



## Chương 2

# LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU

### Nội dung:

2.1 Lấy mẫu tín hiệu

2.2 Bộ tiền lọc

2.3 Lượng tử hóa

2.4 Khôi phục tín hiệu tương tự

2.5 Các bộ biến đổi ADC và DAC

Bài tập

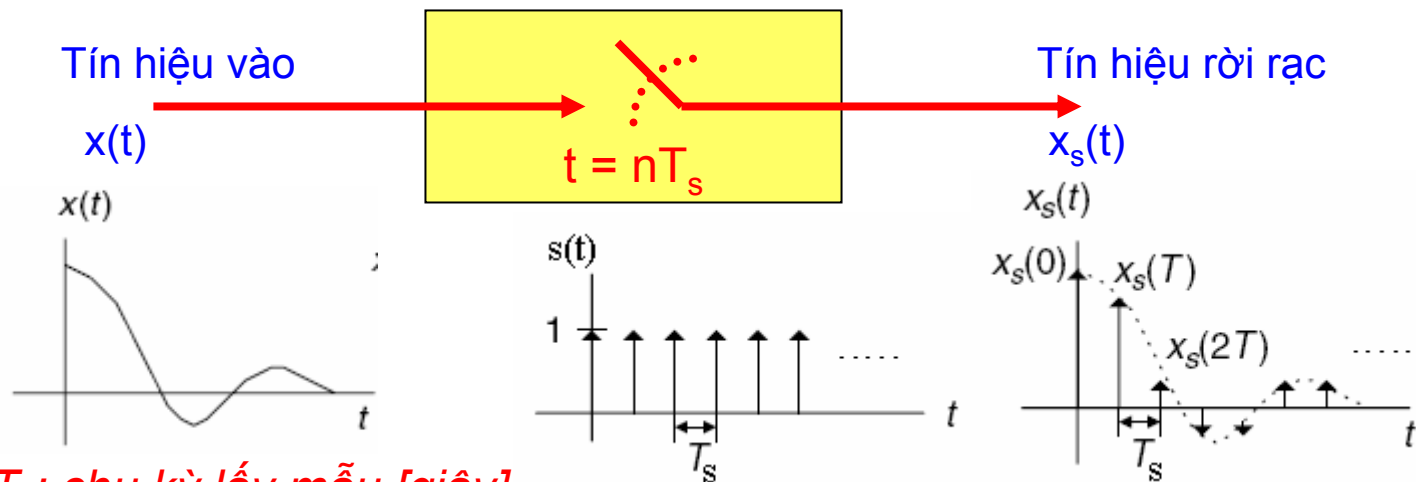


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1 Lấy mẫu tín hiệu:

➤ Quá trình biến đổi tín hiệu liên tục thành các mẫu tín hiệu rời rạc theo thời gian.

#### 2.1.1 Nguyên lý lấy mẫu:



trong đó:  $T_s$ : chu kỳ lấy mẫu [giây]

$f_s = 1/T_s$ : tần số lấy mẫu [Hz] hay tốc độ lấy mẫu [mẫu/giây]

□ Lựa chọn hợp lý giá trị của  $f_s$  là vấn đề quan trọng:

- $f_s$  phải đủ lớn để biểu diễn đầy đủ tính chất của tín hiệu.
- $f_s$  quá lớn sẽ yêu cầu cao về phần cứng, tốn bộ nhớ, vv...

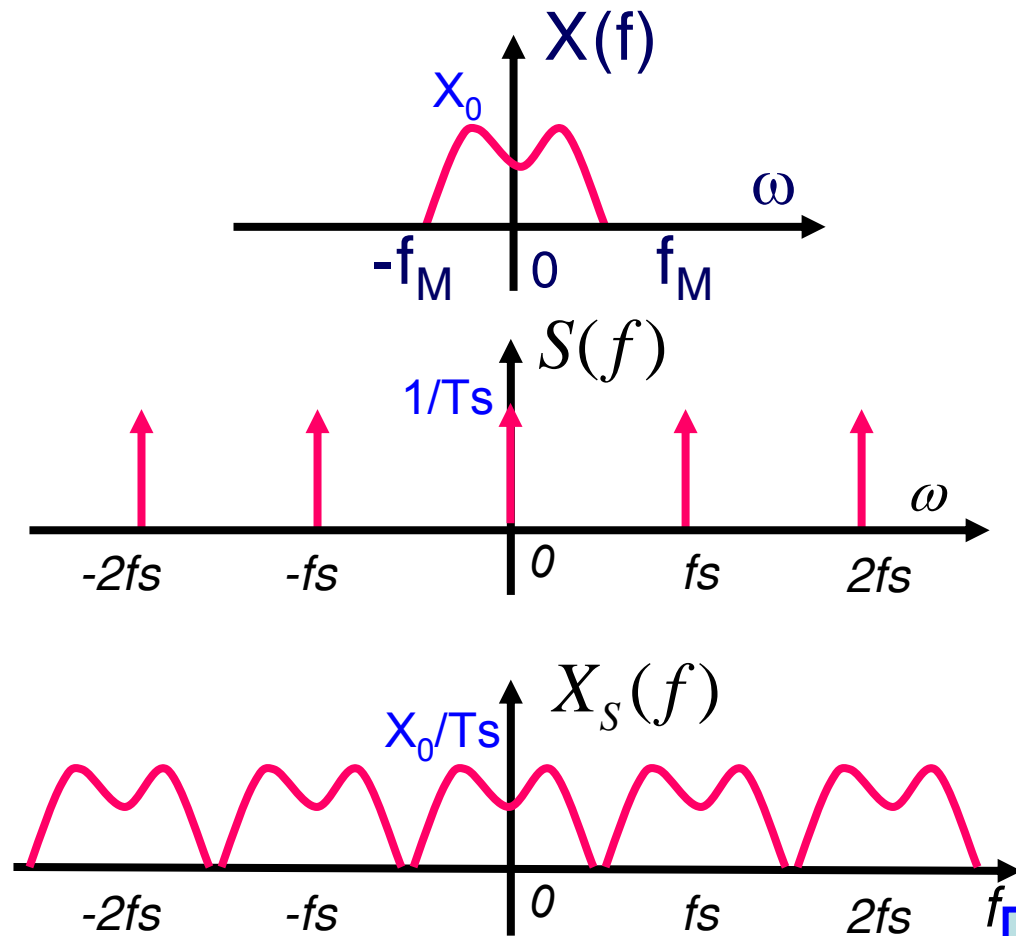
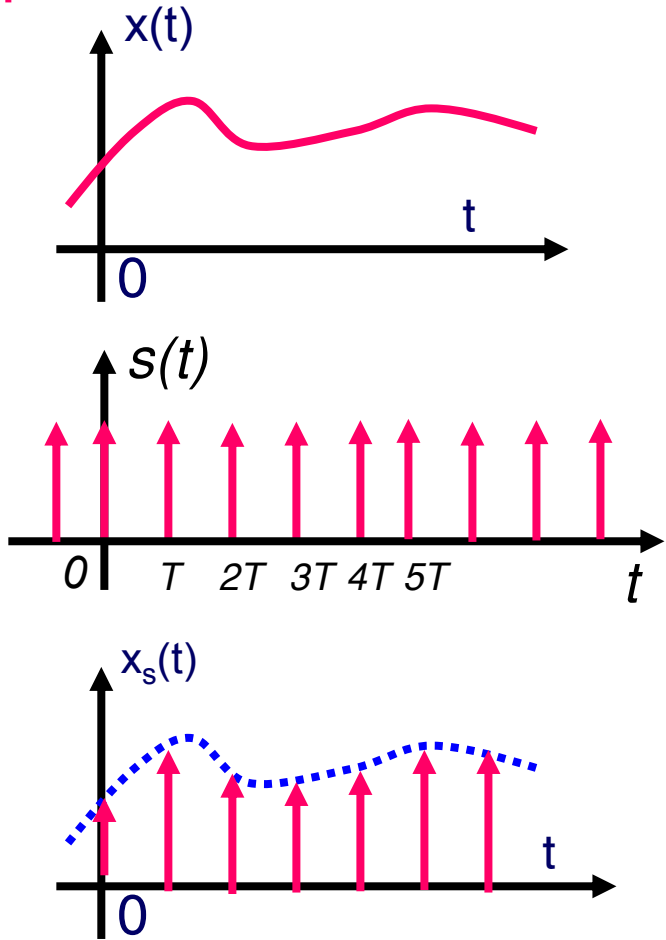


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.2 Mô tả quá trình lấy mẫu:

Mô tả miền thời gian

Mô tả miền tần số





## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.2 Mô tả quá trình lấy mẫu (tt):

❖ *Quan hệ giữa ngõ vào – ngõ ra của bộ lấy mẫu:*

➤ *Trong miền thời gian:*

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

➤ *Trong miền tần số:*

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

❖ *Nhận xét:*

▪ *Quá trình lấy mẫu tạo phổ rộng vô hạn nhưng tuần hoàn với chu kỳ  $f_s$ .*

*Nghĩa là, phổ của  $x_s(t)$  chính là phổ của  $x(t)$  và các lặp lại ở tần số  $\pm f_s$ ,  $\pm 2f_s$ , vv...*



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.3 Định lý lấy mẫu Nyquist:

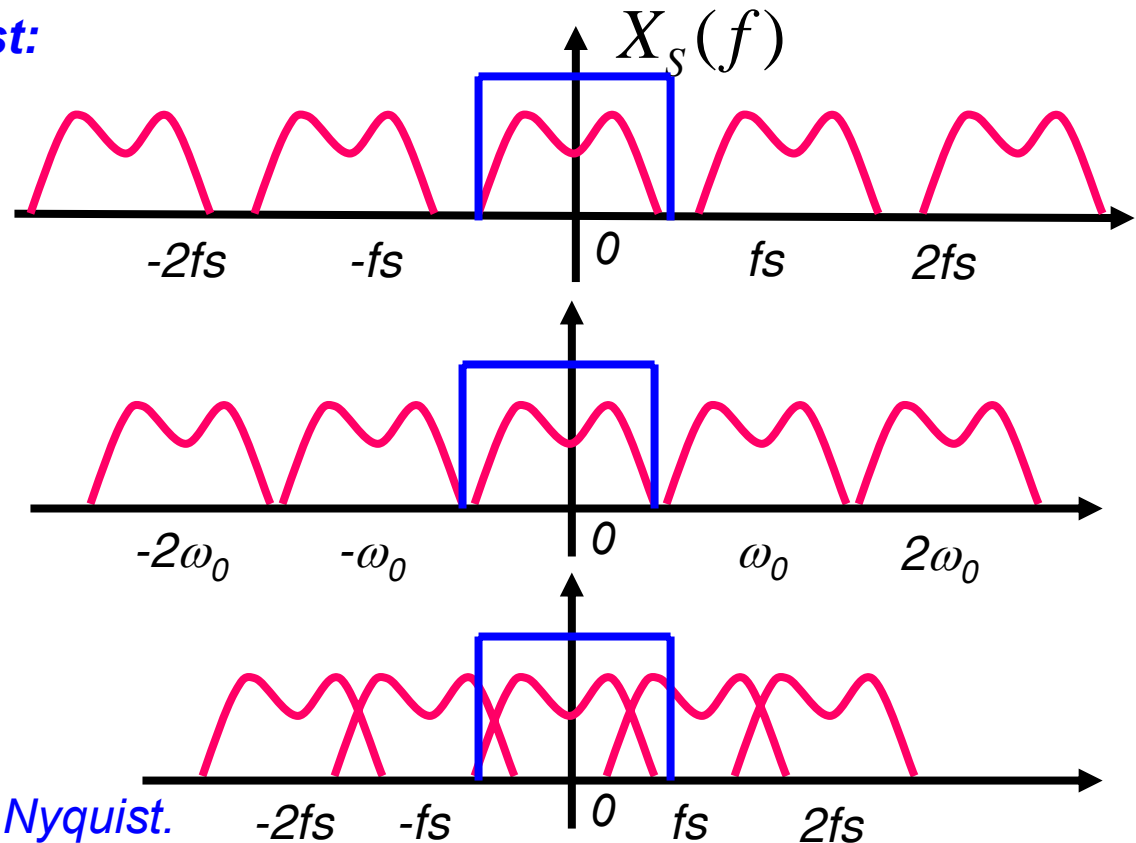
- Dùng bộ lọc thông thấp để khôi phục tín hiệu.
- Để khôi phục đúng thì:

$$f_s \geq 2f_M$$

trong đó:  $f_s$ : tốc độ Nyquist

$f_s/2$ : tần số Nyquist

$[-f_s/2; f_s/2]$ : khoảng Nyquist.



- Như vậy, để từ các mẫu ta có thể khôi phục lại đúng tín hiệu ban đầu, khi lấy mẫu phải chọn tốc độ lấy mẫu lớn hơn hay ít nhất là bằng hai lần thành phần tần số cao nhất có trong tín hiệu tương tự.

- Định lý Nyquist xác định giới hạn dưới của  $f_s$ .



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.3 Định lý lấy mẫu Nyquist (tt):

Ví dụ 1: Cho tín hiệu sau:

$$x(t) = 4 + 2\cos 2\pi t + 6\cos 8\pi t \quad (t:\text{ms})$$

Xác định giá trị hợp lý của  $f_s$  ?

Lời giải:

- Xác định các thành phần tần số:

$$f_1 = 0 \text{ Khz}; f_2 = 1 \text{ Khz}; f_3 = 4 \text{ Khz}$$

- Thành phần tần số cao nhất:

$$f_M = \max\{f_1, f_2, f_3\} = f_3 = 4\text{Khz.}$$

- Chọn giá trị  $f_s$  dựa vào định lý lấy mẫu Nyquist:

$$f_s \geq 2f_M = 2 \times 4 = 8 \text{ Khz.}$$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.3 Định lý lấy mẫu Nyquist (tt):

#### ❖ Giới hạn trên của $f_s$ :

➤ Giả sử  $T_p$ : thời gian để xử lý mỗi mẫu dữ liệu (tùy thuộc vào phân cứng).

$f_p = 1/T_p$ : tốc độ xử lý mỗi mẫu.

➤ Để giá trị các mẫu không chồng lên nhau thì:

$$f_s \leq f_p$$

#### ❖ Tóm lại, tầm giá trị của $f_s$ :

$$2 f_M \leq f_s \leq f_p$$

#### ❖ Tốc độ lấy mẫu đặc trưng cho một vài ứng dụng:

Lĩnh vực	$f_M$	$f_s$
Thoại	4 Khz	8 Khz
Audio	20 Khz	40 Khz
Video	4 Mhz	8 Mhz

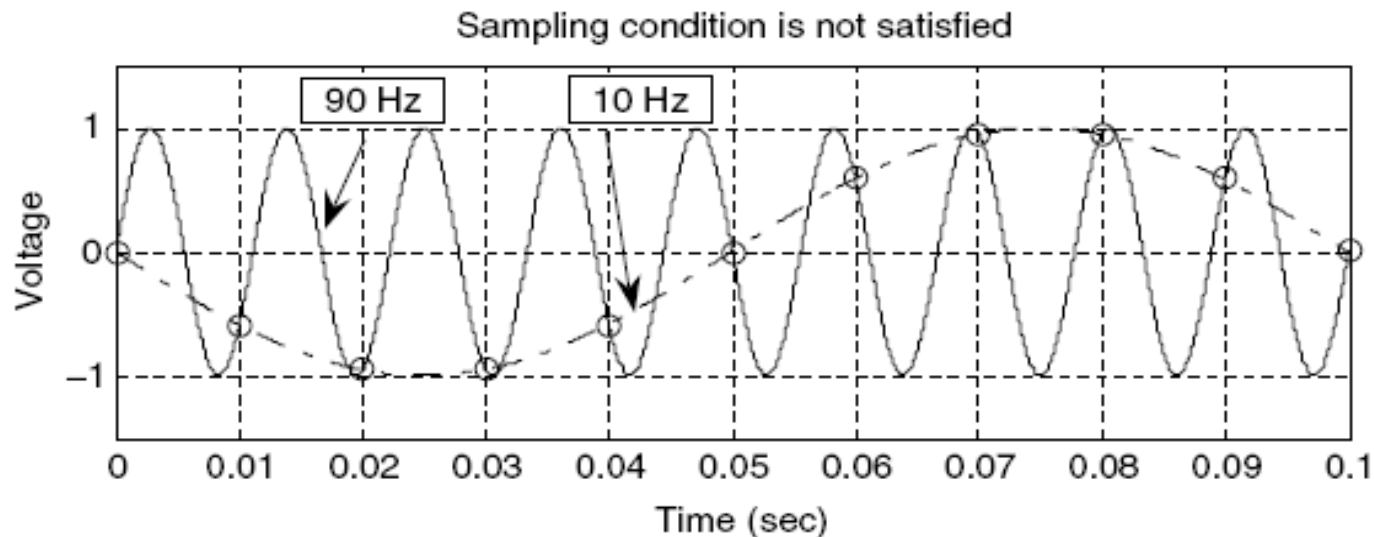


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.4 Hiện tượng Alias (Chồng lấn phổ):

- xảy ra khi định lý lấy mẫu Nyquist không thỏa, tức là:  $f_s < 2f_M$ .
- Các tín hiệu có tần số khác nhau được biểu diễn bởi các mẫu như nhau → không phân biệt được.

**Ví dụ 2:** Hai tín hiệu có tần số lần lượt là: 10 Hz và 90Hz được lấy mẫu ở tốc độ  $f_s = 100$  Hz sẽ cho tập mẫu như nhau.







## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.4 Hiện tượng alias (tt):

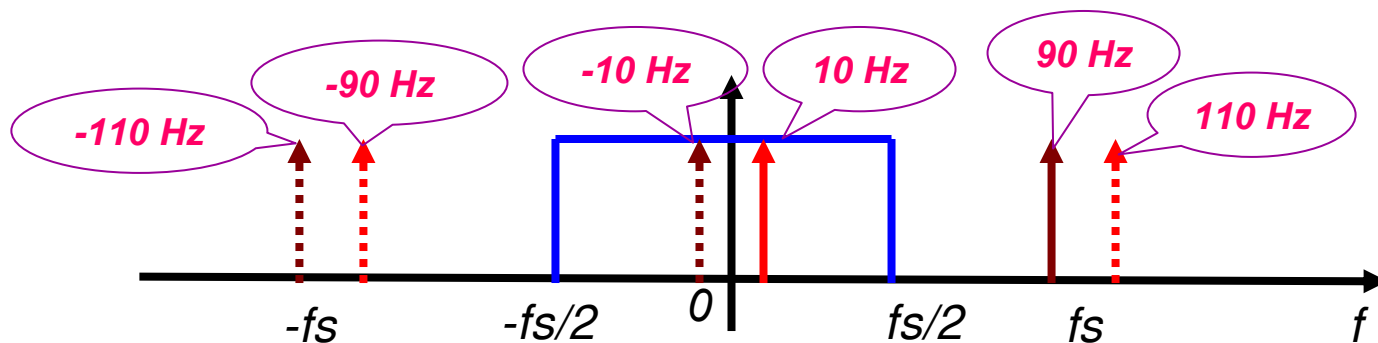
- Ảnh hưởng của hiện tượng alias được thể hiện khi khôi phục.
- Giả sử bộ khôi phục là bộ lọc thông thấp lý tưởng, tần số cắt  $f_c = f_s/2$ .

Khi đó, tần số khôi phục:

$$f_a = f \bmod f_s = f \pm m f_s; m=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (*)$$

(chọn  $m$  sao cho thành phần tần số nằm trong khoảng Nyquist:  $[-f_s/2; f_s/2]$ )

**Ví dụ 3:** Hai tín hiệu có tần số lần lượt là:  $f_1 = 10$  Hz và  $f_2 = 90$  Hz được lấy mẫu ở tốc độ  $f_s = 100$  Hz sẽ có phổ như sau. Sau khi khôi phục, ta thu được hai thành phần tần số: 10 Hz và -10 Hz.





## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.4 Hiện tượng alias (tt):

Ví dụ 3(tt):

Kết quả có được dùng công thức (\*), như sau:

$$f_{1a} = f_1 \bmod f_s = 10 \bmod 100 = 10 - 0 \times 100 = 10 \text{ Hz}$$

$$f_{1a} = f_2 \bmod f_s = 90 \bmod 100 = 90 - 1 \times 100 = -10 \text{ Hz}$$

Ví dụ 4: Cho tín hiệu sau:  $x_a(t) = \sin 200\pi t$  (t:giây)

Xác định tín hiệu khôi phục  $y_a(t)$  trong hai trường hợp:

a. Tần số lấy mẫu  $f_s = 120 \text{ Hz}$ .

b. Tần số lấy mẫu  $f_s = 240 \text{ Hz}$ .

Lời giải: a. - Khoảng Nyquist:  $[-60 \text{ Hz}, 60\text{Hz}]$

- Tần số khôi phục:  $f_a = f \bmod f_s = 100 \bmod 120 = 100 - 1 \times 120 = -20 \text{ Hz}$

- Tín hiệu thu được:  $y_a(t) = \sin 2\pi f_a t = -\sin 40\pi t \rightarrow$  khôi phục sai do không thỏa định lý lấy mẫu Nyquist.



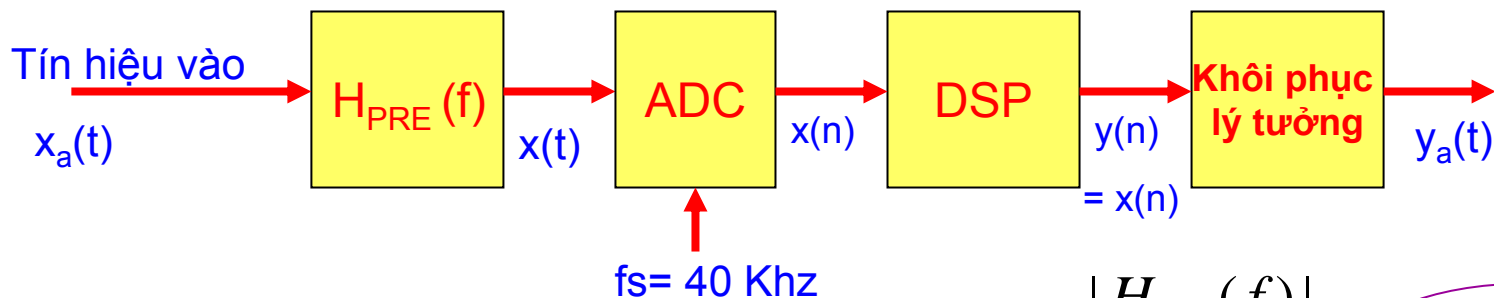
## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.1.4 Hiện tượng alias (tt):

Ví dụ 4: Cho tín hiệu âm thanh sau:

$$x_a(t) = 2\cos 10\pi t + \cos 30\pi t + \cos 50\pi t + \cos 90\pi t \quad (t:\text{ms})$$

Tín hiệu được đưa qua hệ thống DSP:

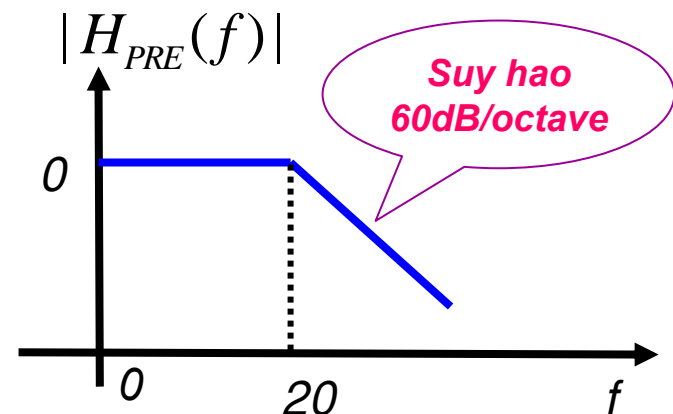


a. Xác định tín hiệu  $x(t)$ ?

b. Xác định tín hiệu khôi phục  $y_a(t)$ ?

Biết rằng, bộ tiền lọc có đáp ứng tần số như sau.

Bỏ qua ảnh hưởng của pha.





## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

Ví dụ 4 (tt):

Lời giải:

❖ **Xác định các thành phần tần số trong tín hiệu vào:**

$$f_1 = 5 \text{ Khz}; f_2 = 15 \text{ Khz}; f_3 = 25 \text{ Khz}; f_4 = 45 \text{ Khz}$$

❖ **Xác định tín hiệu ngõ ra bộ tiền lọc  $x(t)$**

➤ *Dạng tín hiệu  $x(t)$ :*

$$x(t) = 2|H(f_1)|\cos(2\pi f_1 t) + |H(f_2)|\cos(2\pi f_2 t) + |H(f_3)|\cos(2\pi f_3 t) + |H(f_4)|\cos(2\pi f_4 t)$$

➤ *Xác định các suy hao biên độ do bộ tiền lọc:*

- Vì  $f_1, f_2 < 20 \text{ Khz}$ , nên:  $|H(f_1)| = |H(f_2)| = 1$ ;
- *Xác định  $|H(f_3)|$  và  $|H(f_4)|$ :*

✓ *Khoảng cách từ  $f_3, f_4$  đến  $f_s/2$  theo octave:*

$$\log_2(f_3) - \log_2(f_s / 2) = \log_2\left(\frac{f_3}{f_s / 2}\right) = \log_2\left(\frac{25}{20}\right) = 0.322 \text{ octave}$$



## Chương 2

## LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

Ví dụ 4 (tt):

$$\log_2(f_4) - \log_2(f_s / 2) = \log_2\left(\frac{f_4}{f_s / 2}\right) = \log_2\left(\frac{45}{20}\right) = 1.17 \text{ octave}$$

✓ *Mức suy hao so với dải thông (tính theo dB)*

$$f_3: (0.322 \text{ octave}) \times (60 \text{ dB/octave}) = 19.3 \text{ dB}$$

$$f_4: (1.17 \text{ octave}) \times (60 \text{ dB/octave}) = 70.2 \text{ dB}$$

✓ *Tính suy hao:*

$$|H(f_3)| = 10^{-19.3/20} = 0.1084$$

$$|H(f_4)| = 10^{-70.2/20} = 3.09 \times 10^{-4}$$

*Thay các giá trị vào, ta được:*

$$x(t) = 2\cos(10\pi t) + \cos(30\pi t) + 0.1084.\cos(50\pi t) + 3.09.10^{-4}\cos(90\pi t)$$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

**Xác định tín hiệu khôi phục  $y_a(t)$ :**

➤ **Tín hiệu có dạng:**

$$y_a(t) = 2\cos(2\pi f_{1a}t) + \cos(2\pi f_{2a}t) + 0.1084\cos(2\pi f_{3a}t) + 3.09 \cdot 10^{-4}\cos(2\pi f_{4a}t)$$

➤ **Xác định các thành phần tần số sau bộ khôi phục lý tưởng:**

✓ **Khoảng Nyquist:  $[-20 \text{ Khz}, 20\text{Khz}]$**

✓ **Các thành phần:**

$$f_{1a} = f_1 \bmod fs = 5 \bmod 40 = 5 \text{ Khz}$$

$$f_{2a} = f_2 \bmod fs = 15 \bmod 40 = 15 \text{ Khz}$$

$$f_{3a} = f_3 \bmod fs = 25 \bmod 40 = -15 \text{ Khz}$$

$$f_{4a} = f_4 \bmod fs = 45 \bmod 40 = 5 \text{ Khz}$$

**Thay vào, ta được:**

$$\begin{aligned} y_a(t) &= 2\cos(10\pi t) + \cos(30\pi t) + 0.1084\cos(-30\pi t) + 3.09 \cdot 10^{-4}\cos(10\pi t) \\ &= 2,003 \cdot \cos(10\pi t) + 1,1084 \cdot \cos(30\pi t) \quad (t:\text{ms}) \end{aligned}$$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.2 Bộ tiền lọc:

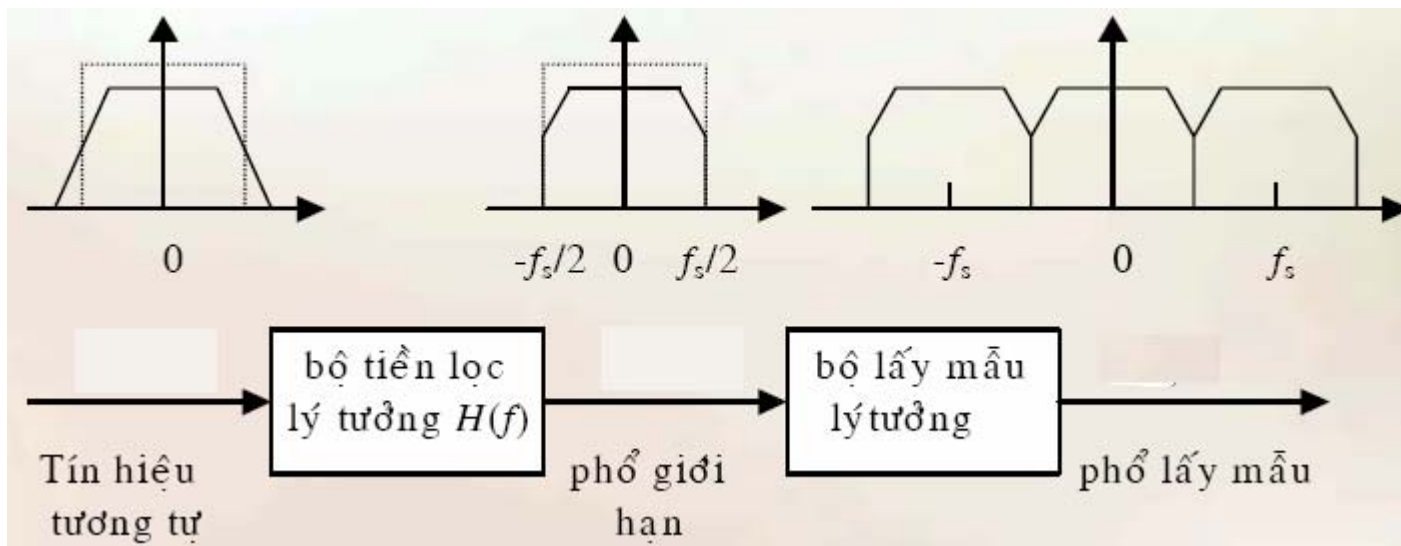
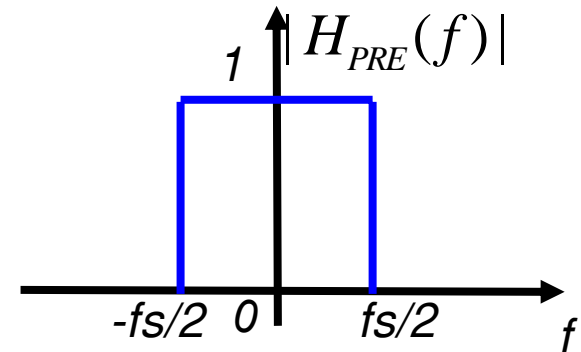
➤ bộ lọc tương tự thông thấp dùng để giới hạn phổ tín hiệu ngõ vào → chống hiện tượng chồng lấn phổ.

❖ Bộ tiền lọc lý tưởng:

➤ bộ lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt  $f_c = f_s/2$ .

→ loại bỏ tất cả các thành phần tần số lớn hơn  $f_s/2$

→ không xảy ra hiện tượng chồng lấn phổ.





## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

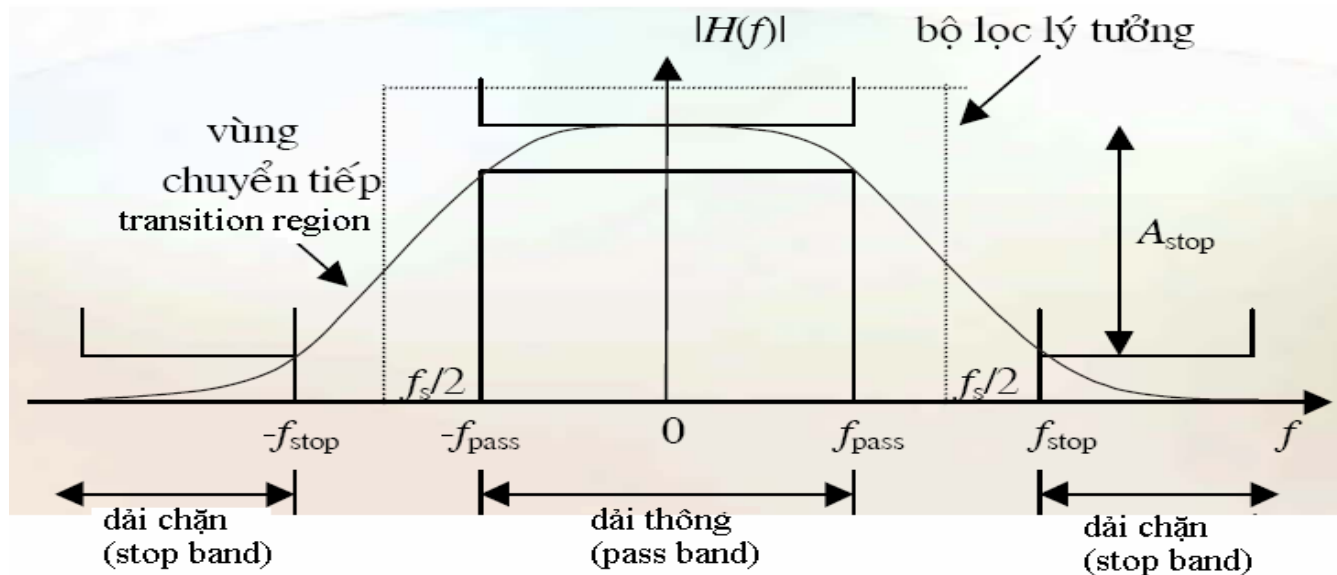
### 2.2 Bộ tiền lọc (tt):

#### ❖ Bộ tiền lọc thực tế:

➤ bộ lọc thông thấp có đáp ứng như hình vẽ.

→ không loại bỏ hoàn toàn các thành phần tần số lớn hơn  $f_s/2$

→ hiện tượng chồng lấn phổ vẫn xảy ra nhưng giảm nhiều.







## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.2 Bộ tiền lọc (tt):

□ Cách lựa chọn các thông số cho bộ tiền lọc thực tế:

- Chọn tần số cắt dải thông  $f_{pass}$  sao cho dải thông  $[-f_{pass}; f_{pass}]$  chứa trọn vẹn tầm giá trị quan tâm  $[-f_M; f_M]$ .
- Chọn tần số cắt dải chặn  $f_{stop}$  và suy hao dải chặn  $A_{stop}$  sao cho tối thiểu ảnh hưởng của hiện tượng alias.

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

- Suy hao của bộ lọc (theo dB):

$$A_{dB}(f) = -20 \log_{10} \left| \frac{H(f)}{H(f_0)} \right|$$

( $f_0$ : tần số trung tâm của bộ lọc)



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.2 Bộ tiền lọc (tt):

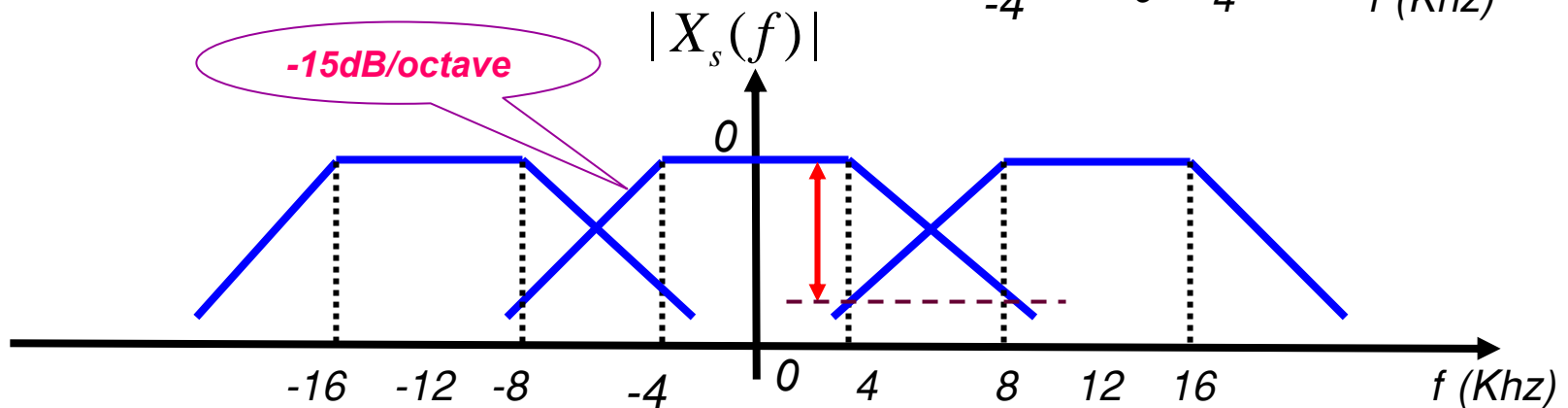
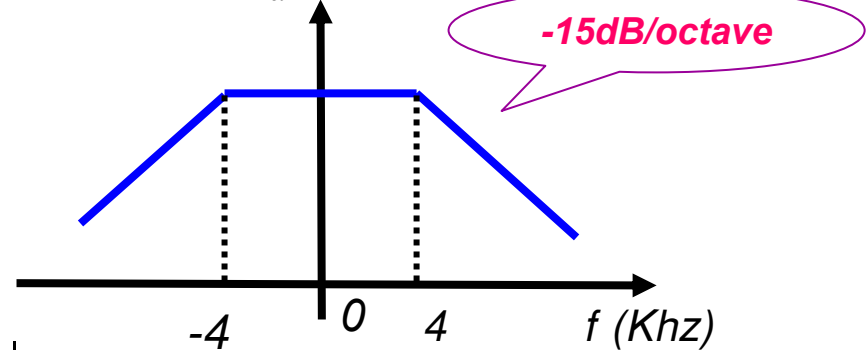
**Ví dụ 5:** Cho tín hiệu tương tự  $x(t)$  có phổ như sau:  $|X_a(f)|$

Tín hiệu được lấy mẫu  $f_s = 12$  KHz.

Xác định mức chõng lán phổ:

a. Khi không dùng bộ tiền lọc.

- Phổ của tín hiệu sau khi lấy mẫu  $X_s(f)$ .



- Mức chõng lán phổ vào vùng tín hiệu quan tâm  $[-4$  KHz;  $4$  KHz] là:

$$L_{dB} = A_{dB}(f = 8 \text{ KHz}) = -15 \text{ dB}$$

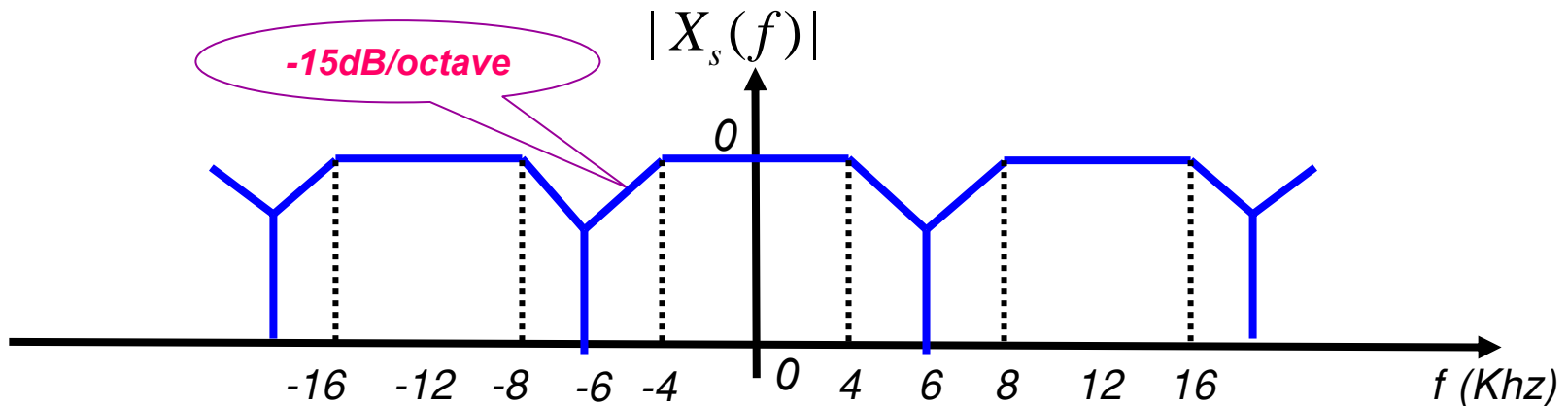
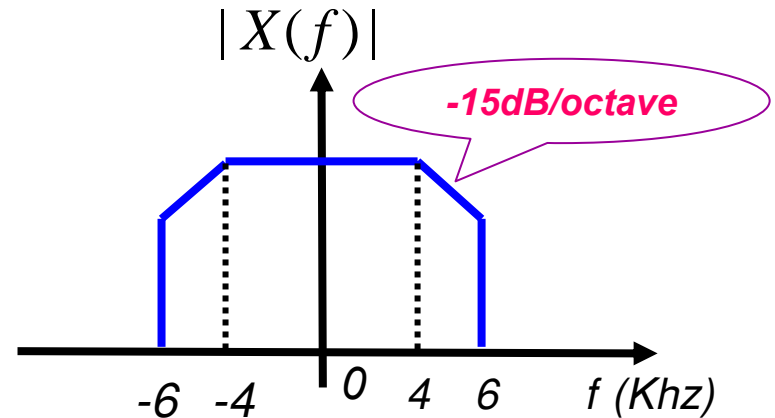


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.2 Bộ tiền lọc (tt):

#### b. Khi dùng bộ tiền lọc lý tưởng

- Phổ của tín hiệu sau bộ tiền lọc  $X(f)$ .
- Phổ của tín hiệu sau khi lấy mẫu  $X_s(f)$ .



- Mức chồng lấn phổ vào vùng tín hiệu quan tâm  $[-4 \text{ KHz}; 4 \text{ KHz}]$  là:

$$L_{dB} = 0 \text{ dB}$$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

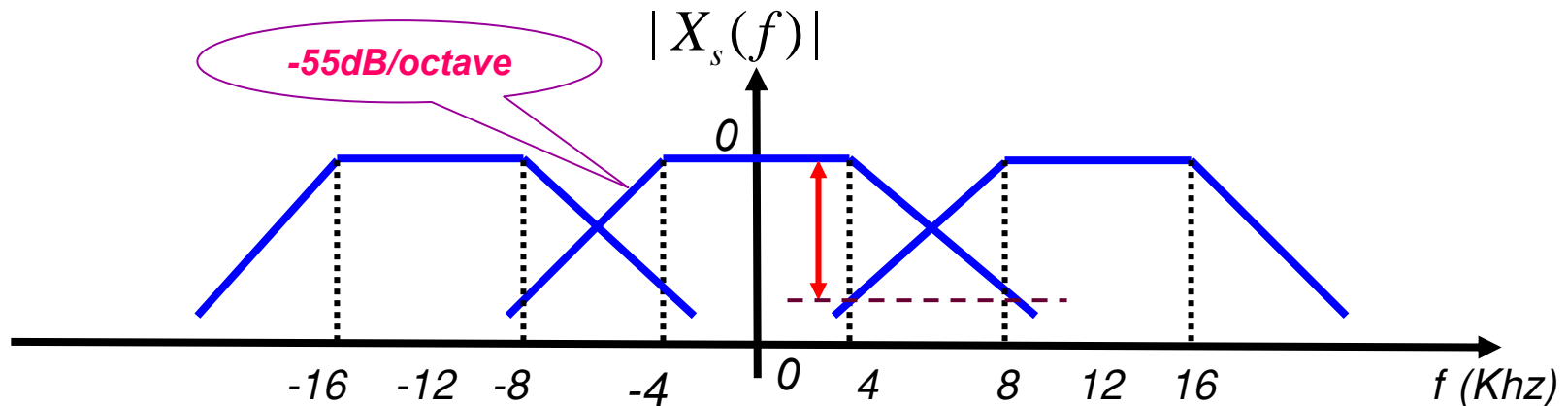
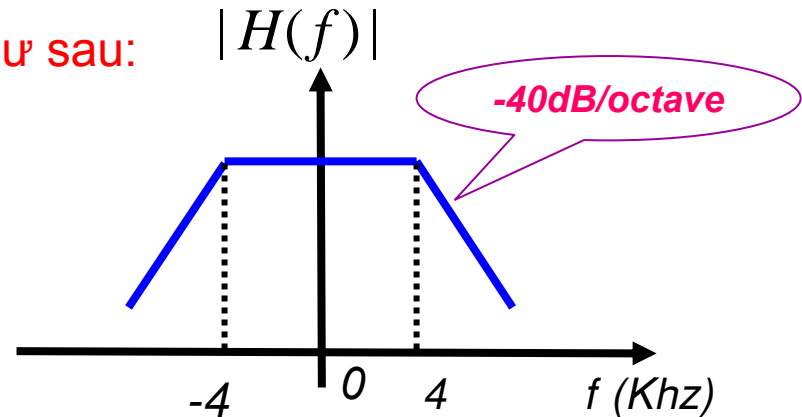
### 2.2 Bộ tiền lọc (tt):

c. Khi dùng bộ tiền lọc thực tế có đáp ứng như sau:

- Phổ của tín hiệu sau bộ tiền lọc  $X(f)$  sẽ có suy hao ngoài dải thông là:

$$15 \text{ dB} + 40 \text{ dB} = 55 \text{ dB}$$

- Phổ của tín hiệu sau khi lấy mẫu  $X_s(f)$ .



- Mức chông lẩn phổ vào vùng tín hiệu quan tâm  $[-4 \text{ KHz}; 4 \text{ KHz}]$  là:

$$L_{dB} = A_{dB}(f = 8 \text{ KHz}) = -55 \text{ dB}$$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.2 Bộ tiền lọc (tt):

d. Để mức độ chống lẩn phổ vào dải tần quan tâm nhỏ hơn 50 dB.

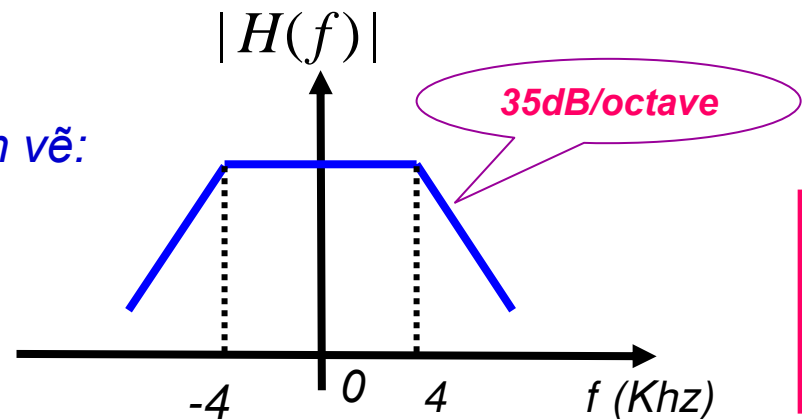
Xác định các thông số của bộ lọc?

- Chọn  $f_{pass}$ :  $f_{pass} = 4 \text{ Khz}$
- Chọn  $f_{stop}$ :  $f_{stop} = f_s - f_{pass} = 12 - 4 = 8 \text{ Khz}$
- Chọn  $A_{stop}$ :

$$\text{Ta có: } L_{dB} = A_{dB}(f_{stop}) + X_a(f_{stop})$$

$$\begin{aligned} \text{Suy ra: } A_{stop} &= L_{dB} - X_a(f_{stop}) \\ &> 50 - 15 = 35 \text{ dB.} \end{aligned}$$

→ Có thể chọn dạng của bộ tiền lọc như hình vẽ:



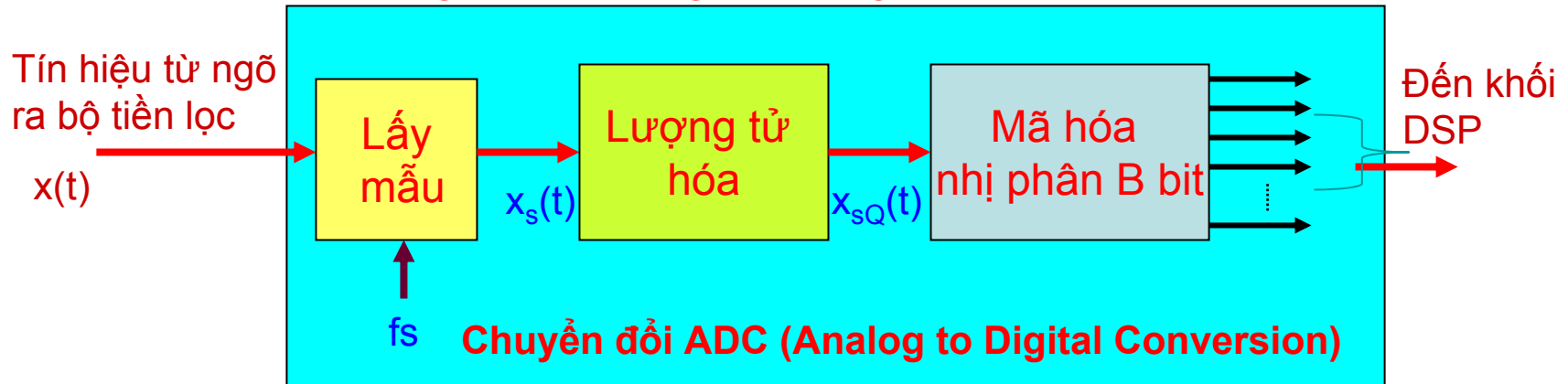


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.3 Lượng tử hóa (Quantization):

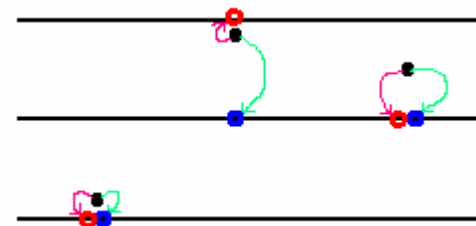
➤ quá trình xấp xỉ giá trị các mẫu rời rạc → chuyển một tập các mẫu rời rạc có số giá trị rất lớn thành một tập có số giá trị ít hơn.

❖ Vị trí của khối lượng tử hóa trong hệ thống:



❖ Hai kiểu lượng tử hóa:

- Kiểu làm tròn (rounding)
- Kiểu cắt bớt (truncation)





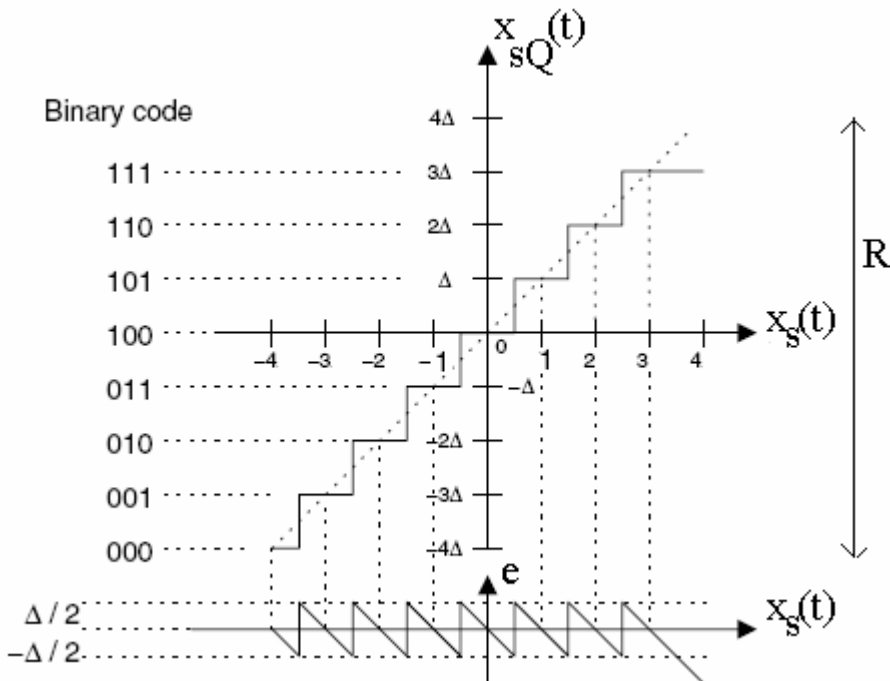
## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.3 Lượng tử hóa (tt) :

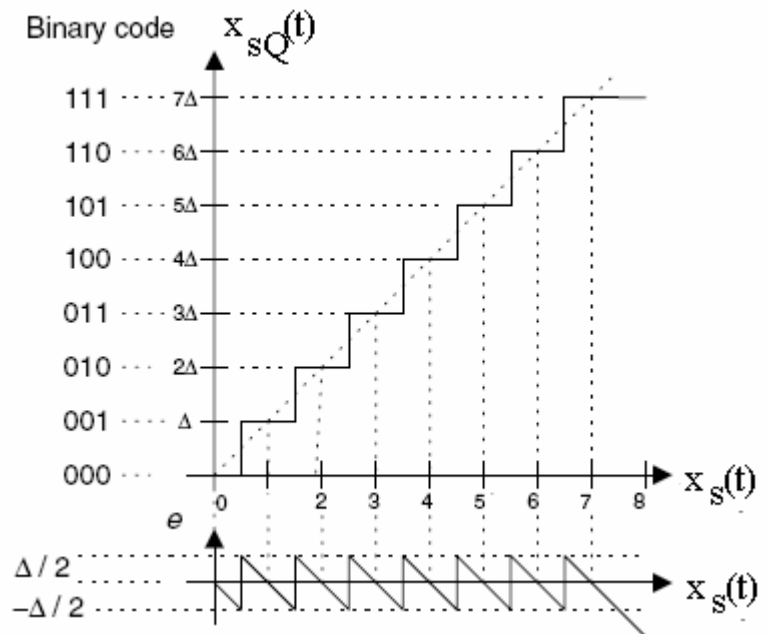
❖ Đặc tính của bộ lượng tử hóa thể hiện qua quan hệ ngõ vào - ngõ ra.

**Ví dụ 6:** Bộ lượng tử hóa đều (uniform quantizer) 3 bit.

Dạng lưỡng cực



Dạng đơn cực





## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.3 Lượng tử hóa (tt) :

- Với bộ lượng tử hóa có tầm toàn thang  $R$ , biểu diễn  $B$  bit  $\rightarrow 2^B$  mức lượng tử.

Độ rộng lượng tử:

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

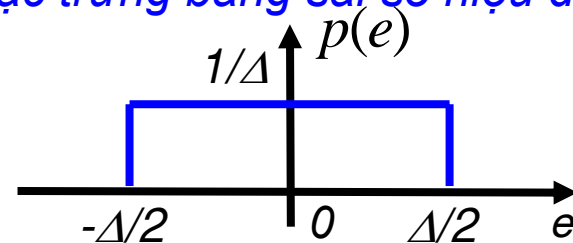
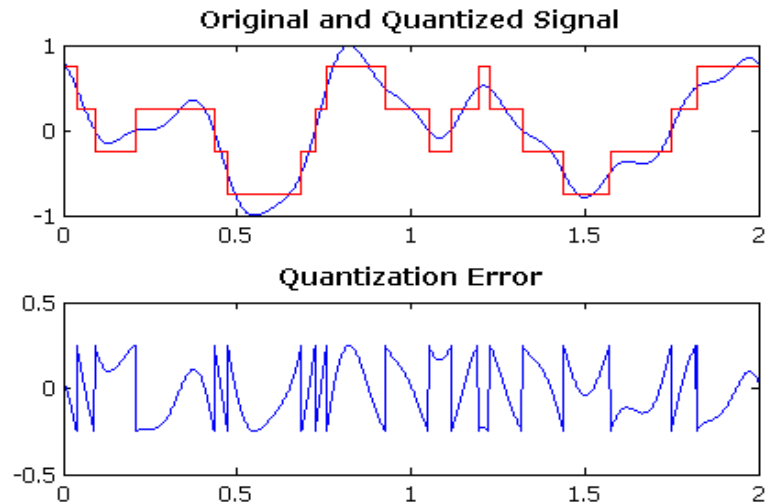
Sai số lượng tử:

$$e(t) = x_{sQ}(t) - x_s(t)$$

hay: 
$$e = x_{sQ} - x_s$$

- Sai số lượng tử** (quantization error) hay  **Nhiễu lượng tử** (quantization noise): biến ngẫu nhiên có phân bố đều, được đặc trưng bằng sai số hiệu dụng:

$$e_{rms} = \sqrt{e^2} = \frac{\Delta}{\sqrt{12}}$$







## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.3 Lượng tử hóa (tt) :

❖ *Tỉ số SNR của bộ lượng tử hóa:*

$$SNR = 6B \text{ [dB]} \quad (\text{luật 6 dB trên bit})$$

❖ **Nhận xét:**

- Bộ ADC tăng thêm 1 bit  $\rightarrow$  tỉ số SNR tăng thêm 6 dB.
- Số bit càng nhiều thì nhiễu lượng tử càng nhỏ.
- Tỉ số SNR không phụ thuộc vào biên độ tín hiệu.

**Ví dụ 7:** Hệ thống điện thoại số:  $f_s = 8 \text{ KHz}$ ; biểu diễn 8 bit/mẫu;  $R = 10$ .

**Lời giải:** Sai số lượng tử hiệu dụng:

$$e_{rms} = \frac{\Delta}{\sqrt{12}} = \frac{R/2^B}{\sqrt{12}} = \frac{10}{2^8 \sqrt{12}} = 11.3 \text{ (mV)}$$

**Tốc độ bit:**

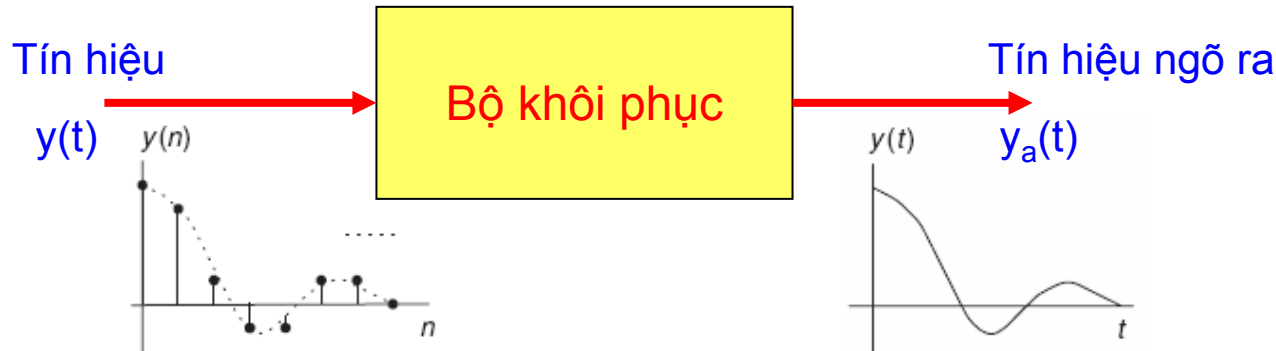
$$B \cdot f_s = 8 \text{ (bit / sample)} \times 8 \text{ (sample / sec)} = 64 \text{ kbps}$$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.4 Khôi phục tín hiệu tương tự :

- chuyển dạng tín hiệu rời rạc sang dạng tín hiệu tương tự.



- Quan hệ giữa ngõ vào và ngõ ra:

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

với:

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

Suy ra:

$$y_a(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-t') \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(nT_s) \delta(t' - nT_s) dt'$$

Vậy:

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

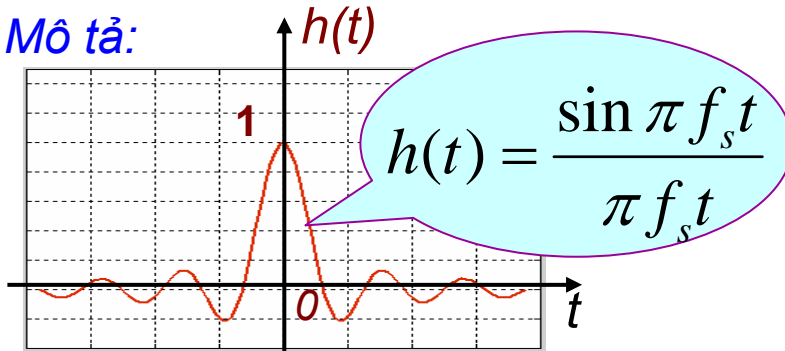


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.4.1 Bộ khôi phục lý tưởng:

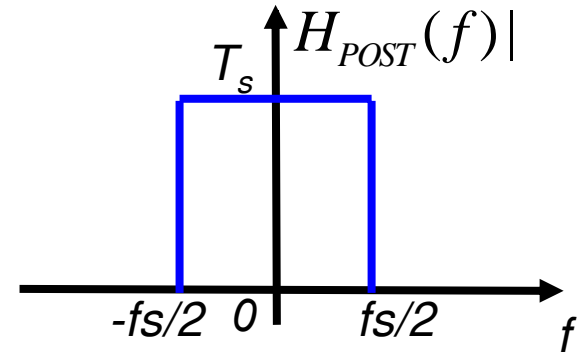
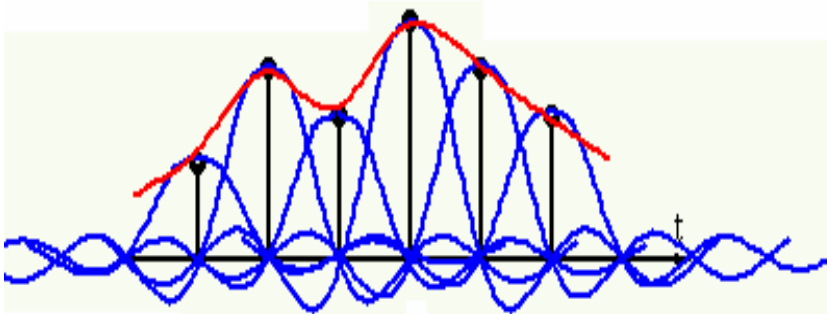
➤ bộ lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt  $f_c = f_s/2$ .

❑ Mô tả:

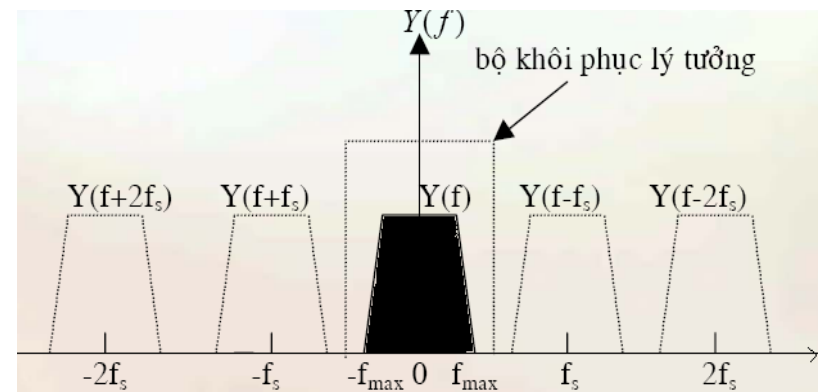


❑ Quá trình khôi phục:

$$y_a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(nT_s) \frac{\sin \pi f_s (t - nT_s)}{\pi f_s (t - nT_s)}$$



$$Y_a(f) = H(f)Y(f) = X(f)$$

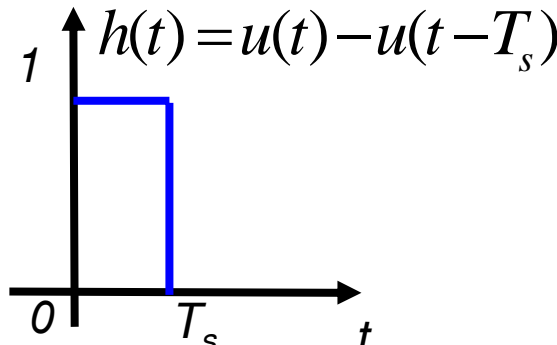




## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

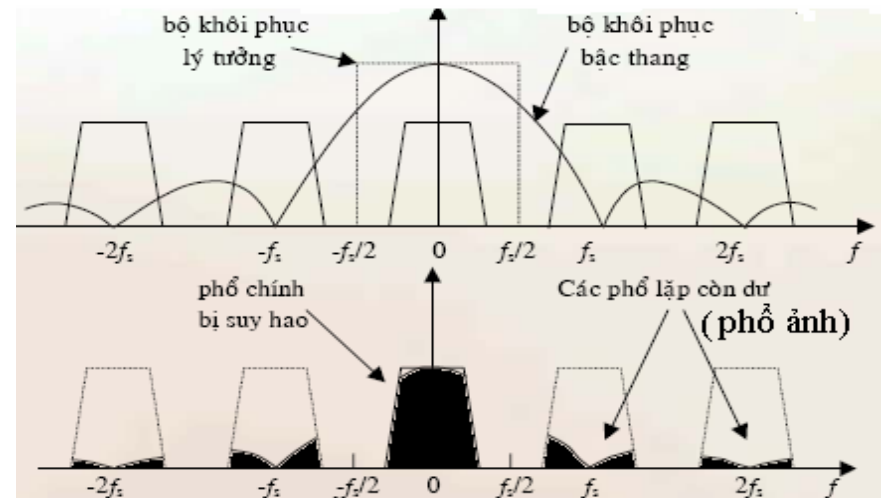
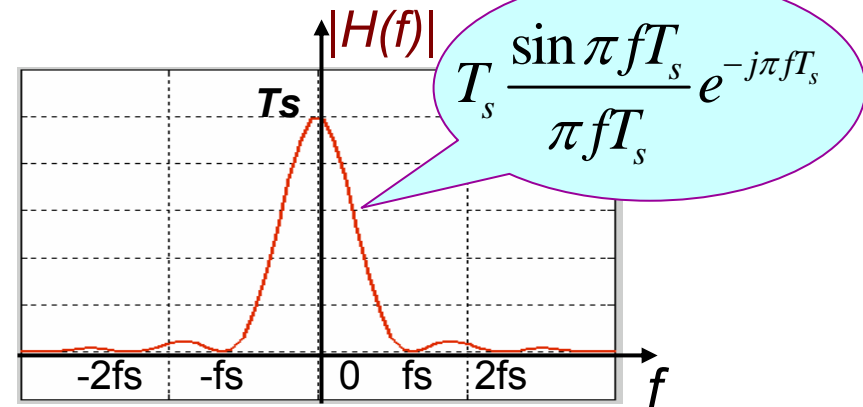
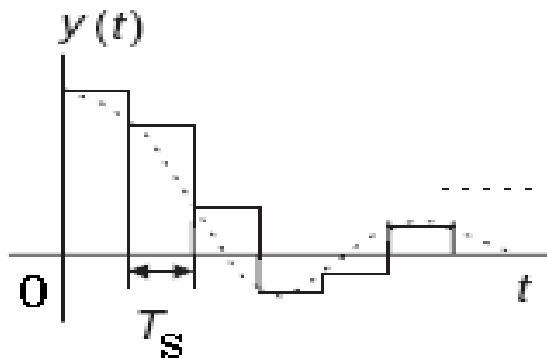
### 2.4.2 Bộ khôi phục bậc thang:

➤ tạo xấp xỉ hình thang

□ Mô tả: 

□ Quá trình khôi phục:

$$y_a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(nT_s)[u(t-nT_s) - u(t-nT_s - T_s)]$$

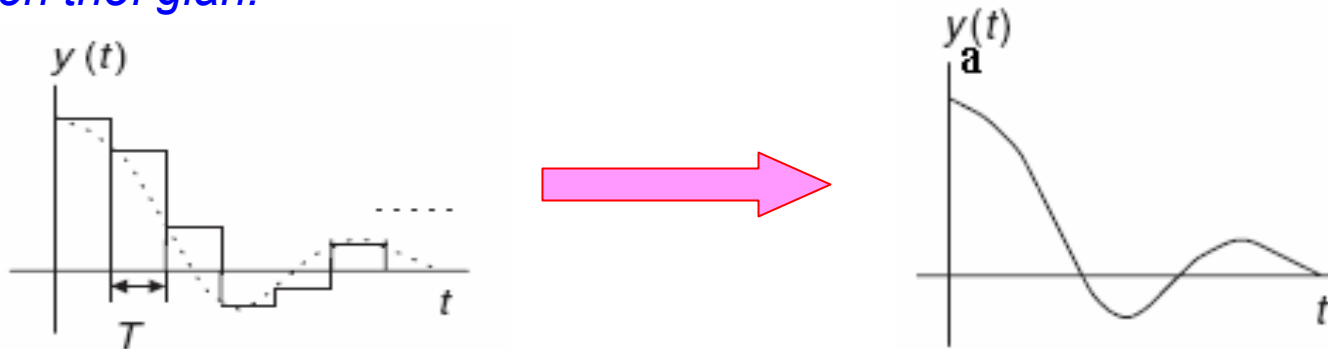




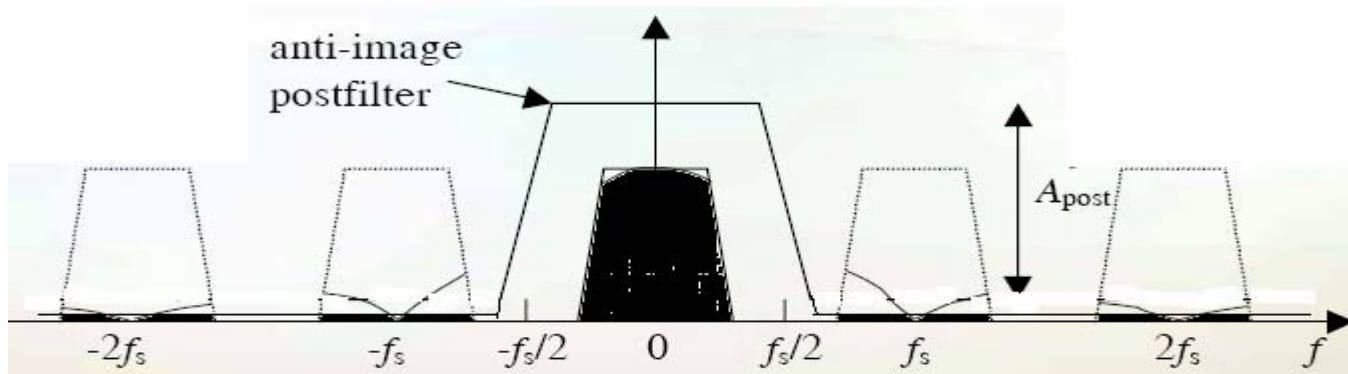
## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.4.3 Bộ hậu lọc:

- là bộ lọc thông thấp, nằm ngay sau bộ khôi phục bậc thang.
- dùng để loại bỏ các thành phần phổ ảnh còn sót lại sau bộ khôi phục bậc thang.
- ❖ Miền thời gian:



- ❖ Miền tần số



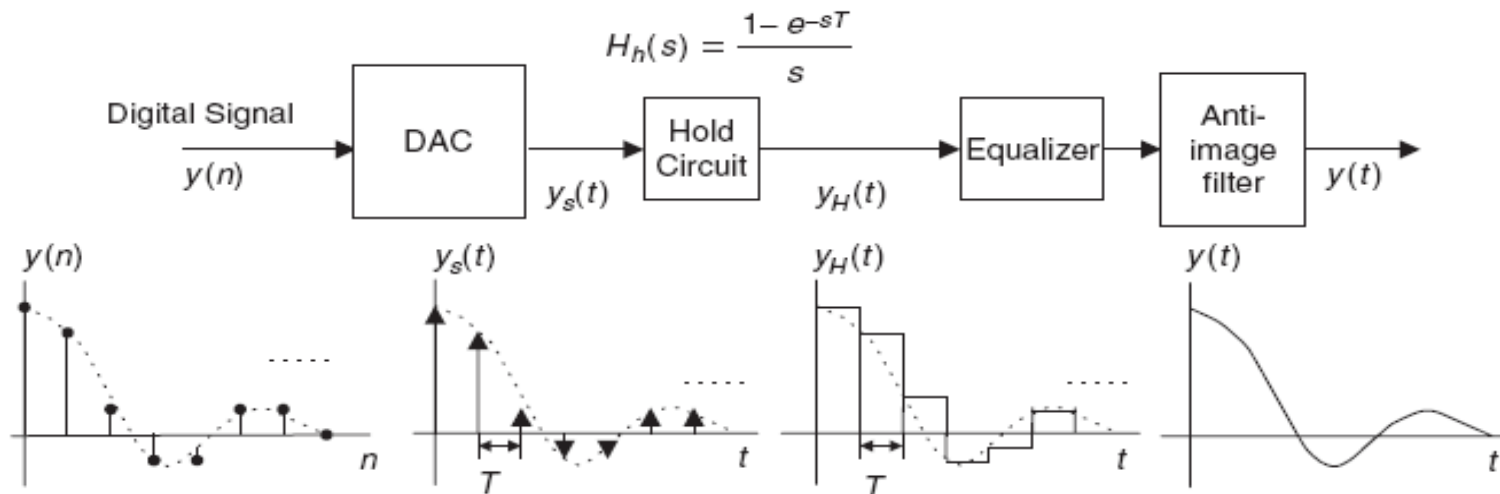


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.4 Khôi phục tín hiệu tương tự :

#### ❖ Nhận xét:

- Cách khôi phục dùng bộ khôi phục lý tưởng là không thực tế.
- Ngõ ra sau khối hậu lọc gần giống ngõ ra ở bộ khôi phục lý tưởng
- ➔ bộ khôi phục bậc thang+ bộ hậu lọc  $\sim$  bộ khôi phục lý tưởng.
- Để tăng chất lượng chuyển đổi DAC, dùng thêm bộ cân bằng có đáp ứng tần số:  $H_{EQ}(f) = 1/H(f)$ .



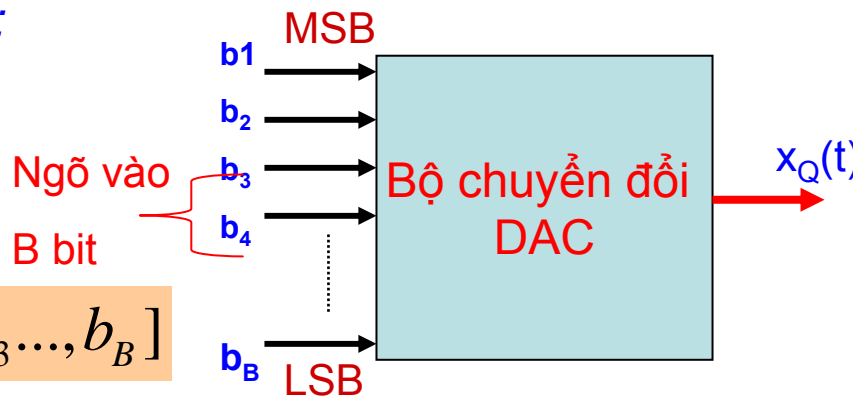


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.6 Các bộ chuyển đổi ADC và DAC:

#### 2.6.1 Bộ chuyển đổi DAC B bit:

❖ Sơ đồ khối:



$$b = [b_1, b_2, b_3, \dots, b_B]$$

là một trong số  $2^B$  giá trị mức lượng tử trong tầm toàn thang R

❖ Các loại chuyển đổi:

- *Dạng nhị phân đơn cực (unipolar natural binary):*

$$x_Q = R \left[ b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + \dots + b_B 2^{-B} \right]$$

- Ví dụ 8:  $b = (0, 0, \dots, 0) \rightarrow x_Q = 0 [V]$   
 $b = (0, 0, \dots, 1) \rightarrow x_Q = R \cdot 2^{-B} = Q [V]$



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.6.1 Bộ chuyển đổi DAC B bit (tt)

- *Dạng nhị phân offset lưỡng cực (polar offset binary):*

$$x_Q = R \left[ b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + \dots + b_B 2^{-B} - 0.5 \right]$$

→ tâm giá trị bị dịch đi  $R/2$ .

- *Dạng bù 2 (two's complement): (lấy bù bit có trọng số lớn nhất)*

$$x_Q = R \left[ \overline{b_1} 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + \dots + b_B 2^{-B} - 0.5 \right]$$

- Ví dụ 9: Một bộ chuyển đổi DAC:  $B=4$  bit;  $R = 10$  V. Dữ liệu:  $b = [1 \ 0 \ 0 \ 1]$

*Dạng 1:*  $x_Q = 10[1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4}]$

$$= 10 \times [1/2 + 1/16] = 5.625 \text{ [V]}$$

*Dạng 2:*  $x_Q = 10[1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} - 0.5] = 0.625 \text{ [V]}$

*Dạng 3:*  $x_Q = 10[0 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} - 0.5] = -4.375 \text{ [V]}$

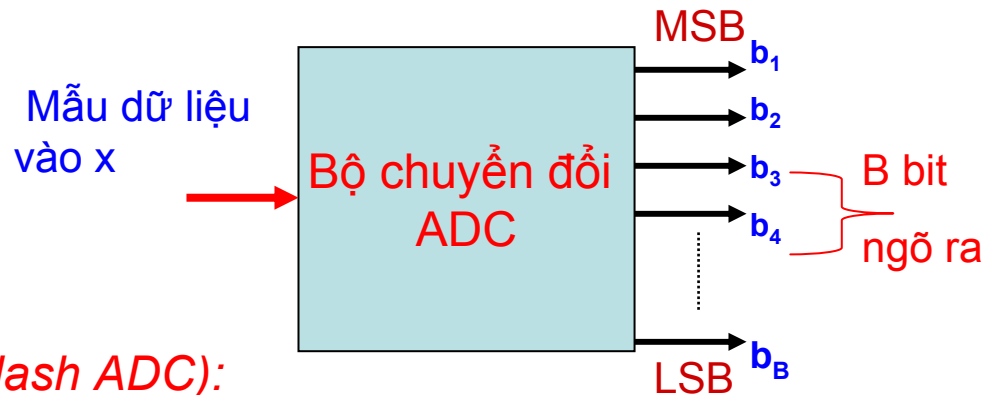




## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.6.2 Bộ chuyển đổi ADC:

❖ Sơ đồ khối:



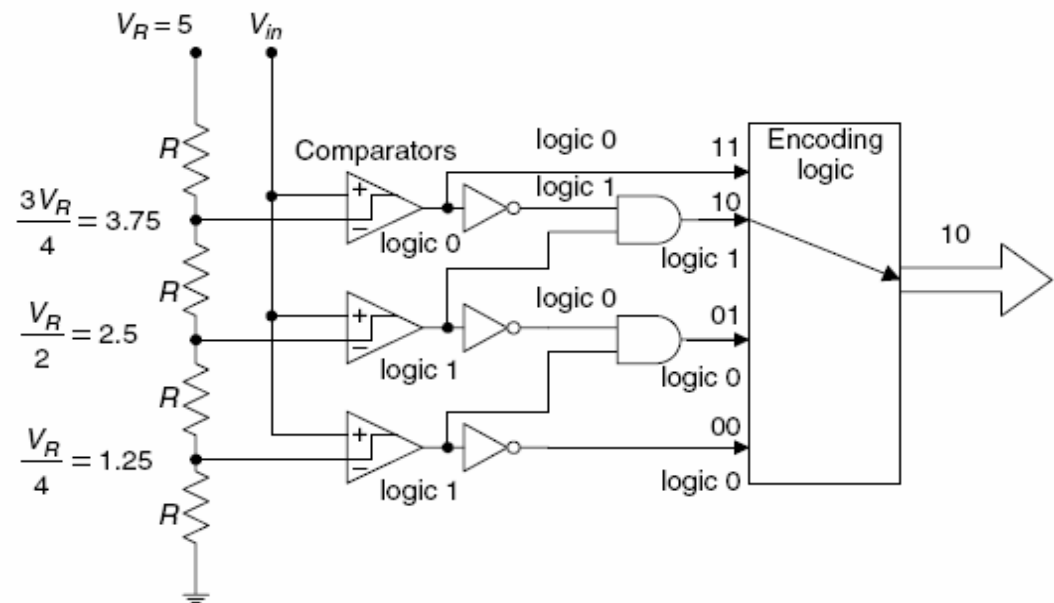
❖ Bộ ADC tốc độ cao (flash ADC):

**Ví dụ 10:** Bộ flash ADC 2 bit.

Hình vẽ minh họa khi giá trị

mẫu ngõ vào  $V_{in} = 3V$

thì ngõ ra 10.



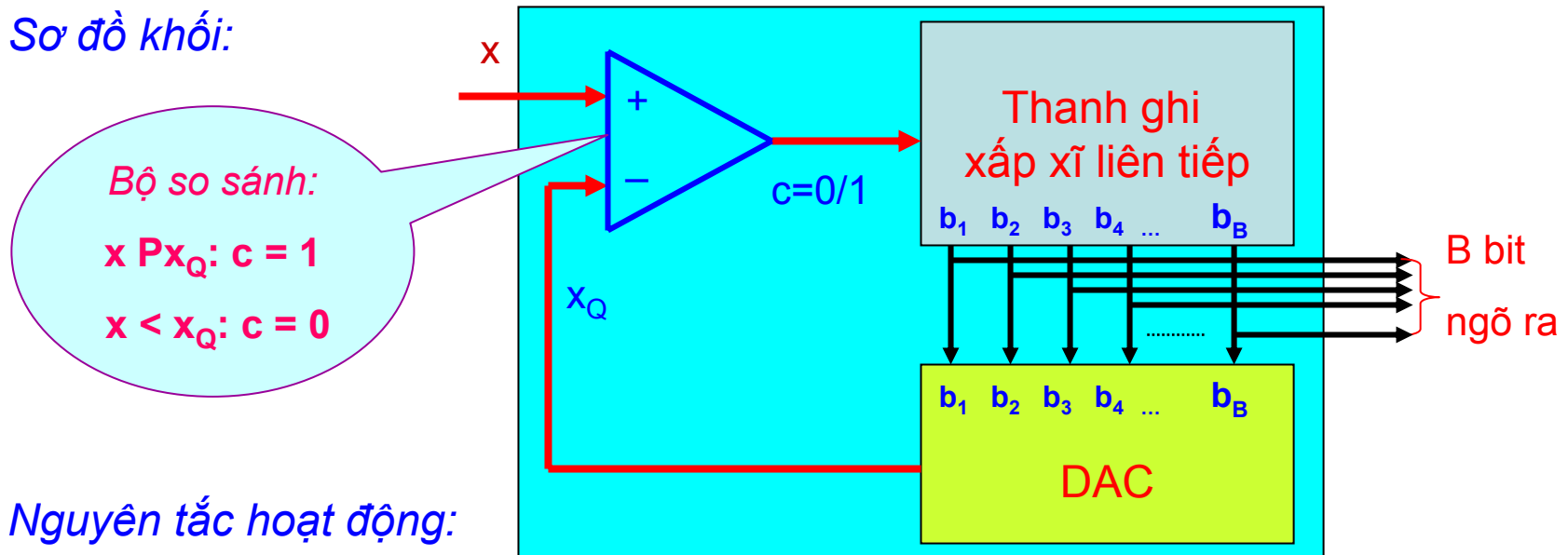


## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### 2.6.2 Bộ chuyển đổi ADC (tt):

❖ Bộ ADC xấp xỉ liên tiếp (Successive Approximation ADC):

□ Sơ đồ khối:



□ Nguyên tắc hoạt động:

- Tất cả các bit trong thanh ghi (SAR) được khởi động giá trị  $[0, 0, \dots, 0]$ .
- Lần lượt các bit được bật lên để kiểm tra, bắt đầu từ bit  $b_1$  (MSB).
- Trong mỗi lần bật bit, SAR bởi giá trị sang DAC. DAC tạo ra  $x_Q$ . Bộ so sánh sẽ xác định ngõ ra  $c=0$  hay  $1$ . Nếu  $c = 1$  bit được giữ nguyên, ngược lại bật về  $0$ .
- Sau  $B$  lần kiểm tra, SAR giữ giá trị đúng  $b = [b_1, b_2, \dots, b_B] \rightarrow$  gửi ra output.



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

**Ví dụ 11:** Bộ ADC xấp xỉ liên tiếp: tầm toàn thang  $R = 10V$ ; mã hóa  $B = 4$  bit.

Lượng tử hóa kiểu cắt bớt; DAC dùng loại chuyển đổi nhị phân offset.

Xác định giá trị ngõ ra khi mẫu ngõ vào  $x = 3.5V$ .

Lời giải: Lập bảng hoạt động như sau:

- Kiểu offset:** 
$$x_Q = 10 \left[ b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + b_4 2^{-4} - 0.5 \right]$$

**Lần lượt bật và test các bit:**

$b=1000: x_Q = 10(1/2 - 1/2)$   
 $= 0 < 3.5: \text{giữ nguyên } b_1 = 1.$

$b=1100: x_Q = 10(1/2 + 1/4 - 1/2)$   
 $= 2.5 < 3.5: \text{giữ nguyên } b_2 = 1.$

$b=1110: x_Q = 10(1/2 + 1/4 + 1/8 - 1/2)$   
 $= 3.75 > 3.5: \text{bật về } b_3 = 0.$

$b=1101: x_Q = 10(1/2 + 1/4 + 1/16 - 1/2) = 3.125 < 3.5: \text{giữ nguyên } b_4 = 1.$

Bit kiểm tra	$b_1 b_2 b_3 b_4$	$x_Q$ [V]	c
	0 0 0 0		
$b_1$	1 0 0 0	0	1
$b_2$	1 1 0 0	2.5	1
$b_3$	1 1 1 0	3.75	0
$b_4$	1 1 0 1	3.125	1
	<b>1 1 0 1</b>	<b>3.125</b>	



## Chương 2 LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### Bài tập:

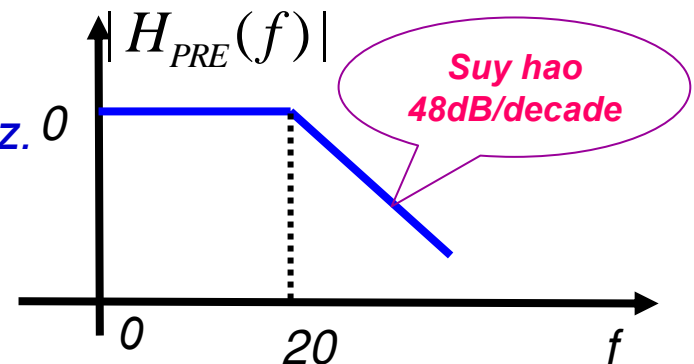
2.1 (bài 3.3.1 trang 100) Cho tín hiệu âm thanh sau:

$$x_a(t) = \sin 10\pi t + \sin 20\pi t + \sin 60\pi t + \sin 90\pi t \quad (t:\text{ms})$$

Tín hiệu được đưa qua bộ tiền lọc, được lấy mẫu ở tốc độ  $f_s = 40 \text{ KHz}$ , và sau đó được đưa qua mạch khôi phục lý tưởng. Xác định tín hiệu khôi phục  $y_a(t)$ ?

- Không dùng bộ tiền lọc.
- Dùng bộ tiền lọc lý tưởng có tần số cắt  $20 \text{ KHz}$ .
- Dùng bộ tiền lọc có đáp ứng tần số như sau.

Bỏ qua ảnh hưởng của pha.



2.2 (bài 3.3.2 trang 101) Khoảng tần số quan tâm trong tín hiệu tiếng nói là

$[0; 3.4 \text{ KHz}]$ . Bên ngoài khoảng này tín hiệu suy giảm  $\alpha \text{ dB/decade}$ . Tín hiệu này được đưa qua bộ tiền lọc có đáp ứng phẳng đến  $f_M$ , rồi suy giảm  $\beta \text{ dB/decade}$ . Hãy chứng tỏ rằng, để mức chùng lấn phổ vào dải tần quan tâm nhỏ hơn  $A \text{ dB}$  thì tốc độ lấy mẫu tối thiểu là:  $f_s = f_M + 10^{A/(\alpha+\beta)} f_M$ .



## Chương 2

## LẤY MẪU VÀ KHÔI PHỤC TÍN HIỆU (tt)

### Bài tập:

2.3 (bài 3.3.3 trang 101) Một tín hiệu tương tự có dải tần quan tâm  $[0, 20\text{Khz}]$ , và có phổ được mô tả như sau

$$|X_a(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.1f)^8}}, \quad f : \text{Khz}$$

Tín hiệu được lấy mẫu ở tốc độ  $f_s$ . Người ta muốn mức chùng lún phổ vào dải tần quan tâm phải nhỏ hơn 60 dB. Hãy xác định giá trị của  $f_s$  để thỏa mãn yêu cầu trên nếu không dùng bộ tiền lọc.

2.4 (bài 3.5.2 trang 102) Một tín hiệu tương tự sau khi qua bộ tiền lọc được lấy mẫu ở tốc độ  $f_s = 8 \text{ Khz}$ . Tín hiệu số sau đó được lọc dùng bộ lọc số thông thấp lý tưởng  $f_c = 1 \text{ Khz}$ . Tín hiệu số ngõ ra được đưa đến mạch khôi phục hình thang rồi đến bộ hậu lọc. Hãy xác định các thông số của bộ hậu lọc để mức phổ ảnh được giảm ít hơn 40 dB.