



**FPT SCHOOL OF BUSINESS
& TECHNOLOGY**

Digital Signal Processing

Giới thiệu khóa học

Phd. Trần Thanh Trúc

Lý thuyết: Thiết kế bộ lọc IIR

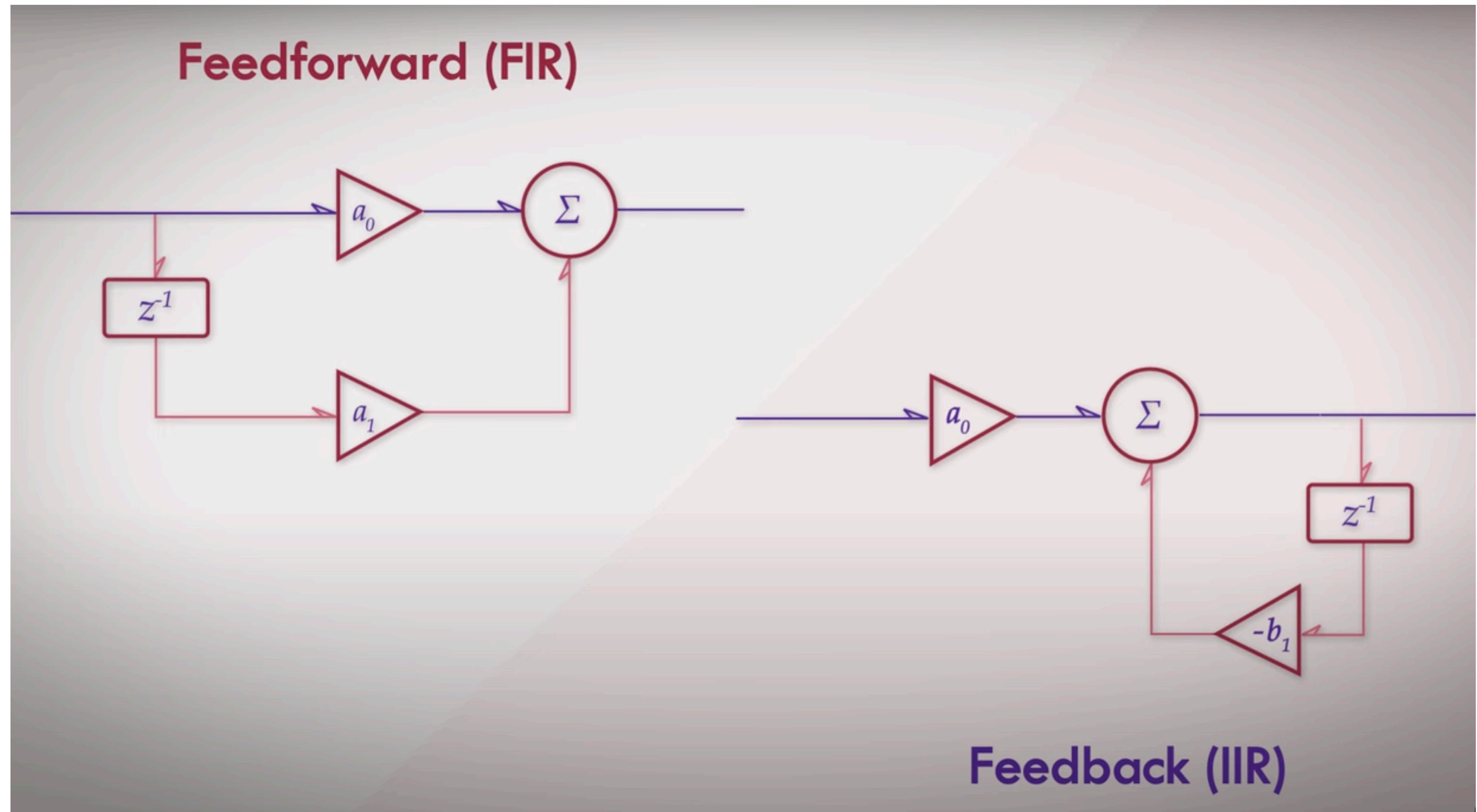
Thiết kế bộ lọc IIR

Ôn lại

Ôn lại:

Câu hỏi 1: Về mặt cấu tạo mạng, điểm khác nhau cơ bản của FIR và IIR là gì?

Câu 2: Tại sao FIR gọi là hữu hạn còn IIR là vô hạn?



Thiết kế bộ lọc IIR

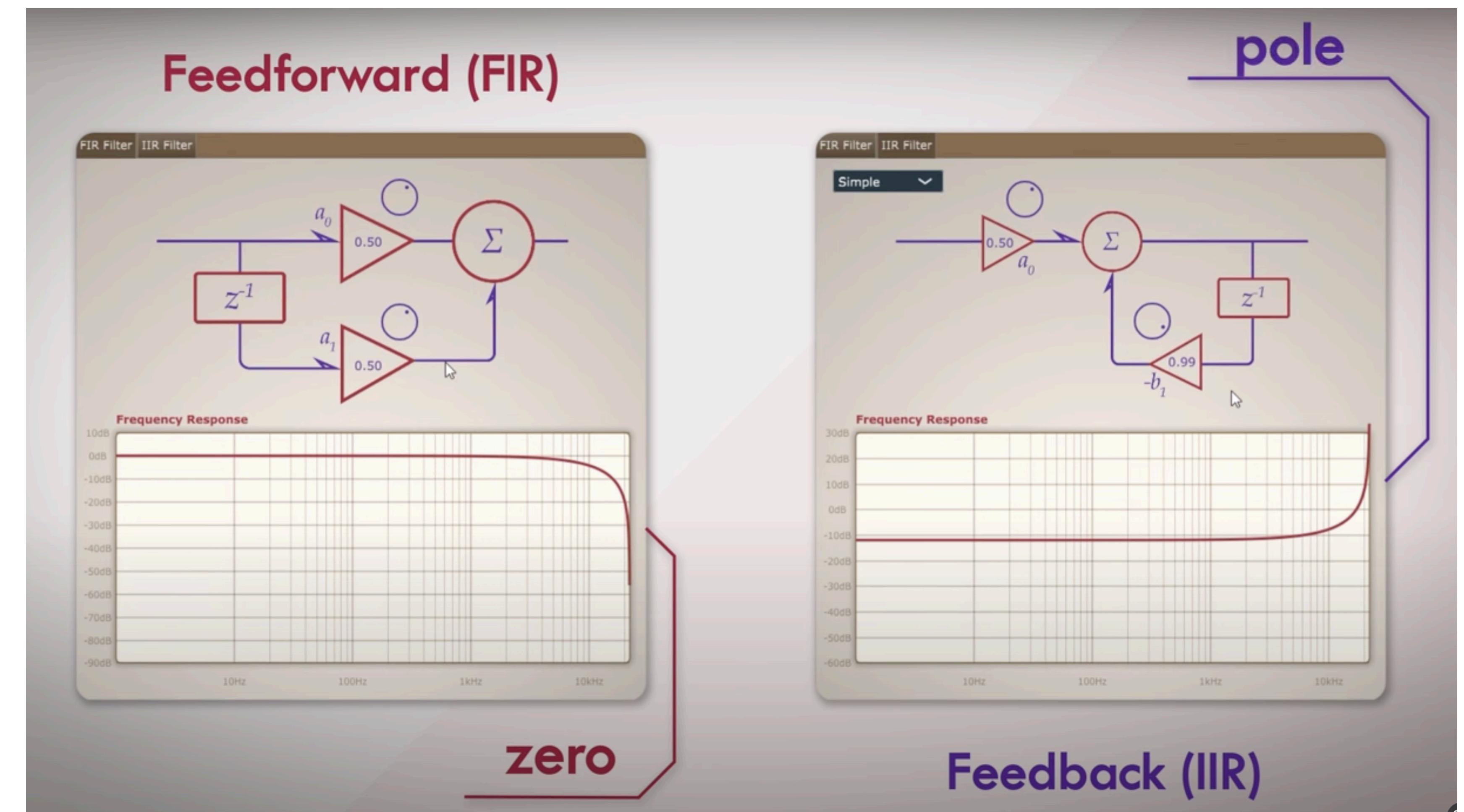
Các đặc tính của bộ lọc IIR vs FIR

Mạng thuần feedback (IIR):

- Có thể tạo điểm Pole
- Không thể tạo điểm Zero

Mạng thuần forward (FIR):

- Không tồn tại điểm Pole
- Không tồn tại điểm Zero



Thiết kế bộ lọc IIR

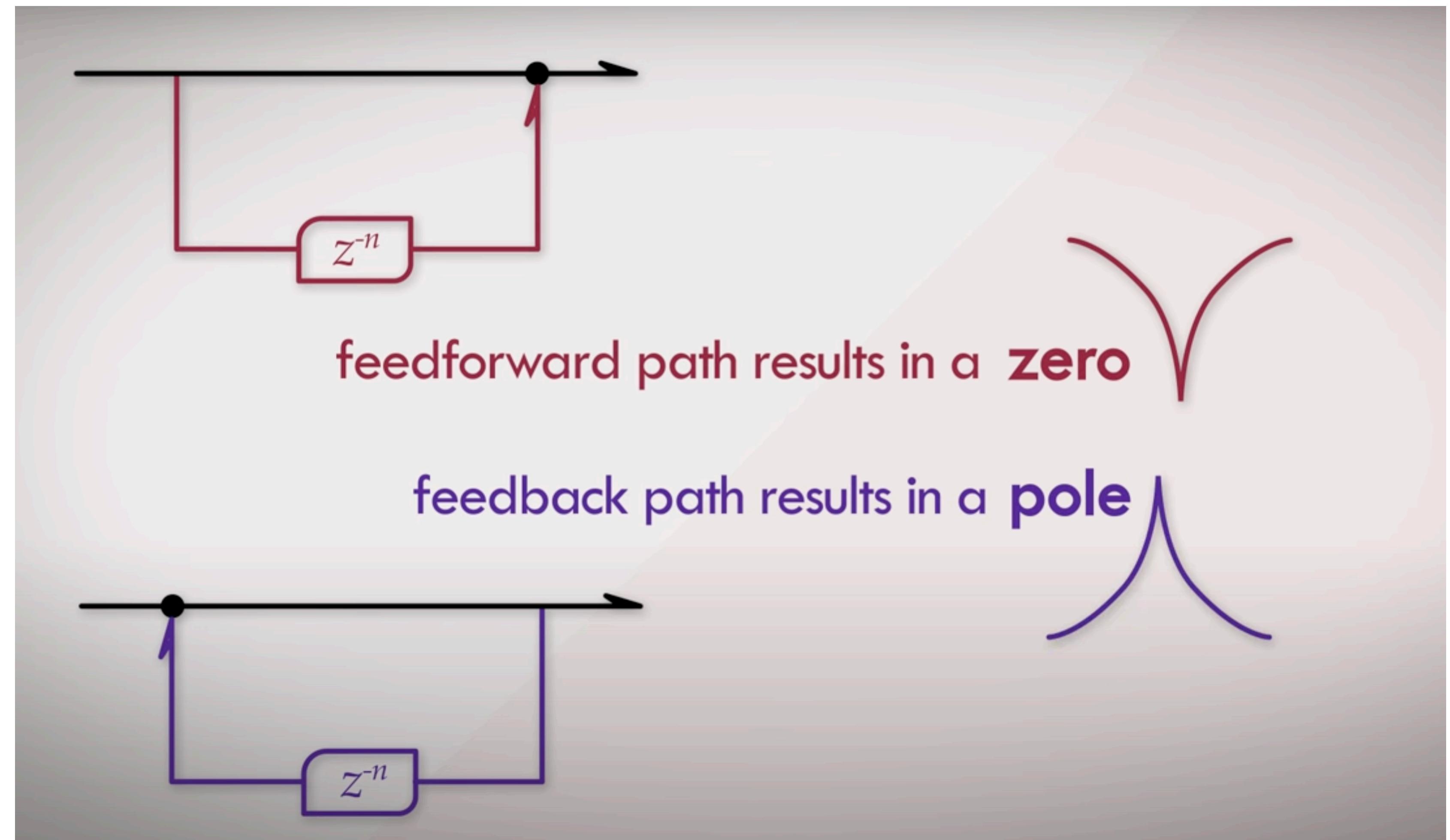
Các đặc tính của bộ lọc IIR vs FIR

Mạng thuần feedback (IIR):

- Có thể tạo điểm Pole
- Không thể tạo điểm Zero

Mạng thuần forward (FIR):

- Không tồn tại điểm Pole
- Không tồn tại điểm Zero



Thiết kế bộ lọc IIR

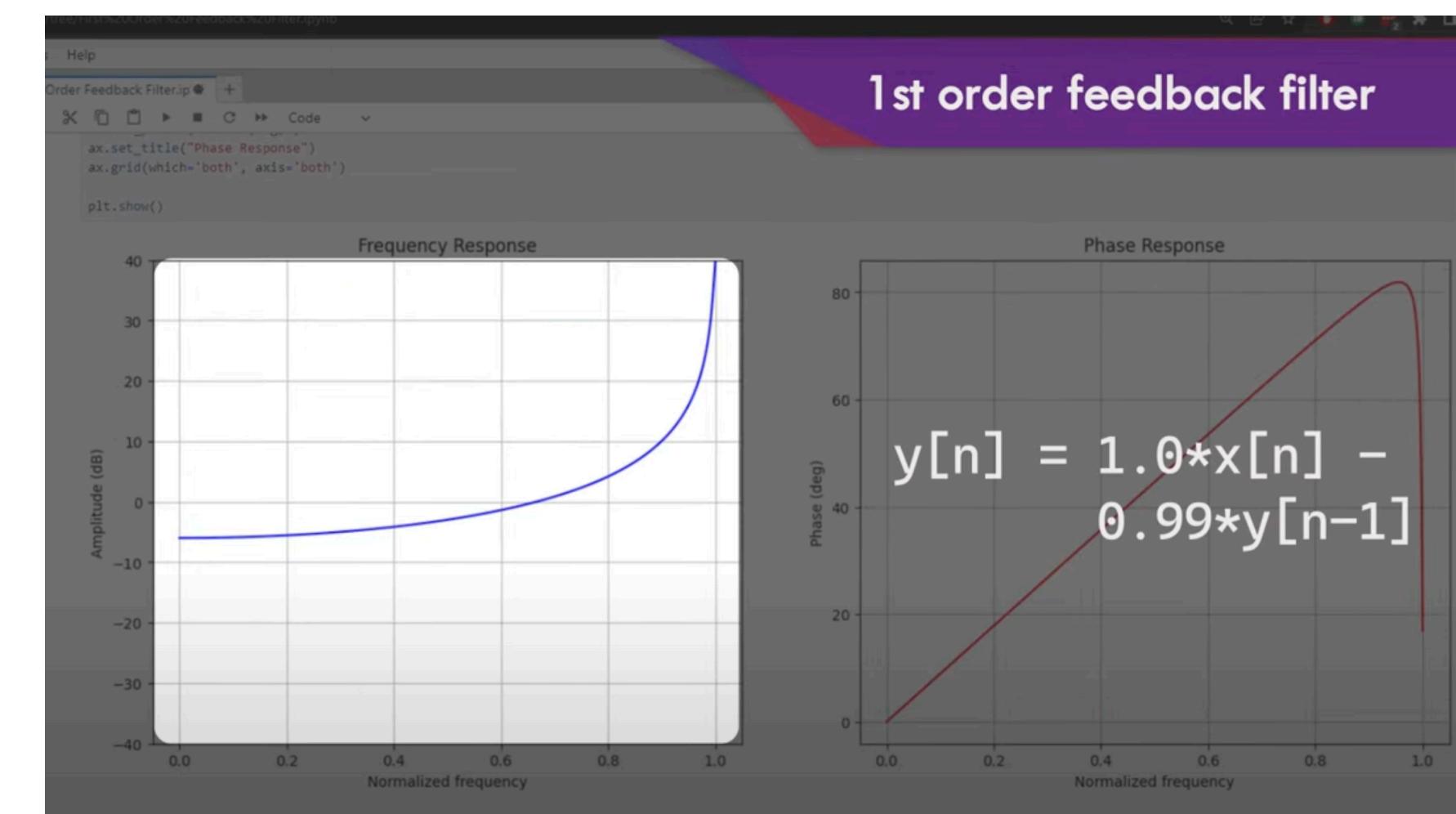
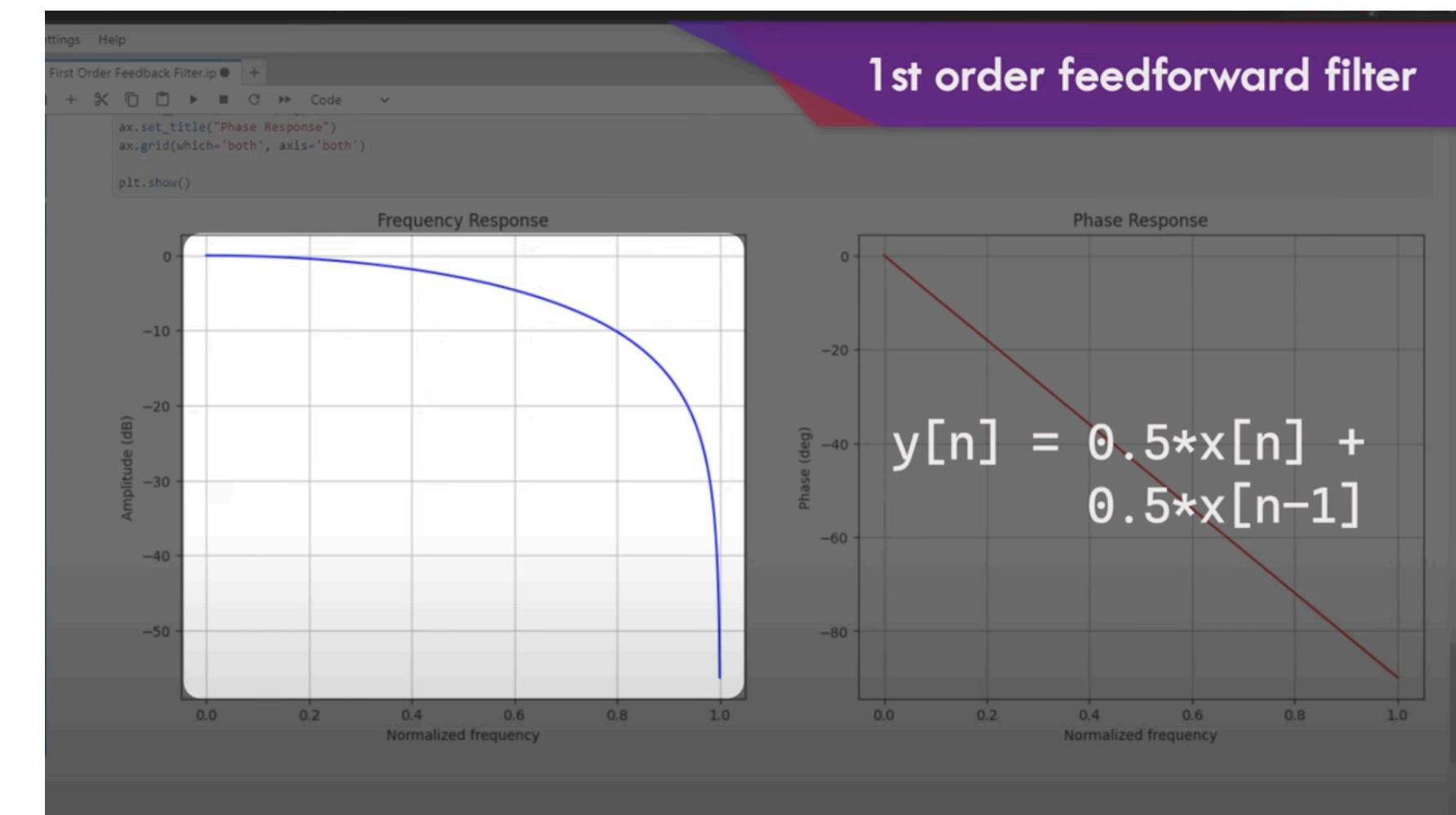
Bậc của bộ lọc của mạng FeedForward (FIR) và của mạng FeedBack (IIR)

- Mạng Feedforward:

- Bậc = Độ trễ tối đa của mẫu đầu vào
- Số Bậc = Số điểm Zero

- Mạng Feedback:

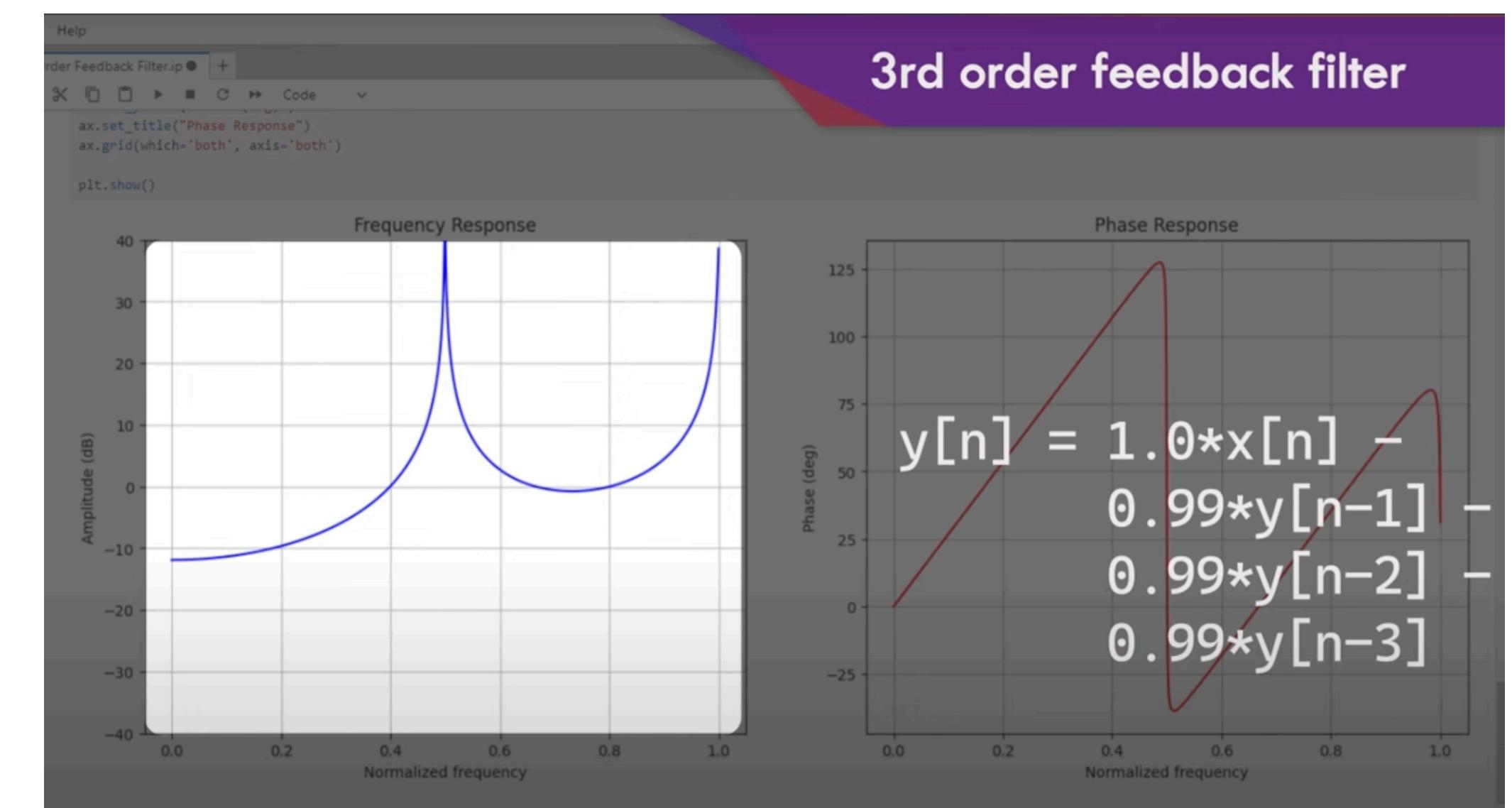
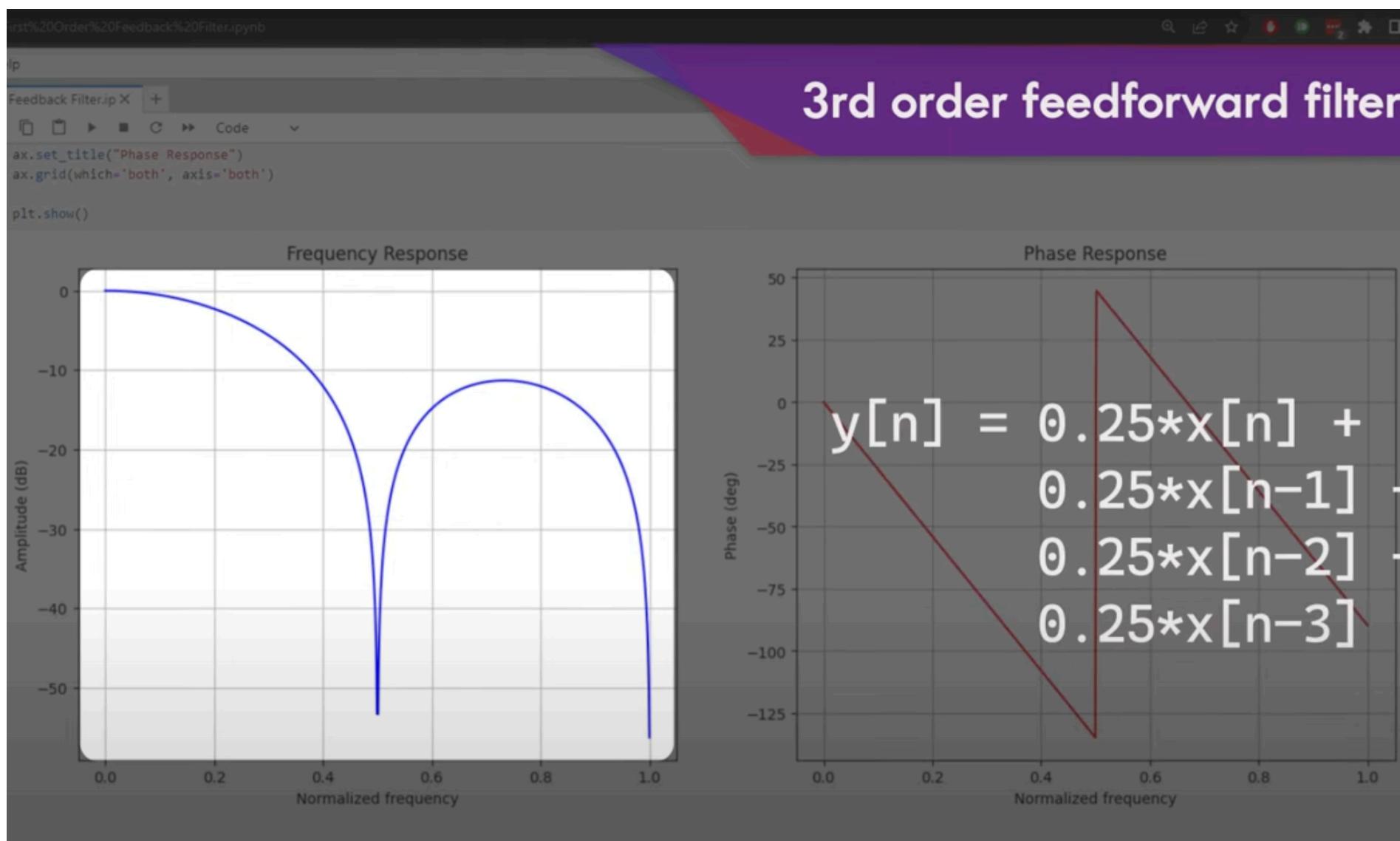
- Bậc = Độ trễ tối đa của mẫu đầu ra.
- Số Bậc = Số điểm Pole



Thiết kế bộ lọc IIR

Bậc của bộ lọc của mạng FeedForward (FIR) và của mạng FeedBack (IIR)

Có 3 điểm zero, và pole nhưng chỉ có 2 biểu diễn được (phân còn lại do số ảo)

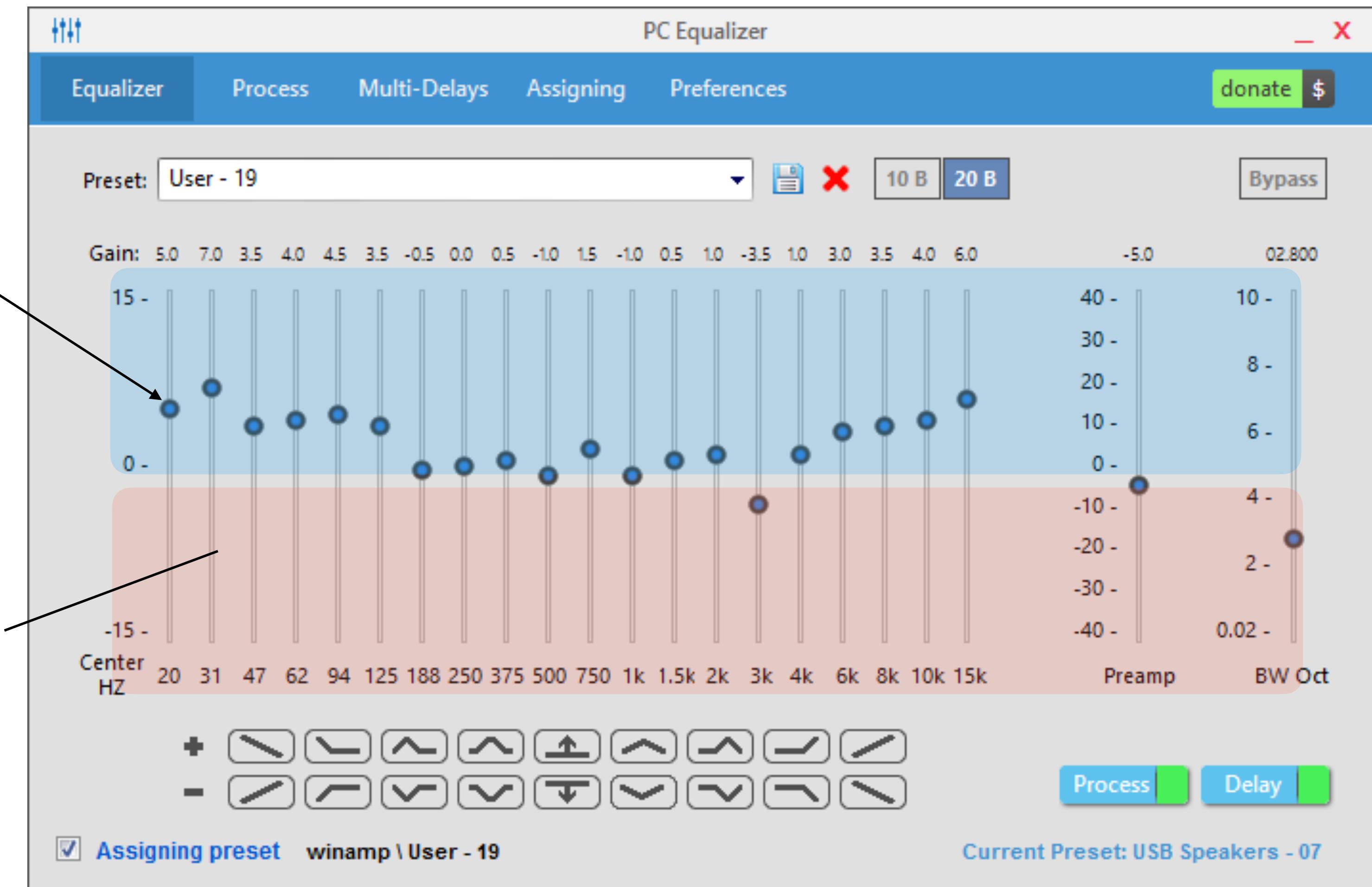


Thiết kế bộ lọc IIR

Nguyên lý thiết kế bộ lọc IIR

Vùng boost

Vùng nén



Câu hỏi:

Hãy đề xuất nguyên lý thiết kế bộ lọc?

Thiết kế bộ lọc IIR

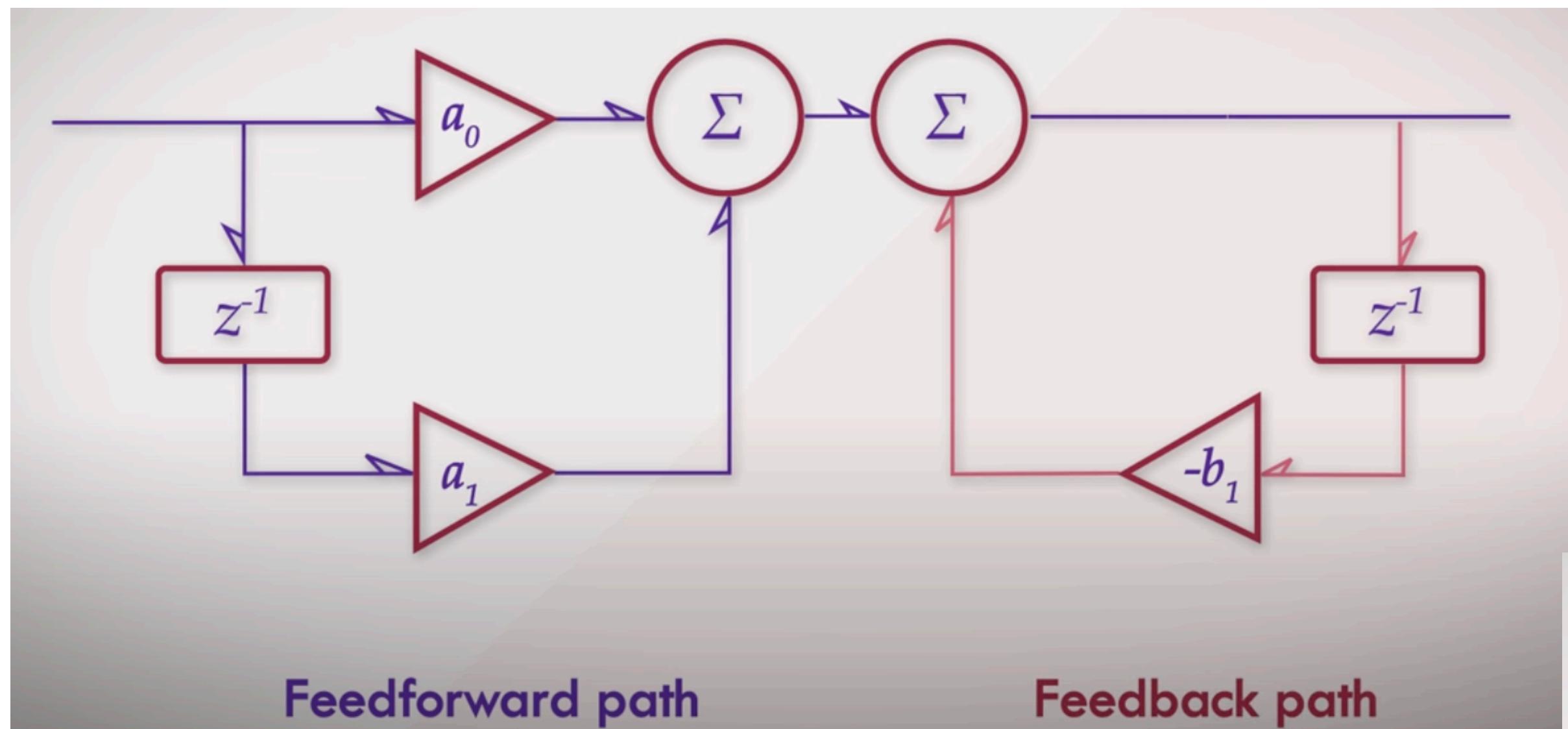
Nguyên lý thiết kế bộ lọc IIR

- FIR không thể thực hiện vùng bốt
- IIR với feedback network thuận tuý không thể thực hiện vùng nén.
- Zero → Nén; Pole → Boost
- Đề xuất nguyên lý thiết kế bộ lọc IIR để có cả vùng nén và boost theo tần số:

Bộ lọc IIR = Mạng FeedForward + Mạng Feedback

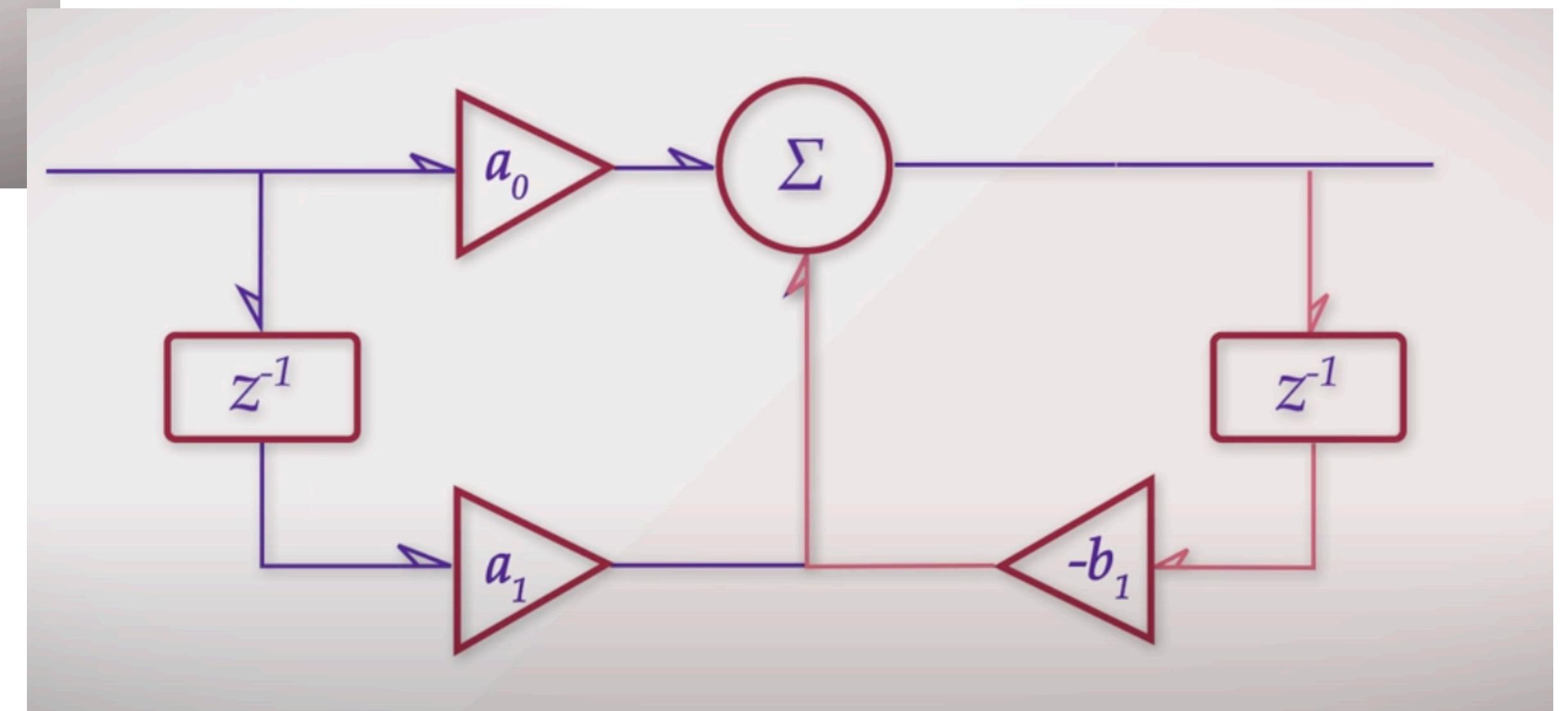
Thiết kế bộ lọc IIR

Topo của bộ lọc mạng IIR



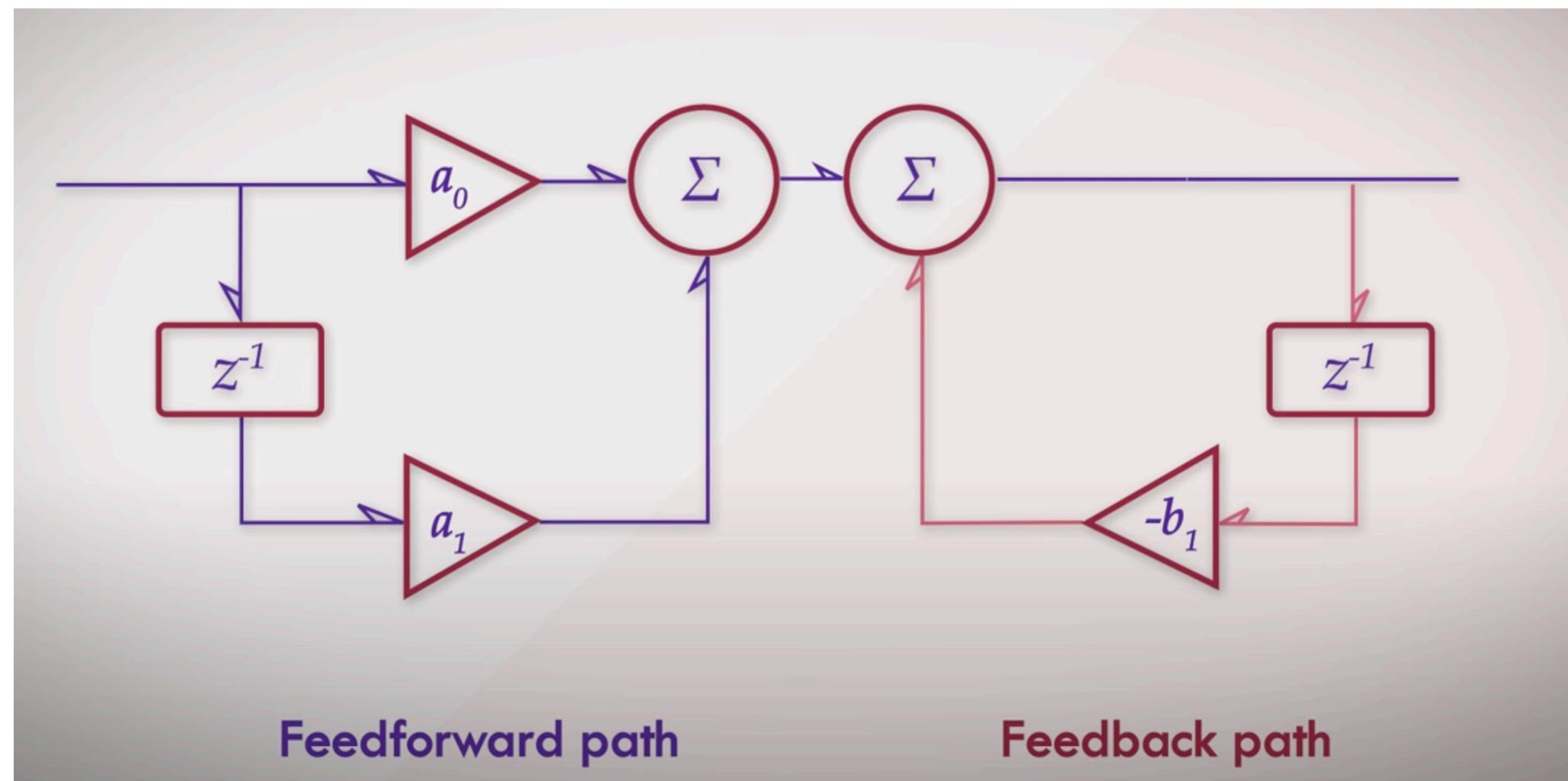
Câu hỏi 1: Hai bộ lọc này có hoạt động giống nhau không?

Câu hỏi 2: Bộ lọc nào tiết kiệm tài nguyên tính toán hơn?



Thiết kế bộ lọc IIR

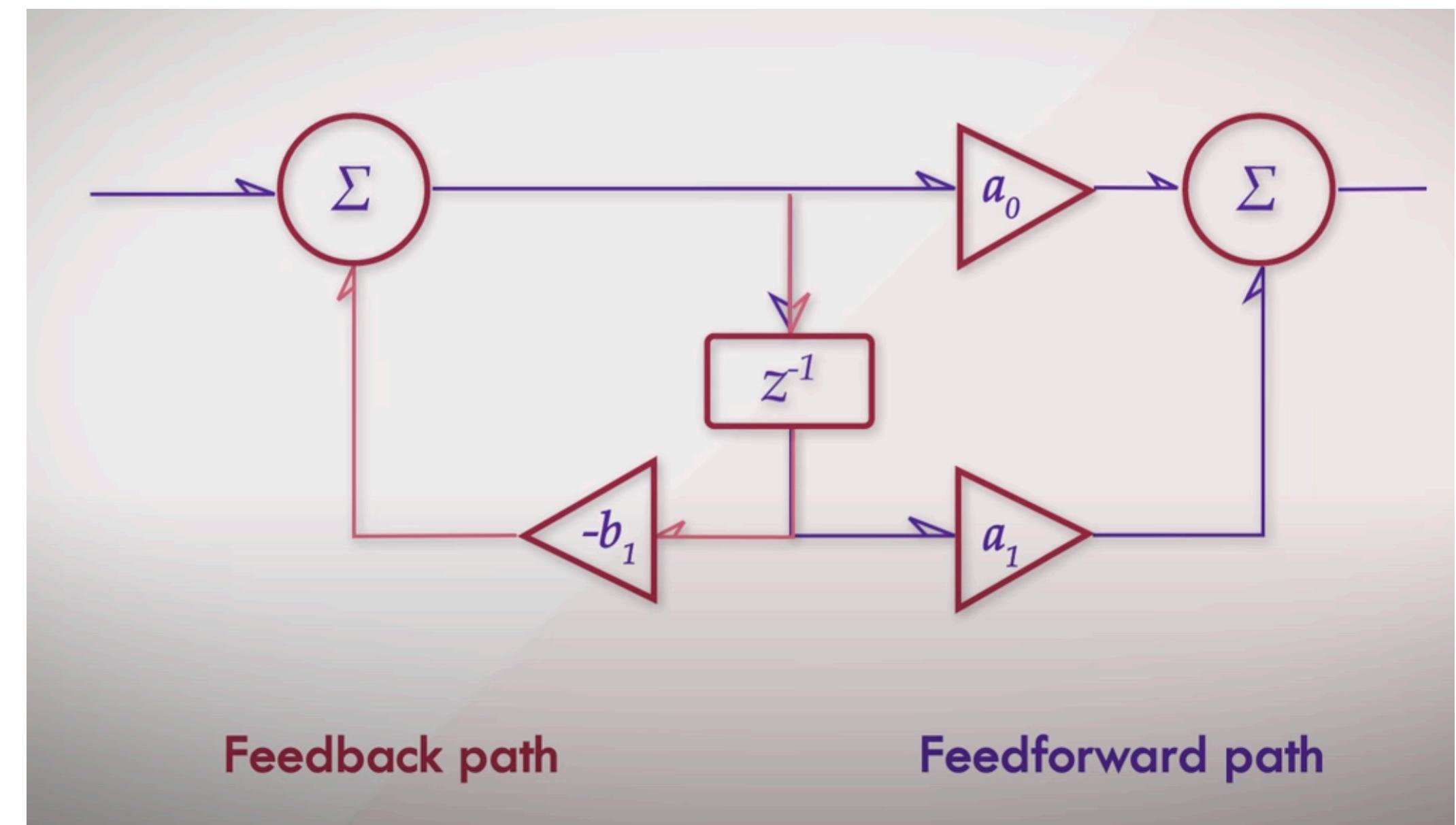
Topo của bộ lọc mạng IIR



Câu hỏi 1: Hai bộ lọc này có hoạt động giống nhau không?

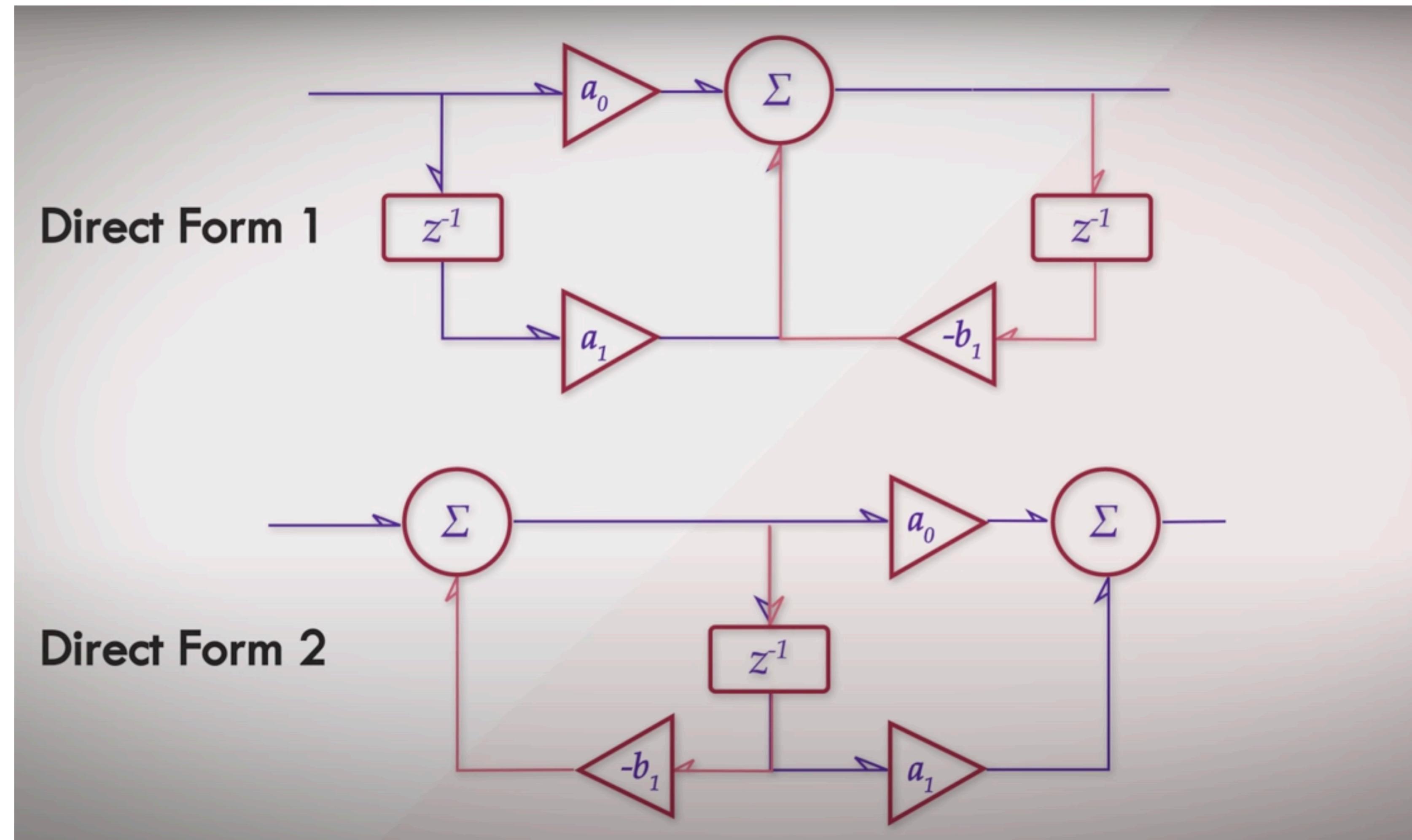
Câu hỏi 2: Hai bộ lọc này có hoạt động giống nhau 2 bộ lọc ở slide trước hay không ?

Câu hỏi 3: Bộ lọc nào tiết kiệm tài nguyên tính toán hơn?



Thiết kế bộ lọc IIR

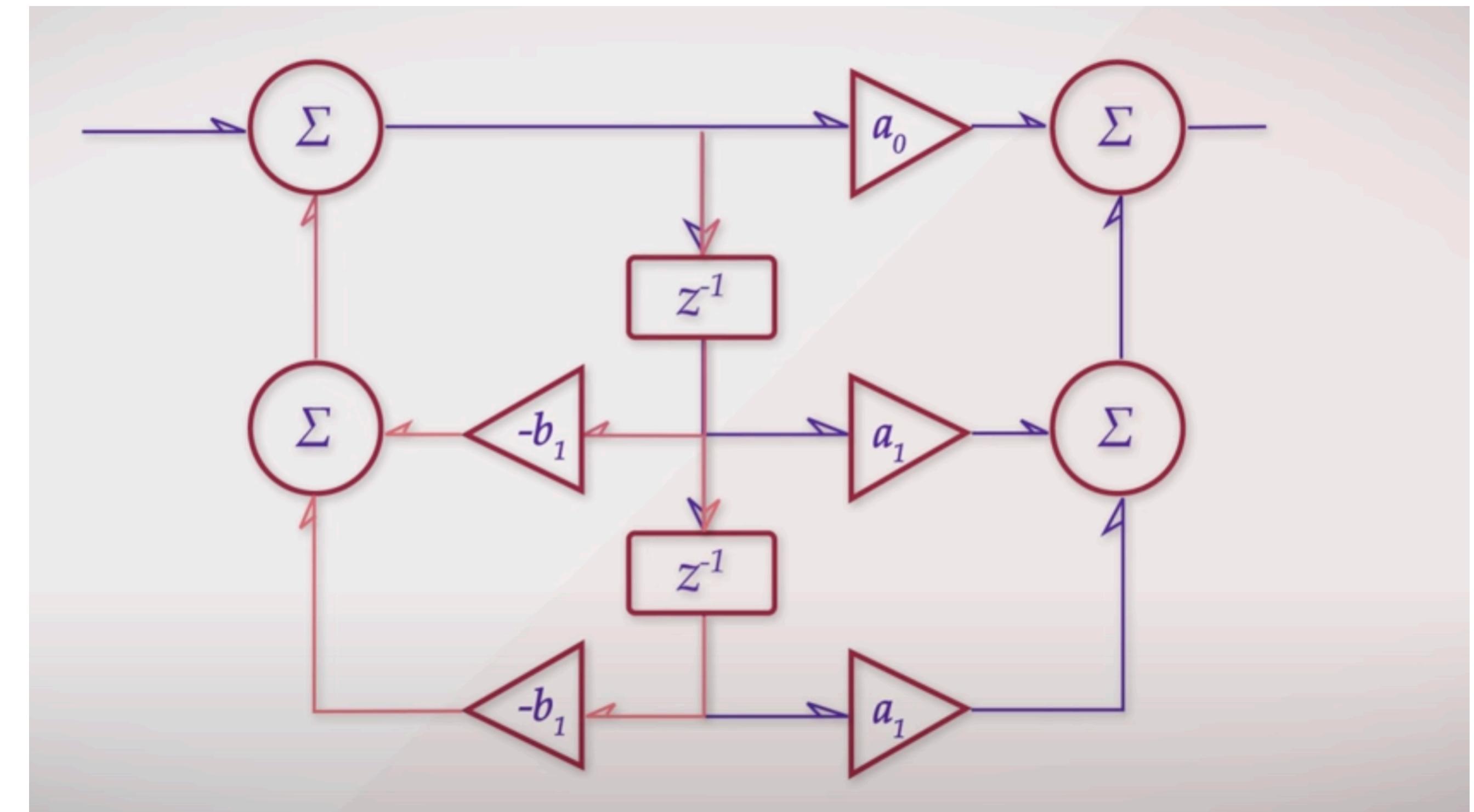
Topo của bộ lọc mạng IIR



Thiết kế bộ lọc IIR

Bộ lọc mạng IIR bậc 2

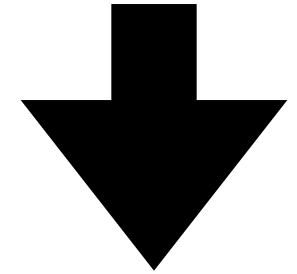
- Đơn giản
- Thiết kế được nhiều đáp ứng tần số khác nhau
- Độ phức tạp về tính toán thấp



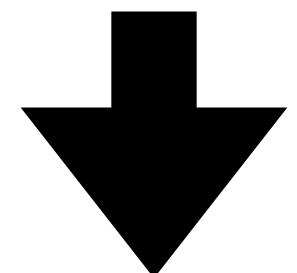
Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z

$$y[n] + a_1y[n - 1] + a_2y[n - 2] + \dots + a_Ny[n - N] = b_0x[n] + b_1x[n - 1] + \dots + b_Mx[n - M]$$



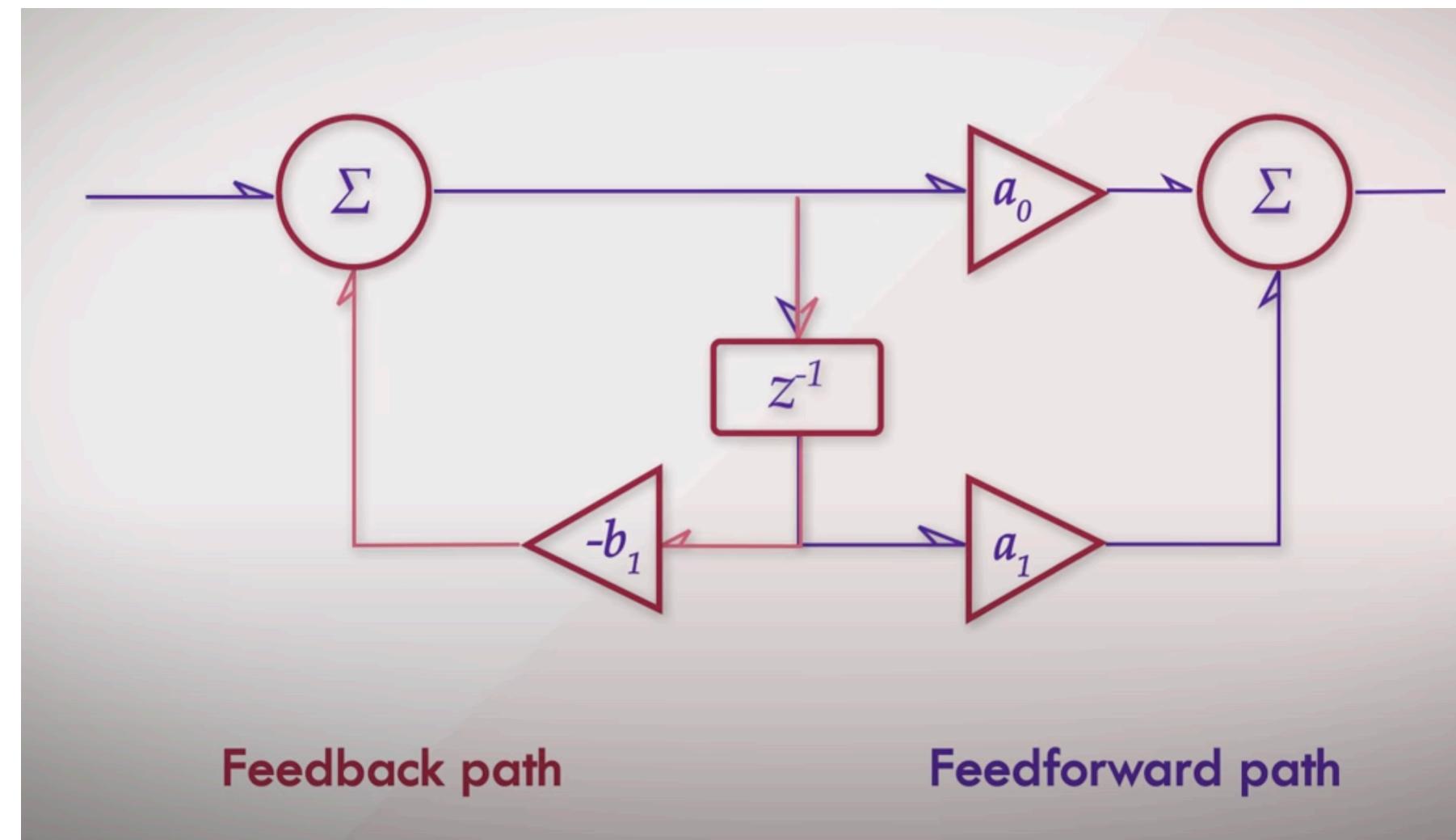
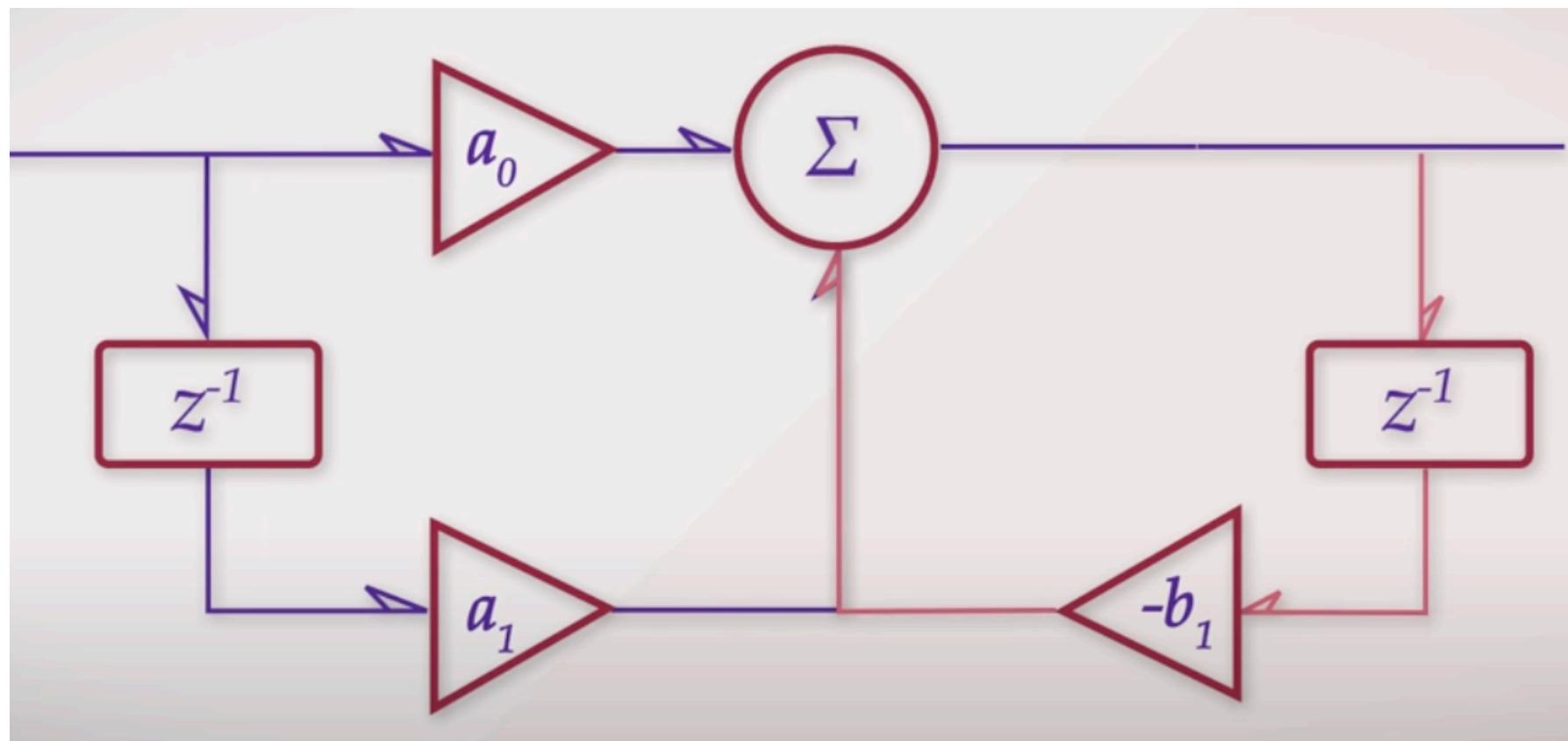
$$Y(z)(1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_Nz^{-N}) = X(z)(b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_Mz^{-M})$$



$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Mz^{-M}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_Nz^{-N}}$$

Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z



$$y[n] = a_0x[n] + a_1x[n - 1] + b_1y[n - 1]$$

$$Y(z) = a_0X(z) + a_1z^{-1}X(z) + b_1z^{-1}Y(z)$$

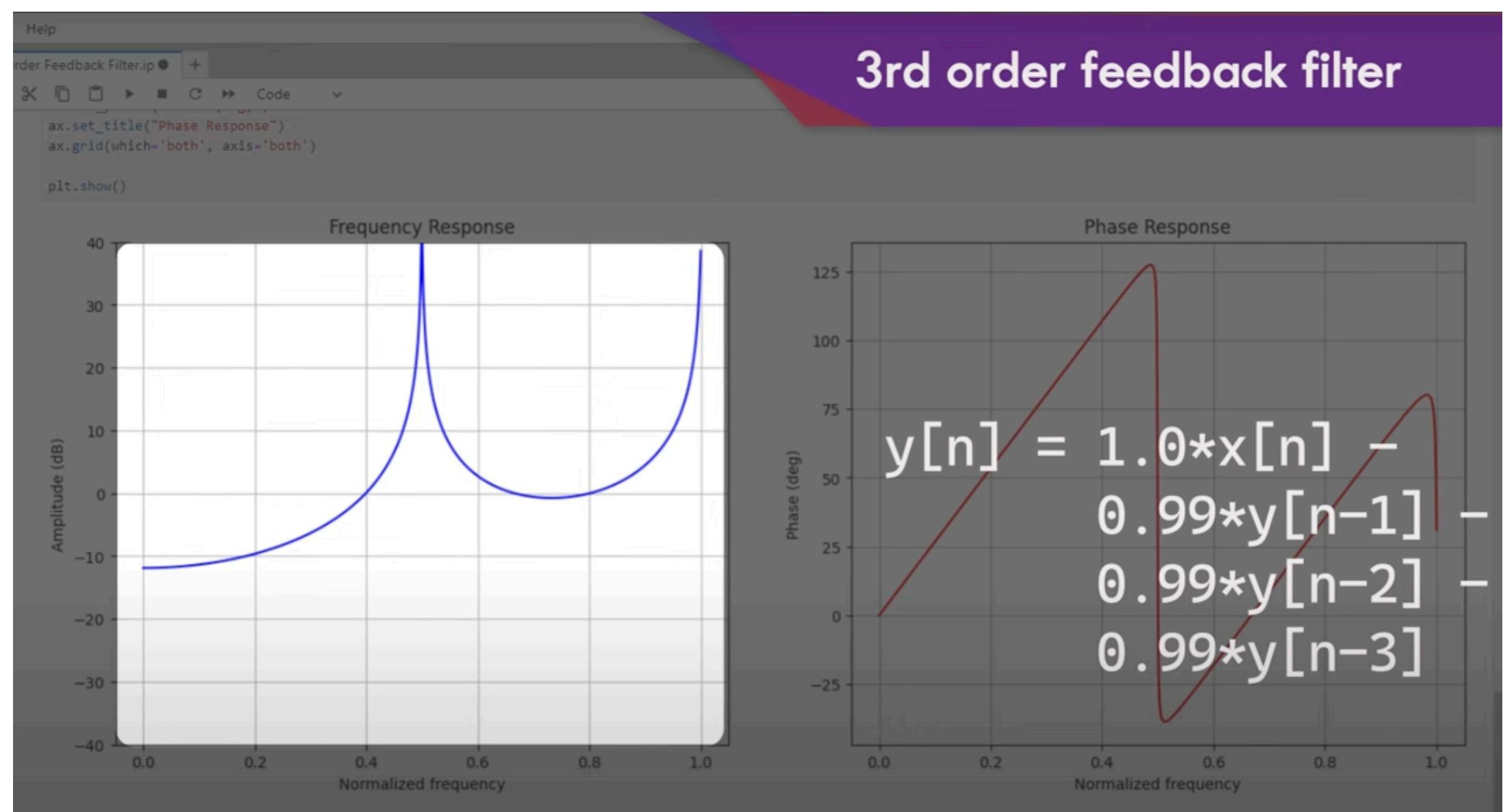
$$Y(z)(1 - b_1z^{-1}) = X(z)(a_0 + a_1z^{-1})$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a_0 + a_1z^{-1}}{1 - b_1z^{-1}}$$

Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z

$$y[n] = 1 \cdot x[n] - 0.99 \cdot y[n-1] - 0.99 \cdot y[n-2] - 0.99 \cdot y[n-3]$$



$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{1 + 0.99 \cdot z^{-1} + 0.99 \cdot z^{-2} + 0.99 \cdot z^{-3}}$$

$$1 + 0.99 \cdot z^{-1} + 0.99 \cdot z^{-2} + 0.99 \cdot z^{-3} = 0$$

Nghiệm của phương trình: $[-0.99, 0.0025 - 0.99 \cdot i, 0.0025 + 0.99 \cdot i]$

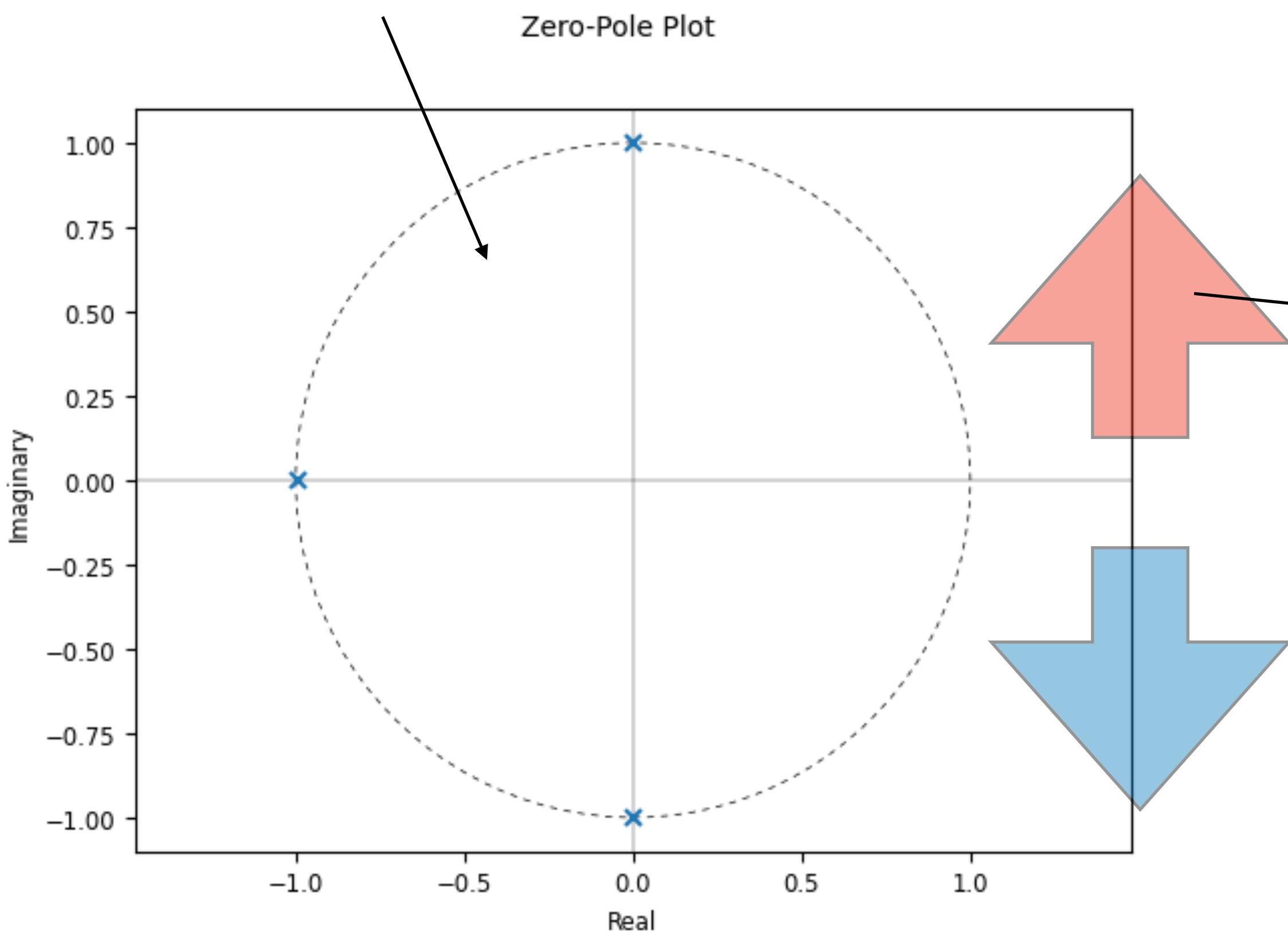
Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z

Nghiệm z:

$$[-0.99, 0.0025 - 0.99 \cdot i, 0.0025 + 0.99 \cdot i]$$

Zero-Pole Plot



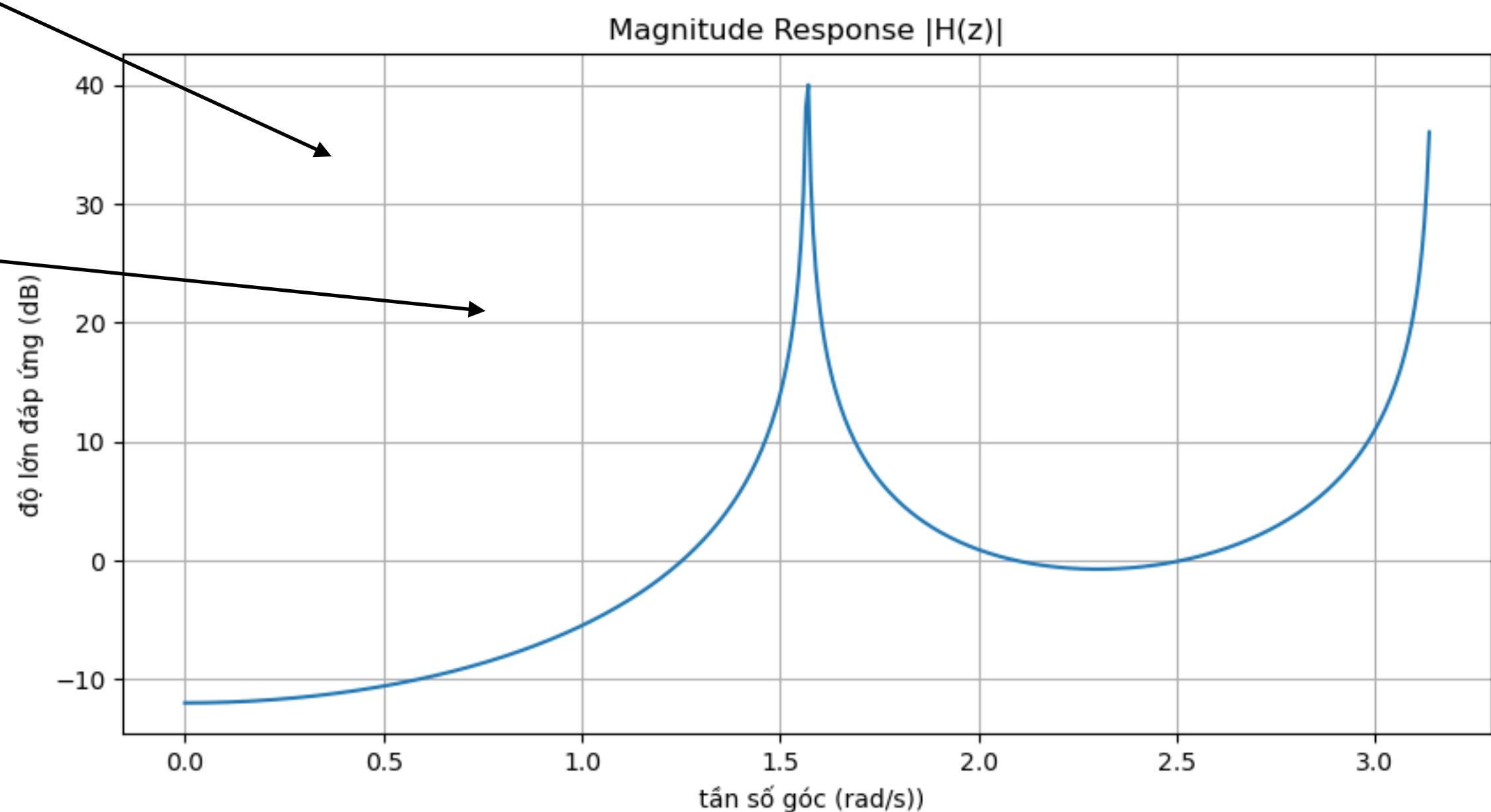
Nghiệm tần số góc:

$$\left[\pi, -\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2} \right]$$

Nghiệm tần số chuẩn hoá:

$$\left[\frac{1}{2}, -\frac{1}{4}, +\frac{1}{4} \right]$$

Nghiệm tần số thực tế?



Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z

Nghiệm z:

$$[-0.99, \ 0.0025 - 0.99 \cdot i, \ 0.0025 + 0.99 \cdot i]$$

Nghiệm tần số góc:

$$\left[\pi, \ \frac{\pi}{2} - i, \ \frac{\pi}{2} + i \right]$$

Nghiệm tần số
chuẩn hoá:

$$\left[\frac{1}{2}, \ -\frac{1}{4}, +\frac{1}{4} \right]$$

Nghiệm tần số
thực tế ?

$$\omega = \arg(z)$$

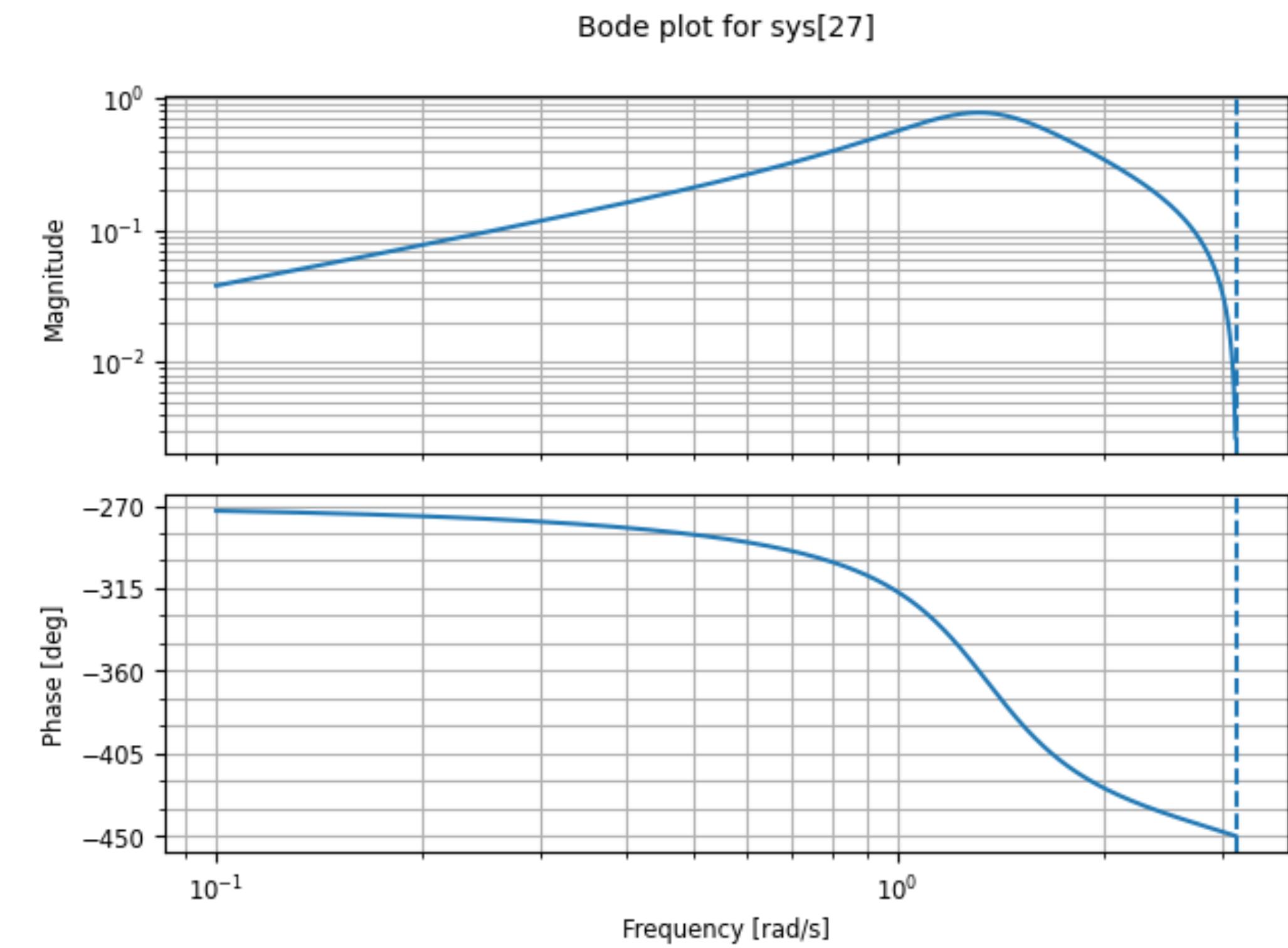
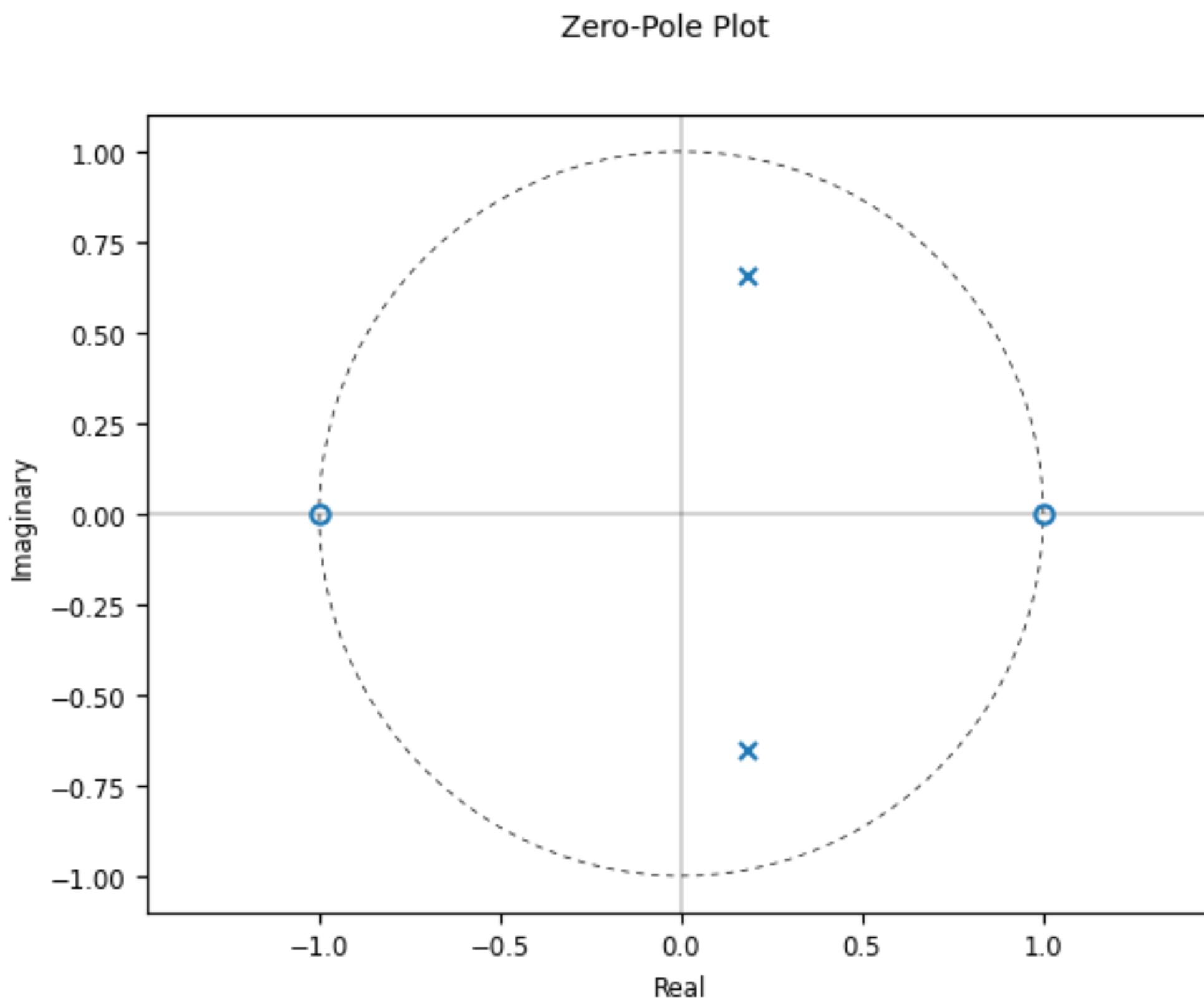
$$\omega = 2\pi f_{\text{normalized}}$$

$$f_{\text{real}} = f_{\text{sampling}} \times f_{\text{normalized}}$$

Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z

$$H(z) = \frac{0.2066 - 0.2066z^{-2}}{1 - 0.3695z^{-1} + 0.4634z^{-2}}$$

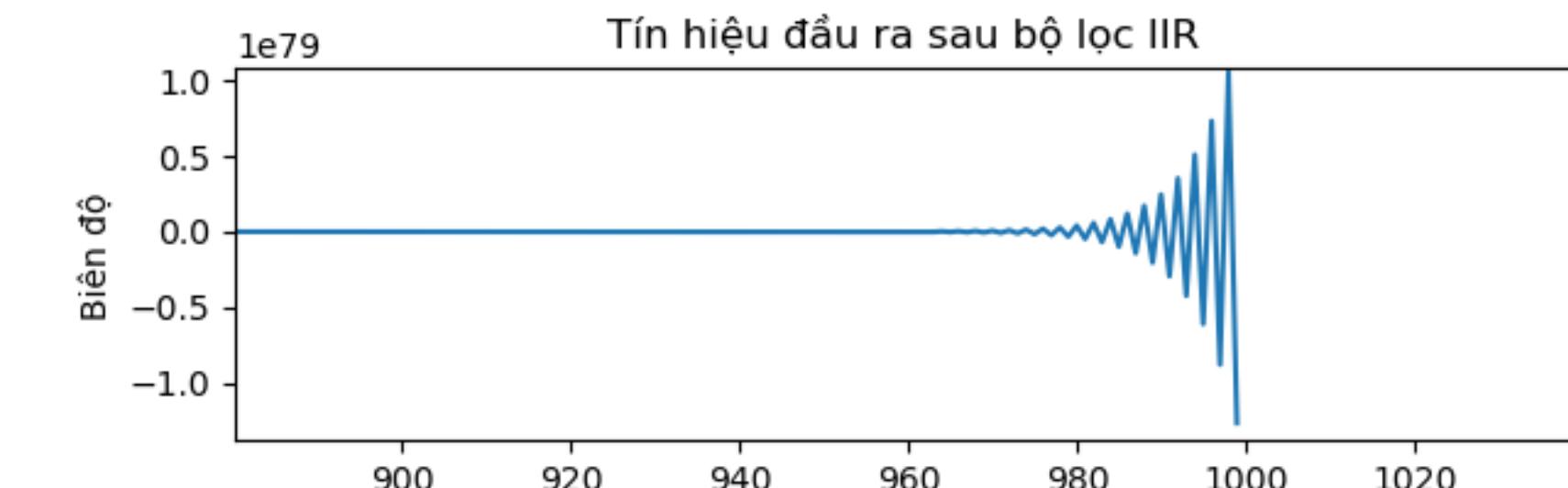
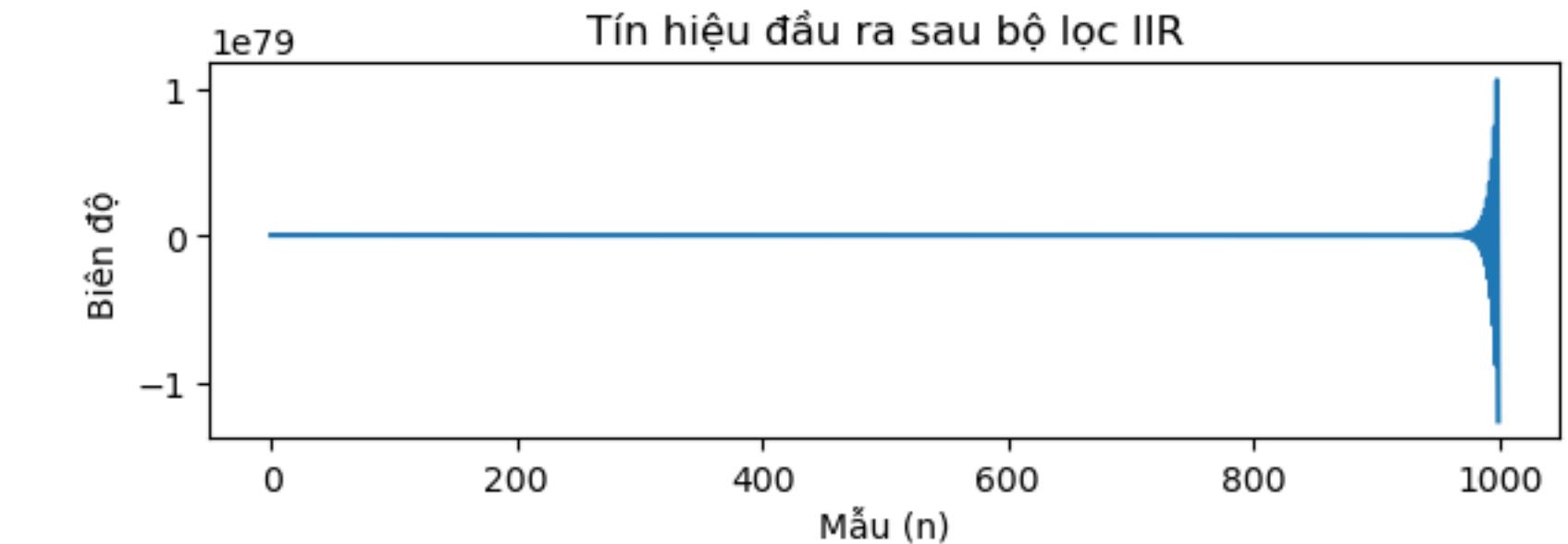
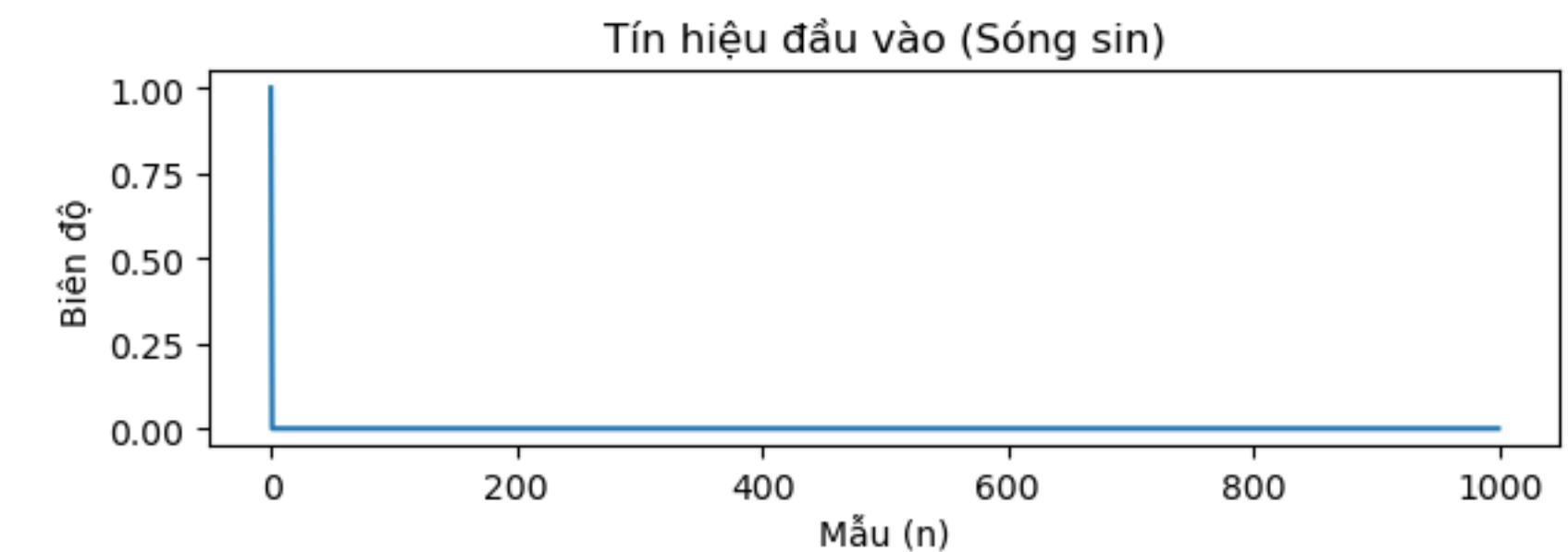
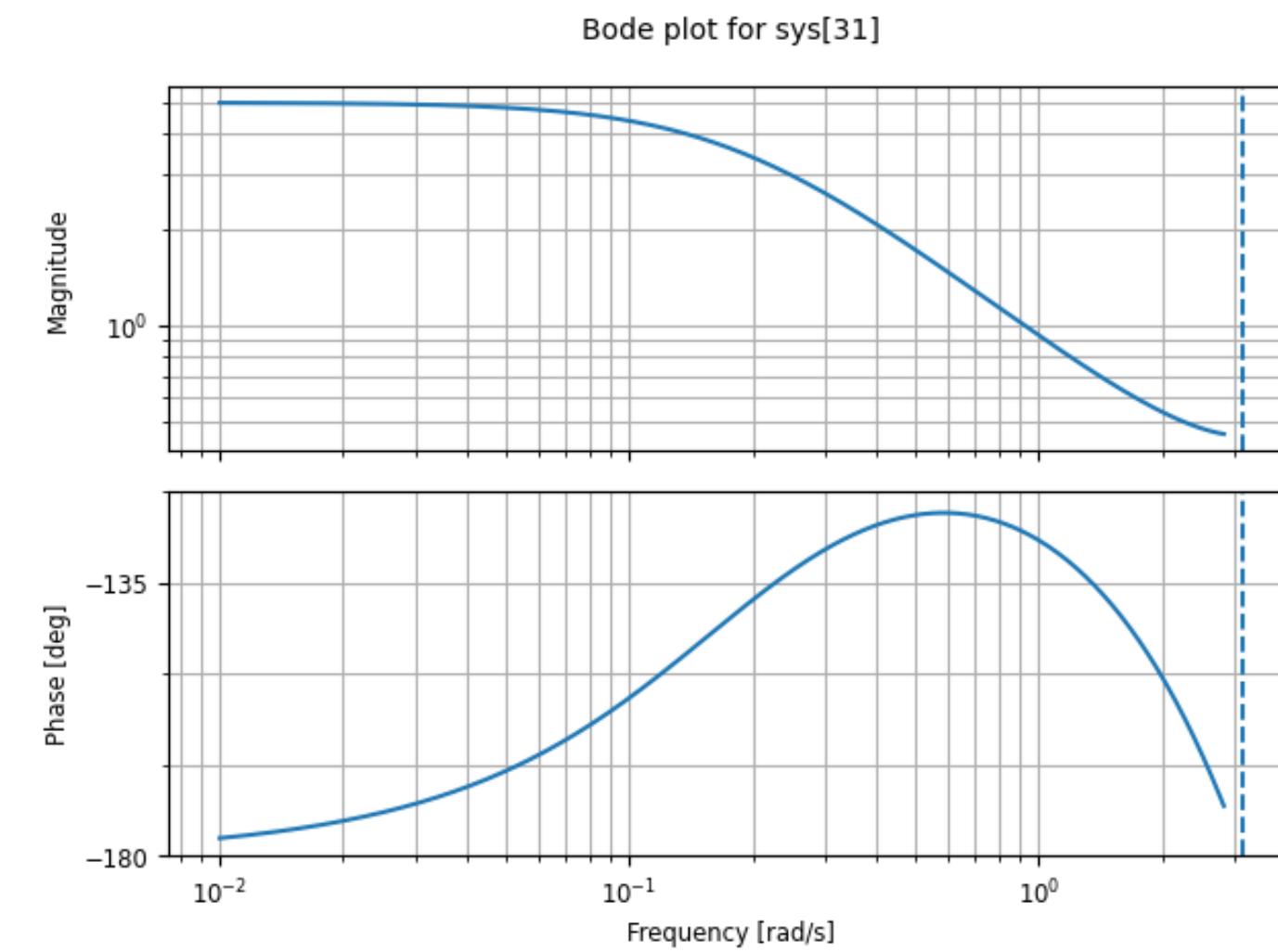
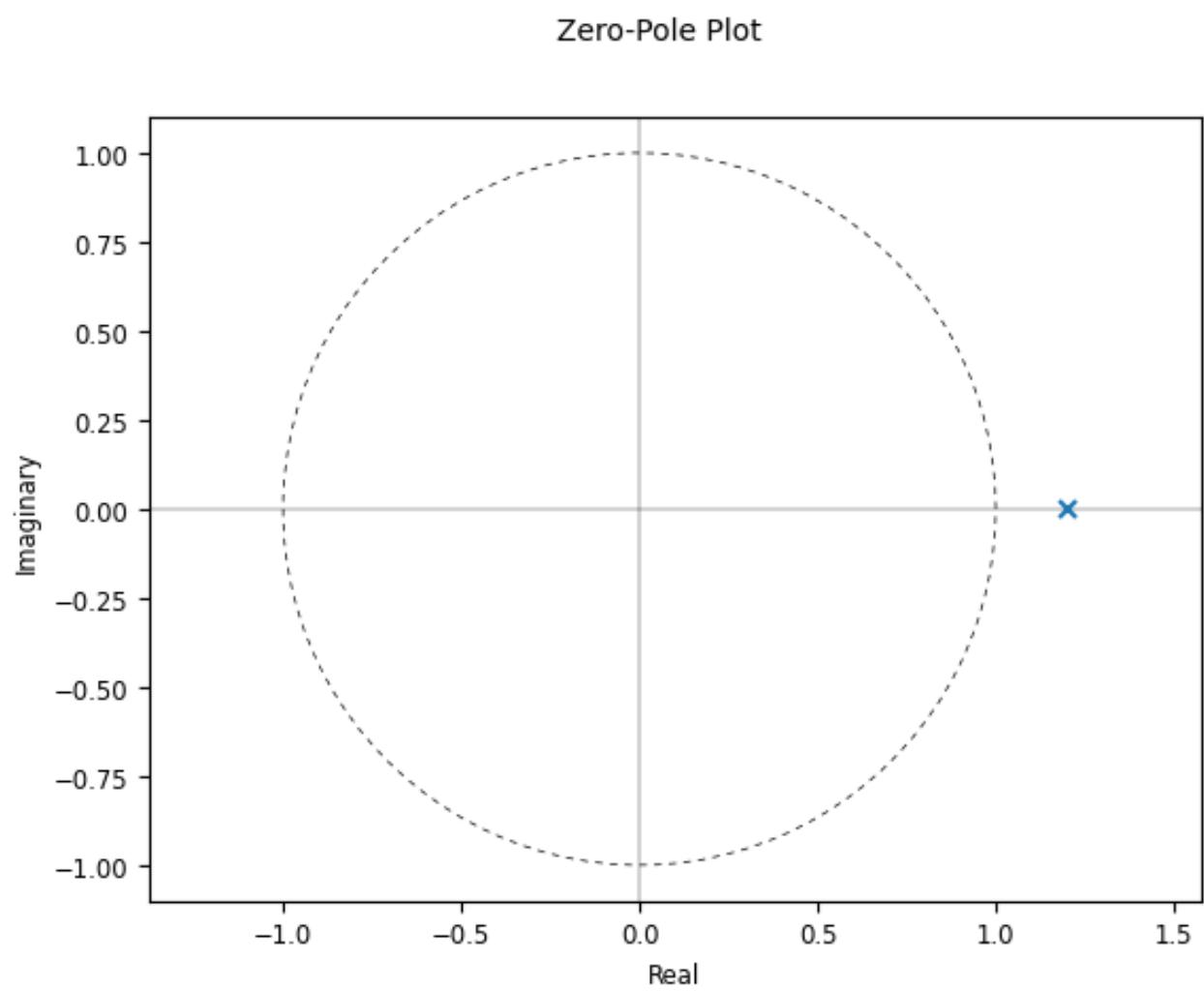


Thiết kế bộ lọc IIR

Mối quan hệ với biến đổi Z > Độ ổn định của hệ thống

Hệ thống ổn định nếu: $|z_{poles}| < 1$

$$H(z) = \frac{1}{1 - 1.2 \cdot z^{-1}}$$



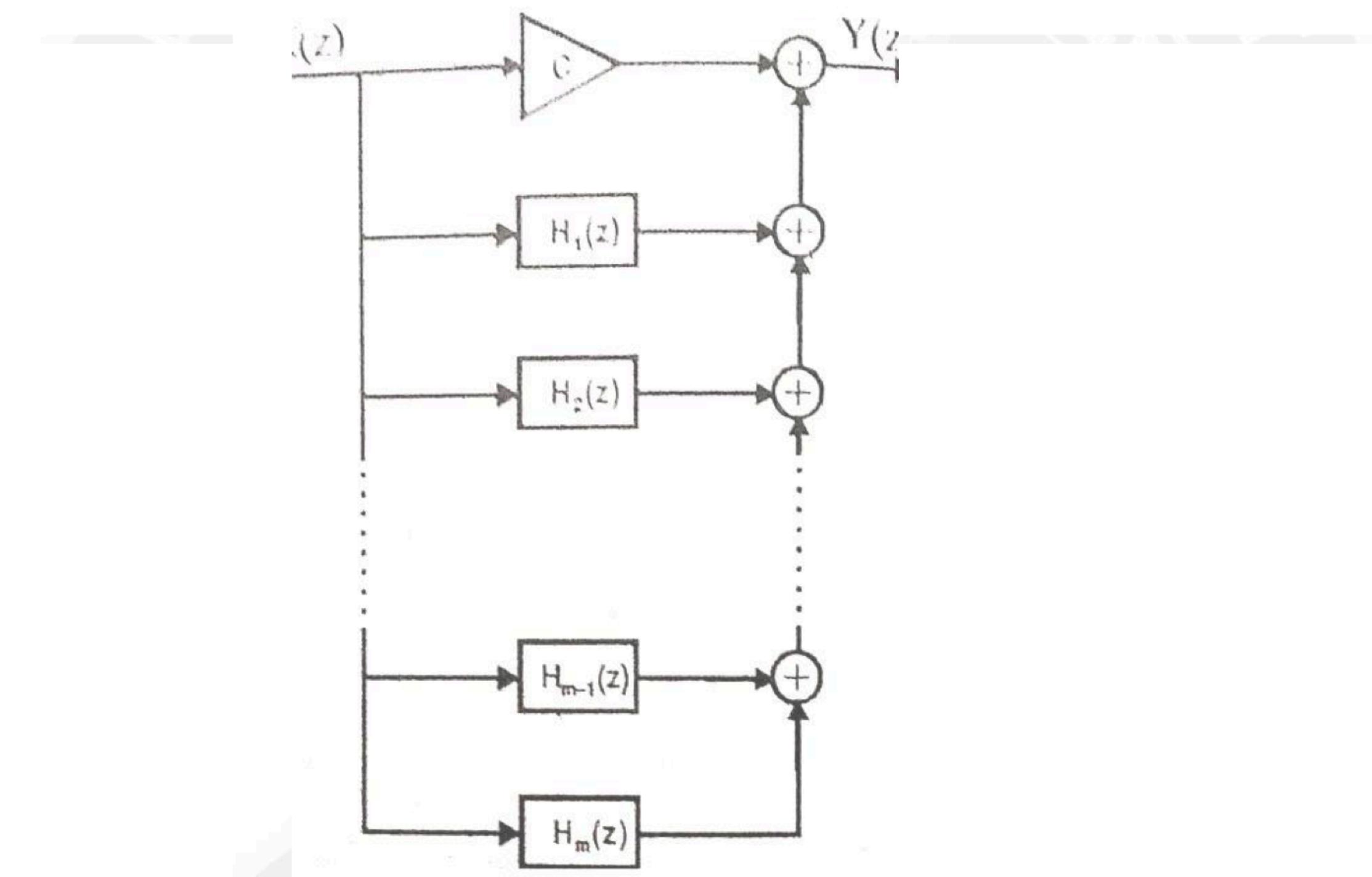
Thiết kế bộ lọc IIR

Quy trình thiết kế bộ lọc

Bước	Mô tả
1. Xác định yêu cầu bộ lọc	Xác định loại bộ lọc, tần số cắt, tần số lấy mẫu, độ suy giảm, và độ gợn sóng.
2. Chọn phương pháp thiết kế	Chọn một trong các phương pháp: Butterworth, Chebyshev I & II, Elliptic, hoặc Bessel.
3. Chuyển đổi từ liên tục sang rời rạc	Sử dụng phép biến đổi bilinear để chuyển đổi bộ lọc từ miền liên tục sang rời rạc.
4. Tính toán các hệ số của hàm truyền IIR	Tính các hệ số của hàm truyền IIR dựa trên phương pháp đã chọn.
5. Kiểm tra tính ổn định	Đảm bảo các cực của hàm truyền nằm bên trong vòng tròn đơn vị.
6. Mô phỏng và kiểm tra đáp ứng	Mô phỏng đáp ứng tần số và đáp ứng xung để kiểm tra bộ lọc.
7. Triển khai bộ lọc	Triển khai bộ lọc trong hệ thống thực tế và tính toán đầu ra.
8. Tinh chỉnh và tối ưu hóa	Tinh chỉnh bậc bộ lọc và tối ưu hóa hiệu suất.

Thiết kế bộ lọc IIR

Quy trình thiết kế bộ lọc > Bộ lọc phức tạp



Quiz và Lab

Quiz và Lab

Nội dung

- Thực hành điều chỉnh các tham số của mạch IIR thuần feedback
- Thực hành điều chỉnh các tham số của bộ lọc IIR gồm cả mạng FF + FB
- Viết chương trình thực hiện bộ lọc IIR
- Thiết kế và phân tích bộ lọc dựa trên biến đổi Z
- Bài tập kiểm tra 1 :
 - Tạo ứng dụng equalizer đơn giản