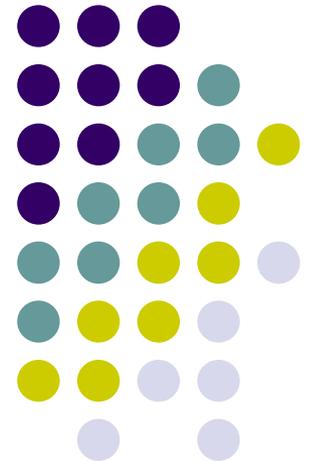


Xử lý số tín hiệu

Chương 7: Thiết kế bộ lọc số





Khái niệm

- **Thiết kế bộ lọc:** là xây dựng hàm truyền thỏa đáp ứng tần số cho trước.
 - *Thiết kế bộ lọc FIR:* đầu ra là vector đáp ứng xung $h = [h_0, h_1, h_2, \dots, h_N]$
 - *Thiết kế bộ lọc IIR:* đầu ra là các vector hệ số tử số và mẫu số của hàm truyền $b = [b_0, b_1, \dots, b_N]$ và $a = [1, a_1, a_2, \dots, a_N]$



Bộ lọc FIR

- Ưu điểm:
 - Đặc tuyến pha tuyến tính
 - Độ ổn định (do không có các cực)
- Khuyết điểm:
 - Để có đáp ứng tần số tốt → cần chiều dài bộ lọc N lớn → Gia tăng chi phí tính toán



Bộ lọc IIR

- Ưu điểm:
 - Chi phí tính toán thấp
 - Thực hiện hiệu quả theo kiểu cascade các mạch bậc 2 (Second-order sections)
- Khuyết điểm:
 - Có sự bất ổn định do quá trình lượng tử hóa các hệ số có thể đẩy các cực ra ngoài vòng tròn đơn vị
 - Không thể đạt pha tuyến tính trên toàn khoảng Nyquist

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

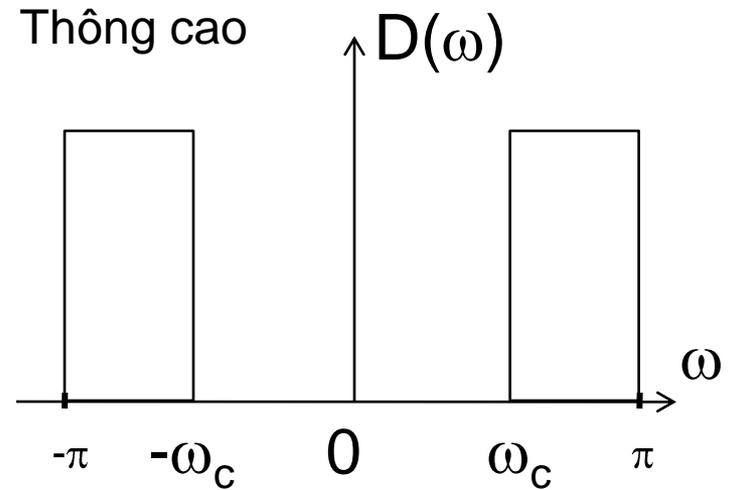
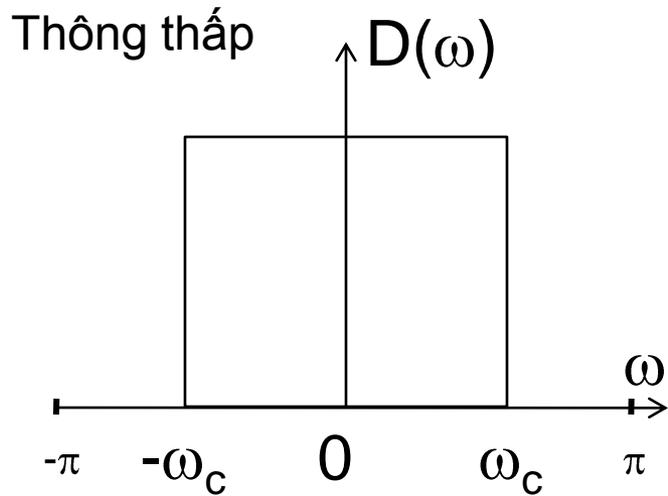
- Đây là một trong những pp đơn giản nhất để thiết kế các mạch lọc số FIR
- Thích hợp cho thiết kế các mạch lọc có đáp ứng tần số đơn giản như mạch lọc thông thấp, thông cao, thông dải, chặn dải lý tưởng, mạch lọc sai phân và mạch lọc Hilbert.

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

a. Các mạch lọc lý tưởng

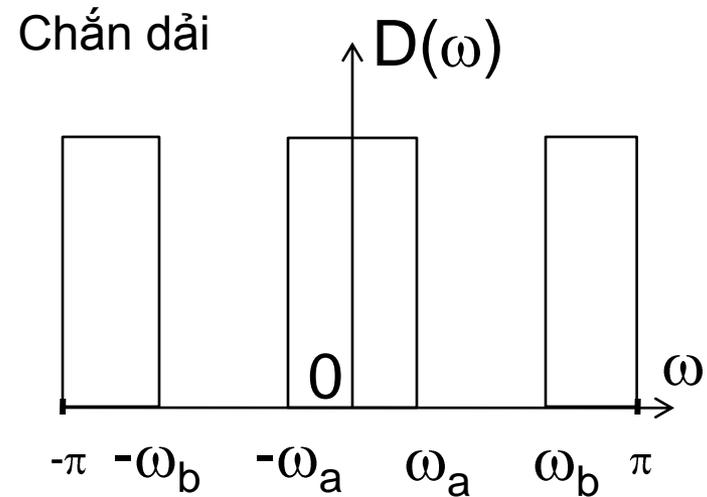
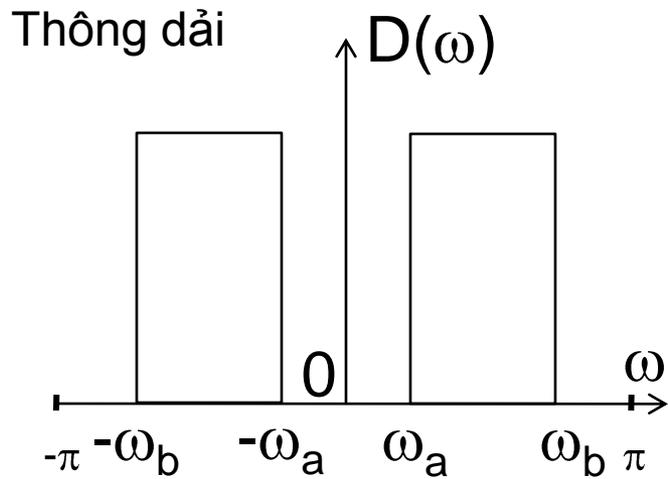


A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR

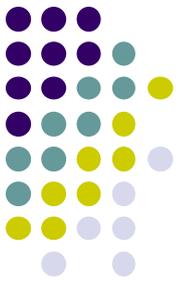


1. Phương pháp cửa sổ

a. Các mạch lọc lý tưởng



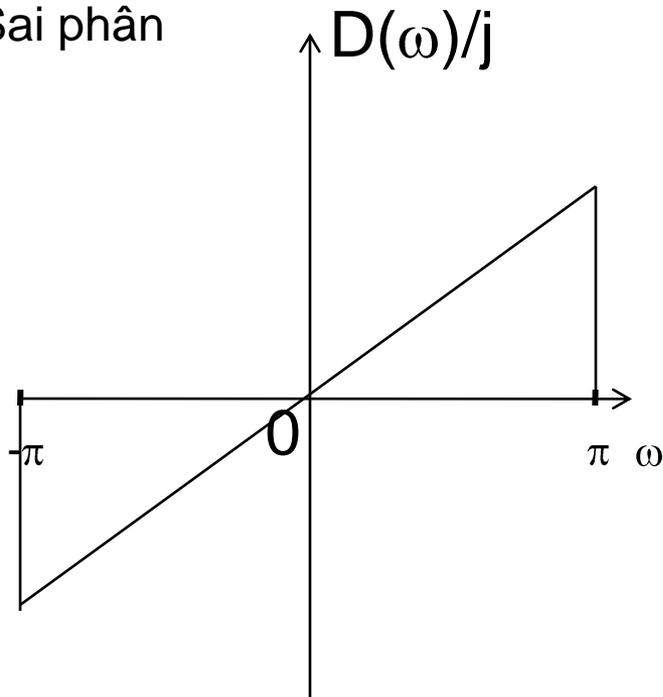
A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



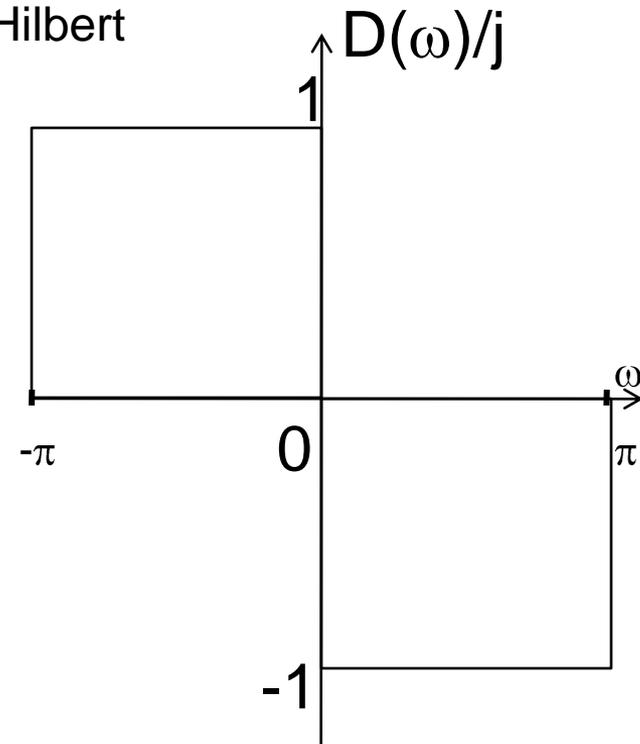
1. Phương pháp cửa sổ

a. Các mạch lọc lý tưởng

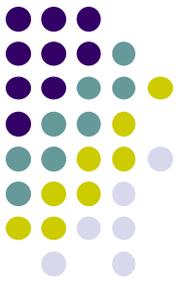
Sai phân



Hilbert



A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

- Cho đáp ứng tần số lý tưởng $D(\omega)$ (tuần hoàn với chu kỳ 2π) \rightarrow Đáp ứng xung tương ứng $d(k)$ là: (DTFT ngược)

$$d(k) = \int_{-\pi}^{\pi} D(\omega) e^{-j\omega k} \frac{d\omega}{2\pi}$$

- Tổng quát, $d(k)$ là hai biên và dài vô hạn
- Với nhiều mạch lọc lý tưởng, tích phân trên có dạng đóng.

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

Ví dụ

- Mạch lọc thông thấp lý tưởng:

$$D(\omega) = \begin{cases} 1, & -\omega_c \leq \omega \leq \omega_c \\ 0, & -\pi \leq \omega \leq -\omega_c, \omega_c \leq \omega \leq \pi \end{cases}$$

- Biến đổi DTFT ngược:

$$d(k) = \int_{-\pi}^{\pi} D(\omega) e^{j\omega k} \frac{d\omega}{2\pi} = \int_{-\omega_c}^{\omega_c} 1 \cdot e^{j\omega k} \frac{d\omega}{2\pi} = \frac{\sin(\omega_c k)}{\pi k}$$

- $d(0)$ được tính riêng

$$d(0) = \frac{\omega_c}{\pi} = \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\sin(\omega_c k)}{\pi k}$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

Tương tự, đáp ứng xung của:

- Mạch lọc thông cao lý tưởng:

$$d(k) = \delta(k) \overset{\curvearrowright}{\underset{\curvearrowleft}{\neq}} \frac{\sin(\omega_c k)}{\pi k}$$

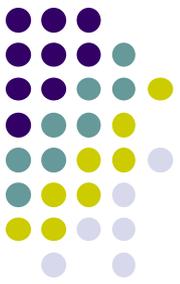
- Mạch lọc thông dải lý tưởng:

$$d(k) = \frac{\sin(\omega_b k) - \sin(\omega_a k)}{\pi k}$$

- Mạch lọc chặn dải lý tưởng:

$$d(k) = \delta(k) \overset{\curvearrowright}{\underset{\curvearrowleft}{\neq}} \frac{\sin(\omega_b k) - \sin(\omega_a k)}{\pi k}$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

Nhận xét:

- Cùng giá trị tần số cắt, bộ lọc thông thấp và thông cao là bù của nhau

$$d_{LP}(k) + d_{HP}(k) = \delta(k) \Rightarrow D_{LP} + D_{HP} = 1$$

- Cùng giá trị tần số cắt, bộ lọc thông dải và chắn dải là bù của nhau

$$d_{BP}(k) + d_{BS}(k) = \delta(k) \Rightarrow D_{BP} + D_{BS} = 1$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



1. Phương pháp cửa sổ

Tương tự, đáp ứng xung của:

- Mạch lọc sai phân lý tưởng:

$$d(k) = \frac{\cos(\pi k)}{k} - \frac{\sin(\pi k)}{\pi k^2}$$

- Mạch lọc Hilbert lý tưởng:

$$d(k) = \frac{1 - \cos(\pi k)}{\pi k}$$

- Nhận xét:

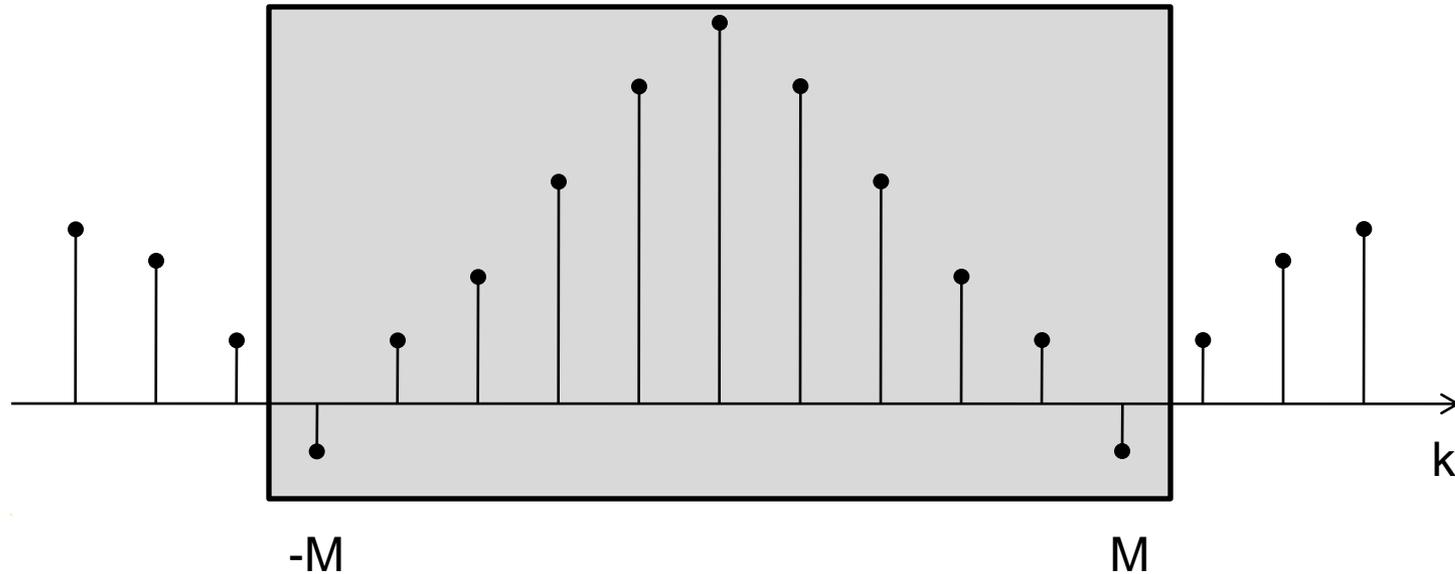
- $d(k)$ thực, chẵn (đối xứng) theo $k \leftrightarrow D(\omega)$ thực và chẵn theo ω
- $d(k)$ thực, lẻ (phản đối xứng) theo $k \leftrightarrow D(\omega)$ ảo và lẻ theo ω

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



2. Cửa sổ chữ nhật

- Tín hiệu $d(k)$ hai chiều, vô hạn được xén bớt thành chiều dài hữu hạn bằng cửa sổ chữ nhật



- Ví dụ: chỉ giữ $d(k)$ với $-M \leq k \leq M \rightarrow$ Tổng số các hệ số (chiều dài đáp ứng xung) là $N = 2M + 1$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



2. Cửa sổ chữ nhật

- Vector hệ số đáp ứng xung xấp xỉ:

$$d = [d_{-M}, \dots, d_{-2}, d_{-1}, d_0, d_1, d_2, \dots, d_M]$$

- Để bộ lọc nhân quả \rightarrow Dịch vector sang phải M mẫu

$$h = [h_0, \dots, h_{M-2}, h_{M-1}, h_M, h_{M+1}, h_{M+2}, \dots, h_{2M}]$$

$$= [d_{-M}, \dots, d_{-2}, d_{-1}, d_0, d_1, d_2, \dots, d_M]$$

- Vector h và d giống nhau, chỉ khác nhau về gốc thời gian.

$$h(n) = d(n - M), n = 0, 1, \dots, N - 1$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR



2. Cửa sổ chữ nhật

- Các bước của phương pháp cửa sổ chữ nhật:
 1. Chọn chiều dài $N = 2M + 1 \rightarrow M = (N - 1)/2$
 2. Tính toán các hệ số $d(k)$
 3. Làm trễ vector $d(k)$ nhận được M mẫu để có $h(k)$
 4. Khi đã có $h(k)$, có thể thực hiện bộ lọc từ phương trình lọc FIR

$$y_n = \sum_{m=0}^{N-1} h_m x_{n-m}$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR

2. Cửa sổ chữ nhật



- Trong miền tần số, đáp ứng tần số xấp xỉ

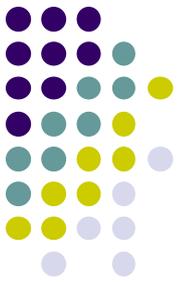
$$\hat{D} \stackrel{\omega}{\rightleftharpoons} \sum_{k=-M}^M d(k) e^{-j\omega k} \quad \hat{D} \stackrel{z}{\rightleftharpoons} \sum_{k=-M}^M d(k) z^{-k}$$

$$H \stackrel{\omega}{\rightleftharpoons} e^{-j\omega M} \hat{D} \stackrel{\omega}{\rightleftharpoons} e^{-j\omega M} \sum_{k=-M}^M d(k) e^{-j\omega k}$$

$$H \stackrel{z}{\rightleftharpoons} z^{-M} \hat{D} \stackrel{z}{\rightleftharpoons} z^{-M} \sum_{k=-M}^M d(k) z^{-k}$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR

2. Cửa sổ chữ nhật



- Nếu $d(k)$ đối xứng $\rightarrow \hat{D}^*$ là số thực, nên có thể viết

$$\hat{D}^* = \text{sign}(\hat{D}) |\hat{D}|$$

A. THIẾT KẾ BỘ LỌC SỐ FIR

2. Cửa sổ chữ nhật

