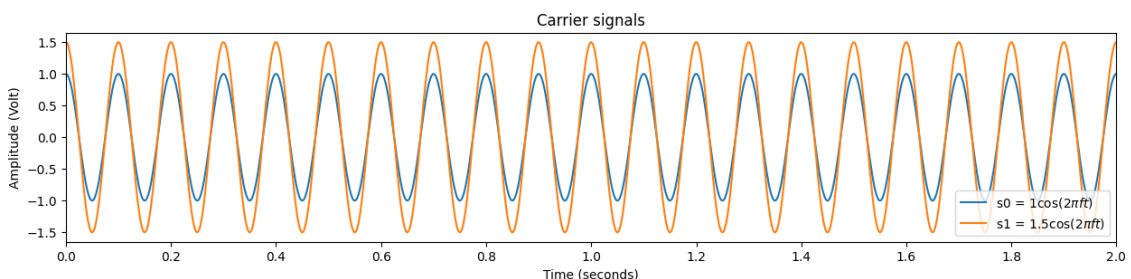
### 2.2 Điều chế tín hiệu bằng ASK

Đầu tiên ta sinh dãy 500 bit ngẫu nhiên cần điều chế, được minh họa trong hình V



**Hình 2.1:** Chuỗi bit dữ liệu được sinh ngẫu nhiên

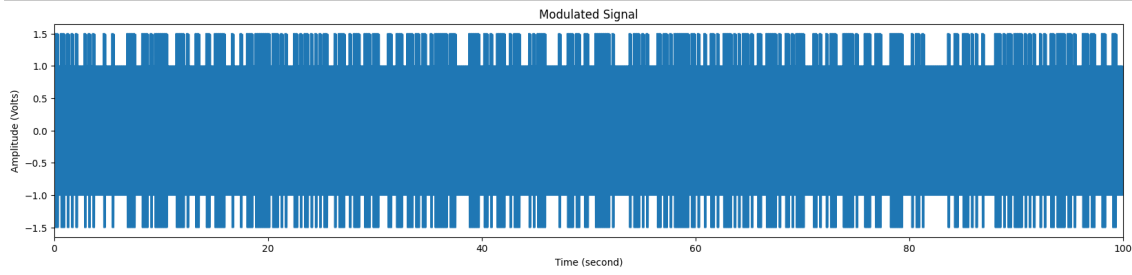
Tiếp theo nhóm lựa chọn sóng mang có dạng hàm cosin:  $s_0(t) = \cos(2\pi f_c t)$  và  $s_1(t) = 3\cos(2\pi f_c t)$ , trong đó  $f_c = 10$  là tần số của sóng mang. Sóng mang được minh họa trong hình 2.2.



**Hình 2.2:** Sóng mang với ASK

Mỗi bit 1 được biểu diễn với sóng  $s_1$  và mỗi bit 0 được biểu diễn bằng  $s_0$ . Kết quả điều chế được minh họa trong hình 2.3.

## CHƯƠNG 2. ĐIỀU CHẾ BIÊN ĐỘ (AMPLITUDE SHIFT KEYING MODULATION - ASK)



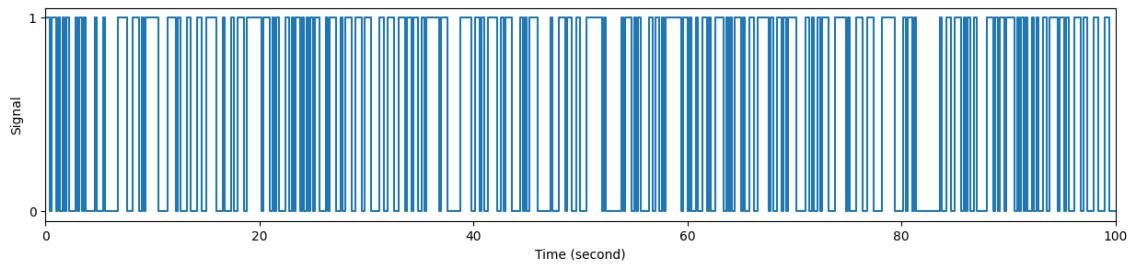
**Hình 2.3:** Tín hiệu điều chế

### 2.3 Giải điều chế

Tín hiệu ra sẽ được quyết định với tiêu chuẩn hợp lý cực đại dựa trên tương quan:

$$s_r = \underset{i \in \{0,1\}}{\operatorname{argmax}} \left[ \int_0^T \rho(t) s_i(t) dt - \frac{1}{2} E(s_i) \right]$$

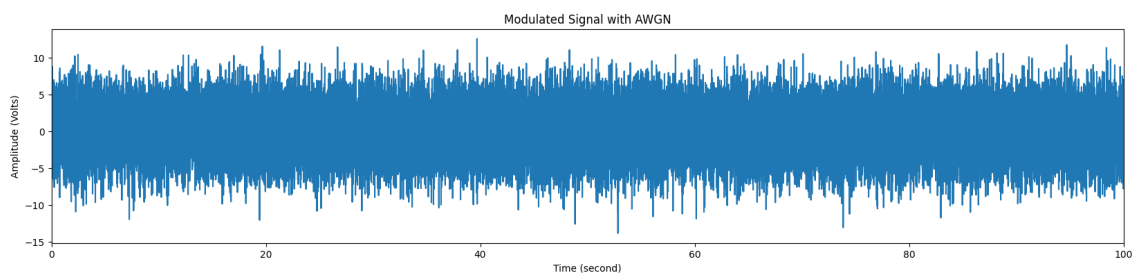
trong đó  $\rho(t)$  là tín hiệu nhận,  $s_0, s_1$  là các sóng mang. Kết quả thu được như hình 2.4. Ở đây chuỗi bit thu được không có sai khác so với chuỗi bit đầu vào vì quá trình điều chế và giải điều chế không chịu sự ảnh hưởng của nhiễu.



**Hình 2.4:** Chuỗi bit giải điều chế

### 2.4 Điều chế, giải điều chế tín hiệu dưới sự ảnh hưởng của nhiễu Gauss

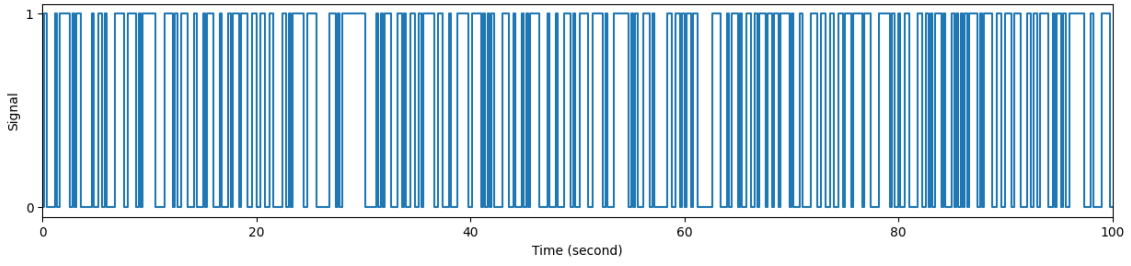
Sau khi điều chế tín hiệu, tín hiệu truyền đi trên thực tế sẽ chịu ảnh hưởng của nhiễu. Bài tập lớn này xét trường hợp nhiễu trắng Gauss cộng tính (AWGN) với trung bình 0 và phương sai  $\frac{N_0}{2}$ , cụ thể ở đây  $N_0$  được chọn bằng 18. Tín hiệu điều chế có chịu ảnh hưởng của nhiễu được minh họa trong hình 2.5.



**Hình 2.5:** Tín hiệu điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN

## CHƯƠNG 2. ĐIỀU CHẾ BIÊN ĐỘ (AMPLITUDE SHIFT KEYING MODULATION - ASK)

Sau khi giải điều chế với phương pháp tương tự trong 2.3, chuỗi bit thu được được minh họa như trong hình 2.6.



**Hình 2.6:** Chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN

Khi giải mã có 128 bit sai khác so với tín hiệu truyền đi, do đó lỗi bit thực nghiệm ở đây là  $\frac{128}{500} \cdot 100\% = 25.6\%$

### 2.5 Xác suất lỗi bit theo lý thuyết

Trong phần này sẽ tính toán lỗi bit theo lý thuyết.

Ta có:  $M = \{s_0(t) = A \cos(2\pi ft); s_1(t) = kA \cos(2\pi ft)\}$ , giả sử  $k > 1$

$$E_0 = \int_0^T s_0^2(t) dt = \int_0^T A^2 \cos^2(2\pi ft) dt = \frac{A^2 T}{2}$$

Tương tự:

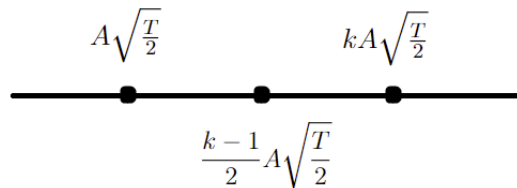
$$E_1 = \frac{k^2 A^2 T}{2}$$

Do đó  $E_b = \frac{1}{2}(E_0 + E_1) = \frac{k^2+1}{4} A^2 T$  và  $A^2 T = \frac{4E_b}{k^2+1}$

Vì  $s_0(t)$  và  $s_1(t)$  phụ thuộc tuyến tính nên cơ sở trực chuẩn là

$$B = \{b(t)\} = \left\{ \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi ft) \right\}$$

Hai sóng mang  $c_0(t)$  và  $c_1(t)$  có tọa độ tương ứng trong không gian tín hiệu với cơ sở B là  $A\sqrt{\frac{T}{2}}$  và  $kA\sqrt{\frac{T}{2}}$ .



**Hình 2.7:** Vùng voronoi điều chế ASK



CHƯƠNG 2. ĐIỀU CHẾ BIÊN ĐỘ  
(AMPLITUDE SHIFT KEYING MODULATION - ASK)

---

Tỉ lệ lỗi bit:  $P_b(e) = \frac{1}{2} (P_b(e|s = s_0) + P_b(e|s = s_1))$

Tính  $P_b(e|s = s_0)$ :

$$\begin{aligned} P_b(e|s = s_0) &= P(\rho \in V(s_1)|s = s_0) \\ &= P\left(n + s \geq \frac{k+1}{2} A \sqrt{\frac{T}{2}} | s = s_0\right) \\ &= P\left(n \geq \frac{k-1}{2} A \sqrt{\frac{T}{2}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\frac{k-1}{2} A \sqrt{\frac{T}{2}}}{\sqrt{2} \sqrt{\frac{N_0}{2}}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{(k-1) A \sqrt{T}}{2 \sqrt{2} N_0}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{k-1}{\sqrt{2k^2+2}} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \end{aligned}$$

Trong bài tập lớn này,  $k = 1.5$ , do đó

$$P_b(e|s = s_0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{26N_0}}\right)$$

Hoàn toàn tương tự, ta tính được

$$P_b(e|s = s_1) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{26N_0}}\right)$$

và do đó

$$P_b(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{26N_0}}\right)$$

Lỗi bit lý thuyết trong bài tập lớn này tính được là xấp xỉ 27.98%

## CHƯƠNG 3. ĐIỀU CHẾ PHA (Phase Shift Keying modulation - PSK)

### 3.1 Tổng quan

Điều chế pha (PSK) là một kỹ thuật điều chế số thông qua việc thay đổi pha của tín hiệu mang (carrier signal). PSK là phương pháp được sử dụng nhiều trong kỹ thuật truyền thông do có thể chống nhiễu mạnh mẽ và truyền dữ liệu ở tốc độ cao. Các ứng dụng thực tiễn của điều chế pha có thể kể đến như truyền thông vệ tinh, radio; truyền thông không dây và phát sóng âm thanh kỹ thuật số. Trong dự án này, chúng ta sẽ thực hiện điều chế và giải điều chế PSK của một tín hiệu nhị phân ngẫu nhiên và phân tích hiệu suất của việc điều chế/giải điều chế PSK dưới tác động của nhiễu Gaussian.

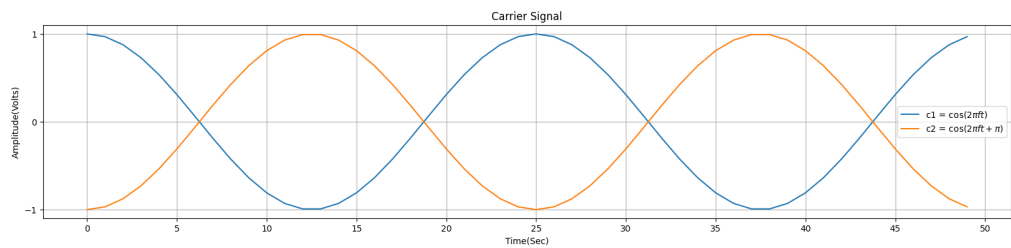
### 3.2 Điều chế tín hiệu bằng PSK

Đầu tiên, ta lựa chọn 2 sóng mang dạng cosine với biên độ, tần số giống nhau nhưng pha khác nhau.

$$M = \{s_1(t) = \cos(2\pi ft), s_2(t) = \cos(2\pi ft + \pi)\} \quad (3.1)$$

trong đó  $bit(0) \leftrightarrow s_1(t)$  và  $bit(1) \leftrightarrow s_2(t)$

Tín hiệu sẽ có dạng như hình vẽ sau 3.1



**Hình 3.1:** Sóng mang với PSK

Ở đây ta xét  $f = 100$

Ví dụ điều chế với chuỗi bit 1001 được biểu diễn trong hình 3.2

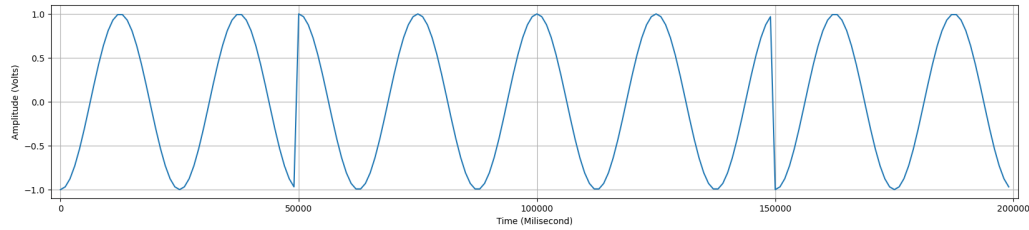
Ta sinh ngẫu nhiên 1 chuỗi 200 bit ngẫu nhiên như hình 3.3

Điều chế với chuỗi bit trên được minh họa trong hình 3.4

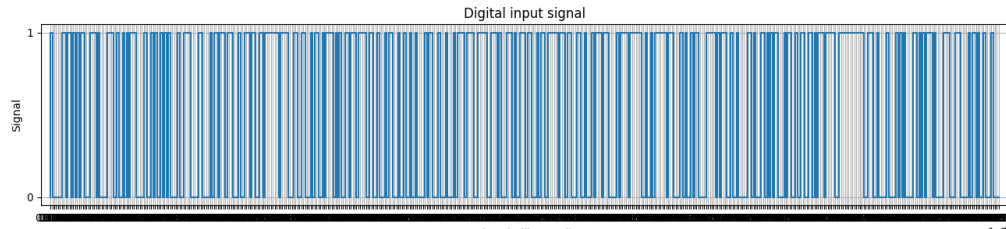
### 3.3 Giải điều chế

Phương pháp giải điều chế PSK là tính tương quan tín hiệu đã được điều chế PSK với tín hiệu mang. Việc tính tương quan này sẽ tạo ra các biến quyết định - thứ

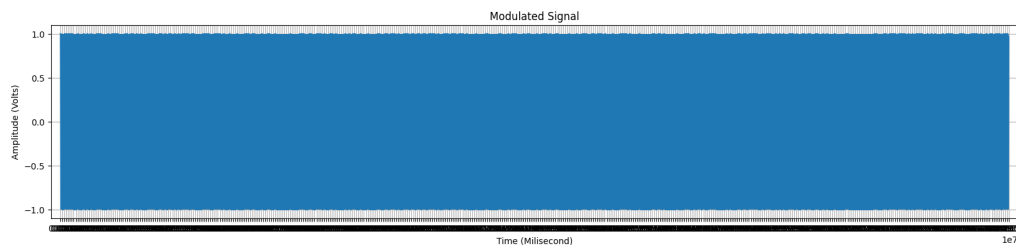
### CHƯƠNG 3. ĐIỀU CHẾ PHA (PHASE SHIFT KEYING MODULATION - PSK)



**Hình 3.2:** Điều chế chuỗi bit 1001 với PSK



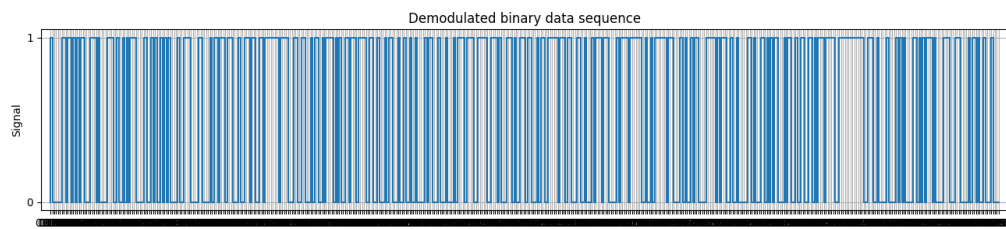
**Hình 3.3:** Chuỗi bit dữ liệu



**Hình 3.4:** Tín hiệu điều chế

được sử dụng để xác định dữ liệu nhị phân đã được giải điều chế. Tính tương quan được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp toán học Maximum Likelihood Criterion. Phương pháp này xác định giá trị có khả năng cao nhất của dữ liệu nhị phân đã giải điều chế dựa trên tín hiệu đã được điều chế PSK và tín hiệu mang. Điều này sẽ xác định xem dữ liệu nhị phân đã được giải điều chế là 0 hay 1 .

Chuỗi bit được giải điều chế được thể hiện ở hình 3.5



**Hình 3.5:** Chuỗi bit giải điều chế

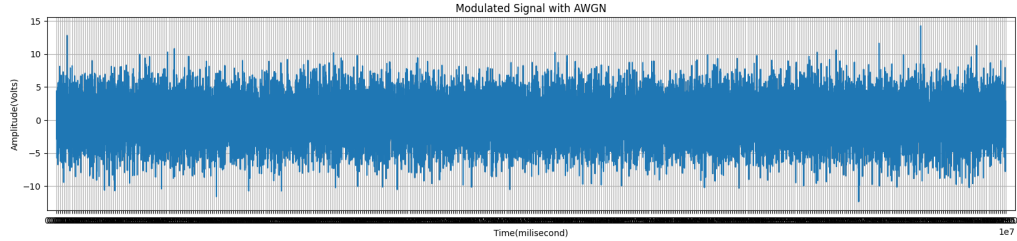
#### 3.4 Điều chế, giải điều chế tín hiệu dưới ảnh hưởng của nhiễu Gauss

Nhiễu Gauss là một loại nhiễu ngẫu nhiên thường xuất hiện trong các hệ thống truyền thông. Tín hiệu truyền đi sẽ chịu ảnh hưởng của nhiễu Gauss  $\sim N(0, N_0/2)$ .

### CHƯƠNG 3. ĐIỀU CHẾ PHA (PHASE SHIFT KEYING MODULATION - PSK)

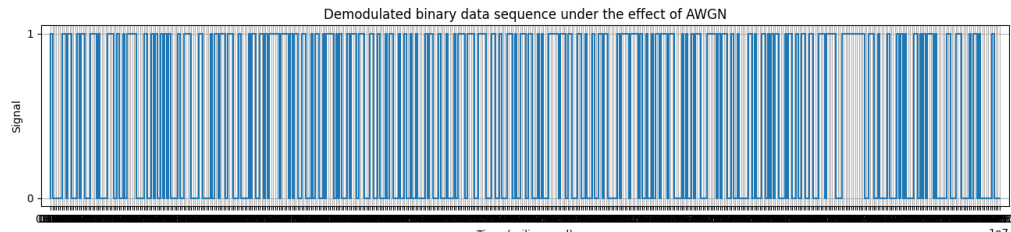
Tùy vào giá trị của  $N_0$  sẽ cho thấy mức độ nhiễu, nếu  $N_0$  cao thì nhiễu cao và ngược lại. Nhiễu được thêm vào sóng truyền dưới dạng  $r(t) = s(t) + n(t)$ , trong đó  $s(t)$  là sóng truyền và  $n(t)$  là nhiễu Gaussian.

Sau khi thêm nhiễu, tín hiệu như sau: hình 3.6 (với  $N_0 = 18$ )



**Hình 3.6:** Tín hiệu điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN

Sau khi giải điều chế với phương pháp tương tự 3.3, tín hiệu thu được là: Hình 3.7



**Hình 3.7:** Chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN

Xác suất lỗi được tính bằng số bit khác nhau giữa chuỗi bit gốc và chuỗi bit giải điều chế ảnh hưởng bởi nhiễu chia cho tổng số bit.

Bit error rate:  $P(e) = P(u_R[i] \neq u_T[i])$  Từ thực nghiệm, có 15 bit khác nhau giữa 2 chuỗi nên ước lượng xác suất lỗi bit là  $P(e) = \frac{15}{500} = 3.0\%$ .

#### 3.5 Xác suất lỗi bit theo lý thuyết

Có :

$$M = \{s_1(t) = \cos(2\pi f_c t), s_2(t) = \cos(2\pi f_c t + \pi)\}$$

$$E_1 = \int_{-\infty}^{\infty} s_1^2(t) dt = \int_0^{T_b} \cos^2(2\pi f_c t) dt = \frac{1}{2} \int_0^{T_b} (1 + \cos(4\pi f_c t)) dt$$

$$= \frac{1}{2} T_b + \frac{1}{2} \int_0^{T_b} \cos(4\pi f_c t) \frac{d(4\pi f_c t)}{4\pi f_c} = \frac{T_b}{2} + \frac{\sin(4\pi f_c T_b)}{8\pi f_c}$$

Trong bài tập lớn này, em chọn  $f_c = \frac{2}{T_b}$ , vì thế  $E_1 = \frac{T_b}{2}$ . Tương tự:

$$E_2 = \int_{-\infty}^{\infty} s_2^2(t) dt = \int_0^{T_b} \cos^2(2\pi f_c t + \pi) dt = \int_0^{T_b} (-\cos(2\pi f_c t))^2 dt = \frac{T_b}{2}$$

**CHƯƠNG 3. ĐIỀU CHẾ PHA**  
**(PHASE SHIFT KEYING MODULATION - PSK)**

$$E_s = \frac{E_1 + E_2}{2} = \frac{T_b}{2} \Rightarrow E_b = \frac{E_s}{k} = \frac{T_b}{2}$$

Theo thuật toán Gram-Schmidt ta có :

$$\varphi_1(t) = \frac{s_1(t)}{\sqrt{E_1}} = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos\left(\frac{4\pi t}{T_b}\right) \Rightarrow s_{21} = \int_0^{T_b} s_2(t) \varphi_1(t) dt = -\sqrt{\frac{T_b}{2}}$$

$$g_2(t) = s_2(t) - s_{21}(t) \varphi_1(t) = -\cos\left(\frac{4\pi t}{T_b}\right) - \left(-\cos\left(\frac{4\pi t}{T_b}\right)\right) = 0 \Rightarrow \varphi_2(t) = 0$$

Do đó  $B = \{-\sqrt{\frac{T_b}{2}}\}$  là hệ cơ sở trực chuẩn.  $M$  có thể viết như sau với cơ sở  $B$ :

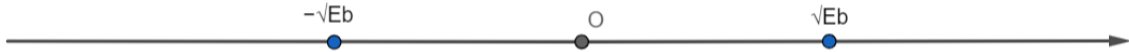
$$M = \{s_1(\sqrt{E_b}), \quad s_2(-\sqrt{E_b})\}$$

Vùng Voronoi: (3.8)

$$V(s_1) = \{\rho = (\rho_1), \rho_1 \geq 0\}$$

$$V(s_2) = \{\rho = (\rho_2), \rho_2 \leq 0\}$$

Xác suất lỗi bit theo lý thuyết thì :



**Hình 3.8:** Vùng Voronoi điều chế PSK

$$P(e|s_T = s_1) = P(n + s_T < 0 | s_T = s_1) = P(\sqrt{E_b} + n < 0) = P(n < -\sqrt{E_b}) = P(n > \sqrt{E_b})$$

$$P(e|s_T = s_2) = P(-\sqrt{E_b} + n > 0) = P(n > \sqrt{E_b})$$

$$P(e) = \frac{P(e|s_T = s_1) + P(e|s_T = s_2)}{2} = P(n > \sqrt{E_b}) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

Trong bài tập lớn này, với  $N_0 = 18$  thì xác suất lỗi bit BER xấp xỉ 5.11%.

## CHƯƠNG 4. ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ (Frequency Shift Keying modulation - FSK)

### 4.1 Tổng quan

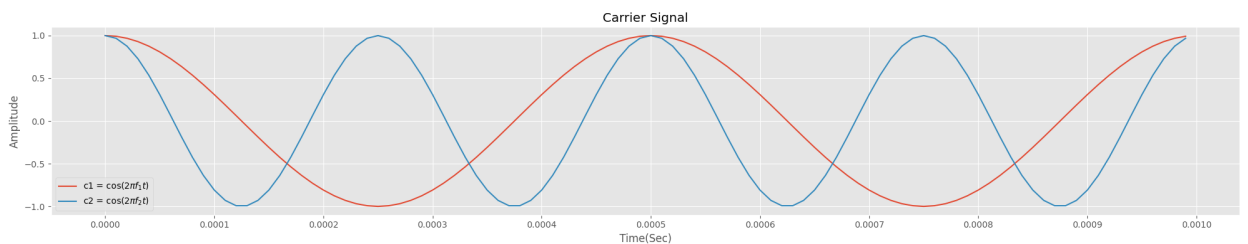
Điều chế tần số (Frequency shift keying - FSK) là một phương pháp điều chế dựa trên tần số trong đó thông tin được mã hóa sử dụng sóng mang bằng cách thay đổi tần số của sóng theo chu kỳ giữa một tập rời rạc các tần số khác nhau. Dạng đơn giản nhất của FSK là binary FSK (BFSK) trong đó mỗi bit đặc trưng bởi tần số khác nhau này của tín hiệu.

### 4.2 Điều chế tín hiệu bằng FSK

Đầu tiên ta thực hiện sinh ra sóng mang, là 2 sóng dạng cosine với biên độ, pha giống nhau nhưng tần số khác nhau.

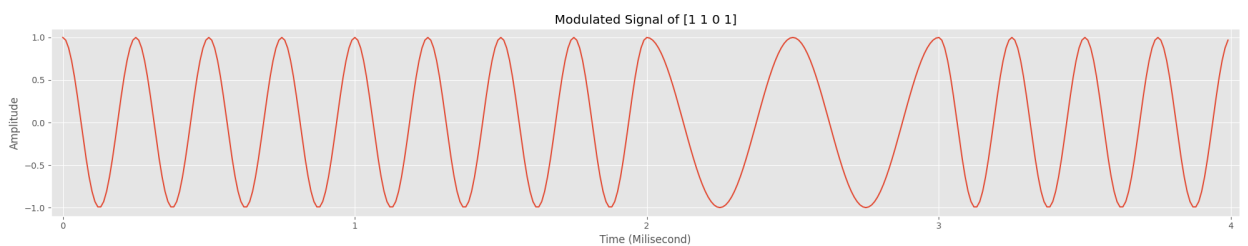
$$M = \{s_1(t) = \cos(2\pi f_1 t), s_2(t) = \cos(2\pi f_2 t)\} \quad (4.1)$$

trong đó  $f_2 = 2f_1$  (hình 4.1), các bit 0 được biểu diễn bởi  $s_1(t)$ , các bit 1 được biểu diễn bởi  $s_2(t)$ .



**Hình 4.1:** Sóng mang với FSK

Ví dụ điều chế với chuỗi bit 1101 được biểu diễn trong hình 4.2:

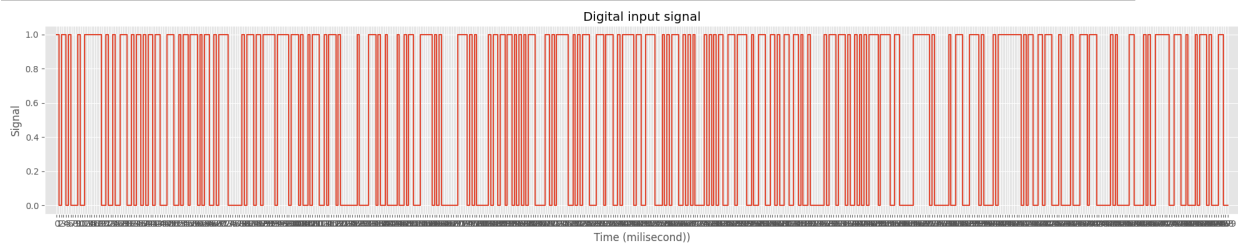


**Hình 4.2:** Chuỗi bit 1101 điều chế với FSK

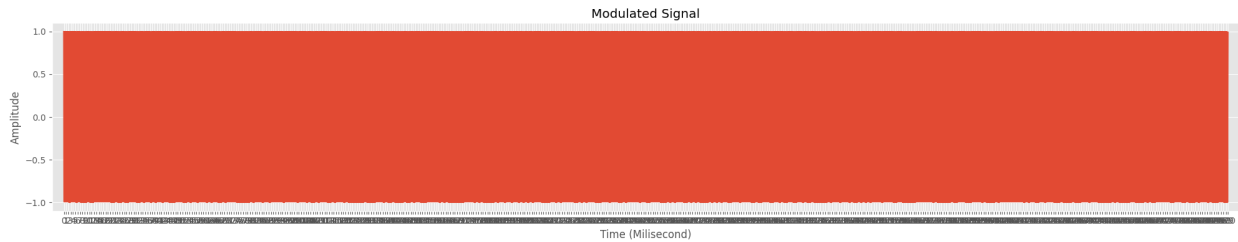
Tiếp theo ta sinh ra một chuỗi bit nhị phân ngẫu nhiên, trong bài tập lớn này chuỗi có độ dài là 500. Hình 4.3 minh họa của chuỗi dữ liệu:

Tín hiệu điều chế theo FSK của chuỗi bit trên được minh họa trong hình 4.4:

## CHƯƠNG 4. ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ (FREQUENCY SHIFT KEYING MODULATION - FSK)



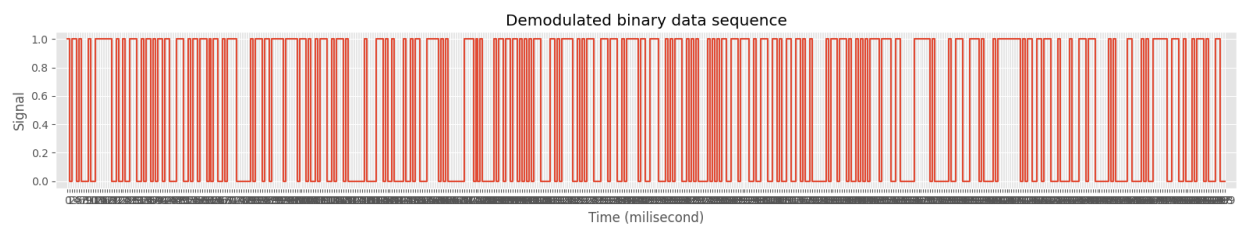
Hình 4.3: Chuỗi bit dữ liệu



Hình 4.4: Tín hiệu điều chế

### 4.3 Giải mã tín hiệu

Phương pháp giải điều chế trong FSK là thực hiện tính độ tương quan giữa tín hiệu điều chế với tín hiệu mang. Mục tiêu là sinh ra các biến quyết định để xác định được chuỗi bit gốc, sử dụng Maximum Likelihood Criterion. Chuỗi bit được giải điều chế được thể hiện ở hình 4.5.



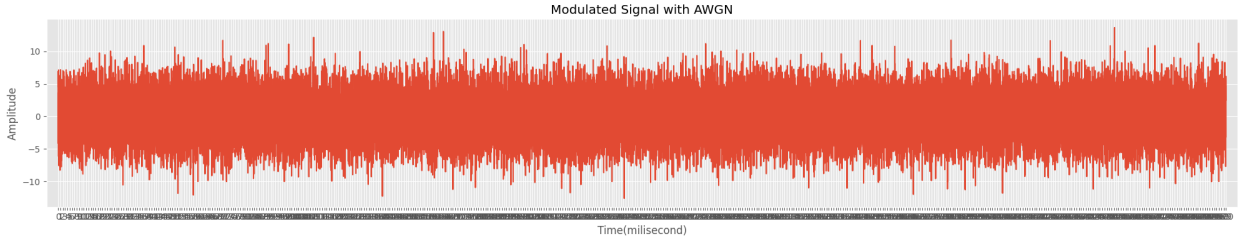
Hình 4.5: Chuỗi bit giải điều chế

### 4.4 Điều chế, giải điều chế tín hiệu dưới ảnh hưởng của nhiễu Gauss

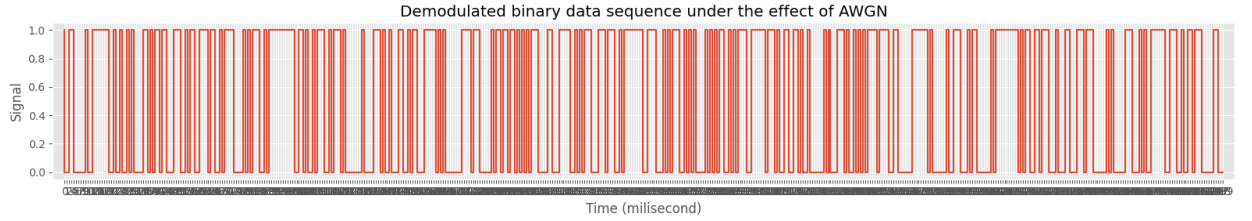
Nhiều Gauss là một nhiễu ngẫu nhiên phổ biến trong hệ thống truyền thông. Nhiều có kì vọng là 0 và phương sai là  $\frac{N_0}{2}$ . Giá trị của  $N_0$ , cùng với SNR có thể dùng để xác định tỉ lệ lỗi, thiết kế và đánh giá hiệu năng của hệ thống. Nhiều được cộng vào sóng truyền đi như sau:  $r(t) = s(t) + n(t)$ , trong đó  $s(t)$  là tín hiệu được truyền đi và  $n(t)$  là nhiễu Gauss. Trong bài tập lớn này,  $N_0 = 18$  để độ lệch chuẩn của nhiễu bằng 3. Tín hiệu điều chế và chuỗi bit giải điều chế được minh họa trong hình 4.6 và hình 4.7.

Xác suất lỗi được xác định bằng cách so sánh chuỗi bit gốc với chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của nhiễu. Lấy số bit khác nhau giữa 2 chuỗi này chia cho

## CHƯƠNG 4. ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ (FREQUENCY SHIFT KEYING MODULATION - FSK)



**Hình 4.6:** Tín hiệu điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN



**Hình 4.7:** Chuỗi bit giải điều chế dưới ảnh hưởng của AWGN

tổng số bit ta sẽ thu được xấp xỉ của xác suất lỗi.

Bit error rate:  $P(e) = P(u_R[i] \neq u_T[i])$  Từ thực nghiệm, có 26 bit khác nhau giữa 2 chuỗi nên ước lượng xác suất lỗi bit là  $P(e) = \frac{26}{500} = 5.2\%$ .

### 4.5 Xác suất lỗi bit theo lý thuyết

Ta có:

$$M = \{s_1(t) = \cos(2\pi f_1 t), s_2(t) = \cos(2\pi f_2 t)\}$$

$$E_1 = \int_{-\infty}^{\infty} s_1^2(t) dt = \int_0^{T_b} \cos^2(2\pi f_1 t) dt = \frac{T_b}{2} + \frac{\sin(4\pi f_1 T_b)}{8\pi f_1} \quad (4.2)$$

Trong bài tập lớn này  $f_1 = \frac{2}{T_b}$  và  $f_2 = \frac{4}{T_b}$ , do đó  $E_1 = \frac{T_b}{2}$ . Tương tự ta có:

$$E_2 = \int_{-\infty}^{\infty} s_2^2(t) dt = \int_0^{T_b} \cos^2(2\pi f_2 t) dt = \frac{T_b}{2} \quad (4.3)$$

$$E_s = \frac{E_1 + E_2}{2} = \frac{T_b}{2}, E_b = \frac{E_s}{k} = \frac{T_b}{2} \quad (4.4)$$

Xác định cơ sở trực chuẩn của không gian tín hiệu sử dụng thuật toán Gram-Schmidt:

$$\phi_1(t) = \frac{s_1(t)}{\sqrt{E_1}} = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos\left(\frac{4\pi t}{T_b}\right) \quad (4.5)$$



**CHƯƠNG 4. ĐIỀU CHẾ TẦN SỐ**  
**(FREQUENCY SHIFT KEYING MODULATION - FSK)**

$$s_{21} = \int_0^{T_b} s_2(t)\phi_1(t)dt = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \int_0^{T_b} \cos\left(\frac{8\pi t}{T_b}\right)\cos\left(\frac{4\pi t}{T_b}\right)dt = 0 \quad (4.6)$$

$$g_2(t) = s_2(t) - s_{21} \cdot \phi_1(t) = \cos\left(\frac{8\pi t}{T_b}\right) \implies \phi_2(t) = \frac{g_2(t)}{\sqrt{E_2}} = \sqrt{\frac{2}{T_b}}\cos\left(\frac{8\pi t}{T_b}\right) \quad (4.7)$$

Hệ cơ sở trực chuẩn là  $B = \{\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}}\cos\left(\frac{4\pi t}{T_b}\right), \phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}}\cos\left(\frac{8\pi t}{T_b}\right)\}$ . Tọa độ của các điểm trên chòm sao điều chế lúc này là:

$$s_1(\sqrt{E_b}, 0), s_2(0, \sqrt{E_b}) \quad (4.8)$$

Ta có:

$$P_s(e|s = s_1) = P((\sqrt{E_b} + n_1 - \sqrt{E_b})^2 + n_2^2 > (\sqrt{E_b} + n_1)^2 + (n_2 - \sqrt{E_b})^2) = P(n_2 - n_1 > \sqrt{E_b})$$

Mà  $n_1 \sim \mathcal{N}(0, \frac{N_0}{2})$ ,  $n_2 \sim \mathcal{N}(0, \frac{N_0}{2})$ ,  $n_2 - n_1 \sim \mathcal{N}(0, N_0)$  nên ta có

$$P_s(e|s = s_1) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right) \quad (4.9)$$

Tương tự, ta cũng có:

$$P_s(e|s = s_2) = P(n_1^2 + (\sqrt{E_b} + n_2 - \sqrt{E_b})^2 > (n_1 - \sqrt{E_b})^2 + (\sqrt{E_b} + n_2)^2) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right) \quad (4.10)$$

BER là:

$$P_b(e) = P_s(e) = \frac{P_s(e|s = s_1) + P_s(e|s = s_2)}{2} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}}\right) \quad (4.11)$$

Trong bài tập lớn này, theo lý thuyết xác suất lỗi bit BER xấp xỉ 4.94%.

## CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN

Tổng kết lại, các kỹ thuật điều chế và giải điều chế số như Điều chế biên độ (ASK), Điều chế pha (PSK) và Điều chế tần số (FSK) đóng vai trò quan trọng trong với các hệ thống truyền thông. Mỗi kỹ thuật này có ưu điểm và nhược điểm riêng, và sự lựa chọn của một kỹ thuật cụ thể phụ thuộc vào yêu cầu của hệ thống truyền thông.

ASK là một kỹ thuật điều chế đơn giản và chi phí thấp, nhưng nhạy cảm với nhiễu. PSK khá ổn định đối với nhiễu so với ASK, nhưng yêu cầu băng thông cao hơn cho cùng tốc độ dữ liệu. FSK được sử dụng cho các ứng dụng với tốc độ dữ liệu thấp và cũng ổn định đối với nhiễu, nhưng yêu cầu băng thông lớn hơn so với PSK. Tuy nhiên, băng thông rộng hơn của FSK có thể dẫn đến signal-to-noise ratio thấp hơn.

Tóm lại, các kỹ thuật điều chế và giải điều chế số cung cấp một cách tiện lợi để truyền thông tin số qua kênh truyền thông với sự trợ giúp của quá trình điều chế và giải điều chế. Việc lựa chọn kỹ thuật phù hợp phụ thuộc vào yêu cầu cụ thể của hệ thống truyền thông và sự cân đối giữa hiệu suất và độ phức tạp của nó.