



# Chương 8: Kỹ thuật số hóa (điều chế số)

8.1 Điều chế xung mã PCM

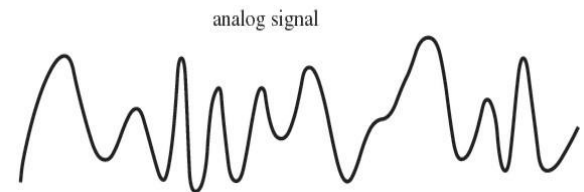
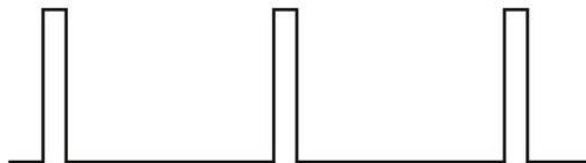
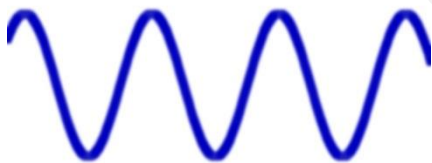
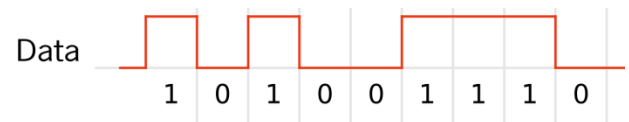
8.2 Nhiễu trong hệ thống điều chế PCM

8.3 Điều chế Delta và mã hóa dự đoán

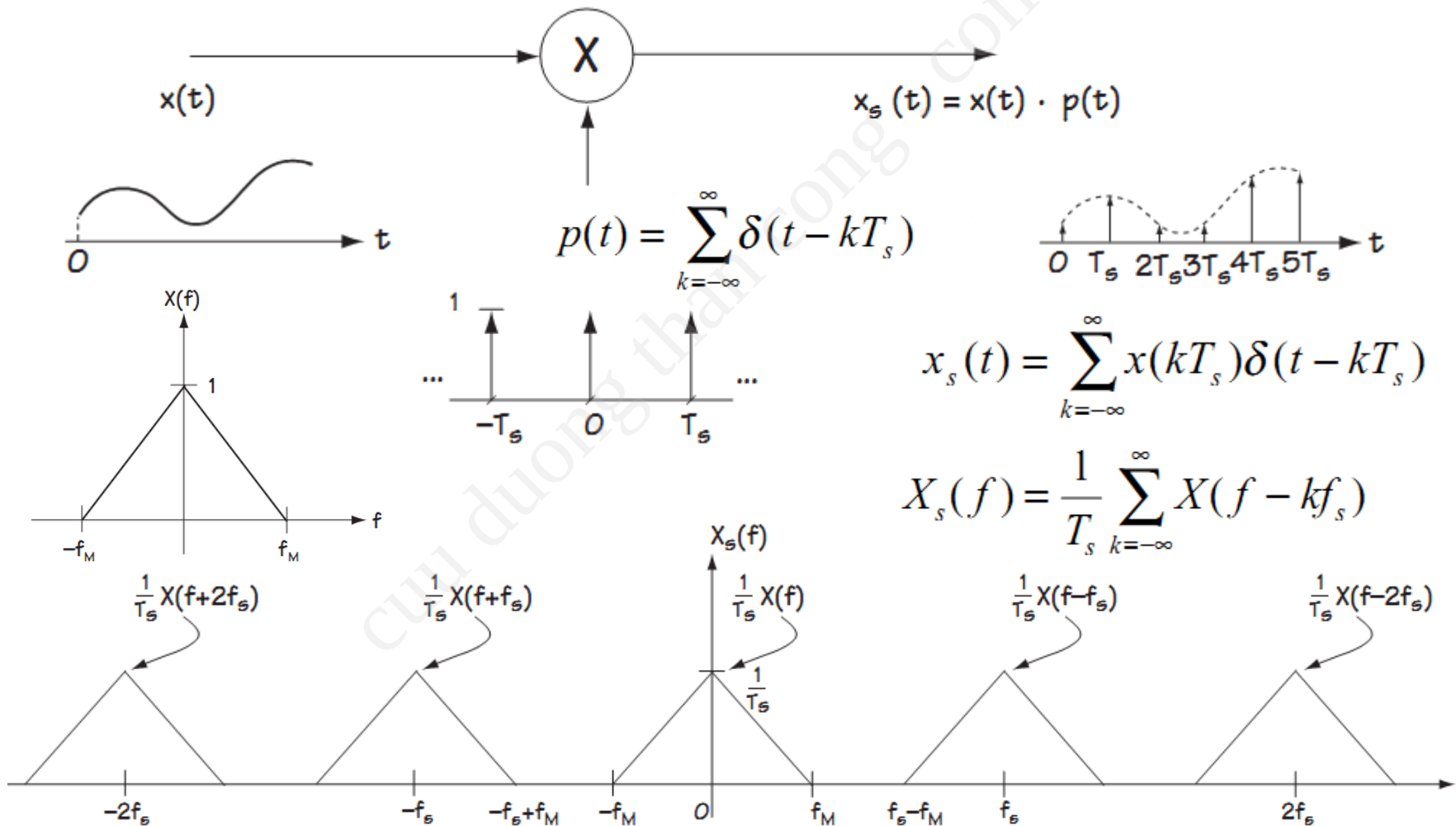
8.4 Điều chế số sóng mang liên tục ASK, FSK, PSK và QAM

8.5 Hệ thống ghép kênh số TDM

# Phân loại điều chế

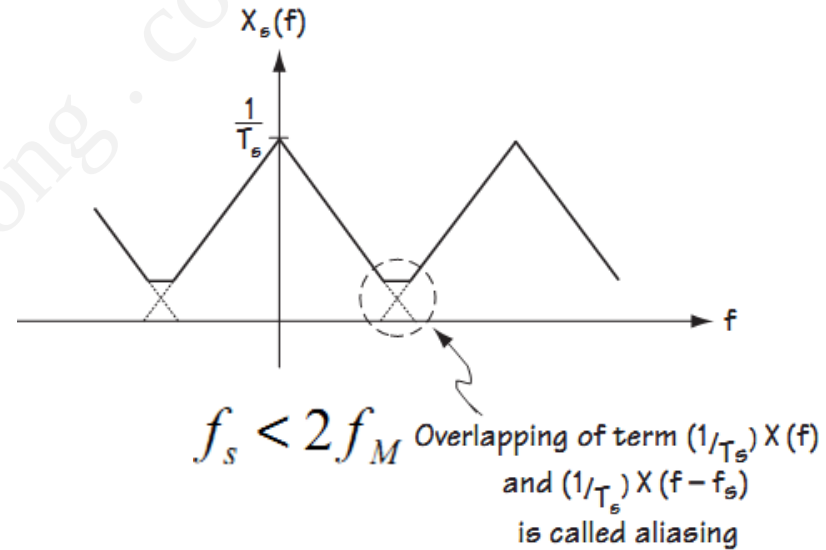
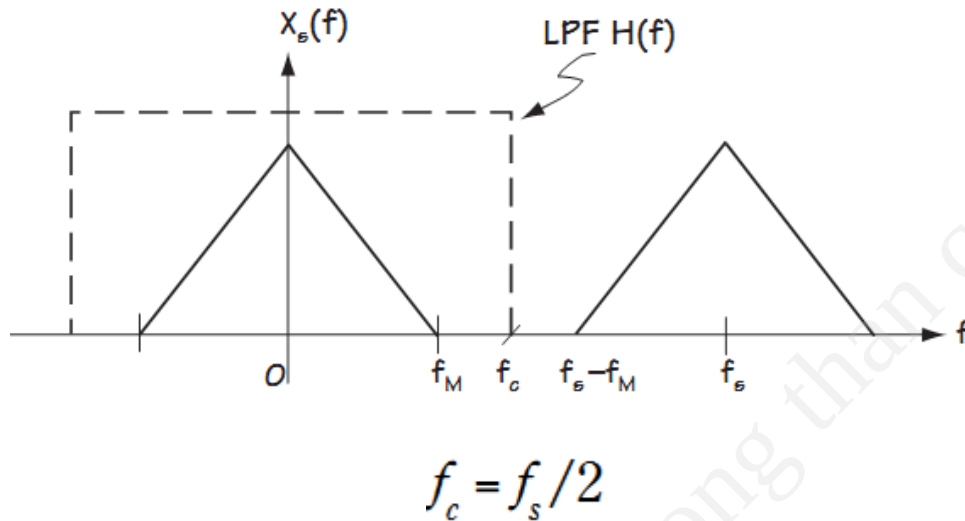


# Lấy mẫu lý tưởng



# Khôi phục lý tưởng

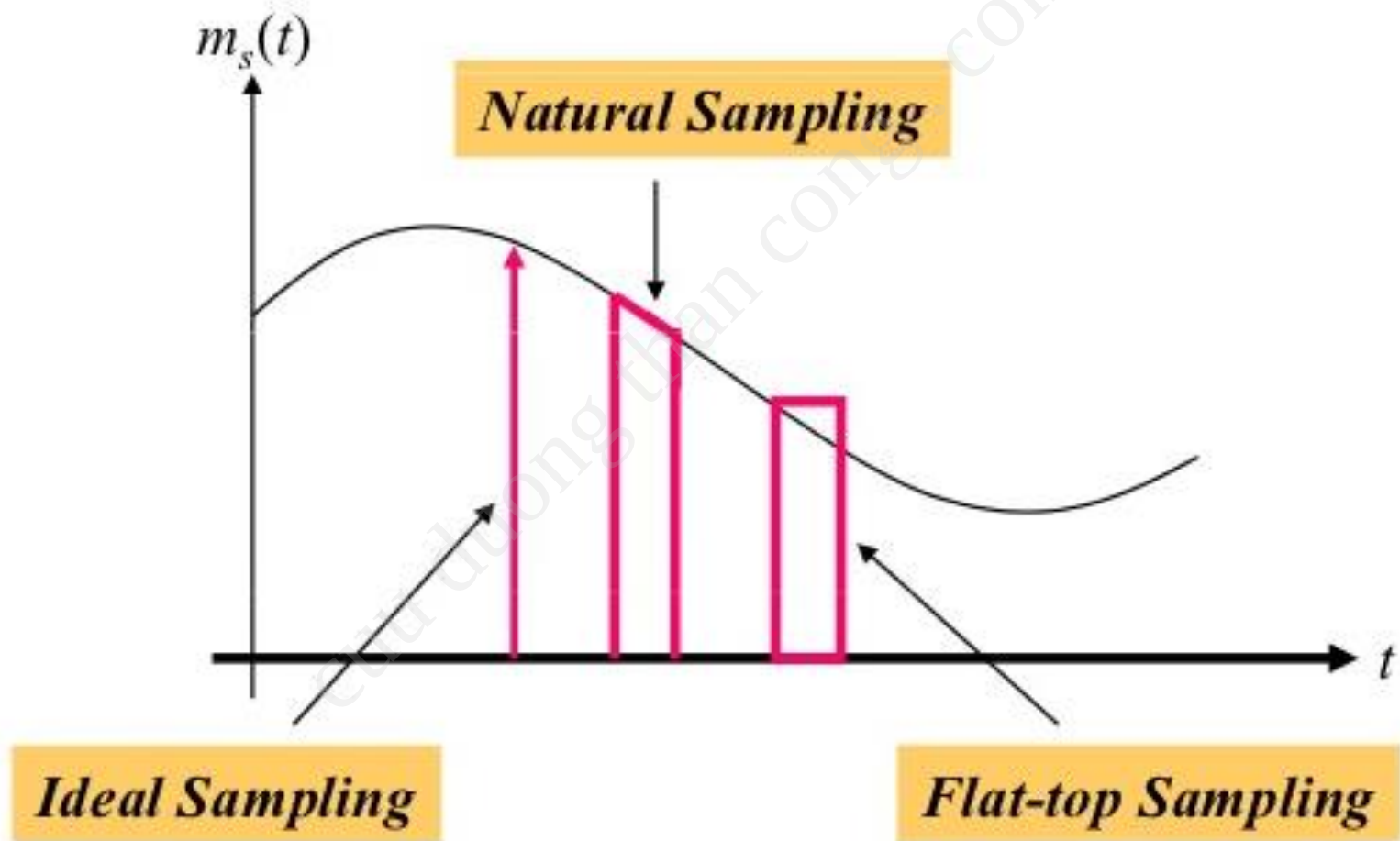
## Định lý lấy mẫu Nyquist



$$f_s > f_N = 2f_M$$

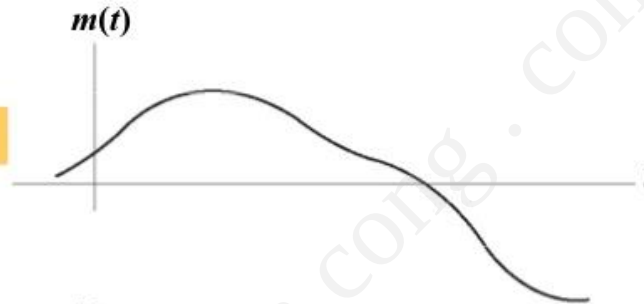


# Lấy mẫu thực tế và ứng dụng điều chế xung PAM

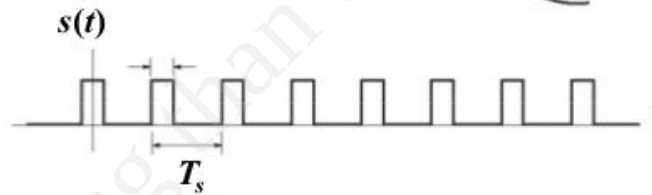


# PAM có cực

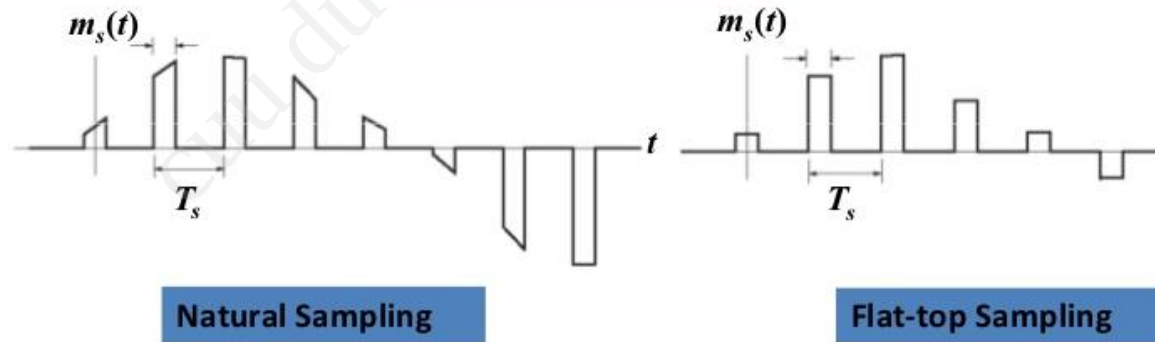
Information signal



Pulse signal



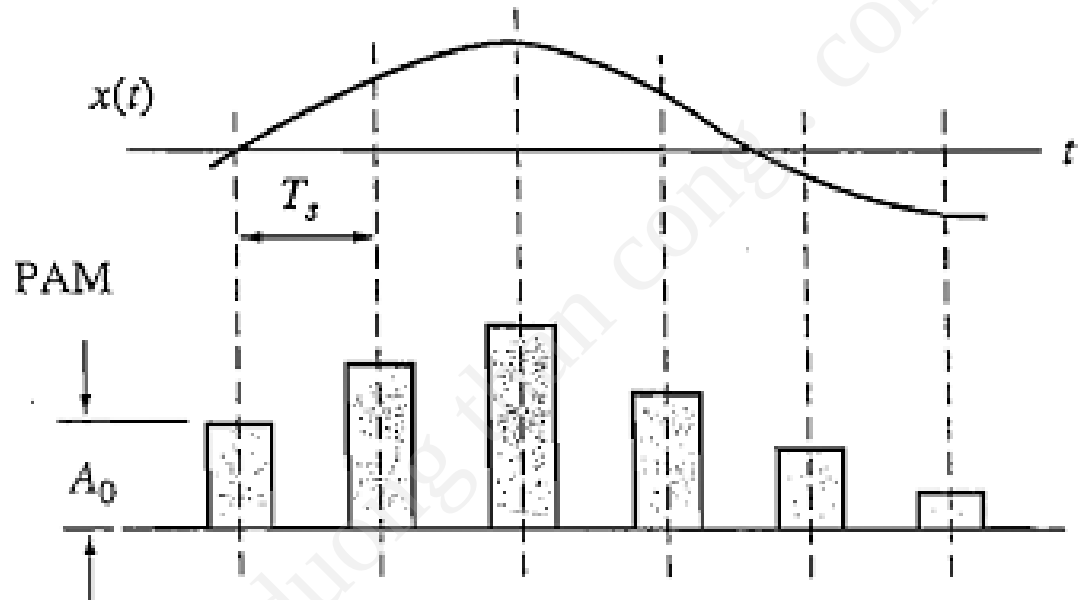
Sampled signal (PAM)



Natural Sampling

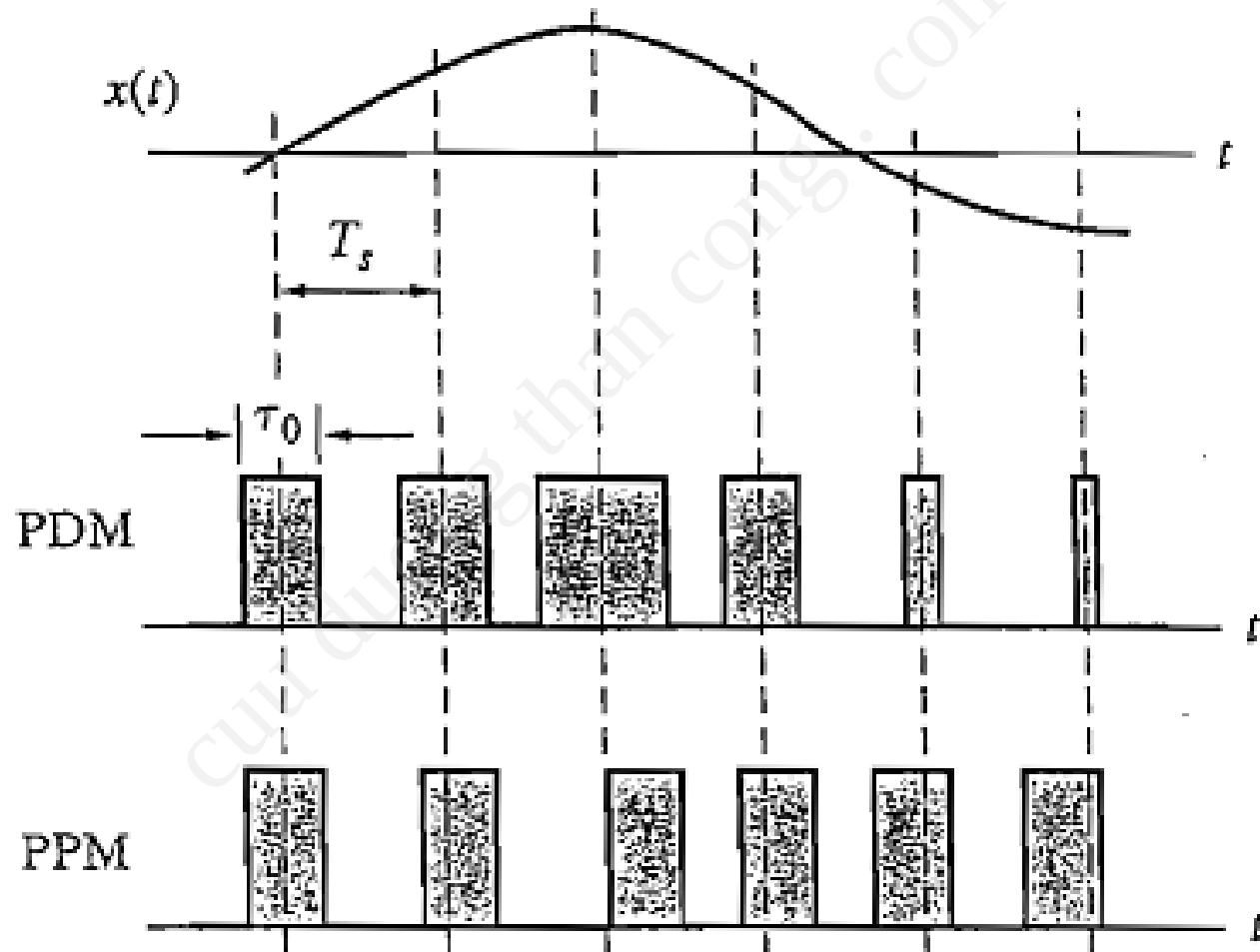
Flat-top Sampling

# PAM đơn cực



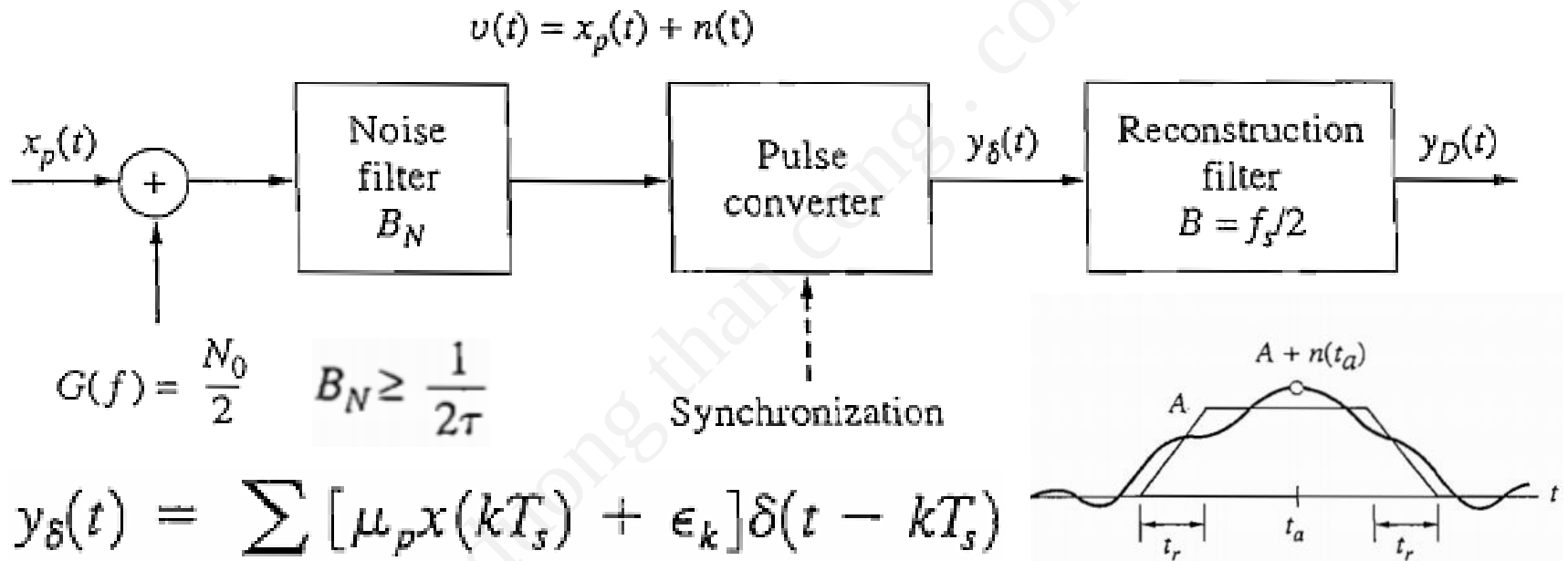
$$x_p(t) = \sum_k A_0 [1 + \mu x(kT_s)] p(t - kT_s) \quad 1 + \mu x(t) > 0$$

# PDM (PWM) và PPM





# Mô hình bộ thu điều chế xung tự





# SNR với điều chế xung tự

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{S_D}{N_D} = \frac{\mu_p^2}{\sigma^2} S_x \quad \mu_p = A_0 \mu \quad S_R = f_s A_0^2 (1 + S_x) \tau$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{S_x}{1 + S_x} \frac{2S_R}{N_0 f_s} = \frac{S_x}{1 + S_x} \left(\frac{2W}{f_s}\right) \gamma \quad \text{PAM} \quad \mu = 1$$

$x(t)$  has no dc component

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{4\mu_p^2 B_T A^2}{N_0} S_x = 4\mu_p^2 B_T \frac{S_R}{N_0 f_s \tau_0} S_x \quad S_R = f_s A^2 \tau_0$$

short risetime

$$= 4\mu_p^2 B_T \left(\frac{W}{f_s \tau_0}\right) S_x \gamma \quad \text{PDM or PPM} \quad B_T \geq \frac{1}{2t_r}$$

$\tau_0$  is average pulse duration in PDM or fixed pulse duration in PPM

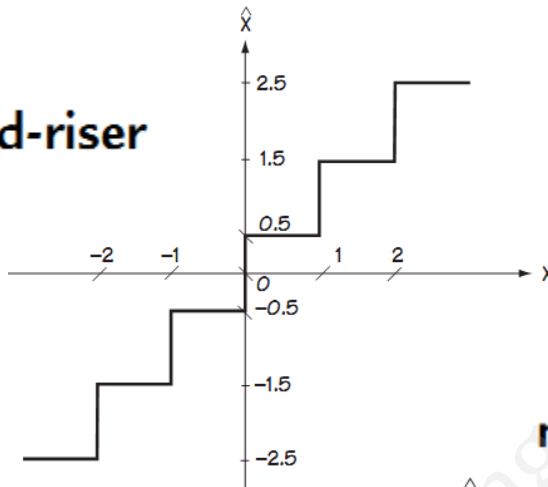


# Lượng tử (Quantization)

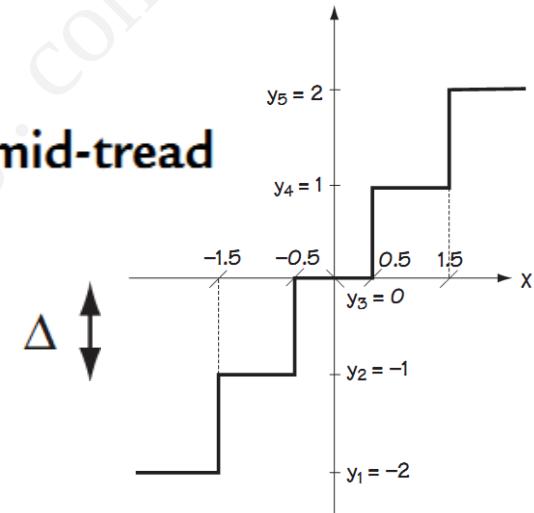
- Ánh xạ giá trị ban đầu về 1 giá trị lượng tử (trong tập hữu hạn các giá trị lượng tử) → sai số (nhiều) lượng tử
  - Lượng tử đều: khoảng cách giữa các giá trị lượng tử liên kề bằng nhau
  - Lượng tử không đều: khoảng cách giữa các giá trị lượng tử liên kề khác nhau
- Nguyên tắc lượng tử phổ biến là làm tròn gần nhất (sai số tuyệt đối nhỏ nhất)

# Phân loại bộ lượng tử

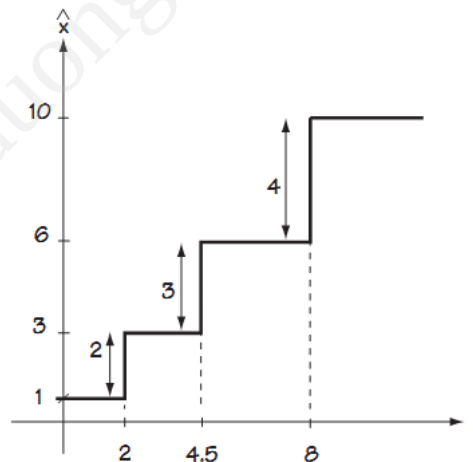
mid-riser



mid-tread

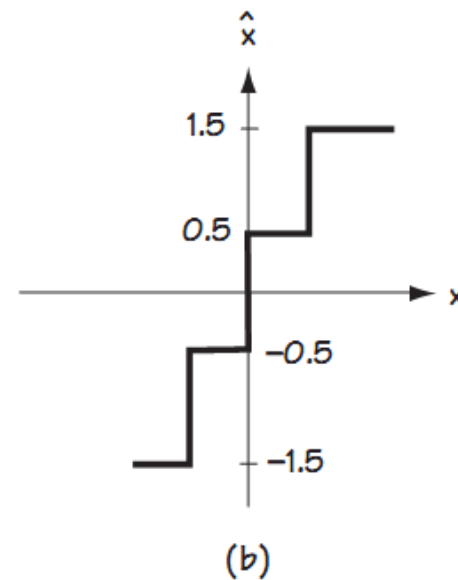
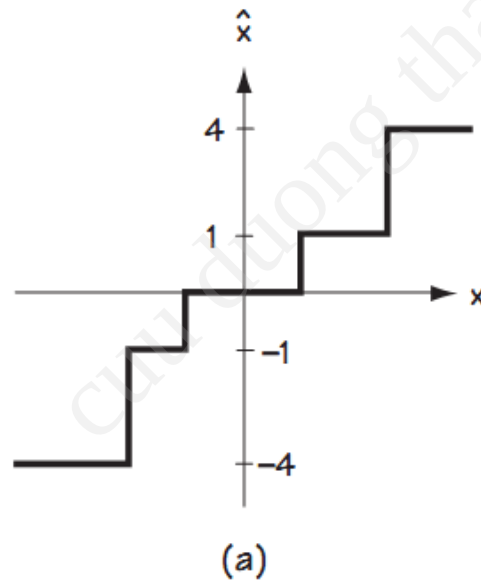


non-uniform

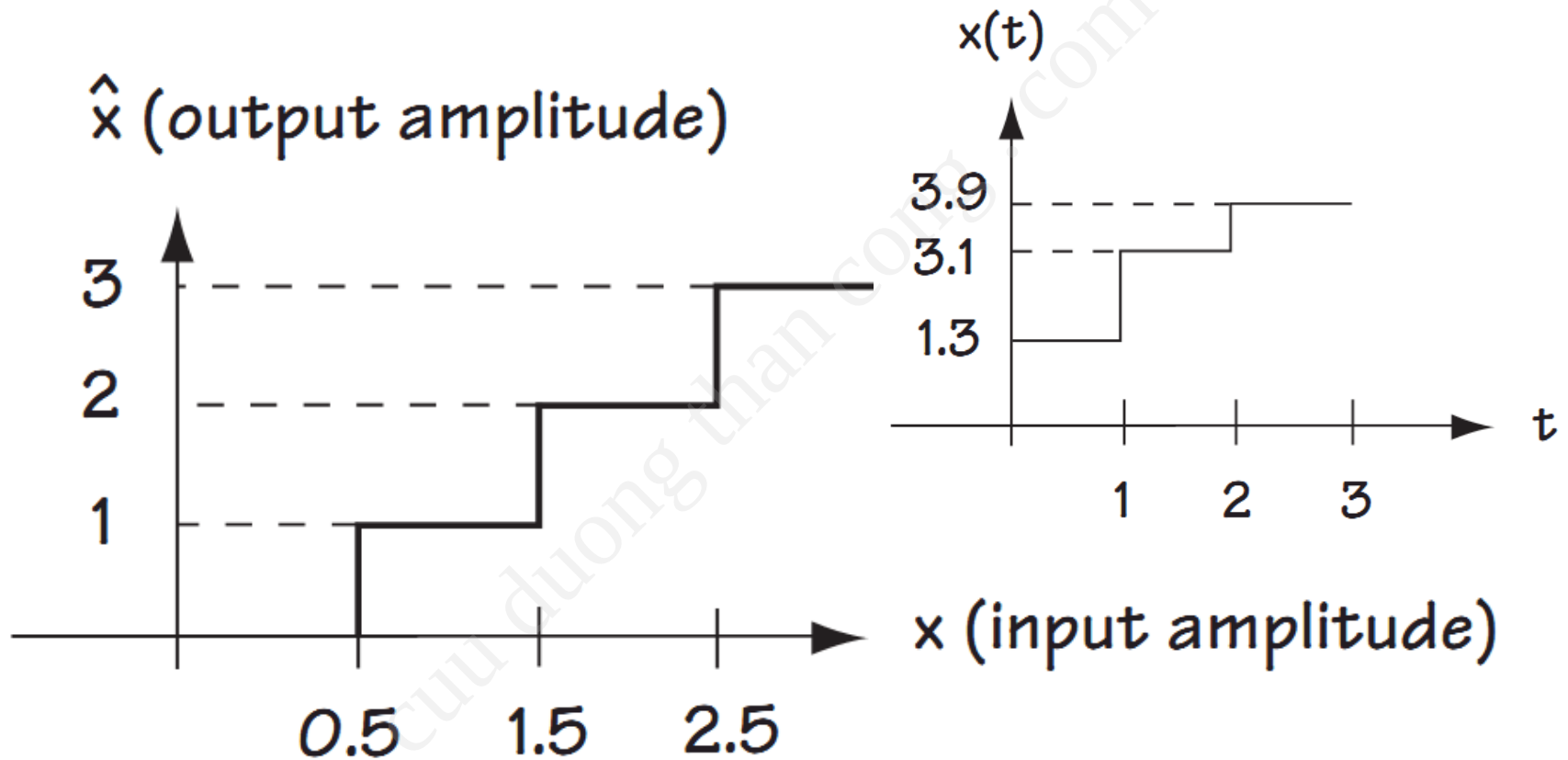


# Ví dụ 1

- Xác định loại bộ lượng tử
  - Mid-tread hay mid-riser?
  - Uniform hay non-uniform?



# Ví dụ 2



- Vẽ ngõ ra bộ lượng tử theo thời gian  $[0 - 3]$ ?



# Mã hóa

- Ánh xạ giá trị lượng tử thành từ mã riêng biệt.
  - Mã hóa M-ary: dùng  $M > 1$  chữ số (digit) chuẩn
  - Mã hóa nhị phân: chỉ dùng  $M=2$  bit  $\{0, 1\}$
- Xét mã hóa với chiều dài từ mã không đổi  $v > 0$ .
  - Số lượng từ mã tối đa:  $M^v$
- Điều kiện: số mức lượng tử  $\leq$  số lượng từ mã tối đa



# Bit và ký hiệu

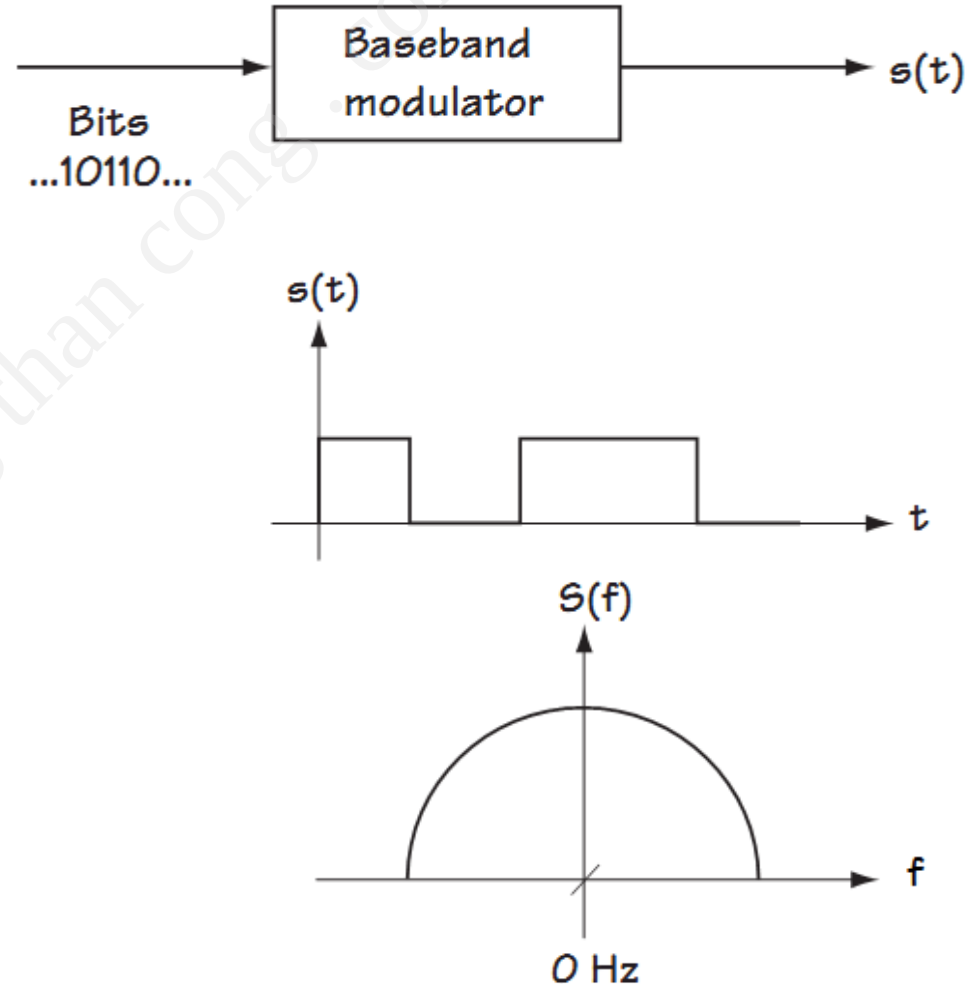
- Truyền nhị phân: chỉ có 2 ký hiệu truyền (mỗi bit tương ứng 1 ký hiệu)
- Truyền M-ary: có  $M_s$  ký hiệu truyền khác nhau (gom các bit để thành  $M_s$  ký hiệu khác nhau)
  - Chu kì (khoảng, độ rộng) bit:  $T_b$
  - Tốc độ bit:  $r_b$
  - Chu kì ký hiệu:  $T_s$
  - Tốc độ ký hiệu:  $r_s$





# Điều chế số băng gốc (Baseband digital modulation)

- Sử dụng tín hiệu xung để truyền các bit (ký hiệu) thông tin → phổ băng gốc
  - Mã hóa đường dây: xung ngắn hữu hạn
  - Định dạng xung: xung trải rộng
- Ưu nhược điểm của truyền nhị phân và truyền M-ary?

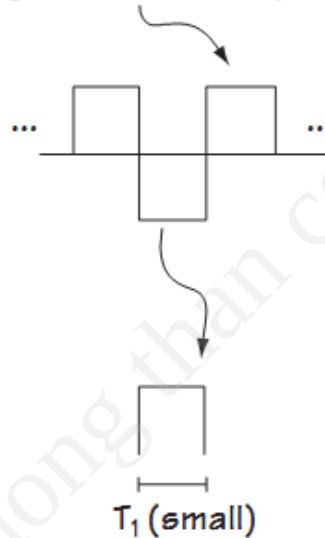


# Băng thông truyền tín hiệu xung ngắn hữu hạn

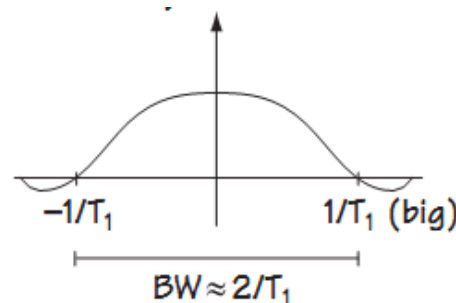
- Băng thông 1 phía (tần số dương) và băng thông 2 phía
- Băng thông null
- Băng thông tối thiểu

$$B_T \geq \frac{1}{2\tau}$$

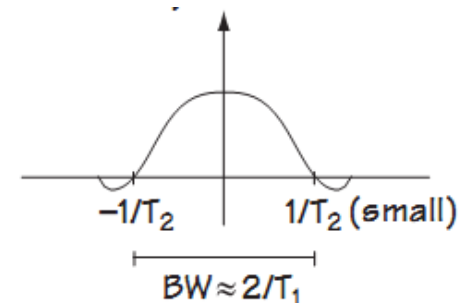
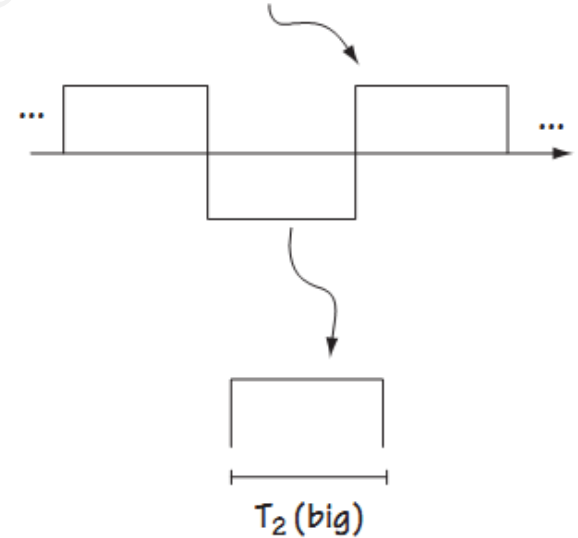
High bit rate = many bits/sec



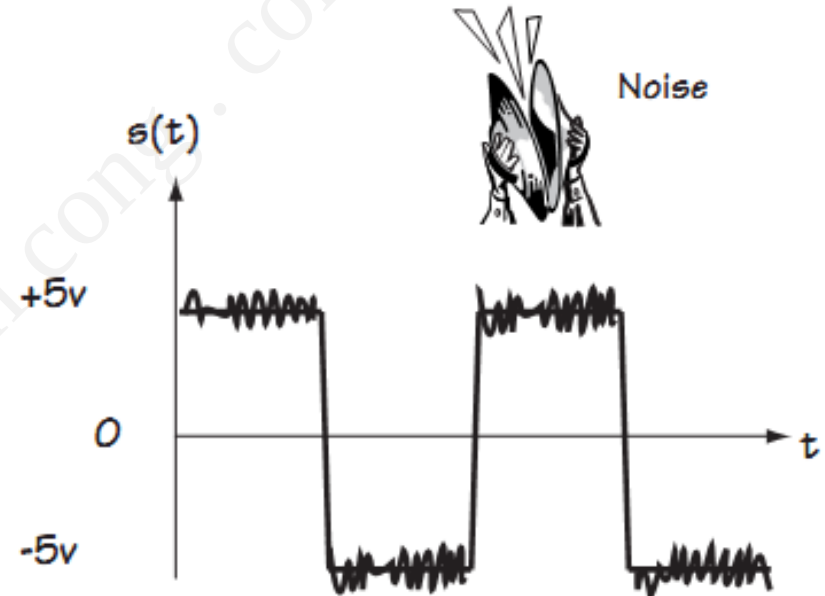
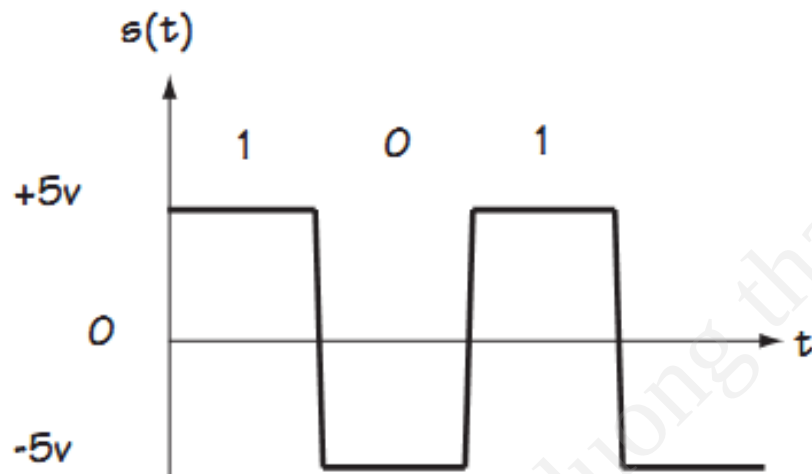
$$x(t) = A \text{rect}(t/T) \Leftrightarrow X(f) = AT \text{sinc}(fT)$$

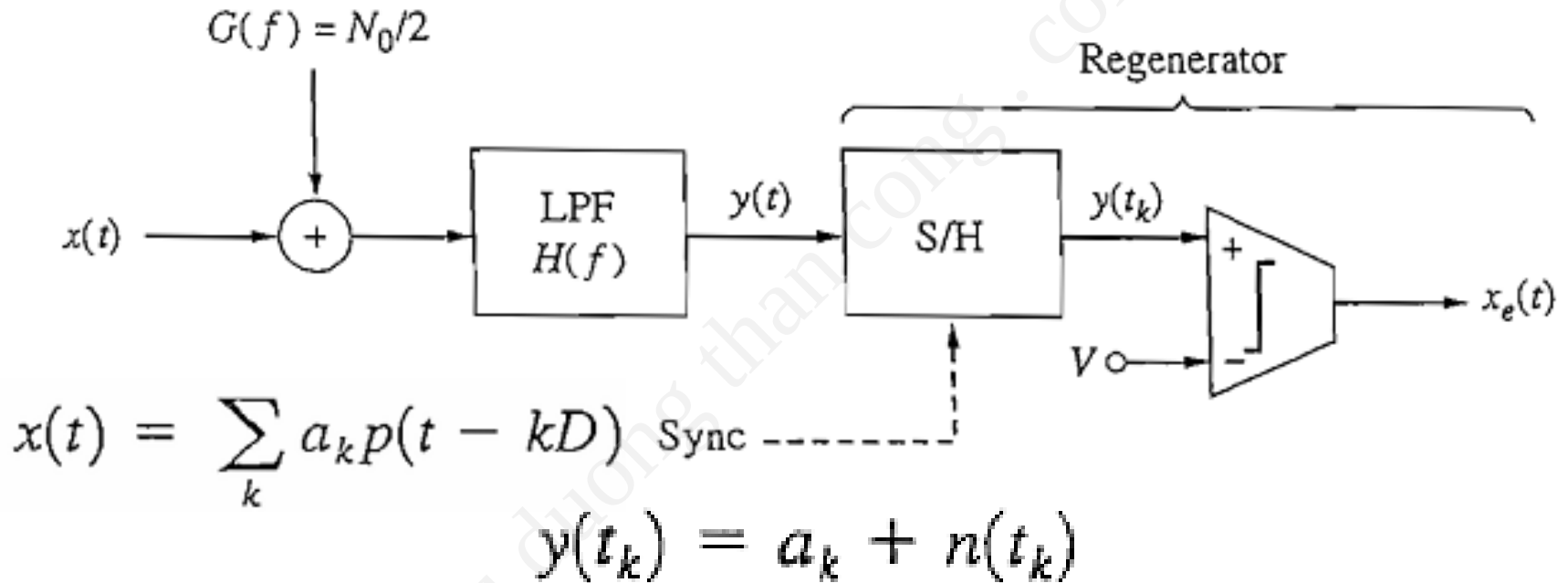


Low bit rate = few bits/sec



# Khả năng chống nhiễu





Assumed that the noise is with Gaussian distribution with zero mean and variance  $\sigma^2$ , so:

$$p_N(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-n^2/2\sigma^2}$$

# Xác suất lỗi bit

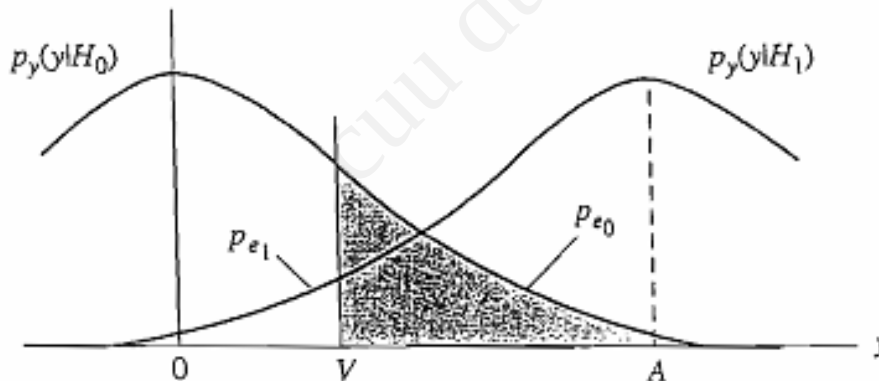
The comparator implements the **decision rule**:

- Choose  $H_0$  ( $a_k = 0$ ), if  $Y < V$
- Choose  $H_1$  ( $a_k = A$ ), if  $Y > V$

The corresponding regeneration error probabilities are then given by:

$$P_{e0} \triangleq P(Y > V | H_0) = \int_V^{\infty} p_Y(y | H_0) dy$$

$$P_{e1} \triangleq P(Y < V | H_1) = \int_{-\infty}^V p_Y(y | H_1) dy$$





# Xác suất lỗi bit (2)

The threshold value is adjusted to minimize the **average error probability**:

$$P_e = P_0 P_{e0} + P_1 P_{e1}$$

where

$$P_0 = P(H_0) \quad P_1 = P(H_1)$$

Normally,

$$P_0 = P_1 = \frac{1}{2} \quad P_e = \frac{1}{2}(P_{e0} + P_{e1})$$

Then, for optimum threshold  $V_{\text{opt}}$ , we have:

$$p_Y(V_{\text{opt}}|H_0) = p_Y(V_{\text{opt}}|H_1)$$

$$P_{e0} = \int_V^{\infty} p_N(y) dy = Q\left(\frac{V}{\sigma}\right) \quad P_{e1} = \int_{-\infty}^V p_N(y - A) dy = Q\left(\frac{A - V}{\sigma}\right)$$

$$P_e = Q\left(\frac{A}{2\sigma}\right)$$



# Xác suất lỗi theo năng lượng/công suất trung bình

$$\left(\frac{A}{2\sigma}\right)^2 = \frac{A^2}{4N_R} = \begin{cases} \frac{1}{2}(S/N)_R & \text{Unipolar} \\ (S/N)_R & \text{Polar} \end{cases}$$

$$E_b = \overline{a_k^2} \int_{-\infty}^{\infty} p^2(t) dt = \overline{a_k^2} \tau_{eq}$$

$$(A/2\sigma)^2 = \begin{cases} E_b/N_0 = \gamma_b & \text{Unipolar} \\ 2E_b/N_0 = 2\gamma_b & \text{Polar} \end{cases}$$

$$P_e = \begin{cases} Q(\sqrt{\gamma_b}) & \text{Unipolar} \\ Q(\sqrt{2\gamma_b}) & \text{Polar} \end{cases}$$



## Ví dụ 3

Consider a unipolar system with equally likely digits and  $(S/N)_R = 50$ . Calculate  $P_{e_0}$ ,  $P_{e_1}$ , and  $P_e$  when the threshold is set at the nonoptimum value  $V = 0.4A$ . Compare  $P_e$  with the minimum value from Eq. (7).

$$A/\sigma = 2 \sqrt{\frac{1}{2} \times 50} = 10$$

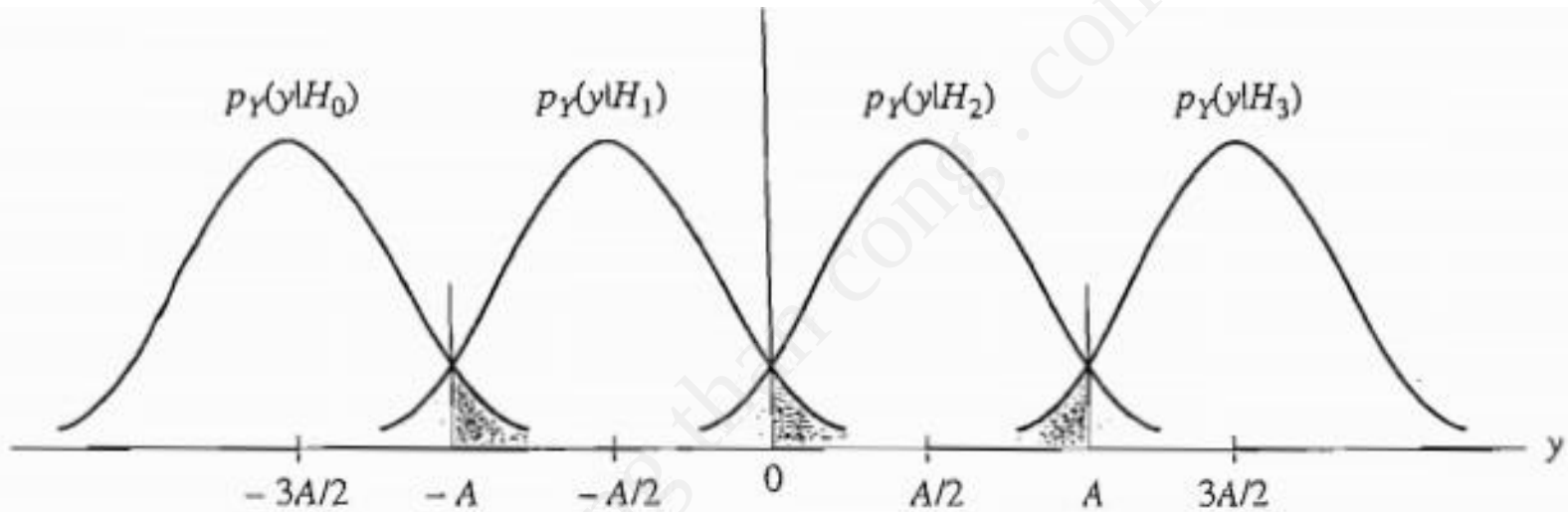
$$P_{e_0} = Q(0.4 \times 10) \approx 3.4 \times 10^{-5}, P_{e_1} = Q(0.6 \times 10) \approx 1.2 \times 10^{-9}$$

$$P_e = \frac{1}{2} (P_{e_0} + P_{e_1}) \approx 1.7 \times 10^{-5}$$

$$\text{whereas } P_{e_{\min}} = Q(0.5 \times 10) \approx 3 \times 10^{-7}$$



# Xác suất lỗi M-ary



Then  $P_{e_0} = P_{e_{M-1}} = Q(A/2\sigma)$  while the  $M - 2$  inner levels have doubled error probability, yielding the average error probability

$$2\left(1 - \frac{1}{M}\right)Q\left(\frac{A}{2\sigma}\right) \approx 2Q(A/2\sigma)$$

$$P_{be} \approx P_e / \log_2 M$$

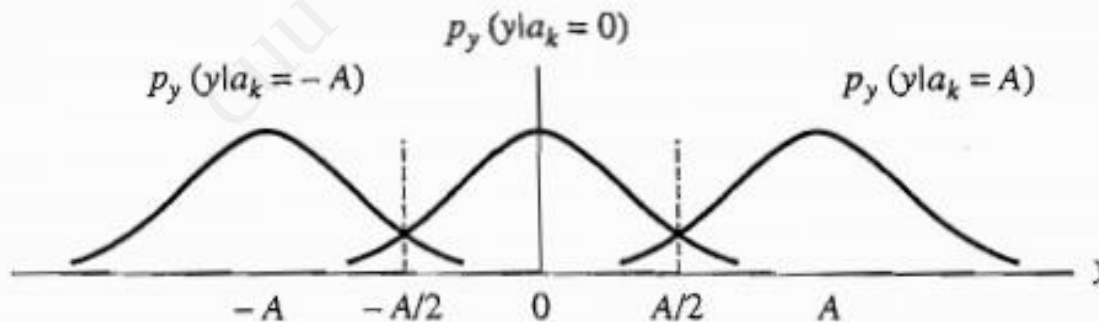
# Ví dụ 4

Consider the three-level bipolar binary format in Fig. 11.1–1c with amplitude probabilities  $P(a_k = 0) = 1/2$  and  $P(a_k = +A) = P(a_k = -A) = 1/4$ . Make a sketch similar to Fig. 11.2–8 and find  $P_e$  in terms of  $A$  and  $\sigma$  when the decision thresholds are at  $y = \pm A/2$ . Then calculate  $S_R$  and express  $P_e$  in a form like Eq. (16).

$$P_e = \frac{1}{2} \times 2Q(A/2\sigma) + 2 \times \frac{1}{4} Q(A/2\sigma) = \frac{3}{2} Q(A/2\sigma)$$

$$S_R = \frac{1}{4} A^2 + \frac{1}{4} (-A)^2 + \frac{1}{2} 0 = \frac{A^2}{2}, \left( \frac{A}{2\sigma} \right)^2 = \frac{2S_R}{4N_R} \leq \frac{S_R}{2N_0 r_b/2} = \gamma_b$$

$$\text{so } P_e = \frac{3}{2} Q(\sqrt{\gamma_b})$$





# Dung lượng kênh Shannon (1949)

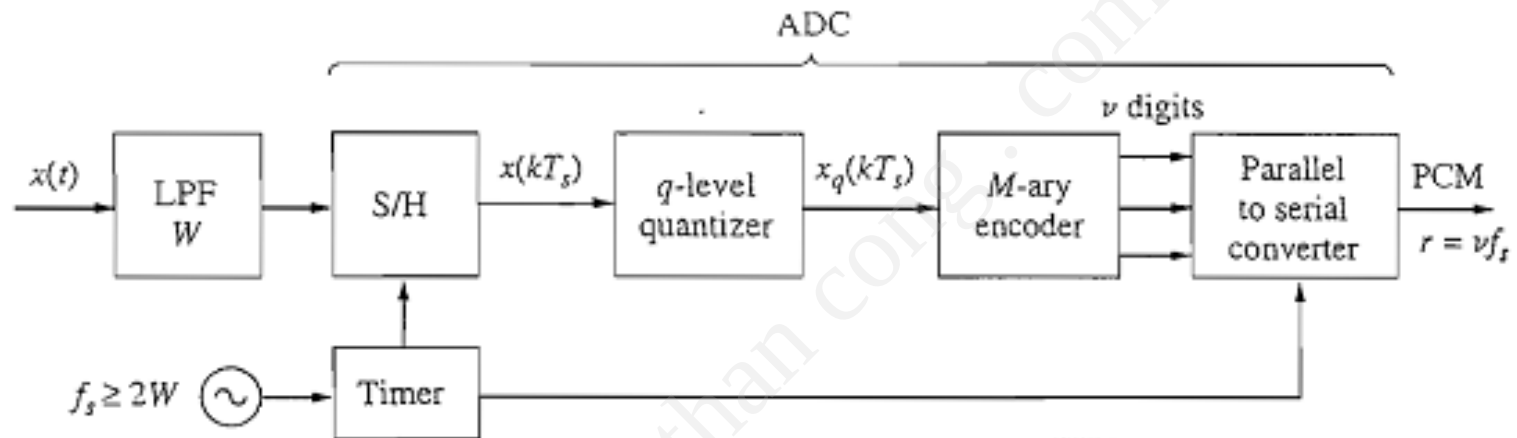
- Theo lý thuyết (Shannon), **tốc độ truyền thông tin tối đa** qua kênh truyền có **băng thông B** và **nhiều AWGN** với **SNR** cho trước để **đảm bảo thu không lỗi**:  **$R_b \leq B \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$**
- Dung lượng kênh Shannon
  - Tính theo bits/s
  - Tính theo bits/s/Hz
- Ý nghĩa: cho đến đầu những năm 2000 đã xuất hiện những giải pháp thực tiễn tiến gần đến giới hạn dung lượng kênh Shannon nhờ kỹ thuật mã hóa kênh.



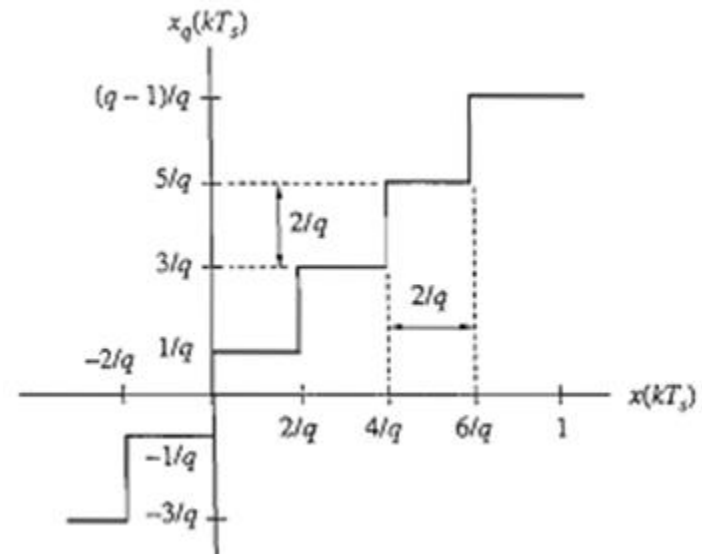
## 8.1 Điều chế mã xung (PCM)

- Hệ thống tạo PCM
- Hệ thống thu PCM
- Các thông số
  - Số digit chuẩn: M-ary
  - Số digit mã hóa:  $v$
  - Số mức lượng tử:  $q$
  - Tần số lớn nhất ngõ vào:  $W$
  - Tần số lấy mẫu:  $F_s$
  - Tốc độ ký hiệu:  $r$
  - Băng thông truyền:  $B_T$

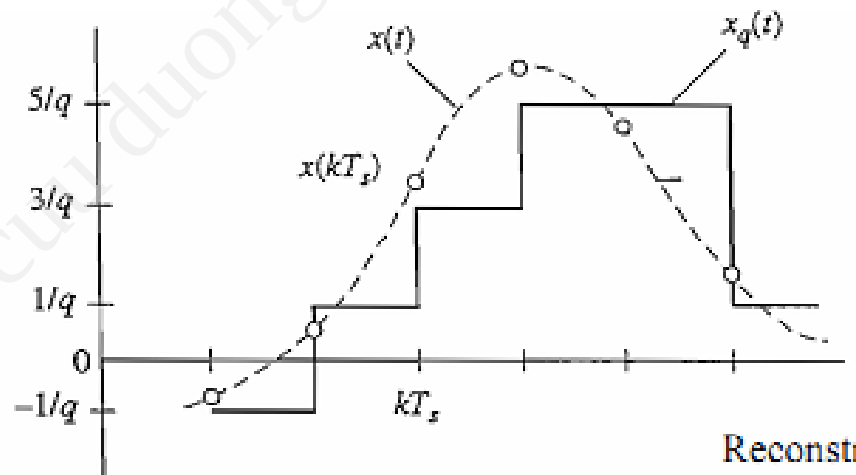
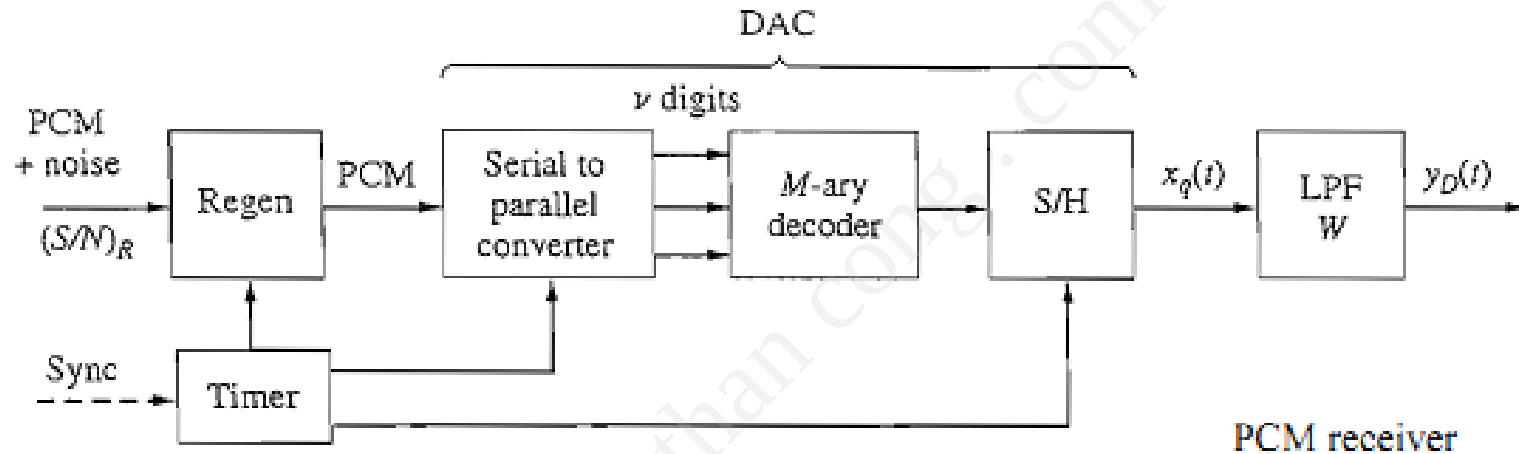
# Hệ thống tạo PCM



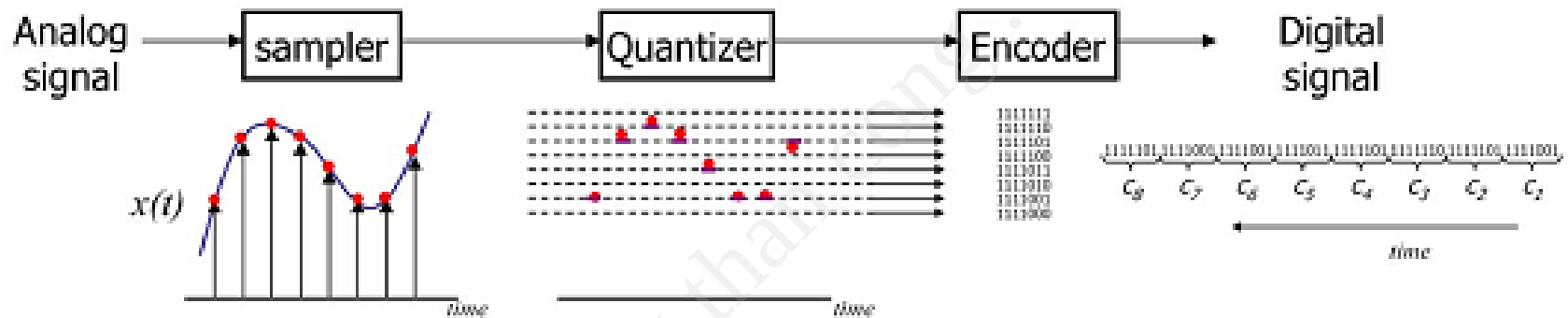
- Phạm vi giá trị tín hiệu ngõ vào  $x(t)$ :  $\pm 1$
- Lượng tử đều
- Điều kiện của  $M$  và  $\nu$ ?



# Hệ thống thu PCM



Reconstructed waveform

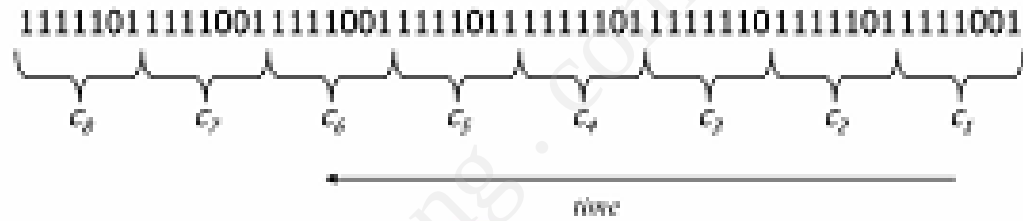


**Sampling:** a continuous-time signal is sampled by measuring its amplitude at discrete time instants.

**Quantizing:** represents the sampled values of the amplitude by a finite set of levels

**Encoding:** designates each quantized level by a digital code

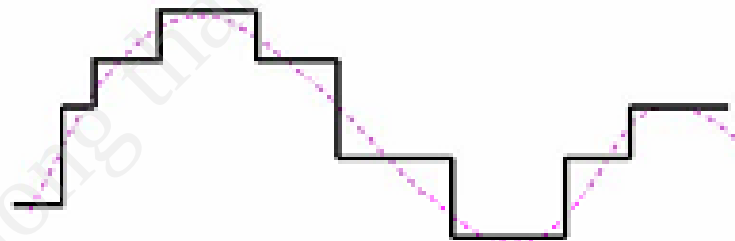
Received  
digital signal



decoding



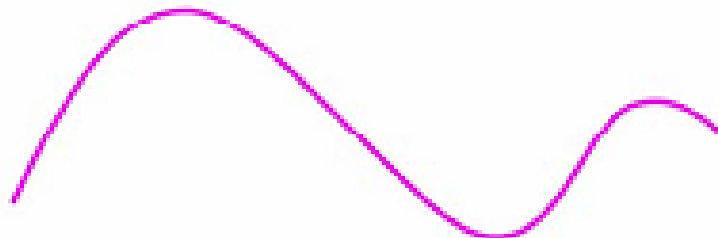
Recovered signal  
with discrete levels



interpolation

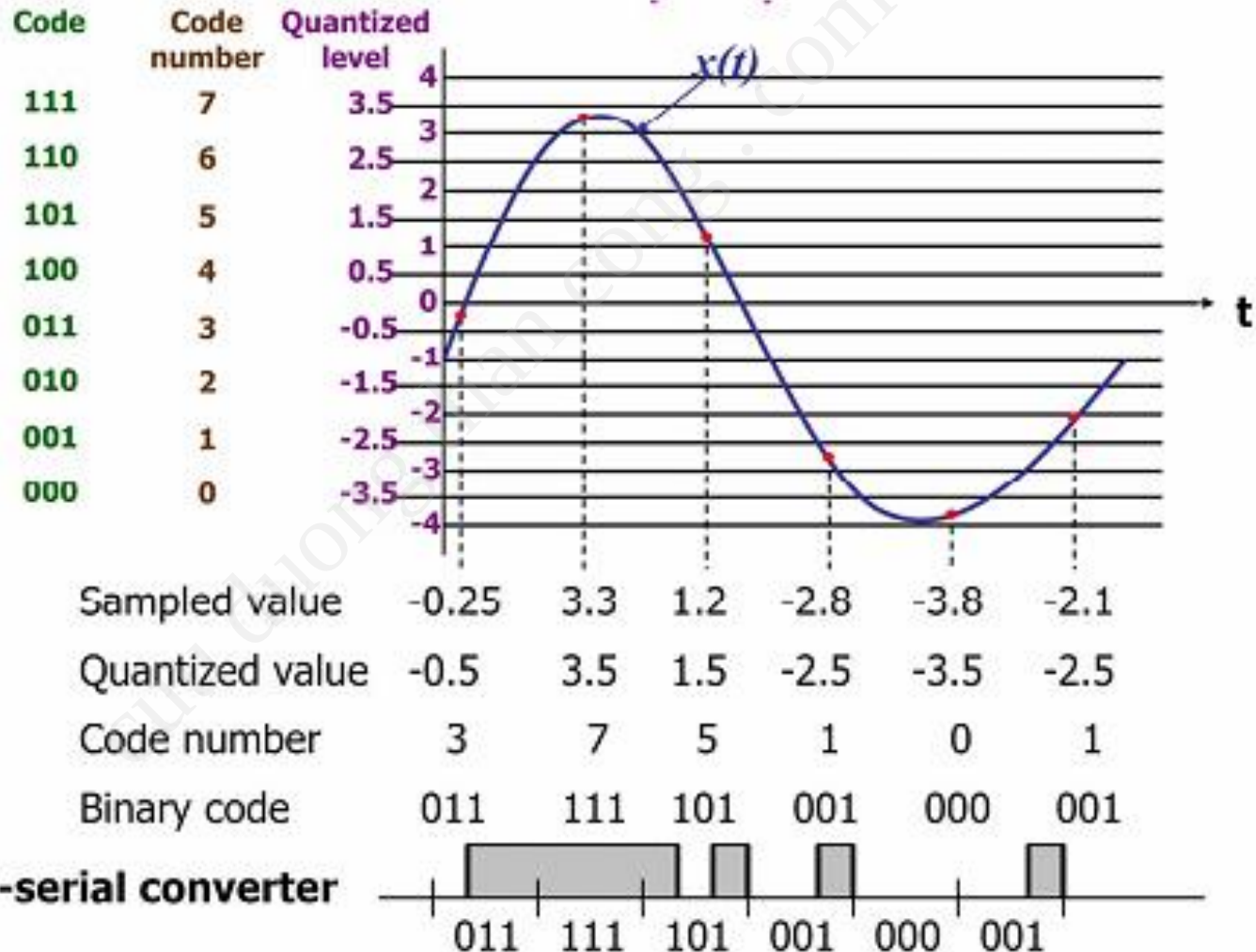


Recovered  
analog signal





# Ví dụ 5





# Các thông số PCM

The **encoder** works with  $M$ -ary digits and produces for each sample a **code word** of  $\nu$  digits. If the quantizer has  $q$  **quantum levels**, then:

$$q = M^\nu \quad \nu = \log_M q$$

For binary PCM,  $q = 2^\nu$ .

The signaling rate becomes:  $r = \nu f_s$ , where  $f_s \geq 2W$ .

Therefore, the **bandwidth** needed for PCM baseband transmission is:

$$B_T \geq \frac{1}{2} r = \frac{1}{2} \nu f_s \geq \nu W$$



## Ví dụ 6

A binary channel with  $r_b = 36,000$  bits/sec is available for PCM voice transmission. Find appropriate values of  $\nu$ ,  $q$ , and  $f_s$  assuming  $W \approx 3.2$  kHz.

$$\nu f_s \leq 36,000 \text{ and } f_s \geq 2W = 6400 \quad \nu \leq \frac{36,000}{6400} = 5.6 \Rightarrow \nu = 5$$

$$\text{so } q = 2^5 = 32, f_s = r/\nu = 7.2 \text{ kHz}$$



## 8.2 Nhiều trong PCM

- Nhiều lượng tử đều
- SNR lượng tử đều
- Lượng tử không đều
  - Mục đích
  - Nguyên tắc
  - Thực hiện
    - Tối ưu
    - Bộ nén giãn
      - Luật A
      - Luật  $\mu$  ( $\mu$ )
- PCM với nhiều: ngưỡng sai



# Tính toán nhiễu lượng tử đều

- Nhiễu lượng tử: sai số lượng tử (biến ngẫu nhiên)
- Giả sử: tín hiệu ngõ vào có phạm vi giá trị  $\pm 1$ , số mức lượng tử  $q$  (đủ lớn) để sai số lượng tử độc lập và không tương quan với tín hiệu ngõ vào
  - Bước lượng tử
  - Phạm vi giá trị sai số lượng tử
  - Hàm mật độ xác suất (pdf) của sai số lượng tử
  - Giá trị trung bình của sai số lượng tử
  - Phương sai của sai số lượng tử
  - Công suất nhiễu lượng tử

# SNR lượng tử đều

- Kênh truyền lý tưởng (không nhiễu)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{S_x}{\sigma_q^2} = 3q^2 S_x$$

– Nhị phân:  $\left(\frac{S}{N}\right)_D = 10 \log_{10} (3 \times 2^{2\nu} S_x) \leq 4.8 + 6.0\nu \text{ dB}$

- Kênh truyền AWGN với xác suất lỗi  $P_e$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{3q^2}{1 + 4q^2 P_e} S_x$$

- Với tín hiệu (thoại, âm thanh, y sinh) có công suất đỉnh lớn hơn nhiều so với công suất trung bình thì SNR khá thấp



## Ví dụ 7

Consider a maternal-fetal electrocardiograph system (ECG) where the ECG signal strengths of the maternal and fetal components are on the order of 1 volt and  $100 \mu\text{V}$  respectively. Based on these signal levels, let's assume that the fetal signal has  $S_x = 5 \times 10^{-9}$ . If we employ a 1-volt bipolar 12-bit ADC, then using Eq. (7) we get a  $(S/N)_D = 4.8 + 6 \times 12 + 10 \log(5 \times 10^{-9}) = -6.2 \text{ dB}$ . On the other hand, if we use a 16-bit ADC, we get a  $(S/N)_D = 4.8 + 6 \times 16 + 10 \log(5 \times 10^{-9}) = 17.8 \text{ dB}$ . Furthermore, if we compare these two cases with respect to voltage levels, the 12-bit ADC gives us a peak-to-peak quantization noise of  $2/2^{12} = 488 \mu\text{V}$  which exceeds the  $100 \mu\text{V}$  input signal level. However, with the 16-bit ADC, we only get a peak-to-peak quantization noise of  $31 \mu\text{V}$ .



## Ví dụ 8

Consider binary PCM transmission of a video signal with  $f_s = 10$  MHz. (a) Calculate the signaling rate needed to get  $(S/N)_D \geq 50$  dB when  $S_x = 1$ . (b) Repeat (a) with  $S_x = 0.1$ .

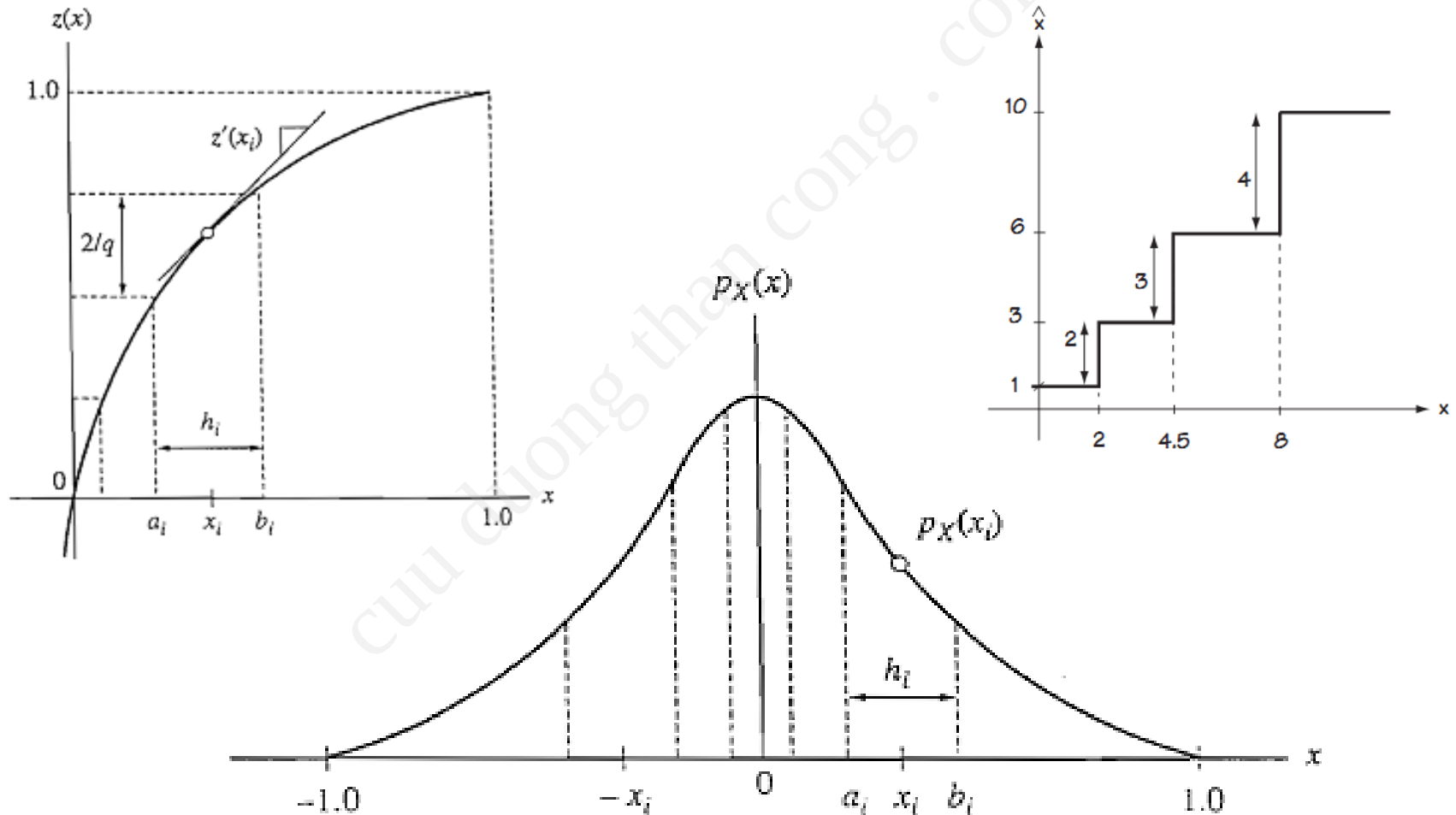
$$(a) \quad 4.8 + 6\nu \geq 50 \text{ dB} \Rightarrow \nu = 8, r = \nu f_s = 80 \text{ Mbps}$$

$$(b) \quad (S/N)_D = 4.8 + 6\nu - 10 \geq 50 \text{ dB} \Rightarrow \nu = 11, r = 110 \text{ Mbps}$$

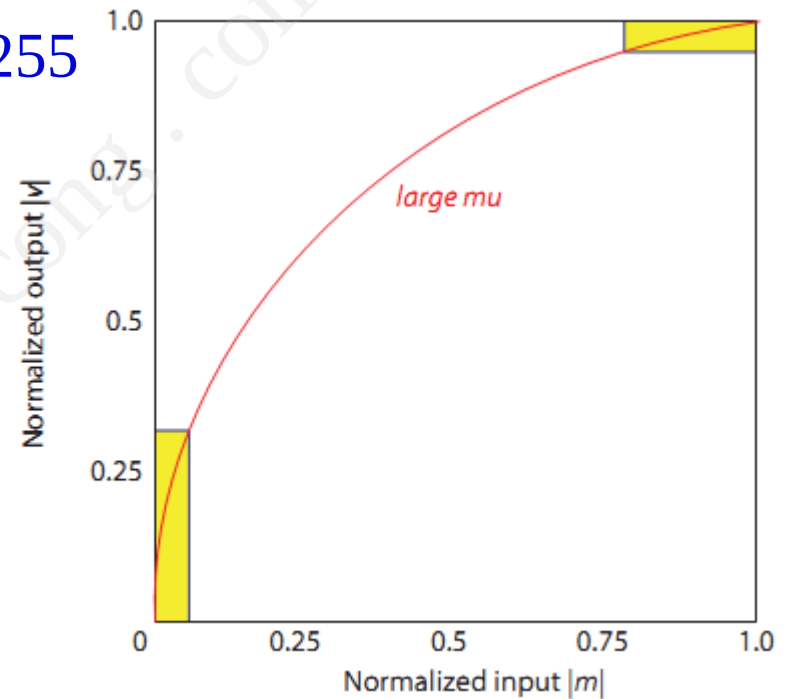
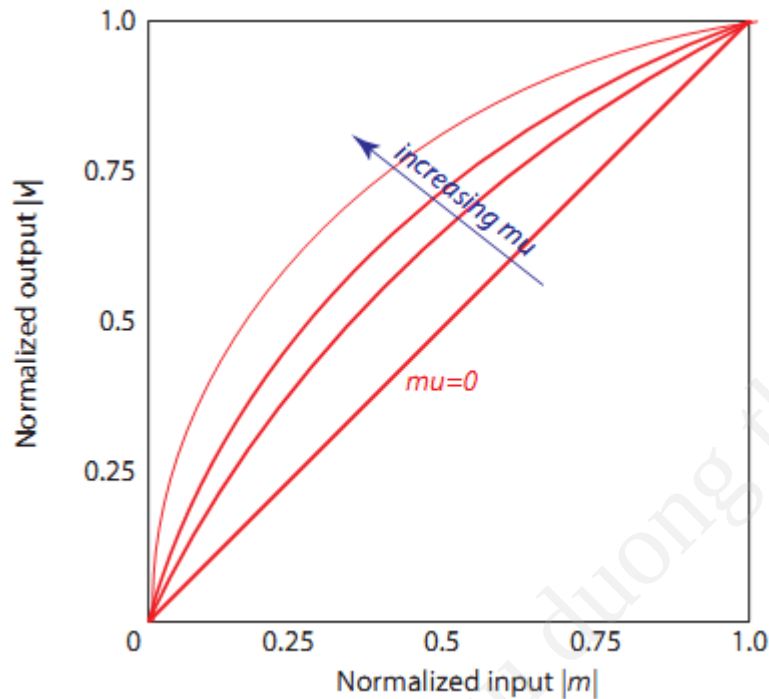




# Lượng tử không đều (non-uniform) Bộ nén giãn



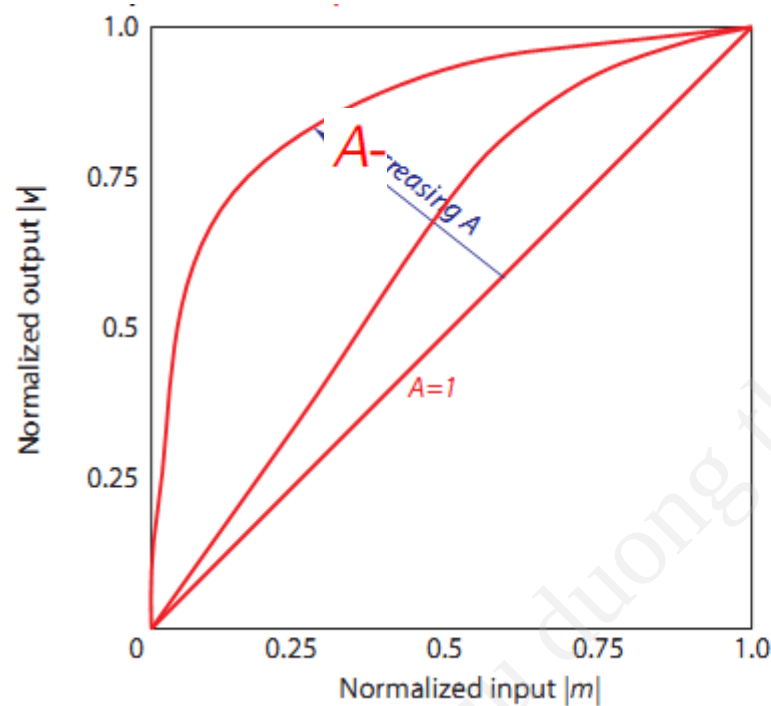
# Nén giãn luật $\mu$ (Bắc Mỹ và Nhật Bản)



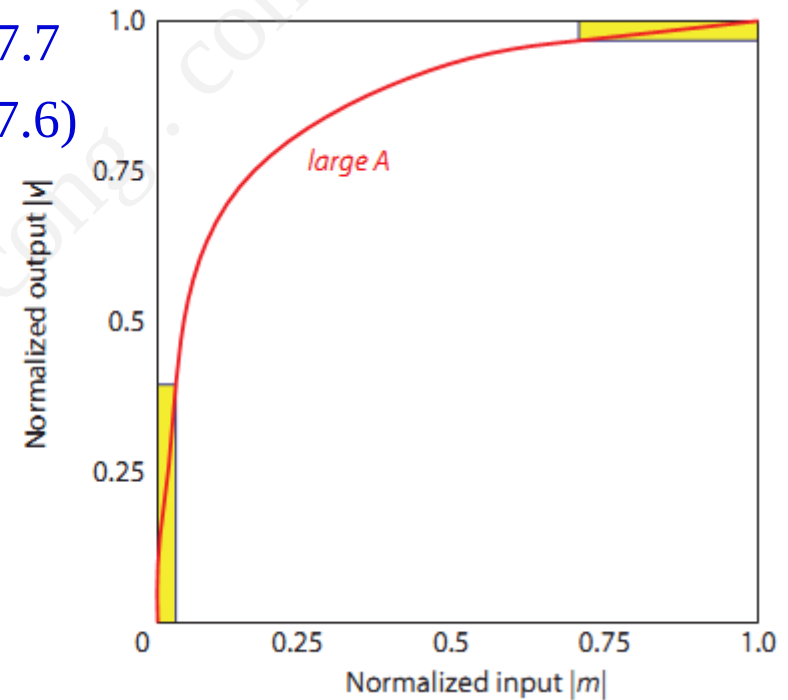
$$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad -1 \leq x \leq 1$$

$$F^{-1}(y) = \text{sgn}(y) (1/\mu) ((1 + \mu)^{|y|} - 1) \quad -1 \leq y \leq 1$$

# Nén giãn luật A (Châu Âu)



$A = 87.7$   
(87.6)



$$F(x) = \text{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1+\ln(A)}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases}$$

$$F^{-1}(y) = \text{sgn}(y) \begin{cases} \frac{|y|(1+\ln(A))}{A}, & |y| < \frac{1}{1+\ln(A)} \\ \frac{\exp(|y|(1+\ln(A))-1)}{A}, & \frac{1}{1+\ln(A)} \leq |y| < 1 \end{cases}$$

# Ví dụ 9

Companding will reduce the quantization errors. Consider a  $\mu = 255$  compandor to be used with a  $\nu = 3$  bit quantizer where the output varies over  $\pm 8.75$  V. For an input of 0.6 V, what is the  $\epsilon_k$  with and without companding?

3 – bit quantizer  $\Rightarrow$  8 levels, with  $x_{\max} = 8.75$  V  $\Rightarrow$  step size = 2.5 V.

For an input of 0.6 V  $\Rightarrow x_q = 1.25$  V  $\Rightarrow \epsilon_q = 1.25 - 0.60 = 0.65$  V.

With companding:  $z(x) = 8.75 \left( \frac{\ln(1 + 255 \times 0.6/8.75)}{\ln(1 + 255)} \right) = 4.60$

4.601 feeds to a quantizer  $\Rightarrow x'_q = 3.75$  V.

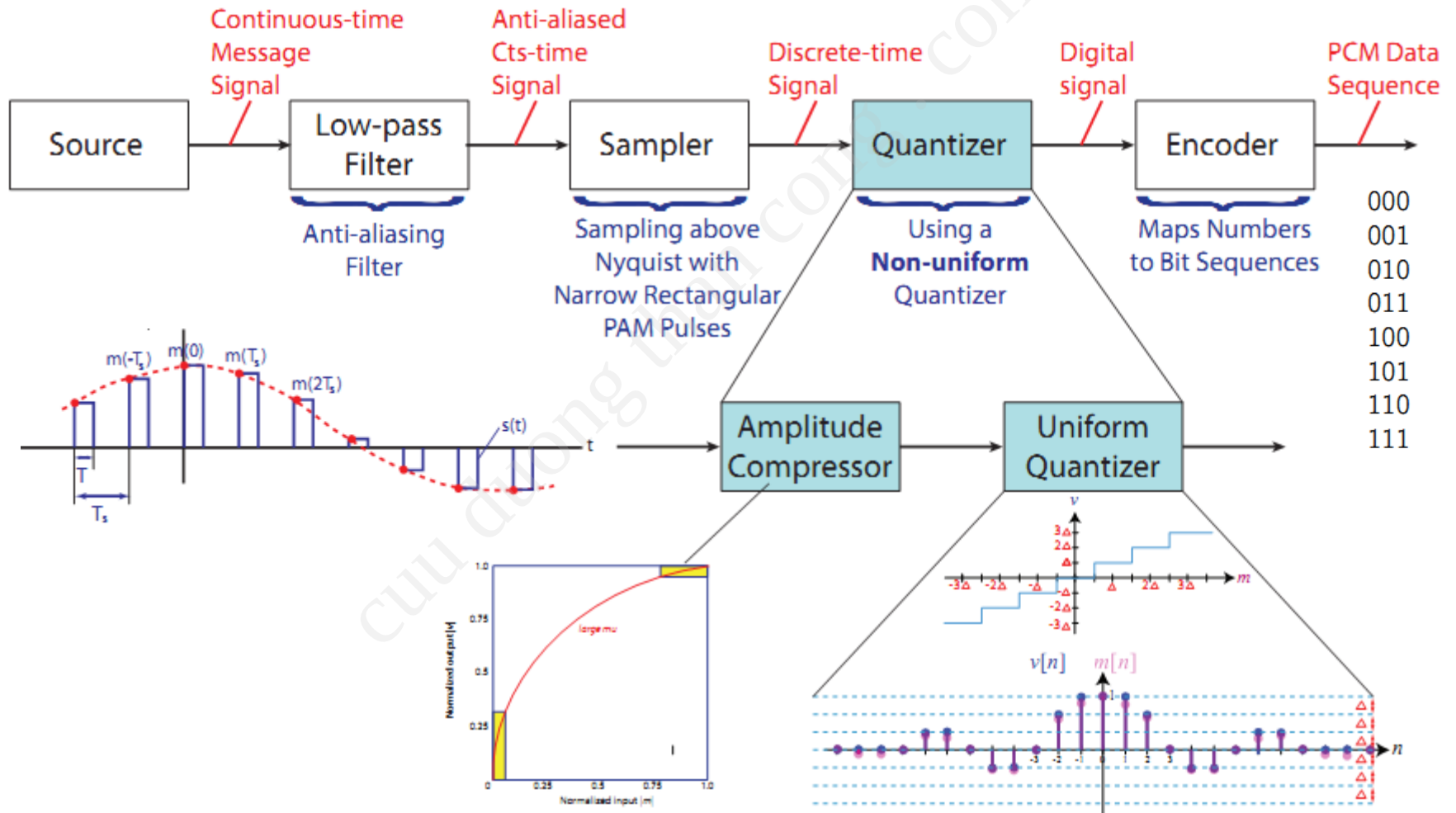
$x'_q$  is then expanded using Eq. (13):

$$\hat{x} = \frac{8.75}{255} [(1 + 255)^{3.75/8.75} - 1] = 0.34$$

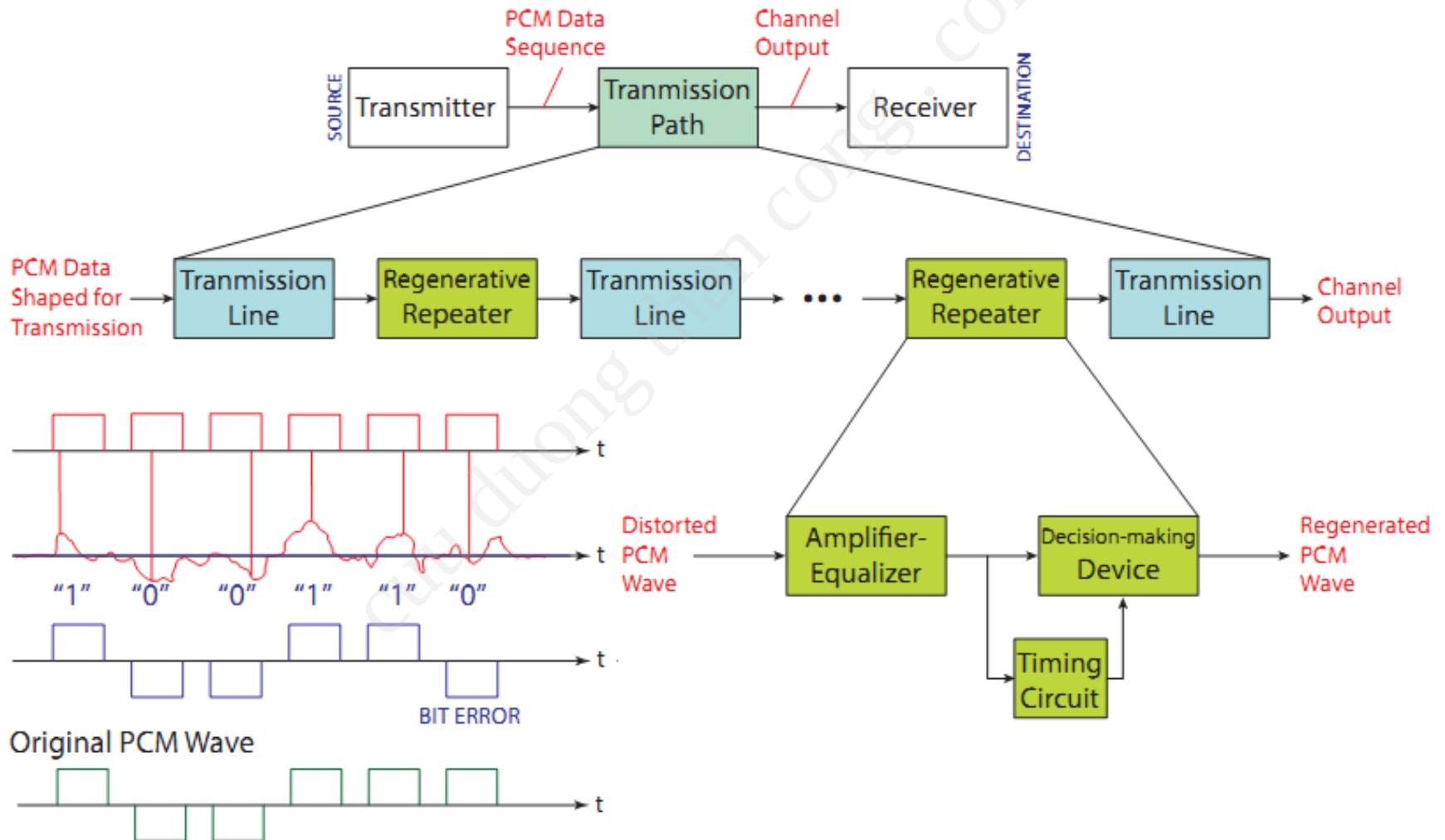
$\epsilon'_q = 0.60 - 0.34 = 0.26$  (with companding) versus

$\epsilon_q = 0.65$  (without companding)

# PCM: phía phát



# PCM: trên đường truyền





# PCM 1 bit

- Làm lại Ví dụ 5

cuu duong than cong . com



## 8.3 Điều chế Delta (DM)

- Mục đích
- Bộ phát
  - Biểu thức
  - Dạng sóng
  - Tốc độ
  - Bảng thông truyền
- Bộ thu
  - Biểu thức
  - SNR
- Các điều chế mã dự đoán khác: DPCM, LPC



# Bộ dự đoán

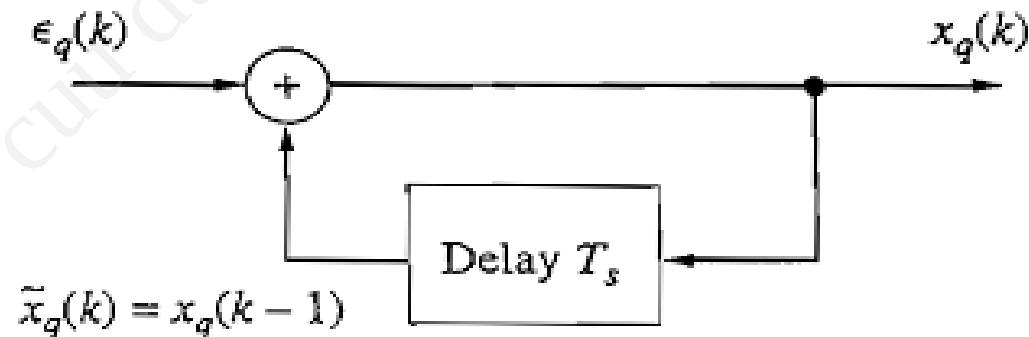
Consider a discrete-time signal  $x(k) = x(kT_s)$ . When the sampling frequency is greater than the Nyquist rate,  $x(k)$  roughly equals  $x(k-1)$ . Therefore, for the quantized sample  $x_q(k-1)$ , we obtain **prediction value** of  $x_q(k)$ :

$$\tilde{x}_q(k) = x_q(k-1)$$

Thus,

$$x_q(k) = \tilde{x}_q(k) + \epsilon_q(k)$$

where  $\epsilon_q(k)$  is the **prediction error**. Consider a **accumulator** as:

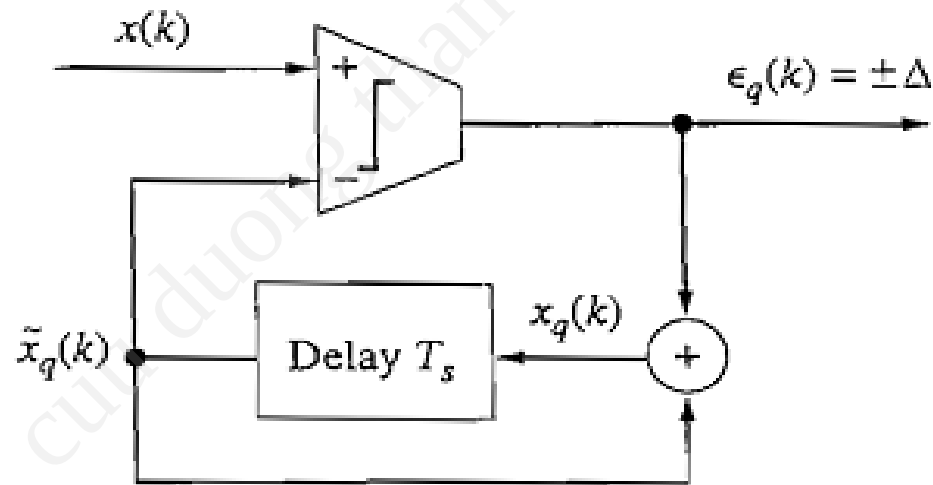


# Bộ phát DM

Hence,

$$\begin{aligned} x_q(k) &= \epsilon_q(k) + \epsilon_q(k-1) + x_q(k-2) \\ &= \epsilon_q(k) + \epsilon_q(k-1) + \epsilon_q(k-2) + \dots \end{aligned}$$

At transmitter the DM signal is generated as:



$$\epsilon_q(k) = [\text{sgn } \epsilon(k)] \Delta$$

where  $\epsilon(k) = x(k) - \tilde{x}_q(k)$ : **granular noise** (same as quantization noise)

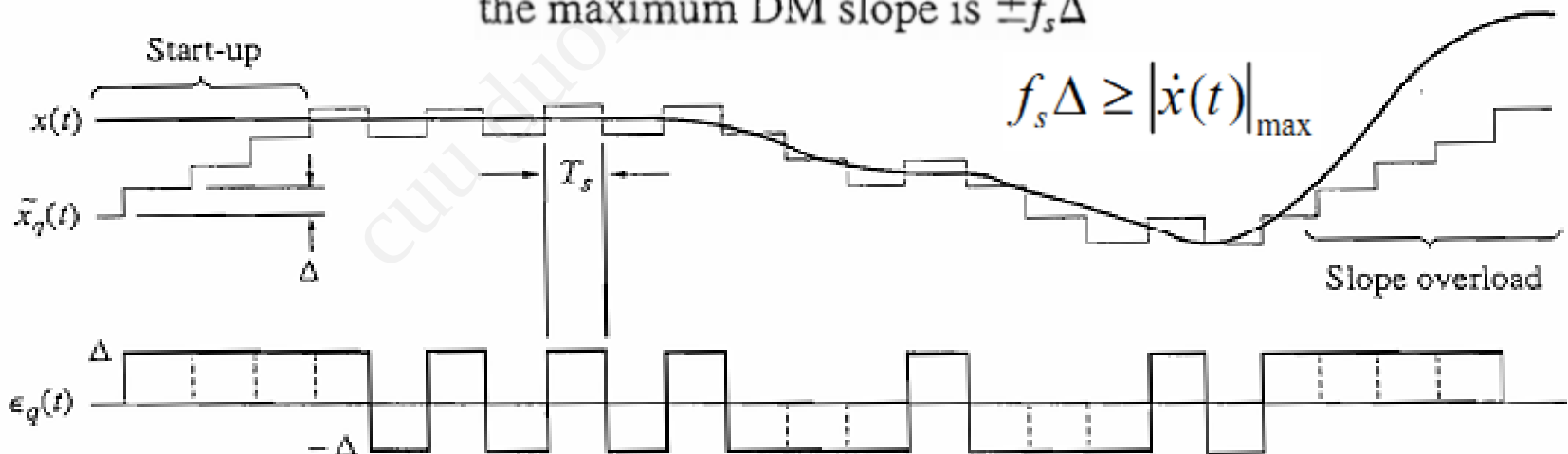
# Đặc tính DM

DM system achieves digital transmission of analog waveform with very simple hardware compared with PCM system.

Prediction error  $\varepsilon_q(k)$  has a binary waveform, with signaling rate  $r_b = f_s$ , or one bit per sample (DM is also called **one-bit PCM**). The transmission bandwidth is:

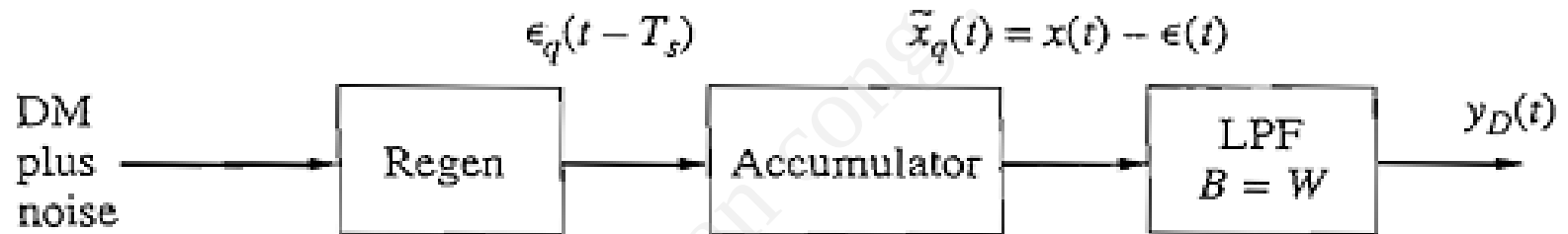
$$B_T \geq r_b/2 = f_s/2$$

DM waveform:  $\tilde{x}_q(t)$  changes by  $\pm\Delta$  every  $T_s = 1/f_s$  seconds  
the maximum DM slope is  $\pm f_s\Delta$



# Bộ thu DM

**DM receiver:**



The output of the accumulator can be obtained as:

$$x_q(k - 1) = \tilde{x}_q(k) = x(k) - \epsilon(k)$$

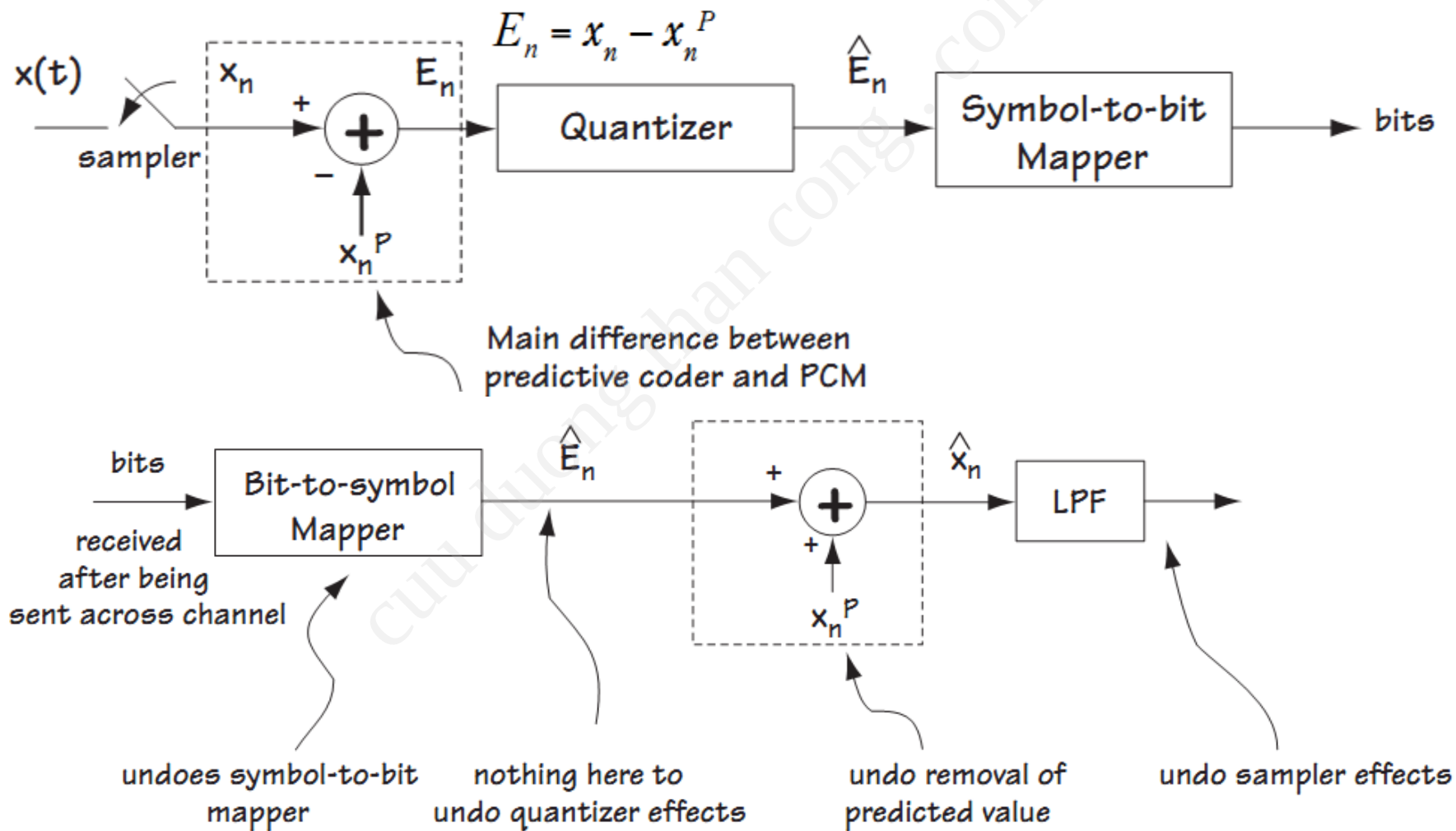
using:

$$\tilde{x}_q(k) = x_q(k - 1)$$

$$\epsilon(k) = x(k) - \tilde{x}_q(k)$$

When  $x(t)$  increases or decreases too rapidly: **slope overhead** (fundamental limit of DM).

# Mã hóa dự đoán tổng quát<sup>2</sup>



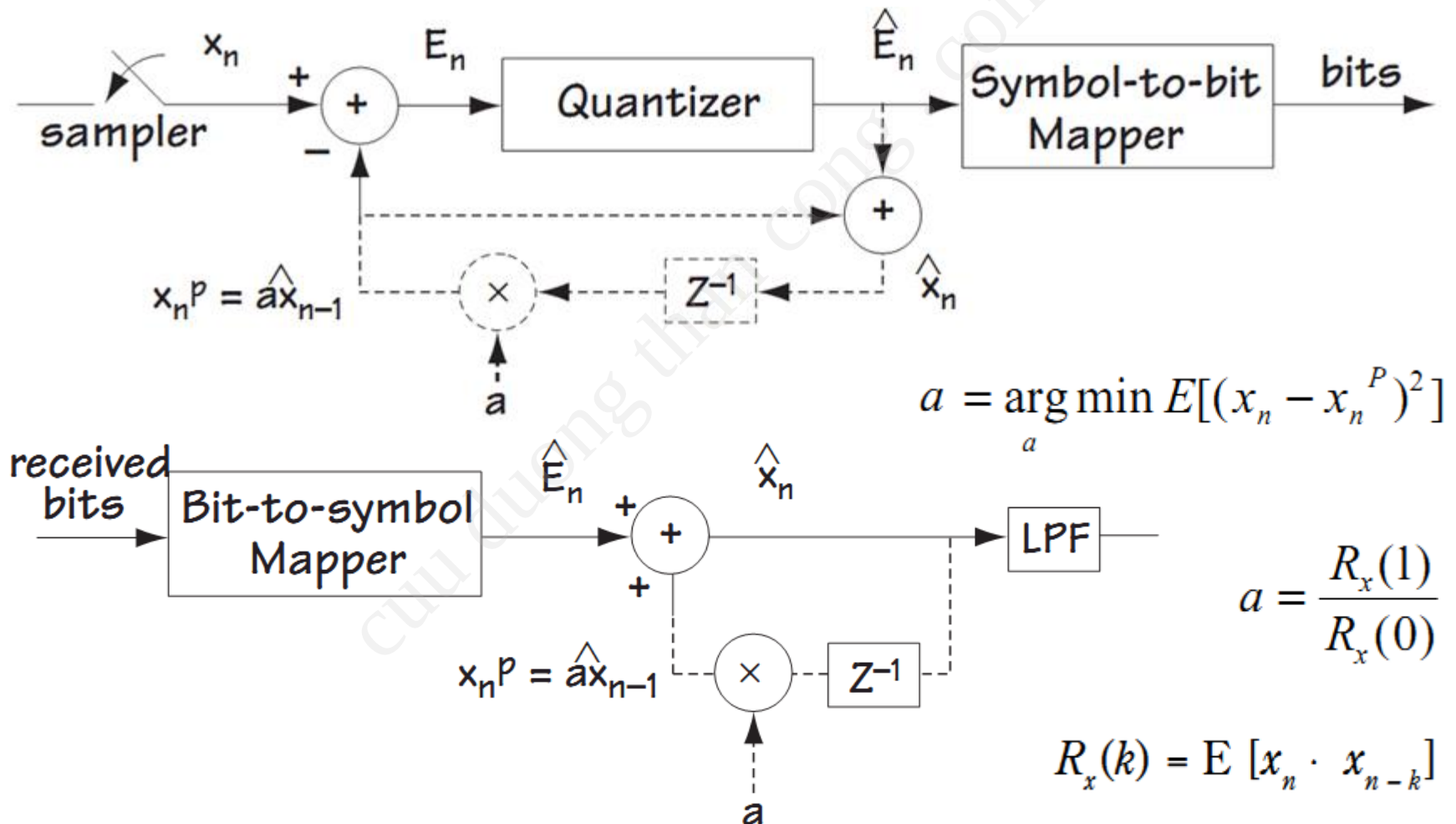


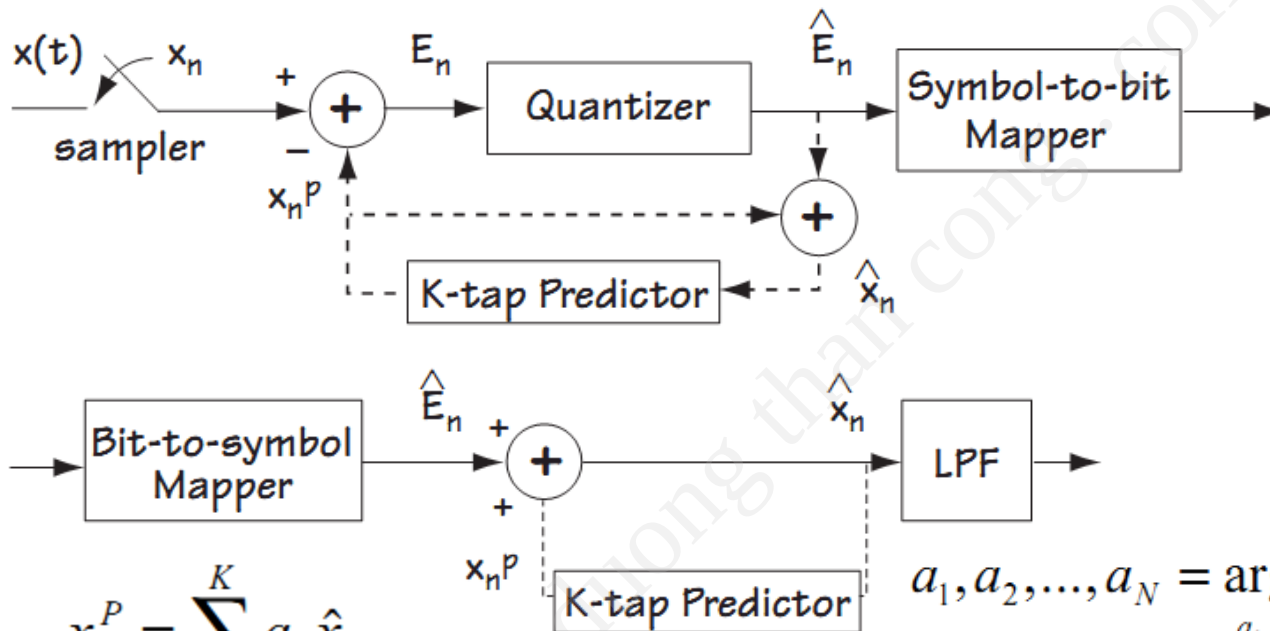
## Mã hóa dự đoán tổng quát (2)

- $E_n$  nhỏ quanh 0  $\rightarrow$  dùng bộ lượng tử 2 mức  $\rightarrow$  1 bit/symbol  $\rightarrow$  tốc độ bit nguồn thấp  $\rightarrow$  băng thông truyền ít.
- $E_n$  nhỏ quanh 0  $\rightarrow$  sai số lượng tử nhỏ  $\rightarrow$  SQNR lớn

- DM:  $\hat{x}_n^P = x_{n-1}$        $x_n^P = \hat{x}_{n-1}$        $x_n^P = a \hat{x}_{n-1}$

- DPCM:  $x_n^P = \sum_{k=1}^K a_k x_{n-k}$        $x_n^P = \sum_{k=1}^K a_k \hat{x}_{n-k}$





$$x_n^P = \sum_{k=1}^K a_k \hat{x}_{n-k}$$

$$a_1, a_2, \dots, a_N = \arg \min_{a_1, a_2, \dots, a_N} E[(x_n - x_n^P)^2]$$

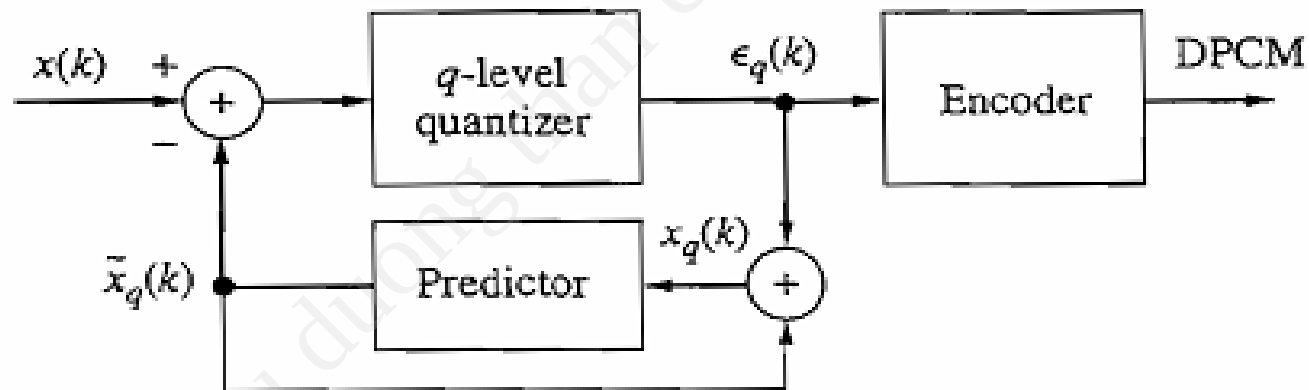
$$\begin{pmatrix} R_x(0) & R_x(-1) & \dots & R_x(1-K) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_x(K-1) & R_x(K-2) & & R_x(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ a_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_x(1) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ R_x(K) \end{pmatrix}$$



# DPCM (2)

**Differential pulse-code modulation (DPCM)** combines prediction with multilevel quantizing and coding.

Transmitter:



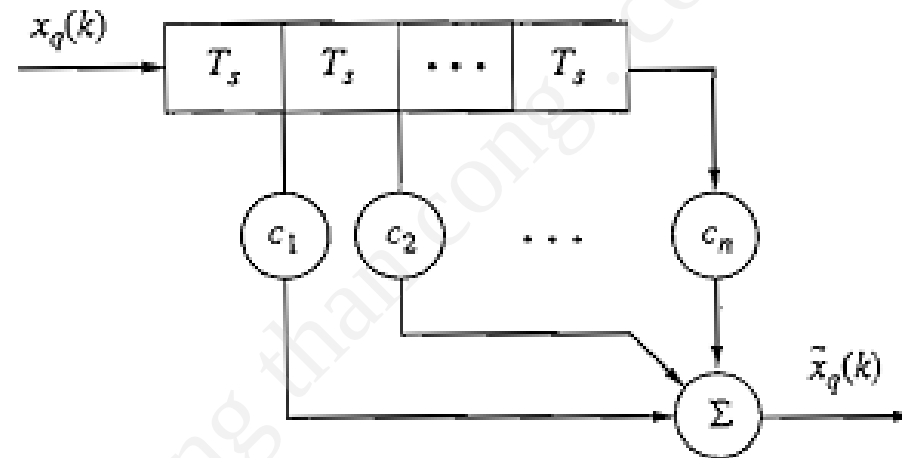
For  $q$  quantum levels, with binary code word of  $v = \log_2 q$  bits, the data rate and the transmission bandwidth are:

$$r_b = \nu f_s$$

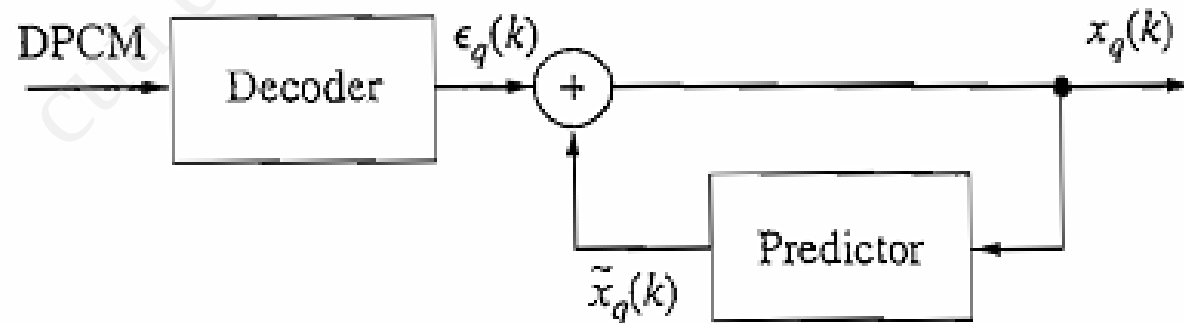
$$B_T \geq \nu f_s / 2$$

# DPCM (3)

Predictor:



Receiver:





# Điều chế thích nghi ADM

- ADM is a modification of DM in which the step size is not fixed.
- ADM reduces slope error: when several consecutive bits have the same direction value, the encoder and decoder assume that slope overload is occurring, and the step size becomes progressively larger. Otherwise, the step size becomes gradually smaller over time.
- ADM increases quantizing error → can be reduced by using a low-pass filter.



# Điều chế thích nghi ADPCM

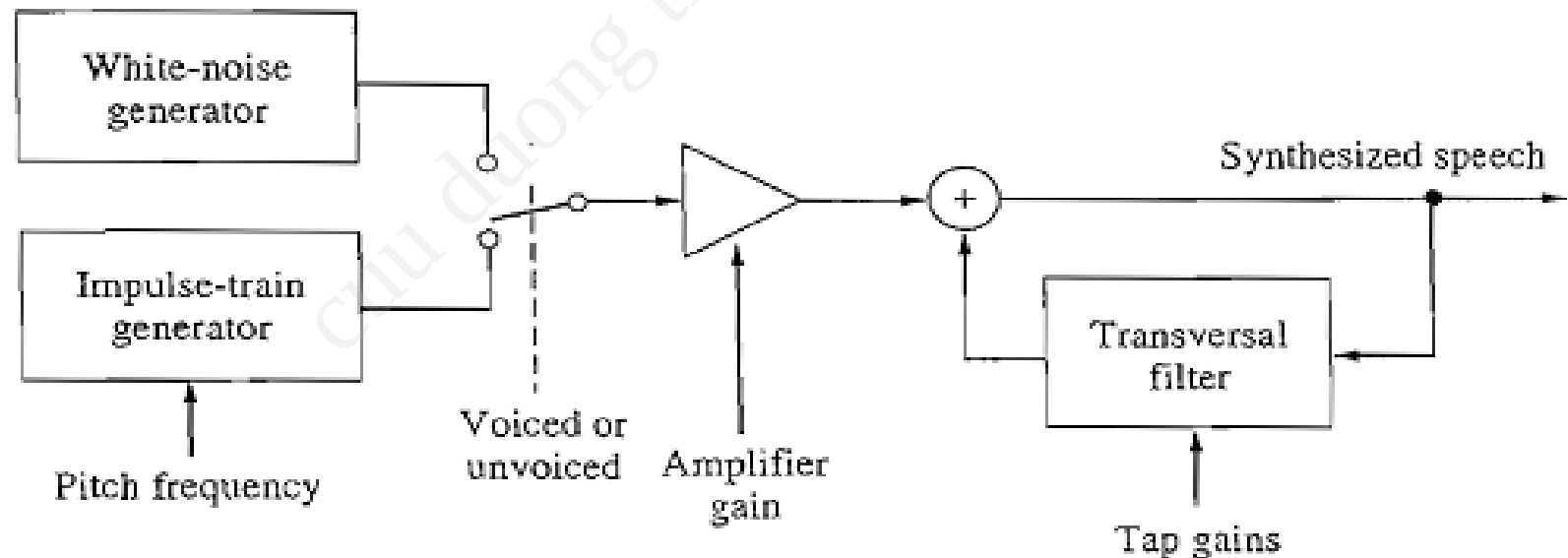
- ADPCM is a variant of differential pulse-code modulation (DPCM) that varies the size of the quantization step, to allow further reduction of the required data bandwidth for a given signal-to-noise ratio.
- The adaptation to signal statistics in ADPCM consists simply of an adaptive scale factor before quantizing the difference in the DPCM encoder.
- ADPCM was developed in the early 1970s at Bell Labs for voice coding.



# Mã hóa dự đoán tuyến tính LPC

**Linear Predictive Coding (LPC)** is a novel approach to digital representation of analog signals. The method uses FIR filter and auxiliary component to **synthesize** the waveform. The parameters of waveform synthesizer are then encoded for transmission instead of the actual signal. LPC is well suitable for speech synthesis and transmission.

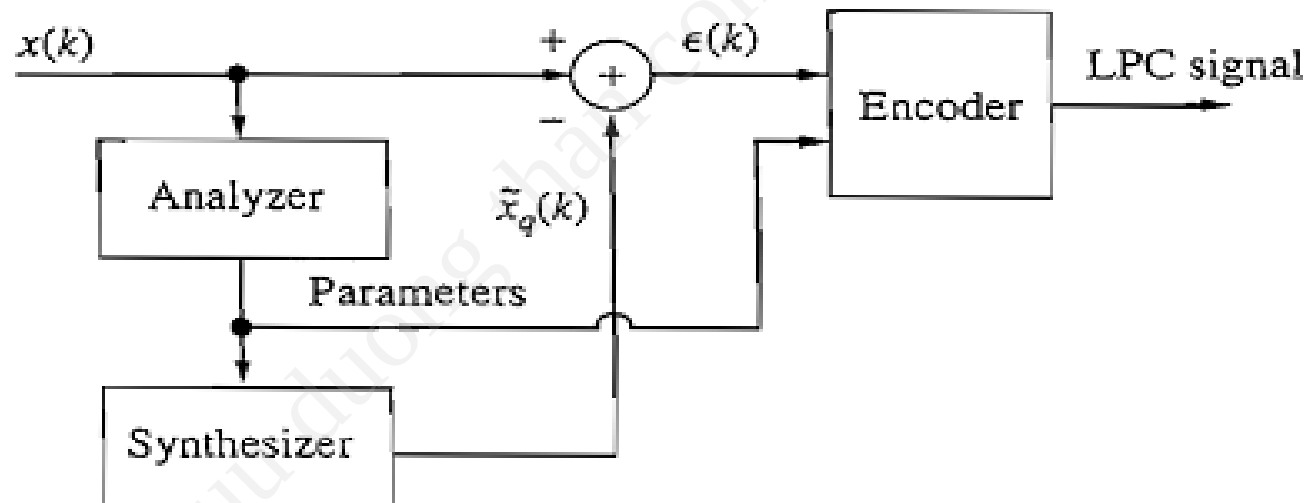
## Speech synthesizer:



# LPC (2)

The amplifier and filter tap gains are adjusted to model the acoustical properties of vocal tract. This system is also called **vocoders**.

## LPC transmitter:



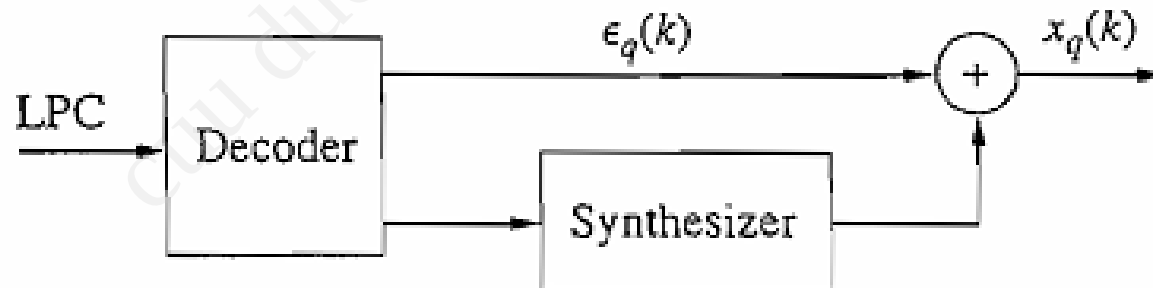
Sample values of voice are analyzed to determine the parameter for the synthesizer. The different value between voice sample and synthesized sample is encoded along with parameter values to form the transmitted digital signal.

# LPC (3)

Normally, a complete LPC codeword consists of 80 bits: 1 bit for voiced/unvoiced switch, 6 bits for the pitch frequency, 5 bit for amplifier gain, 6 bits for each of 10 tap gains and few bits for the difference.

The parameters are updated every 10 - 25 ms (equivalently, sampling rate at 40 - 100 Hz). So the bit rate is very small: 3000 – 8000 bps

## LPC receiver:





# So sánh các phương pháp điều chế mã hóa nguồn

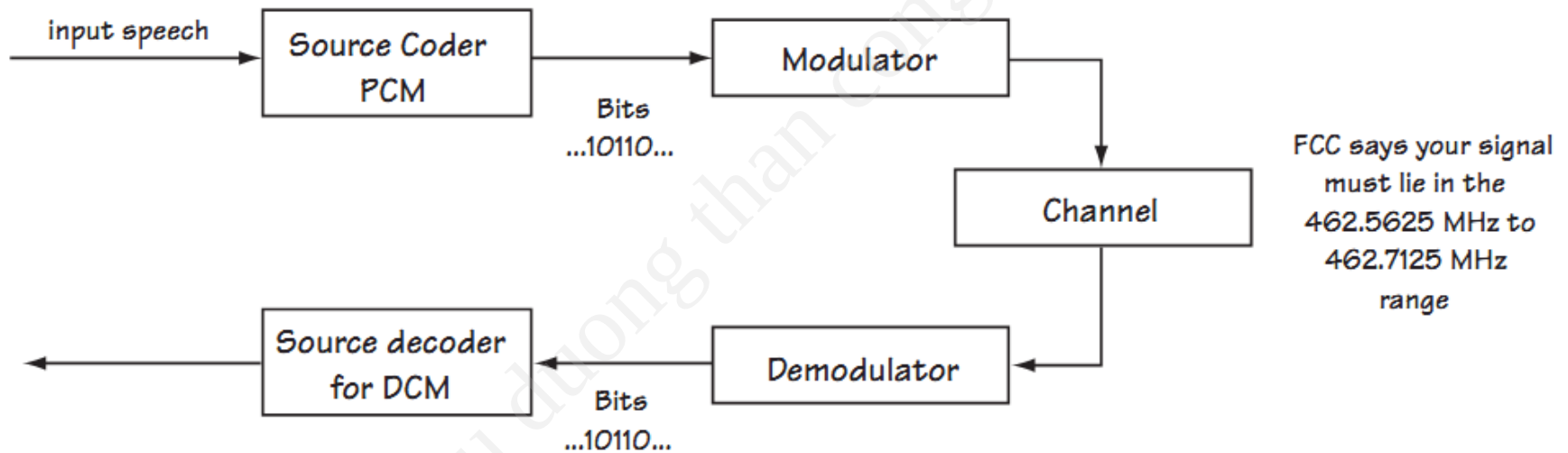
| Encoding method | Sampling rate, kHz | Bits per sample | Bit rate, kbps |
|-----------------|--------------------|-----------------|----------------|
| DM              | 64–128             | 1               | 64–128         |
| PCM             | 8                  | 7–8             | 56–64          |
| ADM             | 48–64              | 1               | 48–64          |
| DPCM            | 8                  | 4–6             | 32–48          |
| ADPCM           | 8                  | 3–4             | 24–32          |
| LPC             | 0.04–0.1           | $\approx 80$    | 3–8            |



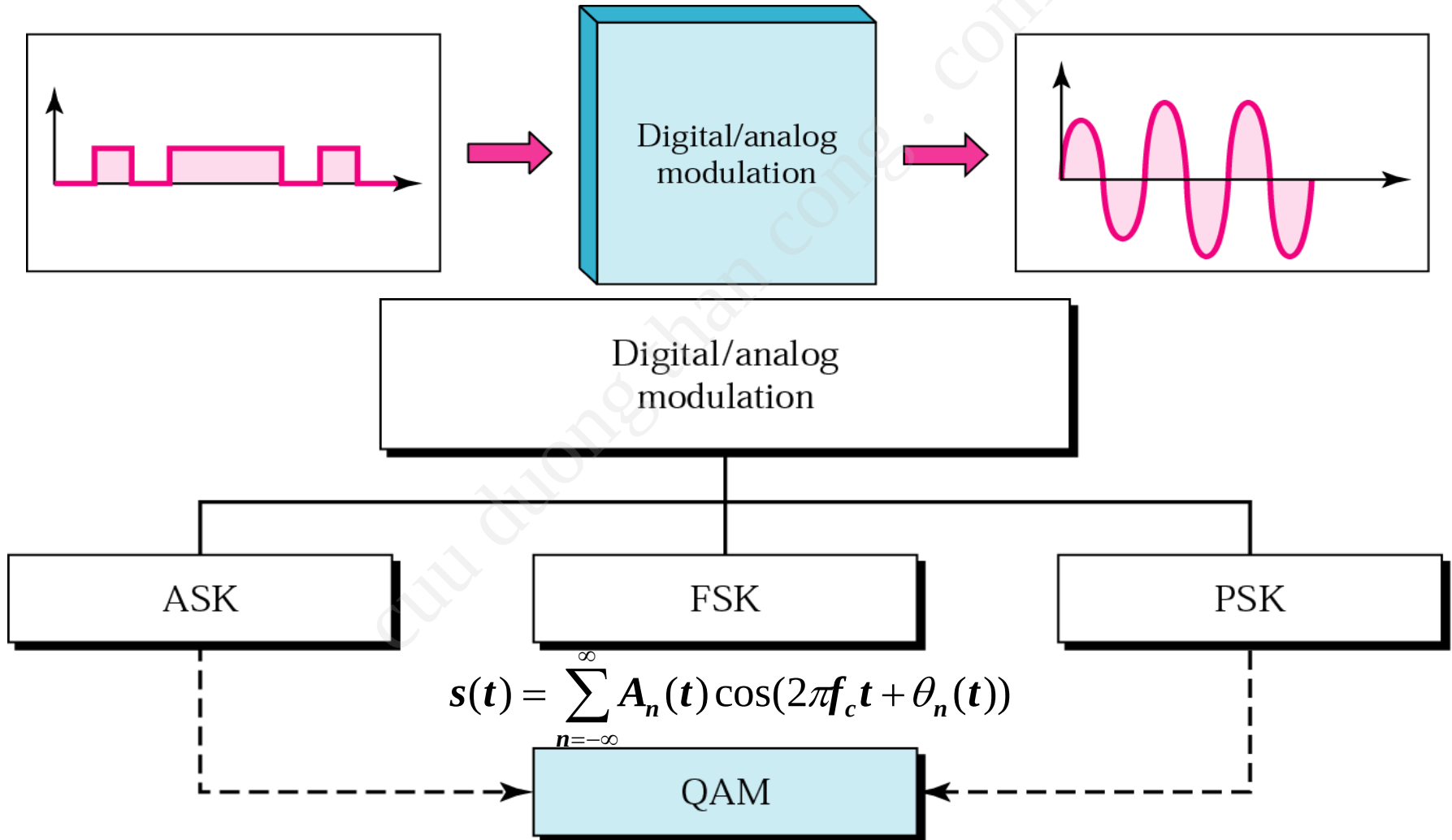


# Vấn đề với điều chế số băng gốc

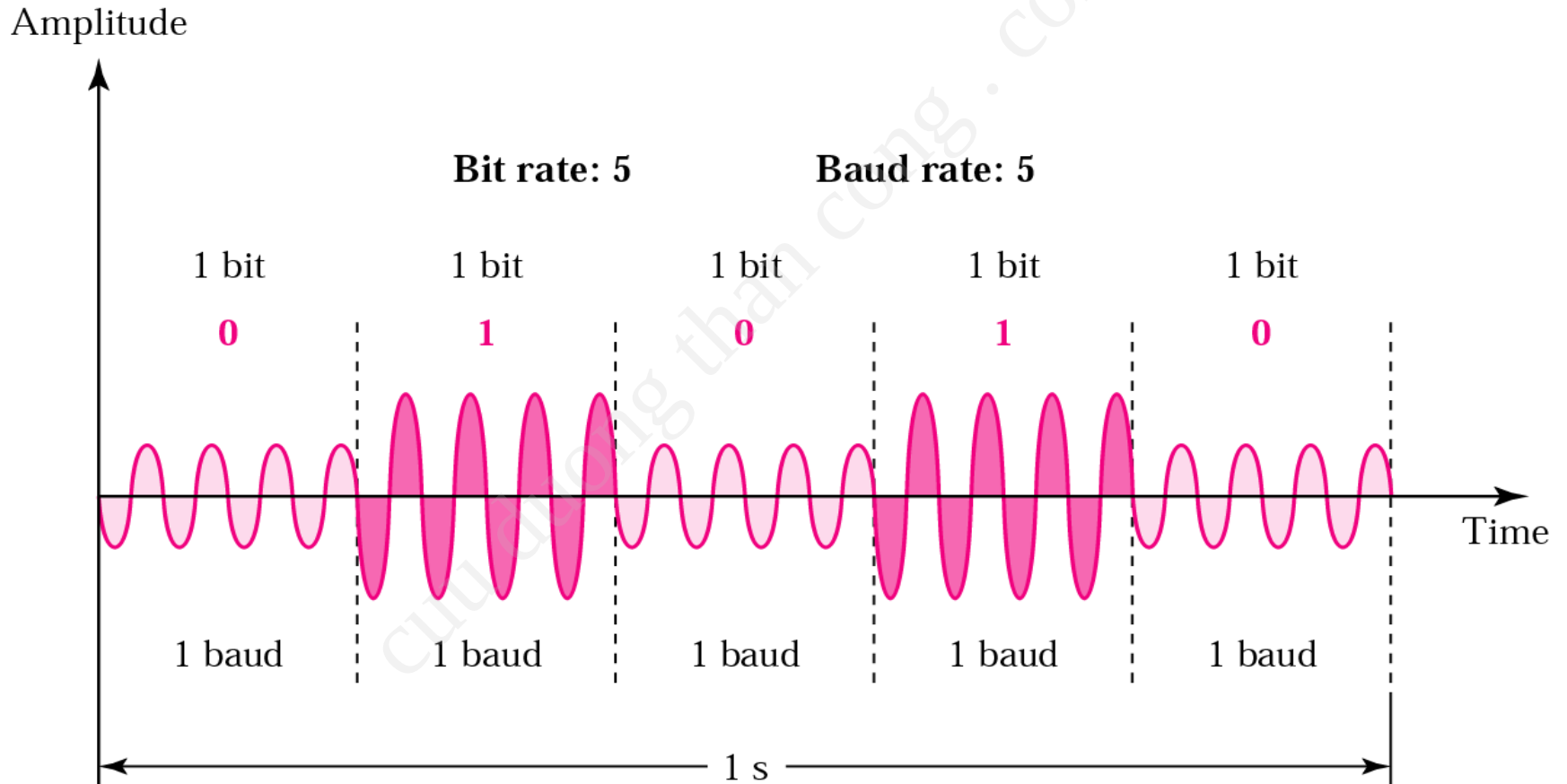
- Kênh truyền băng dải?



# 8.4 Điều chế số băng dải (Bandpass digital modulator)

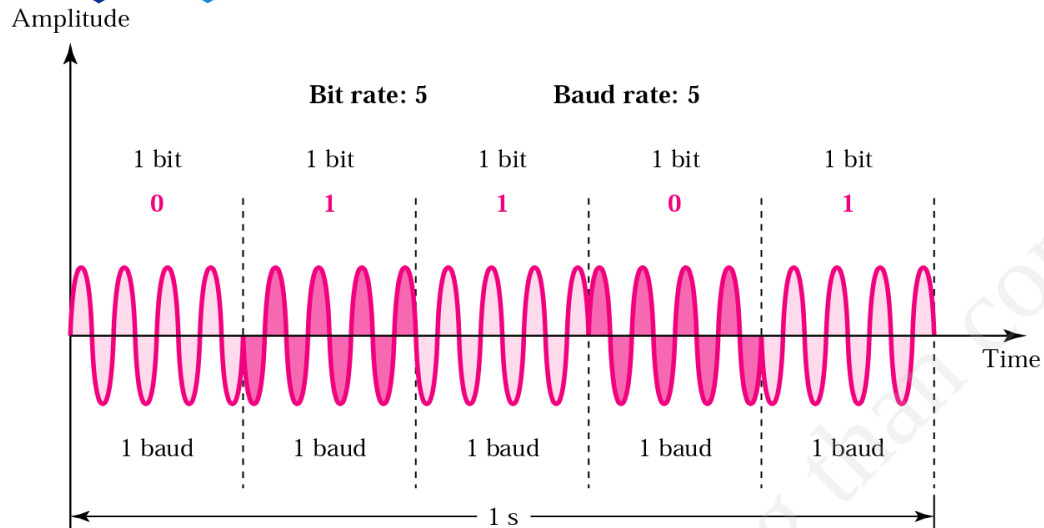


# ASK



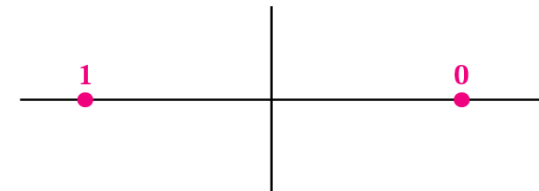


# PSK

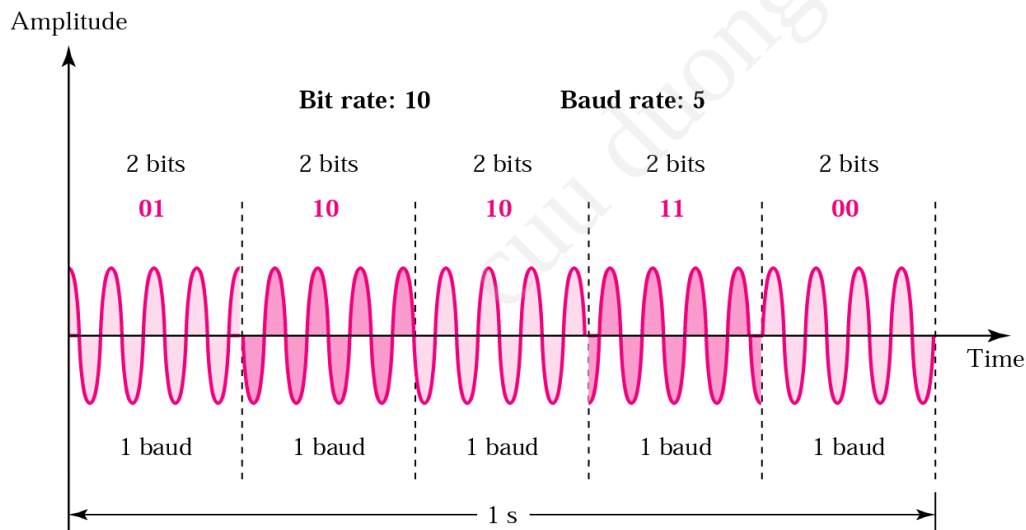


| Bit | Phase |
|-----|-------|
| 0   | 0     |
| 1   | 180   |

Bits

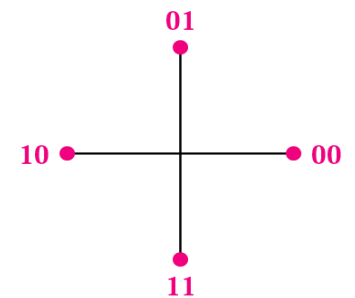


Constellation diagram



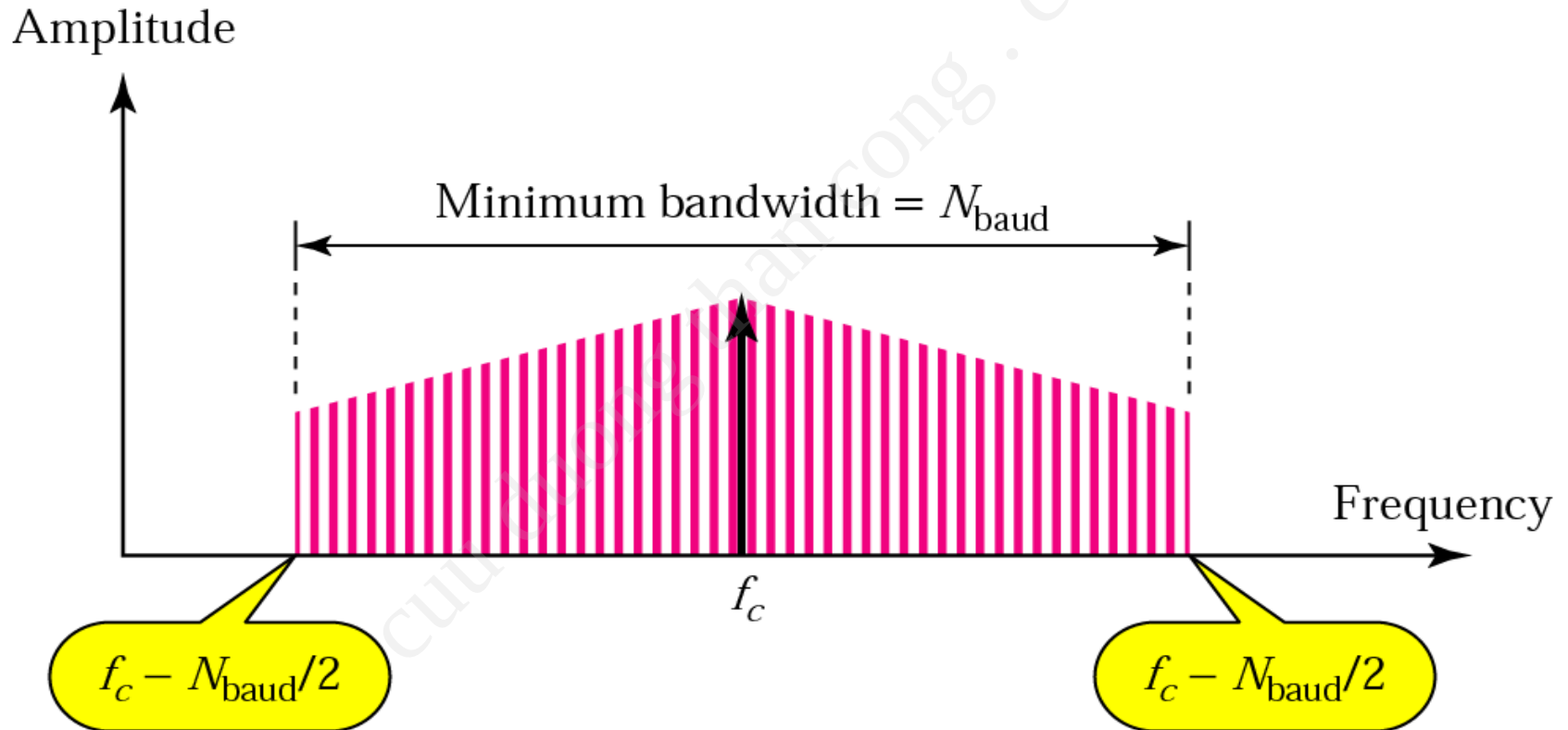
| Dibit | Phase |
|-------|-------|
| 00    | 0     |
| 01    | 90    |
| 10    | 180   |
| 11    | 270   |

Dibit  
(2 bits)

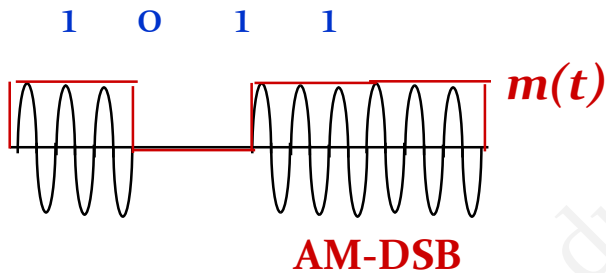
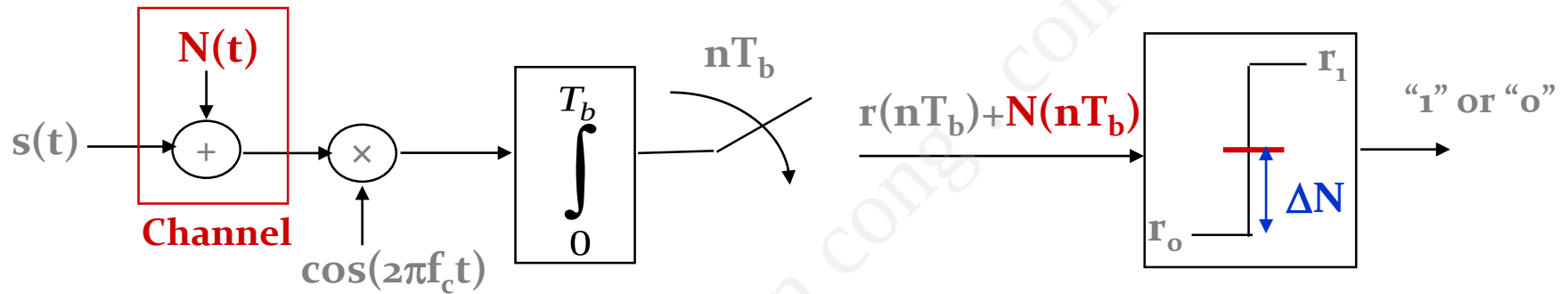


Constellation diagram

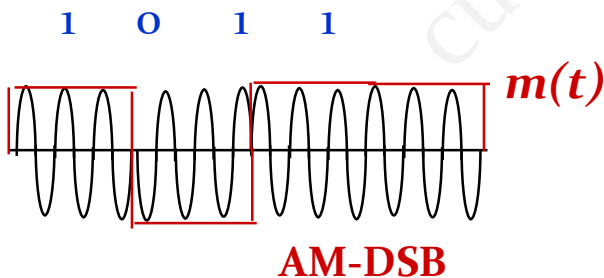
# ASK/PSK Bandwidth



# ASK/PSK Demodulation

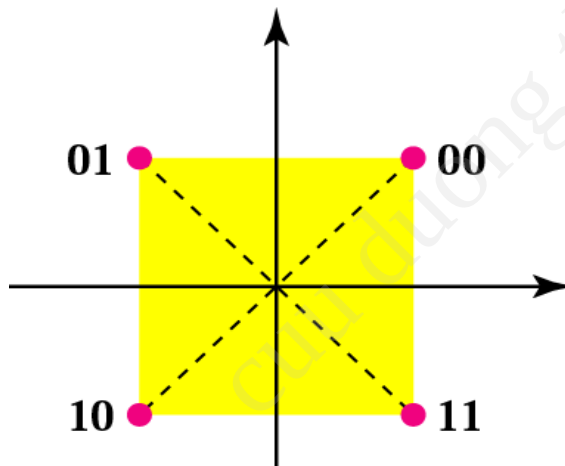


$$P_b = p(N > .25A_c T_b) = Q\left(\sqrt{\frac{.25A_c^2 T_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

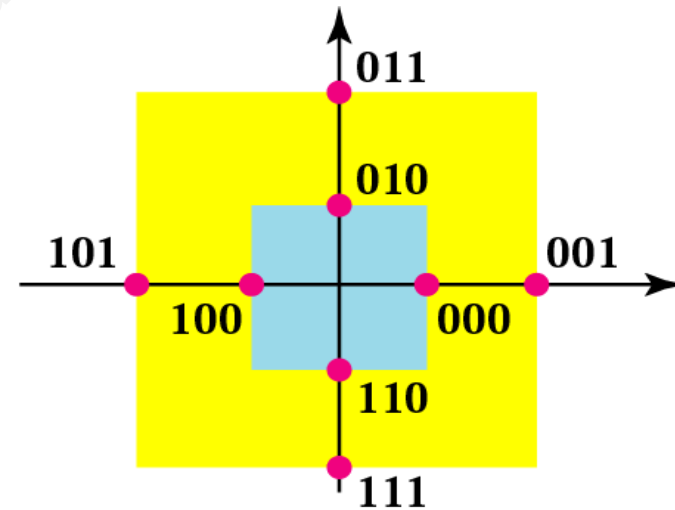


$$P_b = p(N > .5A_c T_b) = Q\left(\sqrt{\frac{A_c^2 T_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

- Quadrature amplitude modulation is a combination of ASK and PSK so that a maximum contrast between each signal unit (bit, dibit, tribit, and so on) is achieved.

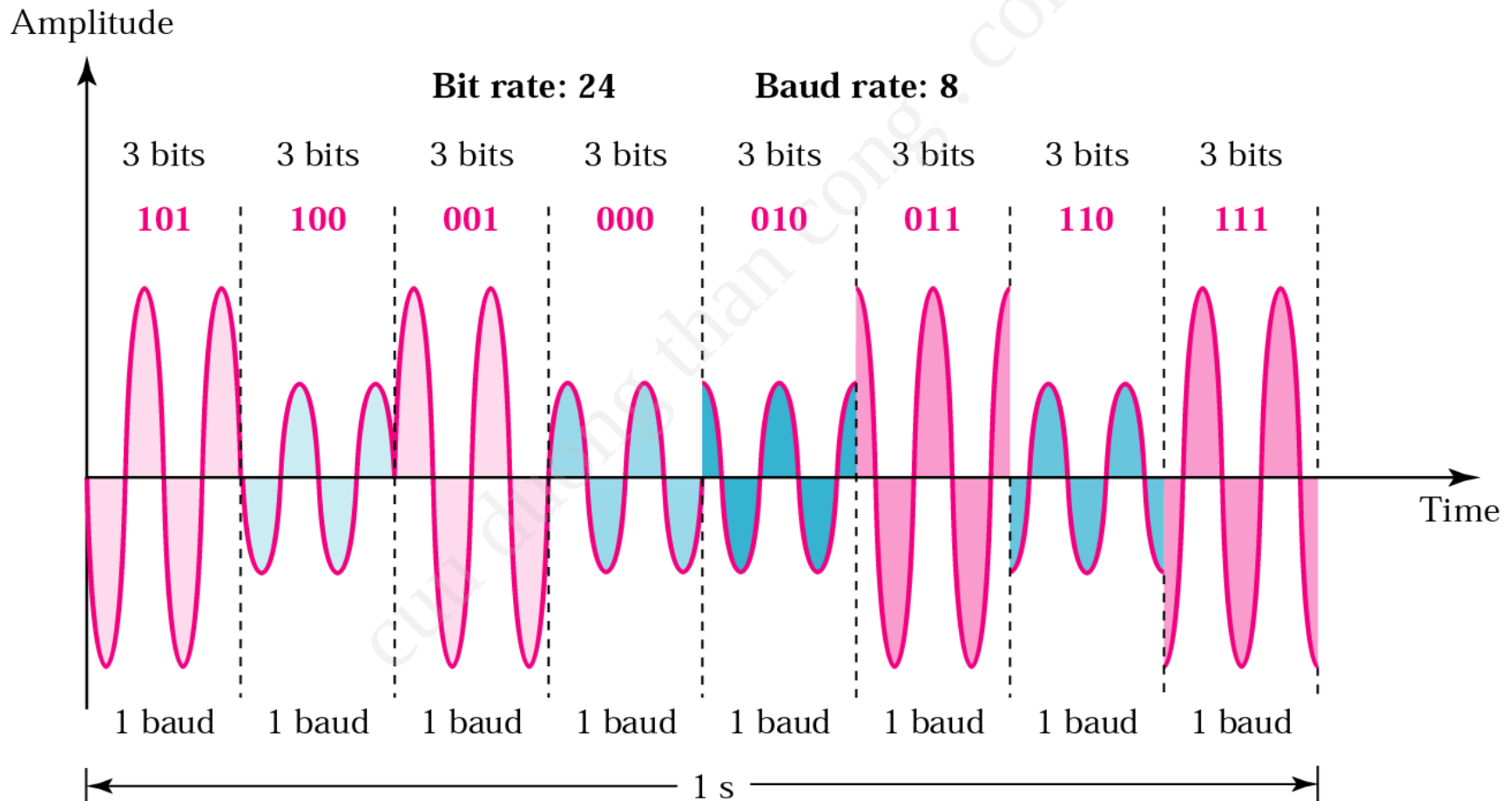


4-QAM  
1 amplitude, 4 phases



8-QAM  
2 amplitudes, 4 phases

# 8-QAM

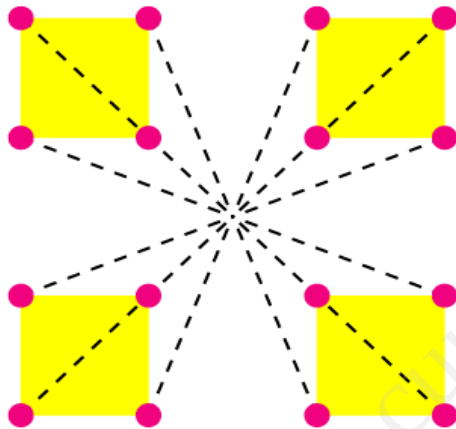




# 16-QAM

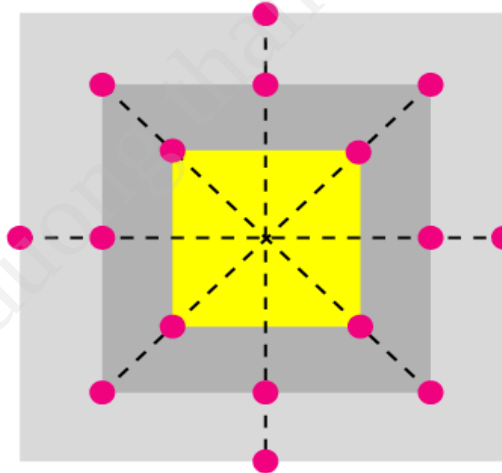
- Bảng thông tối thiểu  $B_{\min} = N_{\text{baud}}$  (như ASK và PSK)

3 amplitudes, 12 phases



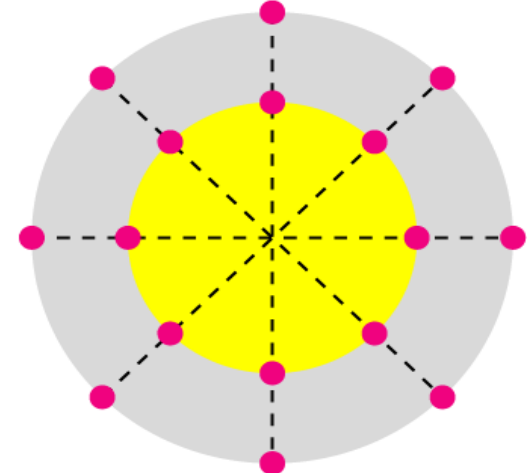
16-QAM

4 amplitudes, 8 phases



16-QAM

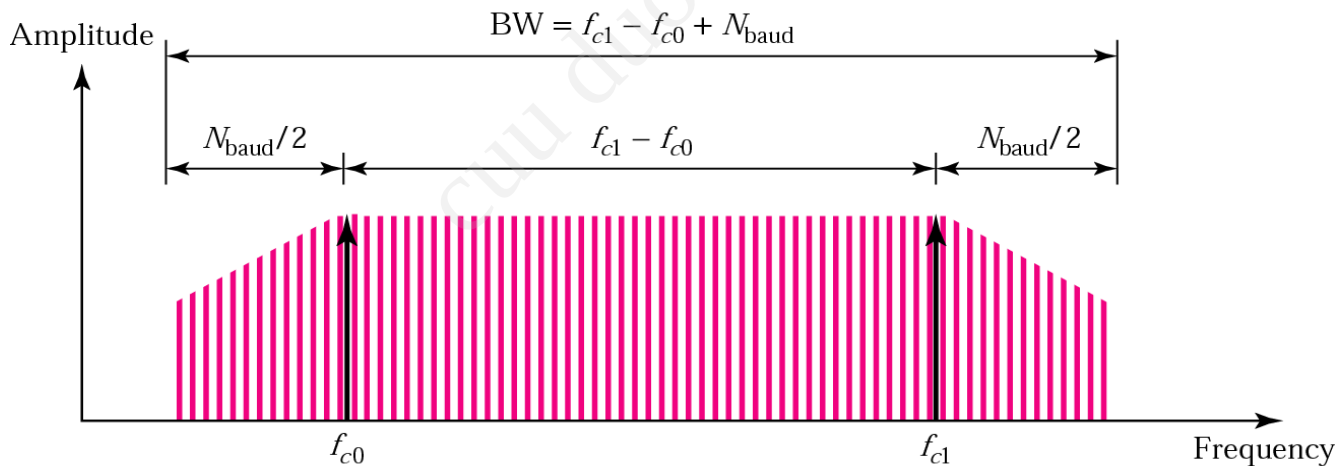
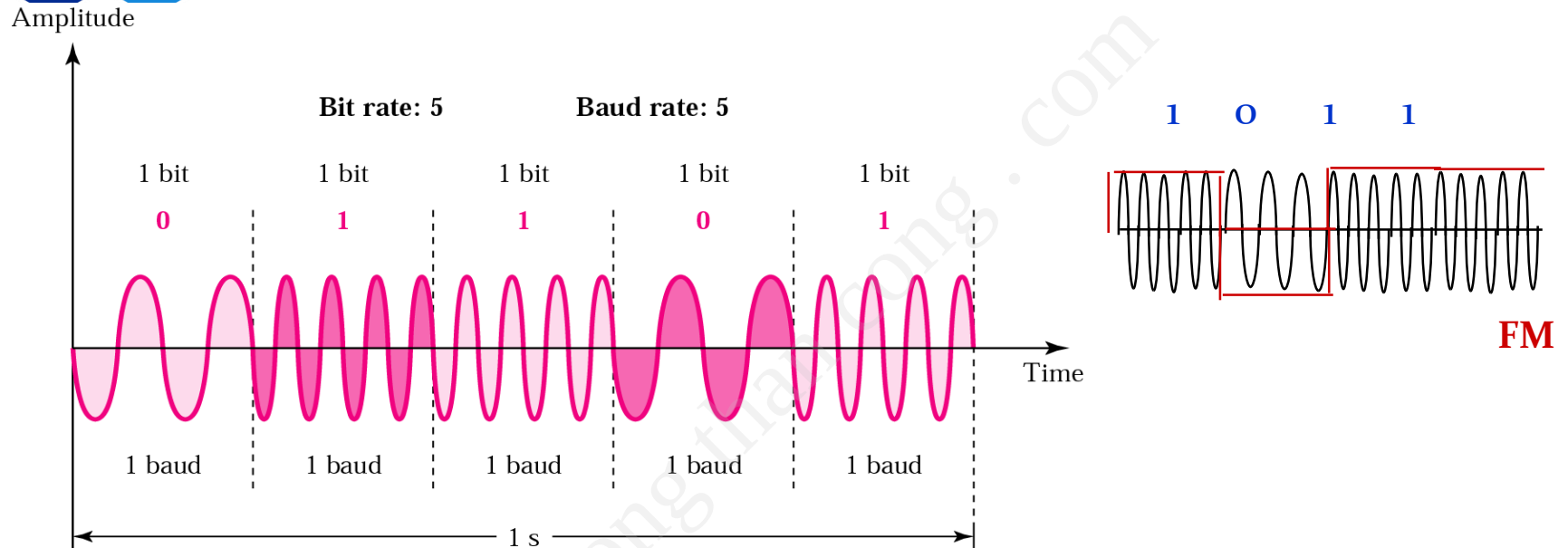
2 amplitudes, 8 phases



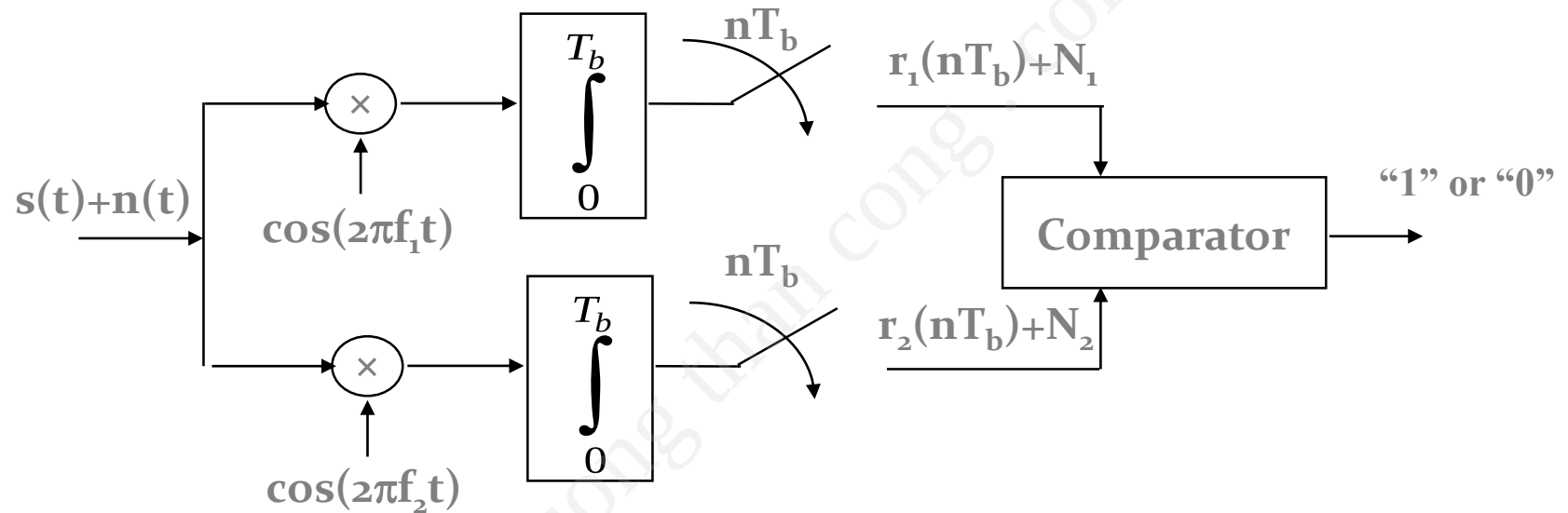
16-QAM



# FSK



# FSK Coherent Demodulation



$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b(1 - \sin(2\pi \Delta f T_b) / (2\pi \Delta f T_b))}{N_0}}\right)$$



# FSK của Sunde

- $F_2 - F_1 = N_{\text{baud}} = 1/T_s \rightarrow$  trực giao
- Phổ có 2 thành phần rời rạc tại 2 tần số ký hiệu  
 $\rightarrow$  thuận lợi khi khôi phục sóng mang.
- Phổ trải rộng.

$$S(f) = \frac{1}{4} \left[ \delta\left(f - .5 \frac{1}{T_s}\right) + \delta\left(f + .5 \frac{1}{T_s}\right) + \frac{4T_s}{\pi^2} \left[ \frac{\cos(\pi f T_s)}{4f^2 T_s^2 - 1} \right]^2 \right]$$



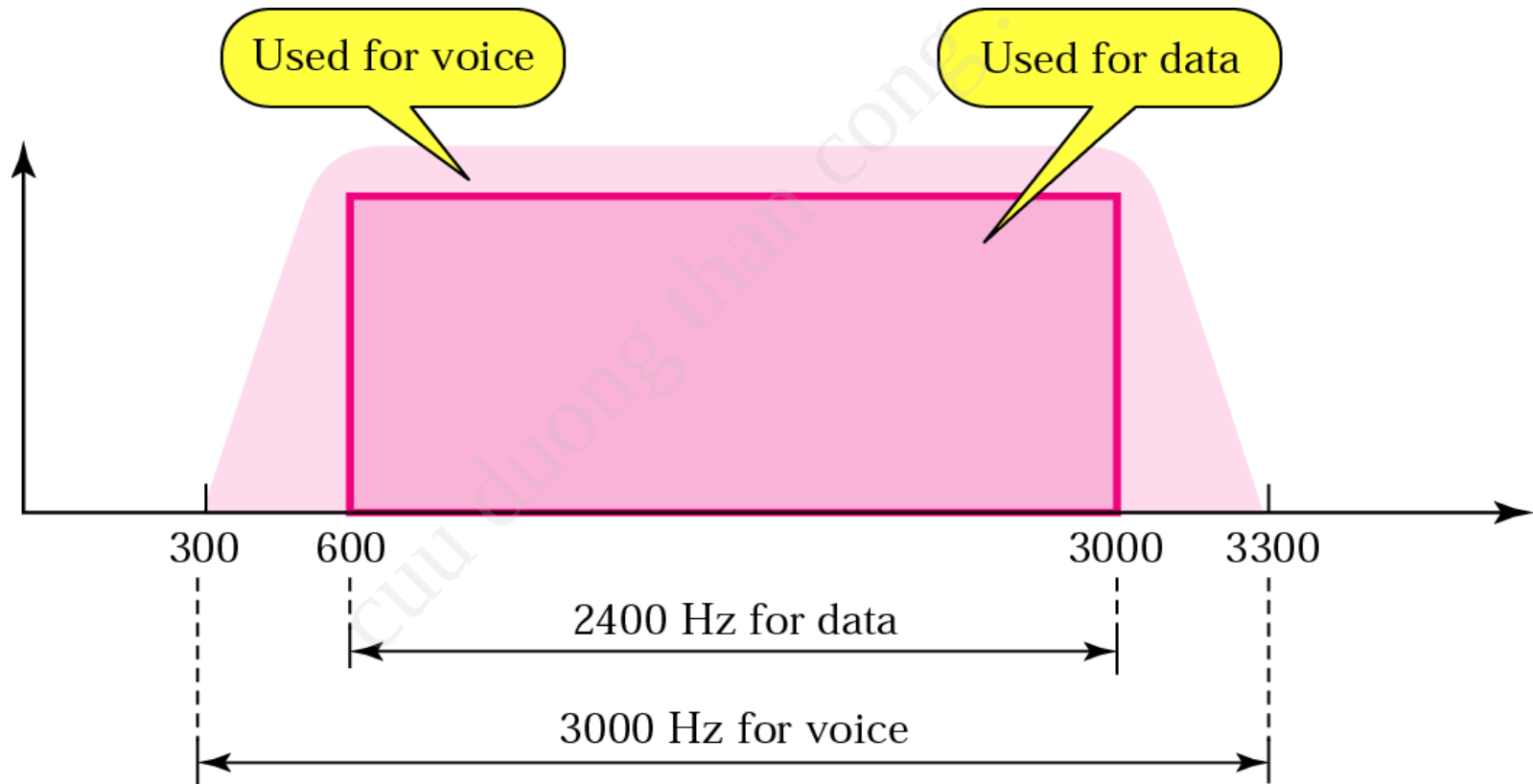
# MSK (Minimum Shift Keying)

- $F_2 - F_1 = 0.5N\text{baud} \rightarrow$  trực giao
- Phổ không có thành phần rời rạc.
- Năng lượng trong búp chính hẹp và bằng phẳng hơn.
- Năng lượng các búp phụ giảm nhanh hơn.
- Có sự thay đổi pha khi thay đổi trạng thái  $\rightarrow$  bộ thu khai thác thông tin thay đổi pha để cải thiện chất lượng

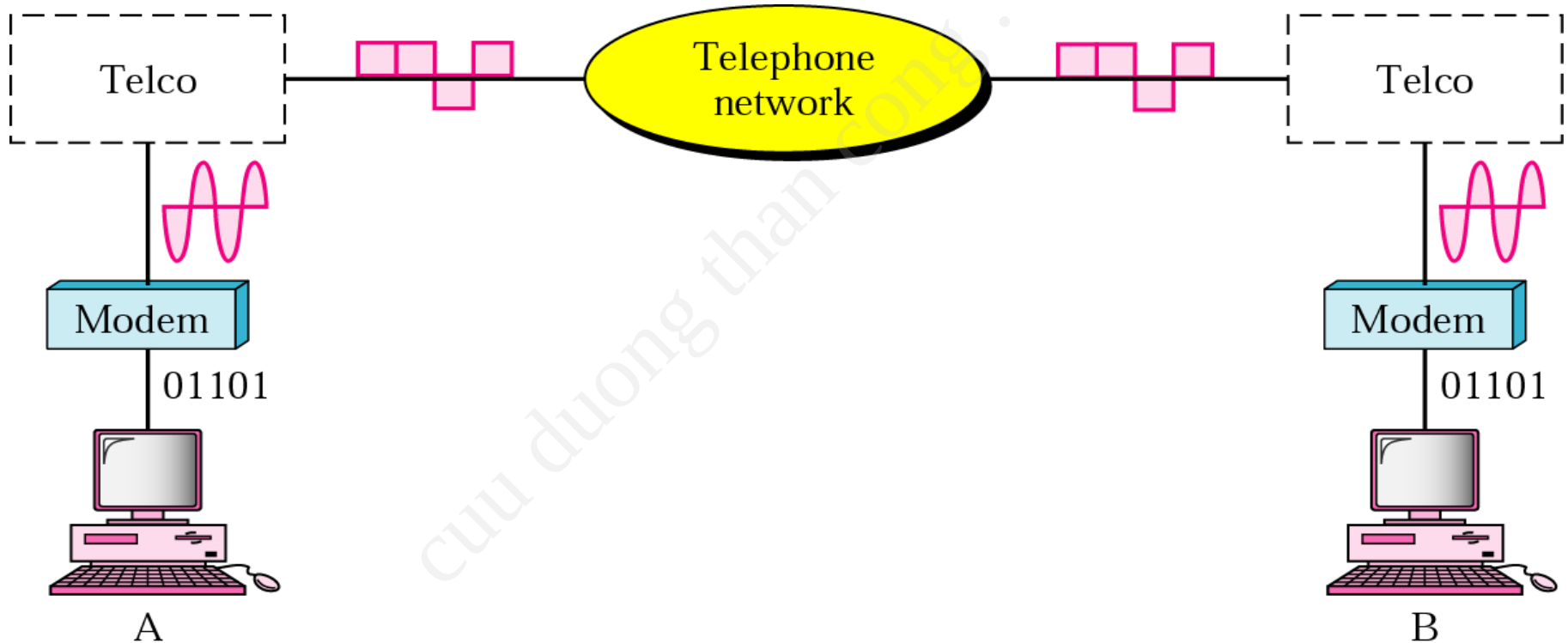
$$S(f) = \left[ \frac{16T_s}{\pi^2} \left[ \frac{\cos(2\pi fT_s)}{16f^2T_s^2 - 1} \right]^2 \right]$$

| Modulation      | Units    | Bits/Baud | Baud rate | Bit Rate |
|-----------------|----------|-----------|-----------|----------|
| ASK, FSK, 2-PSK | Bit      | 1         | N         | N        |
| 4-PSK, 4-QAM    | Dibit    | 2         | N         | 2N       |
| 8-PSK, 8-QAM    | Tribit   | 3         | N         | 3N       |
| 16-QAM          | Quadbit  | 4         | N         | 4N       |
| 32-QAM          | Pentabit | 5         | N         | 5N       |
| 64-QAM          | Hexabit  | 6         | N         | 6N       |
| 128-QAM         | Septabit | 7         | N         | 7N       |
| 256-QAM         | Octabit  | 8         | N         | 8N       |

# Đường dây điện thoại

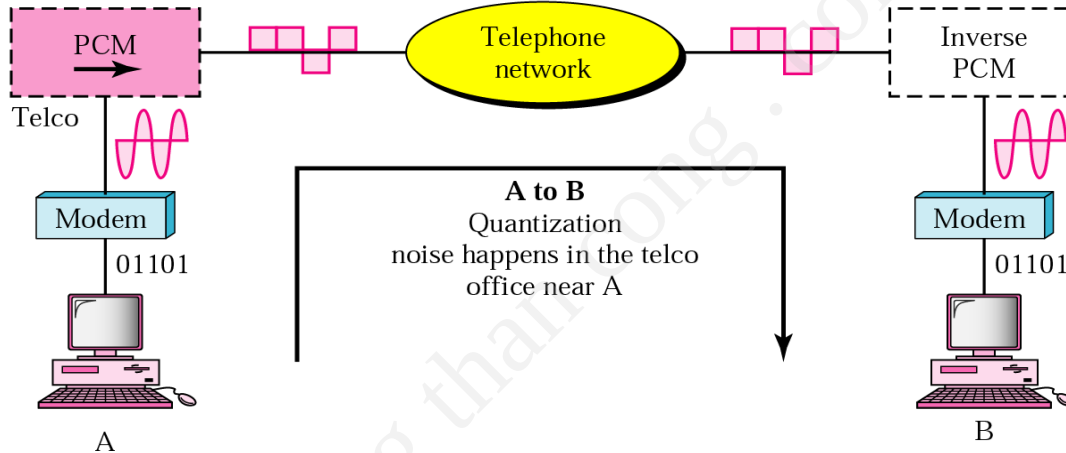


# Modem

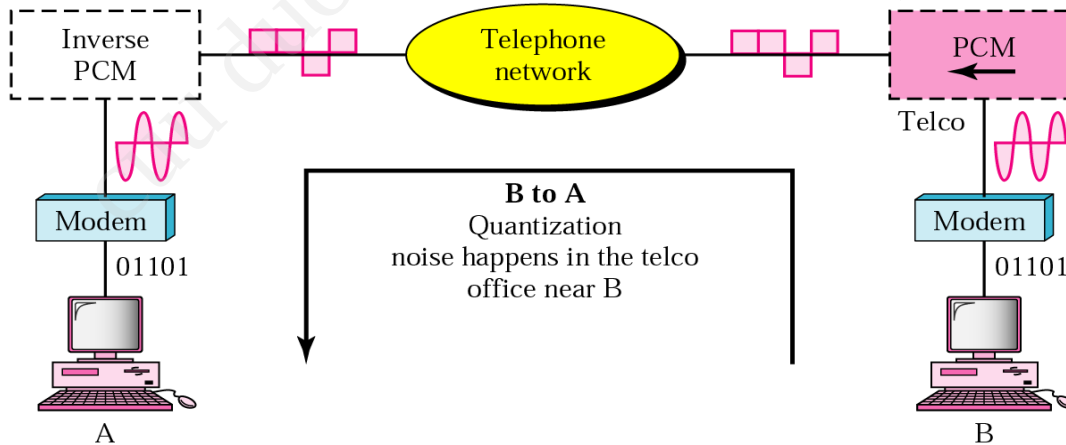


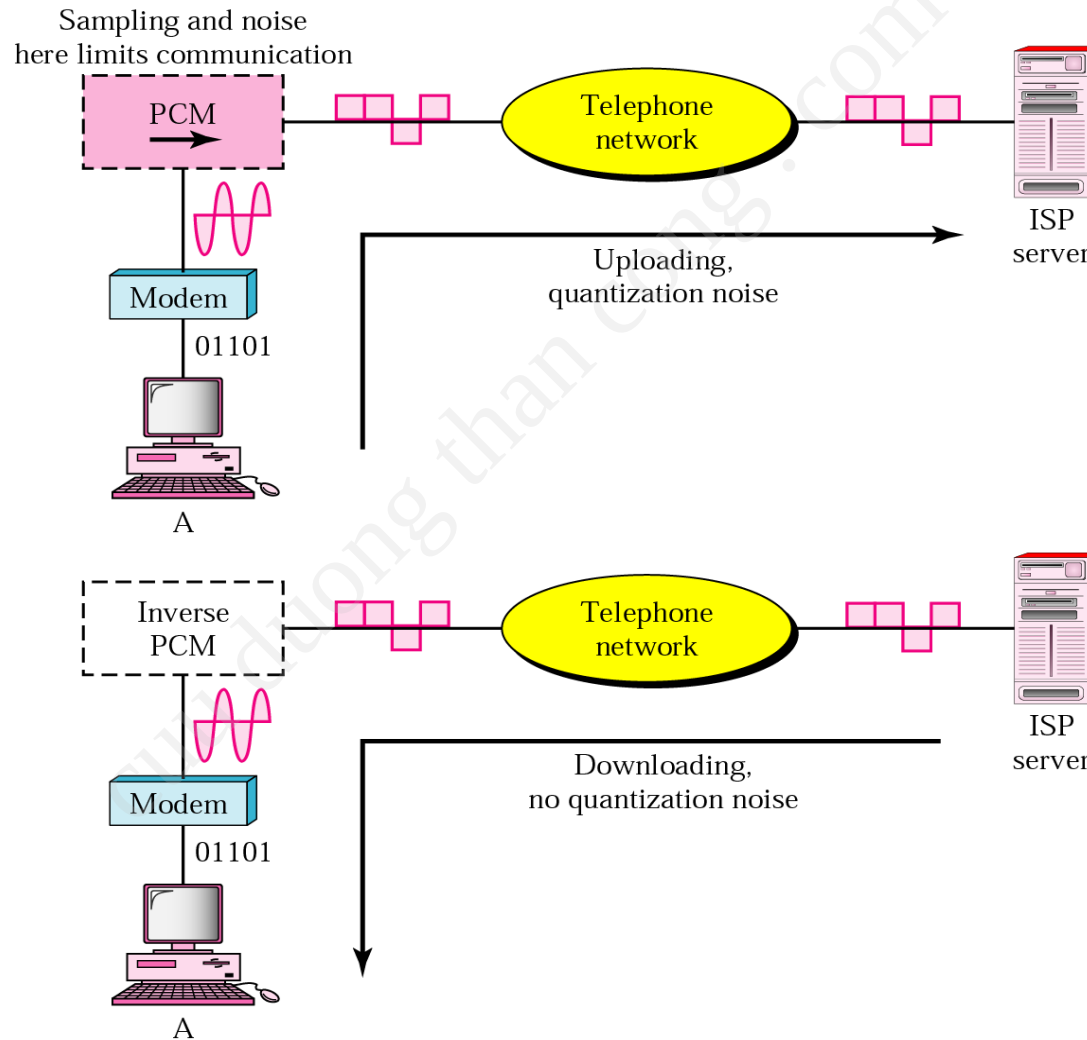


Sampling and noise here limits communication from A to B



Sampling and noise here limits communication from B to A





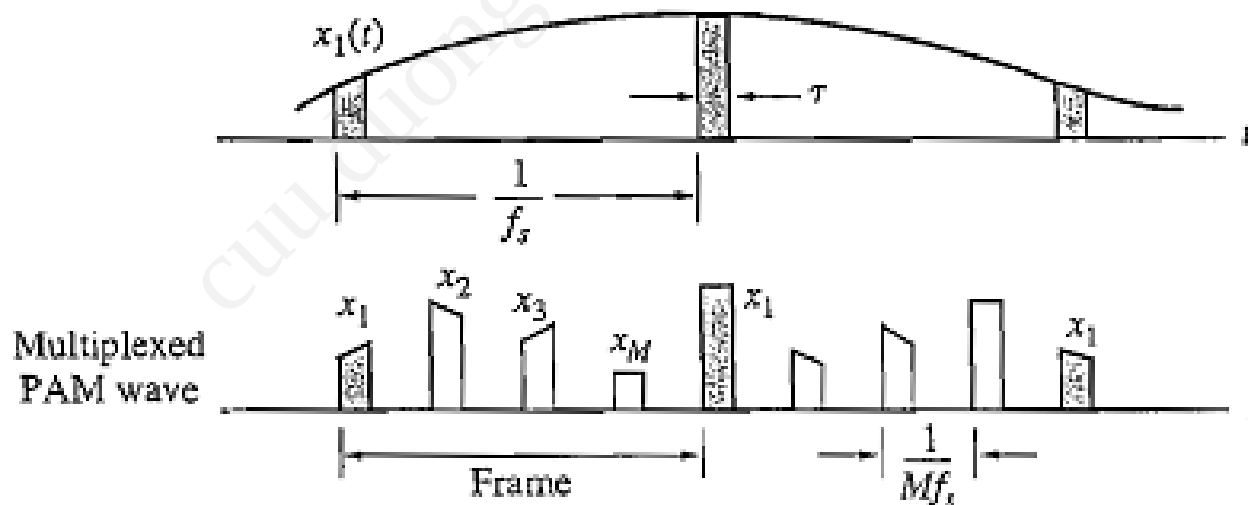
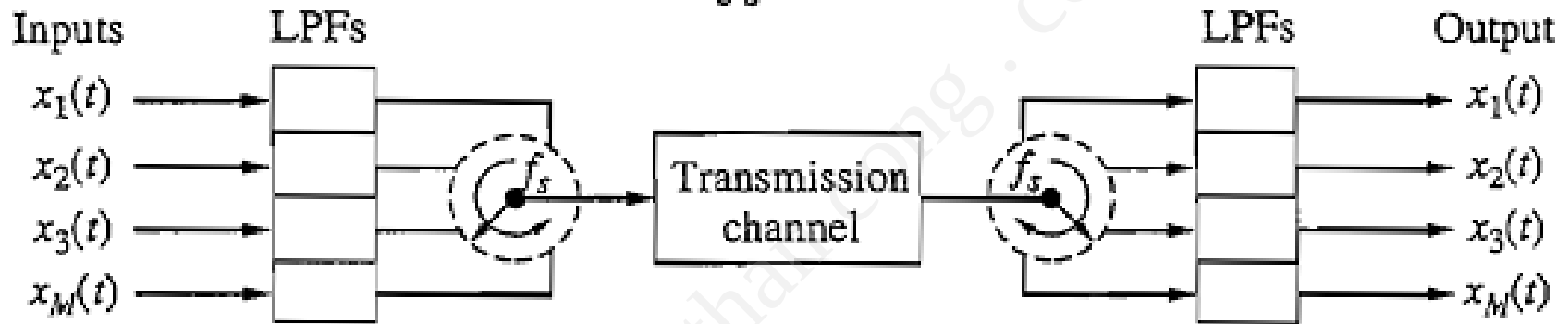


## 8.5 Ghép kênh theo thời gian

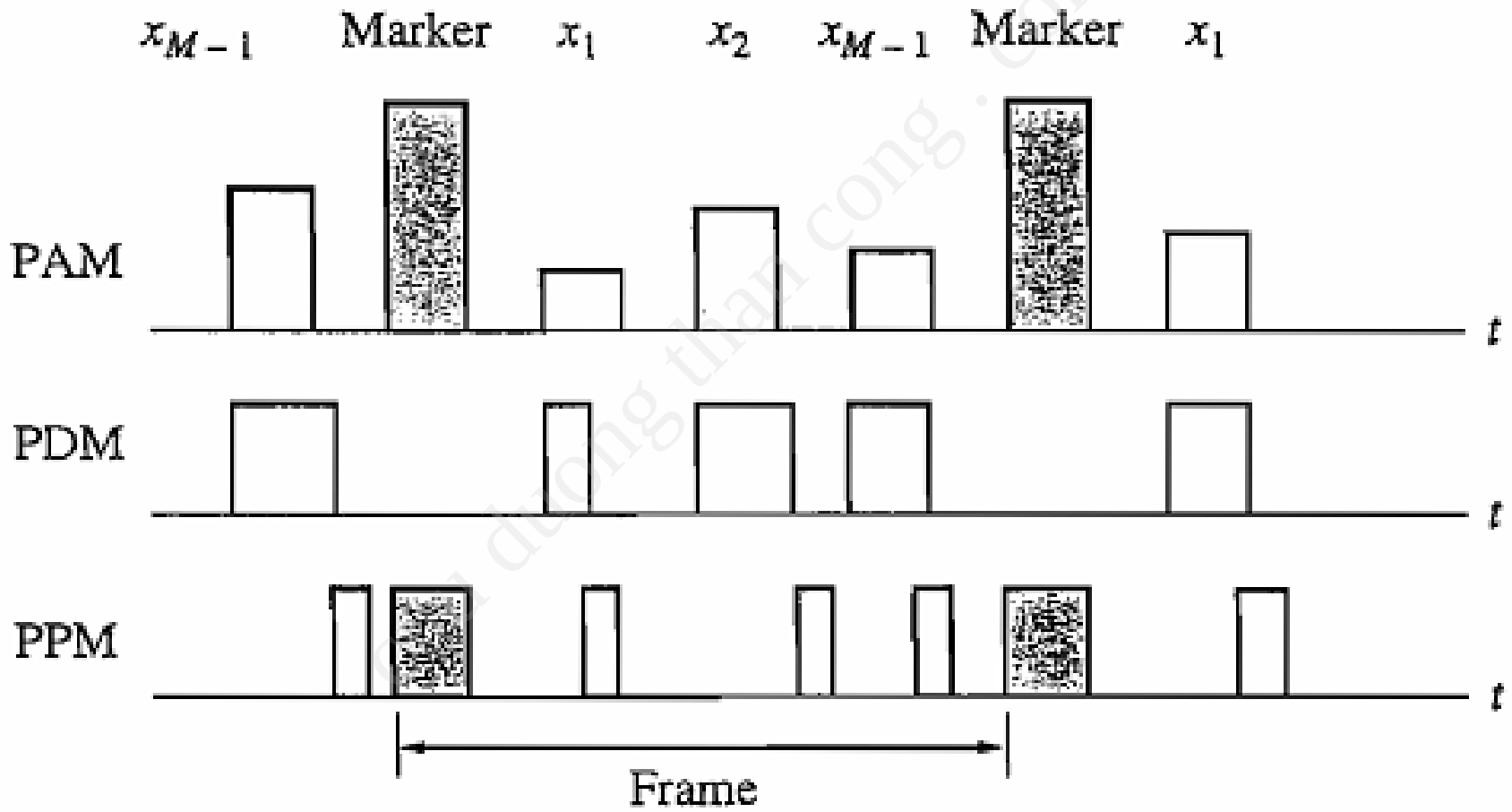
- Nguyên lý hoạt động
- Sơ đồ khối
- Dạng sóng phân bố kênh theo thời gian
- Các khối ghép kênh chính và phụ
  - Số ngõ vào
  - Tần số lấy mẫu
  - Tốc độ xung điều khiển
  - Tín hiệu đồng bộ
- Nhiều liên ký tự (ISI)

# Sơ đồ khối ghép kênh theo thời gian TDM

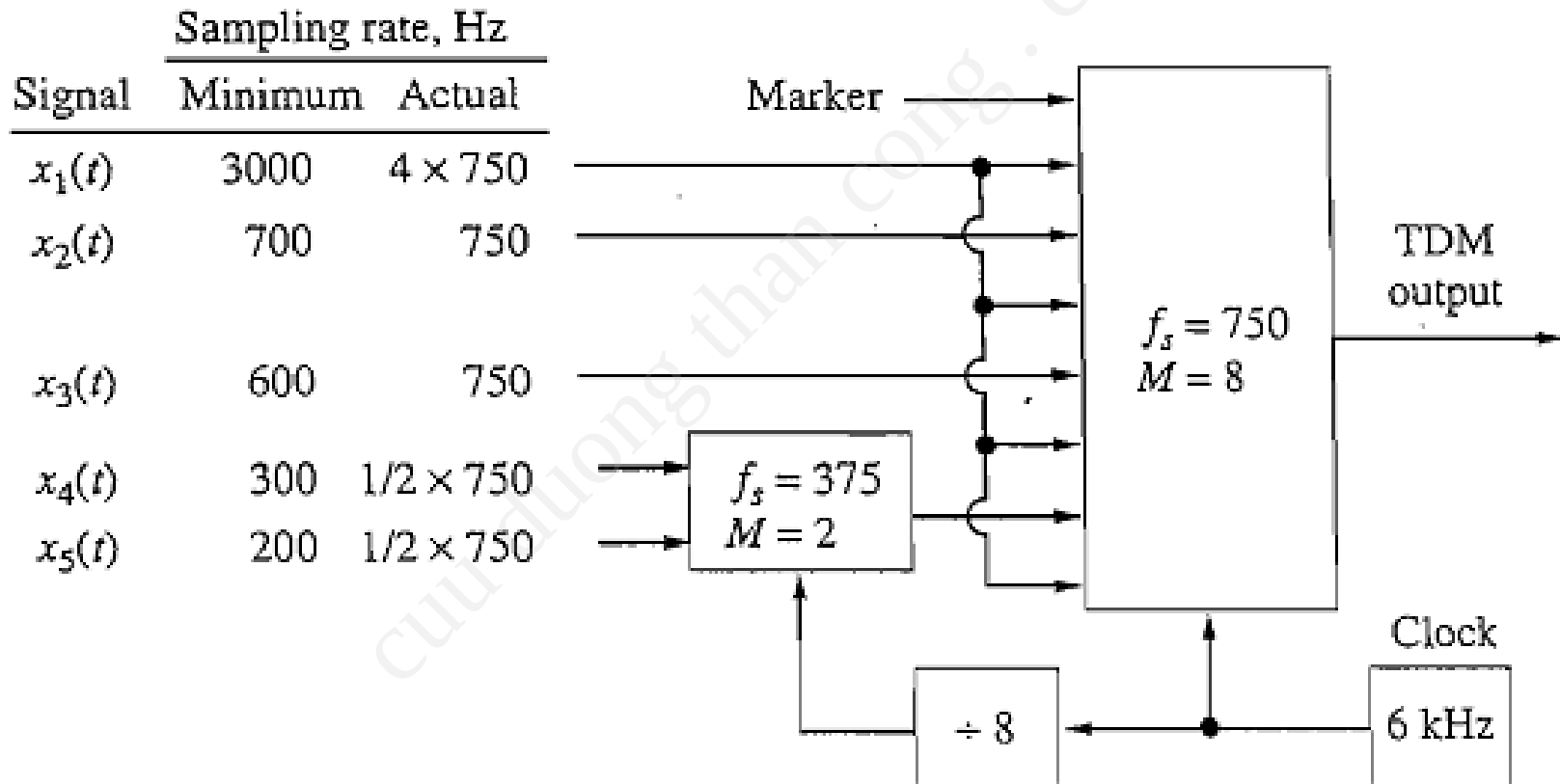
$$r = Mf_s \geq 2MW$$



# Dạng sóng ghép kênh theo thời gian TDM

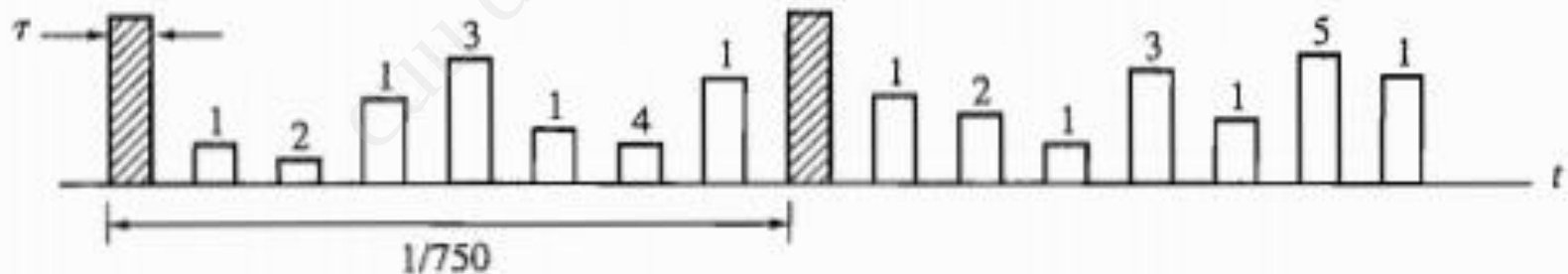


# Ví dụ 10



Suppose the output in Fig. 7.2-11 is an unfiltered PAM signal with 50 percent duty cycle. Sketch the waveform for two successive frames, labeling each pulse with its source signal. Then calculate the required transmission bandwidth  $B_T$  from Eq. (6), Sect. 6.2.

$$\tau = \frac{1}{2} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{750}, B_T \geq \frac{1}{2\tau} = 8 \times 750 = 6 \text{ kHz}$$





# Ghép kênh số

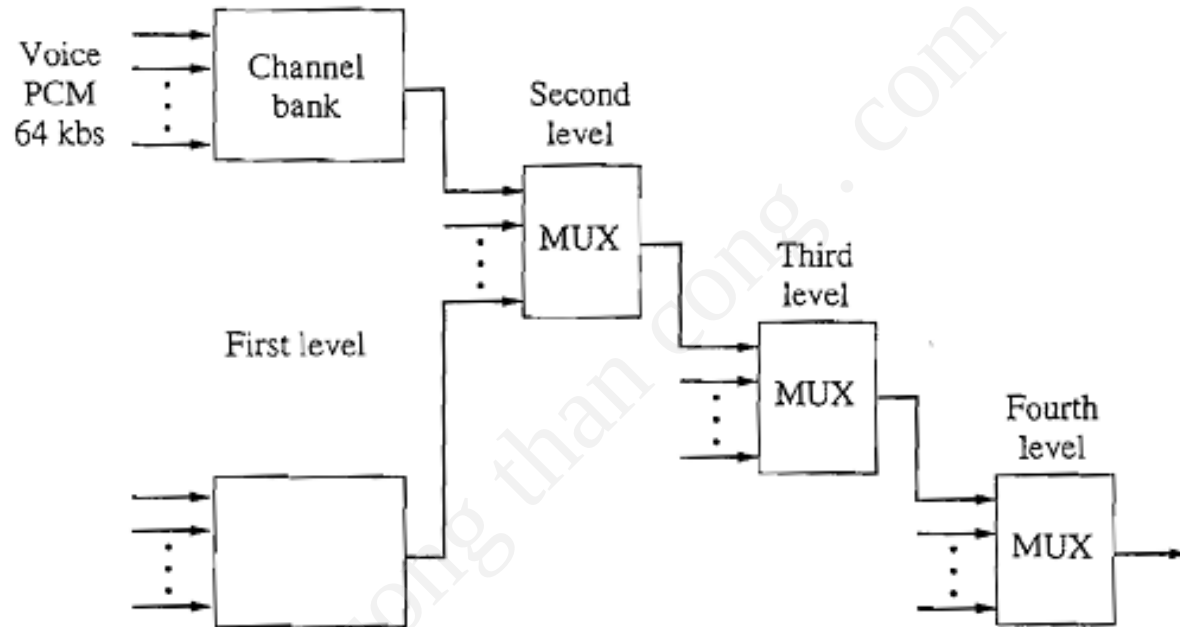
There are 3 categories of multiplexers:

- **Synchronous multiplexer:** A master clock governs all sources, thereby eliminating bit-rate variation.
- **Asynchronous multiplexer:** used for digital data sources that operate in start/stop mode, producing burst of characters with variable spacing between bursts.
- **Quasi-synchronous multiplexer:** used when input rates have the same nominal value but vary within specified bounds.

Two main hierarchies: **AT&T hierarchy** for North America and Japan and **CCIT hierarchy** in Europe. Both hierarchies are based on a **64-kbps voice PCM unit** and have the same structural layout shown as below figure:

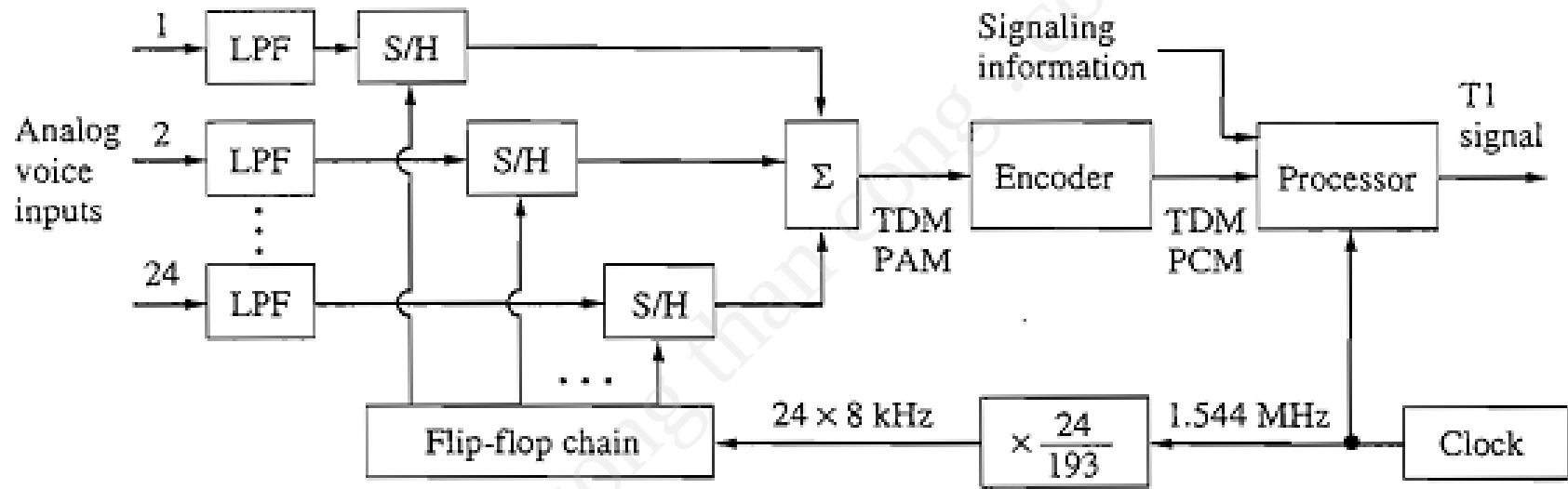


# Phân cấp trong phân kênh số

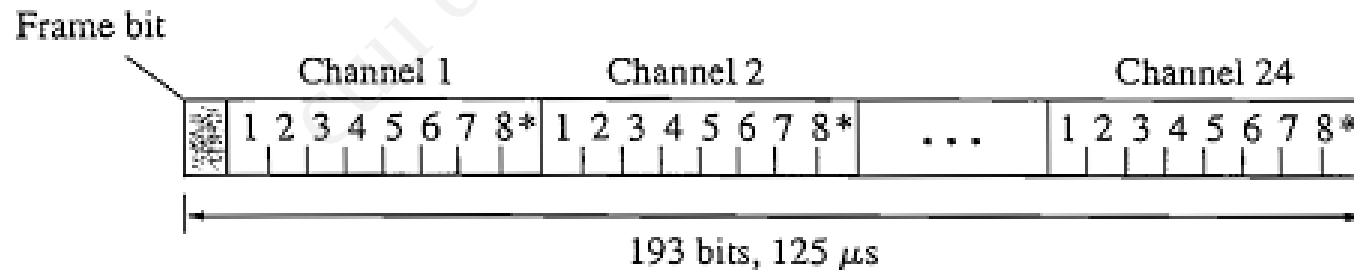


|              | AT&T             |                   | CCIT             |                   |
|--------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|              | Number of inputs | Output rate, Mbps | Number of inputs | Output rate, Mbps |
| First Level  | 24               | 1.544             | 30               | 2.048             |
| Second Level | 4                | 6.312             | 4                | 8.448             |
| Third Level  | 7                | 44.736            | 4                | 34.368            |
| Fourth Level | 6                | 274.176           | 4                | 139.264           |

# Khung ghép kênh số (T1)



(a)



(b)



# Ví dụ 11

Consider a voice TDM system with 24 channels, each one having a data rate of 64 kbps but, because of the intermittent nature of speech, is utilized only 10 percent of the time. We want to transmit a fax page consisting of 8 million bits. If we employ message switching using all the channels that are available 90 percent of the time, our waiting time is  $1/(24 \times 64 \text{ kbps} \times 0.9) = 0.72 \mu\text{s/bit} \times 8 \text{ million bits} = 5.8 \text{ seconds}$ . On the other hand, if we use circuit switching and only one of the TDM channels, our waiting time is  $1/(64 \text{ kbps}) = 16.6 \mu\text{s/bit} \times 8 \text{ million bits} = 125 \text{ seconds}$ . Therefore, if we can tolerate the intermittent delays associated with store-and-forward switching, we have a relatively efficient method of quickly transferring data.



## Ví dụ 12

Assume that the first-level multiplexer in the CCIT hierarchy is a synchronous voice-PCM channel bank with 30 input signals, output bit rate  $r_b = 2.048$  Mbps, and no bit-robbing. Find the number of framing plus signaling bits per frame.

Voice PCM bits/frame = 30 channels  $\times$  8 bits/channel = 240 bits,

$$T_{frame} = 1/(8 \text{ kHz}) = 125 \mu s$$

$$r = \frac{240 + n}{125 \mu s} = 2.048 \text{ Mbps} \Rightarrow n = 256 - 240 = 16 \text{ bits/frame}$$



# PCM-30 (E1)

- Tốc độ truyền xung đồng bộ khung:  $R_{SF} = 7\text{bit/khung} \times 4.10^3 \text{ khung/s} = 28 \text{ kbit/s}$ .
- Tốc độ truyền xung đồng bộ đa khung:  $R_{SMF} = 16 \text{ kbit/s}$
- Tốc độ truyền xung gọi chuông (báo hiệu) của một thuê bao:  $R_{Sig} = 2 \text{ kbit/s}$
- Tốc độ truyền xung cảnh báo mất đồng bộ khung:  $R_{AF} = 4 \text{ kbit/s}$
- Tốc độ truyền xung cảnh báo mất đồng bộ đa khung:  $R_{AMF} = 0,5 \text{ kbit/s}$



# Phân cấp số cận đồng bộ PDH

- $E0 = T0 = DS0 = J0 = 64\text{kbps}$
- Châu Âu (CEPT): x 30(E1:2048) x 4(E2:8448)  
x 4(E3:34368) x 4(E4:139264) x 4(E5:564992)
- Bắc Mỹ: x 24(T1:1544) x 4(T2:6312) x  
7(T3:44736) x 6(T4:274176) x 2(T5:560160)
- Nhật Bản: x 24(J1:1544) x 4(J2:6312) x  
5(J3:32064) x 3(J4:97728) x 4(J5:400352)
- Quốc tế (CCITT/ITU-T) **Ghép xen bit**



# Phân cấp số đồng bộ SDH/SONET

| Optical Level | SONET Electrical Level | SDH Equivalent | Line Rate (Mbps) | Payload Rate (Mbps) | Overhead Rate (Mbps) | SONET Capacity           | SDH Capacity        |
|---------------|------------------------|----------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| OC-1          | STS-1                  | –              | 51.840           | 50.112              | 1.728                | 28 DS-1s or 1 DS-3       | 21 E1s              |
| OC-3          | STS-3                  | STM-1          | 155.520          | 150.336             | 5.184                | 84 DS-1s or 3 DS-3s      | 63 E1s or 1 E4      |
| OC-12         | STS-12                 | STM-4          | 622.080          | 601.344             | 20.736               | 336 DS-1s or 12 DS-3s    | 252 E1s or 4 E4s    |
| OC-48         | STS-48                 | STM-16         | 2488.320         | 2405.376            | 82.944               | 1,344 DS-1s or 48 DS-3s  | 1,008 E1s or 16 E4s |
| OC-192        | STS-192                | STM-64         | 9953.280         | 9621.504            | 331.776              | 5,376 DS-1s or 192 DS-3s | 4,032 E1s or 64 E4s |

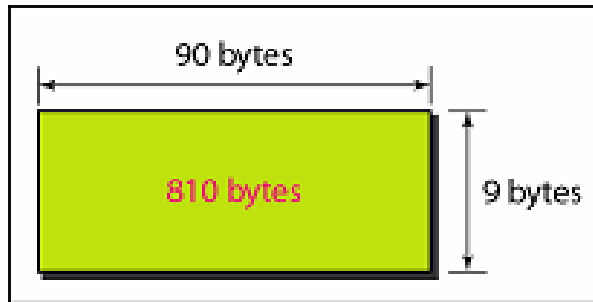
STM = Synchronous Transport Module (ITU-T)

STS = Synchronous Transfer Signal (ANSI)

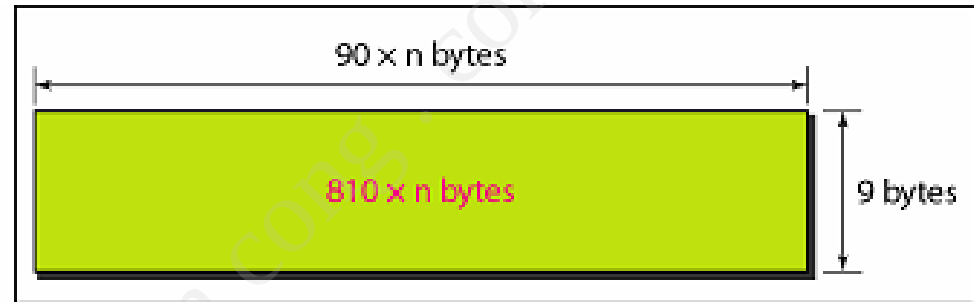
OC = Optical Carrier (ANSI)

## Ghép xen byte

# Khung STS

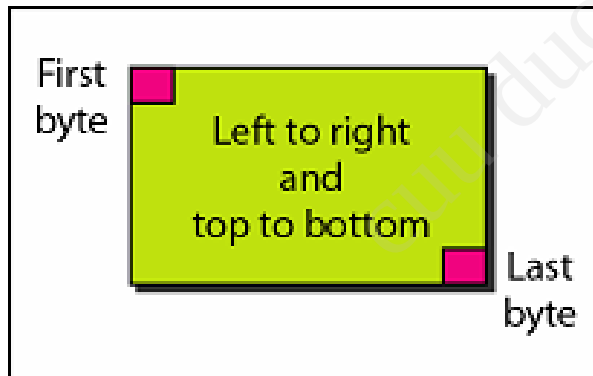


a. STS-1 frame

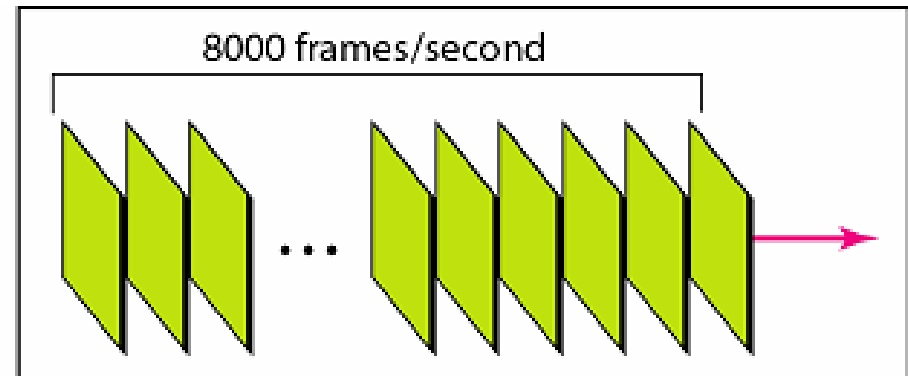


b. STS-n frame

Frame transmission: A SONET STS-N signal is transmitted at **8000 frames/s**



a. Byte transmission



b. Frame transmission





# Tóm tắt

- Tính toán xác suất lỗi bit?
- Các thông số của hệ thống PCM?
- Tính toán nhiễu lượng tử?
- Bộ lượng tử nén giãn?
- Điều chế DM?
- Điều chế số ASK, PSK, FSK và QAM?
- Thực hiện ghép kênh theo thời gian TDM?
- Phân loại ghép kênh số?
- Tốc độ dữ liệu chuẩn T1/E1?



# Bài tập 1

- Cho 4 tín hiệu tương tự băng gốc khác nhau có tần số lớn nhất lần lượt là 2, 3, 4 và 5.1@ KHz được ghép kênh theo thời gian TDM (cần 1 tín hiệu đồng bộ).  
Vẽ 1 sơ đồ khối thực hiện việc ghép kênh với các thông số cụ thể (số ngõ vào, tần số lấy mẫu) và tính băng thông yêu cầu tối thiểu của kênh truyền tương ứng với sơ đồ thiết kế trong các trường hợp sau:
  - a) Chỉ dùng 1 bộ ghép kênh 8 ngõ vào.
  - b) Chỉ dùng các bộ ghép kênh tối đa 4 ngõ vào.
  - c) Kênh truyền chỉ có băng thông tối đa 19 KHz.



## Bài tập 2

- Cho 4 tín hiệu tương tự băng gốc khác nhau có tần số lớn nhất lần lượt là 2.1@, 3, 4 và 5 KHz được ghép kênh theo thời gian TDM (cần 1 tín hiệu đồng bộ).  
Vẽ 1 sơ đồ khối thực hiện việc ghép kênh với các thông số cụ thể (số ngõ vào, tần số lấy mẫu) và tính băng thông yêu cầu tối thiểu của kênh truyền tương ứng với sơ đồ thiết kế trong các trường hợp sau:
  - a) Chỉ dùng 1 bộ ghép kênh 8 ngõ vào.
  - b) Chỉ dùng các bộ ghép kênh tối đa 4 ngõ vào.
  - c) Kênh truyền chỉ có băng thông tối đa 18 KHz.



## Bài tập 3

- Cho 3 tín hiệu tương tự băng gốc thực khác nhau có tần số lớn nhất lần lượt là 2KHz, 3KHz và 4KHz được ghép trên 1 kênh truyền.
- a) Trong trường hợp kênh truyền có băng thông 12.@ KHz, vẽ 1 sơ đồ khối (nguyên lý) dùng phương pháp ghép kênh theo thời gian TDM với các thông số cụ thể.
- b) Xem xét thêm phương án ghép kênh theo thời gian TDM thỏa điều kiện chỉ dùng các bộ ghép kênh 2, 4 hoặc 8 ngõ vào.



# Bài tập 4

- Cho trước một bộ ghép kênh chính với 8 ngõ vào và tần số lấy mẫu chính  $F_s = 8\text{KHz}$ , dùng thêm các bộ ghép kênh phụ với 4 hoặc 2 ngõ vào và tần số lấy mẫu phụ tương ứng để thực hiện ghép kênh theo thời gian TDM cho 7 tín hiệu ngõ vào có băng thông lần lượt là: 12.0, 4.0, 1.0, 0.9, 0.8, 0.5, và 0.3@ KHz và 1 tín hiệu đánh dấu dùng cho việc đồng bộ.
  - a) Xác định tần số lấy mẫu tối thiểu của mỗi tín hiệu ngõ vào.
  - b) Xác định tốc độ của tín hiệu sau khi ghép kênh.
  - c) Vẽ sơ đồ khối thực hiện việc ghép kênh trong đó xác định rõ số ngõ vào, tần số lấy mẫu và tốc độ xung điều khiển của mỗi bộ ghép kênh.



# Bài tập 5

- Cho hệ thống PCM M-ary lượng tử đều hoạt động với tín hiệu tương tự có tần số lớn nhất là 4KHz và công suất trung bình là 12W.
  - a) Tìm điều kiện khoảng lượng tử (step size) để hệ thống trên có tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu lượng tử  $SNR \geq 4@0$  dB, giả sử nhiễu lượng tử phân bố đều.
  - b) Xác định băng thông nhỏ nhất của kênh truyền để hệ thống trên có tối thiểu 1@0 từ mã nhị phân.
  - c) Xác định cơ số M nhỏ nhất có thể và tần số lấy mẫu tối đa tương ứng để hệ thống trên hoạt động với kênh truyền có băng thông 15KHz đồng thời vẫn đảm bảo có tối thiểu 1@0 mức lượng tử.

# Bài tập 6

- Cho hệ thống thu nhị phân số hai mức  $0V$  và  $5V$  với xác suất truyền mức  $0V$  là  $4\%$ .
  - a) Giả sử hệ thống hoạt động trong môi trường nhiễu AWGN có giá trị trung bình bằng  $0$  và công suất nhiễu  $4W$ . Tính xác suất lỗi bit của hệ thống trong trường hợp bộ quyết định dùng ngưỡng  $V_{Th}=2.5V$ ? Ngưỡng này có phải tối ưu (xác suất lỗi bit của hệ thống là nhỏ nhất) hay chưa? Giải thích minh họa.
  - b) Giả sử hệ thống hoạt động trong môi trường nhiễu phân bố dạng tam giác đối xứng trong phạm vi  $\pm 5V$ , xác định ngưỡng tối ưu để xác suất lỗi bit của hệ thống là nhỏ nhất?



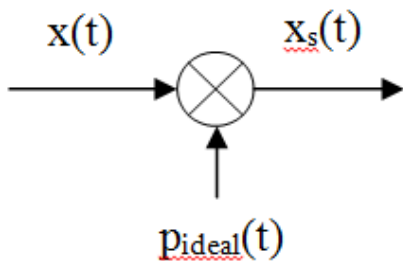
# Bài tập 7

- Cho hệ thống thu nhị phân số hai mức 0 và A với xác suất truyền mỗi mức bằng nhau. Hệ thống hoạt động trong môi trường nhiễu cộng có giá trị trung bình bằng 0 và công suất nhiễu (phương sai) bằng  $1@$ . Xác định điều kiện của giá trị mức A để xác suất lỗi bit tối ưu của hệ thống không vượt quá  $10^{-3}$  trong các trường hợp sau:
  - a) Nhiễu phân bố Gaussian, biết rằng  $Q(3,1) \approx 10^{-3}$ .
  - b) Nhiễu phân bố đều.

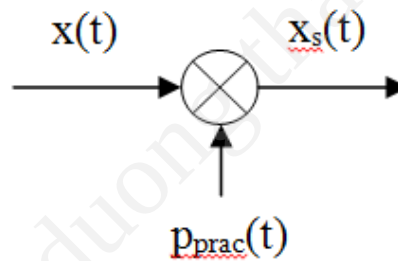


# Bài tập 8

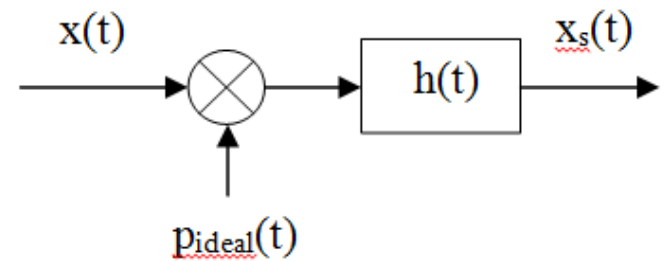
- Cho tín hiệu  $x(t) = 2\cos 2\pi 30t$ . Vẽ phổ biên độ (từ 0 đến 100Hz) của tín hiệu sau lấy mẫu trong các trường hợp:



Hình 6a



Hình 6b



Hình 6c



## Bài tập 8 (tt)

- a) Tín hiệu được lấy mẫu bởi chuỗi xung lý tưởng  $p_{\text{ideal}}(t) = \sum \delta(t - kT_s)$  với  $T_s = 0.01\text{s}$  như hình 6a.
- b) Tín hiệu được lấy mẫu bởi chuỗi xung thực tế  $p_{\text{prac}}(t) = \sum \Pi((t - kT_s)/0.005)$  với  $T_s = 0.01\text{s}$  như hình 6b.
- c) Tín hiệu được lấy mẫu và giữ với chuỗi xung lý tưởng  $p_{\text{ideal}}(t) = \sum \delta(t - kT_s)$  với  $T_s = 0.01\text{s}$  và đáp ứng xung  $h(t) = \Pi(t/0.005)$  như hình 6c.



# Bài tập 9

- 12.1-1\* An analog waveform with  $W = 15$  kHz is to be quantized to  $q \geq 200$  levels and transmitted via an  $M$ -ary PCM signal having  $M = 2^n$ . Find the maximum allowed values of  $\nu$  and  $f_s$ , and the corresponding value of  $n$  when the available transmission bandwidth is  $B_T = 50$  kHz.
- 12.1-2 Do Prob. 12.1-1 with  $B_T = 80$  kHz.



# Bài tập 10

- 12.1-5\*** A voice signal having  $W = 3$  kHz and  $S_x = 1/4$  is to be transmitted via  $M$ -ary PCM. Determine values for  $M$ ,  $\nu$ , and  $f_s$  such that  $(S/N)_D \geq 40$  dB if  $B_T = 16$  kHz.
- 12.1-6** Do Prob. 12.1-5 with  $(S/N)_D \geq 36$  dB and  $B_T = 20$  kHz.



# Bài tập 11

- 12.1-7** An audio signal with  $S_x = 0.3$  is to be transmitted via a PCM system whose parameters must satisfy the standards for broadcast-quality audio transmission listed in Table 9.4-1. (a) If  $M = 2$ , then what are the required values of  $\nu$  and  $B_T$ ? (b) If  $B_T = 4W$ , then what's the minimum value of  $M$ ?
- 12.1-8** Do Prob. 12.1-7 for high-fidelity audio transmission standards.



# Bài tập 12

- 12.1-9 What is the minimum number of bits required for an ADC to quantize a signal that varies from  $5 \mu\text{V}$  to  $200 \text{ mV}$  so that  $(S/N)_D \geq 40 \text{ dB}$ ?
- 12.1-10\* What is the  $q$ ,  $\Delta$  and  $(S/N)_D$  for a PCM system with a  $\nu = 12$ -bit ADC and a bipolar  $\pm 10$  sinusoidal input?
- 12.1-11 Do Prob. 12.1-10 with  $\nu = 16$  bits.



# Bài tập 13

- 12.1-12 How many bits are required for an ADC to encode music where the dynamic range is 120 dB?
- 12.1-13\* What is the minimum size memory required to store 10 minutes of a sampled and quantized voice assuming  $S_x/\sigma_q^2 = 35$  dB and  $f_s = 8$  kHz.
- 12.1-14 Consider a uniform quantizer with  $\nu = 12$  bits and inputs between  $0+/-10$  V. What is  $\epsilon_k$  for an input of (a)  $+0.02$  volts, (b)  $+0.2$  volts?

$$\text{Dynamic range} = 20\log(v_{\max}/v_{\min})$$



# Bài tập 14

- 12.2-1\* A signal with  $S_x = 1/2$  and  $W = 6$  kHz is to be transmitted via  $M$ -ary PCM on a channel having  $N_0 = 0.01 \mu\text{W/Hz}$  and  $B_T = 15$  kHz. Find the smallest value of  $M$  and the corresponding smallest value of  $\nu$  that yields  $(S/N)_D \geq 36$  dB. Then calculate the minimum value of  $S_R$  for operation above threshold, assuming the PCM signal occupies the full transmission bandwidth.
- 12.2-2 Do Prob. 12.2-1 with  $B_T = 20$  kHz.
- 12.2-3 Do Prob. 12.2-1 with  $B_T = 50$  kHz.

$$\gamma = \frac{S_R}{N_0 W} \geq \gamma_{th} = 6(B_T / W)(M^2 - 1)$$





# Bài tập 15

12.4-1\*

How many bits can a CD store?

12.4-2

What percentage of a CD will it take to store the Bible if it consists of 981 pages, two columns per page, 57 lines per column, 45 characters per line, and each character has 7 bits?

12.4-3

How many minutes of music can be recorded on a 2-Gbyte hard drive with  $f_s = 44.1$  kHz,  $\nu = 16$  bits, and two recording channels?

12.5-4\*

How long does it take to transmit an  $8 \times 10$  inch image with 600 dots per inch resolution and 1 bit per dot over a BRI channel?

12.5-5

Repeat Prob. 12.5-4 with a 56-kbps modem.



# Bài tập 16

**12.5-1\***

Several high-fidelity audio channels having  $W = 15$  kHz are to be transmitted via binary PCM with  $\nu = 12$ . Determine how many of the PCM signals can be accommodated by the first level of the AT&T multiplexing hierarchy. Then calculate the corresponding bandwidth efficiency.

**12.5-2**

Do Prob. 12.5-1 for the first level of the CCIT hierarchy.

**12.5-3**

Determine the number of voice telephone signals that can be carried by a STS-1 SONET.



# Bài tập 17

- 7.2-10\*** Twenty-four voice signals are to be transmitted via multiplexed PAM with a marker pulse for frame synchronization. The sampling frequency is 8 kHz and the TDM signal has a 50 percent duty cycle. Calculate the signaling rate, pulse duration, and minimum transmission bandwidth.
- 7.2-11** Do Prob. 7.2-10 with a 6-kHz sampling frequency and 30 percent duty cycle.



# Bài tập 18

**7.2-12** Twenty signals, each with  $W = 4$  kHz, are sampled at a rate that allows a 2-kHz guard band for reconstruction filtering. The multiplexed samples are transmitted on a CW carrier. Calculate the required transmission bandwidth when the modulation is: (a) PAM/AM with 25 percent duty cycle; (b) PAM/SSB with baseband filtering.



# Bài tập 19

**7.2-13\*** Ten signals, each with  $W = 2$  kHz, are sampled at a rate that allows a 1-kHz guard band for reconstruction filtering. The multiplexed samples are transmitted on a CW carrier. Calculate the required transmission bandwidth when the modulation is: (a) PPM/AM with 20 percent duty cycle; (b) PAM/FM with baseband filtering and  $f_{\Delta} = 75$  kHz.



# Bài tập 20

- 7.2-14** Given a 6-channel main multiplexer with  $f_s = 8$  kHz, devise a telemetry system similar to Fig. 7.2-11 (including a marker) that accommodates six input signals having the following bandwidths: 8.0, 3.5, 2.0, 1.8, 1.5, and 1.2 kHz. Make sure that successive samples of each input signal are equispaced in time. Calculate the resulting baseband bandwidth and compare with the minimum transmission bandwidth for an FDM-SSB system.
- 7.2-15** Do Prob. 7.2-14 for seven input signals having the following bandwidths: 12.0, 4.0, 1.0, 0.9, 0.8, 0.5, and 0.3 kHz.
- 7.2-16** Do Prob. 7.2-14 for eight input signals having the following bandwidths: 12.0, 3.5, 2.0, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, and 0.1 kHz.



# Bài tập 21

11. Evaluate the symbol rate and the bit rate of the PCM system described by the following:

- The sampling rate is 5,300 Hz
- The quantizer is an 8-level quantizer.

12. A computer sends:

- 100 letters every 4 seconds
- 8 bits to represent each letter
- the bits enter a special coding device that takes in a set of bits and puts out one of 32 possible symbols.

What is the bit rate and what is the symbol rate out of the special coding device?



# Bài tập 22

10. (a) Plot the  $\mu = 10$  compressor characteristic given that the input values are in the range  $[-2.5, 2.5]$ .
- (b) Plot the corresponding expander.





# Bài tập 23

6. Plot the output of a sampler in frequency given:

- The input signal has maximum frequency 5,300 Hz.
- Ideal sampling is used.
- Sampling is at a rate of 5,300 Hz.
- The input signal in the frequency domain is triangular (i.e., it is a maximum at 0 Hz and degrades to 0 linearly as frequency increases to 5,300 Hz (and to -5,300 Hz).



# Bài tập 24

3. Consider the signal

$$y(t) = x_1(t) * x_2(t) \quad (\text{Q4.3})$$

where

$$X_1(f) = 0, |f| > 1000 \text{ Hz} \quad (\text{Q4.4})$$

$$X_2(f) = 0, |f| > 2000 \text{ Hz} \quad (\text{Q4.5})$$

What is the minimum sampling period that ensures that  $y(t)$  is completely recoverable from its samples?



# Bài tập 25

2. Determine the Nyquist sampling rate for the following signals

$$(a) \quad x(t) = \frac{\sin(4000\pi t)}{\pi t} \quad (Q4.1)$$

$$(b) \quad x(t) = \frac{\sin^2(4000\pi t)}{\pi^2 t^2} \quad (Q4.2)$$



# Bài tập 26

13. Over the time 0 s to 2 s, determine (1) the input to the DM, (2) the output of the DM, and (3) the times of granular and overload noise given:

- The input to the DM is  $x(t) = t^2$
- The sampler offers 10 samples/second
- The step size of the DM is 0.1 V

14. (a) Draw the output of the DM given:

- The input corresponds to  $x(t) = 1.1t + 0.05$
- The input is sampled at times  $t = 0, 1, 2, 3, 4$
- The step size is 1 and  $a = 1$ .

(b) Repeat (a), this time using  $a = 0.5$ .

# Bài tập 27

7. Consider a quantizer with an input described in Figure Q4.3.
- Draw a quantizer with 7 levels. Make it mid-tread, let it have  $-3$  as its smallest output value, and make sure that the step size is 1.
  - Evaluate the *mse* of your quantizer given the input.
  - Evaluate the SQNR.
  - If the input to the quantizer has an amplitude with a probability distribution uniform between  $-3.5$  and  $+3.5$ , what is the SQNR of the quantizer?

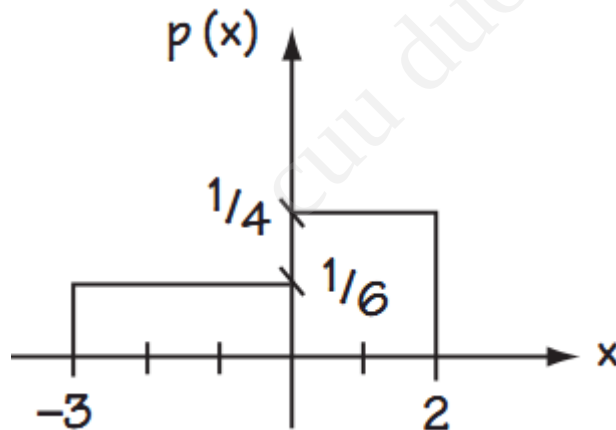


Figure Q4.3 The input pdf



# Bài tập 28

8. Find out how many levels a quantizer must use to achieve an SQNR greater than 30 dB given:

- The incoming audio signal is sampled at its Nyquist rate of 8,000 samples/sec.
- The amplitudes output from the sampler have a uniform probability distribution function.
- A uniform quantizer is used.