

# **Chương 5: TỔNG HỢP BỘ LỌC SỐ FIR**

**BÀI 1 KHÁI NIỆM TỔNG HỢP BỘ LỌC SỐ FIR**

**BÀI 2 ĐÁP ỨNG BIÊN ĐỘ CÁC LỌC SỐ LÝ TƯỞNG**

**BÀI 3 CÁC TÍNH CHẤT TỔNG QUÁT LỌC SỐ FIR**

**BÀI 4 CÁC ĐẶC TRƯNG BỘ LỌC FIR PHA TUYẾN TÍNH**

**BÀI 5 TỔNG HỢP LỌC SỐ FIR = P<sup>2</sup> CỬA SỔ**

**BÀI 6 SO SÁNH CÁC HÀM CỬA SỔ**

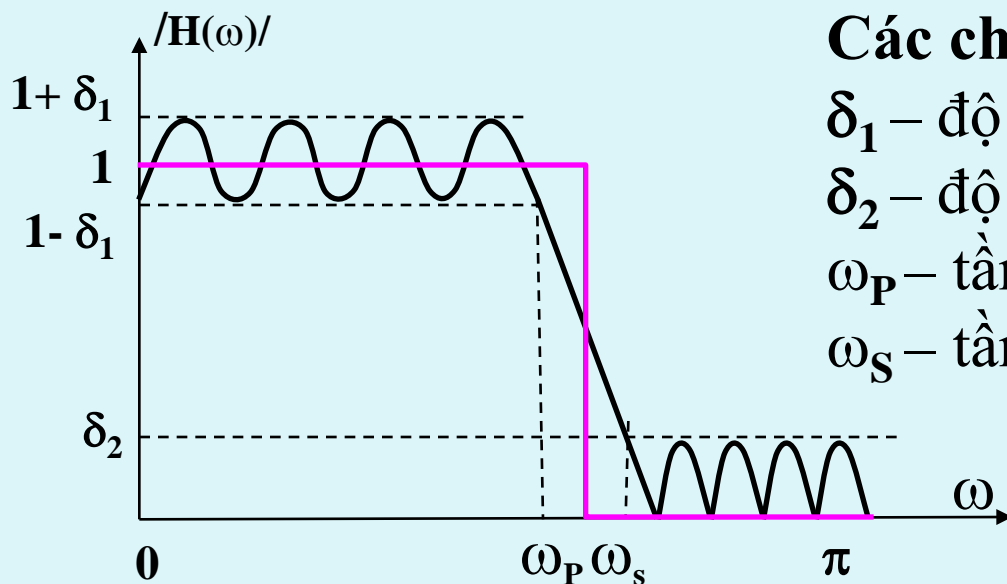
# BÀI 1. KHÁI NIỆM TỔNG HỢP BỘ LỌC SỐ FIR

- *Lọc số là hệ thống làm biến dạng sự phân bố tần số các thành phần của tín hiệu theo các chỉ tiêu cho trước.*

## **Các giai đoạn của quá trình tổng hợp lọc số:**

- Xác định  $h(n)$  sao cho thỏa mãn các chỉ tiêu kỹ thuật đề ra
  - Lượng tử hóa các thông số bộ lọc
  - Kiểm tra, chạy thử trên máy tính
- 
- Trong chương trình **Tổng hợp Lọc số** chỉ xét đến giai đoạn đầu, tức là xác định  $h(n)$  sao cho thỏa mãn các chỉ tiêu kỹ thuật đề ra, thông thường các chỉ tiêu cho trước là các thông số của **Đáp ứng tần số**.

# ĐÁP ỨNG BIÊN ĐỘ CỦA BỘ LỌC SỐ THÔNG THẤP



**Các chỉ tiêu kỹ thuật:**

$\delta_1$  – độ gợn sóng dải thông

$\delta_2$  – độ gợn sóng dải chặn

$\omega_P$  – tần số giới hạn dải thông

$\omega_s$  – tần số giới hạn dải chặn

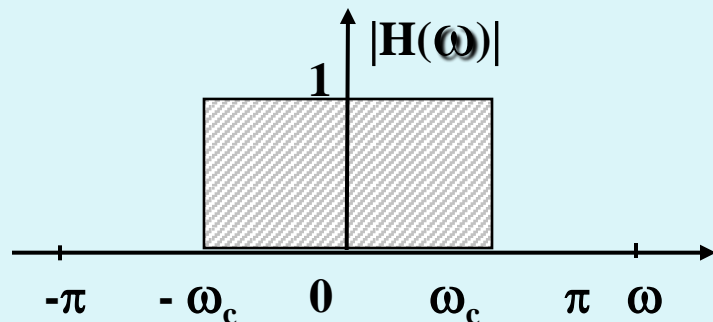
## ➤ Các phương pháp tổng hợp lọc số FIR:

*Phương pháp cửa sổ*

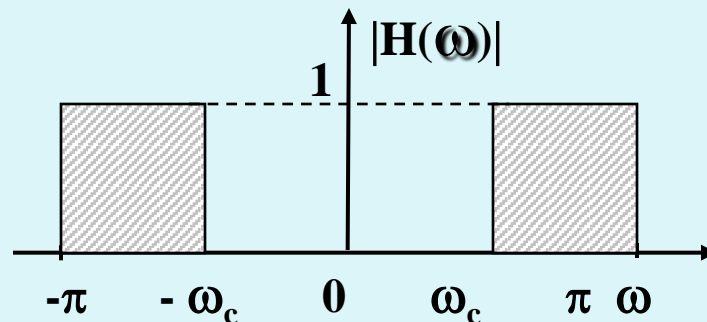
*Phương pháp lấy mẫu tần số*

*Phương pháp lặp (tối ưu)*

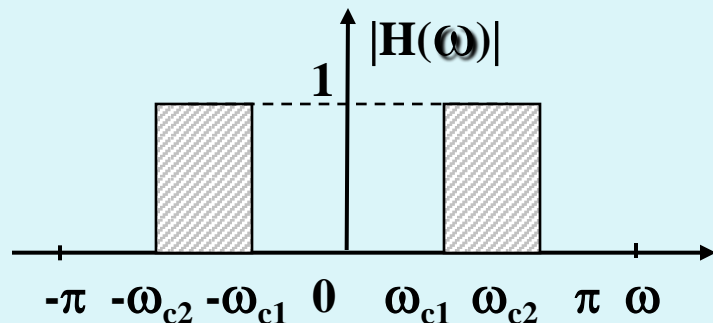
# BÀI 2. ĐÁP ỨNG BIÊN ĐỘ CÁC LỌC SỐ LÝ TƯỞNG



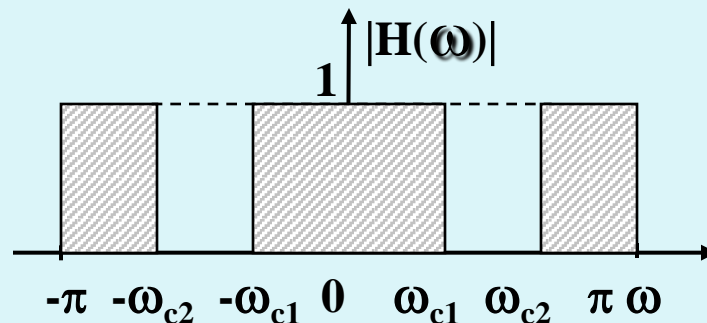
a) Lọc thông thấp lý tưởng



b) Lọc thông cao lý tưởng



c) Lọc thông dải lý tưởng



d) Lọc chắn dải lý tưởng

Ký hiệu:



: Dải thông

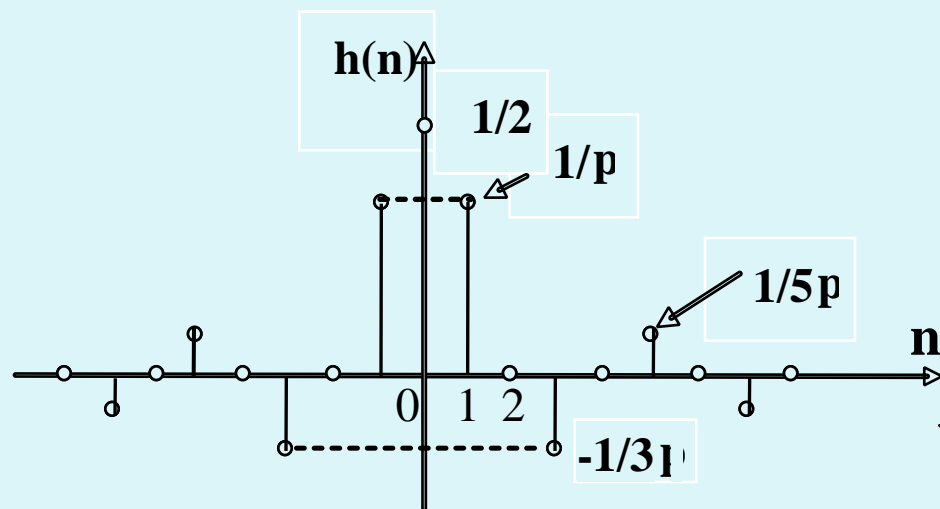


: Dải chắn

**Ví dụ 1:** Tìm  $h(n)$  của lọc thông thấp lý tưởng, biết:

$$H(\omega) = \begin{cases} 1 : -\omega_c \leq \omega \leq \omega_c = \frac{\pi}{2} \\ 0 : & \omega \text{ khác} \end{cases}$$

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{j\omega n} d\omega = \frac{1}{2} \frac{\sin \omega_c n}{\omega_c n}$$



**Đáp ứng xung của lọc  
số lý tưởng:**

- Có độ dài vô hạn
- Không nhân quả

$$h(n) \xleftrightarrow{F} H(\Omega) = |H(\Omega)| e^{j \arg H(\Omega)}$$

# BÀI 3. CÁC TÍNH CHẤT TỔNG QUÁT LỌC SỐ FIR

- a. Bộ lọc số FIR luôn ổn định do độ dài  $L[h(n)] = N$ :

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=0}^{N-1} |h(n)| < \infty$$

- b. Nếu  $h(n)$  không nhân quả, dịch  $h(n)$  sang phải  $n_0$  đơn vị thành  $h(n - n_0)$ , nhưng đáp ứng biên độ vẫn không đổi:

$$h(n) \xleftrightarrow{F} H(\omega) = |H(\omega)| e^{j \arg H(\omega)}$$

$$h(n - n_0) \xleftrightarrow{F} e^{-jn_0\omega} H(\omega) = |H(\omega)| e^{j[\arg H(\omega) - n_0\omega]}$$

# BÀI 4. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA BỘ LỌC SỐ FIR CÓ PHA TUYẾN TÍNH

■ Đáp ứng tần số của bộ lọc:  $H(\omega) = A(\omega)e^{j\theta(\omega)}$

■ Thời gian lan truyền tín hiệu:  $\tau = \frac{-d[\theta(\omega)]}{d\omega} = \alpha$

■ Để thời gian lan truyền  $\tau$  không phụ thuộc vào  $\omega$  thì:  $\theta(\omega) = -\alpha\omega + \beta$

## Trường hợp 1: $\beta = 0, \theta(\omega) = -\alpha\omega$

- Đáp ứng tần số của bộ lọc:

$$\mathbf{H}(\omega) = \mathbf{A}(\omega)\mathbf{e}^{j\theta(\omega)} = \mathbf{A}(\omega)\mathbf{e}^{-j\alpha\omega} = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{h}(n)\mathbf{e}^{-j\omega n}$$

$$\mathbf{A}(\omega)[\cos \alpha\omega - j\sin \alpha\omega] = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{h}(n)[\cos \omega n - j\sin \omega n]$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}(\omega)\cos \alpha\omega = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{h}(n)\cos \omega n \\ \mathbf{A}(\omega)\sin \alpha\omega = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{h}(n)\sin \omega n \end{array} \right.$$



$$\Rightarrow \frac{\sin \alpha \omega}{\cos \alpha \omega} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \sin \omega n}{\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cos \omega n}$$

$$\Leftrightarrow \sin \alpha \omega \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cos \omega n = \cos \alpha \omega \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \sin \omega n$$

$$\Leftrightarrow \sum_{n=0}^{N-1} h(n) [\sin \alpha \omega \cos \omega n - \cos \alpha \omega \sin \omega n] = 0$$

$$\Leftrightarrow \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \sin[(\alpha - n)\omega] = 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\begin{cases} \alpha = \frac{N-1}{2} \\ h(n) = h(N-1-n) \end{cases}}$$

• **Ví dụ 1:** Hãy vẽ đồ thị  $h(n)$  của lọc số FIR có pha tuyến tính  $\varphi(\omega) = -\alpha\omega$ :

a)  $N=7$ ;  $h(0)=1$ ;  $h(1)=2$ ;  $h(2)=3$ ;  $h(3)=4$

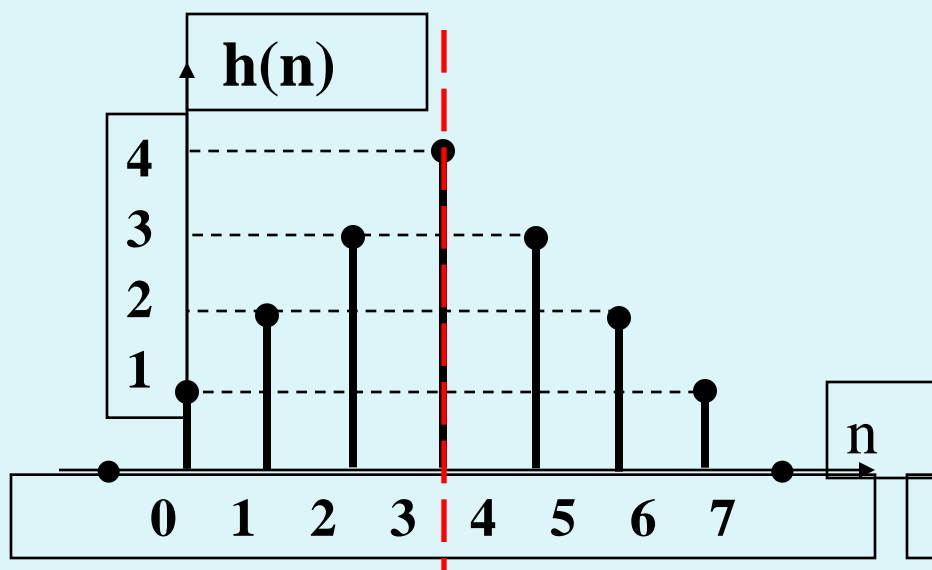
b)  $N=6$ ;  $h(0)=1$ ;  $h(1)=2$ ;  $h(2)=3$

■ Tâm đối xứng:  $\alpha = (N-1)/2 = 3$

■  $h(n) = h(6-n)$

$h(0)=h(6)=1$ ;  $h(1)=h(5)=2$

$h(2)=h(4)=3$

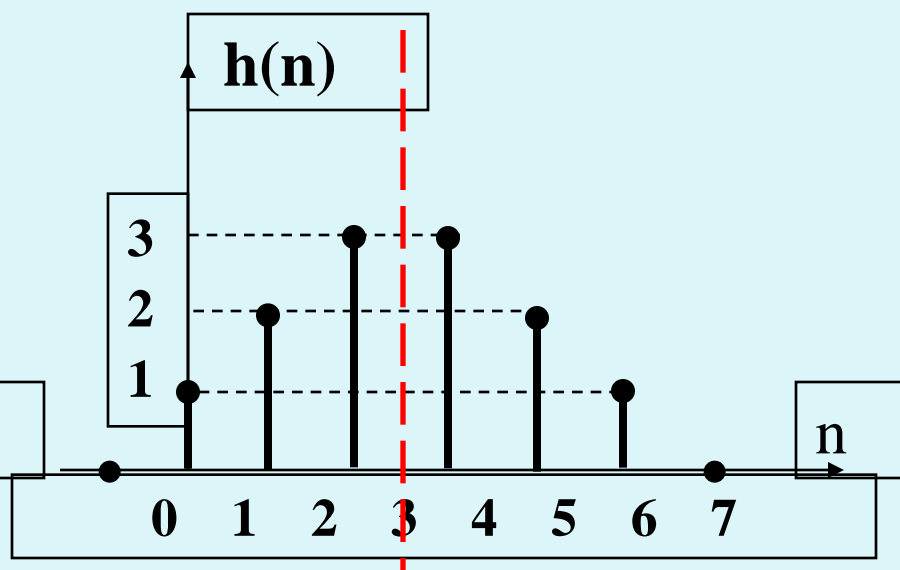


■ Tâm đối xứng:  $\alpha = (N-1)/2 = 2.5$

■  $h(n) = h(5-n)$

$h(0)=h(5)=1$ ;  $h(1)=h(4)=2$

$h(2)=h(3)=3$



## Trường hợp 2: $\beta \neq 0, \theta(\omega) = -\alpha\omega + \beta$

- Tương tự trường hợp 1, ta được:

$$\sum_{n=0}^{N-1} h(n) \sin[\beta + (\alpha - n)\omega] = 0 \quad \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{N-1}{2} \\ h(n) = -h(N-1-n) \end{cases}$$

**Bộ lọc loại 1:  $h(n)$  đối xứng,  $N$  lẻ**

**Bộ lọc loại 2:  $h(n)$  đối xứng,  $N$  chẵn**

**Bộ lọc loại 3:  $h(n)$  phản đối xứng,  $N$  lẻ**

**Bộ lọc loại 4:  $h(n)$  phản đối xứng,  $N$  chẵn**

# BÀI 5. PHƯƠNG PHÁP CỦA SỐ

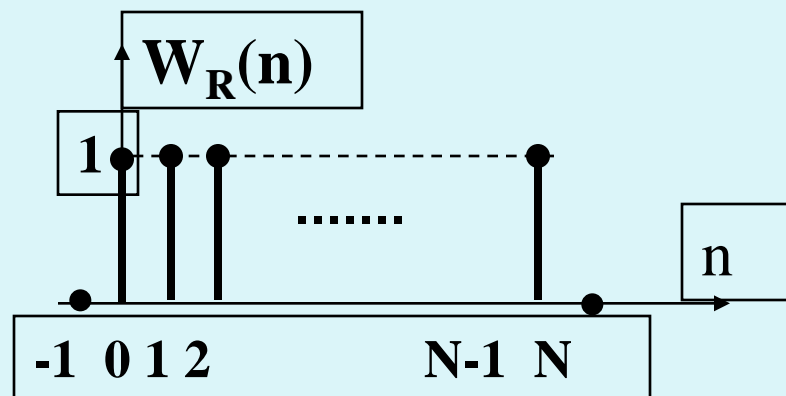
## 1. KHÁI NIỆM

- Đáp ứng xung  $\mathbf{h(n)}$  của lọc số lý tưởng là không nhân quả và có độ dài vô hạn  $\Rightarrow$  không thể thực hiện được về mặt vật lý.
- Để bộ lọc thiết kế được thì đáp ứng xung  $\mathbf{h_d(n)}$  phải là nhân quả và hệ ổn định, bằng cách:
  - Dịch  $\mathbf{h(n)}$  đi  $\mathbf{n_0}$  đơn vị  $\rightarrow \mathbf{h(n-n_0)}$ : nhân quả
  - Giới hạn số mẫu của  $\mathbf{h(n)}$ :  $\mathbf{h_d(n) = h(n) \cdot w(n)_N}$   
 $\rightarrow$  hệ ổn định.

## 2. MỘT SỐ HÀM CỬA SỔ

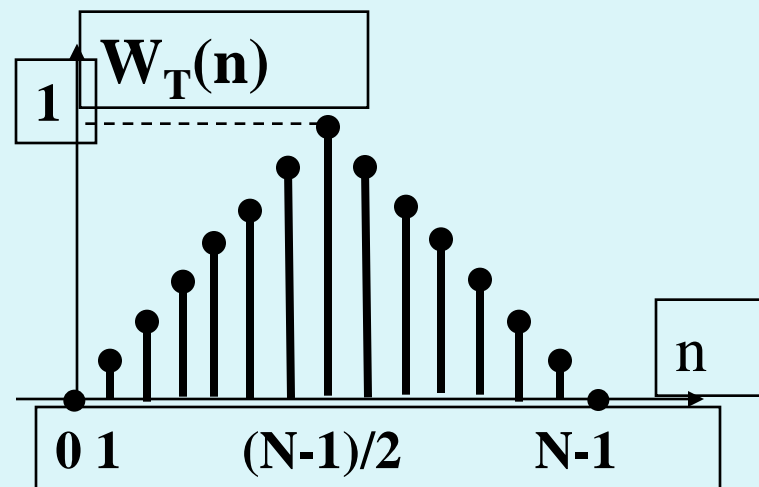
### ❖ Cửa sổ chữ nhật:

$$W_R(n) = \begin{cases} 1: & N-1 \geq n \geq 0 \\ 0: & n \text{ còn lại} \end{cases}$$



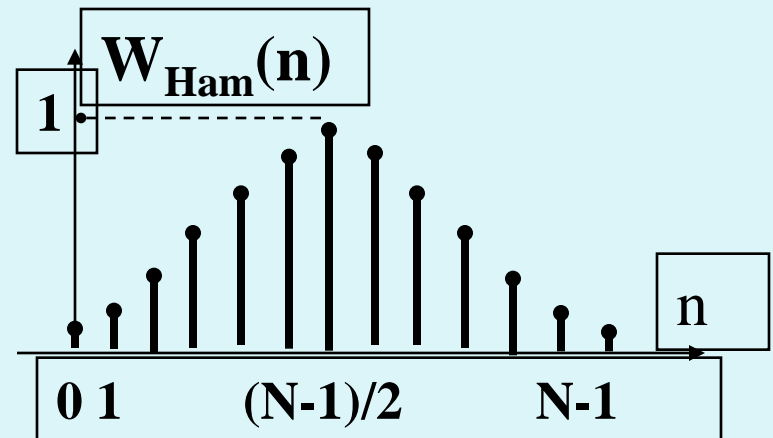
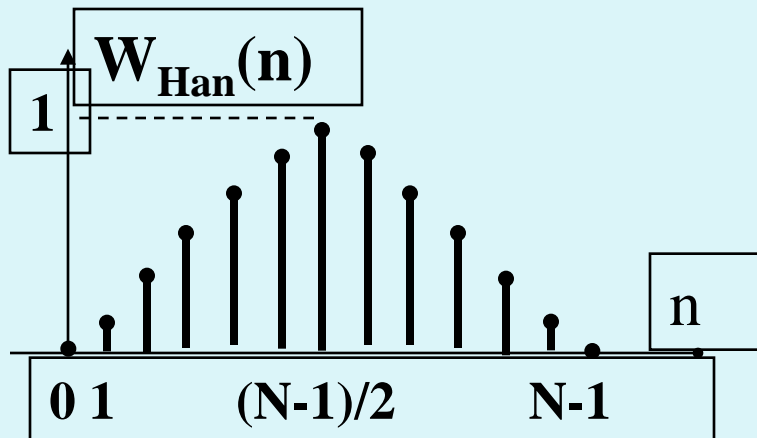
### ❖ Cửa sổ tam giác (Bartlett):

$$W_T(n) = \begin{cases} \frac{2n}{N-1}: & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 2 - \frac{2n}{N-1}: & \frac{N-1}{2} \leq n \leq N-1 \\ 0: & \text{còn lại} \end{cases}$$



## ❖ Cửa sổ Hanning:

$$W_{Han}(n) = \begin{cases} 0,5 - 0,5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) : 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 : n \text{ còn lại} \end{cases}$$

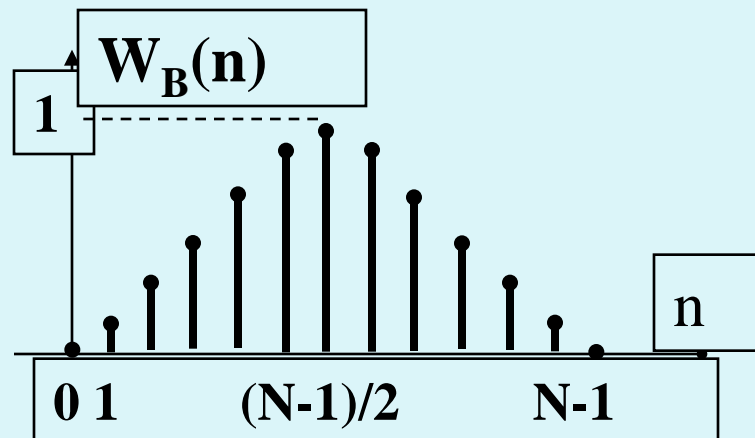


## ❖ Cửa sổ Hamming:

$$W_{Ham}(n) = \begin{cases} 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) : 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 : n \text{ còn lại} \end{cases}$$

## ❖ Cửa sổ Blackman:

$$W_B(n) = \begin{cases} 0,42 - 0,5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right) : 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 : n \text{ còn lại} \end{cases}$$



### 3. CÁC BƯỚC TỔNG HỢP LỌC FIR CÓ PHA TUYẾN TÍNH BẰNG $P^2$ CỦA SỔ

- Chọn 4 chỉ tiêu kỹ thuật:  $\delta_1, \delta_2, \omega_p, \omega_s$
- Chọn hàm cửa sổ  $w(n)_N$  và độ dài  $N$
- Chọn đáp ứng xung  $h(n)$  của lọc số lý tưởng có tâm đối xứng  $\alpha = \frac{N-1}{2}$  và dịch  $h(n)$  đi  $n_0 = \frac{N-1}{2}$  đơn vị để được  $h'(n) = h(n-n_0)$  nhân quả.
- Nhân hàm cửa sổ  $w(n)_N$  với  $h'(n)$ :  $h_d(n) = h(n-n_0) \cdot w(n)_N$
- Kiểm tra lại các chỉ tiêu kỹ thuật có thỏa mãn không, nếu không thì tăng  $N$ .



**Ví dụ 1:** Hãy tổng hợp bộ lọc thông thấp FIR có pha tuyến tính  $\varphi(\omega) = -\alpha\omega = -\omega(N-1)/2$  với các chỉ tiêu kỹ thuật:

$\delta_1 = \delta_{10}$  ;  $\delta_2 = \delta_{20}$  ;  $\omega_p = \omega_{p0}$  ;  $\omega_s = \omega_{s0}$  ;  $\omega_c = (\omega_{p0} + \omega_{s0})/2 = \pi/2$  và vẽ sơ đồ bộ lọc.

- Chọn 4 chỉ tiêu kỹ thuật:  $\delta_1 = \delta_{10}$  ;  $\delta_2 = \delta_{20}$  ;  $\omega_p = \omega_{p0}$  ;  $\omega_s = \omega_{s0}$
- Chọn hàm cửa sổ  $w(n)_N$  với độ dài  $N=9$ :

$$W_R(n) = \begin{cases} 1 : 8 \geq n \geq 0 \\ 0 : n \text{ còn lại} \end{cases}$$

- Chọn bộ lọc thông thấp lý tưởng có tần số cắt  $\omega_c = \pi/2$  và đáp ứng xung  $h(n)$  có tâm đối xứng tại  $\alpha = (N-1)/2 = 4$ .

- Theo ví dụ trước,  $h(n)$  của lọc thông thấp lý tưởng có tâm đối xứng  $n=0$  và

$$h(n) = \frac{1}{2} \frac{\sin \pi n / 2}{\pi n / 2}$$

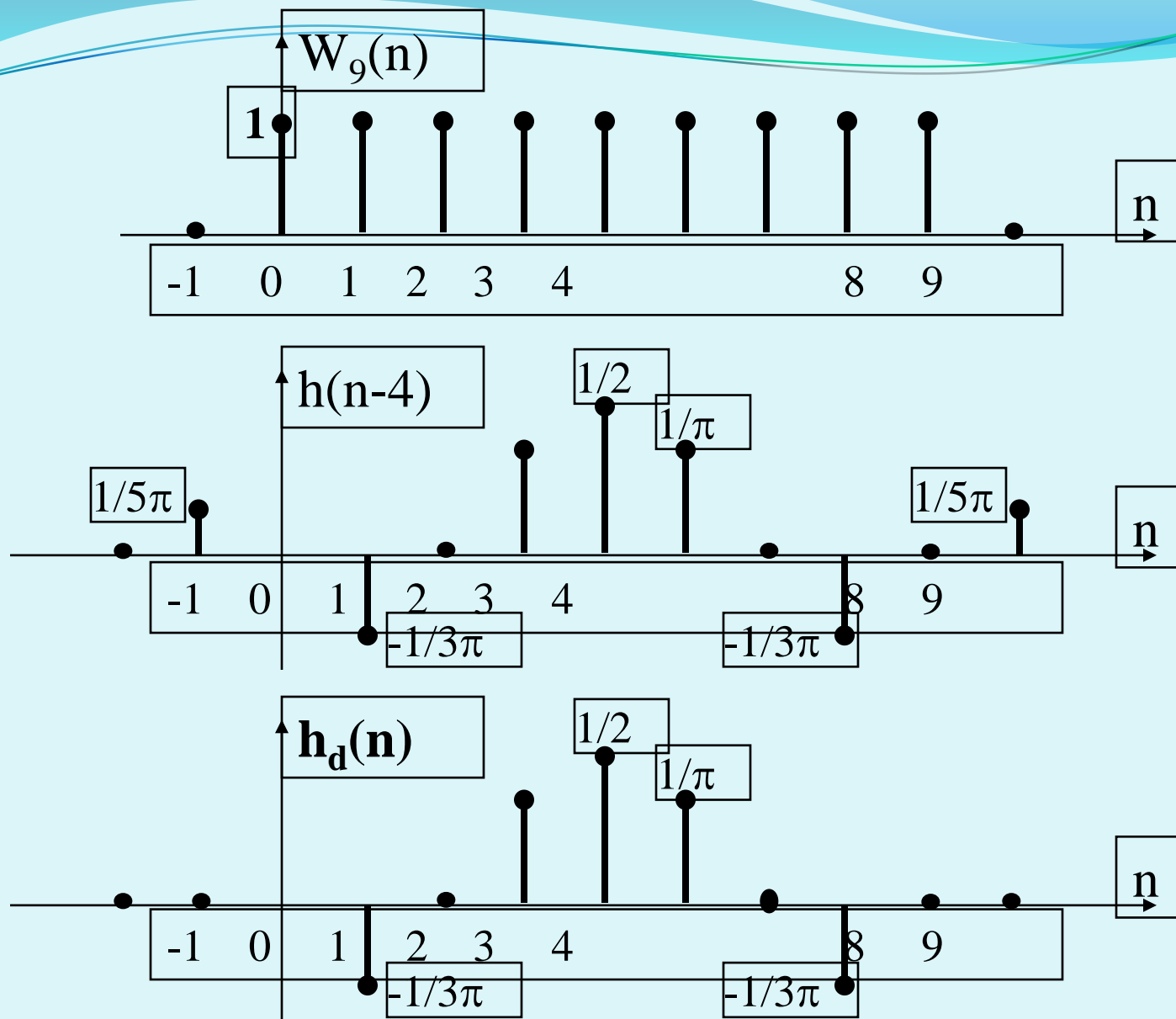
- Do pha tuyến tính  $\varphi(\omega) = -\alpha\omega = -\omega(N-1)/2$  nên  $h(n)$  sẽ có tâm đối xứng tại  $\alpha = (N-1)/2 = 4$ , bằng cách dịch  $h(n)$  sang phải  $n_0 = 4$

đơn vị:

$$h'(n) = h(n-4) = \frac{1}{2} \frac{\sin \pi(n-4)/2}{\pi(n-4)/2}$$

- Nhân cửa sổ chữ nhật  $W_9(n)$  với  $h(n-4)$  ta được:

$$h_d(n) = h(n-4) W_9(n)$$



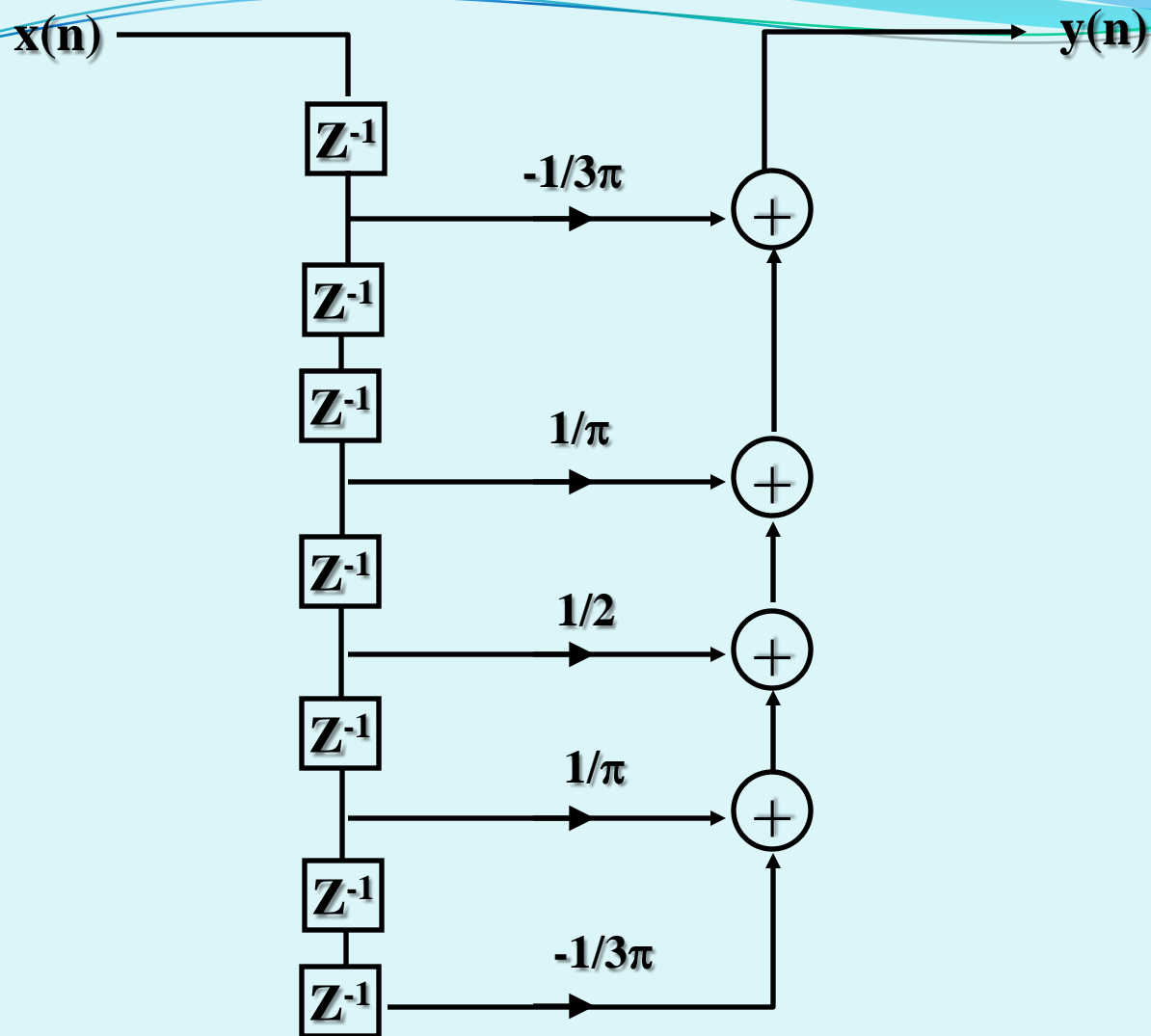
- Thử lại xem  $H_d(\omega)$  có thỏa mãn các chỉ tiêu kỹ thuật không?

$$H_d(\Omega) = H'(\omega) * W_R(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H'(\omega') W_R(\omega - \omega') d\omega'$$

- Nếu không, ta cần tăng N và làm lại các bước từ đầu.
- Giả sử với  $N=9$ , các chỉ tiêu kỹ thuật đã thỏa mãn, ta có:

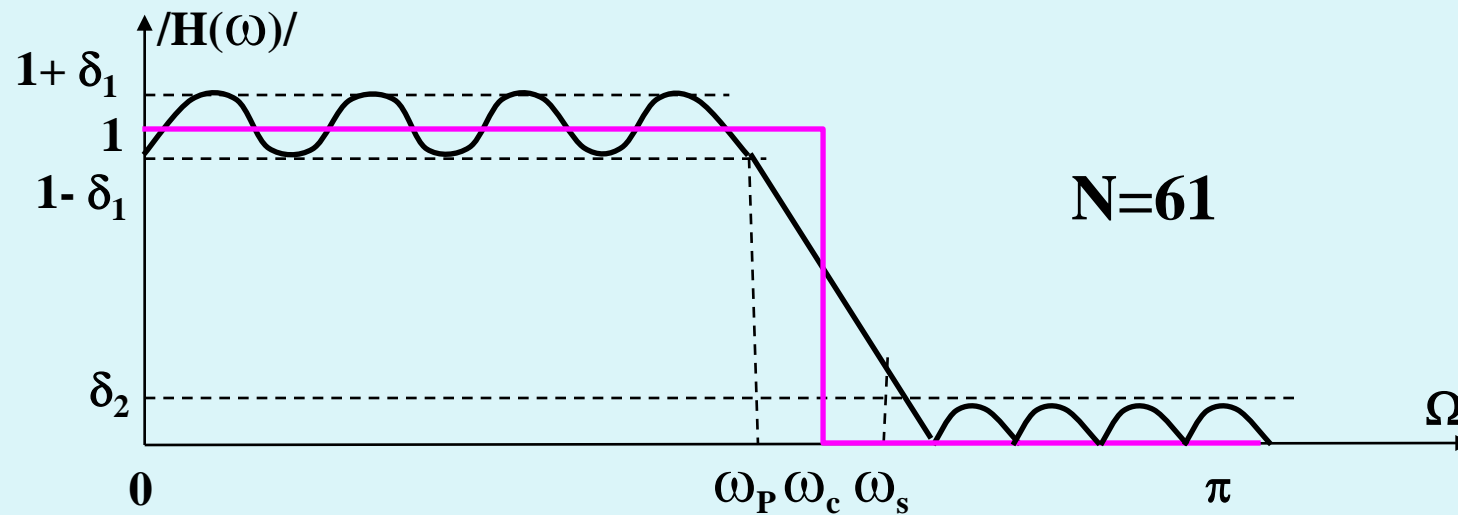
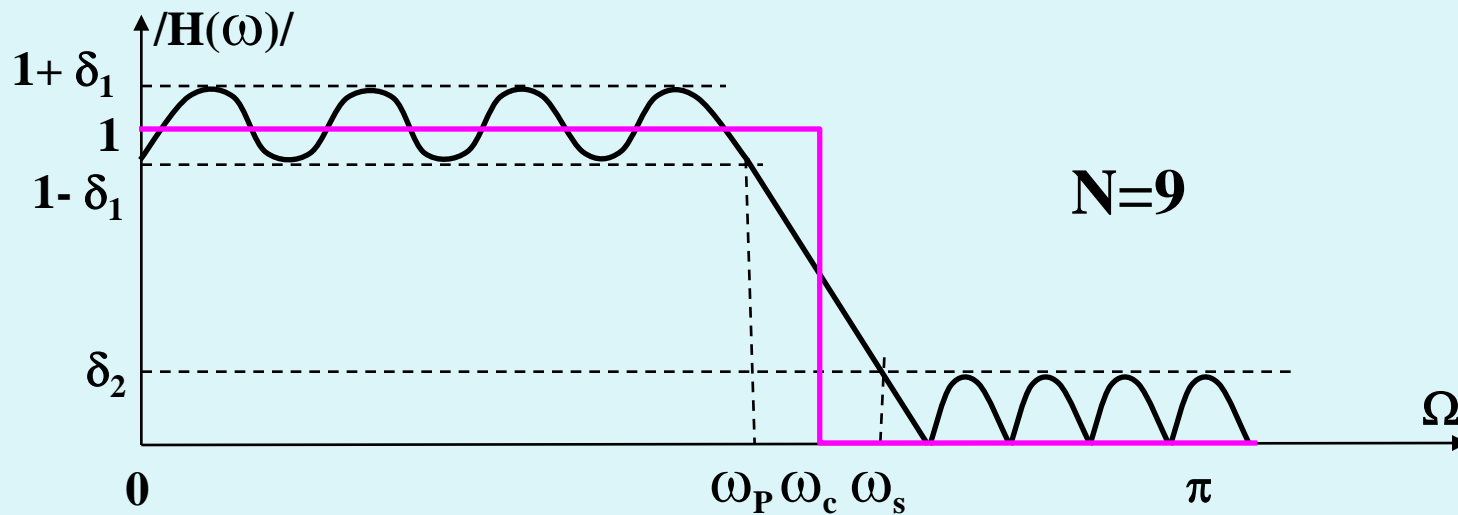
$$h_d(n) = \frac{-1}{3\pi} \delta(n-1) + \frac{1}{\pi} \delta(n-3) + \frac{1}{2} \delta(n-4) + \frac{1}{\pi} \delta(n-5) + \frac{-1}{3\pi} \delta(n-7)$$

$$y(n) = \frac{-1}{3\pi} x(n-1) + \frac{1}{\pi} x(n-3) + \frac{1}{2} x(n-4) + \frac{1}{\pi} x(n-5) + \frac{-1}{3\pi} x(n-7)$$



$$y(n) = \frac{-1}{3\pi} x(n-1) + \frac{1}{\pi} x(n-3) + \frac{1}{2} x(n-4) + \frac{1}{\pi} x(n-5) + \frac{-1}{3\pi} x(n-7)$$

# Đáp ứng biên độ của bộ lọc thông thấp thiết kế



# BÀI 6. SO SÁNH CÁC HÀM CỬA SỔ

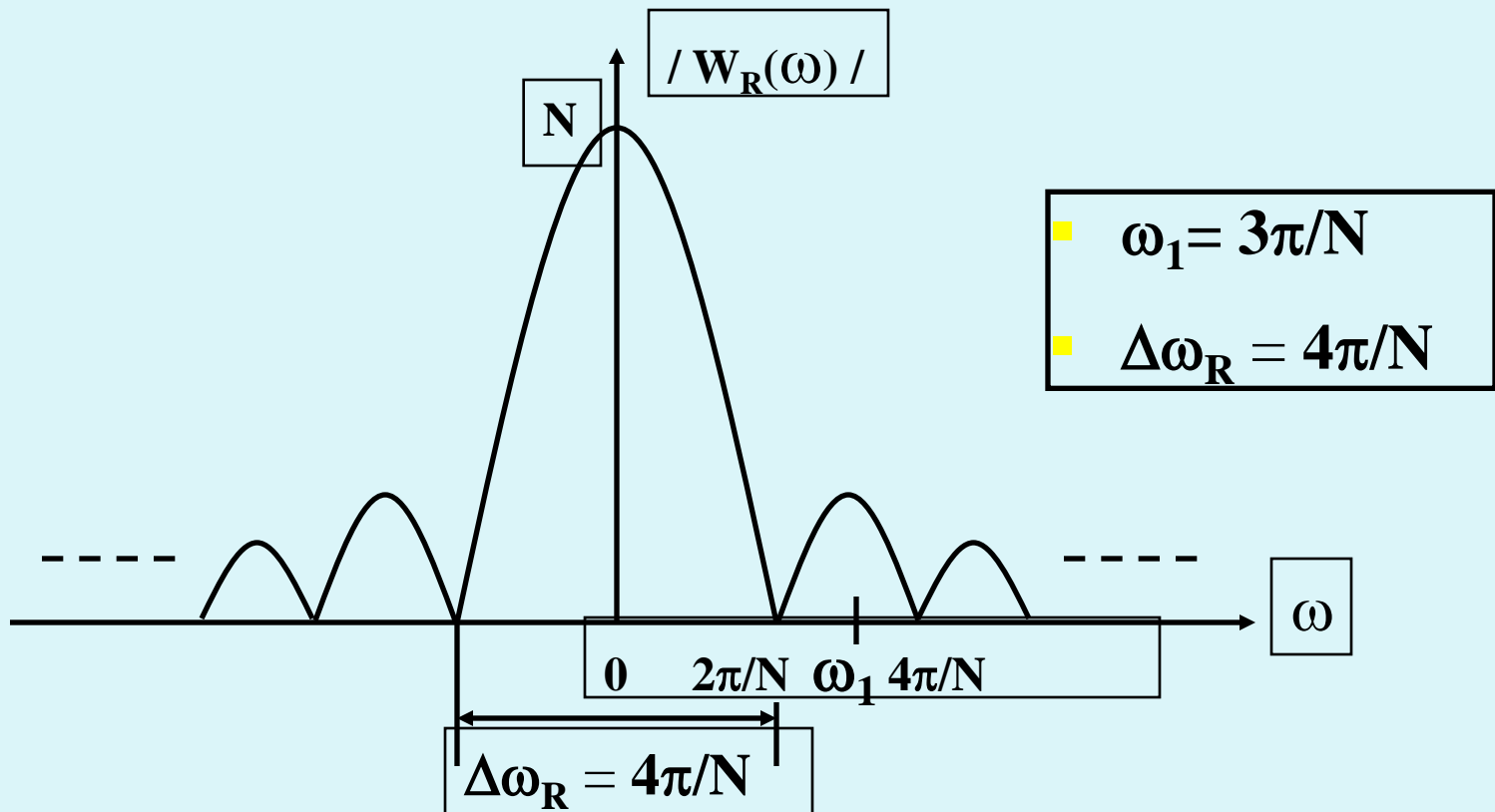
## 1. CÁC THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG CHO PHỔ CÁC HÀM CỬA SỔ

- Bề rộng đỉnh trung tâm của phổ cửa sổ  $\Delta\omega$ : tỷ lệ với bề rộng dải quá độ
- Tỷ số biên độ đỉnh thứ cấp đầu tiên và đỉnh trung tâm: tỷ lệ với độ gợn sóng dải thông và dải chắn.

$$\lambda = 20\log_{10}\left|\frac{W(\omega_1)}{W(0)}\right|, \text{dB}$$

- ✓ Xét với cửa sổ chữ nhật: 
$$W_R(n) = \begin{cases} 1 : N-1 \geq n \geq 0 \\ 0 : n \text{ còn lại} \end{cases}$$

$$w_R(n) \xleftrightarrow{F} W_R(\omega) = \frac{\sin \frac{\omega N}{2}}{\sin \frac{\omega}{2}} e^{-j\omega \frac{N-1}{2}}$$

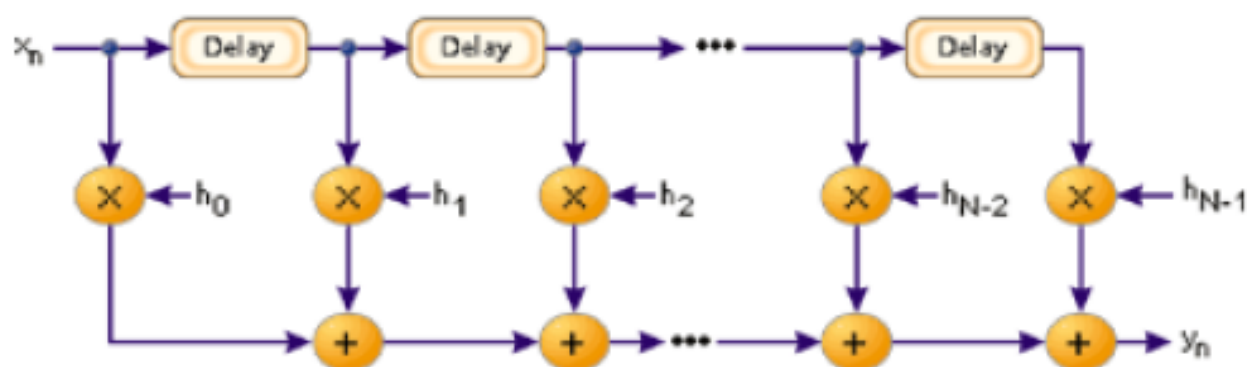




# CÁC THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG CHO PHỔ CÁC HÀM CỬA SỔ

Loại cửa sổ	Bề rộng đỉnh trung tâm $\Delta\omega$	Tỷ số $\lambda$
Chữ nhật	$4\pi/N$	-13
Tam giác	$8\pi/N$	-27
Hanning	$8\pi/N$	-32
Hamming	$8\pi/N$	-43
Blackman	$12\pi/N$	-58

**Bộ lọc FIR** là bộ lọc có đáp ứng xung chiều dài hữu hạn, tức là đáp ứng xung chỉ khác không trong một khoảng có chiều dài hữu hạn  $N$  (từ 0 đến  $N-1$ ). Bộ lọc FIR với bậc của bộ lọc là  $N$  được biểu diễn như hình 3:



*Hình 3:* Cấu trúc của bộ lọc FIR truyền thống

Trong đó:

$x[n]$ : là tín hiệu lối vào của mạch

$y[n]$ : là tín hiệu lối ra của mạch

$h[n]$ : là đáp ứng xung của mạch

Lỗi ra  $y[n]$  và lỗi vào  $x[n]$  liên hệ với nhau bởi công thức:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k]x[n-k]$$

Để tính được các giá trị  $y[k]$  từ các mẫu lỗi vào  $x[k]$  thì các mẫu lần lượt qua các bộ trễ, bộ nhân và bộ cộng. Với bộ lọc FIR có bậc là  $N$  thì phải sau  $N$  phép nhân và  $N-1$  phép cộng thì mới tính được giá trị của lỗi ra.

Như vậy, bộ lọc FIR có cấu trúc như trên có nhược điểm là khả năng đáp ứng chậm, các mẫu lỗi ra không được liên tục mà sau một khoảng thời gian tính toán xong các phép nhân và phép cộng mới được xuất ra.