



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
TRƯỜNG CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

BÀI 22

TỔNG HỢP BỘ LỘC SỐ IIR

Khoa Kỹ thuật máy tính

❑ Nội dung bài học

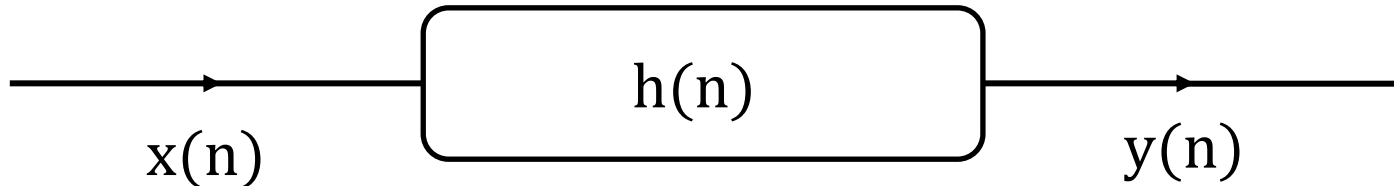
1. Đặc điểm của bộ lọc số IIR
2. Hệ thống Analog
3. Thiết kế bộ lọc IIR từ bộ lọc Analog bằng phương pháp bất biến xung

❏ Mục tiêu bài học

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

- Đặc điểm của bộ lọc số IIR
- Phương pháp thiết kế bộ lọc số IIR từ bộ lọc Analog bằng phương pháp bất biến xung

1. Đặc điểm của bộ lọc số IIR



$$y(n) = h(n) * x(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(m)x(n-m) = x(n) * h(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)h(n-m)$$

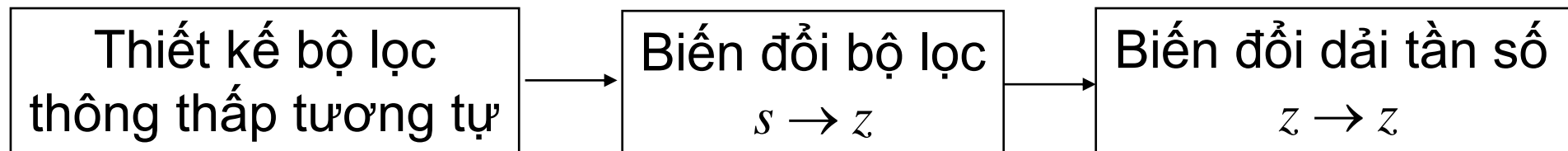
- Phương trình sai phân :
$$\sum_{k=0}^N a_k y(n-k) = \sum_{r=0}^M b_r x(n-r)$$

- Hàm truyền $H(z)$:
$$H(Z) = ZT[h(n)] = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{\sum_{r=0}^M b_r Z^{-r}}{\sum_{k=0}^N a_k Z^{-k}}$$

- Đáp ứng tần số:
$$H(e^{j\omega}) = \frac{Y(e^{j\omega})}{X(e^{j\omega})} = \frac{\sum_{r=0}^M b_r e^{-j\omega r}}{\sum_{k=0}^N a_k e^{-j\omega k}}$$
$$Y(e^{j\omega}) = H(e^{j\omega}) \cdot X(e^{j\omega})$$

Thiết kế bộ lọc số IIR

- Bộ lọc số IIR có đáp ứng xung dài vô hạn nên có thể phù hợp với bộ lọc tương tự trong đó đáp ứng xung thường dài vô hạn. Vì vậy, kỹ thuật cơ bản thiết kế bộ lọc số IIR là biến đổi bộ lọc tương tự thành bộ lọc số.



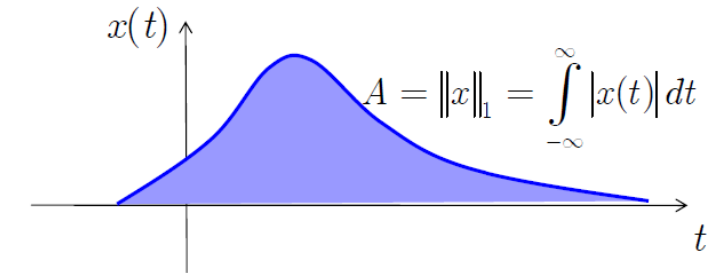
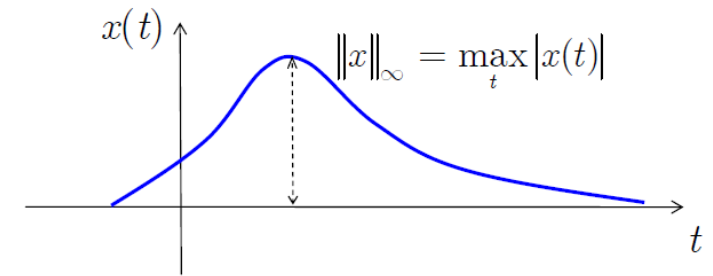
Chuẩn của tín hiệu tương tự (analog)

- Đặc trưng nào của tín hiệu có thể dùng để so sánh, đánh giá một tín hiệu lớn hay nhỏ hơn so với một tín hiệu khác?

- Chuẩn tín hiệu bậc p: $\|x(t)\|_p = \left[\int |x(t)|^p dt \right]^{\frac{1}{p}}$

- Ví dụ

- Chuẩn vô cùng: Biên độ lớn nhất
- Chuẩn bậc 1: Diện tích giữa tín hiệu và trục hoành
- Chuẩn bậc 2: Bình phương của năng lượng tín hiệu



$$E = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \|x(t)\|_2^2$$

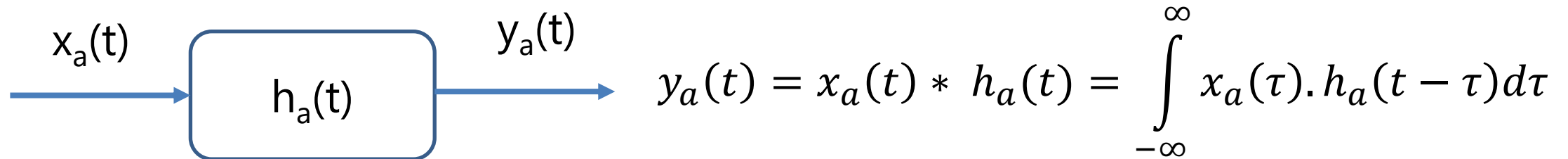
Công suất của tín hiệu

- Công suất: trung bình của năng lượng theo thời gian

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \|x(t)\|^2 dt$$

- Tín hiệu năng lượng: khi và chỉ khi $0 < E < \infty$ (do đó $P = 0$)

2. Hệ thống tương tự (Analog)



- Phương trình vi phân:
$$\sum_{k=0}^N c_k \frac{d^k y_a(t)}{dt^k} = \sum_{r=0}^M d_r \frac{d^r x_a(t)}{dt^r}$$

- Lấy biến đổi Laplace:
$$\sum_{k=0}^N c_k \cdot s^k \cdot Y(s) = \sum_{r=0}^M d_r \cdot s^r \cdot X(s)$$

- Hàm truyền đạt $H(s)$:
$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{r=0}^M d_r \cdot s^r}{\sum_{k=0}^N c_k \cdot s^k} = \frac{\prod_{r=1}^M (s - s_{0r})}{\prod_{k=1}^N (s - s_{pk})}$$

$$H(s) = \int_{-\infty}^{\infty} h_a(t) \cdot e^{-st} dt$$

3. Phương pháp bất biến xung

- Lấy mẫu đáp ứng xung $h(t)$ của bộ lọc tương tự thành $h(nT_s)$, rồi chuẩn hóa T_s để thu được $h(n)$.

- Biểu diễn hàm $H(s)$:
$$H(s) = \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{s - s_{pk}} \Rightarrow h_a(t) = \sum_{k=1}^N A_k e^{s_{pk}t} u(t)$$

- Lấy mẫu $h_a(t)$ với chu kỳ lấy mẫu T_s :
$$h(n.T_s) = \sum_{k=1}^N A_k e^{s_{pk}nT_s} u(n.T_s)$$

- Hàm truyền đạt $H(z)$:
$$H(z) = \sum_{k=1}^N \frac{A_k}{1 - e^{s_{pk}T_s} z^{-1}}$$

4. Các bộ lọc tương tự phổ biến

- Bộ lọc Butterworth:

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^{2n}}}$$

- Bộ lọc Chebyshev loại I:

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2(\omega)}} \quad \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} = 1 - \delta_1$$

- Bộ lọc Chebyshev loại II:

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \left[\frac{T_n(\omega_s)}{T_n\left(\frac{\omega_s}{\omega_p}\right)} \right]^2}}$$

4. Tổng kết

- Phương pháp tổng hợp bộ lọc số IIR được sử dụng phổ biến nhất là chuyển từ thiết kế bộ lọc tương tự sang bộ lọc số
- Phương pháp bất biến xung thực hiện lấy mẫu đáp ứng xung $h_a(t)$ của bộ lọc tương tự để tạo ra đáp ứng xung $h(n)$, từ đó tìm được hàm truyền $H(z)$
- Các bộ lọc tương tự Butterworth và Chebyshev được sử dụng phổ biến.

5. Bài tập

- Bài tập 1

- ☐ Một bộ lọc số IIR nhân quả biểu diễn bằng phương trình sai phân:

$$y(n) + 2.y(n-1) = x(n) - x(n-1)$$

- ☐ Hãy xác định đáp ứng biên độ và đáp ứng pha của bộ lọc này

5. Bài tập

- Bài tập 2

- Cho bộ lọc tương tự có hàm truyền đạt:

$$H(s) = \frac{1}{(s + 1)(s + 2)}$$

- Hãy tìm hàm truyền đạt $H(z)$ và vẽ sơ đồ thực hiện bộ lọc số tương ứng bằng phương pháp bất biến xung

5. Bài tập

- Bài tập 3

- Cho các chỉ tiêu kỹ thuật của bộ lọc số thông thấp như sau:

$$\delta_1 = \delta_2 = 0.1; \omega_s = 0.2\pi \text{ và } \omega_p = 0.1\pi$$

- Hãy tổng hợp bộ lọc số thông thấp từ bộ lọc tương tự thông thấp Butterworth bằng phương pháp bất biến xung



TRƯỜNG CÔNG NGHỆ THÔNG
TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Chúc các bạn học tốt!