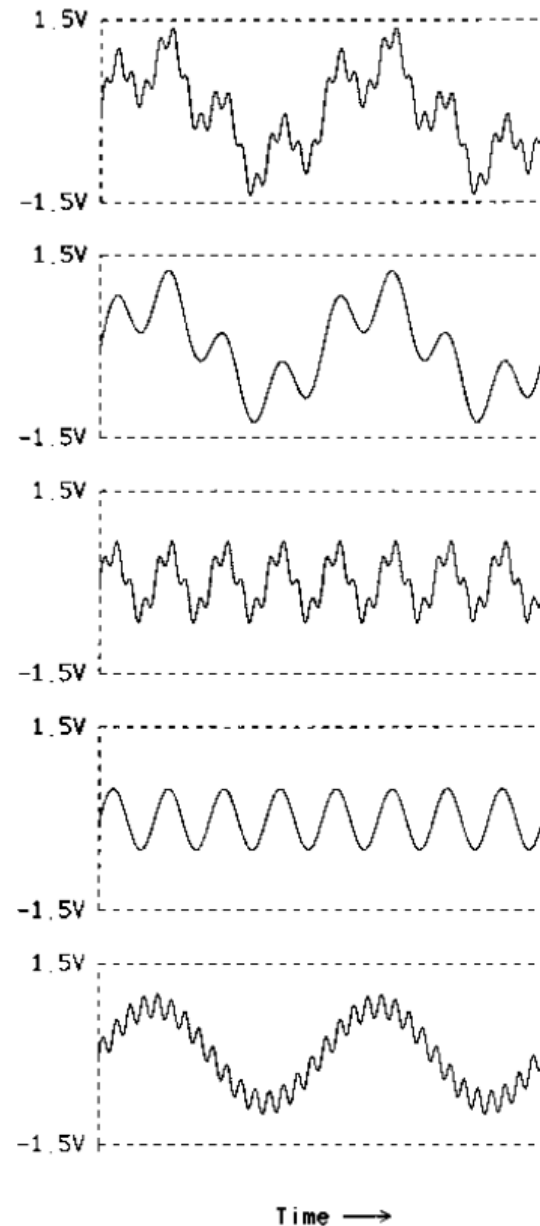
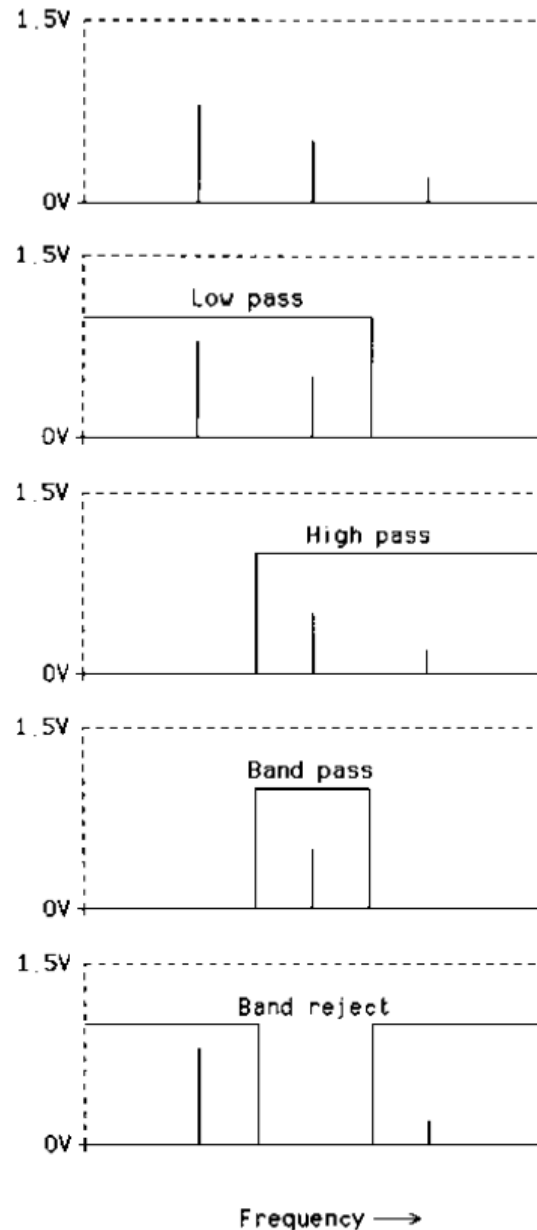


1

# Chương 3

Bộ lọc/Mạch lọc tích cực

## Lọc/filter là gì?



# Nội dung

3

1. Giới thiệu
2. Lọc tích cực (Active Filters) và lọc thụ động Passive Filters
3. Các loại mạch lọc
4. Đặc tính của các mạch lọc
5. Lọc thông thấp (Low-Pass Filter)
6. Lọc thông cao (High-Pass Filter)
7. Lọc thông dải (Band-Pass Filter)
8. Lọc triệt/chặn dải (Band-Stop Filter)
9. Summary

# Giới thiệu

4

- Mạch lọc (Bộ lọc) là các mạch cho những tín hiệu trong một dải tần số nào đó đi qua và loại bỏ những tín hiệu ngoài dải tần số này.
- Đặc tính này của mạch lọc gọi là lựa chọn tần số “frequency selectivity”.
- Mạch lọc thụ động (Passive filters): được hình thành từ những phần tử thụ động (resistors, capacitors, inductors) nên sẽ không khuếch đại tín hiệu.
- Mạch lọc tích cực (Active filters): sử dụng các phần tử có khả năng khuếch đại (transistors, op-amps) kết hợp với các phần tử thụ động.
- Mạch lọc tích cực được sử dụng nhiều trong lĩnh vực thông tin, xử lý tín hiệu, điện tử y sinh, giải trí,...

# Ưu điểm của bộ lọc tích cực so với bộ lọc thụ động

5

1. Mạch lọc tích cực có thể được thiết kế để đạt độ lợi mong muốn, trong khi lọc thụ động thường làm giảm tín hiệu.
2. Giải quyết được bài toán tải do Opamp có trở kháng vào cao và trở kháng ra nhỏ/
3. Opamp đa dạng về chủng loại và giá thành  
→ giúp cho thiết kế, thực hiện mạch lọc tích cực đơn giản và hiệu quả.

# Bộ lọc tích cực (Active Filter)

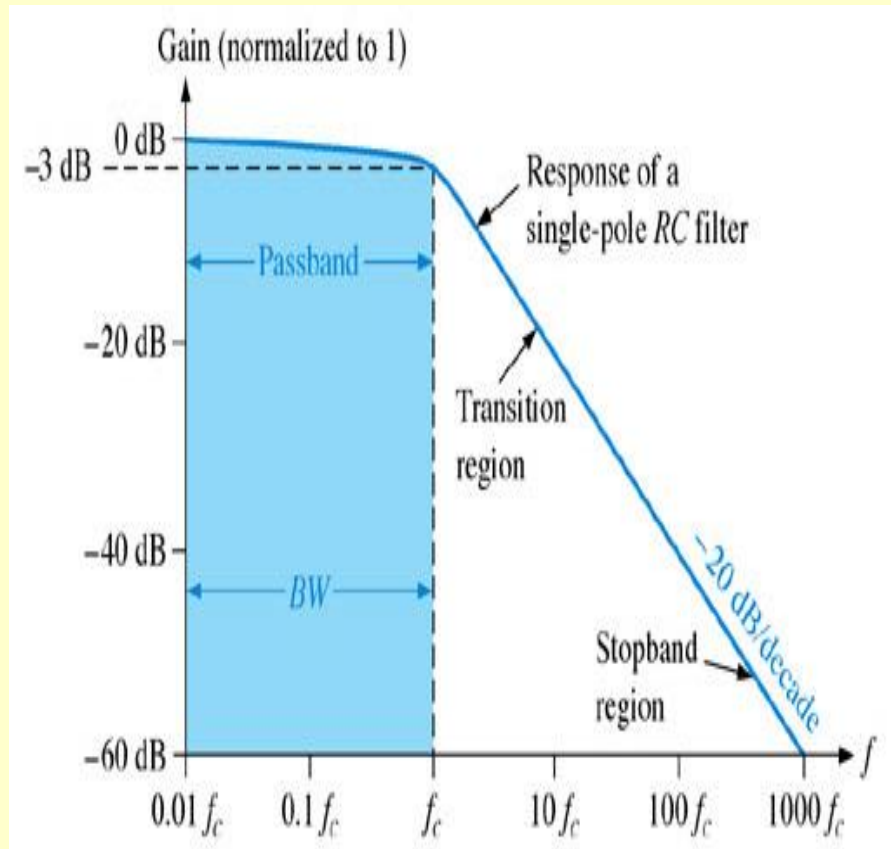
6

- Phân loại theo chức năng lọc:
  - ▣ Lọc thông thấp (Low-Pass Filter)
  - ▣ Lọc thông cao (High-Pass Filter)
  - ▣ Lọc thông dải (Band-Pass Filter)
  - ▣ Lọc triệt/chặn dải (Band-Stop Filter)
- Mỗi loại được thiết kế dựa trên Opamp hay transistor kết hợp với các linh kiện thụ động R,L,C.

# Một số thuật ngữ

7

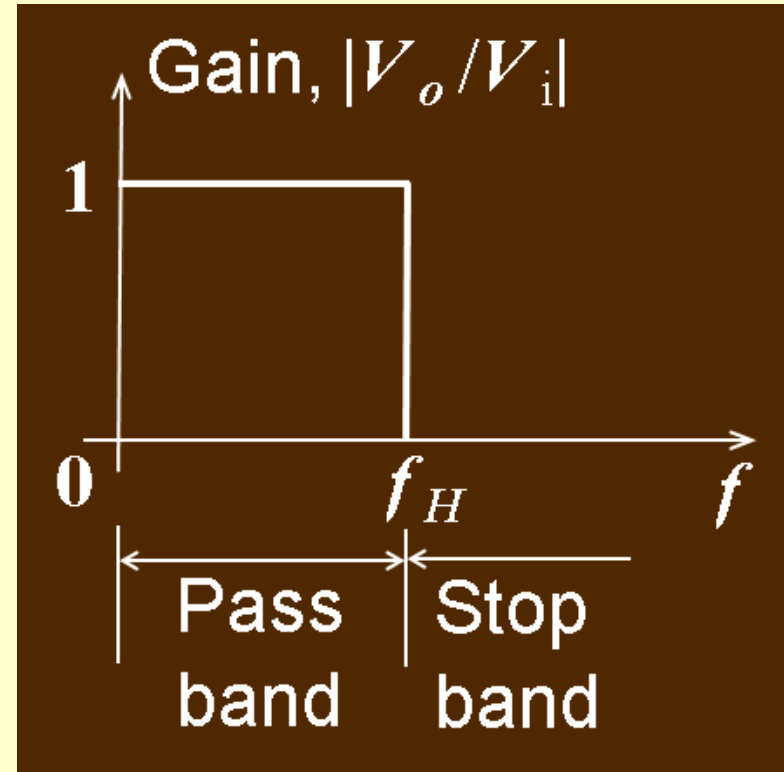
- Dải thông (*passband*) là dải tần số được bộ lọc cho qua.
- Tần số cắt (cut-off), hay tần số tới hạn/giới hạn (critical frequency),  $f_c$  là tần số tại đó đáp ứng biên độ giảm 3 dB so với đáp ứng biên độ ở vùng dải thông (tương ứng với 70.7% biên độ)
- Dải dừng/chặn (*stopband*) là dải tần số đáp ứng biên độ suy giảm nhiều
- Vùng chuyển tiếp (*transition region*) là vùng giữa passband và stopband.



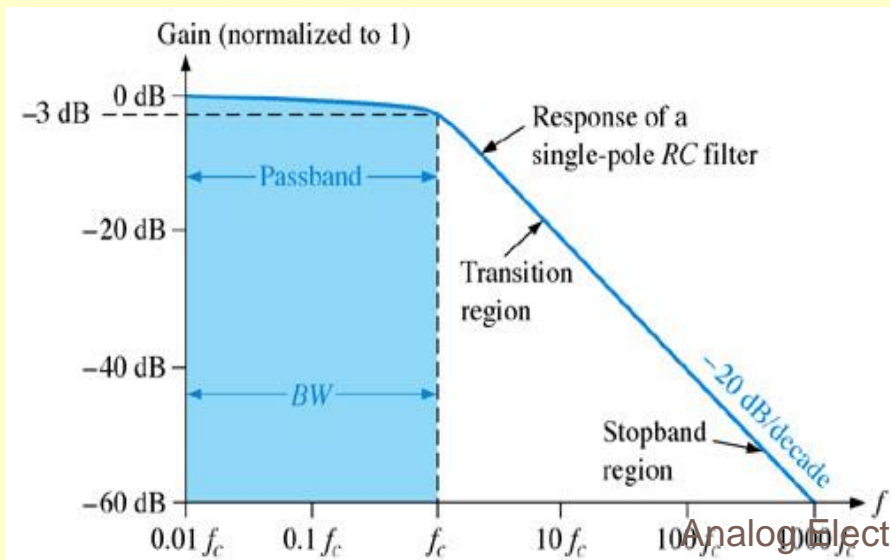
# Lọc thông thấp (Low-Pass Filter)

8

- Cho phép các tần số từ 0 tới  $f_H$  đi qua.
- Lý tưởng đáp ứng biên độ giảm đột ngột tại  $f_H$ .



Ideal response (đáp ứng lý tưởng)



Actual response (Đáp ứng thực tế)



# Lọc thông thấp bậc 1

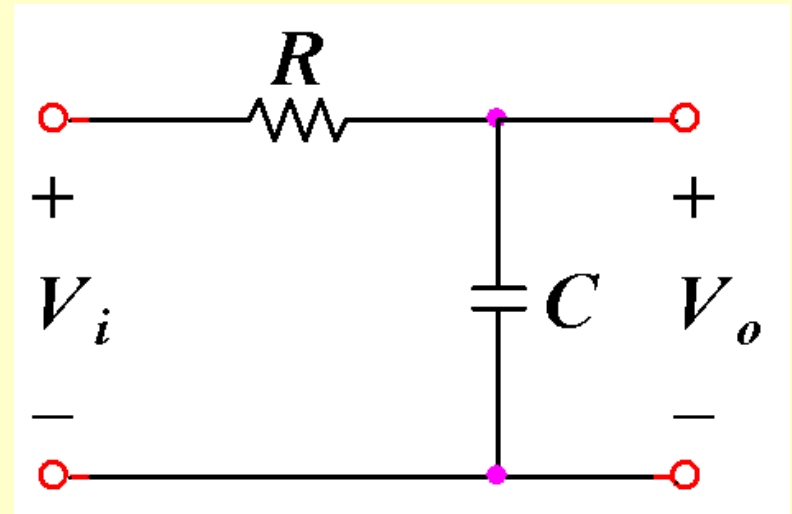
9

$$H(s) \equiv \frac{V_o}{V_i}(s) = \frac{\frac{1}{CR}}{s + \frac{1}{CR}} = \frac{\omega_o}{s + \omega_o}$$

$$\omega_o = \frac{1}{CR}$$

$$H(s) = \frac{\omega_o}{s + \omega_o}$$

$$H(j\omega) = \frac{\omega_o}{j\omega + \omega_o} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_o}}$$



# Lọc thông thấp bậc 1

10

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2}}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2}} \right]$$

# Lọc thông thấp bậc 1

11

□ Khi  $\omega = 0$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{0}{\omega_o}\right)^2}} = 1$$

□ Tính theo dB

$$|H(j\omega)|_{\text{dB}} = 20 \log 1 = 0 \text{ dB}$$

# Lọc thông thấp bậc 1

12

□ Khi đó

$$\omega = \omega_c = \omega_o = \frac{1}{CR}$$
$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_o}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1}} = 0.707$$

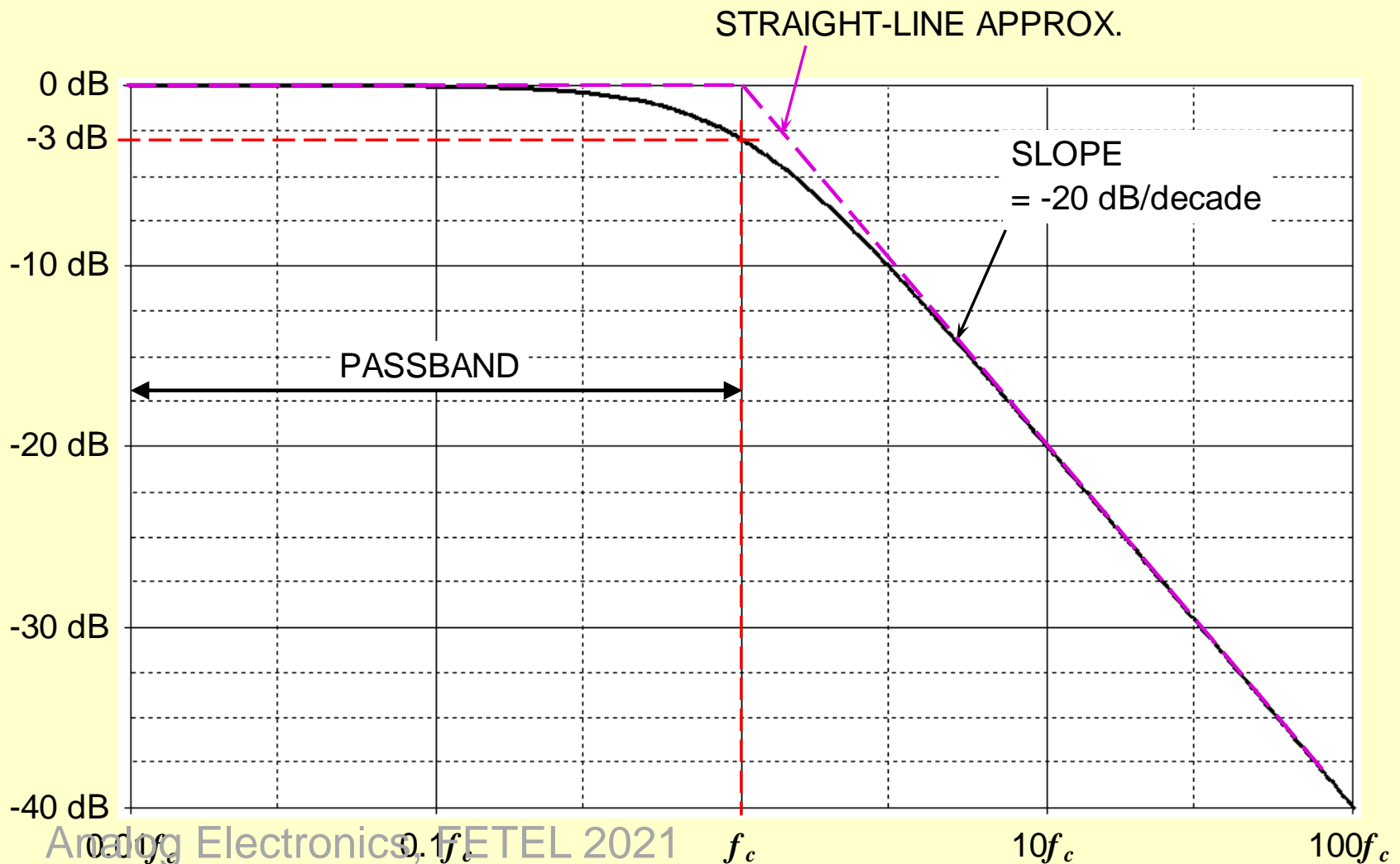
□ và

$$|H(j\omega)|_{\text{dB}} = 20 \log 0.707 = -3 \text{ dB}$$

$\omega_c = \frac{1}{CR}$  Tần số -3dB hay tần số cắt  
(cutoff frequency, rad/s)

# Lọc thông thấp bậc 1

13



# Lọc thông thấp bậc 2

14

$$\frac{V_i - V_1}{R} = sCV_1 + \frac{V_1 - V_o}{R}$$

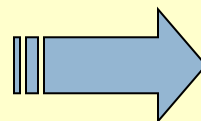
$$\frac{V_i}{R} = \left( \frac{sCR + 2}{R} \right) V_1 - \frac{V_o}{R} \quad \dots(1)$$

$$\frac{V_1 - V_o}{R} = sCV_o$$

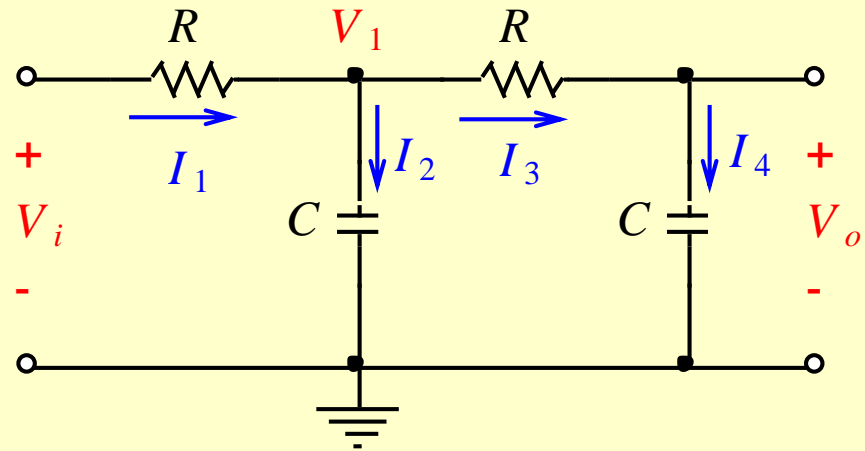
$$V_1 = (sCR + 1)V_o \quad \dots(2)$$

$$(1) \ \& \ (2) \quad \frac{V_i}{R} = \left( \frac{sCR + 2}{R} \right) (sCR + 1)V_o - \frac{V_o}{R}$$

$$H(s) \equiv \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(sCR)^2 + 3sCR + 1}$$



$$H(s) = \frac{1}{s^2 + s \frac{3}{CR} + \frac{1}{(CR)^2}}$$

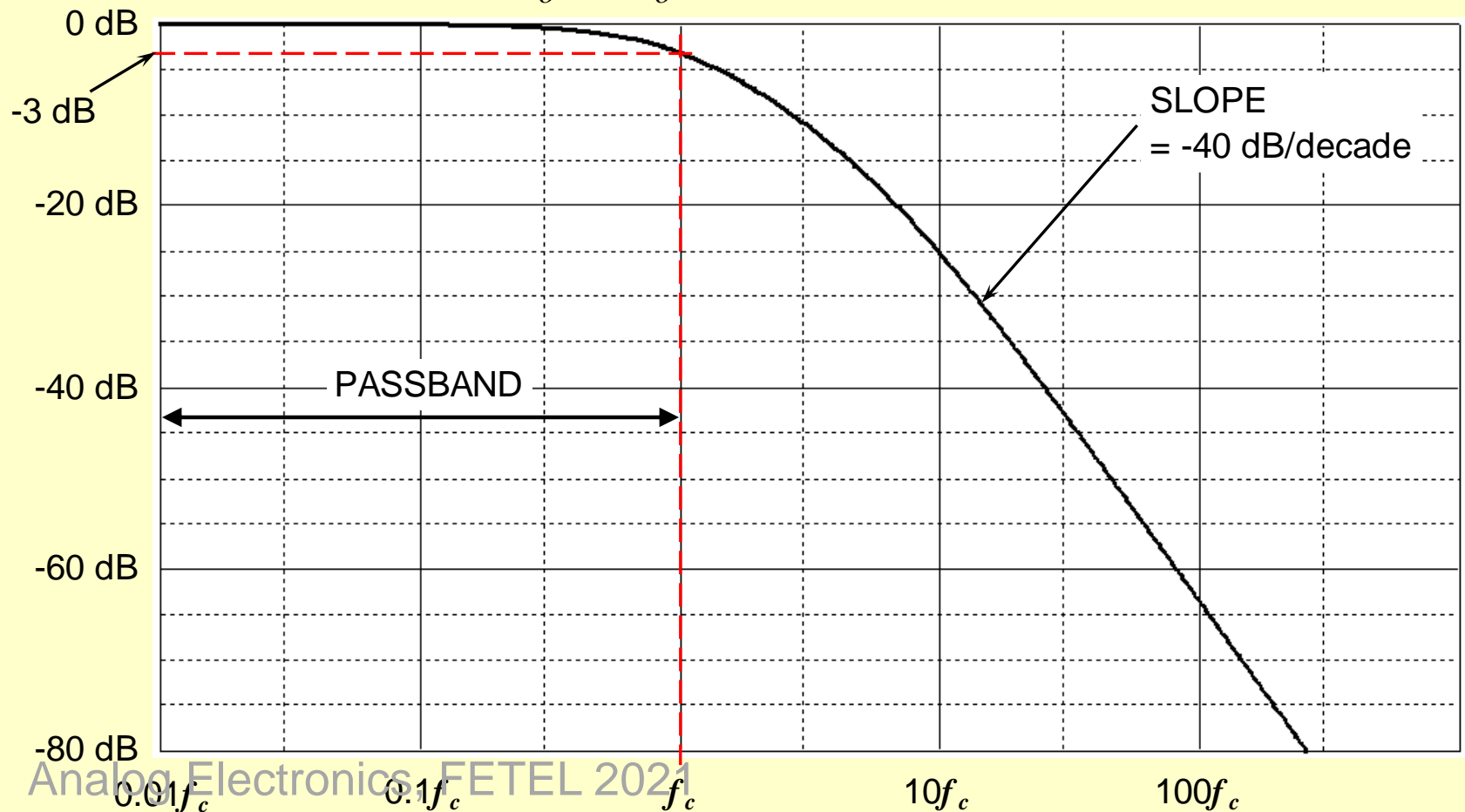


# Lọc thông thấp bậc 2

15

$$H(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + s3\omega_o + \omega_o^2}$$

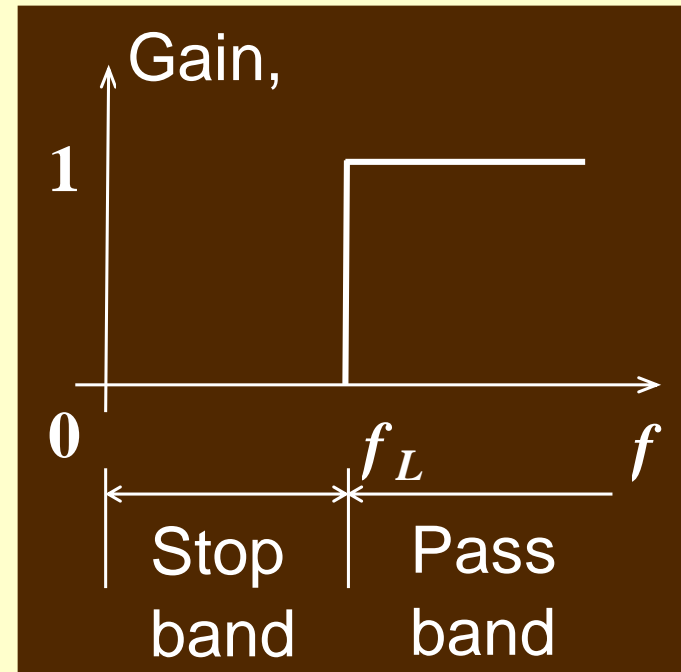
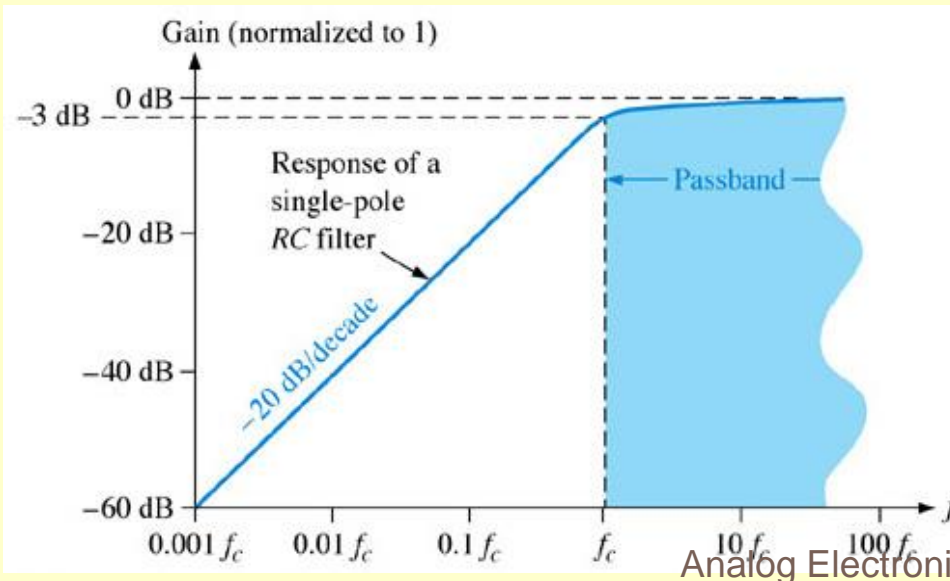
Với  $\left[ \omega_o = \frac{1}{CR} \right]$



# Lọc thông cao (High-Pass Filter)

16

- Cho những tần số lớn hơn tần số  $f_L$  đi qua. ( $f_L$  gọi là tần số cắt).
- Lý tưởng thì đáp ứng bị giảm đột ngột tại tần số cắt.



Đáp ứng lý tưởng

Đáp ứng thực tế



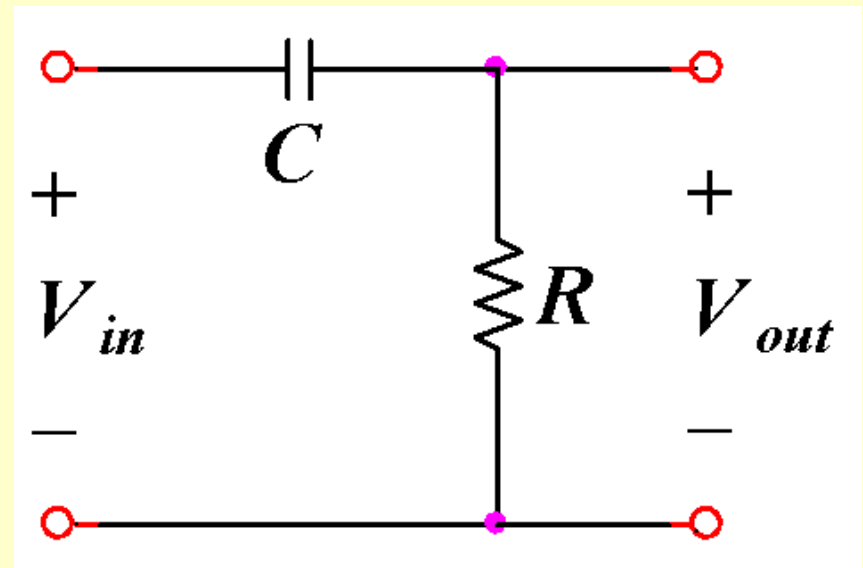
# Lọc thông cao bậc 1

17

$$\begin{aligned}\frac{V_o}{V_i}(s) &= \frac{R}{R + \frac{1}{sC}} \\ &= \frac{s}{s + \frac{1}{CR}} = \frac{s}{s + \omega_o}\end{aligned}$$

$$H(s) = \frac{s}{s + \omega_o}$$

$$\text{Với; } \omega_o = \frac{1}{CR}$$



# Lọc thông cao bậc 1

18

$$H(j\omega) = \frac{j\omega}{j\omega + \omega_o} = \frac{1}{1 - j\frac{\omega_o}{\omega}}$$

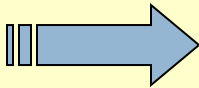
$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_o}{\omega}\right)^2}}$$

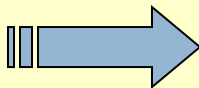
$$|H(j\omega)|_{\text{dB}} = 20 \log \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_o}{\omega}\right)^2}} \right]$$

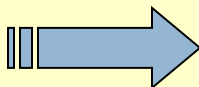
# Lọc thông cao bậc 1

19

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_o}{\omega}\right)^2}}$$

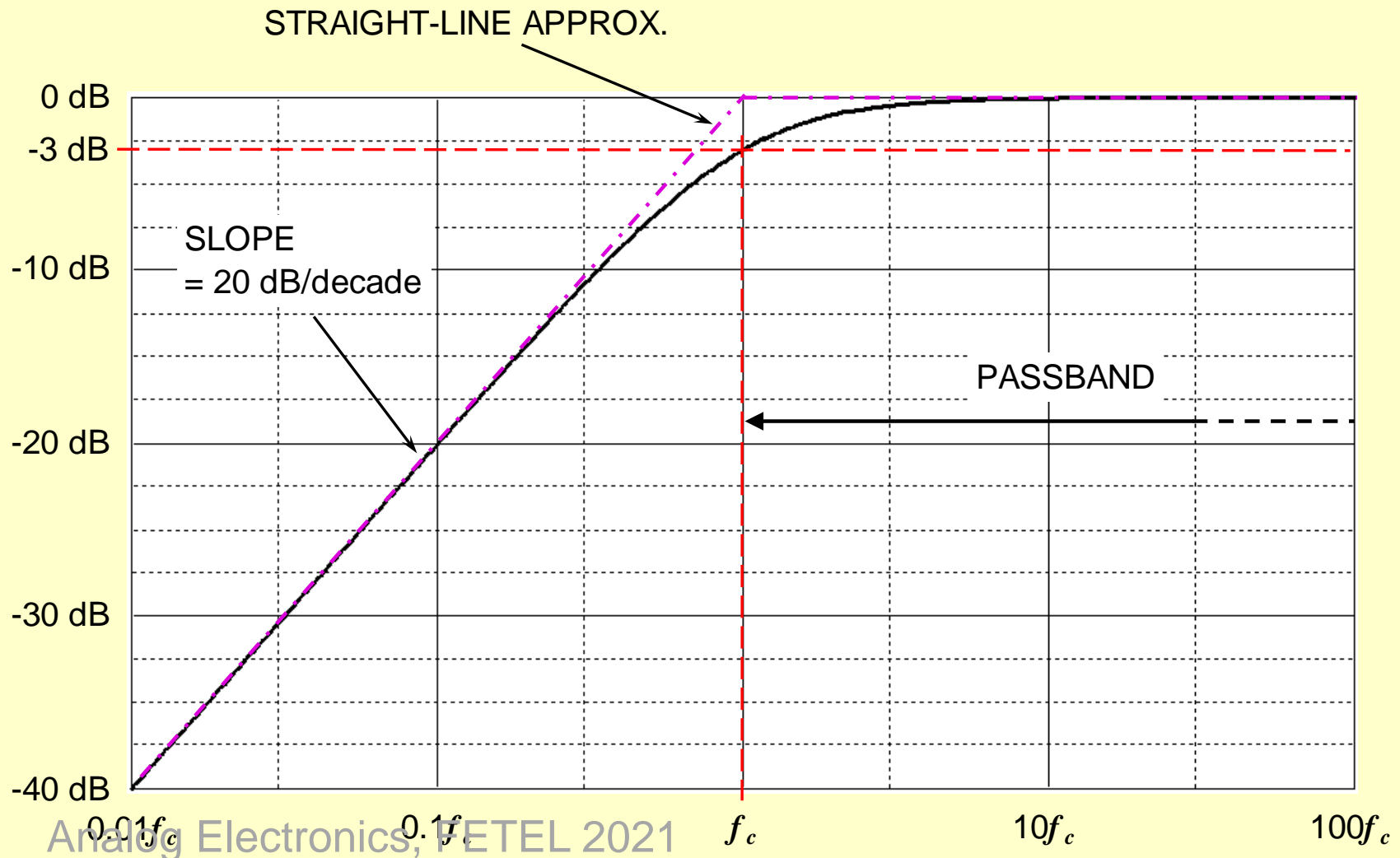
□ Khi  $\omega = 0$    $|H(j\omega)| = -\infty$

□ Khi  $\omega = \infty$    $|H(j\omega)| = 1 = 0 \text{ dB}$

□ Khi  $\omega = \omega_c = \omega_o$    $|H(j\omega)| = 0.707 = -3 \text{ dB}$

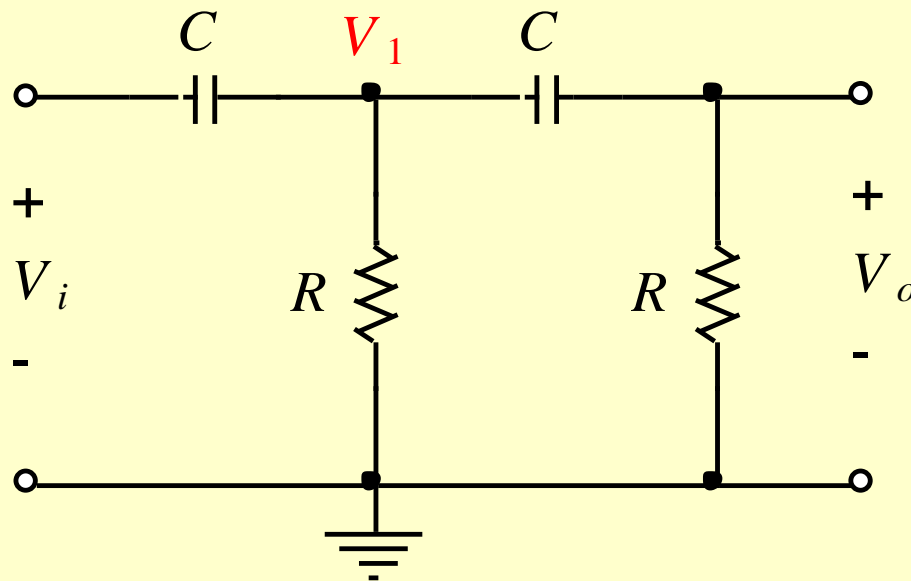
# Lọc thông cao bậc 1

20



# Lọc thông cao bậc 2

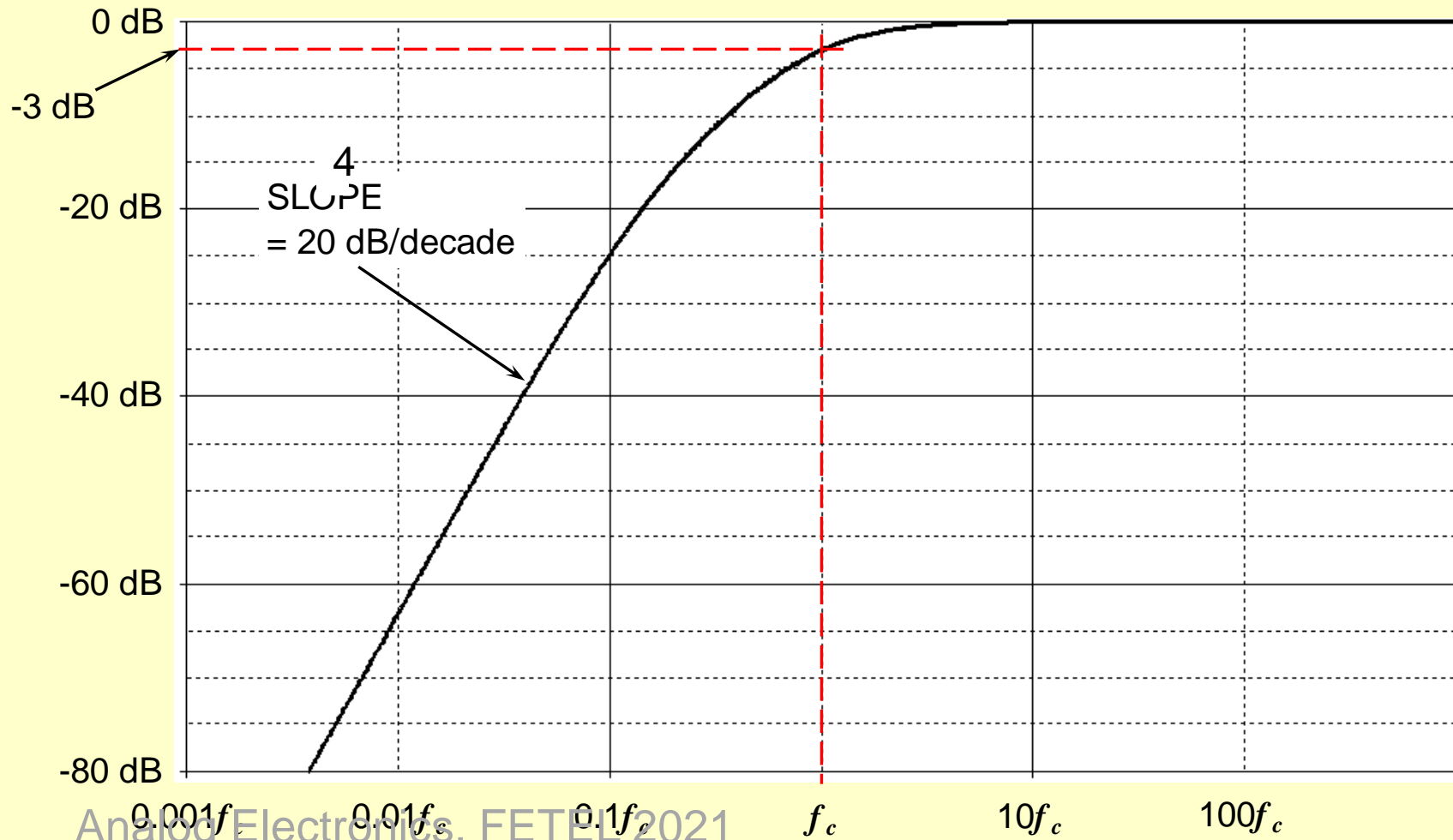
21



$$H(s) = \left( \frac{s^2}{s^2 + s3\omega_o + \omega_o^2} \right) \quad \text{Với} \quad \left[ \omega_o = \frac{1}{CR} \right]$$

# Lọc thông cao bậc 2

22



# Lọc bậc 1 và 2 (1<sup>st</sup> & 2<sup>nd</sup> Order Filter)

23

## Low-Pass Filter (LPF)

$$H(s) = \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$$

$$\square \quad H(j\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_o}}$$

$$\square \quad H(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + s3\omega_o + \omega_o^2}$$

Analog Electronics, FETEL 2021

## High-Pass Filter

$$\square \quad H(s) = \frac{s}{s + \omega_c}$$

$$\square \quad H(j\omega) = \frac{1}{1 - j \frac{\omega_o}{\omega}}$$

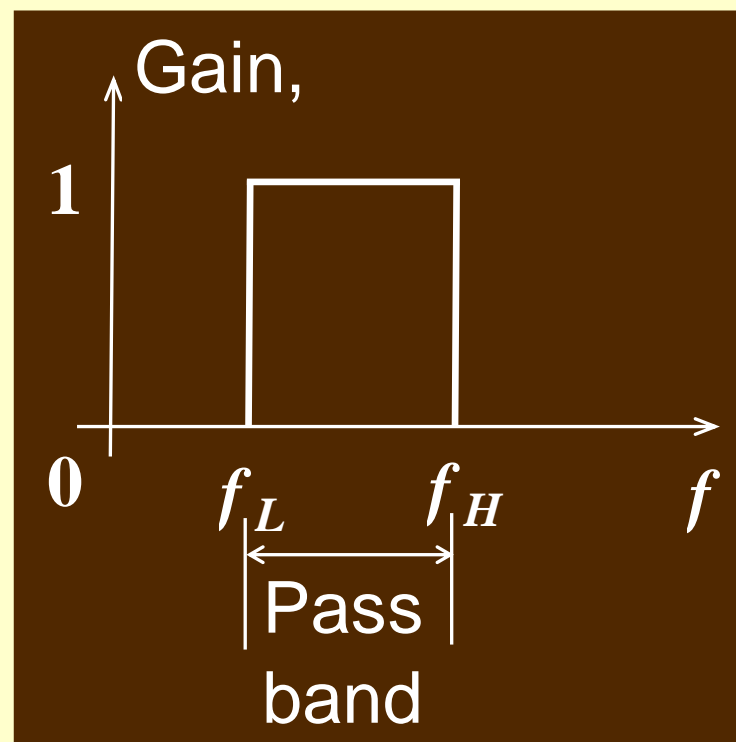
$$H(s) = \left( \frac{s^2}{s^2 + s3\omega_o + \omega_o^2} \right)$$

$\square$

# Lọc thông dải (Band-Pass Filter)

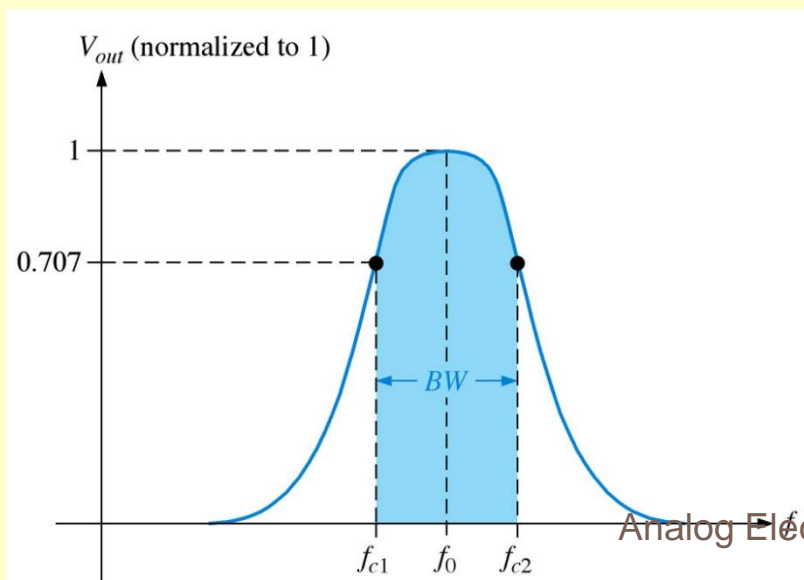
24

- Cho những tần số trong dải từ ( $f_L$ ) đến ( $f_H$ ) đi qua.
- $f_L$  và  $f_H$  là các tần số cắt dưới và trên



Ideal response

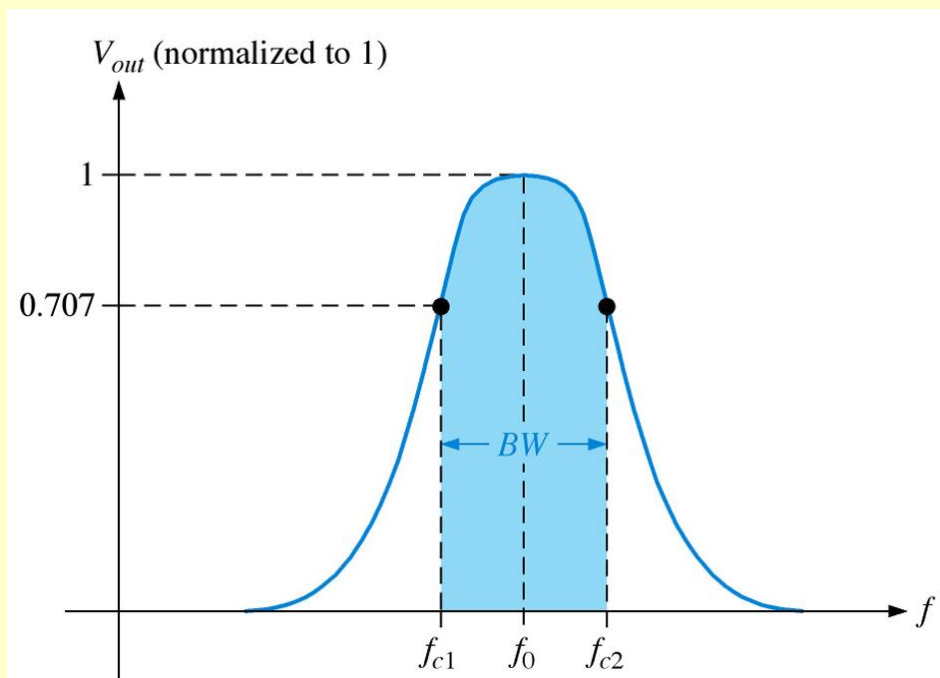
Actual response





# Lọc thông dải

25



- Băng thông, Dải thông (Bandwidth, BW)

$$BW = f_{c2} - f_{c1}$$

- Tần số trung tâm (Center frequency)

$$f_0 = \sqrt{f_{c1} f_{c2}}$$

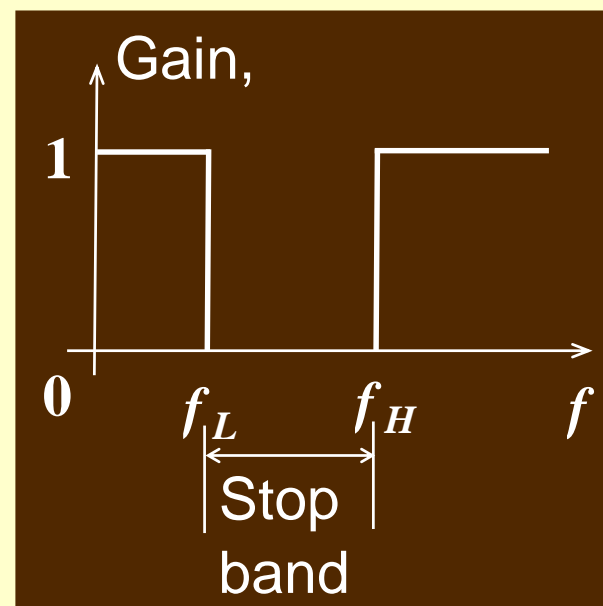
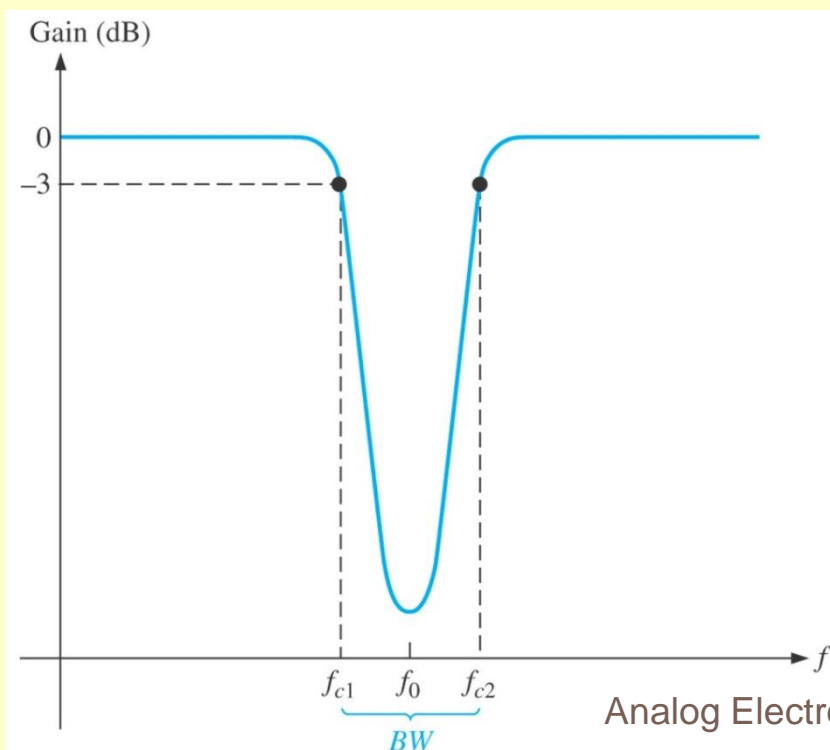
- Hệ số phẩm chất, Quality factor (Q) là tỉ số của tần số trung tâm và băng thông

$$Q = \frac{f_0}{BW}$$

# Lọc chặn/triệt dải

26

- Cho qua những thành phần tần số nhỏ hơn  $f_{c1}$  ( $f_L$ ) và lớn hơn  $f_{c2}$  ( $f_H$ )



Lý tưởng

Thực tế

# Đặc trưng đáp ứng của bộ lọc

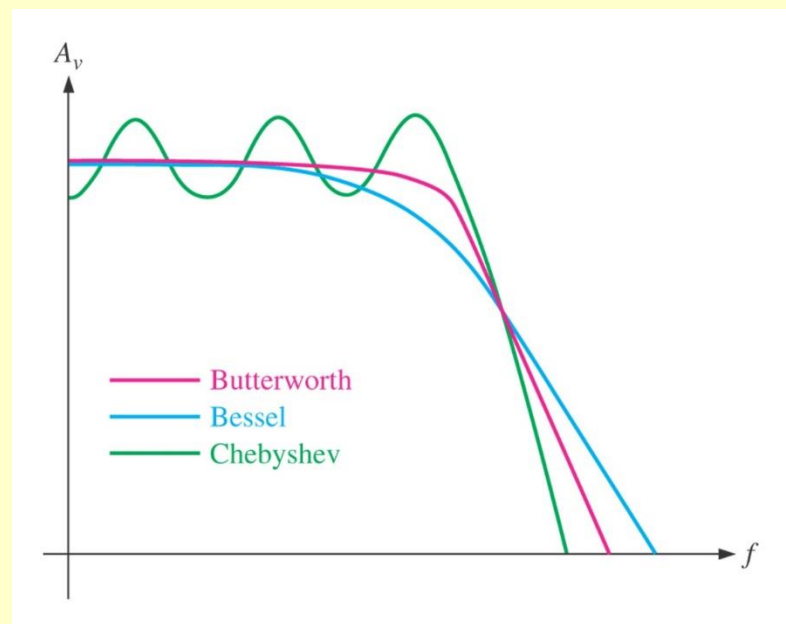
27

- Đặc trưng này được phân biệt dựa trên dạng đáp ứng của từng bộ lọc

- Độ phẳng trong vùng passband
- Độ suy giảm ngoài vùng passband

- Ba loại lọc cơ bản:

1. Butterworth
2. Bessel
3. Chebyshev



# Đặc trưng đáp ứng của bộ lọc

28

1. Butterworth
  - Đáp ứng biên độ rất phẳng trong vùng passband.
  - Suy giảm -20 dB trên mỗi decade (trên mỗi bậc lọc)
  - Thường dùng khi cần phải có độ lợi giống nhau trong vùng passband.
2. Chebyshev
  - Có vọt lố (overshoot) hay gợn sóng (ripples) trong vùng passband.
  - Tốc độ suy giảm nhiều hơn -20 dB/decade.
  - Với cùng yêu cầu về tốc độ suy giảm, thiết kế của lọc Chebyshev thường cần ít cực và mạch điện đơn giản hơn Butterworth.
3. Bessel
  - Có đáp ứng pha tuyến tính
  - Thích hợp để lọc tín hiệu sóng vuông. (← Tại sao? → xem như Bài tập)

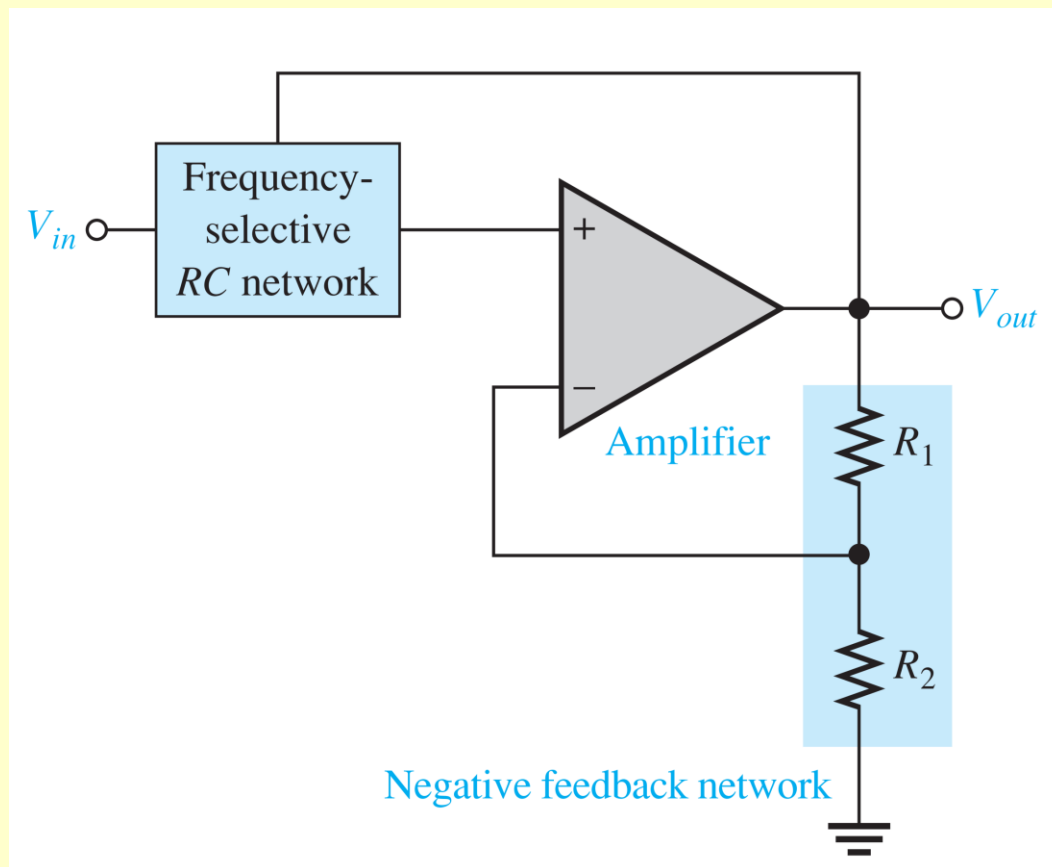
# Đặc trưng đáp ứng của bộ lọc

29

## Damping Factor

- Sẽ quyết định loại đáp ứng của bộ lọc là Butterworth, Chebyshev, hay Bessel.

$$DF = 2 - \frac{R_1}{R_2}$$



# Đặc trưng đáp ứng của bộ lọc

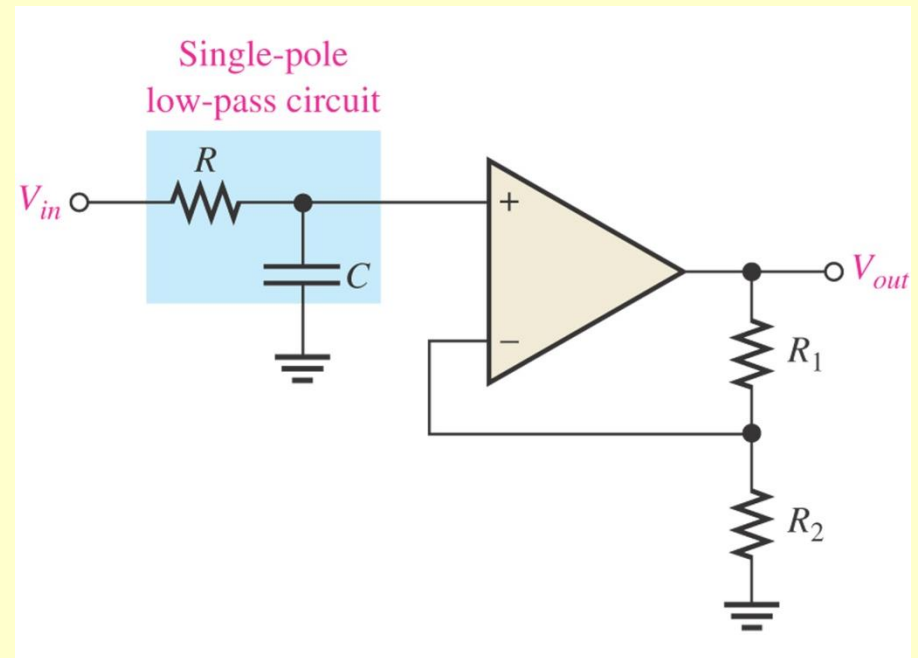
30

## Tần số cắt, $f_c$

- Tần số cắt sẽ được quyết định bởi giá trị của R và C trong mạch “frequency-selective RC network”.
- Với bộ lọc đơn cực/một cực (first-order), tần số cắt là:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

- Công thức trên đúng cho cả lọc thông thấp và thông cao.

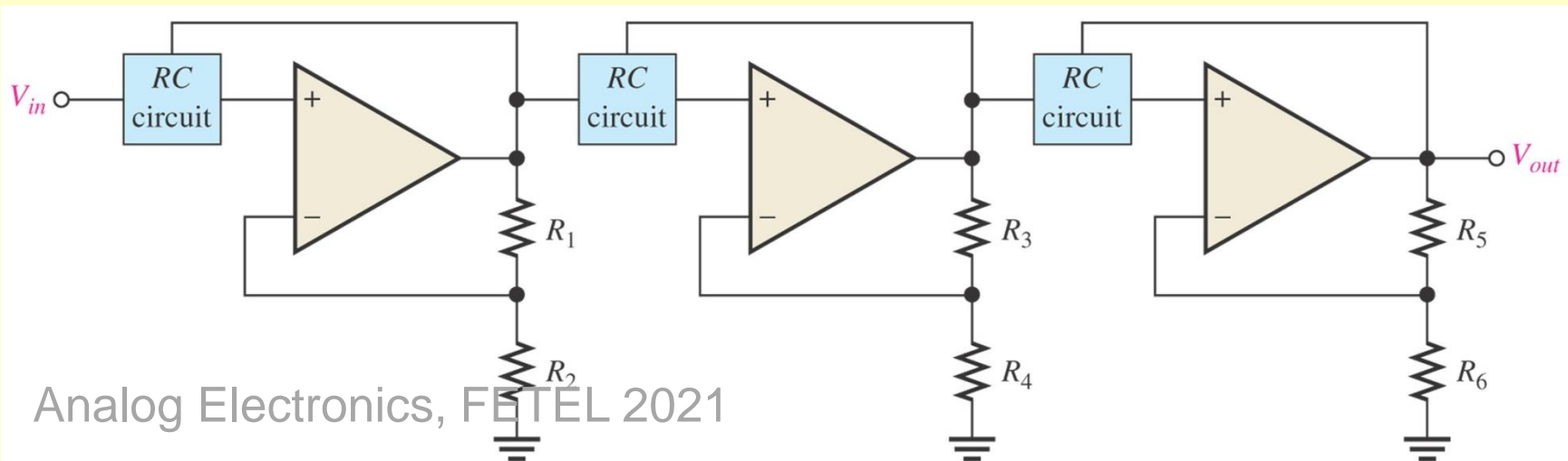


# Đặc trưng đáp ứng của bộ lọc

31

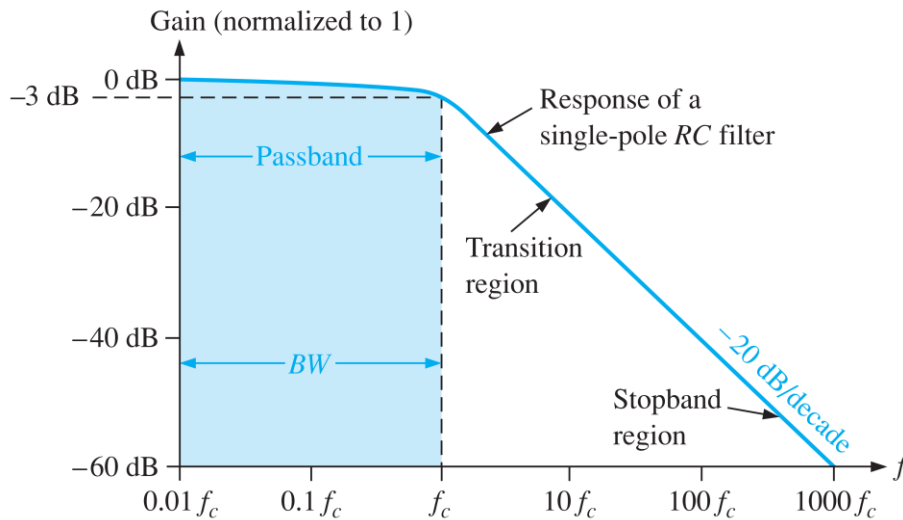
## Roll-off rate, tốc độ suy giảm

- Tốc độ suy giảm càng nhanh khi có càng nhiều cực
- Mỗi bộ RC trong mạch lọc thể hiện một cực
- Ghép nối tiếp các bộ lọc sẽ làm tăng số cực.
- Mỗi cực sẽ làm cho đáp ứng biên độ giảm  $-20$  dB/decade

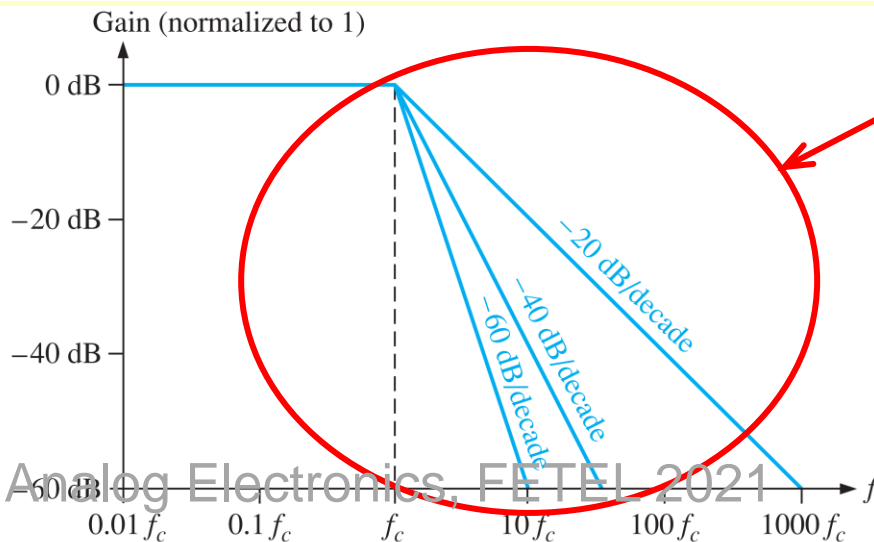


# Đặc trưng đáp ứng của bộ lọc

32



Độ suy giảm phụ thuộc vào số cực

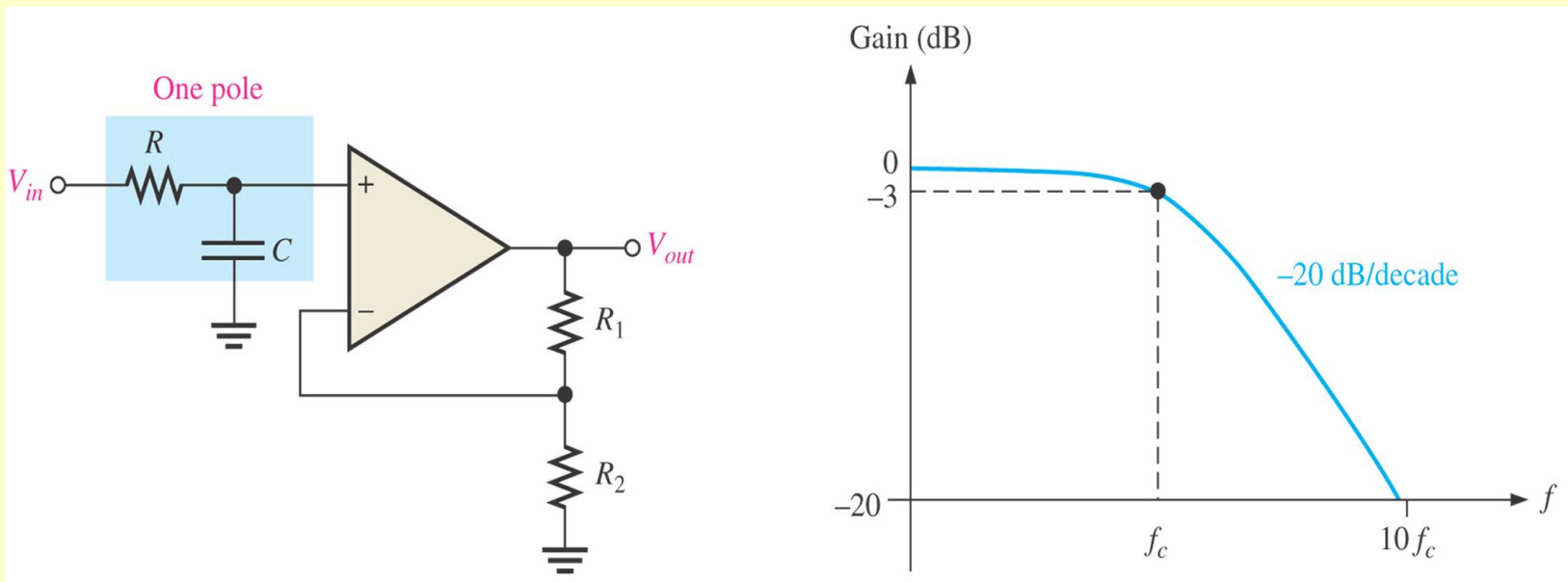




# Lọc thông thấp (Low-Pass Filter)

33

## □ Mạch lọc đơn cực (Single-Pole Filter)



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$A_{cl} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

# Lọc thông thấp (Low-Pass Filter)

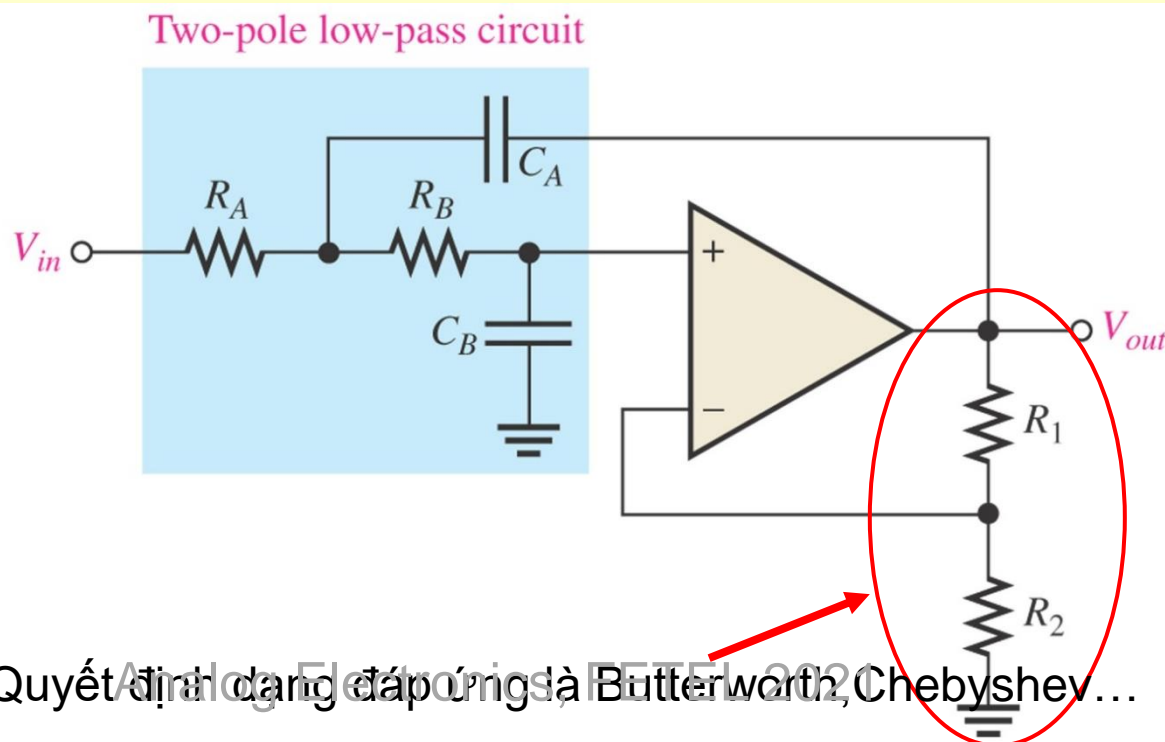
34

- Mạch lọc Sallen-Key
  - ▣ Bậc hai, second-order (two-pole) filter
  - ▣ Suy giảm -40dB / decade

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_A R_B C_A C_B}}$$

Với  $R_A = R_B = R$   
và  $C_A = C_B = C$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



# Bảng các hệ số của các mạch lọc Butterworth

35

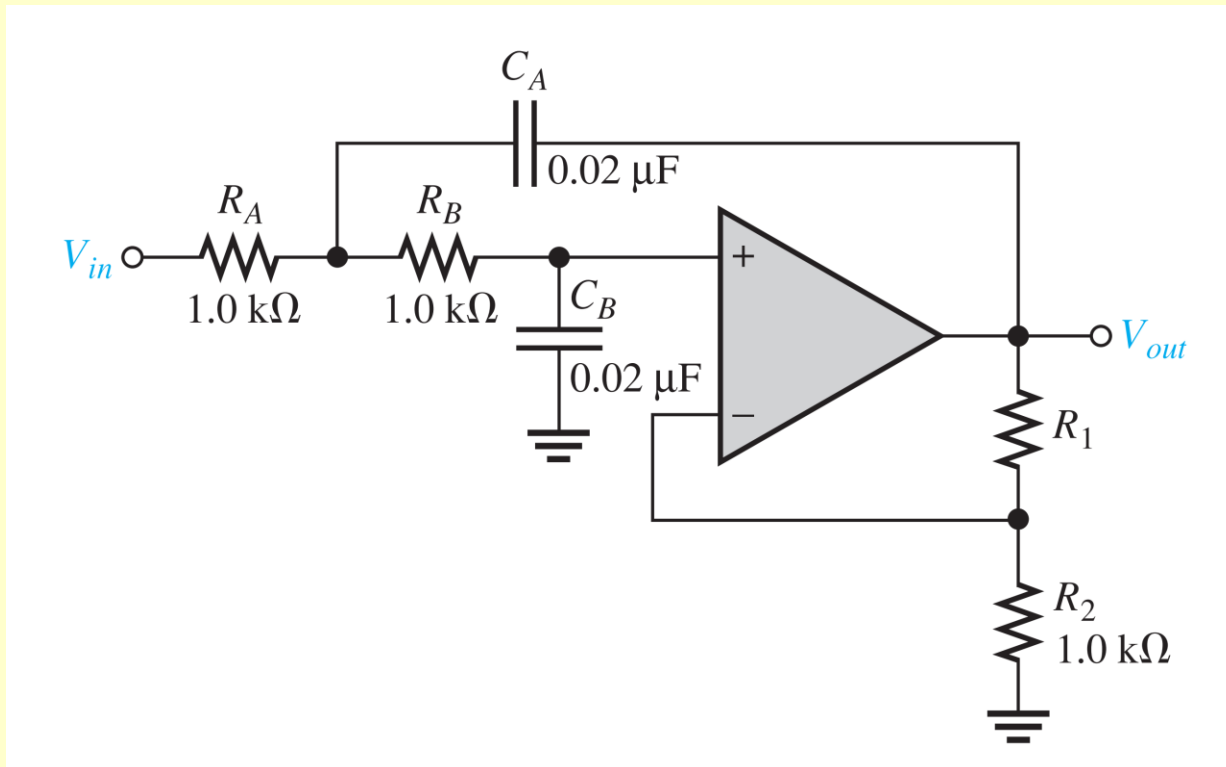
Do có đáp ứng phẳng nhất trong số các bộ lọc nên lọc Butterworth được sử dụng rộng rãi nhất → Sẽ là bộ lọc được đề cập tới trong môn học này

ORDER	ROLL-OFF DB/DECADE	1ST STAGE			2ND STAGE			3RD STAGE		
		POLES	<i>DF</i>	$R_1/R_2$	POLES	<i>DF</i>	$R_3/R_4$	POLES	<i>DF</i>	$R_5/R_6$
1	-20	1	Optional							
2	-40	2	1.414	0.586						
3	-60	2	1.00	1	1	1.00	1			
4	-80	2	1.848	0.152	2	0.765	1.235			
5	-100	2	1.00	1	2	1.618	0.382	1	0.618	1.382
6	-120	2	1.932	0.068	2	1.414	0.586	2	0.518	1.482

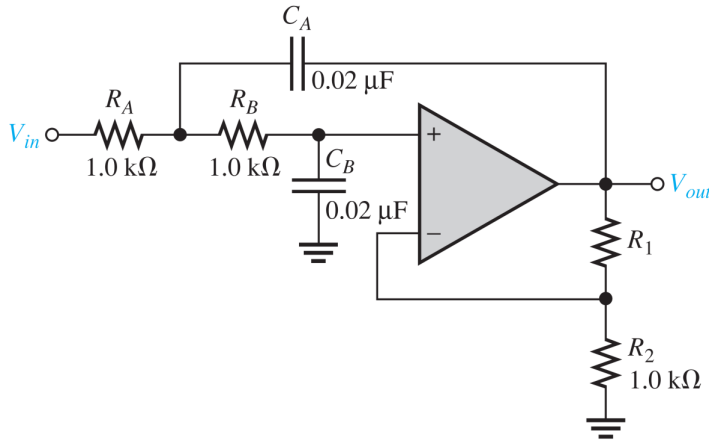
# Ví dụ

36

- Tìm tần số cắt và định  $R_1$  để đáp ứng mạch lọc là Butterworth



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1.0 \text{ k}\Omega)(0.02 \text{ }\mu\text{F})} = 7.96 \text{ kHz}$$



ORDER	ROLL-OFF DB/DECADE	1ST STAGE		
		POLES	DF	$R_1/R_2$
1	-20	1	Optional	
2	-40	2	1.414	0.586
3	-60	2	1.00	1

$$R_1 = 0.586R_2 = 0.586(1.0 \text{ k}\Omega) = 586 \text{ }\Omega$$

→ Giá trị điện trở chuẩn là?

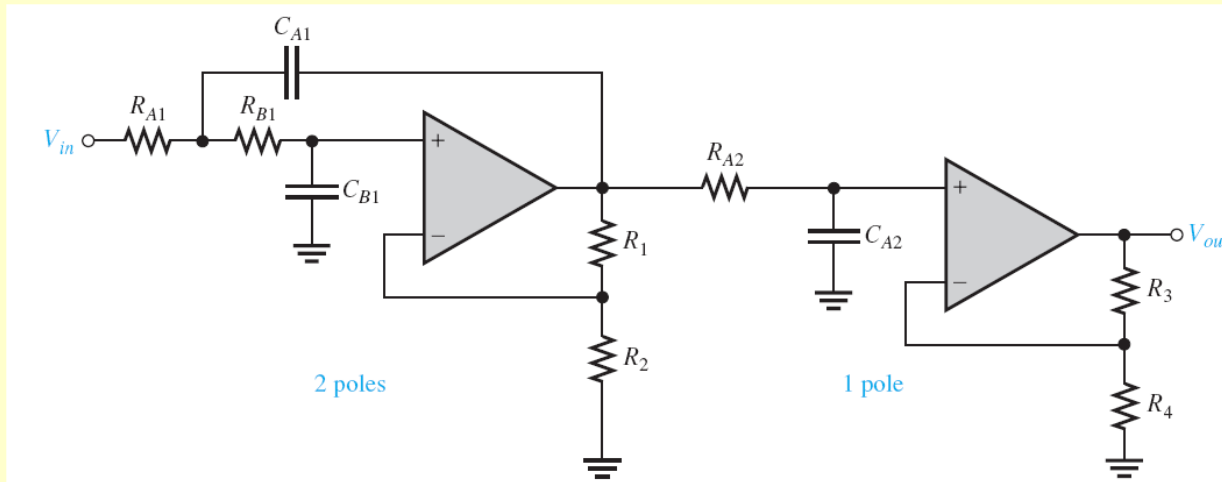
Standard Resistor Values ( $\pm 5\%$ )						
1.0	10	100	1.0K	10K	100K	1.0M
1.1	11	110	1.1K	11K	110K	1.1M
1.2	12	120	1.2K	12K	120K	1.2M
1.3	13	130	1.3K	13K	130K	1.3M
1.5	15	150	1.5K	15K	150K	1.5M
1.6	16	160	1.6K	16K	160K	1.6M
1.8	18	180	1.8K	18K	180K	1.8M
2.0	20	200	2.0K	20K	200K	2.0M
2.2	22	220	2.2K	22K	220K	2.2M
2.4	24	240	2.4K	24K	240K	2.4M
2.7	27	270	2.7K	27K	270K	2.7M
3.0	30	300	3.0K	30K	300K	3.0M
3.3	33	330	3.3K	33K	330K	3.3M
3.6	36	360	3.6K	36K	360K	3.6M
3.9	39	390	3.9K	39K	390K	3.9M
4.3	43	430	4.3K	43K	430K	4.3M
4.7	47	470	4.7K	47K	470K	4.7M
5.1	51	510	5.1K	51K	510K	5.1M
5.6	56	560	5.6K	56K	560K	5.6M
6.2	62	620	6.2K	62K	620K	6.2M
6.8	68	680	6.8K	68K	680K	6.8M
7.5	75	750	7.5K	75K	750K	7.5M
8.2	82	820	8.2K	82K	820K	8.2M
9.1	91	910	9.1K	91K	910K	9.1M

Standard Capacitor Values ( $\pm 10\%$ )						
10pF	100pF	1000pF	.010 $\mu$ F	.10 $\mu$ F	1.0 $\mu$ F	10 $\mu$ F
12pF	120pF	1200pF	.012 $\mu$ F	.12 $\mu$ F	1.2 $\mu$ F	
15pF	150pF	1500pF	.015 $\mu$ F	.15 $\mu$ F	1.5 $\mu$ F	
18pF	180pF	1800pF	.018 $\mu$ F	.18 $\mu$ F	1.8 $\mu$ F	
22pF	220pF	2200pF	.022 $\mu$ F	.22 $\mu$ F	2.2 $\mu$ F	22 $\mu$ F
27pF	270pF	2700pF	.027 $\mu$ F	.27 $\mu$ F	2.7 $\mu$ F	
33pF	330pF	3300pF	.033 $\mu$ F	.33 $\mu$ F	3.3 $\mu$ F	33 $\mu$ F
39pF	390pF	3900pF	.039 $\mu$ F	.39 $\mu$ F	3.9 $\mu$ F	
47pF	470pF	4700pF	.047 $\mu$ F	.47 $\mu$ F	4.7 $\mu$ F	47 $\mu$ F
56pF	560pF	5600pF	.056 $\mu$ F	.56 $\mu$ F	5.6 $\mu$ F	
68pF	680pF	6800pF	.068 $\mu$ F	.68 $\mu$ F	6.8 $\mu$ F	
82pF	820pF	8200pF	.082 $\mu$ F	.82 $\mu$ F	8.2 $\mu$ F	

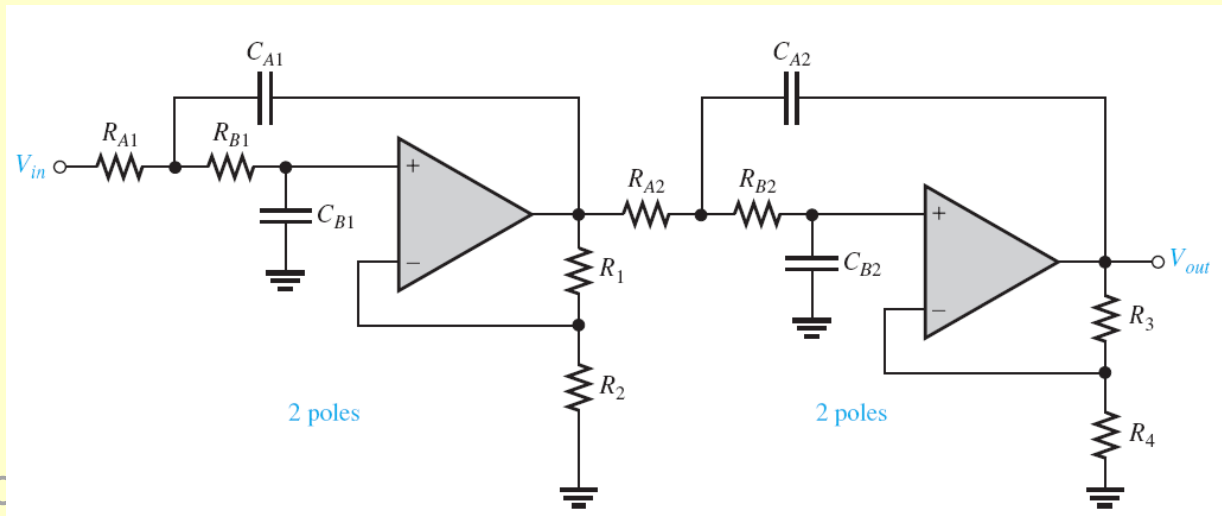
# Cascaded Low-Pass Filters

39

Bậc 3



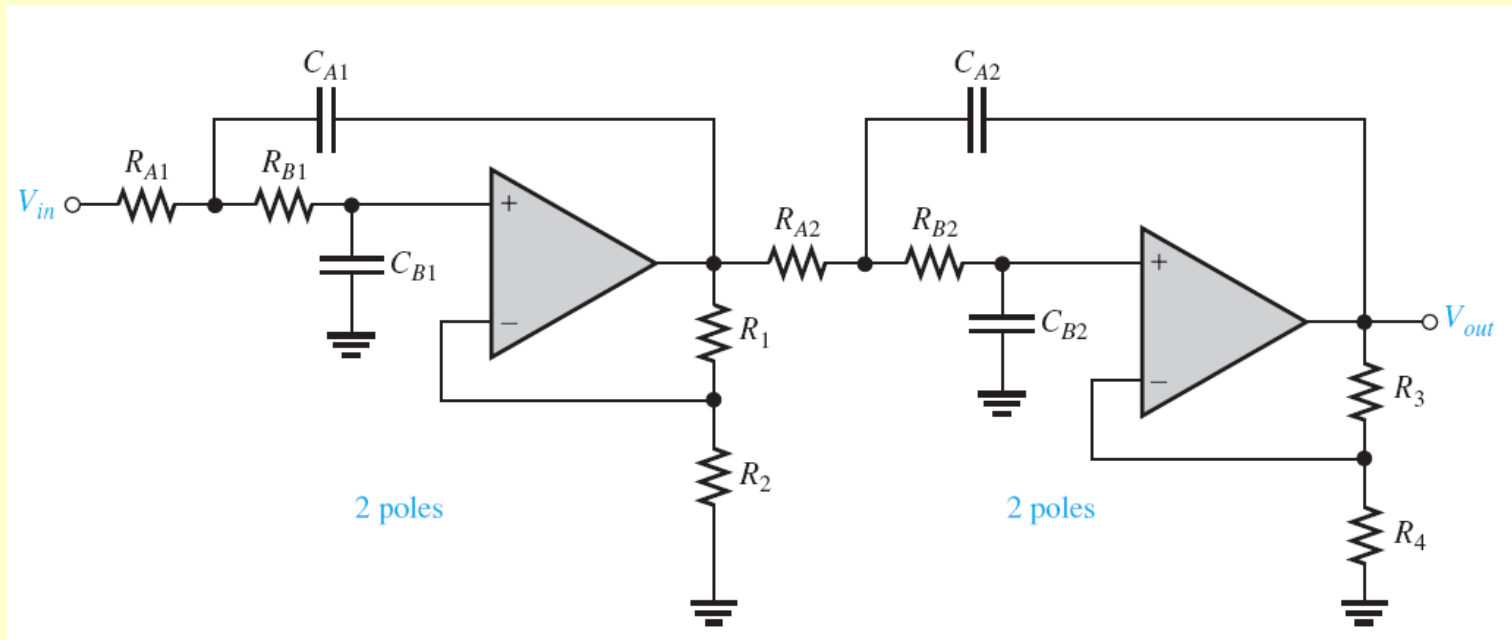
Bậc 4



Analogue

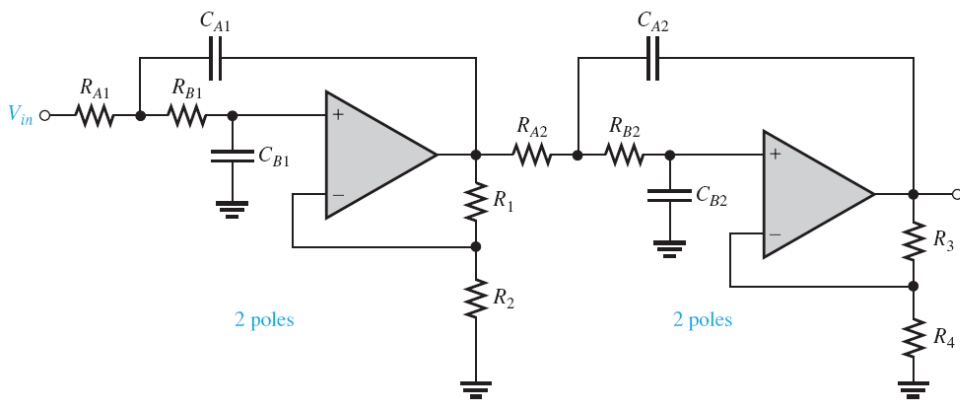
# Ví dụ

40



Thiết kế lọc bậc 4: Tìm C để  $f_c$  là 2680 Hz , tất cả R trong mạch RC có giá trị 1.8 k $\Omega$ . Để có đáp ứng Butterworth, hãy tìm giá trị các điện trở hồi tiếp.





ORDER	ROLL-OFF DB/DECADE	1ST STAGE			2ND STAGE			3RD STAGE		
		POLES	DF	$R_1/R_2$	POLES	DF	$R_3/R_4$	POLES	DF	$R_5/R_6$
1	-20	1	Optional							
2	-40	2	1.414	0.586						
3	-60	2	1.00	1	1	1.00	1			
4	-80	2	1.848	0.152	2	0.765	1.235			
5	-100	2	1.00	1	2	1.618	0.382	1	0.618	1.382
6	-120	2	1.932	0.068	2	1.414	0.586	2	0.518	1.482

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$C = \frac{1}{2\pi R f_c} = \frac{1}{2\pi (1.8 \text{ k}\Omega)(2680 \text{ Hz})} = 0.033 \mu\text{F}$$

$$C_{A1} = C_{B1} = C_{A2} = C_{B2} = \mathbf{0.033 \mu\text{F}}$$

Để đơn giản, cho:  $R_2 = R_4 = 1.8 \text{ k}\Omega$

Tầng 1:  $DF = 1.848$  and  $R_1/R_2 = 0.152$ .

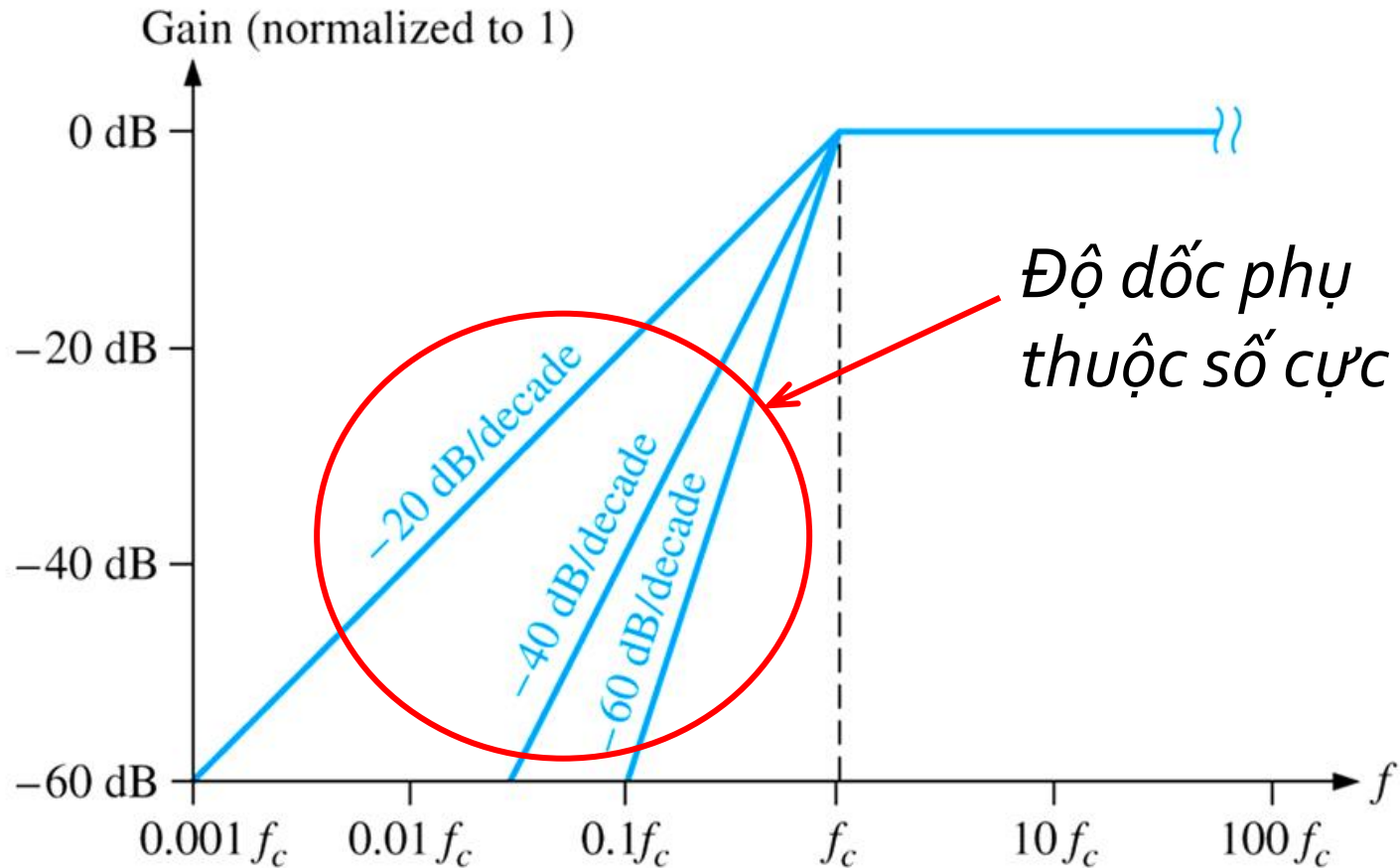
$$R_1 = 0.152R_2 = 0.152(1800 \Omega) = \mathbf{274 \Omega}$$

Tầng 2:  $DF = 0.765$  and  $R_3/R_4 = 1.235$ .

$$R_3 = 1.235R_4 = 1.235(1800 \Omega) = \mathbf{2.22 \text{ k}\Omega}$$

# Lọc thông cao tích cực

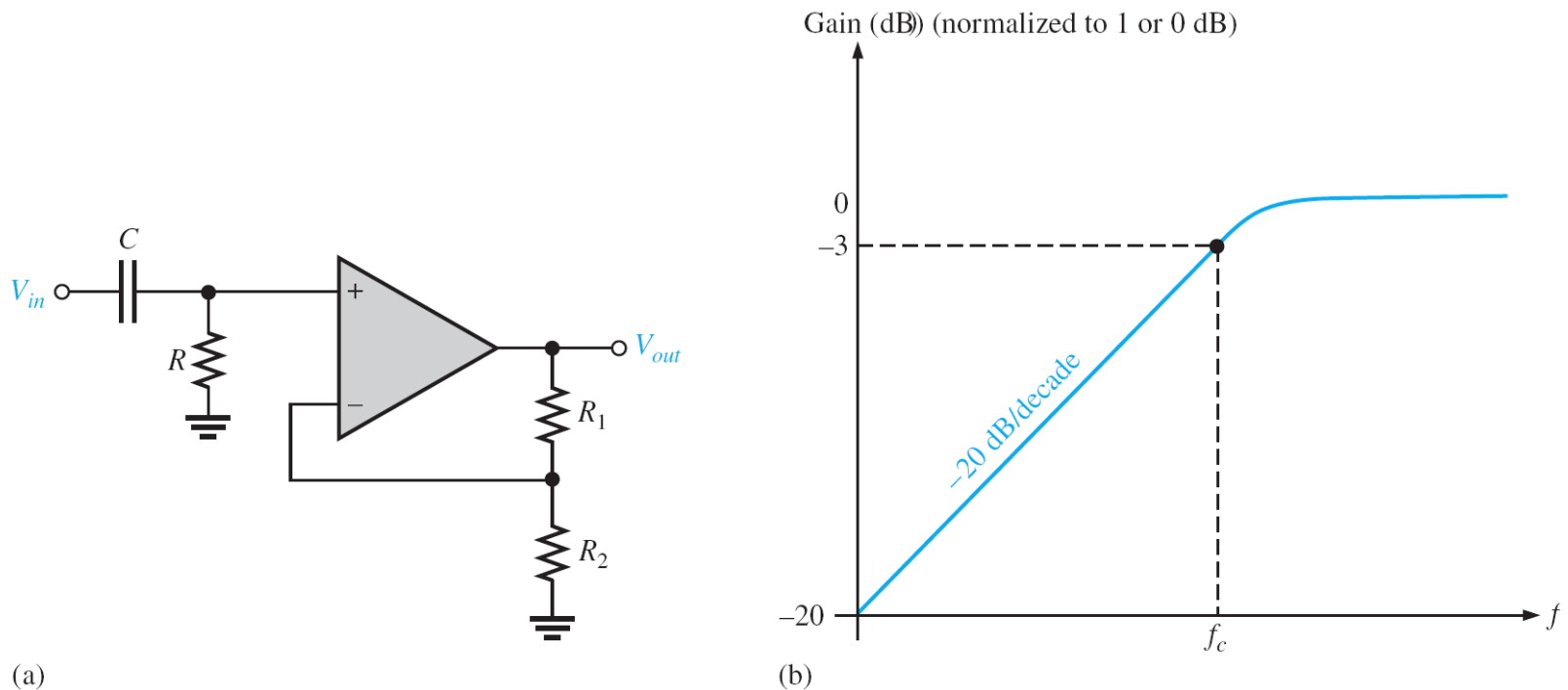
42



Idealized high-pass filter responses

# Lọc thông cao tích cực 1 cực (bậc 1)

43



Tần số cắt:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$A_{cl} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

# Lọc thông cao tích cực bậc 2

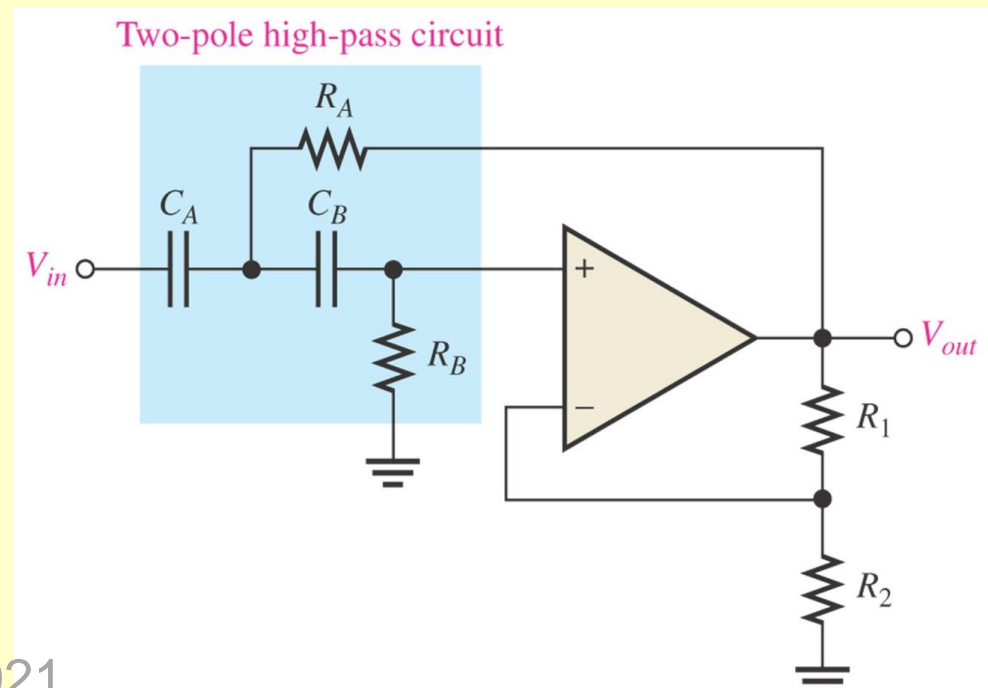
44

- Cấu hình mạch lọc Sallen-Key
  - ▣ second-order (two-pole) filter
  - ▣ roll-off -40dB per decade

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_A R_B C_A C_B}}$$

Cho  $R_A = R_B = R$   
và  $C_A = C_B = C$

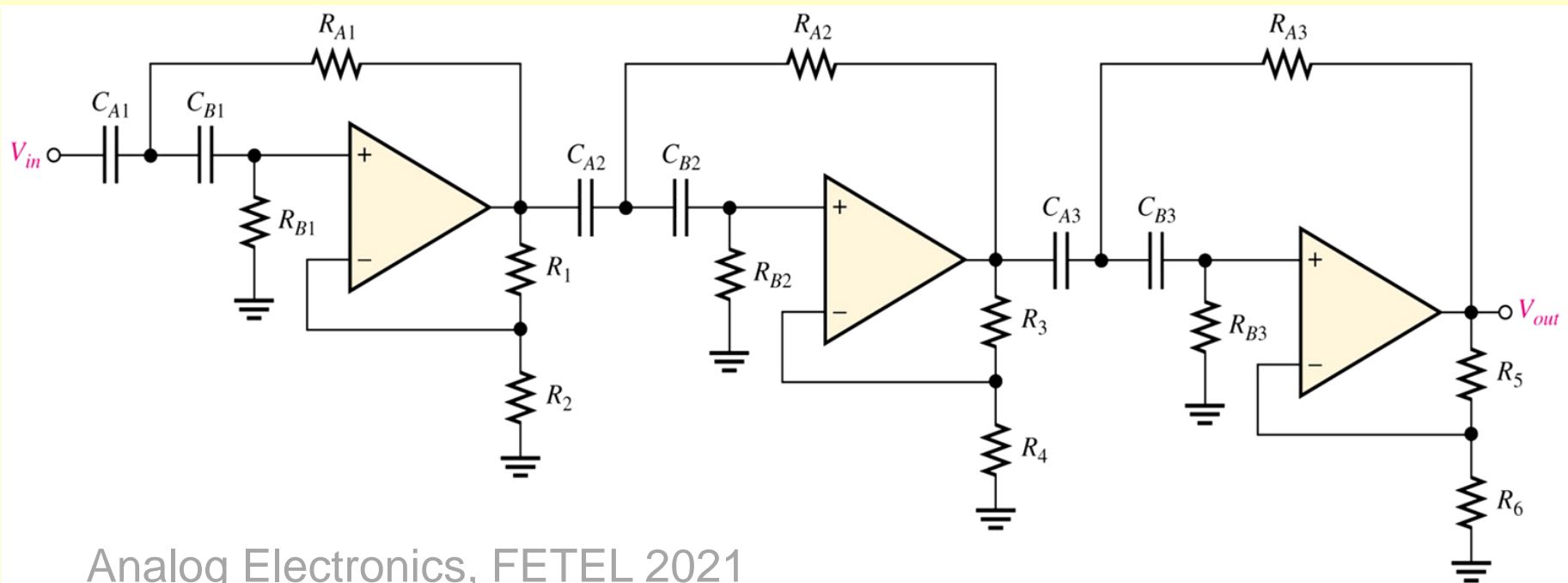
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



# Lọc thông cao tích cực bậc cao

45

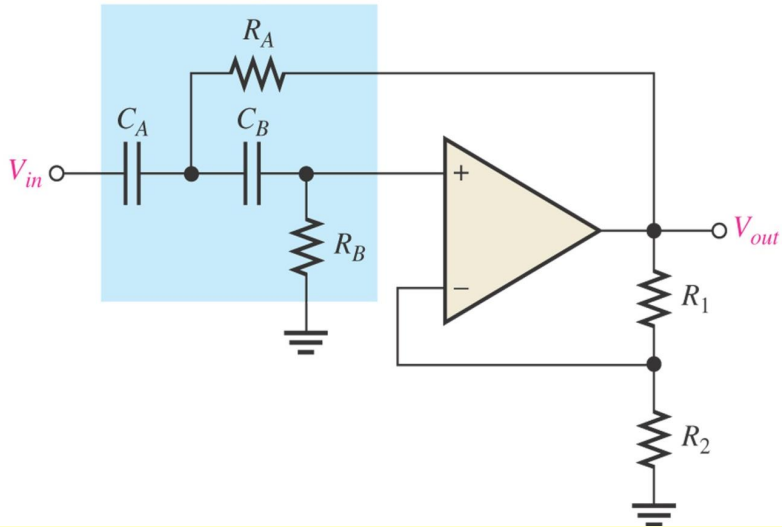
- Cascaded HPF – Six pole
  - ▣ cascade 3 Sallen-Key two-pole stages
  - ▣ roll-off -120 dB per decade



# Ví dụ

46

Two-pole high-pass circuit



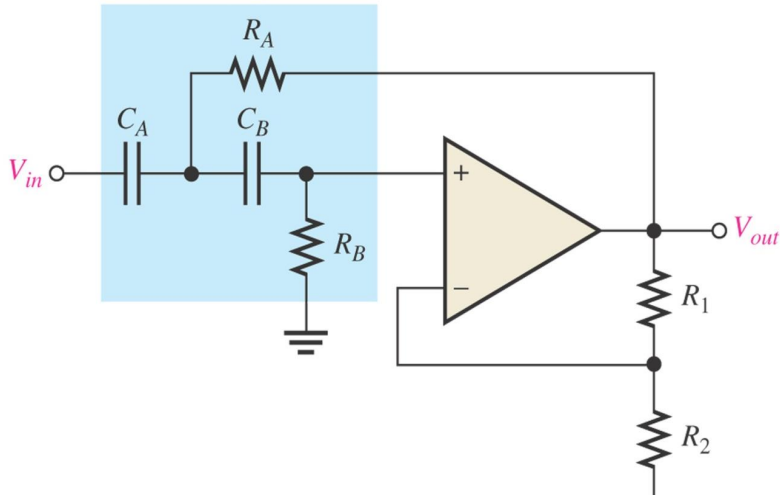
Thiết kế lọc Sallen-Key high-pass filter có đáp ứng Butterworth bậc 2, tần số cắt 10 kHz.

ORDER	ROLL-OFF DB/DECADE	1ST STAGE			2ND STAGE			3RD STAGE		
		POLES	DF	$R_1/R_2$	POLES	DF	$R_3/R_4$	POLES	DF	$R_5/R_6$
1	-20	1	Optional							
2	-40	2	1.414	0.586						
3	-60	2	1.00	1	1	1.00	1			
4	-80	2	1.848	0.152	2	0.765	1.235			
5	-100	2	1.00	1	2	1.618	0.382	1	0.618	1.382
6	-120	2	1.932	0.068	2	1.414	0.586	2	0.518	1.482

# Ví dụ

47

Two-pole high-pass circuit



Thiết kế lọc Sallen-Key high-pass filter có đáp ứng Butterworth bậc 2, tần số cắt 10 kHz.

ORDER	ROLL-OFF DB/DECADE	1ST STAGE			2ND STAGE			3RD STAGE		
		POLES	DF	$R_1/R_2$	POLES	DF	$R_3/R_4$	POLES	DF	$R_5/R_6$
1	-20	1	Optional							
2	-40	2	1.414	0.586						
3	-60	2	1.00	1	1	1.00	1			
4	-80	2	1.848	0.152	2	0.765	1.235			
5	-100	2	1.00	1	2	1.618	0.382	1	0.618	1.382
6	-120	2	1.932	0.068	2	1.414	0.586	2	0.518	1.482

$$R = R_A = R_B = R_2 = 3.3 \text{ k}\Omega \text{ tùy ý}$$

$$f_c = 1/2\pi RC.$$

$$C = C_A = C_B = \frac{1}{2\pi R f_c} = \frac{1}{2\pi (3.3 \text{ k}\Omega)(10 \text{ kHz})} = 0.0048 \text{ }\mu\text{F}$$

Butterworth response  $\Rightarrow$  damping factor  $\Rightarrow 1.414$   $R_1/R_2 = 0.586$ .

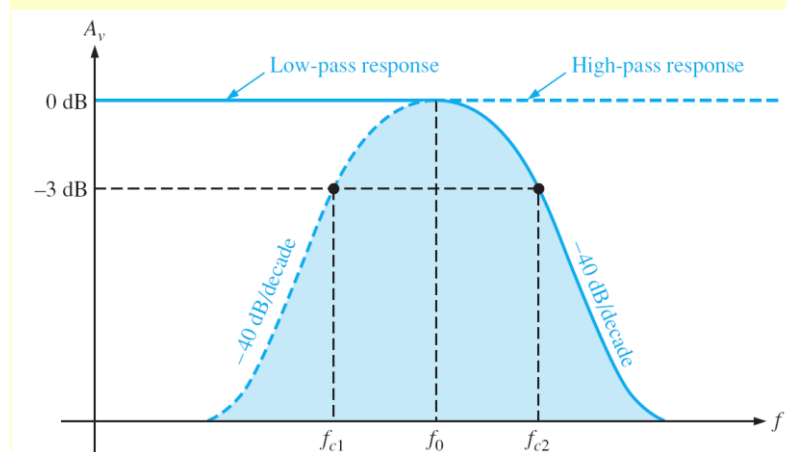
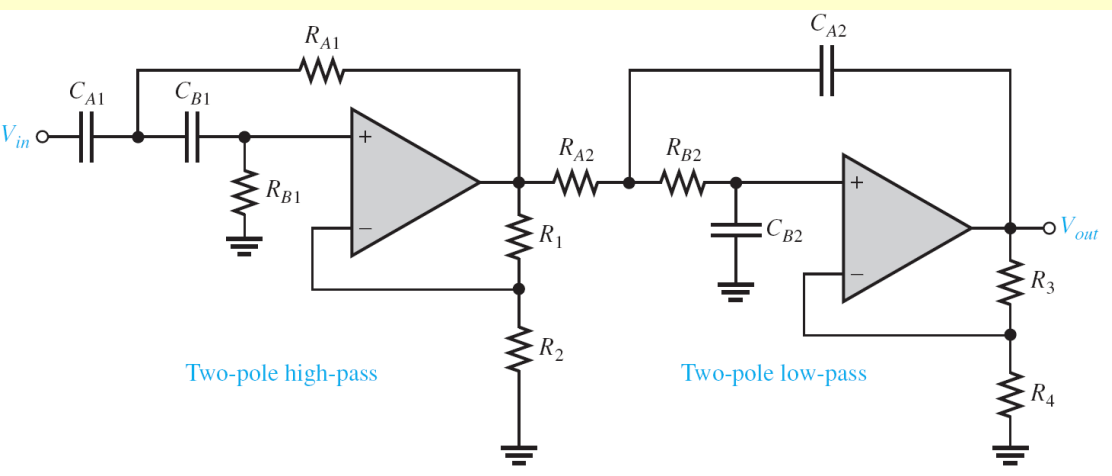
$$R_1 = 0.586 R_2 = 0.586 (3.3 \text{ k}\Omega) = 1.93 \text{ k}\Omega$$

Nếu chọn  $R_1 = 3.3 \text{ k}\Omega$ ,

$$\Rightarrow R_2 = \frac{R_1}{0.586} = \frac{3.3 \text{ k}\Omega}{0.586} = 5.63 \text{ k}\Omega$$

# Bộ lọc thông dải

48



$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{A1}R_{B1}C_{A1}C_{B1}}}$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{A2}R_{B2}C_{A2}C_{B2}}}$$

Cách 1: nối tiếp high-pass và low-pass  
 Cách 2: Dùng nhiều đường hồi tiếp

$$f_0 = \sqrt{f_{c1}f_{c2}}$$



# Bộ lọc thông dải

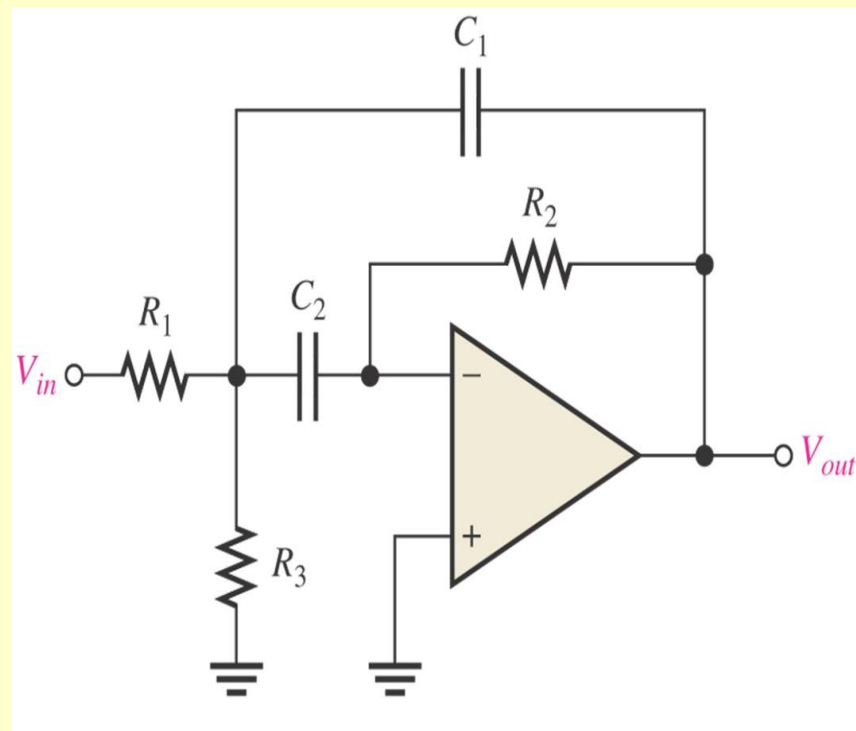
49

## Multiple-Feedback BPF

(Dùng nhiều đường hồi tiếp)

- ▣ Mạch low-pass gồm  $R_1$  và  $C_1$ .
- ▣ Mạch high-pass gồm  $R_2$  và  $C_2$ .
- ▣ Đường hồi tiếp gồm  $C_1$  và  $R_2$ .
- ▣ Tần số trung tâm:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{(R_1 // R_3) R_2 C_1 C_2}}$$



Nếu chọn  $C_1 = C_2 = C$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}}$$

# Bộ lọc thông dải

50

- ▣ Phương pháp thực hiện bộ lọc: chọn  $C_1 = C_2 = C$ , các giá trị điện trở  $R$  được tính dựa vào yêu cầu về  $f_0$ ,  $BW$ , và  $A_0$  (độ lợi lớn nhất tại  $f_0$ ):
- ▣  $Q = f_0 / BW$

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_0 C A_0} \quad R_2 = \frac{Q}{\pi f_0 C} \quad R_3 = \frac{Q}{2\pi f_0 C (2Q^2 - A_0)}$$

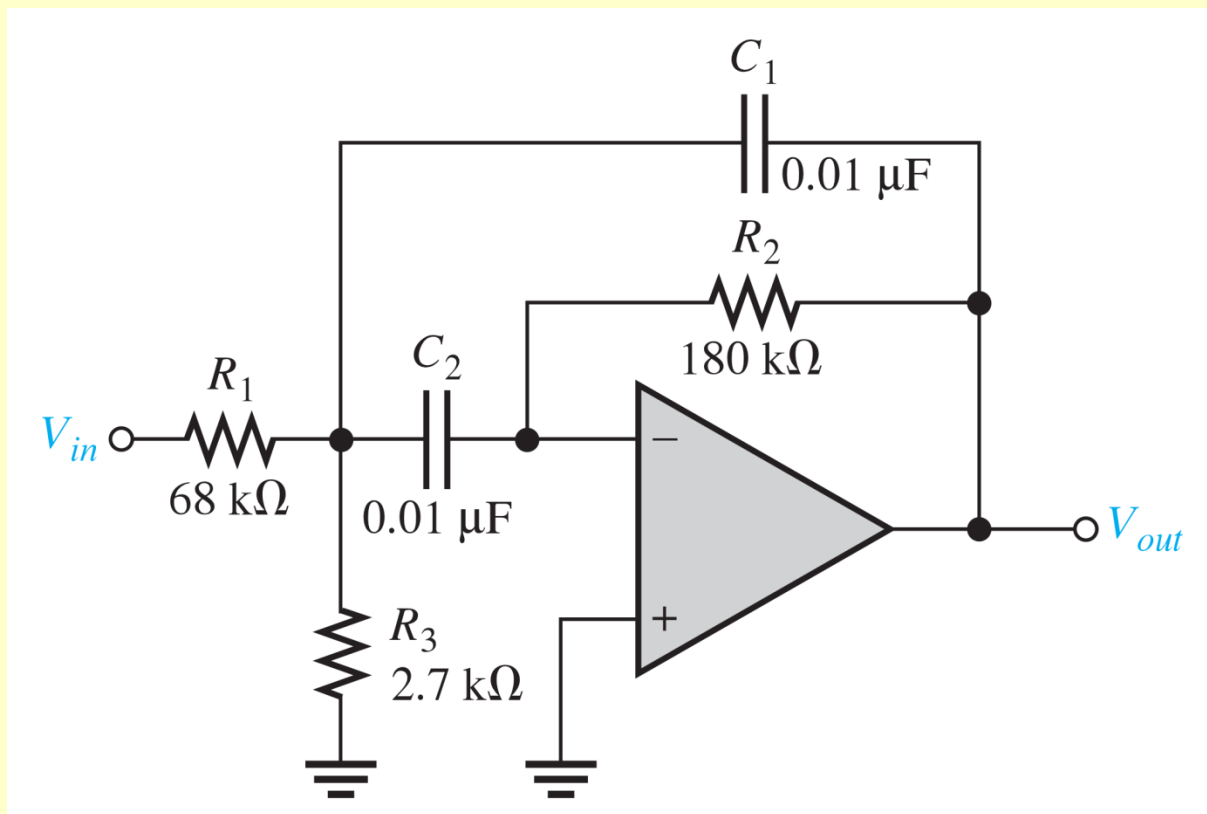
- ▣ Maximum gain,  $A_0$ , đạt được tại tần số trung tâm  $f_0$

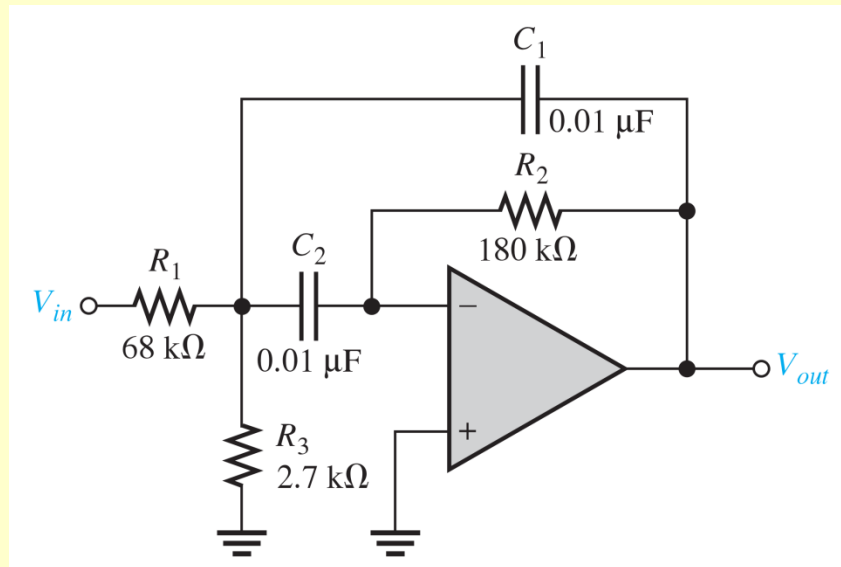
$$A_0 = R_2 / 2R_1$$

# Ví dụ

51

Tìm  $f_0$ ,  $A_0$ , BW của mạch lọc bên dưới:





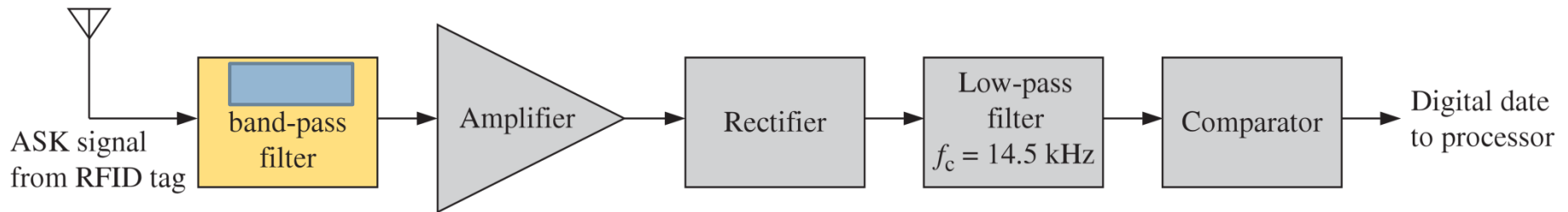
$$f_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} = \frac{1}{2\pi(0.01 \mu\text{F})} \sqrt{\frac{68 \text{ k}\Omega + 2.7 \text{ k}\Omega}{(68 \text{ k}\Omega)(180 \text{ k}\Omega)(2.7 \text{ k}\Omega)}} = \mathbf{736 \text{ Hz}}$$

$$A_0 = \frac{R_2}{2R_1} = \frac{180 \text{ k}\Omega}{2(68 \text{ k}\Omega)} = \mathbf{1.32}$$

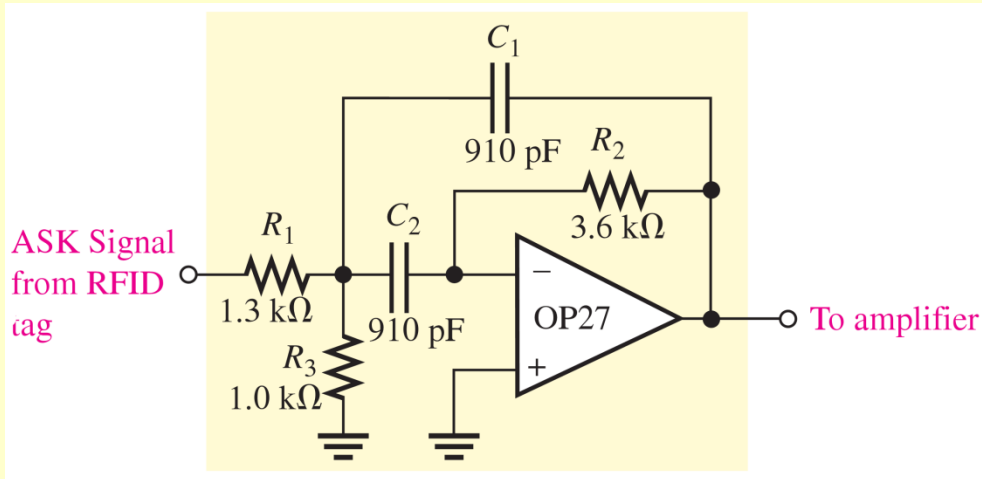
$$Q = \pi f_0 C R_2 = \pi(736 \text{ Hz})(0.01 \mu\text{F})(180 \text{ k}\Omega) = 4.16$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{736 \text{ Hz}}{4.16} = \mathbf{177 \text{ Hz}}$$

## Bài tập thiết kế

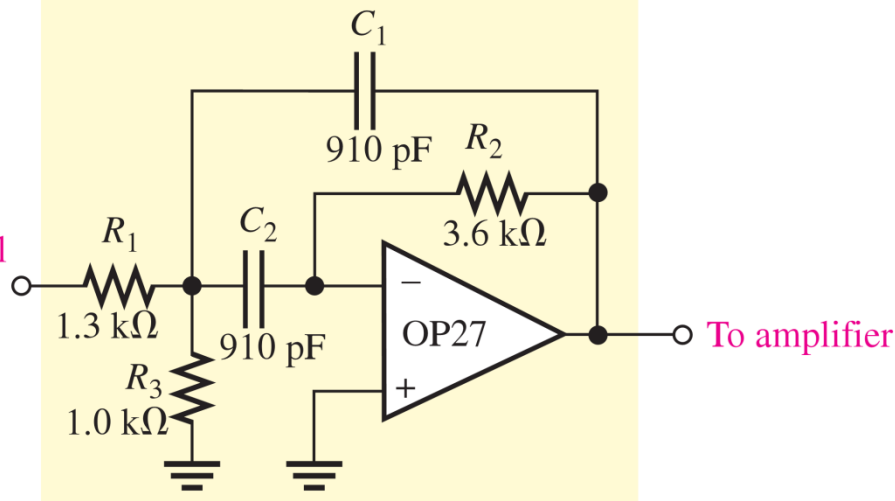


Một bộ đọc RFID có sơ đồ như trong hình, lọc thông dải có sơ đồ như hình dưới.



Hãy tìm  $f_0$ ,  $Q$ ,  $BW$

ASK Signal  
from RFID  
tag



$$f_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} = \frac{1}{2\pi(910 \text{ pF})} \sqrt{\frac{1.3 \text{ k}\Omega + 1.0 \text{ k}\Omega}{(1.3 \text{ k}\Omega)(3.6 \text{ k}\Omega)(1.0 \text{ k}\Omega)}} = 123 \text{ kHz}$$

$$Q = \pi f_0 C R_2 = \pi(123 \text{ kHz})(910 \text{ pF})(3.6 \text{ k}\Omega) = 1.26$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{123 \text{ kHz}}{1.26} = 97.2 \text{ kHz}$$