

---

# ***Nhập môn Kỹ thuật Truyền thông***

## ***Bài 3: Các hệ thống truyền thông kỹ thuật số***

PGS. Tạ Hải Tùng

---

# 1. Các khái niệm cơ bản về các hệ thống truyền thông kỹ thuật số

# ***Giới thiệu các hệ thống truyền thông kỹ thuật số***

---

**Hệ thống truyền thông kỹ thuật số:  
Truyền các chuỗi ký hiệu thuộc về một «bảng chữ cái» rời rạc.**

**Ví dụ:**

- Chữ viết Human writing**
- Mã điện báo Morse**
- GSM**
- CD/DVD**

# ***Introduction to digital transmission systems***

---

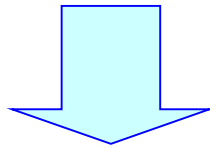
**Chúng ta sẽ tập trung vào các hệ thống được đặc trưng bởi 2 tính chất sau:**

- 1. Bảng chữ cái rời rạc = Bảng chữ cái nhị phân  $\{0,1\}$   
→ Các chuỗi dữ liệu nhị phân**
- 2. Kênh truyền = kênh không dây hoặc có dây**

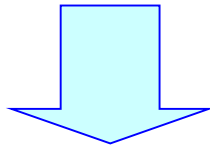
# ***Introduction to digital transmission systems***

---

**Nếu các thông tin tương tự cần truyền  
(ví dụ: voice, video)**



**Lấy mẫu và lượng tử hóa (mã hóa nguồn)**



**Các chuỗi dữ liệu nhị phân**

# ***Introduction to digital transmission systems***

---

## **Các hệ thống truyền thông kỹ thuật số:**

- GSM/UMTS
- Telephone Modem
- Optical Fibers
- Wired and Wireless LAN
- GPS/Galileo
- ...

## ***Một số đại lượng chính đặc trưng các hệ thống truyền thông kỹ thuật số***

---

- **Tốc độ truyền bit (bit-rate)**
- **Băng thông (bandwidth)**
- **Công suất (power)**
- **Xác suất lỗi (error probability)**
- **Độ phức tạp (complexity)**

## ***Tốc độ truyền dòng bit (bit-rate)***

---

**Các chuỗi dữ liệu nhị phân được đặc trưng bởi “tốc độ” của nó**

**BIT-RATE  $R_b$  [bps]**

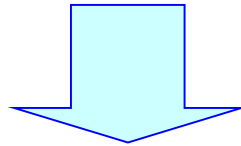
**= số bit được truyền trong 1 giây**



## ***Băng thông (bandwidth)***

---

**Các chuỗi dữ liệu nhị phân**



**Muốn được truyền qua một kênh có dây hay không dây thì đều phải được chuyển sang một dạng sóng  $s(t)$**

## ***Bảng thông***

---

**Dạng sóng  $s(t)$  được đặc trưng bởi  
phổ mật độ công suất của nó  $G_s(f)$**

**BANDWIDTH  $B$  [Hz] = Khoảng tần số chứa  
“phần có ý nghĩa quan trọng” của  $G_s(f)$**

# Công suất

---

**Công suất tín hiệu nhận được  $S$  [W] [dBm]**

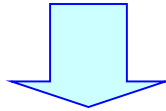
**Phụ thuộc vào công suất truyền tín hiệu**

**Và được đặc trưng bởi tỷ số công suất tín hiệu  
/ công suất tạp âm (signal-to-noise ratio) tại  
phía bộ thu**

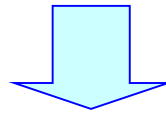
# *Xác suất xảy ra lỗi*

---

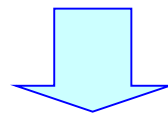
Các chuỗi dữ liệu nhị phân  $u_T = (u_T[i])$



Dạng sóng truyền  $s(t)$



Dạng sóng nhận  $r(t) \neq s(t)$  (trong các kênh thực tế, không lý tưởng)



Các chuỗi dữ liệu nhị phân nhận được  $u_R = (u_R[i])$

# *Xác suất xảy ra lỗi*

---

Các chuỗi dữ liệu nhị phân truyền  $u_T = (u_T[i])$

Các chuỗi dữ liệu nhị phân nhận được  $u_R = (u_R[i])$

**Xác xuất xảy ra lỗi bit**

$$P(u_R[i] \neq u_T[i])$$

## ***Độ phức tạp (complexity)***

---

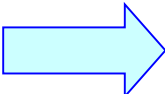
**COMPLEXITY** = Độ phức tạp về mặt kỹ thuật  
của một phương án thực hiện cụ thể

## ***Các đại lượng khác***

---

**Độ trễ  $D$  [s]**

**Sự khác nhau giữa các thời điểm  
truyền và nhận**

**Vào (bộ phát, transmitter - TX)  Ra (bộ thu, receiver, RX)**

## Ví dụ thực tế

---

Xây dựng một hệ thống truyền thông kỹ thuật số với các điều kiện:

- tốc độ truyền **BIT-RATE**  $R_b=34$  Mbps
- trên vùng tần số có độ rộng **BANDWIDTH**  $B=20$  MHz, có tần số trung tâm  $f_0=18$  GHz
- đảm bảo tối thiểu **BER**  $= 10^{-7}$  trong điều kiện công suất tín hiệu nhận được **POWER**  $S=-40$  dBm
- với độ trễ tối đa **DELAY**  $D=500$  ms
- với tối thiểu độ phức tạp **COMPLEXITY** (chi phí)



---

## **2. Chùm tín hiệu, gán nhãn, và dạng sóng truyền**

# Các chuỗi dữ liệu nhị phân: khái niệm

---

**Bảng chữ cái nhị phân**  $Z_2 = \{0, 1\}$

**Các chuỗi dữ liệu nhị phân:**

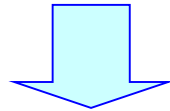
$$\underline{u}_T = (u_T[0], u_T[1], \dots, u_T[i], \dots) \quad i \in N \quad u_T[i] \in Z_2$$

**Ví dụ:**  $\underline{u}_T = (1\ 101001\dots)$

---

$$\underline{u}_T = (u_T[0], u_T[1], \dots, u_T[i], \dots)$$

Tốc độ dòng bit  $R_b$  [bps]

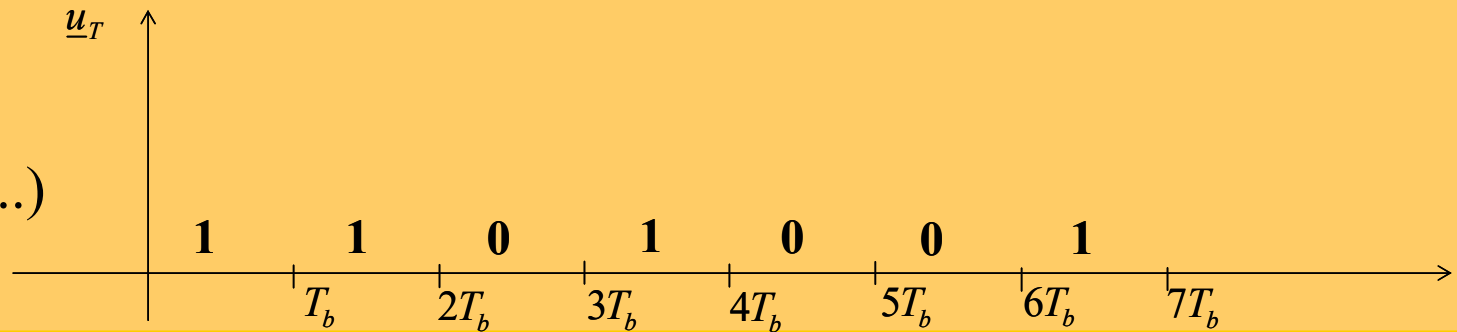


Mỗi bit  $u_T[i]$  sẽ tồn tại trong khoảng  $T_b = 1/R_b$  giây

$$(iT_b \leq t < (i+1)T_b)$$

**Ví dụ:**

$$\underline{u}_T = (1101001\dots)$$



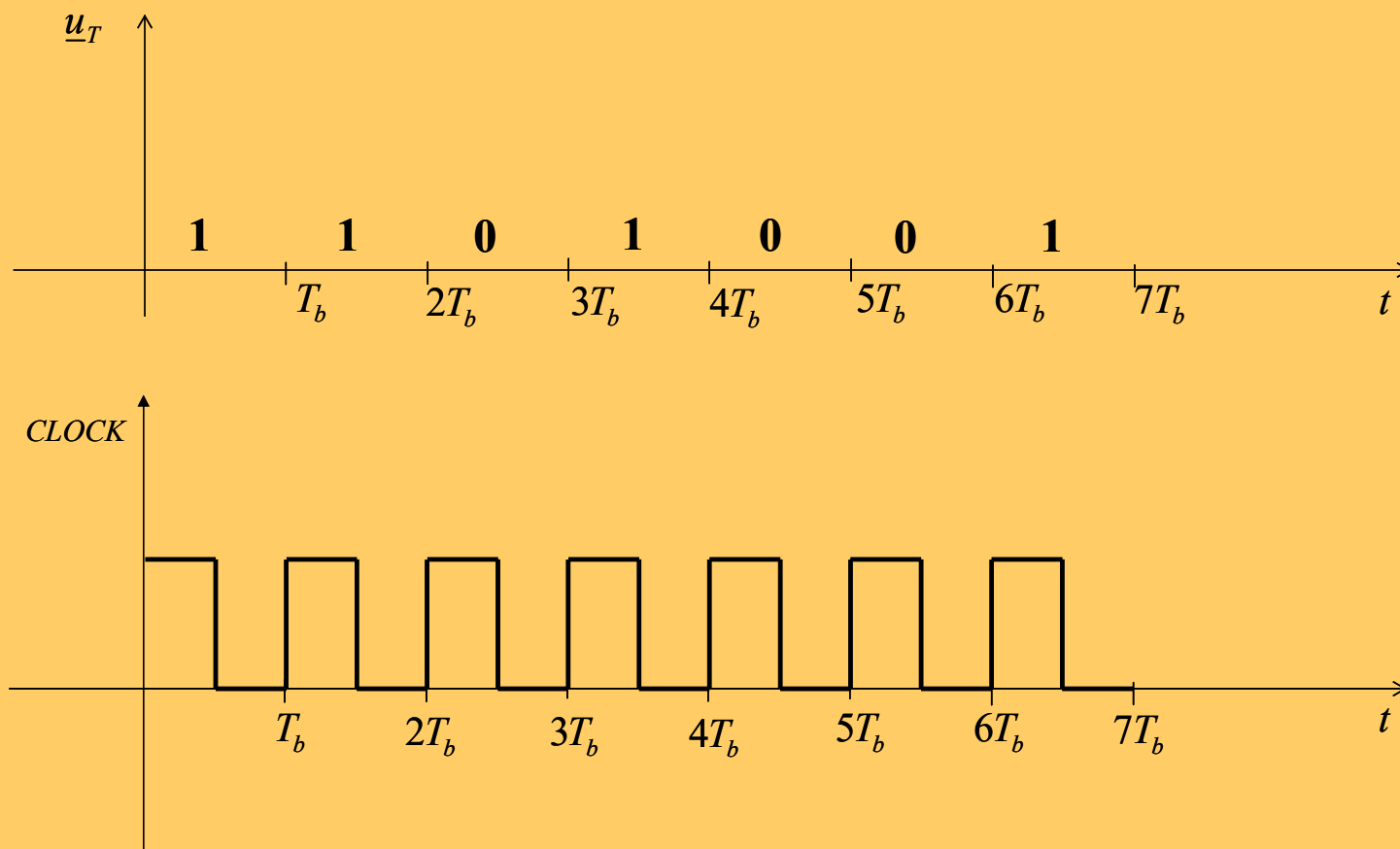
---

Một chuỗi dữ liệu nhị phân  $\underline{u}_T$  được đặc trưng như sau:

- Các bit dữ liệu của nó  $u_T[i]$
- Xung đồng hồ truyền, với tần số  $R_b$

## Ví dụ

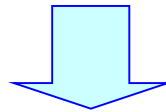
$\underline{u}_T = (1101001\dots)$



---

$$\underline{u}_T = (u_T[0], u_T[1], \dots, u_T[i], \dots)$$

**Các chuỗi dữ liệu nhị phân ngẫu nhiên lý tưởng**

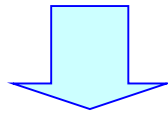


- **Các bit của nó độc lập thống kê với nhau  $P(u_T[i] | (u_T[j]) = P(u_T[i])$**
- **Xác suất bit 0 và bit 1 là tương đồng  $P(u_T[i] = 0) = P(u_T[i] = 1) \forall i$**

## ***Các dạng sóng truyền (transmitted waveforms)***

---

**Chuỗi dữ liệu nhị phân:  $\underline{u}_T$**



**Dạng sóng truyền thực sự  $s(t)$**

**= hàm thực theo thời gian**

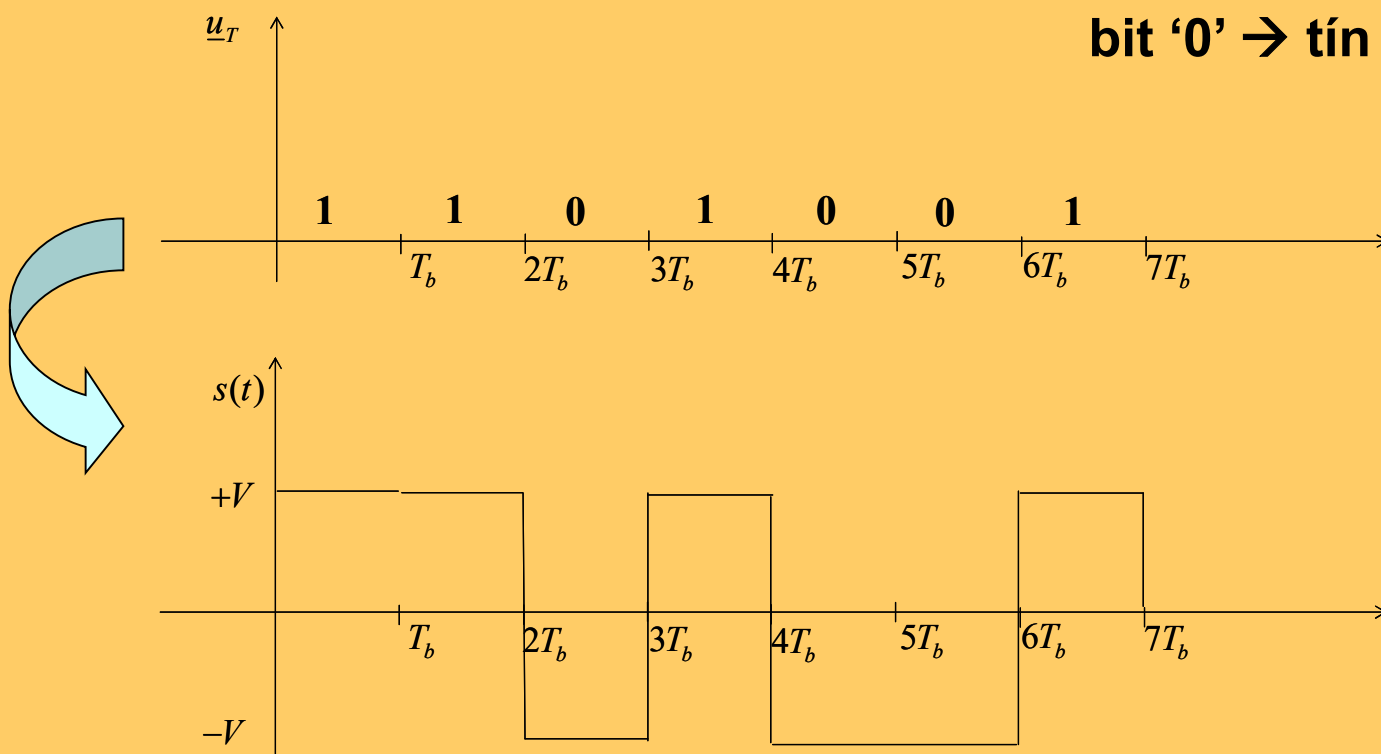
## Ví dụ

$\underline{u}_T = (1101001\dots)$

**Biểu diễn NRZ lưỡng cực**

bit '1'  $\rightarrow$  tín hiệu  $+V$

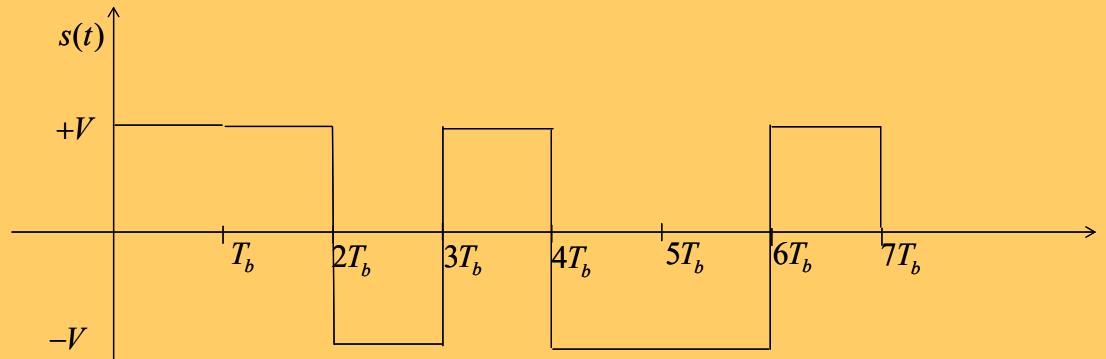
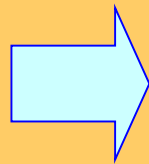
bit '0'  $\rightarrow$  tín hiệu  $-V$



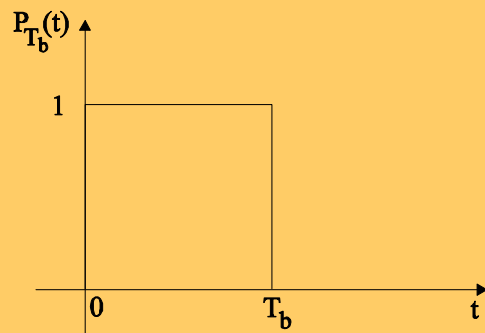


## Ví dụ

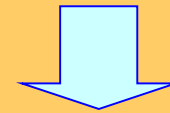
$\underline{u}_T = (1\ 101001\dots)$



Hình chữ nhật trong  
khoảng thời gian  $T_b$



Hai tín hiệu tồn tại



$$u_T[i] = 1 \rightarrow +VP_{T_b}(t - iT_b)$$

$$u_T[i] = 0 \rightarrow -VP_{T_b}(t - iT_b)$$

# Chùm tín hiệu

---

## Chùm tín hiệu $M$

$$M = \{ s_1(t) , \dots , s_i(t), \dots, s_m(t) \}$$

Số phần tử:  $|M|=m=2^k$  tín hiệu

---

$$M = \{ s_1(t) , \dots , s_i(t), \dots, s_m(t) \}$$

Giả thiết: tất cả tín hiệu  $s_i(t)$  có miền thời gian hữu hạn

$$0 \leq t < T = kT_b$$

## Ví dụ

$$M = \{s_1(t) = +VP_T(t), s_2(t) = -VP_T(t)\} \quad m = 2$$

$$M = \{s_1(t) = VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t), \\ s_3(t) = -VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_4(t) = -VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t)\} \\ m = 4$$

# Không gian Hamming

---

Vector nhị phân  $k$ -bit

$$\underline{v} = (u_0, \dots, u_i, \dots, u_{k-1}) \quad u_i \in Z_2$$

## Không gian Hamming

$$H_k = \{\underline{v} = (u_0, \dots, u_i, \dots, u_{k-1}) \mid u_i \in Z_2\}$$

Số phần tử:  $|H_k| = 2^k$  vectors

## *Ví dụ*

$$H_1 = \{ (0) (1) \} = \mathbb{Z}_2$$

$$H_2 = \{ (00) (01) (10) (11) \}$$

$$H_3 = \{ (000) (001) (010) (011) (100) (101) (110) (111) \}$$

## ***Gán nhãn nhị phân***

---

Chùm tín hiệu  $M$ : số tín hiệu thuộc chùm là:  $2^k$

Không gian Hamming  $H_k$ : số phần tử  $2^k$

**Ảnh xạ 1-1**

**Gán nhãn nhị phân**

$$\begin{aligned} e: \quad & H_k \leftrightarrow M \\ & \underline{v} \in H_k \leftrightarrow s(t) = e(\underline{v}) \in M \end{aligned}$$

## Ví dụ

$$M = \{s_1(t) = +VP_T(t), s_2(t) = -VP_T(t)\}$$

$$m=2 \rightarrow k=1$$

$$H_1 = \{ (0), (1) \}$$

$$e: H_1 \leftrightarrow M$$

$$(0) \leftrightarrow s_1(t)$$

$$(1) \leftrightarrow s_2(t)$$



## Ví dụ

$$M = \{s_1(t) = VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t), \\ s_3(t) = -VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_4(t) = -VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t)\}$$

$$m=4 \rightarrow k=2$$

$$H_2 = \{ (00), (01), (11), (10) \}$$

$$e: H_2 \leftrightarrow M$$

$$(00) \leftrightarrow s_1(t)$$

$$(01) \leftrightarrow s_2(t)$$

$$(10) \leftrightarrow s_3(t)$$

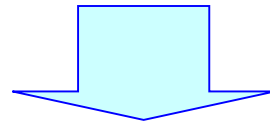
$$(11) \leftrightarrow s_4(t)$$

# Dạng sóng truyền

---

Giả thiết:

- Chuỗi nhị phân  $\underline{u}_T$
- Chùm tín hiệu  $M$
- Gán nhãn nhị phân  $e$

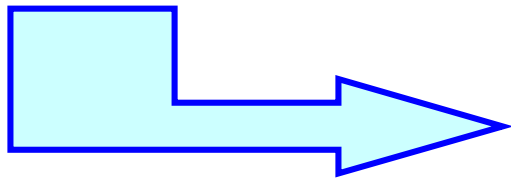


Xây dựng dạng sóng truyền  $s(t)$   
là một nhiệm vụ khá đơn giản


$M$  có số phần tử  $2^k$    $e : H_k \leftrightarrow M$

chia  $\underline{u}_T$  thành các vector  $k$ -bit

$$\underline{u}_T = (u_T[0], u_T[1], \dots, u_T[i], \dots)$$



$$\underline{u}_T = (\underline{v}_T[0], \underline{v}_T[1], \dots, \underline{v}_T[n], \dots)$$

Vector [0]   $\underline{v}_T[0] = (u_T[0], \dots, u_T[k-1])$

Vector [n]   $\underline{v}_T[n] = (u_T[nk], \dots, u_T[(n+1)k-1])$

---

Mỗi bit tồn tại trong  $T_b$  giây

Mỗi vector  $k$ -bit tồn tại trong  $kT_b = T$  giây

$$\underline{u}_T = (\underbrace{v_T[0]}_T, \underbrace{v_T[1]}_T, \dots, \underbrace{v_T[n]}_T, \dots)$$

Mỗi tín hiệu  $s_i(t) \in M$  tồn tại trong  $T$  giây

$$0 \leq t < T = kT_b$$

# Transmitted waveform

---

Gán nhãn nhị phân  $e: H_k \leftrightarrow M$

$$\begin{aligned} \underline{u}_T &= ( \underbrace{v_T[0]}_{\substack{e \\ T}}, \underbrace{v_T[1]}_{\substack{e \\ T}}, \dots, \underbrace{v_T[n]}_{\substack{e \\ T}}, \dots ) \\ s(t) &= ( s[0](t), s[1](t), \dots, s[n](t), \dots ) \end{aligned}$$

Dóng hàng đúng  
(Correct alignment):  $s[n](t) = e(\underline{v}_T[n]) ???$

Vấn đề: chùm tín hiệu

$$M = \{ s_1(t) , \dots , s_i(t), \dots, s_m(t) \}$$

Được định nghĩa trong

$$0 \leq t < T = kT_b$$

Nhưng chỉ có vector nhị phân đầu tiên được biểu diễn

$$\underline{\mathbf{u}}_T = ( \underbrace{\underline{v_T[0]}}_{\substack{e \\ T}} , \underbrace{\underline{v_T[1]}}_{\substack{e \\ T}} , \dots , \underbrace{\underline{v_T[n]}}_{\substack{e \\ T}} , \dots )$$

$$\mathbf{s}(t) = ( \underbrace{s[0](t)}_{\substack{e \\ T}} , \underbrace{s[1](t)}_{\substack{e \\ T}} , \dots , \underbrace{s[n](t)}_{\substack{e \\ T}} , \dots )$$

---

Dóng hàng chính xác đạt được  $s[n](t) = T_n(e(\underline{v}_T[n])$

**Nếu**

$$T_n(y(t)) = y(t - nT)$$

Gán nhãn nhị phân  $e: H_k \leftrightarrow M$

$$\begin{array}{l} \underline{u}_T = ( \underbrace{\underline{v}_T[0]}_{\substack{e \\ T}}, \underbrace{\underline{v}_T[1]}_{\substack{e \\ T}}, \dots, \underbrace{\underline{v}_T[n]}_{\substack{e \\ T}}, \dots ) \\ s(t) = ( s[0](t), s[1](t), \dots, s[n](t), \dots ) \end{array}$$

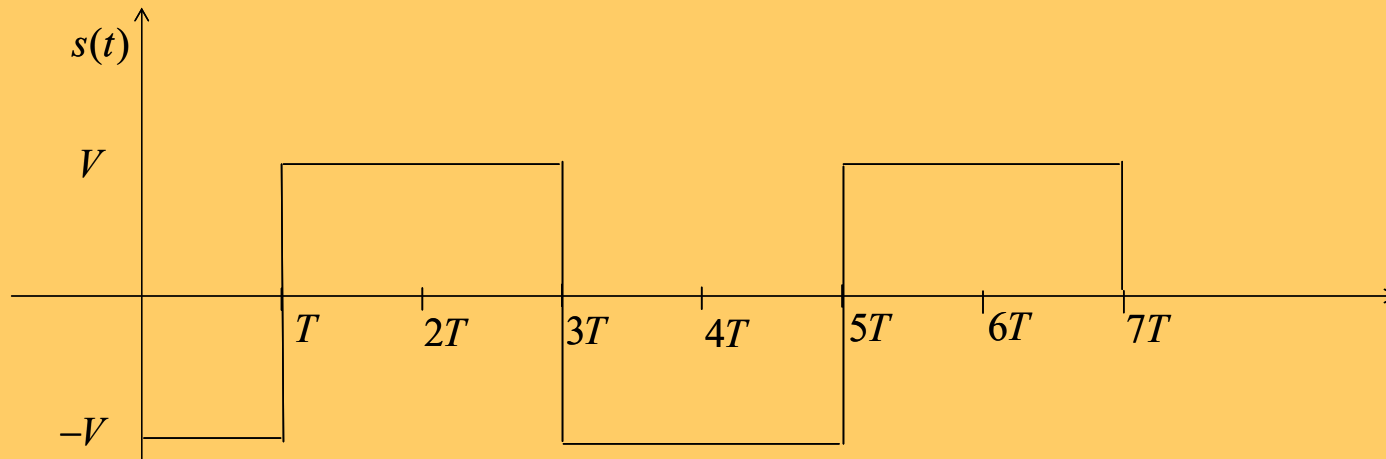
Dóng hàng đúng  $s[n](t) = T_n(e(\underline{v}_T[n]))$



**Ví dụ:**

$$\underline{u}_T = (0110011\dots) \quad R_b = 1 \text{ Mbps}$$

$$M = \{s_1(t) = -VP_T(t), s_2(t) = +VP_T(t)\}$$



$$T = T_b = 1 \mu s$$

## ***Bài tập***

$$\underline{u}_T = (10011100\dots) \quad R_b = 1 \text{ Mbps}$$

$$M = \{s_1(t) = VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t), \\ s_3(t) = -VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_4(t) = -VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t)\}$$

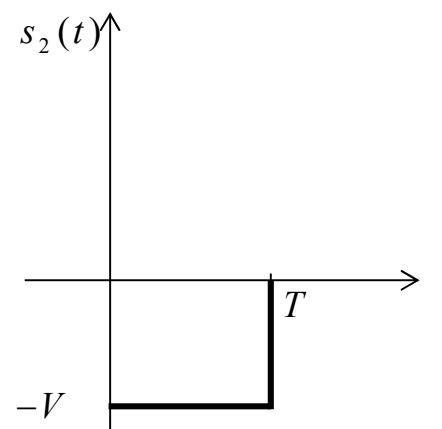
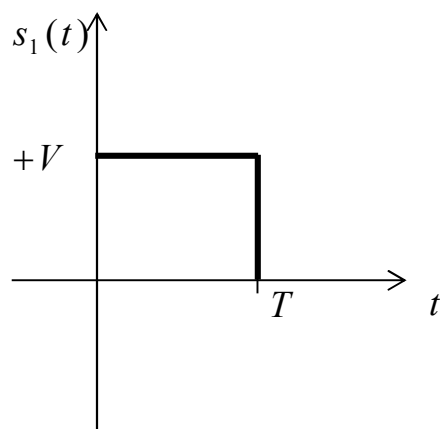
$$(f_0 = 1 \text{ MHz})$$

## Ví dụ các chùm tín hiệu trong thực tế

---

### NRZ lưỡng cực (Non Return to Zero)

$$M = \{s_1(t) = +VP_T(t), s_2(t) = -VP_T(t)\}$$

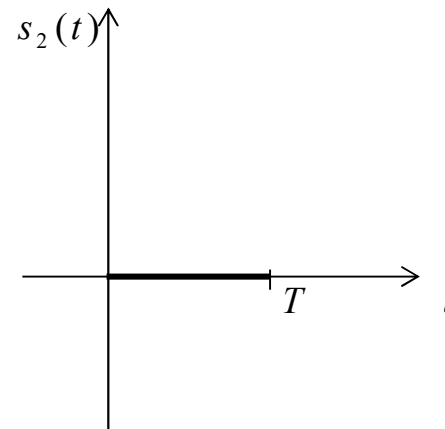
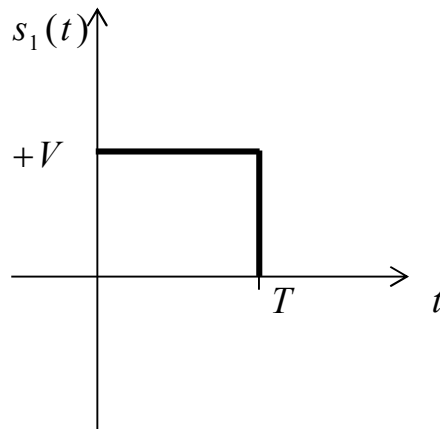


$$m = 2 \rightarrow k = 1 \rightarrow T = T_b$$

---

## NRZ đơn cực (Non Return to Zero)

$$M = \{s_1(t) = +VP_T(t), s_2(t) = 0\}$$

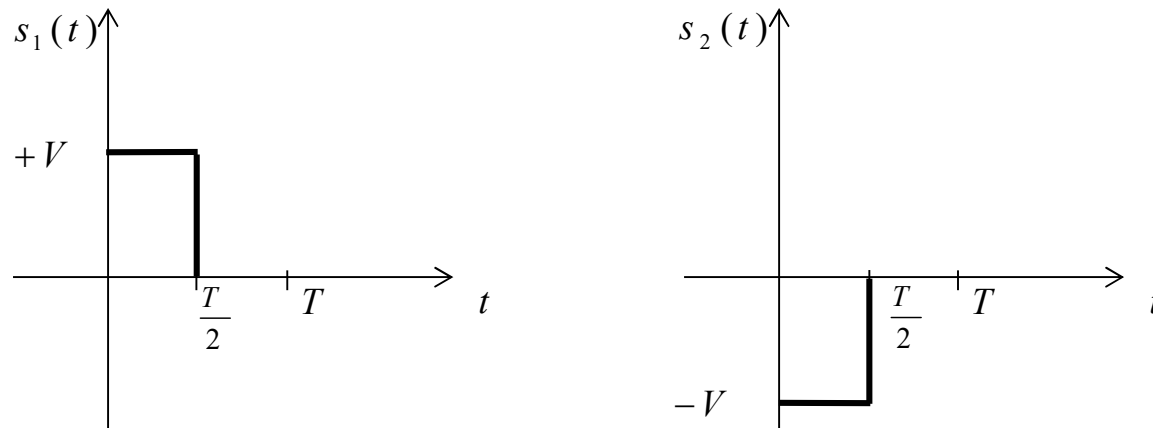


$$m = 2 \rightarrow k = 1 \rightarrow T = T_b$$

---

## RZ lưỡng cực (Return to Zero)

$$M = \{s_1(t) = +VP_{T/2}(t), s_2(t) = -VP_{T/2}(t)\}$$

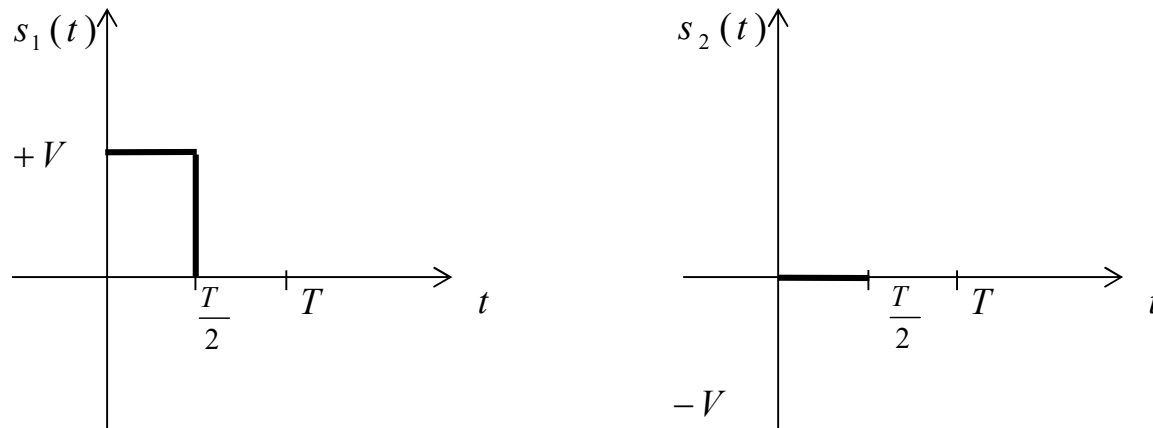


$$m = 2 \rightarrow k = 1 \rightarrow T = T_b$$

---

## RZ đơn cực (Return to Zero)

$$M = \{s_1(t) = +VP_{T/2}(t), s_2(t) = 0\}$$



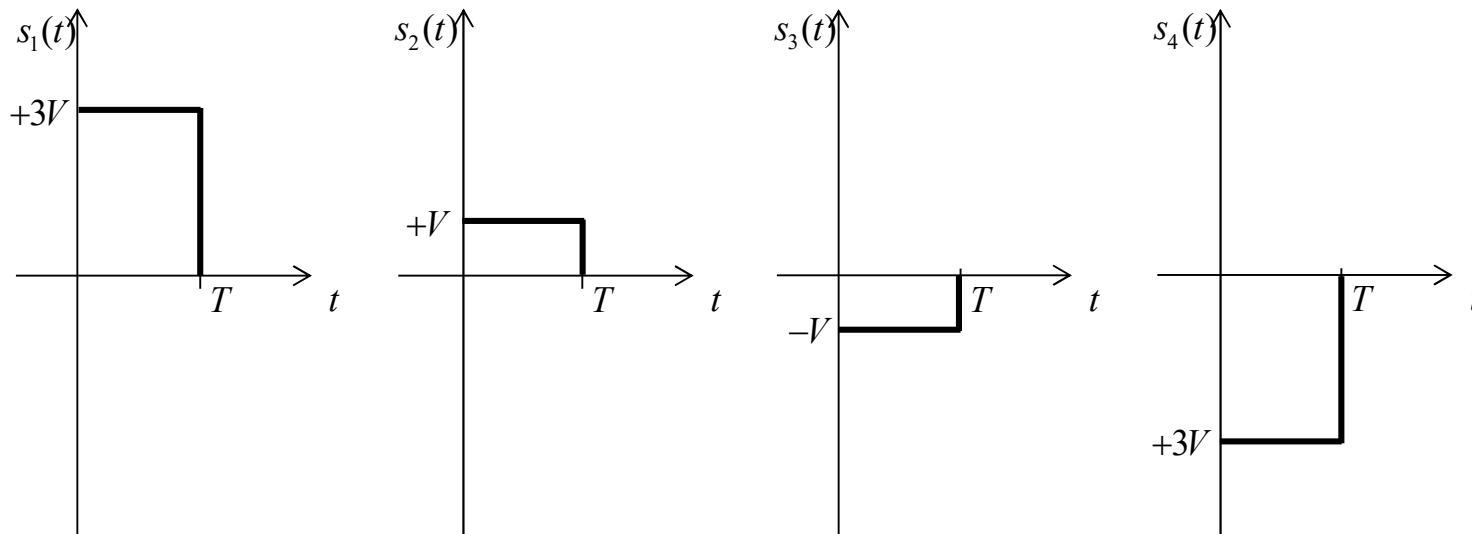
$$m = 2 \rightarrow k = 1 \rightarrow T = T_b$$

---

## m-PAM (Pulse Amplitude Modulation) điều chế biên độ xung

### Ví dụ: 4-PAM

$$M = \{s_1(t) = +3VP_T(t), s_2(t) = +VP_T(t), s_3(t) = -VP_T(t), s_4(t) = -3VP_T(t)\}$$



$$m = 4 \rightarrow k = 2 \rightarrow T = 2T_b$$

---

## m-ASK (Amplitude Shift Keying)

Điều chế dịch biên độ

**Ví dụ: 4-ASK**

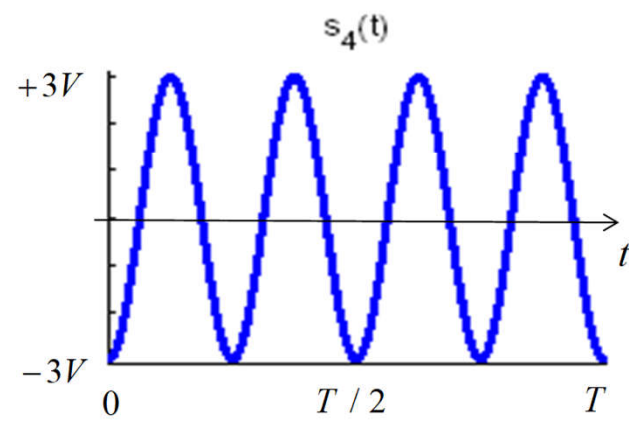
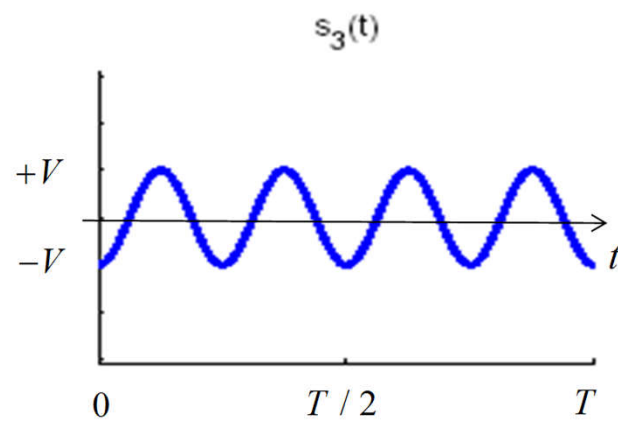
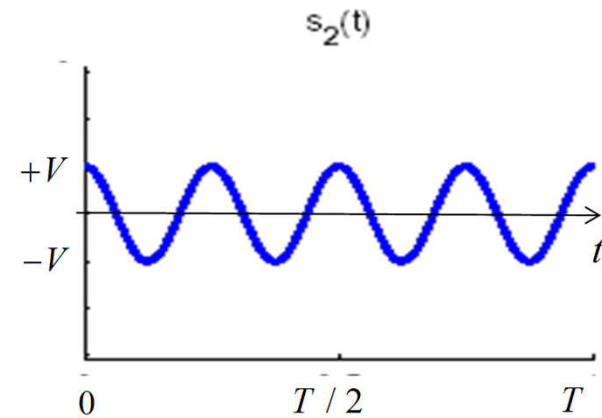
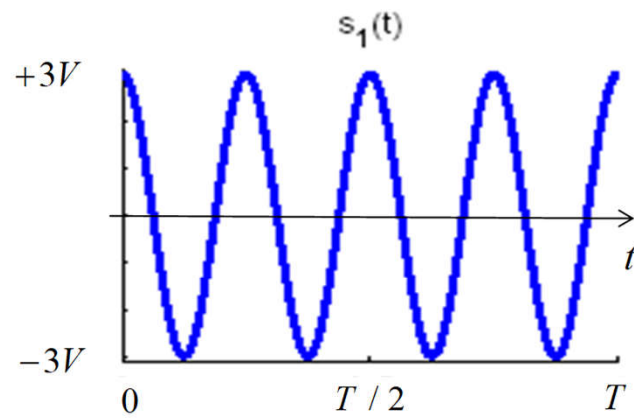
$$M = \{s_1(t) = +3VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), \\ s_3(t) = -VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_4(t) = -3VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t)\}$$

$$m = 4 \rightarrow k = 2 \rightarrow T = 2T_b$$



## 4-ASK

$$f_0 = 2R_b$$



---

## **m-PSK (Phase Shift Keying)**

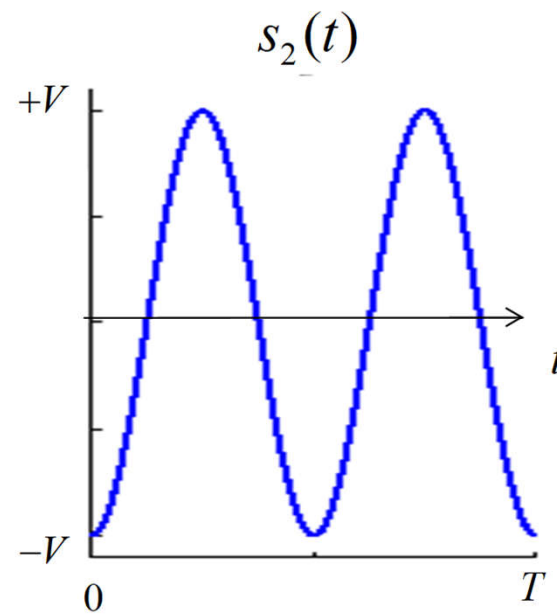
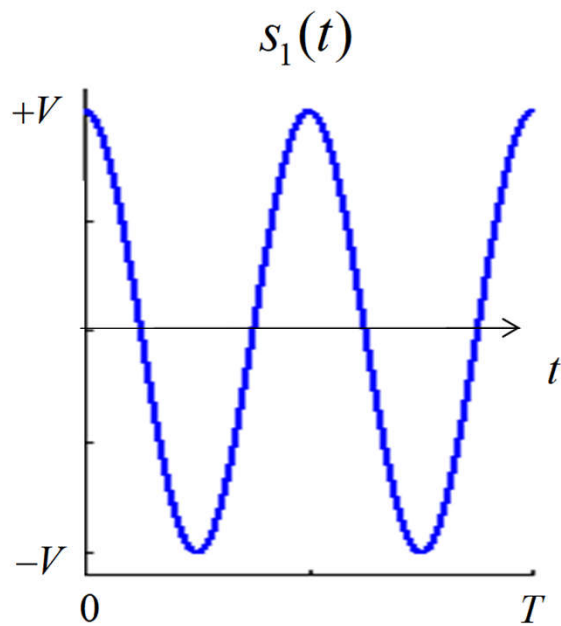
### **Example: 2-PSK**

$$\begin{aligned} M &= \{s_1(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = -VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t)\} = \\ &= \{s_1(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t - \pi)\} \end{aligned}$$

$$m = 2 \rightarrow k = 1 \rightarrow T = T_b$$

## 2-PSK

$$f_0 = 2R_b$$



---

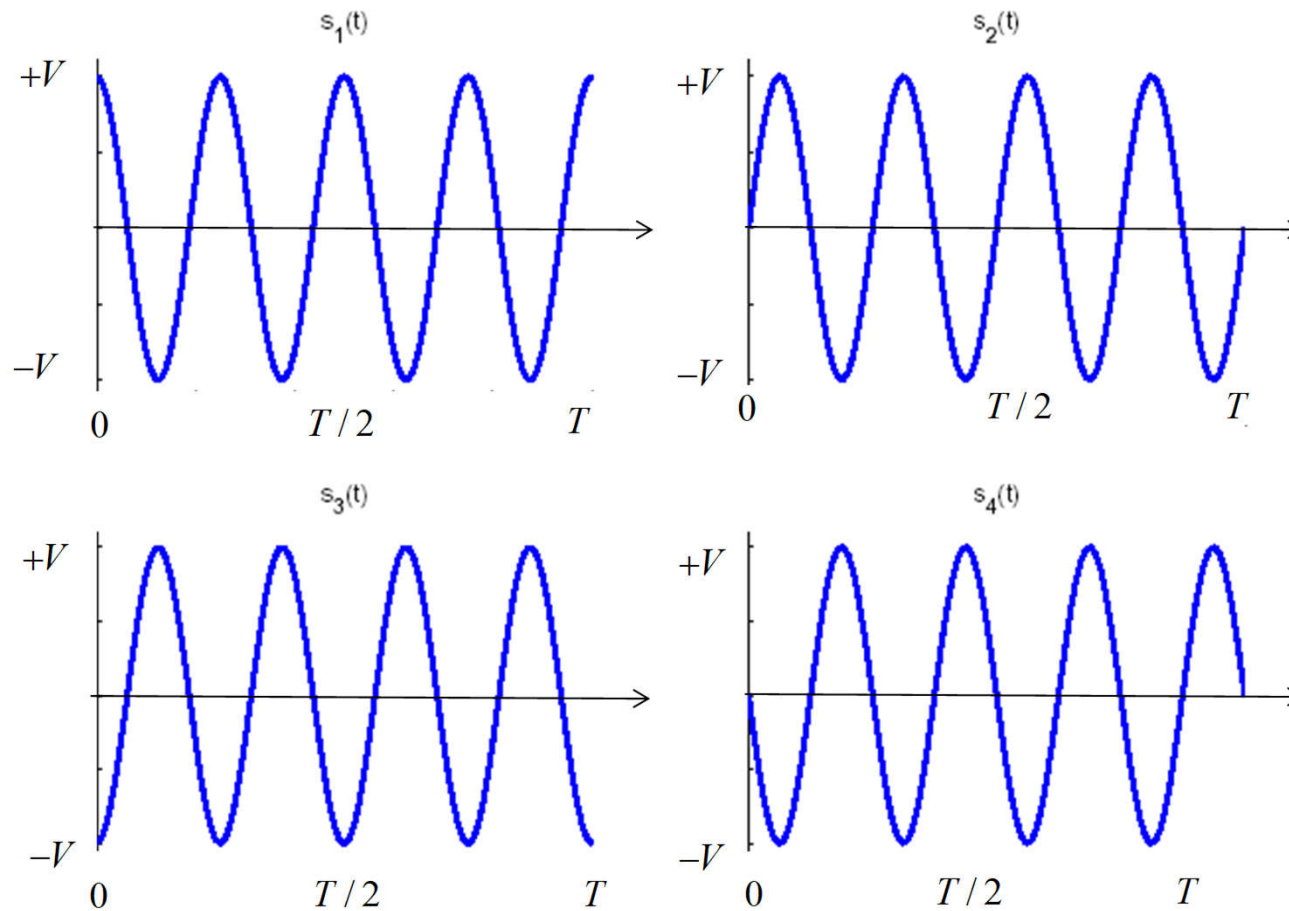
### Example: 4-PSK

$$M = \left\{ \begin{array}{l} s_1(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = +VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t), \\ s_3(t) = -VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_4(t) = -VP_T(t) \sin(2\pi f_0 t) \end{array} \right\} =$$
$$= \left\{ \begin{array}{l} s_1(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t), s_2(t) = +VP_T(t) \cos\left(2\pi f_0 t - \frac{\pi}{2}\right), \\ s_3(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_0 t - \pi), s_4(t) = VP_T(t) \cos\left(2\pi f_0 t - \frac{3\pi}{2}\right) \end{array} \right\}$$

$$m = 4 \rightarrow k = 2 \rightarrow T = 2T_b$$

## 4-PSK

$$f_0 = 2R_b$$



---

## **m-FSK (Frequency Shift Keying)**

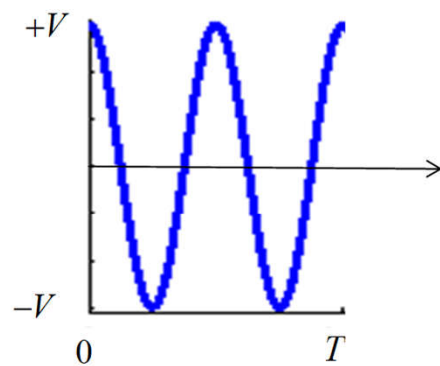
**Điều chế dịch tần số**

**Ví dụ: 2-FSK**

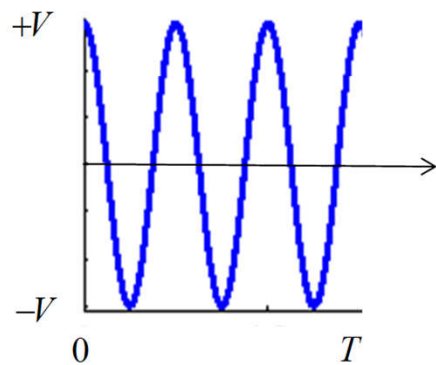
$$M = \{s_1(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_1 t), s_2(t) = +VP_T(t) \cos(2\pi f_2 t)\}$$

$$m = 2 \rightarrow k = 1 \rightarrow T = T_b$$

## 2-FSK



$$f_1 = 2R_b$$



$$f_2 = 3R_b$$

## ***Bài tập***

$$\underline{u}_T = (10011100\dots) \quad R_b = 1 \text{ Mbps}$$

Vẽ dạng sóng của tất cả các chùm tín hiệu đã liệt kê vừa rồi