



BÀI 18

CÁC BỘ LỘC SỐ LÝ TƯỞNG

TS. Nguyễn Hồng Quang
PGS. TS. Trịnh Văn Loan
TS. Đoàn Phong Tùng
Khoa Kỹ thuật máy tính

❑ Nội dung bài học

1. Bộ lọc thông thấp lý tưởng.
2. Bộ lọc thông cao lý tưởng.
3. Bộ lọc thông dải lý tưởng.
4. Bộ lọc chặn dải lý tưởng.
5. Các thông số kỹ thuật của bộ lọc thực tế.

❏ Mục tiêu bài học

Sau khi học xong bài này, các em sẽ nắm được những vấn đề sau:

- Khái niệm và các tham số cơ bản của các bộ lọc lý tưởng bao gồm: bộ lọc thông thấp, bộ lọc thông cao, bộ lọc thông dải và bộ lọc chắn dải.
- Khái niệm và các tham số cơ bản của bộ lọc thực tế.

1. Bộ lọc thông thấp lý tưởng

- LPF: Low Pass Filter

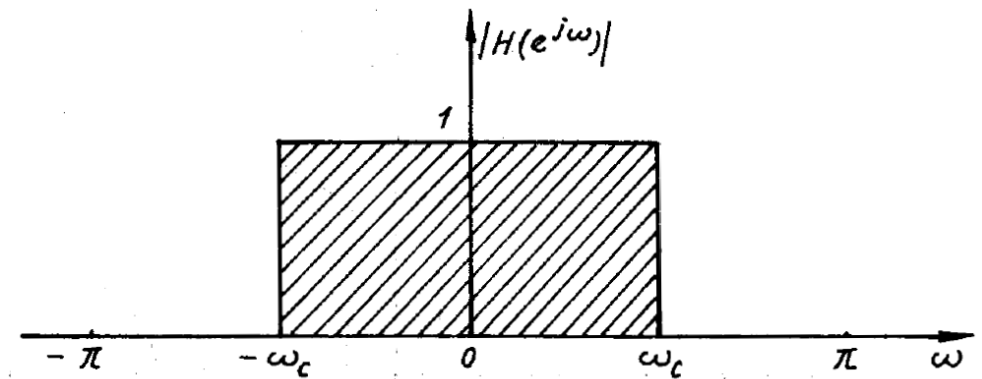
$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| \leq \omega_c \\ 0, & \omega_c < |\omega| \leq \pi \end{cases}$$

- Các thông số cơ bản của bộ lọc

ω_c : tần số cắt

$-\omega_c \leq \omega \leq \omega_c$: dải thông

$\omega_c < |\omega| < \pi$: dải chặn

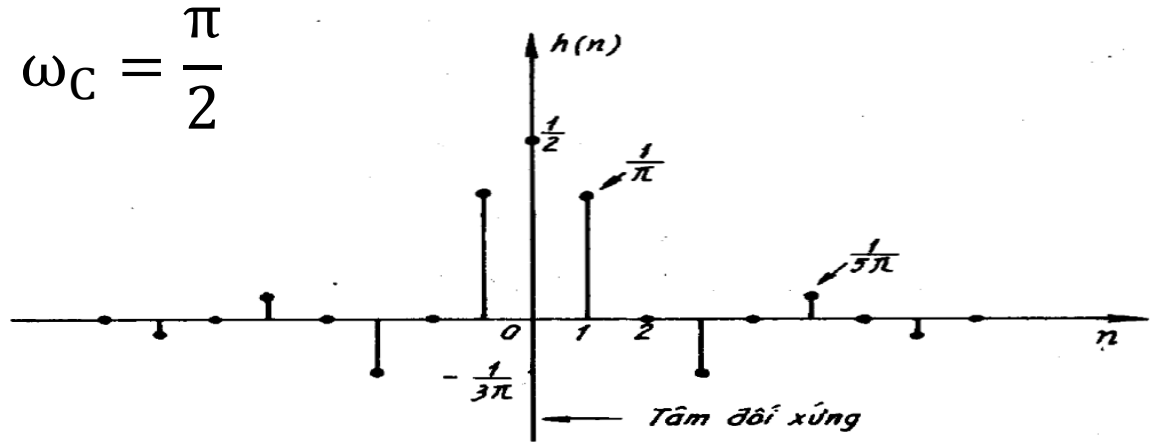
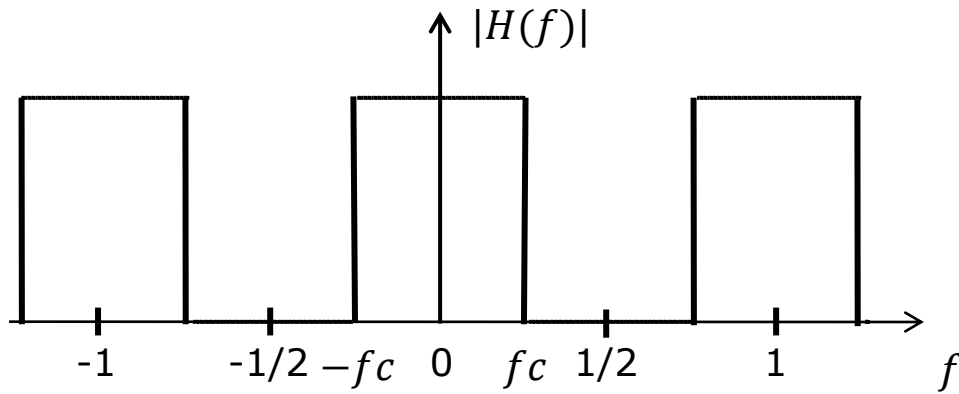


- Đáp ứng xung

$$\begin{aligned} h_{lp}(n) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{j\omega n} d\omega = \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{-\omega_c}^{\omega_c} \\ &= \frac{1}{2\pi j n} (e^{j\omega_c n} - e^{-j\omega_c n}) = \frac{\sin \omega_c n}{\pi n} \end{aligned}$$

$$n = 0 \rightarrow h(0) = \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{-\omega_c}^{\omega_c} = \frac{\omega_c}{\pi}$$

Đặc điểm của bộ lọc thông thấp lý tưởng



- Tại tất cả các mẫu là số nguyên lần của 2 (các mẫu chẵn) trừ tại $n = 0$ thì $h(n) = 0$ vì $\omega_c = \frac{\pi}{2}$
- Với tần số cắt $\omega_c = \frac{\pi}{M}$ thì $h(nM) = 0$
- Hệ thống không nhân quả nên không thực hiện được về mặt vật lý

2. Bộ lọc thông cao lý tưởng

- HPF: High Pass Filter

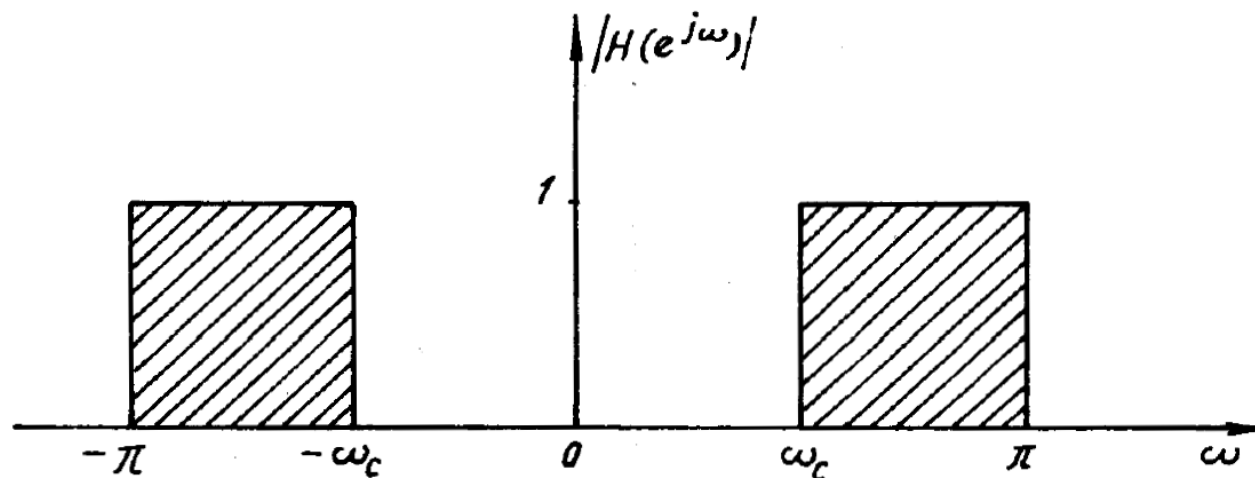
$$|H(e^{j\omega})| = \begin{cases} 1 & \begin{cases} -\pi \leq \omega \leq -\omega_c \\ \omega_c \leq \omega \leq \pi \end{cases} \\ 0 & \omega \text{ còn lại} \end{cases}$$

- Các thông số cơ bản của bộ lọc

ω_c : tần số cắt

$-\omega_c < \omega < \omega_c$: dải chặn

$\omega_c \leq |\omega| \leq \pi$: dải thông



Đáp ứng xung của bộ lọc thông cao lý tưởng

- $n \neq 0$

$$\begin{aligned} h(n) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{-\omega_c} e^{j\omega n} d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_c}^{\pi} e^{j\omega n} d\omega = \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{-\pi}^{-\omega_c} + \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{\omega_c}^{\pi} \\ &= -\frac{\sin \omega_c n}{\pi n} \end{aligned}$$

- $n = 0$

$$h(0) = \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{-\pi}^{\omega_c} + \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{\omega_c}^{\pi} = 1 - \frac{\omega_c}{\pi}$$

- Mối quan hệ giữa bộ lọc thông thấp và bộ lọc thông cao pha không:

$$h_{hp}(n) = \begin{cases} 1 - h_{lp}(0) & n = 0 \\ -h_{lp}(n) & n \neq 0 \end{cases}$$

3. Bộ lọc thông dải lý tưởng

- Ideal Band Pass Filter

$$|H(e^{j\omega})| = \begin{cases} 1 & \begin{cases} -\omega_{c2} \leq \omega \leq -\omega_{c1} \\ \omega_{c1} \leq \omega \leq \omega_{c2} \end{cases} \\ 0 & \omega \text{ còn lại} \end{cases}$$

- Các thông số:

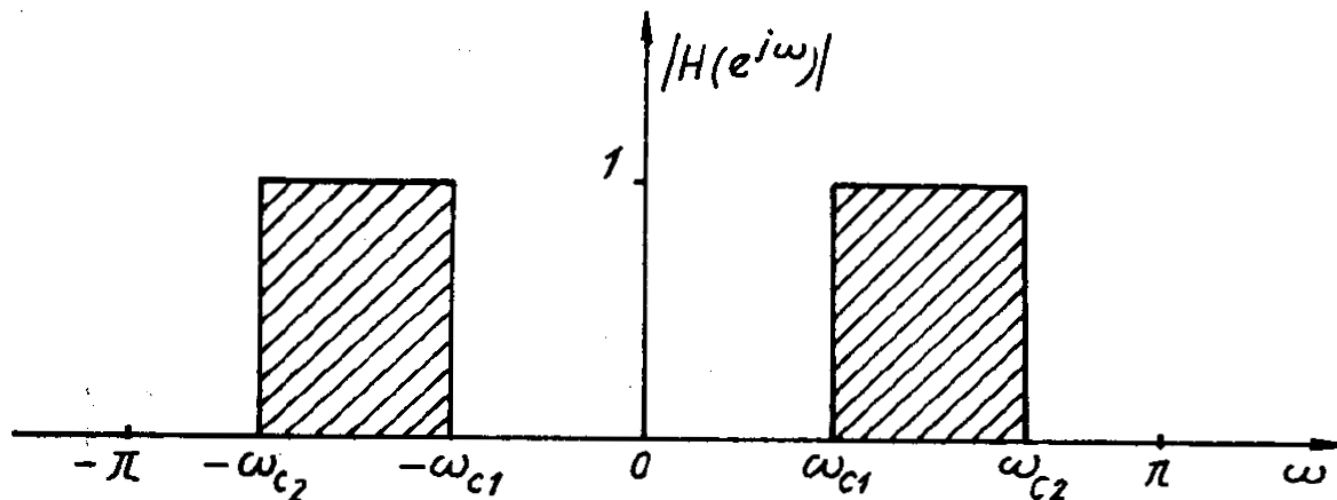
ω_{c1} : tần số cắt dưới

ω_{c2} : tần số cắt trên

$\omega_{c1} \leq |\omega| \leq \omega_{c2}$: dải thông

$|\omega| \leq \omega_{c1}$: dải chặn

$\omega_{c2} \leq |\omega| \leq \pi$: dải chặn



Đáp ứng xung của bộ lọc thông dải lý tưởng

- $n \neq 0$

$$\begin{aligned} h(n) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_{C2}}^{-\omega_{C1}} e^{j\omega n} d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_{C1}}^{\omega_{C2}} e^{j\omega n} d\omega = \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{-\omega_{C2}}^{-\omega_{C1}} + \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{\omega_{C1}}^{\omega_{C2}} \\ &= \frac{1}{\pi n} [\sin(\omega_{C2} n) - \sin(\omega_{C1} n)] \end{aligned}$$

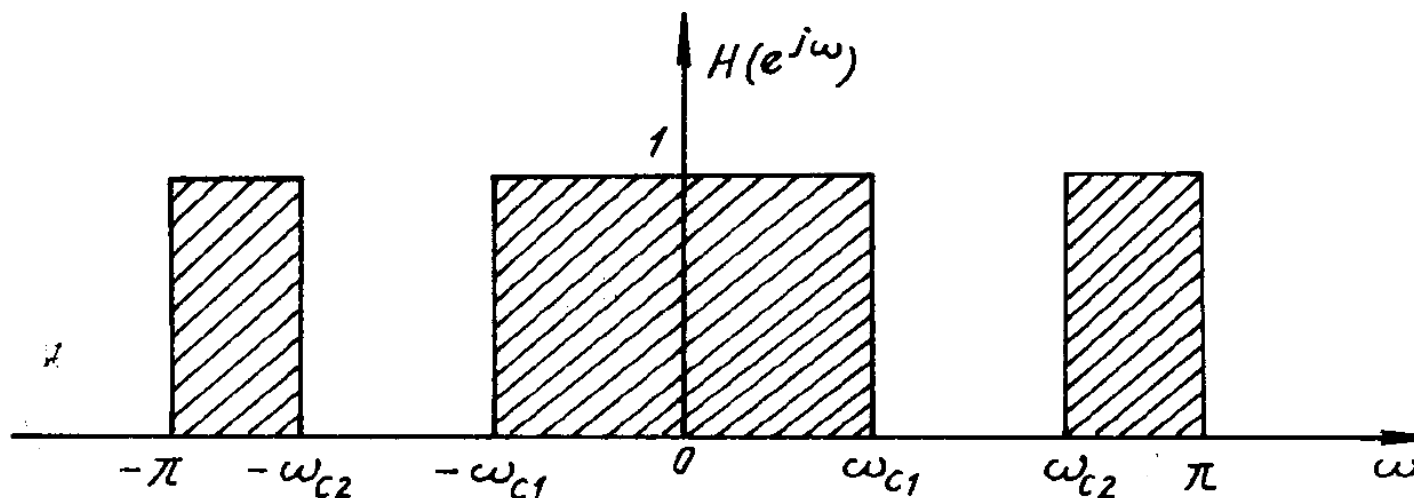
- $n = 0$

$$h(0) = \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{-\omega_{C2}}^{-\omega_{C1}} + \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{\omega_{C1}}^{\omega_{C2}} = \frac{1}{2\pi} (-\omega_{C1} + \omega_{C2} + \omega_{C2} - \omega_{C1}) = \frac{\omega_{C2} - \omega_{C1}}{\pi}$$

4. Bộ lọc chắn dải lý tưởng

- Ideal Band Stop Filter

$$|H(e^{j\omega})| = \begin{cases} 1 & \begin{cases} -\pi \leq \omega \leq -\omega_{C2} \\ -\omega_{C1} \leq \omega \leq \omega_{C1} \\ \omega_{C2} \leq \omega \leq \pi \end{cases} \\ 0 & \omega \text{ còn lại} \end{cases}$$



Đáp ứng xung của bộ lọc chắn dải lý tưởng

- $n \neq 0$

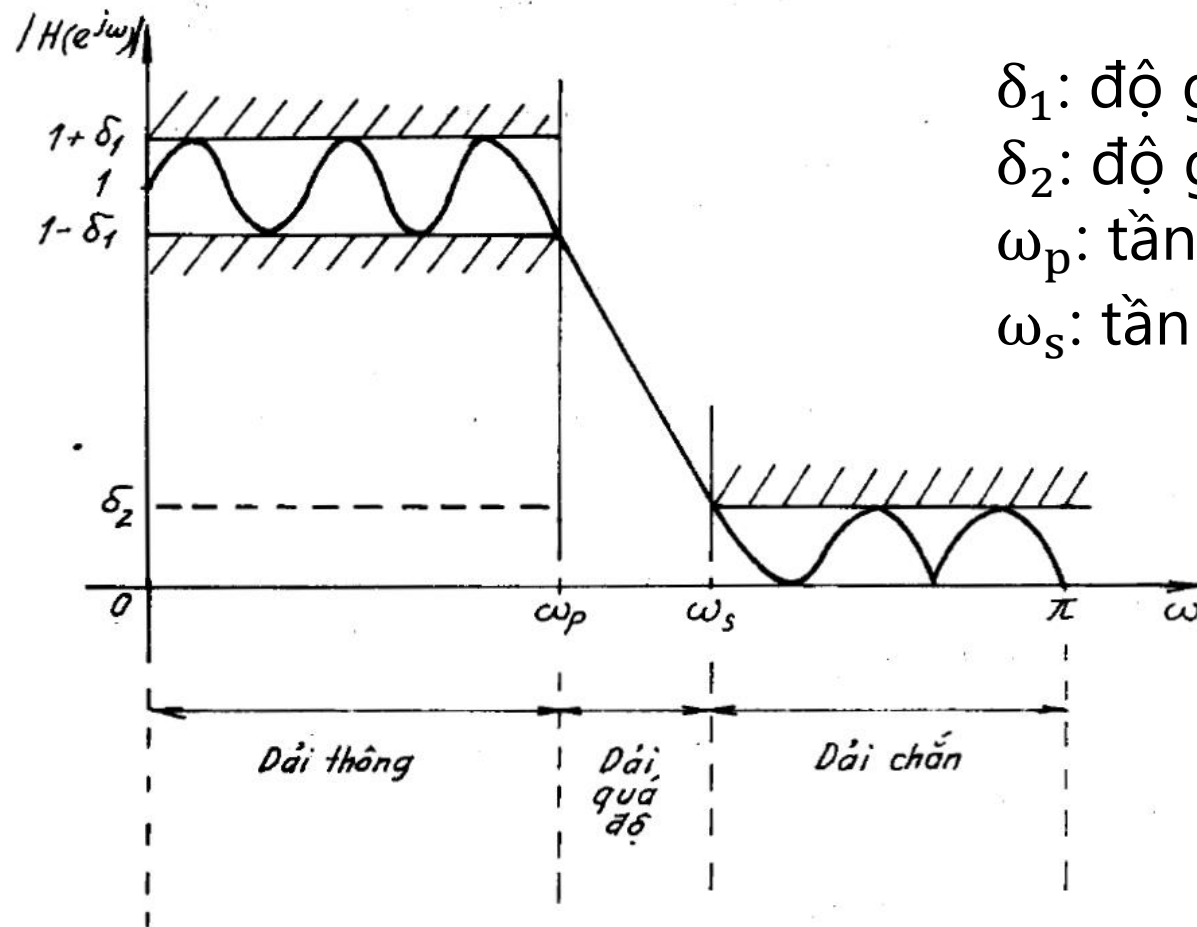
$$\begin{aligned}h(n) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{-\omega_{C2}} e^{j\omega n} d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_{C1}}^{\omega_{C1}} e^{j\omega n} d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_{C2}}^{\pi} e^{j\omega n} d\omega \\&= \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{-\pi}^{-\omega_{C2}} + \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{-\omega_{C1}}^{\omega_{C1}} + \frac{1}{2\pi j n} e^{j\omega n} \Big|_{\omega_{C2}}^{\pi} \\&= \frac{1}{\pi n} [\sin(\omega_{C1} n) - \sin(\omega_{C2} n)]\end{aligned}$$

- $n = 0$

$$h(0) = \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{-\pi}^{-\omega_{C2}} + \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{-\omega_{C1}}^{\omega_{C1}} + \frac{1}{2\pi} \omega \Big|_{\omega_{C2}}^{\pi} = 1 + \frac{\omega_{C1} - \omega_{C2}}{\pi}$$

5. Bộ lọc thực tế

- Các tham số của bộ lọc thực tế:



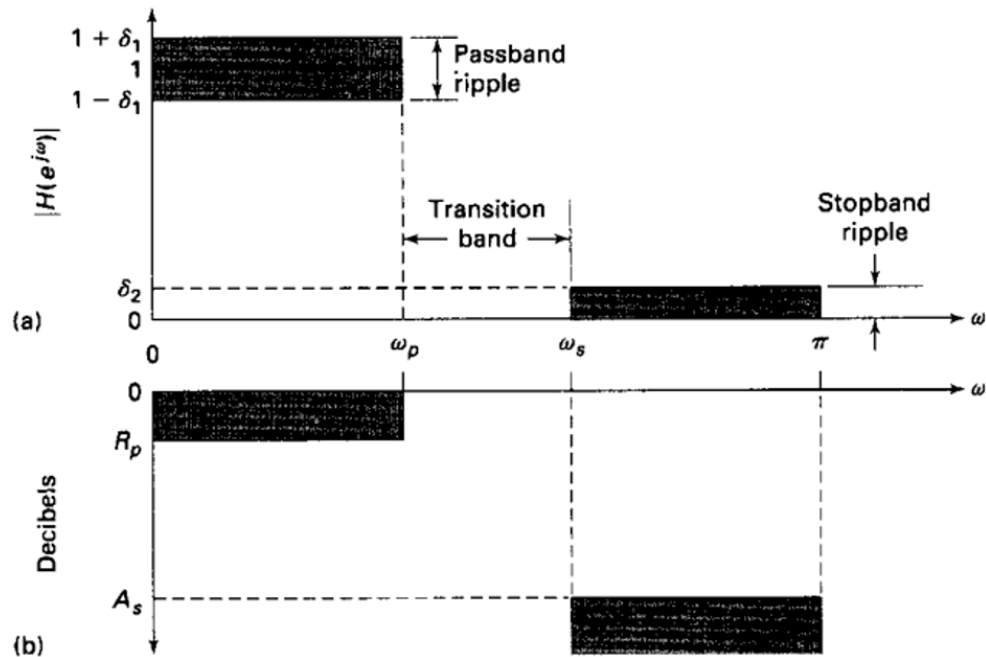
δ_1 : độ gợn sóng ở dải thông

δ_2 : độ gợn sóng ở dải chặn

ω_p : tần số giới hạn (biên tần) dải thông

ω_s : tần số giới hạn (biên tần) dải chặn

Các tham số của bộ lọc thực tế



R_p : gợn sóng trong dải thông tính bằng dB
 A_s : suy giảm trong dải chặn tính bằng dB

$$R_p = -20 \log_{10}(1 - \delta_1) > 0 (\approx 0)$$

$$A_s = -20 \log_{10} \delta_2 > 0 \quad (1)$$

Thang tuyệt đối: $|H(e^{j\omega})|$

Thang tương đối: $\text{dB} = -20 \log_{10} \frac{|H(e^{j\omega})|}{|H(e^{j\omega})|_{\max}} \geq 0$

$[0, \omega_p]$: dải thông, δ_1 dung sai biên độ trong dải thông

$[\omega_s, \pi]$: dải chặn, δ_2 dung sai biên độ trong dải chặn

$[\omega_p, \omega_s]$: dải quá độ

4. Tổng kết

- Bộ lọc số được đặc trưng bởi đáp ứng biên độ.
- Các bộ lọc lý tưởng được đưa ra nghiên cứu các tính chất về mặt lý thuyết. Tuy nhiên các bộ lọc này không thể thực hiện được trong thực tế không thỏa mãn tính nhân quả.
- Bộ lọc thực tế xem xét lại các tiêu chuẩn kỹ thuật và điều chỉnh các tham số để xấp xỉ bộ lọc lý tưởng.

5. Bài tập

□ Hãy xác định và vẽ đáp ứng xung của:

- a. Bộ lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt là $\frac{\pi}{3}$
- b. Bộ lọc thông cao lý tưởng có tần số cắt là $\frac{\pi}{3}$
- c. Bộ lọc thông dải lý tưởng có tần số cắt tương ứng là $\frac{\pi}{3}$ và $\frac{\pi}{2}$
- d. Bộ lọc chặn dải lý tưởng có tần số cắt tương ứng là $\frac{\pi}{3}$ và $\frac{\pi}{2}$

Bài học tiếp theo. BÀI 19

BỘ LỌC SỐ FIR PHA TUYẾN TÍNH

Tài liệu tham khảo:

- **Nguyễn Quốc Trung (2008), Xử lý tín hiệu và lọc số, Tập 1, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Chương 1 Tín hiệu và hệ thống rời rạc.**
- **J.G. Proakis, D.G. Manolakis (2007), Digital Signal Processing, Principles, Algorithms, and Applications, 4th Ed, Prentice Hall, Chapter 1 Introduction.**



TRƯỜNG CÔNG NGHỆ THÔNG
TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Chúc các bạn học tốt!