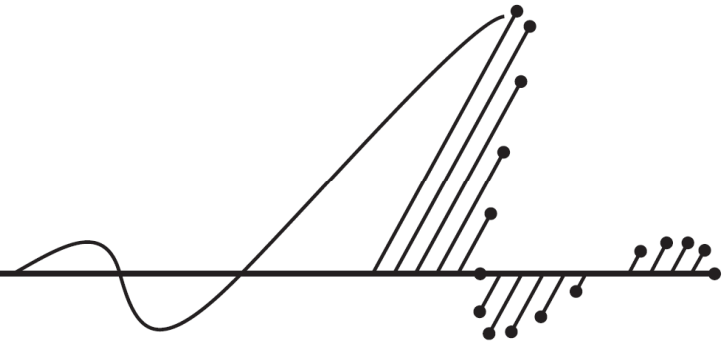




## *Digital Signal Processing*



### Chương 1

# Lấy mẫu và khôi phục

TS. Nguyễn Thanh Tuấn

Bộ môn Viễn thông (112-114B3)

Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG TP HCM

Email: [nttuan@hcmut.edu.vn](mailto:nttuan@hcmut.edu.vn)



# Nội dung

- Lấy mẫu lý tưởng
  - Miền thời gian
  - Miền tần số
- Hiện tượng chồng lấn (aliasing)
- Khôi phục lý tưởng
- Định lý lấy mẫu Nyquist
- Tiền lọc
  - Lý tưởng
  - Thực tế
- Lấy mẫu và khôi phục thực tế
- Hậu lọc



# Lấy mẫu lý tưởng (thời gian)

- Khái niệm
- Nguyên tắc hoạt động
- Ký hiệu sơ đồ khối
- Thông số cơ bản

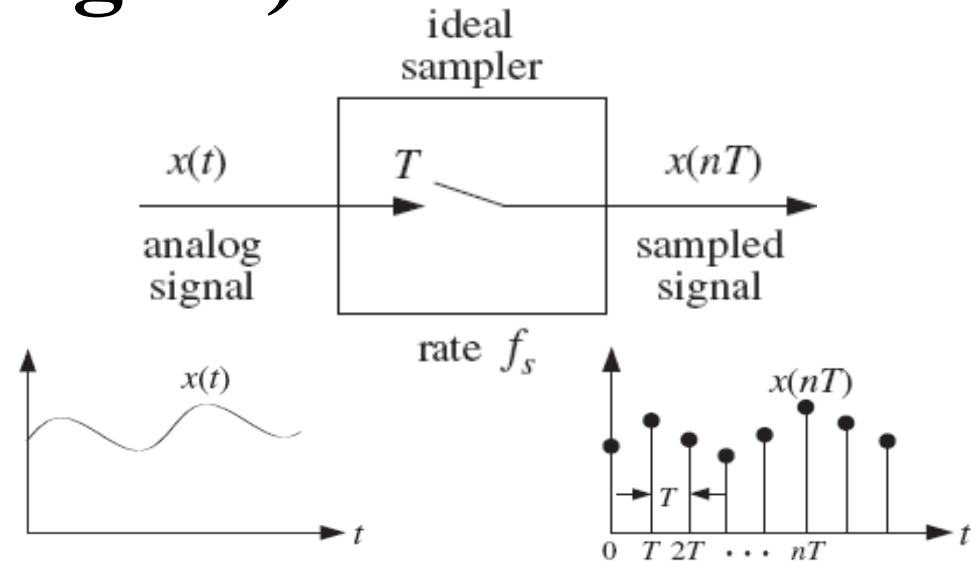
– Chu kì lấy mẫu:  $T$  (s)

– Tần số (tốc độ) lấy mẫu:  $F = 1/T$  (mẫu/s  $\equiv$  Hz)

- Tín hiệu trước lấy mẫu: thời gian liên tục  $t \in \mathbb{R}$
- Tín hiệu sau lấy mẫu:  $x_s[n] = x(t = nT)$

– Thời gian rời rạc (thực tế):  $n \in \mathbb{Z} \rightarrow$  mẫu thứ  $n$

– Thời gian liên tục (toán học):  $t_n = nT \rightarrow$  xung Dirac





# Ví dụ 1

- Cho tín hiệu tương tự  $x(t)=2\cos(2\pi t)$  với  $t(s)$  được lấy mẫu ở tốc độ  $F_s=4$  Hz. Xác định và vẽ dạng sóng của tín hiệu sau lấy mẫu  $x(n)$  với các vị trí mẫu từ 0 đến 4.

n	0	1	2	3	4
$x(n)$					



## Ví dụ 2

- Cho 2 tín hiệu tương tự  $x_1(t)$  và  $x_2(t)$  cùng được lấy mẫu ở tần số 1 Hz.

$$x_1(t) = 2 \cos(2\pi \frac{7}{8}t), \quad x_2(t) = 2 \cos(2\pi \frac{1}{8}t); \quad t(s)$$

- 1) 2 tín hiệu  $x_1(t)$  và  $x_2(t)$  giống nhau hay khác nhau? Vẽ dạng sóng minh họa.
- 2) Xác định 2 tín hiệu sau lấy mẫu  $x_1(n)$  và  $x_2(n)$ . 2 tín hiệu này giống nhau hay khác nhau? Vẽ dạng sóng minh họa.
- 3) Tìm tín hiệu  $x_3(t)$  khác  $x_1(t)$  và  $x_2(t)$  nhưng cho tín hiệu sau lấy mẫu  $x_3(n) = x_1(n) = x_2(n)$ .
- 4) Có bao nhiêu tín hiệu thỏa tính chất câu 3)?



# Hiện tượng chồng lấn (aliasing)

- Tín hiệu trước lấy mẫu khác nhau nhưng cho tín hiệu sau lấy mẫu giống nhau

$$-x_1(t) \neq x_2(t) \neq x_\infty(t) \exists t$$

$$-x_1(n) \equiv x_2(n) \equiv x_\infty(n) \forall n$$

$$x(t) = A \cos(2\pi F_0 t + \theta) \quad x_k(t) = A \cos(2\pi F_k t + \theta)$$

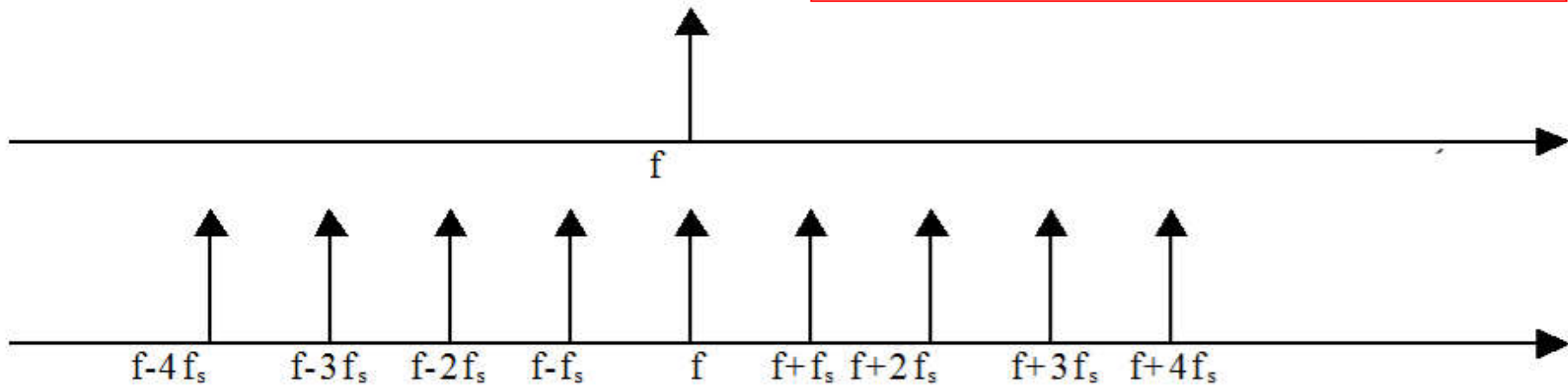
- Nếu  $F_k = F_0 + kF_s$ ,  $k = \pm 1, \pm 2, \dots$ , thì xảy ra hiện tượng chồng lấn



# Lấy mẫu lý tưởng (tần số)

- Phổ tín hiệu trước lấy mẫu:  $X(F)$
- Phổ tín hiệu sau lấy mẫu: lặp lại phổ tín hiệu trước lấy mẫu  $X_s(F)$

$$X_s(F) = F_s \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(F - kF_s)$$





## Ví dụ 3

- Cho tín hiệu tương tự  $x(t)=\cos(20\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz.
  - 1) Vẽ phổ tín hiệu trước lấy mẫu.
  - 2) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi  $[-40 \div 40]$  Hz.
  - 3) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi  $[0 \div 80]$  Hz.
  - 4) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi  $[100 \div 200]$  Hz.





## Ví dụ 4

- Cho tín hiệu tương tự  $x(t) = 1 + \sin(20\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz.
  - 1) Vẽ phổ tín hiệu trước lấy mẫu.
  - 2) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi  $[-40 \div 40]$  Hz.
  - 3) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi  $[0 \div 80]$  Hz.
  - 4) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi  $[100 \div 200]$  Hz.



## Ví dụ 5

- Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu trong trường hợp tín hiệu trước lấy mẫu có phổ như sau:
  - 1) Chữ nhật  $[-4 \div 4]$  Hz,  $F_s = 9$  Hz
  - 2) Chữ nhật  $[-4 \div 4]$  Hz,  $F_s = 8$  Hz
  - 3) Chữ nhật  $[-4 \div 4]$  Hz,  $F_s = 7$  Hz
  - 4) Tam giác  $[-4 \div 4]$  Hz,  $F_s = 9$  Hz
  - 5) Tam giác  $[-4 \div 4]$  Hz,  $F_s = 8$  Hz
  - 6) Tam giác  $[-4 \div 4]$  Hz,  $F_s = 7$  Hz



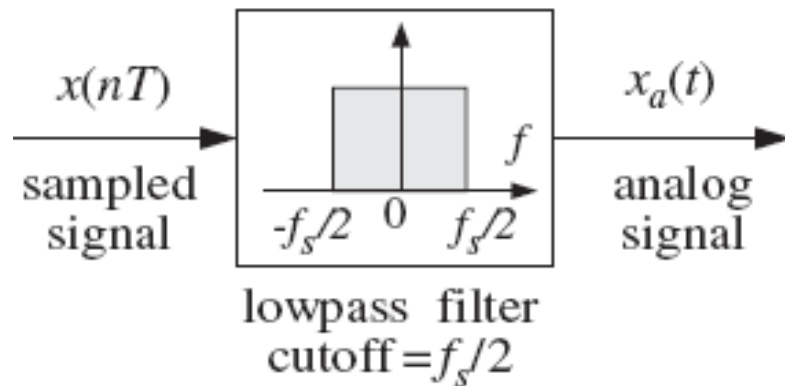
# Thiết kế bộ khôi phục

- Mục tiêu:
- Giả sử tín hiệu trước lấy mẫu có phổ gồm **1 vạch tần số**. Hỏi phổ tín hiệu sau lấy mẫu có bao nhiêu vạch tần số và vị trí của chúng như thế nào?
- Để đạt mục tiêu thì tín hiệu sau khôi phục phải có mấy vạch tần số? Để làm được việc này thì bộ khôi phục phải như thế nào? Cho biết thông số tối ưu của bộ khôi phục?



# Khôi phục lý tưởng

- Nguyên tắc hoạt động: lọc thông thấp lý tưởng với tần số cắt  $F_s/2$  và độ lợi  $T = 1/F_s$  (bù trừ ảnh hưởng lặp phổ của bộ lấy mẫu lý tưởng)
- Ký hiệu sơ đồ khối



$$H(F) = \begin{cases} T & F \in (-\frac{F_s}{2}, \frac{F_s}{2}) \\ 0 & \text{otherwise} \\ T/2 & F = \pm \frac{F_s}{2} \end{cases}$$



## Ví dụ 6

- Cho tín hiệu tương tự  $x(t) = \cos(20\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz.
  - 1) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu.
  - 2) Vẽ phổ tín hiệu sau khôi phục.
  - 3) Xác định biểu thức tín hiệu sau khôi phục.
  - 4) Tín hiệu sau khôi phục có giống tín hiệu trước lấy mẫu?



## Ví dụ 7

- Cho tín hiệu tương tự  $x(t)=1 + \sin(20\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz.
  - 1) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu.
  - 2) Vẽ phổ tín hiệu sau khôi phục.
  - 3) Xác định biểu thức tín hiệu sau khôi phục.
  - 4) Tín hiệu sau khôi phục có giống tín hiệu trước lấy mẫu?



## Ví dụ 8

- Cho tín hiệu tương tự  $x(t)=\cos(100\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz.
  - 1) Vẽ phổ tín hiệu trước lấy mẫu.
  - 2) Vẽ phổ tín hiệu sau lấy mẫu.
  - 3) Vẽ phổ tín hiệu sau khôi phục.
  - 4) Xác định biểu thức tín hiệu sau khôi phục.
  - 5) Tín hiệu sau khôi phục có giống tín hiệu trước lấy mẫu?



## Ví dụ 9

- Xác định tín hiệu sau khôi phục trong trường hợp tín hiệu  $x(t)=10\sin(4\pi t)+6\sin(16\pi t)$ , ( $t:s$ ) được lấy mẫu với tần số lấy mẫu
  - 1) 20 Hz.
  - 2) 15 Hz.
  - 3) 10 Hz.
  - 4) 16 Hz.





# Xác định tín hiệu sau khôi phục

- Tín hiệu trước lấy mẫu:  $A\cos(2\pi Ft + \phi)$
- Tần số trước lấy mẫu  $F$
- Tần số lấy mẫu  $F_s$
- Khoảng Nyquist  $[-F_s/2 \div F_s/2]$
- Tần số sau khôi phục  $F_a = F + kF_s$ , ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ), nằm trong khoảng Nyquist

$$F_a = F \bmod(F_s)$$

- Tín hiệu sau khôi phục:  $A\cos(2\pi F_a t + \phi)$



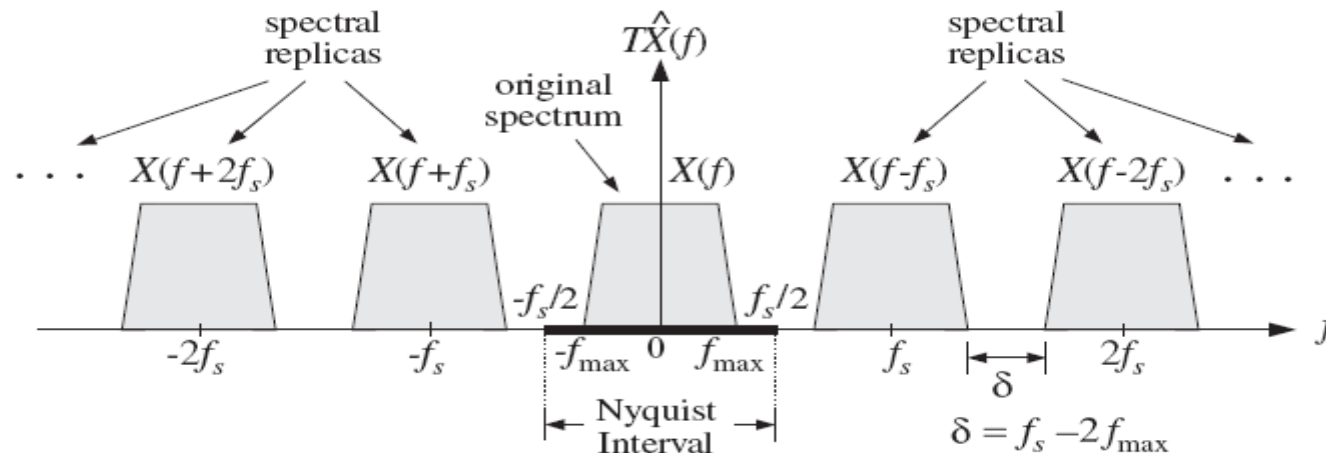
## Ví dụ 10

- Tín hiệu sau khôi phục giống hay khác tín hiệu ban đầu  $x(t) = \cos(100\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số lấy mẫu sau:
  - 1) 40 Hz.
  - 2) 20 Hz.
  - 3) 80 Hz.
  - 4) 120 Hz.
  - 5) Tìm điều kiện của tần số lấy mẫu để khôi phục đúng tín hiệu ban đầu?



# Điều kiện khôi phục đúng

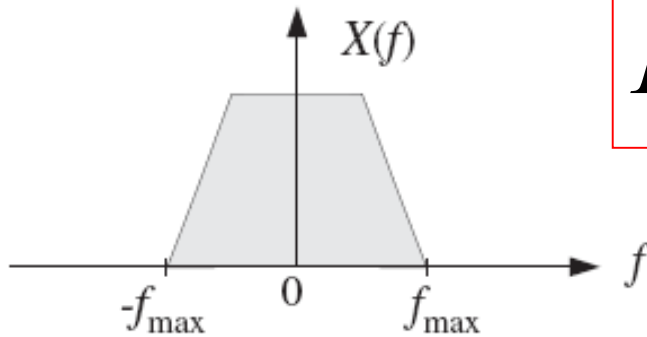
- Với bộ khôi phục lý tưởng, có đảm bảo luôn khôi phục đúng tín hiệu trước lấy mẫu không? Cho ví dụ minh họa?
- Tìm điều kiện để luôn khôi phục đúng tín hiệu trước lấy mẫu?





# Định lý lấy mẫu Nyquist

- Điều kiện khôi phục đúng tín hiệu ban đầu



$$F_s \geq 2F_{\max}$$



- Tần số lấy mẫu Nyquist:  $F_s = 2F_{\max}$
- Tần số Nyquist (gấp):  $F_s/2$
- Khoảng tần số Nyquist (khôi phục):  $[-F_s/2 \div F_s/2]$



# Tần số lấy mẫu (ứng dụng)

Applications	Fmax	Fs
Biomedical	1 KHz	2 KHz
Speech	4 KHz	8 KHz
Audio	20 KHz	40 KHz
Video	4 MHz	8 MHz



## Ví dụ 11

- Cho tín hiệu âm thanh  $x(t)$ , (t:ms) như sau

$$x(t) = 2A \cos(10\pi t) + 2B \cos(30\pi t) + 2C \cos(50\pi t) \\ + 2D \cos(60\pi t) + 2E \cos(90\pi t) + 2F \cos(125\pi t)$$

- 1) Xác định các thành phần tần số (tone) của tín hiệu  $x(t)$ .  
Thành phần nào tai người có thể nghe được?
- 2) Tín hiệu  $x(t)$  được lấy mẫu với tần số 40 KHz. Xác định các thành phần tần số (tone) của tín hiệu sau khôi phục. Âm thanh nghe được sau khôi phục có giống ban đầu?
- 3) Trình bày giải pháp để âm thanh nghe được sau khôi phục giống ban đầu.



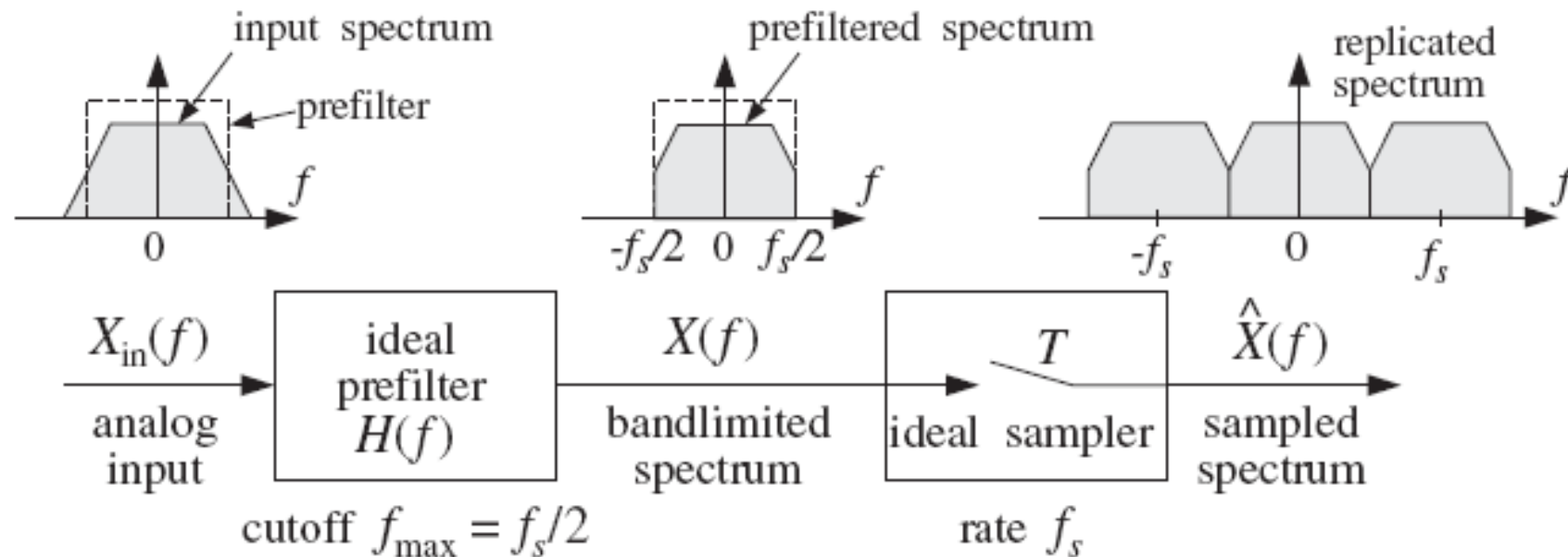
# Tiền lọc

- Điều kiện để khôi phục đúng là gì? Trong thực tế, điều kiện này gặp những trở ngại gì?
- Với tần số lấy mẫu cho trước cố định, có cách nào giảm thiểu khác biệt của tín hiệu sau khôi phục so với tín hiệu trước lấy mẫu?

Độ lợi	Tiền lọc lý tưởng	Tiền lọc thực tế
Trong băng thông	1 (mặc định)	Tiệm cận phẳng 1 (mặc định)
Ngoài băng thông	0	Tiệm cận độ dốc (dB/decade, dB/octave)

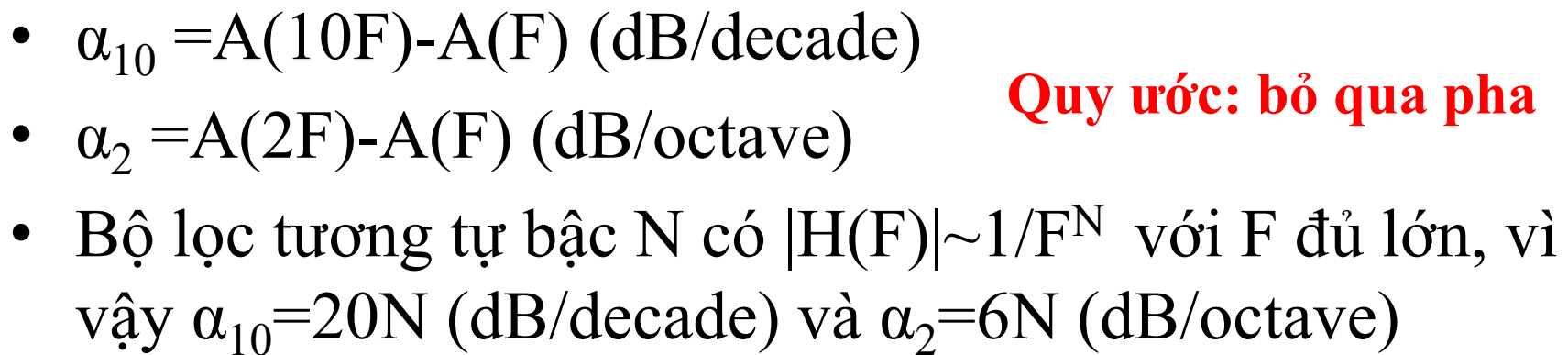


# Tiền lọc lý tưởng



- Tín hiệu sau khôi phục lý tưởng chính là tín hiệu sau tiền lọc lý tưởng.

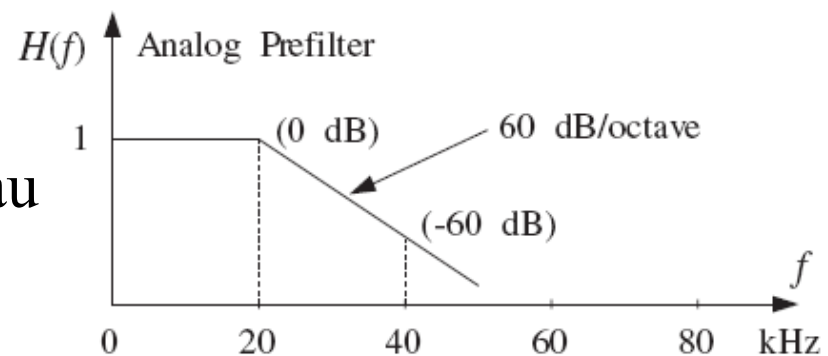






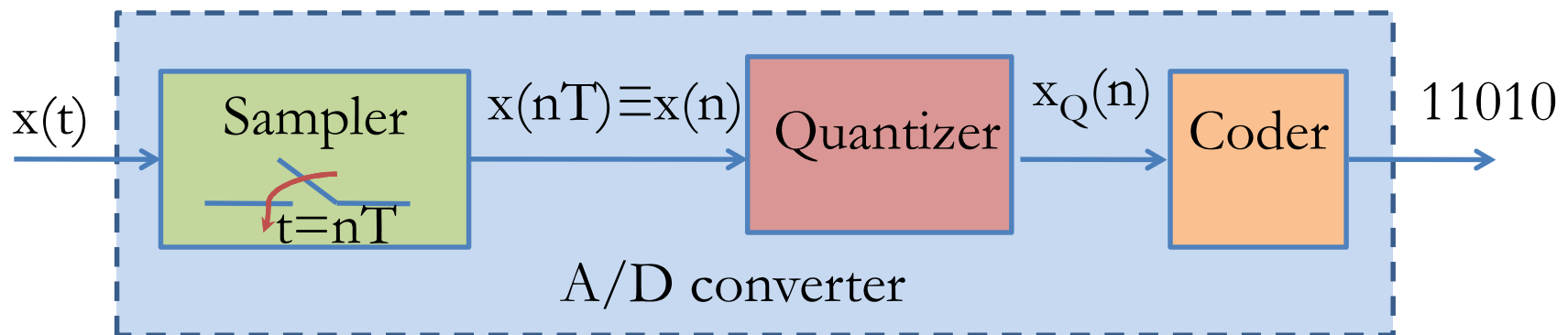
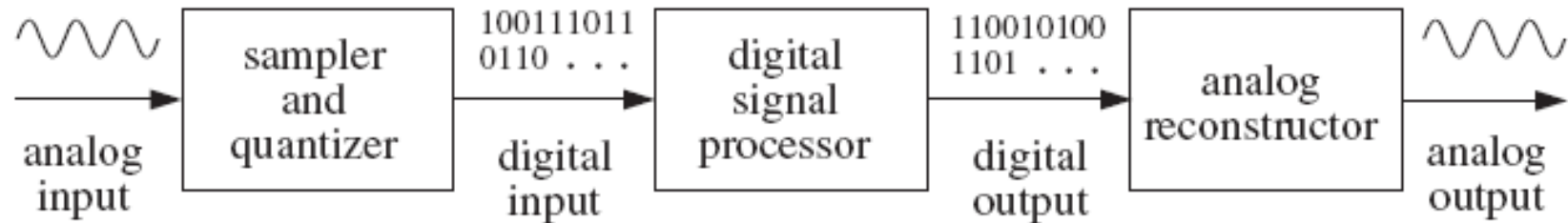
## Ví dụ 12

- Cho tín hiệu âm thanh  $x(t)$ , (t:ms) được lấy mẫu với tần số 40 KHz.  
$$x(t) = 2A \cos(10\pi t) + 2B \cos(30\pi t) + 2C \cos(50\pi t) + 2D \cos(60\pi t) + 2E \cos(90\pi t) + 2F \cos(125\pi t)$$
- 1) Trong trường hợp dùng tiền lọc lý tưởng (tần số cắt 20 KHz), xác định các thành phần tần số (tone) của tín hiệu sau khôi phục. Âm thanh nghe được sau khôi phục có giống ban đầu?
- 2) Trong trường hợp dùng tiền lọc thực tế  $H(f)$ , xác định các thành phần tần số (tone) của tín hiệu sau khôi phục. Âm thanh nghe được sau khôi phục có giống ban đầu?



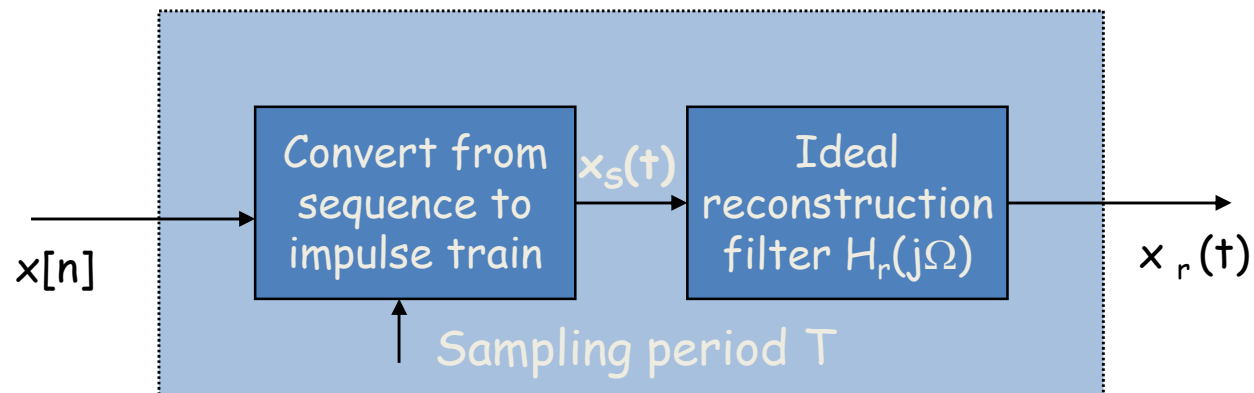


# Vai trò lấy mẫu và khôi phục





# Nội suy lý tưởng

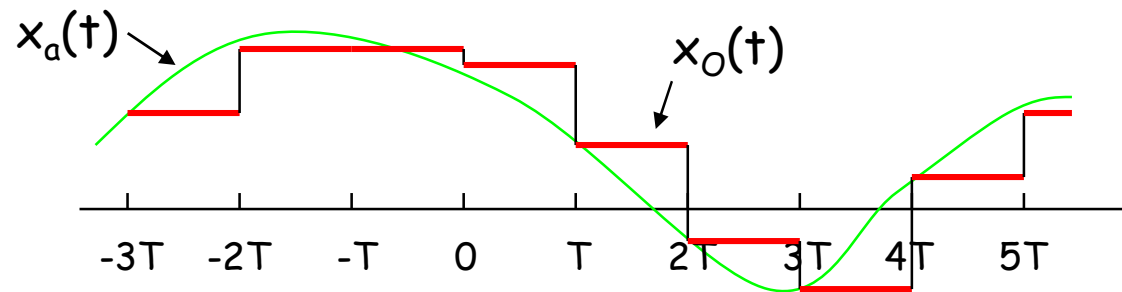
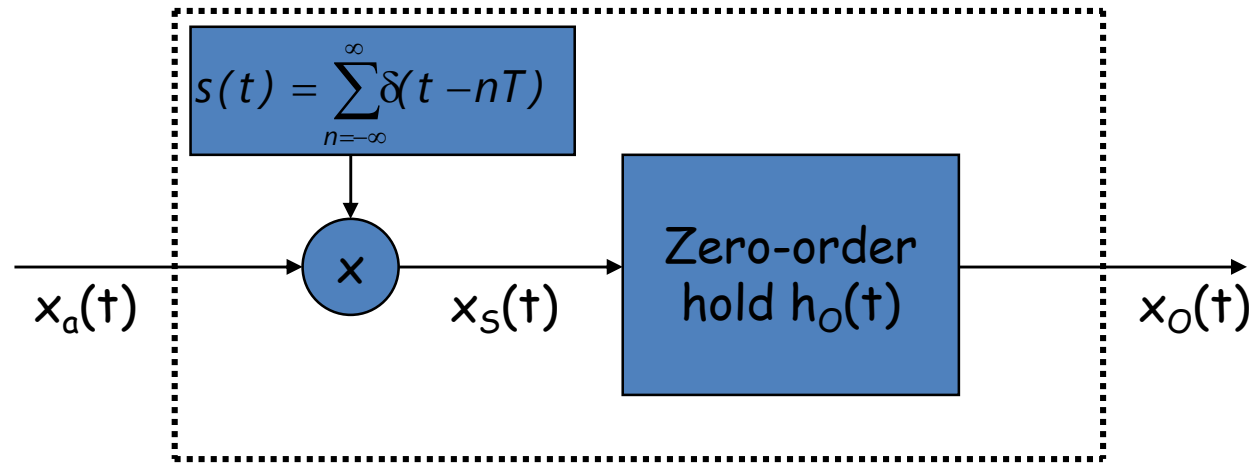


$$h_r(t) = \frac{\sin(\pi t / T)}{\pi t / T}$$

$$x_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \frac{\sin[\pi(t - nT) / T]}{\pi(t - nT) / T}$$

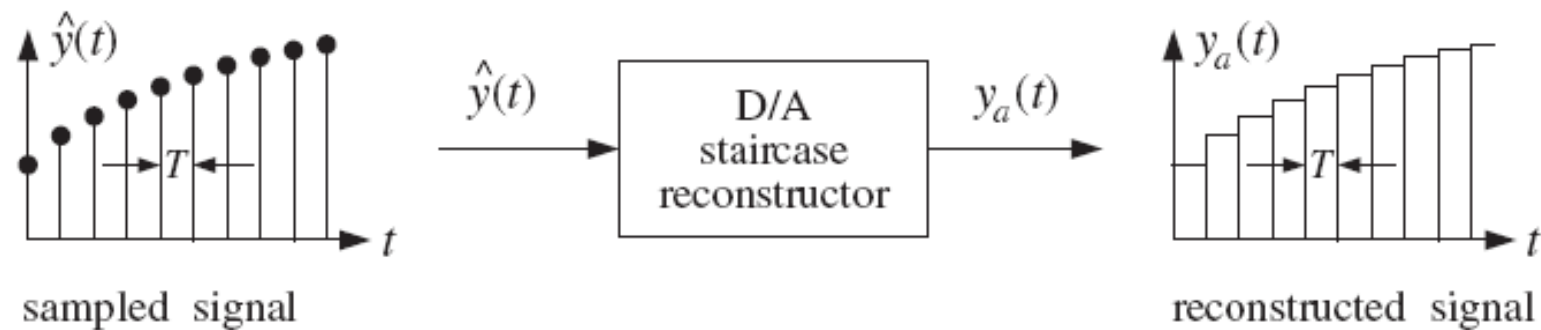
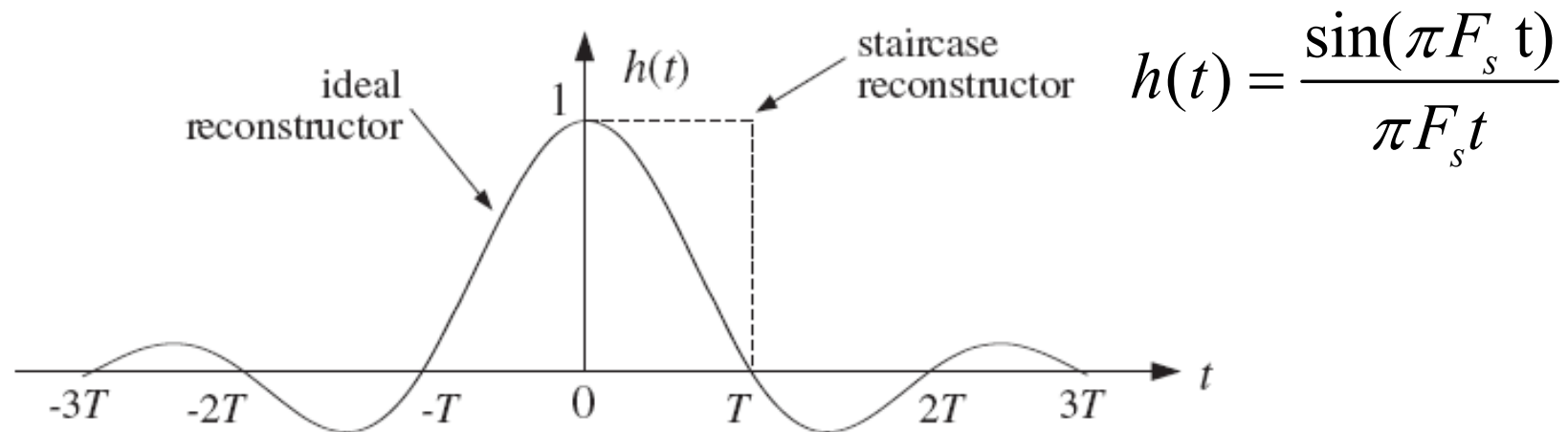


# Lấy mẫu thực tế

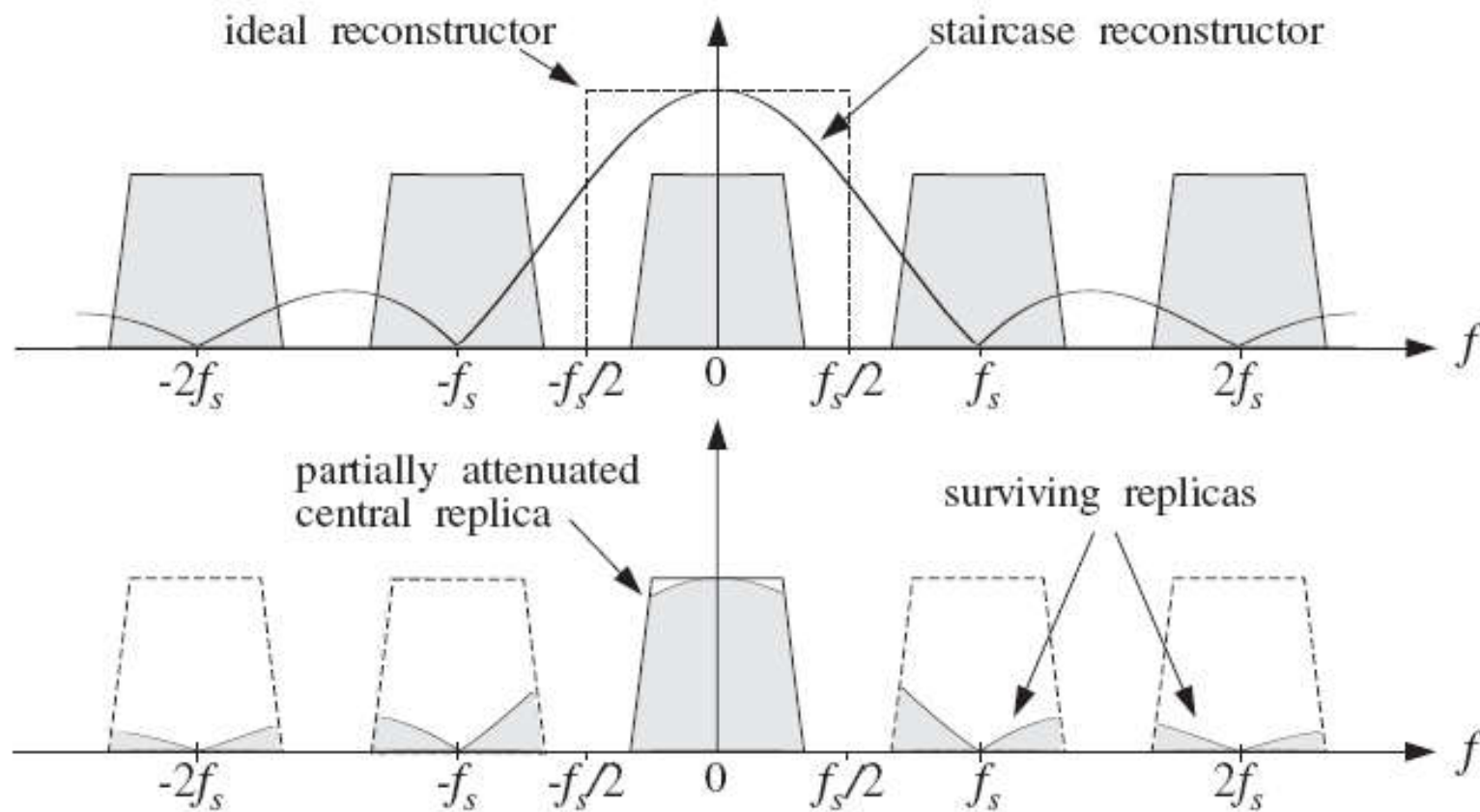




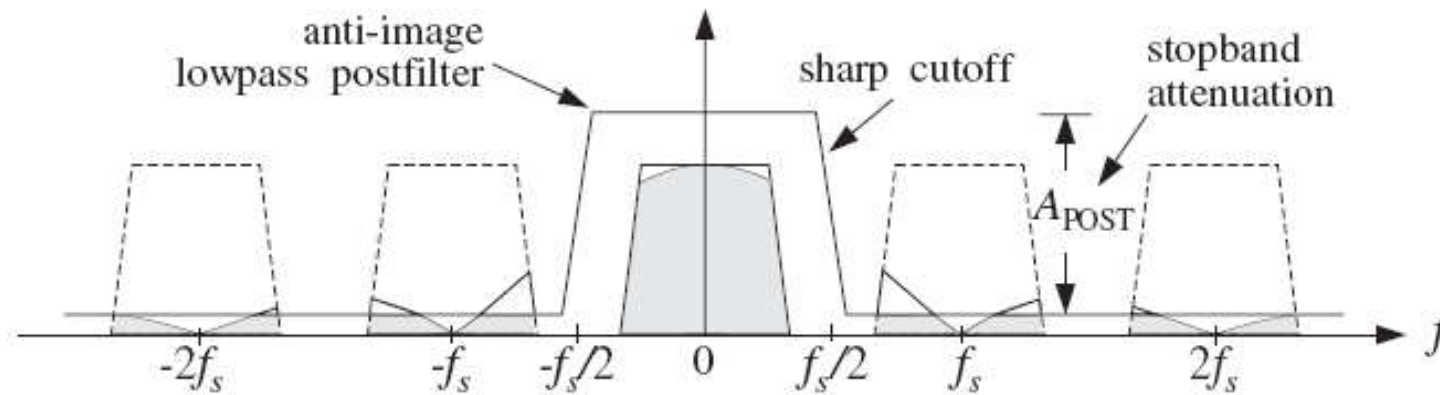
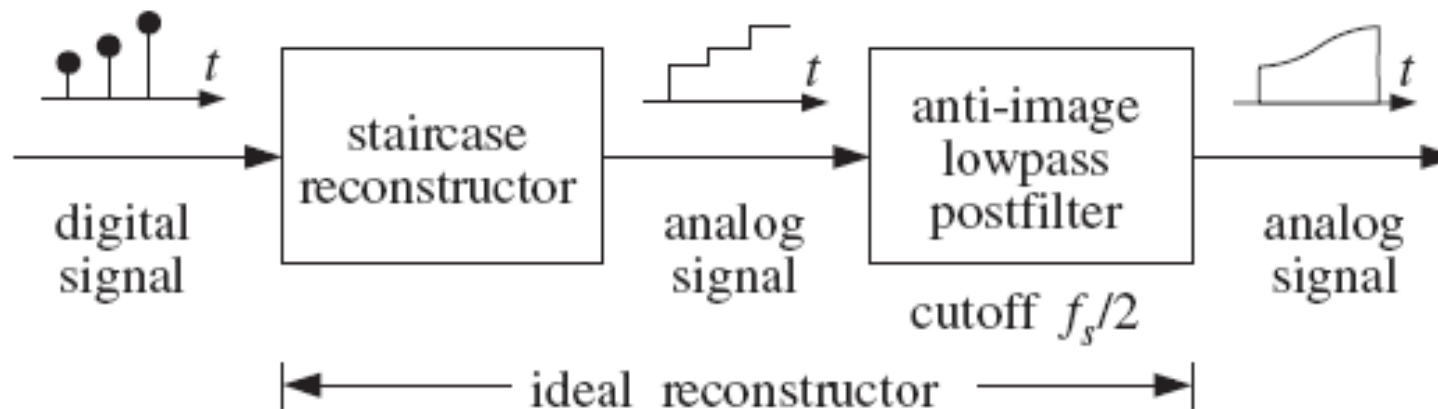
# Khôi phục thực tế (thời gian)



# Khôi phục thực tế (tần số)



# Hậu lọc







# Câu hỏi

- 1) Lấy mẫu là gì?
- 2) Mẫu là gì?
- 3) Cho biết vị trí của bộ lấy mẫu trong hệ thống DSP?
- 4) Cho biết nguyên tắc hoạt động của bộ lấy mẫu lý tưởng? Vẽ ký hiệu sơ đồ khối của bộ lấy mẫu lý tưởng?
- 5) Chu kì lấy mẫu là gì? Đơn vị?
- 6) Tần số (tốc độ) lấy mẫu là gì? Đơn vị?
- 7) Thay đổi tần số lấy mẫu (tăng/giảm) mang lại những thuận lợi và khó khăn gì?
- 8) Phát biểu tính chất lặp phổ của bộ lấy mẫu lý tưởng?
- 9) Hiện tượng chồng lấn là gì? Cho ví dụ?



# Câu hỏi

- 10) Phát biểu định lý lấy mẫu Nyquist?
- 11) Cho biết vị trí của bộ khôi phục trong hệ thống DSP?
- 12) Khoảng Nyquist là gì? Đơn vị?
- 13) Cho biết nguyên tắc hoạt động của bộ khôi phục lý tưởng? Vẽ ký hiệu sơ đồ khối của bộ khôi phục lý tưởng?
- 14) Cho biết nguyên tắc hoạt động của bộ lấy mẫu thực tế?
- 15) Cho biết nguyên tắc hoạt động của bộ khôi phục thực tế?
- 16) Cho biết vị trí của bộ tiền lọc/ hậu lọc trong hệ thống DSP?
- 17) Tại sao phải dùng bộ tiền lọc/ hậu lọc?
- 18) Cho biết nguyên tắc hoạt động của bộ tiền lọc/ hậu lọc lý tưởng?
- 19) Cho biết nguyên tắc hoạt động của bộ tiền lọc/ hậu lọc thực tế?



# Bài tập trực tuyến bổ sung (1-2)

Giá trị mẫu

Cho tín hiệu tương tự  $x(t)=2\cos(2\pi t)$  với  $t(s)$  được lấy mẫu ở tốc độ  $F_s=4$  Hz. Xác định giá trị của tín hiệu sau lấy mẫu  $x(n=2)$ .

Trả lời

Giá trị mẫu

Cho tín hiệu tương tự  $x(t)=2\cos(2\pi t)$  với  $t(ms)$  được lấy mẫu với chu kỳ  $T_s=4$  ms. Xác định giá trị của tín hiệu sau lấy mẫu  $x(n=2)$ .

Trả lời



# Bài tập trực tuyến bổ sung (3)

Phổ sau lấy mẫu

Cho tín hiệu tương tự  $x(t) = 1 + \sin(20\pi t) + \cos(30\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz. Phổ tín hiệu sau lấy mẫu có bao nhiêu vạch phổ trong phạm vi tần số từ 0 Hz đến 80 Hz.

Trả lời:



# Bài tập trực tuyến bổ sung (4)

Phổ sau khôi phục

Cho tín hiệu tương tự  $x(t) = 1 + \sin(20\pi t) + \cos(30\pi t)$ , (t:s) được lấy mẫu với tần số 40 Hz. Phổ tín hiệu sau khôi phục lý tưởng có bao nhiêu vạch phổ trong phạm vi tần số từ 0 Hz đến 80 Hz.

Trả lời



# Bài tập trực tuyến bổ sung (5-7)

Biểu thức sau khôi phục

Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 14\sin^2(3\pi t) + 3\sin(14\pi t)$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz thu được tín hiệu sau khôi phục có biểu thức  $A + B\cos(6\pi t) - 3\sin(F\pi t)$  (t: ms). Xác định giá trị A.

Trả lời

Biểu thức sau khôi phục

Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 14\sin^2(3\pi t) + 3\sin(14\pi t)$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz thu được tín hiệu sau khôi phục có biểu thức  $A + B\cos(6\pi t) - 3\sin(F\pi t)$  (t: ms). Xác định giá trị B.

Trả lời

Biểu thức sau khôi phục

Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 14\sin^2(3\pi t) + 3\sin(14\pi t)$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz thu được tín hiệu sau khôi phục có biểu thức  $A + B\cos(6\pi t) - 3\sin(F\pi t)$  (t: ms). Xác định giá trị F.

Trả lời



# Bài tập trực tuyến bổ sung (8-10)

## Giá trị sau khôi phục

Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 4\cos(0.6\pi t) + 2\cos(6\pi t) + \cos(10\pi t)$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz. Xác định giá trị tín hiệu sau khôi phục  $x_a(t = 0 \text{ ms})$  trong trường hợp không dùng tiền lọc.

Trả lời

## Giá trị sau khôi phục

Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 4\cos(0.6\pi t) + 2\cos(6\pi t) + \cos(10\pi t)$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz. Xác định giá trị tín hiệu sau khôi phục  $x_a(t = 0 \text{ ms})$  trong trường hợp dùng tiền lọc lý tưởng.

Trả lời

## Giá trị sau khôi phục

Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 4\cos(0.6\pi t) + 2\cos(6\pi t) + \cos(10\pi t)$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz. Xác định giá trị tín hiệu sau khôi phục  $x_a(t = 0 \text{ ms})$  trong trường hợp dùng tiền lọc thực tế có biên độ phẳng 0 dB đến 2 KHz, suy giảm với độ dốc 12 dB/octave trong phạm vi từ 2 KHz đến 4 KHz và suy giảm với độ dốc 24 dB/octave từ 4 KHz trở lên.

Trả lời



# Bài tập 1

- ❖ Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 3\cos 10^3\pi t - 4\sin 10^4\pi t$  (t: s) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz.
  - a) Viết biểu thức của tín hiệu sau lấy mẫu  $x[n]$ ? Xác định giá trị mẫu  $x[n=2]$  của tín hiệu sau lấy mẫu.
  - b) Có hay không 1 tần số lấy mẫu khác ( $F_{sb} \neq 8$  KHz) cho cùng kết quả tín hiệu sau lấy mẫu  $x[n]$ ? Nếu không, hãy chứng minh. Nếu có, hãy chỉ ra 1 tần số lấy mẫu khác đó.
  - c) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi tần số từ 0 đến 10 KHz.
  - d) Xác định biểu thức của tín hiệu sau khôi phục.
  - e) Xác định biểu thức của tín hiệu sau khôi phục trong trường hợp dùng thêm bộ tiền lọc thông thấp thực tế có biên độ phẳng trong tầm  $[-4 \ 4]$  KHz và suy giảm với tốc độ  $-1 @ 0\text{dB/decade}$  bên ngoài dải thông.





## Bài tập 2

- ❖ Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 2 - 4\sin 6\pi t + 8\cos 10\pi t$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu lựa chọn  $F_s = 7, @$  KHz.
- Vẽ phổ biên độ của tín hiệu ngõ vào  $x(t)$ .
  - Vẽ phổ biên độ của một tín hiệu  $x'(t)$  chồng lấn (aliased signal) với  $x(t)$ . ( $x'(t) \neq x(t)$  và  $x'[n] \equiv x[n]$ ).
  - Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi tần số từ 0 đến 10 KHz.
  - Tìm giá trị mẫu  $x[n=2]$  của tín hiệu sau lấy mẫu.
  - Xác định biểu thức (theo thời gian) của tín hiệu sau khôi phục.
  - Tìm điều kiện của tần số lấy mẫu để khôi phục đúng tín hiệu ngõ vào  $x(t)$ .



## Bài tập 3

- ❖ Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 14\sin^2 3\pi t + 3\sin 14\pi t$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz.
- a) Tìm giá trị mẫu  $x[n=1@]$  của tín hiệu sau lấy mẫu?
- b) Xác định biểu thức của 1 tín hiệu  $x'(t)$  chồng lấn (aliased signal) với tín hiệu ban đầu  $x(t)$ ? ( $x'(t) \neq x(t)$  và  $x'[n] \equiv x[n]$ ).
- c) Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi tần số từ 1@ đến 2@ KHz?
- d) Xác định biểu thức của tín hiệu sau khôi phục?
- e) Tìm điều kiện của tần số lấy mẫu  $F_s$  để tín hiệu sau khôi phục giống ban đầu  $x(t)$ ?
- f) Xác định biểu thức của tín hiệu sau khôi phục trong trường hợp dùng thêm bộ tiền lọc lý tưởng?
- g) Xác định biểu thức của tín hiệu sau khôi phục trong trường hợp dùng thêm bộ tiền lọc thông thấp thực tế có biên độ phẳng 0 dB trong tầm 4 KHz và suy giảm với tốc độ -1@ dB/octave bên ngoài dải thông, bỏ qua ảnh hưởng pha của bộ lọc?
- h) Xác định 1 giá trị thích hợp ( $A \neq 0, B \neq 0, F_A \neq F_B \neq 0$ ) của tín hiệu ngõ vào  $x(t) = A\sin 2\pi F_A t + B\sin 2\pi F_B t$  (t: ms) để tín hiệu sau khôi phục (khi không dùng thêm bộ tiền lọc)  $y(t) = 2\sin 2\pi t$  (t: ms)?



## Bài tập 4

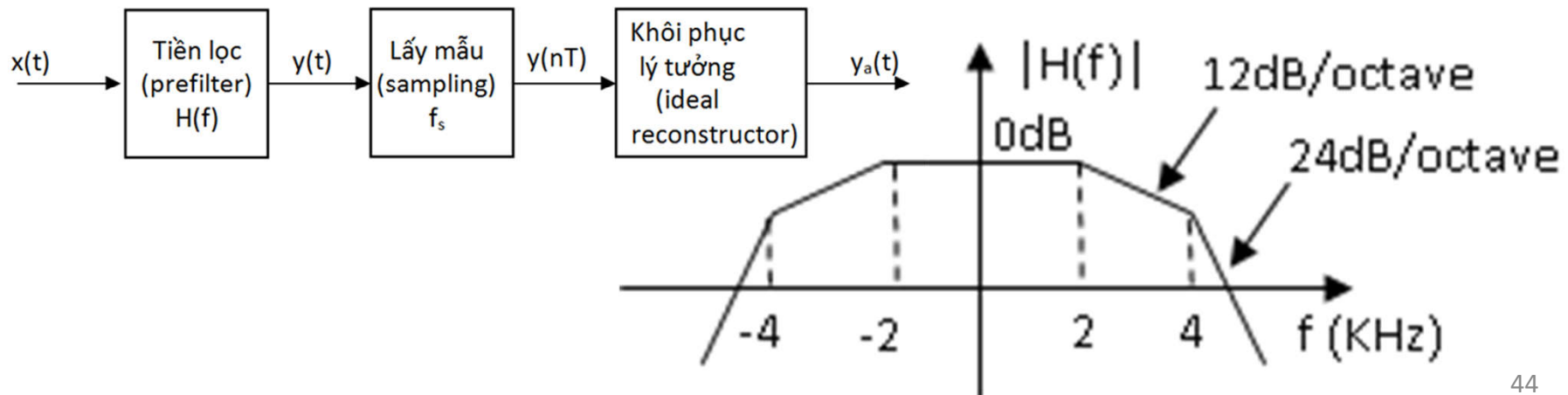
- ❖ Cho tín hiệu ngõ vào tương tự  $x(t) = 1 - 2\cos 6\pi t + 3\sin 14\pi t$  (t: ms) đi qua hệ thống lấy mẫu và khôi phục lý tưởng với tần số lấy mẫu  $F_s = 8$  KHz.
- Tìm giá trị mẫu  $x[n=2]$  của tín hiệu sau lấy mẫu?
  - Xác định biểu thức (theo thời gian) của 1 tín hiệu chồng lấn (aliased signal) với tín hiệu ban đầu  $x(t)$ ?
  - Vẽ phổ biên độ của tín hiệu sau lấy mẫu trong phạm vi tần số từ 0 đến 8 KHz?
  - Xác định biểu thức (theo thời gian) của tín hiệu sau khôi phục?
  - Xác định biểu thức (theo thời gian) của tín hiệu sau khôi phục trong trường hợp dùng thêm bộ tiền lọc thông thấp thực tế có biên độ phẳng trong tầm 4 KHz và suy giảm với tốc độ  $-6$  dB/decade bên ngoài dải thông?
  - Tìm điều kiện của chu kỳ lấy mẫu  $T_s$  sao cho tín hiệu sau khôi phục (khi không dùng thêm bộ tiền lọc) giống tín hiệu ban đầu  $x(t)$ ?
  - Tìm tần số lấy mẫu  $F_s$  lớn nhất có thể sao cho tín hiệu sau khôi phục (khi không dùng thêm bộ tiền lọc) là tín hiệu một chiều không đổi. Xác định giá trị một chiều không đổi này?



## Bài tập 5

❖ Cho tín hiệu  $x(t) = 4\cos(0.6\pi t) + 2\cos(6\pi t) + \cos(10\pi t)$  với  $t$  (ms), được lấy mẫu ở tần số  $f_s = 8\text{KHz}$ . Xác định tín hiệu sau khi qua bộ tiền lọc  $y(t)$  và tín hiệu khôi phục  $y_a(t)$  trong các trường hợp sau (bỏ qua ảnh hưởng đáp ứng pha của bộ lọc):

- Không có bộ tiền lọc, nghĩa là  $H(f) = 1$  cho tất cả giá trị của  $f$ .
- $H(f)$  là bộ lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt tại  $f_s/2 = 4\text{KHz}$ .
- $H(f)$  là bộ lọc có đáp ứng tần số như hình.





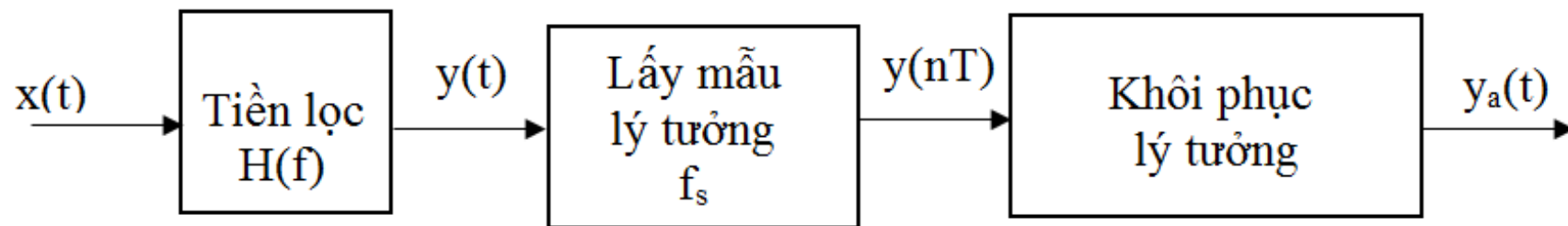
## Bài tập 6

- a) Cho tín hiệu âm thanh  $x(t)=2\cos(20\pi t) + 5\cos(35\pi t) + 7\cos(90\pi t)$  [t:ms] đi qua hệ thống gồm tiền lọc lý tưởng, lấy mẫu với tốc độ lấy mẫu  $F_s=40$  kHz, và sau đó được khôi phục lý tưởng. Hãy cho biết thông số của bộ tiền lọc (đặc tính, tần số cắt) để chống chồng lấn phổ (với tín hiệu âm thanh trên) và tìm tín hiệu sau bộ khôi phục  $y_a(t)$ .
- b) Tín hiệu  $x(t)=\cos(\Omega_0 t)$  được lấy mẫu với tốc độ lấy mẫu  $F_s=1$  kHz. Hãy xác định 2 giá trị  $\Omega_0 > 0$  để thu được tín hiệu rời rạc  $x(n)=\cos(0,25\pi n)$ .



## Bài tập 7

- Xét một hệ thống xử lý số tín hiệu như hình vẽ. Cho tín hiệu  $x(t) = 1 + 2\cos(2\pi t) - \cos(14\pi t)$  với  $t$  (ms), được lấy mẫu ở tần số  $f_s = 8$  kHz. Xác định tín hiệu sau khi qua bộ tiền lọc  $y(t)$  và tín hiệu khôi phục  $y_a(t)$  trong các trường hợp sau:



- Không có bộ tiền lọc, nghĩa là  $H(f)=1$  cho tất cả giá trị của  $f$ ?
- $H(f)$  là bộ lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt tại  $f_s/2=4$  kHz?
- $H(f)$  là bộ lọc thông thấp thực tế có tần số cắt tại 4 kHz, có độ lợi bằng 0 dB trong băng thông, và suy hao 24 dB/Octave ngoài băng thông?