

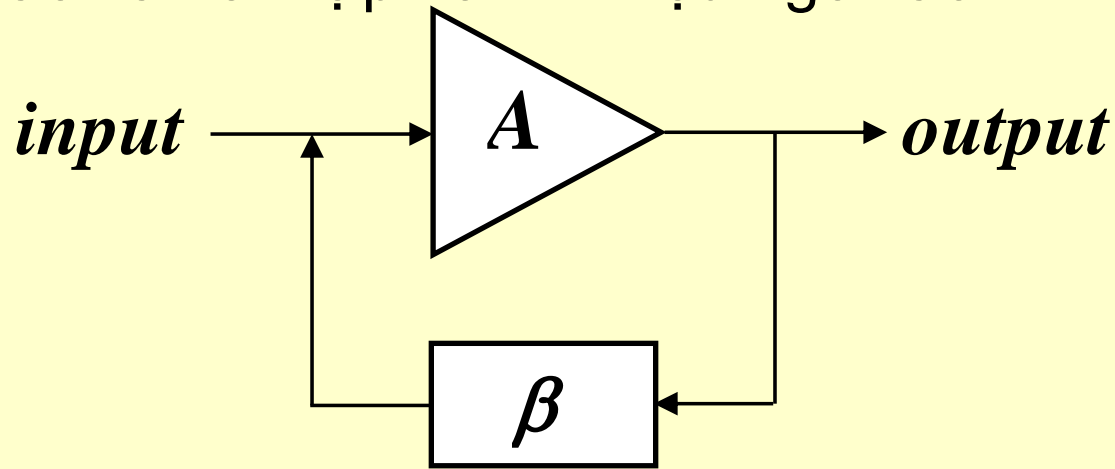
# Chương 4

Mạch dao động và mạch định thời

# Hồi tiếp

2

- Hồi tiếp (*Feedback*) là kỹ thuật đưa một phần tín hiệu ngõ ra của hệ thống (hay mạch khuếch đại) ngược về ngõ vào và kết hợp với tín hiệu ngõ vào

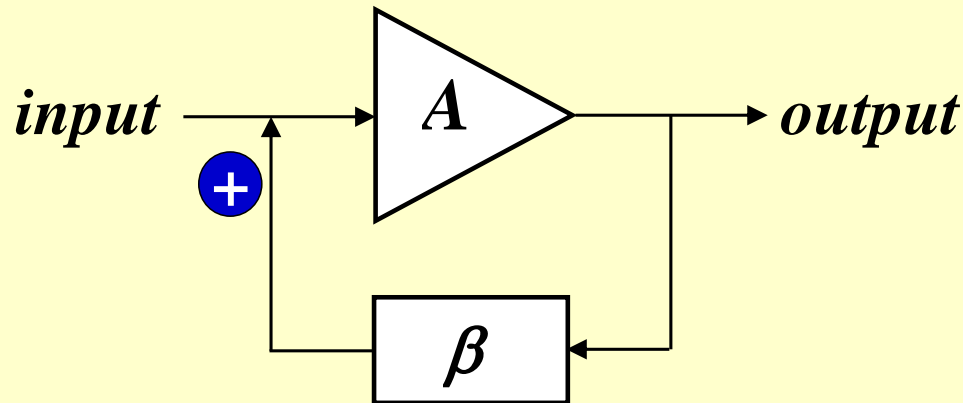


- Có hai loại mạch hồi tiếp:
  - ▣ Positive feedback: hồi tiếp dương
  - ▣ Negative feedback: hồi tiếp âm

# Hồi tiếp dương

3

- Positive feedback: tín hiệu hồi tiếp cộng với tín hiệu ngõ vào

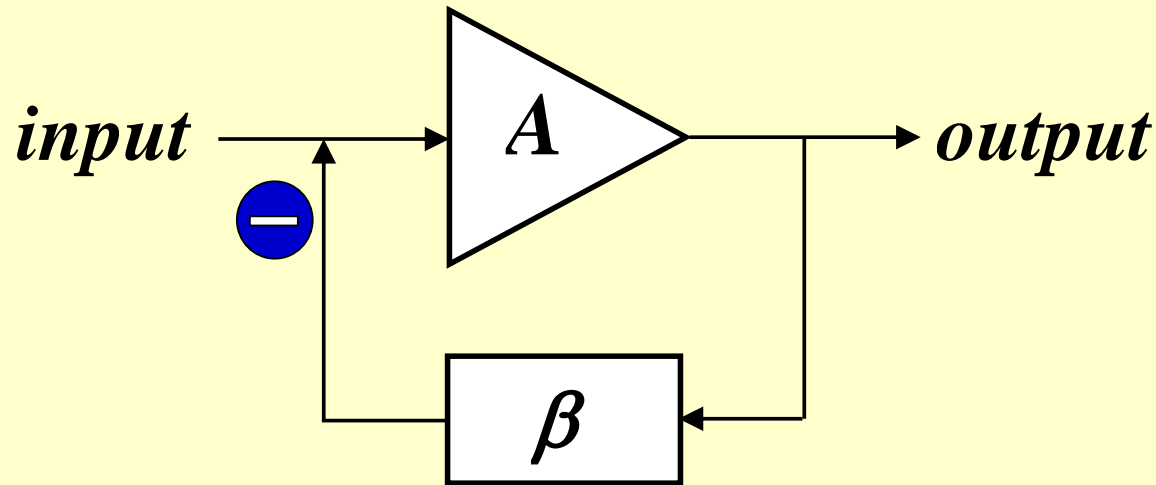


- Tín hiệu hồi tiếp cùng pha với tín hiệu ngõ vào
- Hồi tiếp dương được dùng rộng rãi trong các mạch dao động (oscillator) và một số mạch khác. (VD mạch HT dương: để micro trước loa)

# Hồi tiếp âm

4

- Negative feedback: tín hiệu hồi tiếp bị trừ bởi tín hiệu ngõ vào

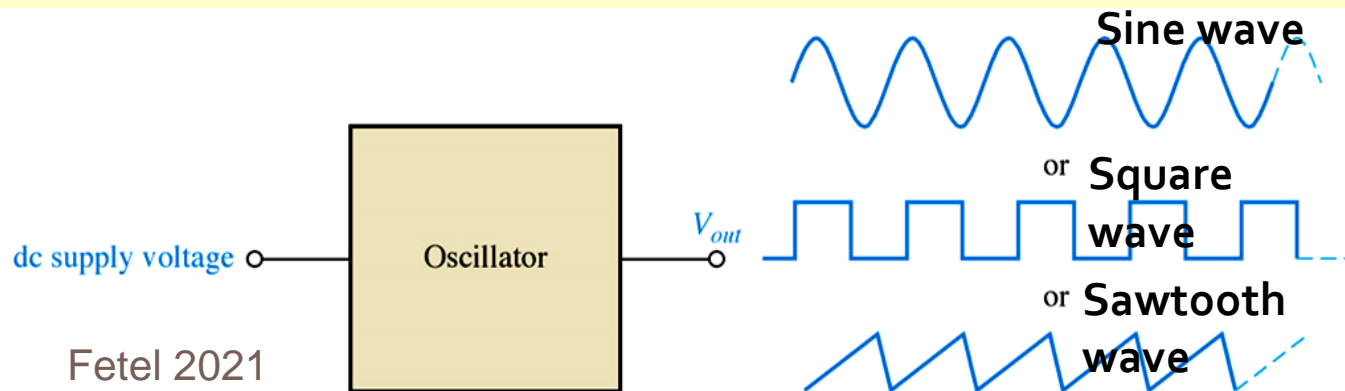


- Tín hiệu hồi tiếp lệch pha  $180^\circ$  so với tín hiệu vào.
- Negative feedback sẽ làm giảm độ lợi.

# Mạch dao động

5

- ▣ Mạch/bộ dao động là mạch điện tạo ra sóng tuần hoàn liên tục mà không cần nguồn tín hiệu vào. Bộ dao động có thể được dùng để chuyển đổi tín hiệu DC sang AC.
- ▣ Một số lĩnh vực ứng dụng: Communications systems → mạch dao động nội, digital systems (including computers) → xung đồng hồ, thiết bị đo → máy tạo hàm



Dùng hồi tiếp dương để duy trì dao động

# Các loại mạch dao động

Types of oscillators

6

1. RC oscillators
  - ▣ Wien Bridge
  - ▣ Phase-Shift
2. LC oscillators
  - ▣ Hartley
  - ▣ Colpitts
  - ▣ Crystal
3. Unijunction / relaxation oscillators

# Nguyên lý hoạt động của mạch dao động

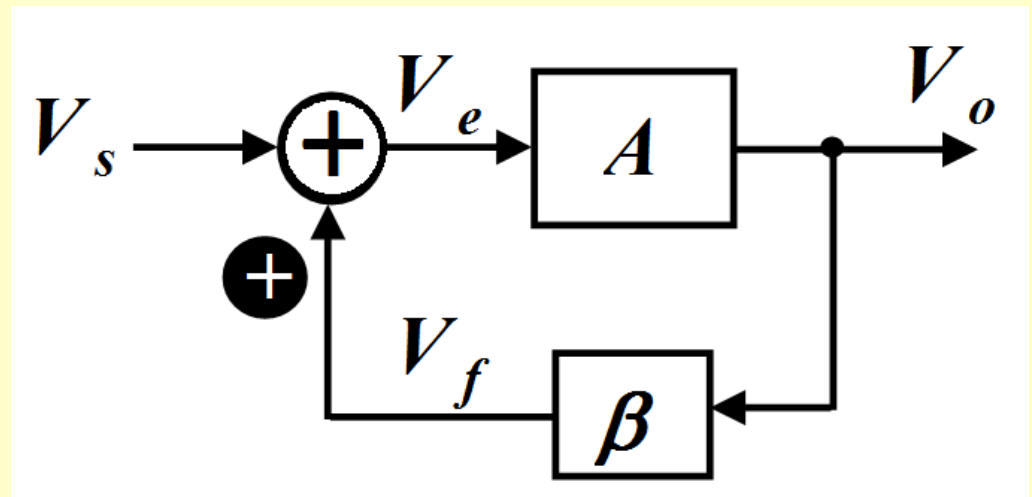
7

- Oscillator là một bộ khuếch đại hồi tiếp dương.

$$V_e = V_s + V_f \quad (1)$$

$$V_f = \beta V_o \quad (2)$$

$$V_o = A V_e = A(V_s + V_f) = A(V_s + \beta V_o) \quad (3)$$



# Nguyên lý hoạt động của mạch dao động

8

$$\begin{aligned} V_o &= A V_e \\ &= A(V_s + V_f) = A(V_s + \beta V_o) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_o &= A V_s + A \beta V_o \\ (1 - A \beta) V_o &= A V_s \end{aligned}$$

□ Closed loop gain:

$$A_f \equiv \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{(1 - A \beta)}$$



# Nguyên lý hoạt động của mạch dao động

9

- Một cách tổng quát  $A$  và  $\beta$  là các hàm theo tần số và có thể viết là:

$$A_f(s) = \frac{V_o}{V_s}(s) = \frac{A(s)}{1 - A(s)\beta(s)}$$

$A(s)\beta(s)$  là độ lợi vòng (loop gain)

# Nguyên lý hoạt động của mạch dao động

10

- ▣ Nếu đặt  $T(s) = A(s)\beta(s)$ , độ lợi vòng kín được viết lại là:

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 - T(s)}$$

- ▣ Thay  $s$  bằng  $j\omega$

$$A_f(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1 - T(j\omega)}$$

- ▣ Và  $T(j\omega) = A(j\omega)\beta(j\omega)$

# Nguyên lý hoạt động của mạch dao động

11

- Tại tần số đặc biệt  $f_0$

$$T(j\omega_0) = A(j\omega_0)\beta(j\omega_0) = 1$$

Closed loop gain;

$$A_f(j\omega_0) = \frac{A(j\omega_0)}{1 - A(j\omega_0)\beta(j\omega_0)}$$

sẽ vô cùng lớn,  $\rightarrow$  Mạch có tín hiệu ra hữu hạn với tín hiệu vào bằng không  $\rightarrow$  Mạch dao động.

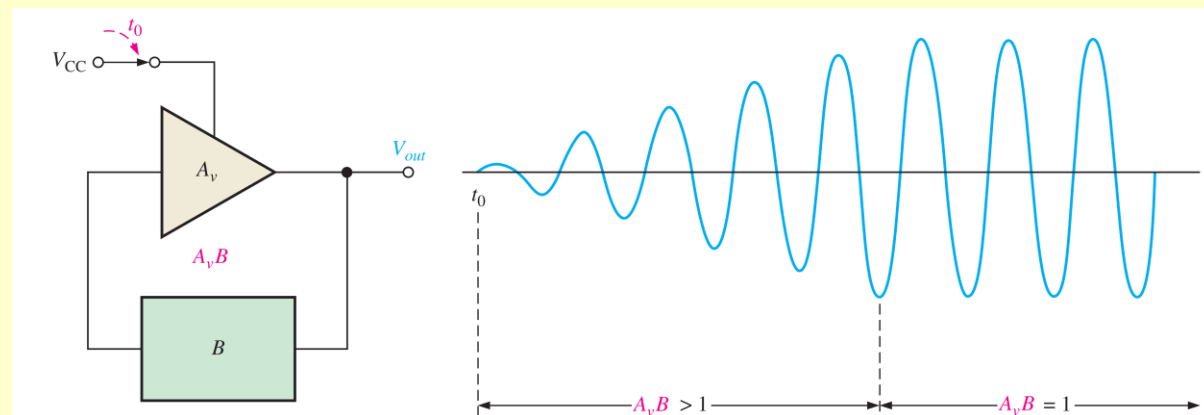
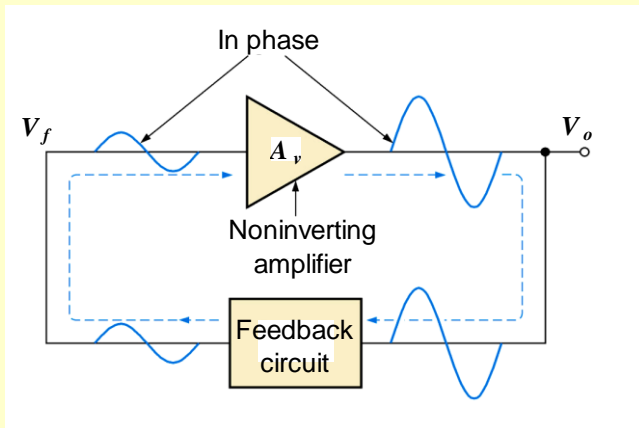
# Nguyên lý hoạt động của mạch dao động

12

- Điều kiện dao động tại tần số  $f_0$ :

$$A(j\omega_0)\beta(j\omega_0) = 1$$

- → tiêu chuẩn Barkhausen (Barkhausen criterion).
- Tín hiệu tạo ra là sóng sin



# Thiết kế bộ dao động

13

1. Biên độ của độ lợi vòng bằng (hay lớn) hơn 1

$$|A\beta| = 1 \quad - \text{Barkhausen criterion}$$

2. Tổng số độ dịch pha (total phase shift),  $\phi$  của độ lợi vòng phải bằng  $N \times 360^\circ$  với  $N$  là số nguyên.

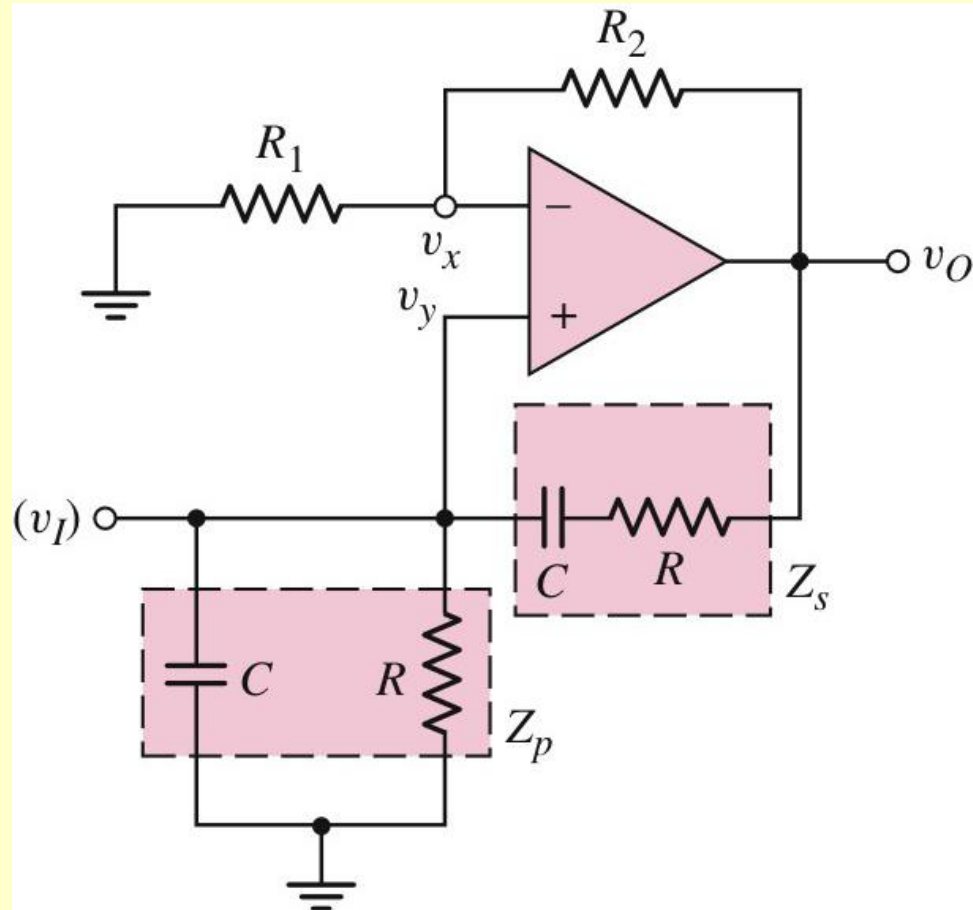
# Bộ dao động RC (RC Oscillators)

14

- Các bộ dao động RC thường được dùng để tạo ra tần số thấp khoảng dưới 1 MHz.
- Bộ dao động RC được khảo sát trong học phần này gồm dao động cầu Wien (**Wien-bridge**) và dao động dịch pha (**phase-shift**).

# Dao động cầu Wien (Wien-bridge Oscillator)

15



# Dao động cầu Wien

16

□ Loop gain:

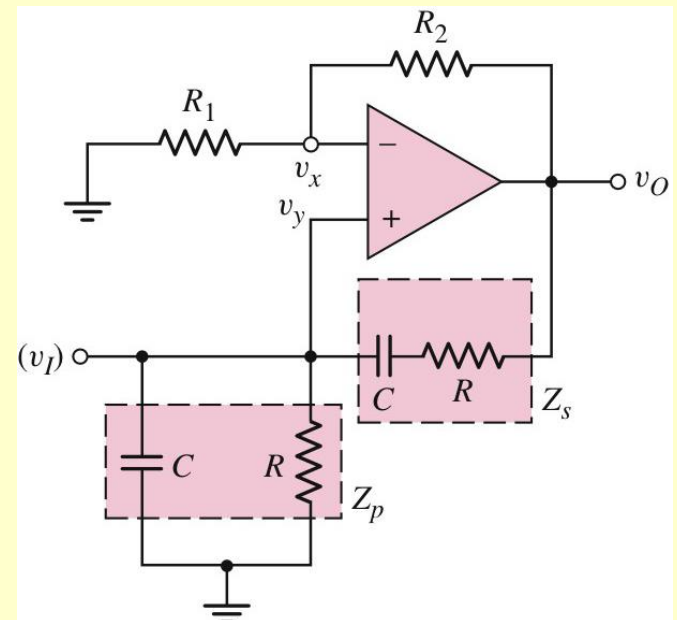
$$T(s) = A(s)\beta(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left( \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} \right)$$

□ với

$$Z_p = \frac{R}{1 + sRC}$$

□ và

$$Z_s = \frac{1 + sRC}{sC}$$





# Dao động cầu Wien

17

- Thay vào ta được:

$$T(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left[ \frac{1}{3 + sRC + (1/sRC)} \right]$$

- Thay  $j\omega$  vào  $s$ ;

$$T(j\omega) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left[ \frac{1}{3 + j\omega RC + (1/j\omega RC)} \right]$$

- Tại tần số dao động  $f_0$ ;

$$T(j\omega_0) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left[ \frac{1}{3 + j\omega_0 RC + (1/j\omega_0 RC)} \right]$$

# Dao động cầu Wien (điều kiện pha)

18

- Tại tần số dao động,  $T(j\omega_0)$  phải có giá trị thực  $\leftarrow$  để cho pha bằng không  $\rightarrow$  thành phần ảo của  $T(j\omega_0)$  phải bằng không  $\rightarrow$

$$j\omega_0 RC + \frac{1}{j\omega_0 RC} = 0$$

Rút ra được:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

# Dao động cầu Wien (điều kiện biên độ)

19

$$T(j\omega_0) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left[ \frac{1}{3 + j\omega_0 RC + (1/j\omega_0 RC)} \right]$$

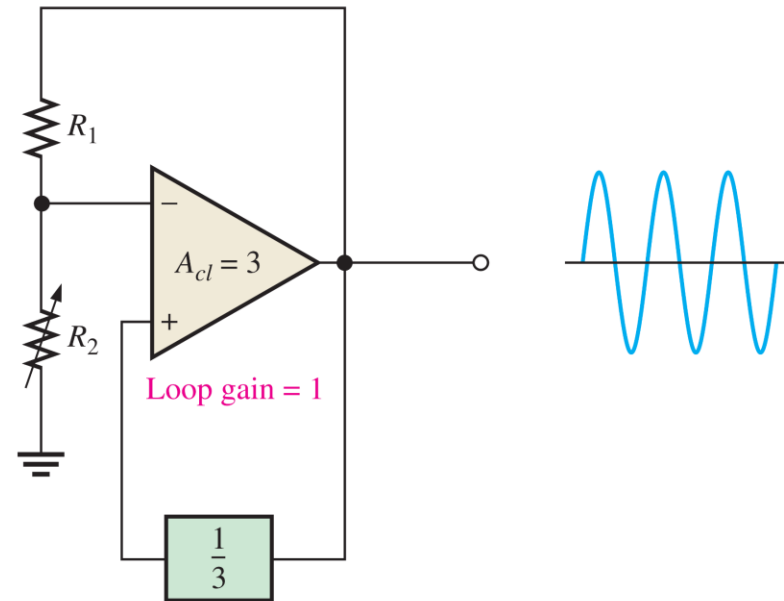
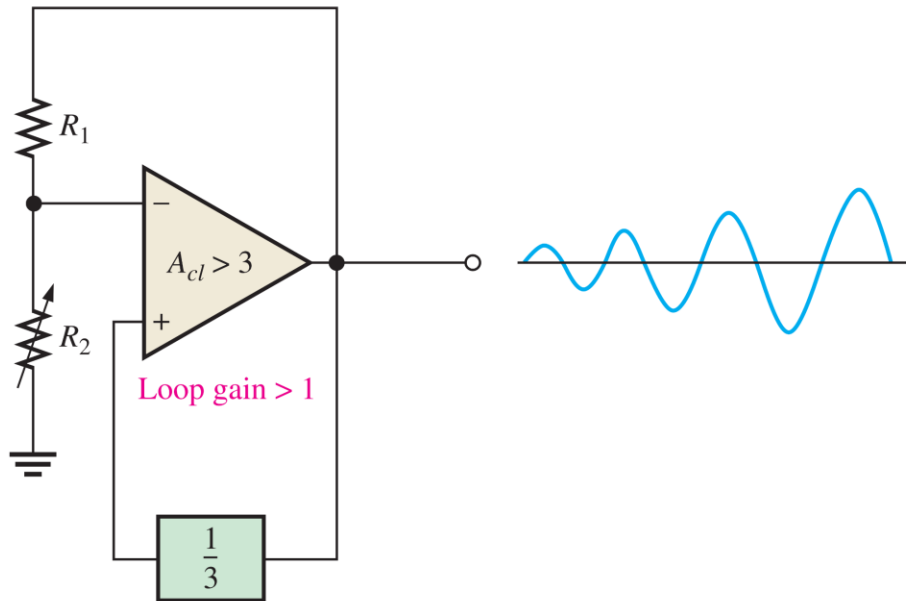
□ Độ lợi vòng = 1 →

$$1 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{1}{3}\right) \quad \text{hay} \quad \frac{R_2}{R_1} = 2$$

**Để đảm bảo điều kiện dao động  $R_2/R_1$  được chọn hơi lớn hơn 2.**

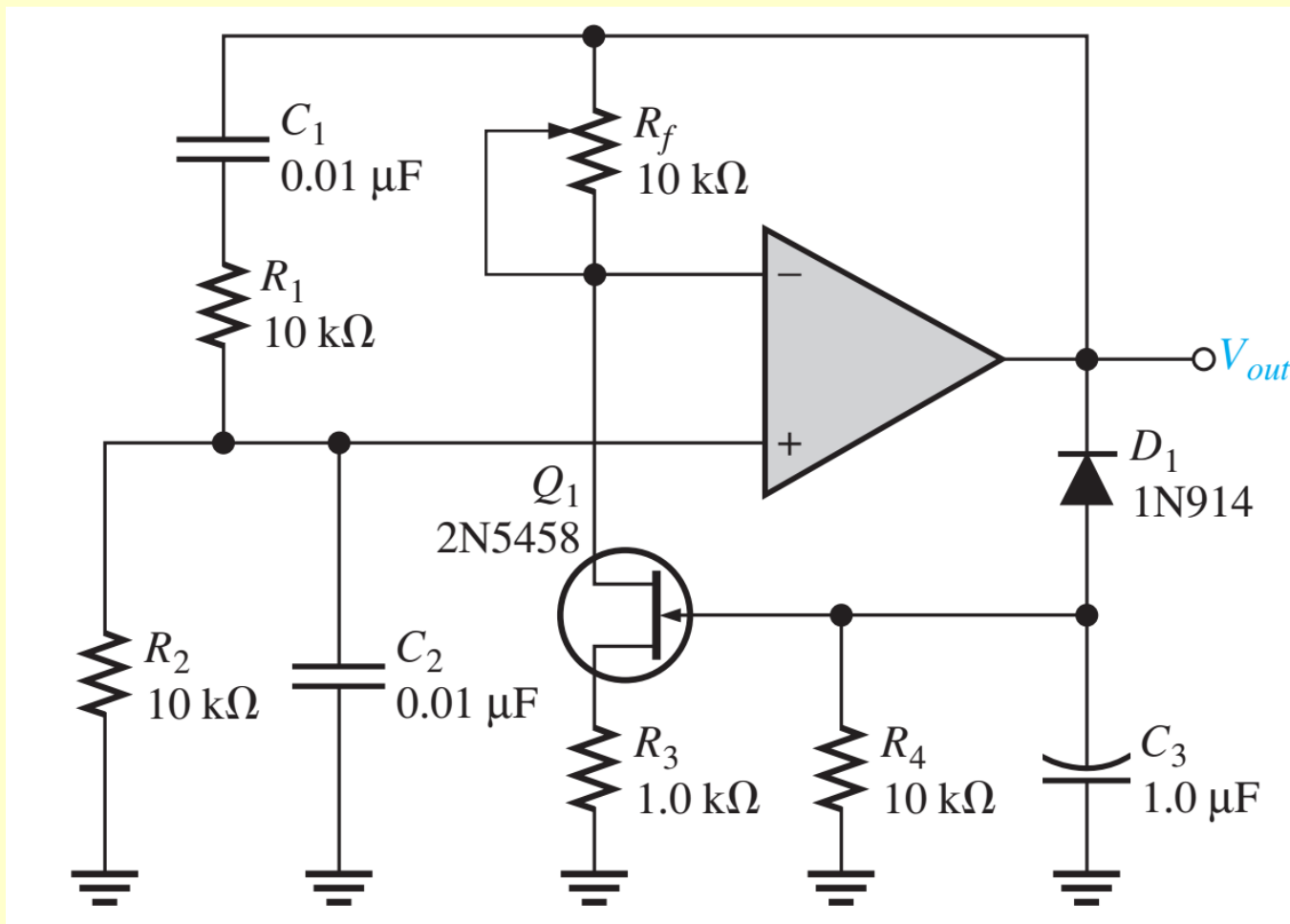
# Ví dụ

20



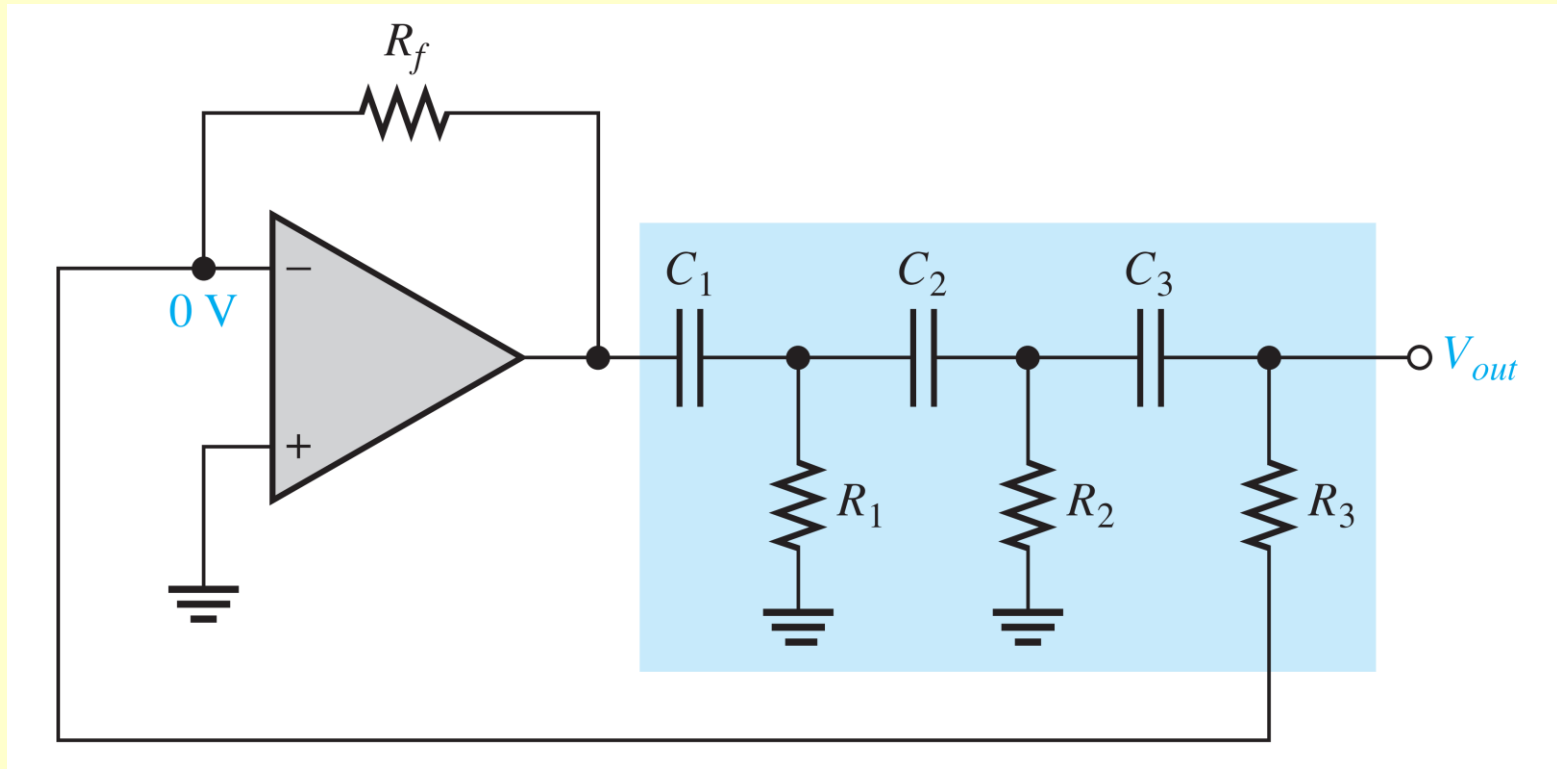
# Bài tập: tìm tần số dao động của mạch

21



# Dao động dịch pha (Phase-Shift Oscillator)

22



Mỗi đoạn mạch RC tạo ra dịch pha tối đa  $90^\circ$ . Dao động xuất hiện khi dịch pha qua ba mạch RC đạt  $180^\circ$

# Dao động dịch pha (Phase-Shift Oscillator)

23

- Dùng 3 mạch RC để tạo dịch pha  $180^\circ$  kết hợp với dịch pha  $180^\circ$  của bản thân mạch OPAMP để đáp ứng yêu cầu về pha. Tần số dao động:

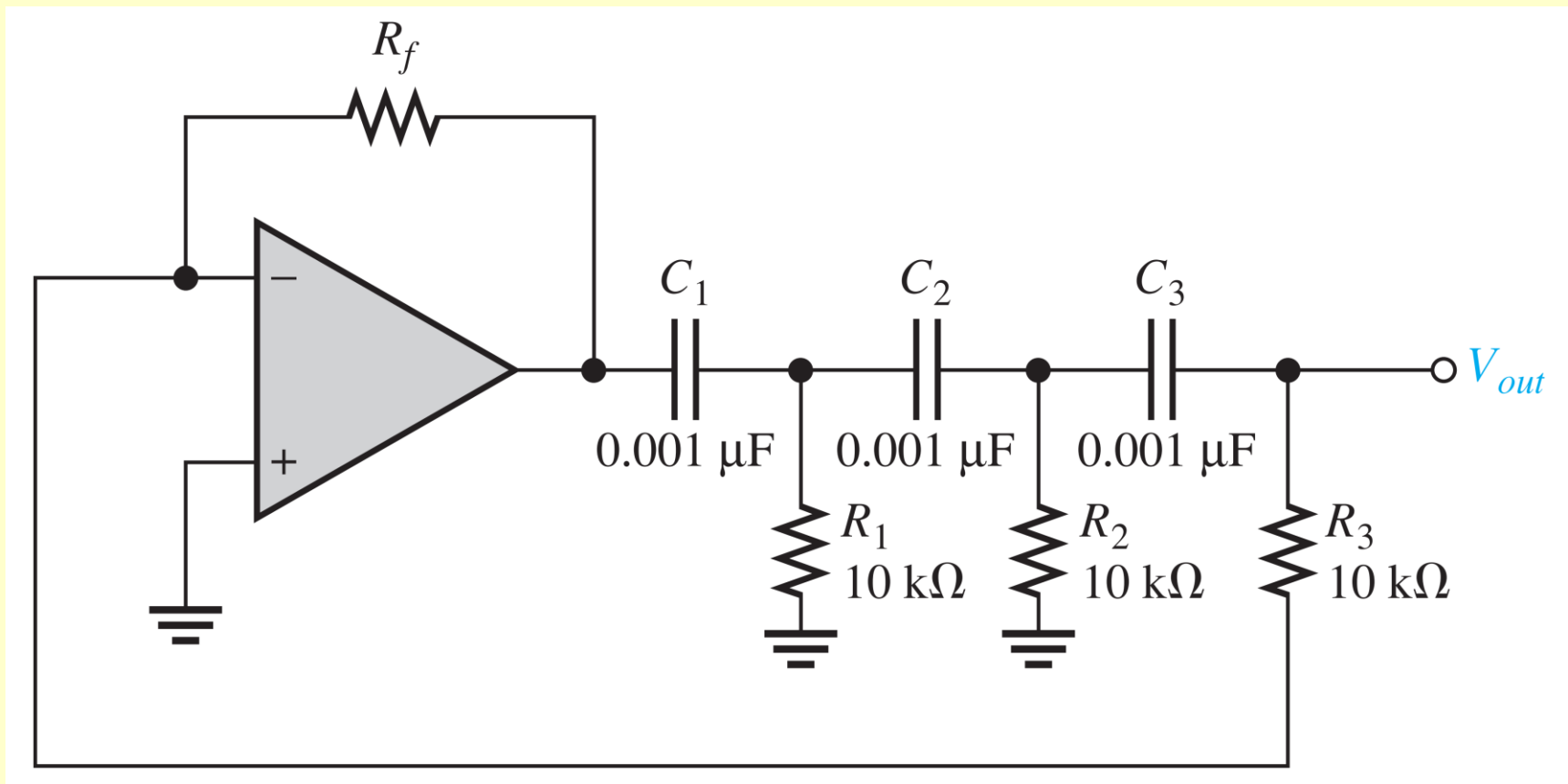
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \quad (\text{SV tự kiểm tra})$$

- Để dao động độ lợi điện thế vòng kín phải lớn ít nhất =  $29$ . (SV tự kiểm tra)

$$\frac{R_f}{R_3} = 29$$

# Ví dụ

24



- Tìm  $R_f$  để mạch dao động.
- Tìm tần số dao động



$$\text{(a)} \quad A_{cl} = 29, \quad B = \frac{1}{29} = \frac{R_3}{R_f}.$$

$$\frac{R_f}{R_3} = 29$$

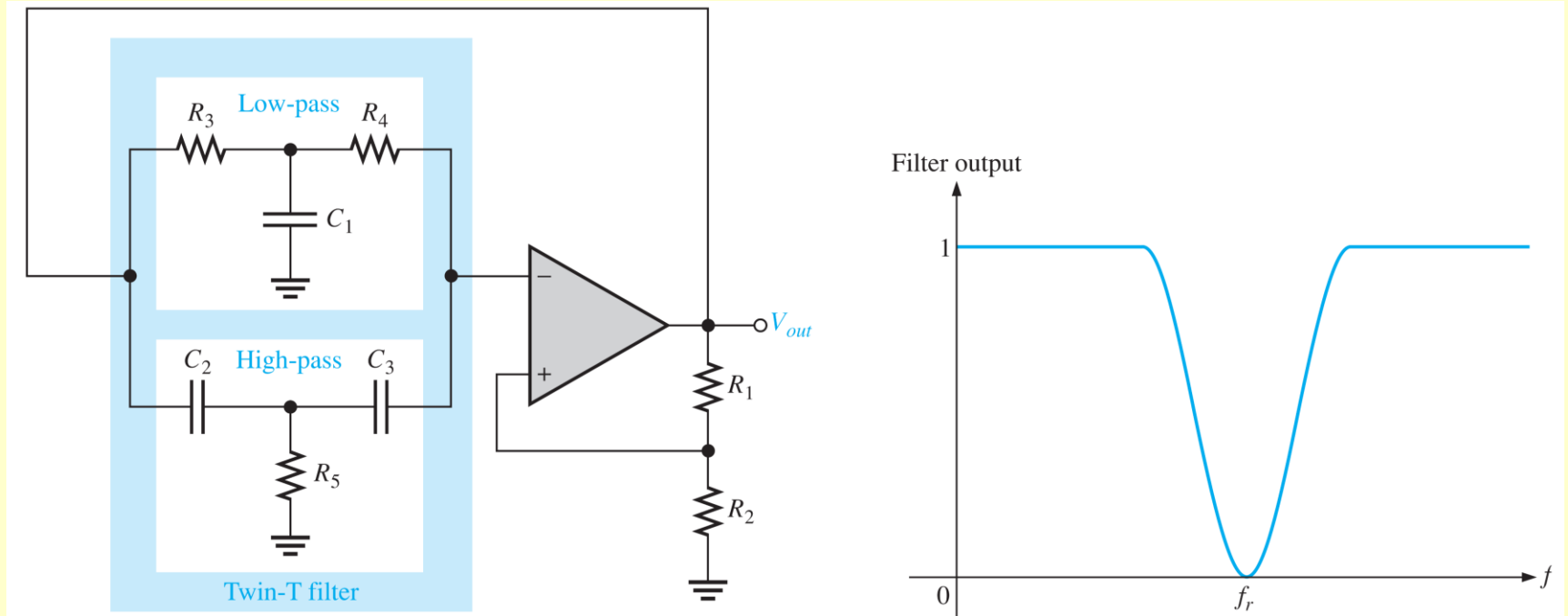
$$R_f = 29R_3 = 29(10 \text{ k}\Omega) = \mathbf{290 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{(b)} \quad R_1 = R_2 = R_3 = R \quad C_1 = C_2 = C_3 = C.$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}(10 \text{ k}\Omega)(0.001 \text{ }\mu\text{F})} \cong \mathbf{6.5 \text{ kHz}}$$

# Dao động T kép

26



Bài tập: Tìm biểu thức tần số dao động của mạch.

# Các bộ dao động LC

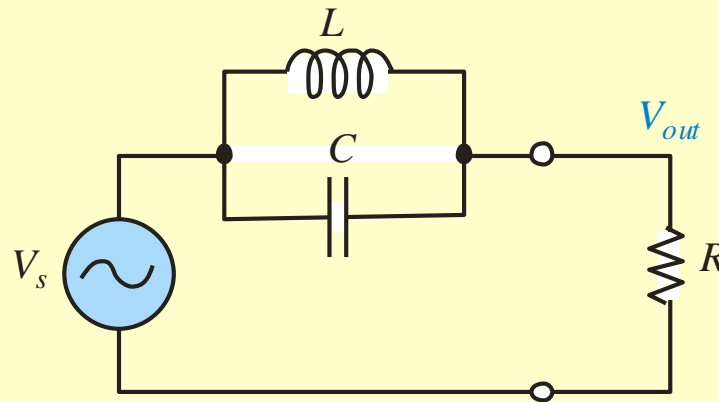
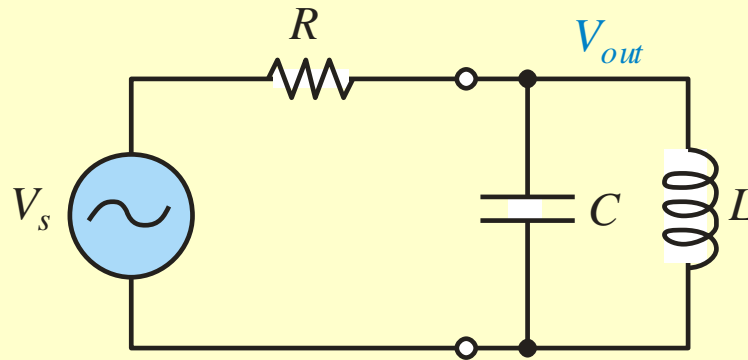
27

- Dùng transistor kết hợp với L và C hay dùng thạch anh (crystals) trong mạch hồi tiếp.
- Cho phép tạo ra tần số đến hàng trăm MHz.
- Một số mạch điển hình: Colpitts, Hartley, dao động dùng thạch anh.

# Bài tập dẫn dắt

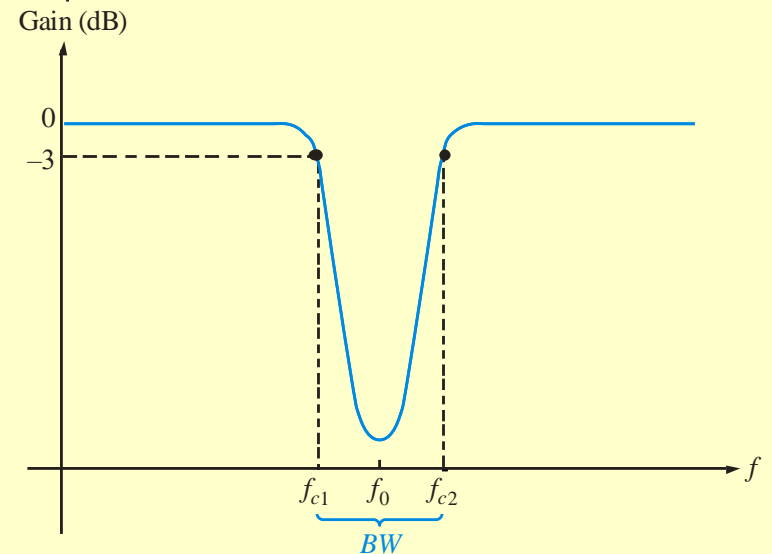
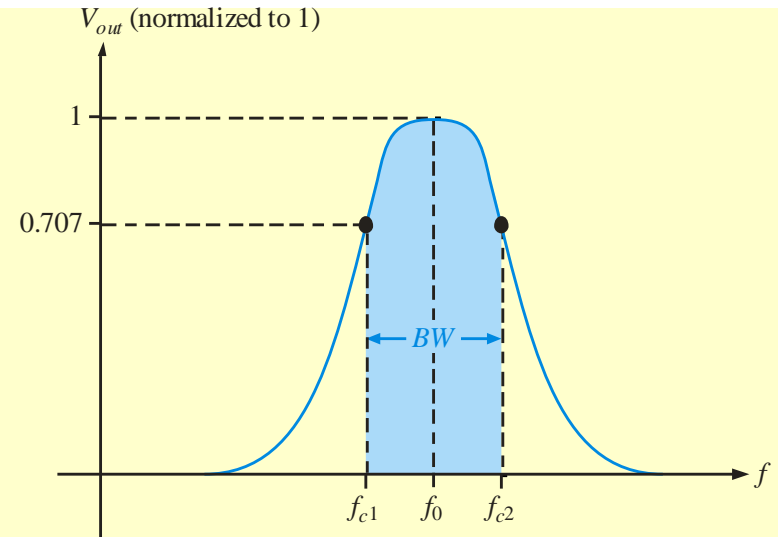
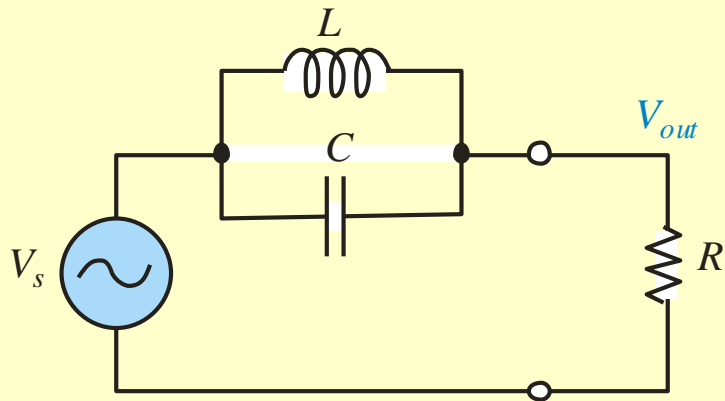
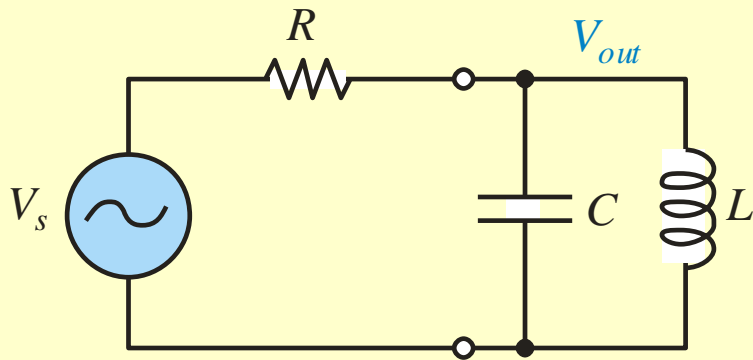
28

- Phác họa đáp ứng tần số của các mạch sau

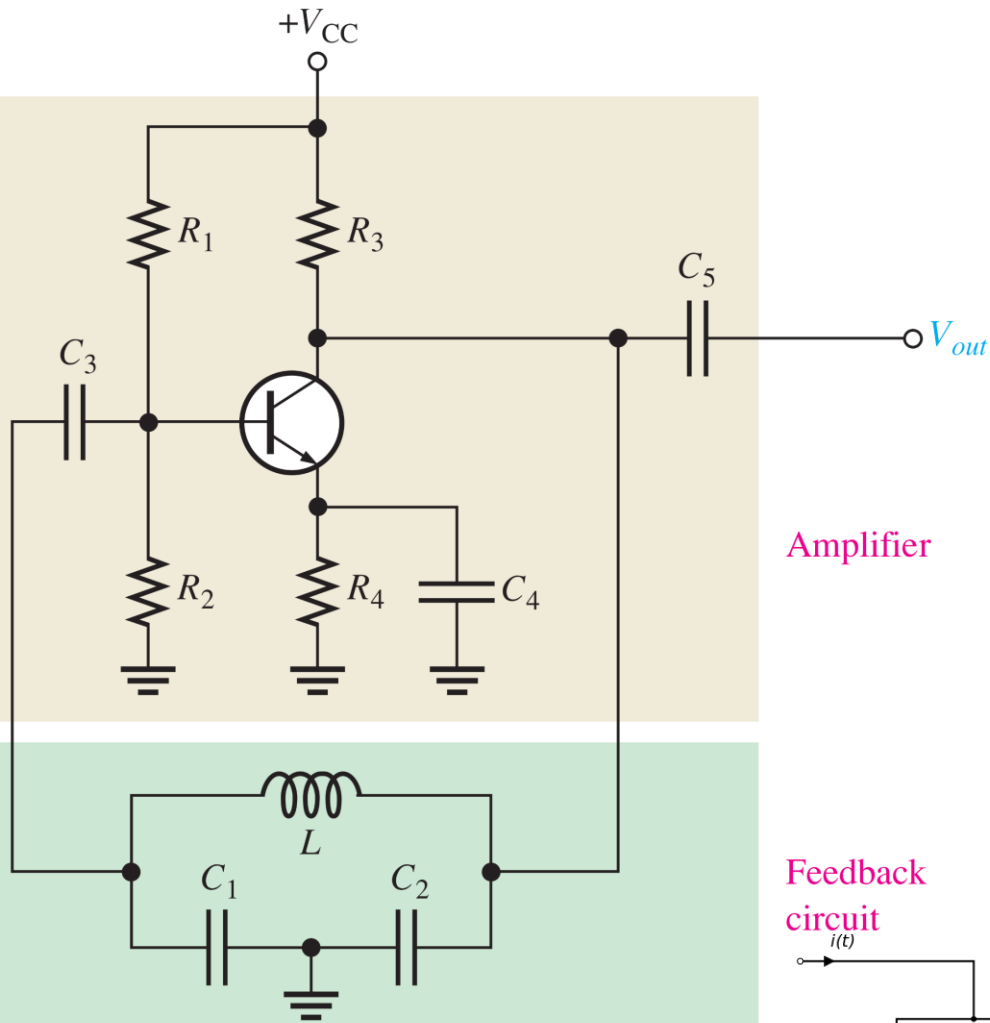


# LC Circuits

29

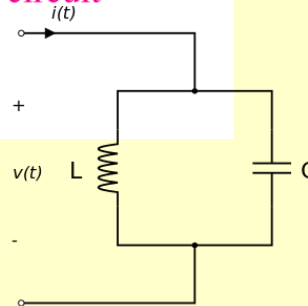


# Colpitts oscillator



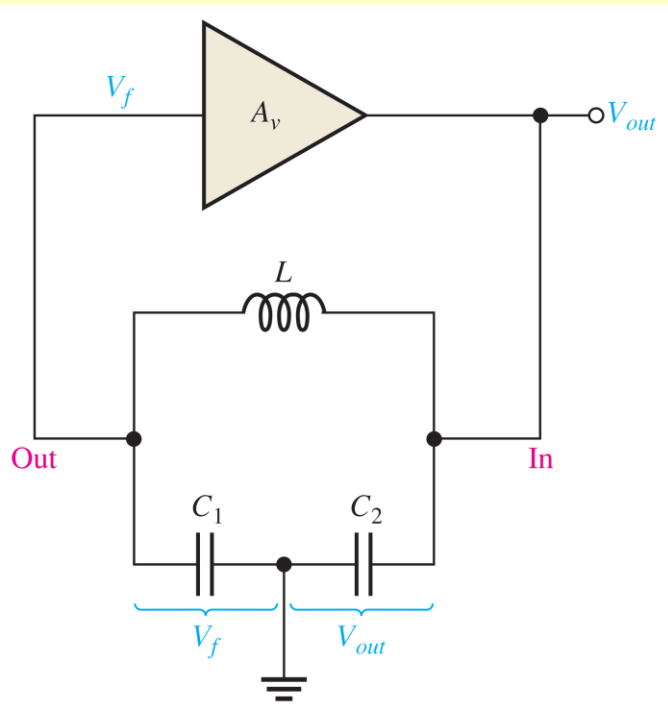
Amplifier

Feedback circuit



- Trong mạch dao động Colpitts, mạch LC được dùng ở vòng hồi tiếp.
- Nhánh hồi tiếp gồm một cặp tụ ( $C_1$  and  $C_2$ ) và một cuộn dây ( $L$ ).
- Điện thế lấy ra ở giữa hai chân  $C_2$ .
- Điện thế hồi tiếp hình thành trên tụ  $C_1$ .

L&C song song hoạt động như band pass filter



$$B = \frac{V_f}{V_{out}} \cong \frac{IX_{C1}}{IX_{C2}} = \frac{X_{C1}}{X_{C2}} = \frac{1/(2\pi f_r C_1)}{1/(2\pi f_r C_2)}$$

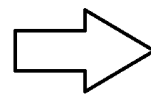
$$B = \frac{C_2}{C_1}$$

$$f_r \cong \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_T}}$$

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$A_v B = 1$$

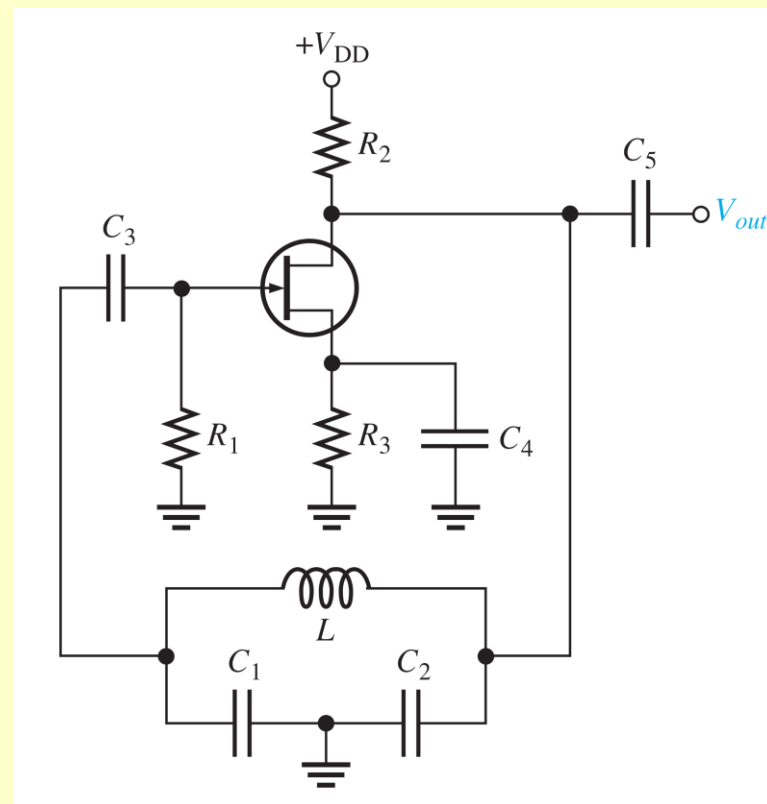
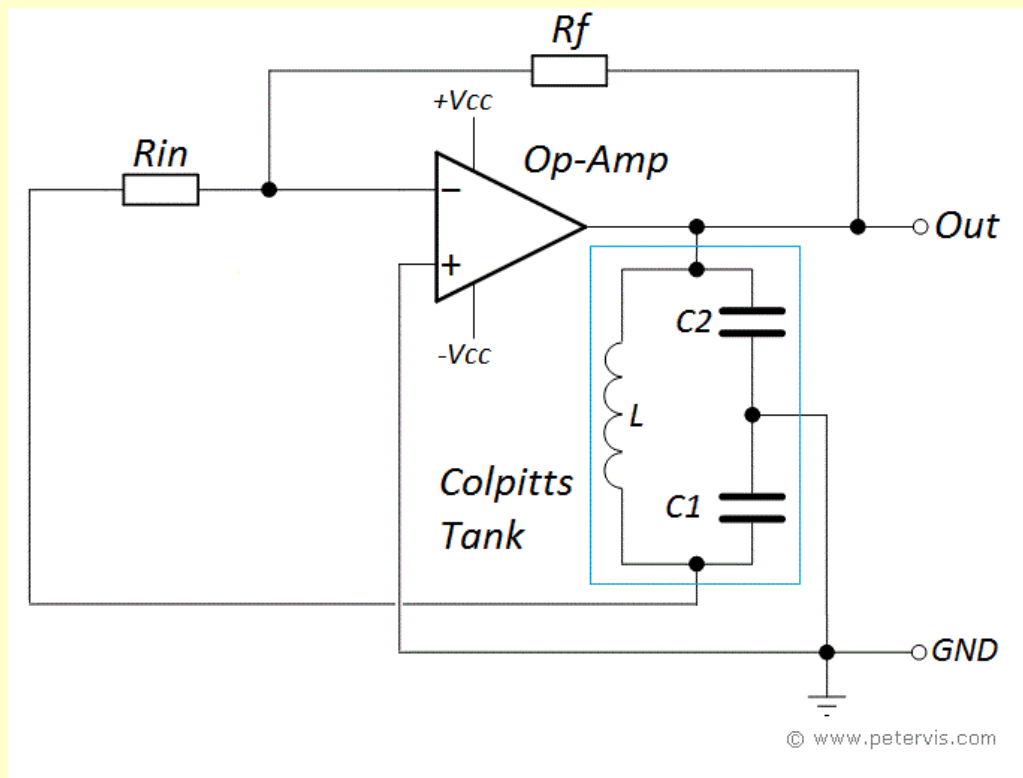
$$B = C_2/C_1$$



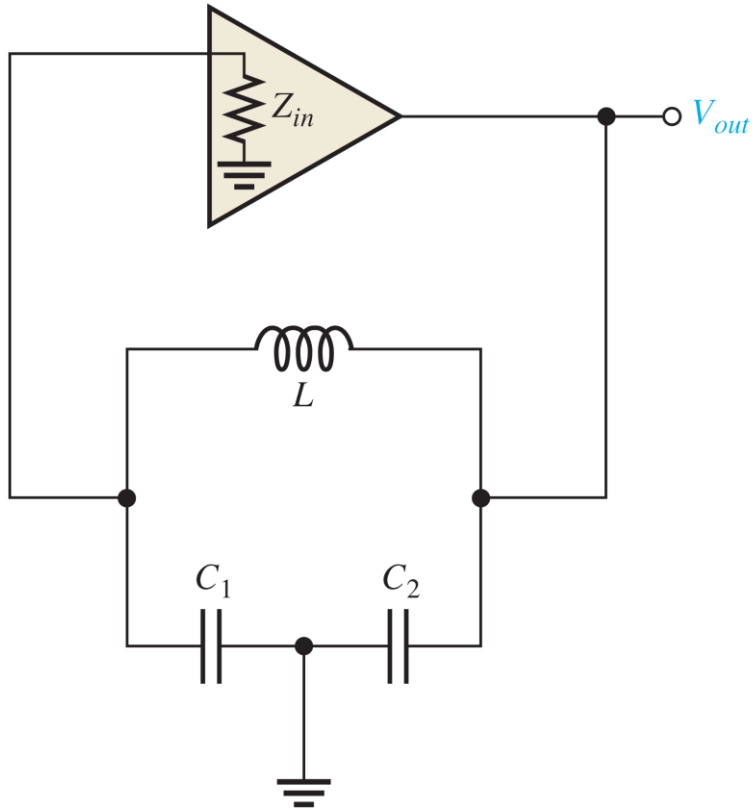
$$A_v = \frac{C_1}{C_2}$$

Thực tế chọn  $A_v > 1$

$$A_v > \frac{C_1}{C_2}$$



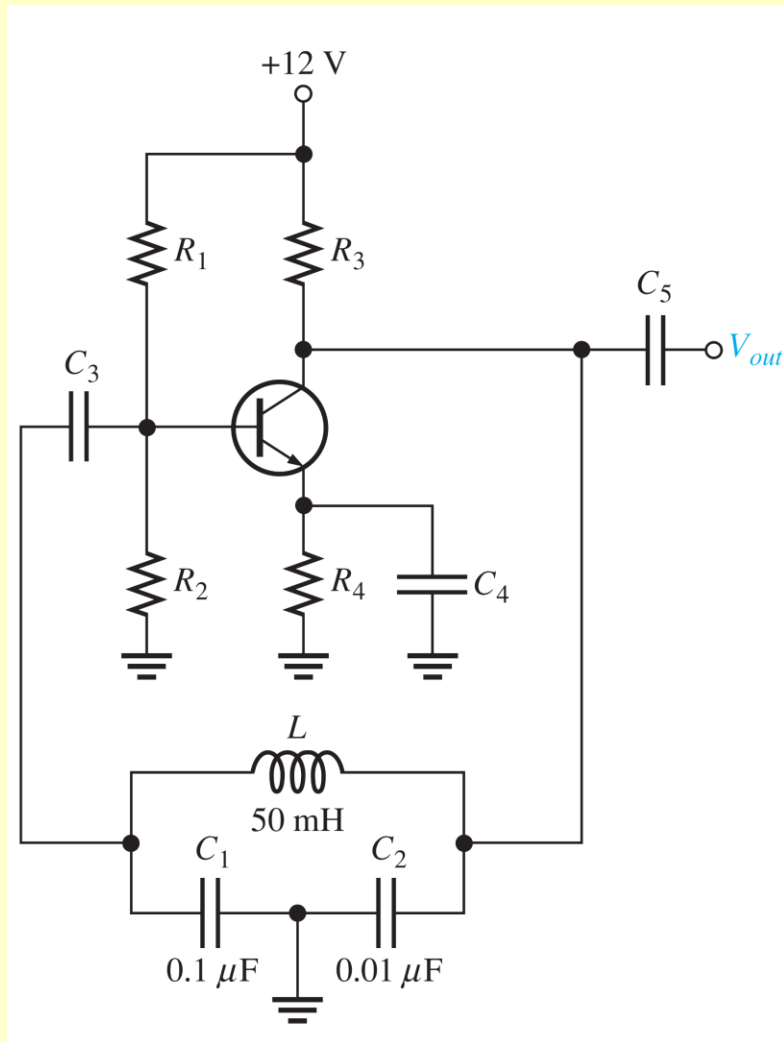




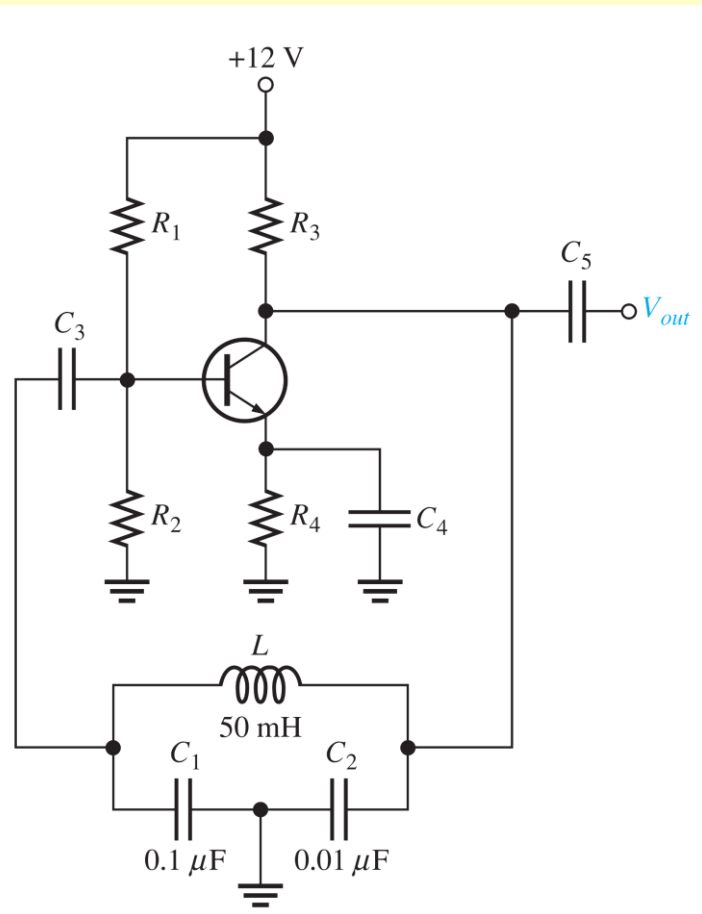
Trở kháng vào của mạch khuếch đại làm giảm hệ số  $Q$  của mạch. Tần số dao động liên quan đến  $Q$  theo công thức:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \sqrt{\frac{Q^2}{Q^2 + 1}}$$

$$Q > 10 \rightarrow f_r = \text{?????}$$



Tìm tần số dao động của mạch, giả sử  $Q > 10$



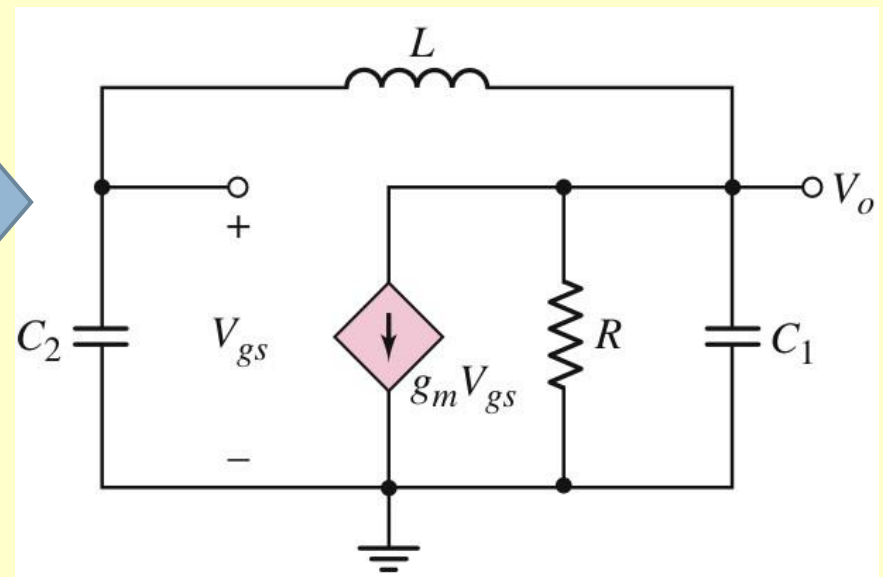
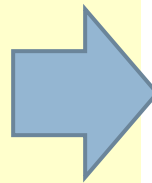
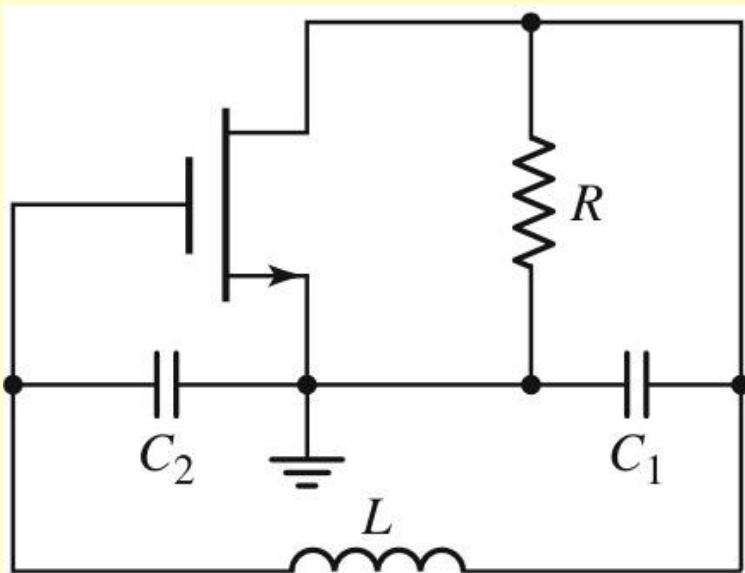
$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{(0.1 \mu\text{F})(0.01 \mu\text{F})}{0.11 \mu\text{F}} = 0.0091 \mu\text{F}$$

$$f_r \cong \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_T}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(50 \text{ mH})(0.0091 \mu\text{F})}} = \mathbf{7.46 \text{ kHz}}$$

# Bài tập

36

- Hãy tìm tần số dao động của mạch dao động Colpitts dưới đây bằng pp phân tích mô hình mạch tương đương. Kiểm tra kết quả với công thức tổng quát



# Colpitts Oscillator

37

- KCL tại output node:

$$\frac{V_o}{\frac{1}{sC_1}} + \frac{V_o}{R} + g_m V_{gs} + \frac{V_o}{sL + \frac{1}{sC_2}} = 0$$

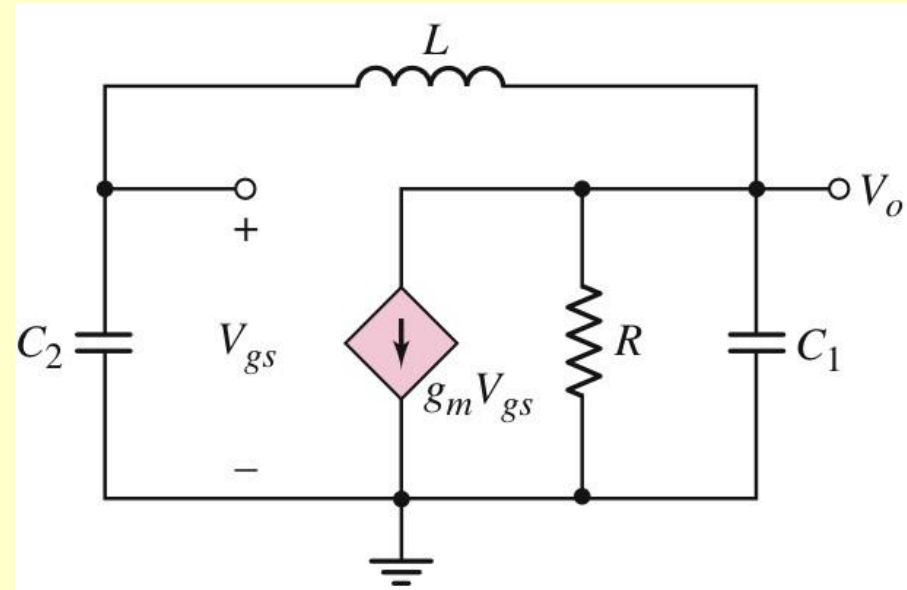
- Eq (1)

- voltage divider:

$$V_{gs} = \left( \frac{\frac{1}{sC_2}}{\frac{1}{sC_2} + sL} \right) \bullet V_o \quad \text{- Eq (2)}$$

- Thay eq(2) vào eq(1):

$$V_o \left[ g_m + sC_2 + (1 + s^2 LC_2) \left( \frac{1}{R} + sC_1 \right) \right] = 0$$



# Colpitts Oscillator

38

- Giả sử mạch dao động  $\rightarrow V_o \neq 0$

$$s^3 LC_1 C_2 + \frac{s^2 LC_2}{R} + s(C_1 + C_2) + \left(g_m + \frac{1}{R}\right) = 0$$

- cho  $s = j\omega$

$$\left(g_m + \frac{1}{R} - \frac{\omega^2 LC_2}{R}\right) + j\omega[(C_1 + C_2) - \omega^2 LC_1 C_2] = 0$$

- Cả phần thực và phần ảo phải = 0

- ▣ Phần ảo:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L \left( \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)}}$$

- Eq (3)

# Colpitts Oscillator

39

▣ Phần thực:

$$\frac{\omega^2 LC_2}{R} = g_m + \frac{1}{R} \quad - \text{Eq (4)}$$

□ Kết hợp Eq(3) và Eq(4):

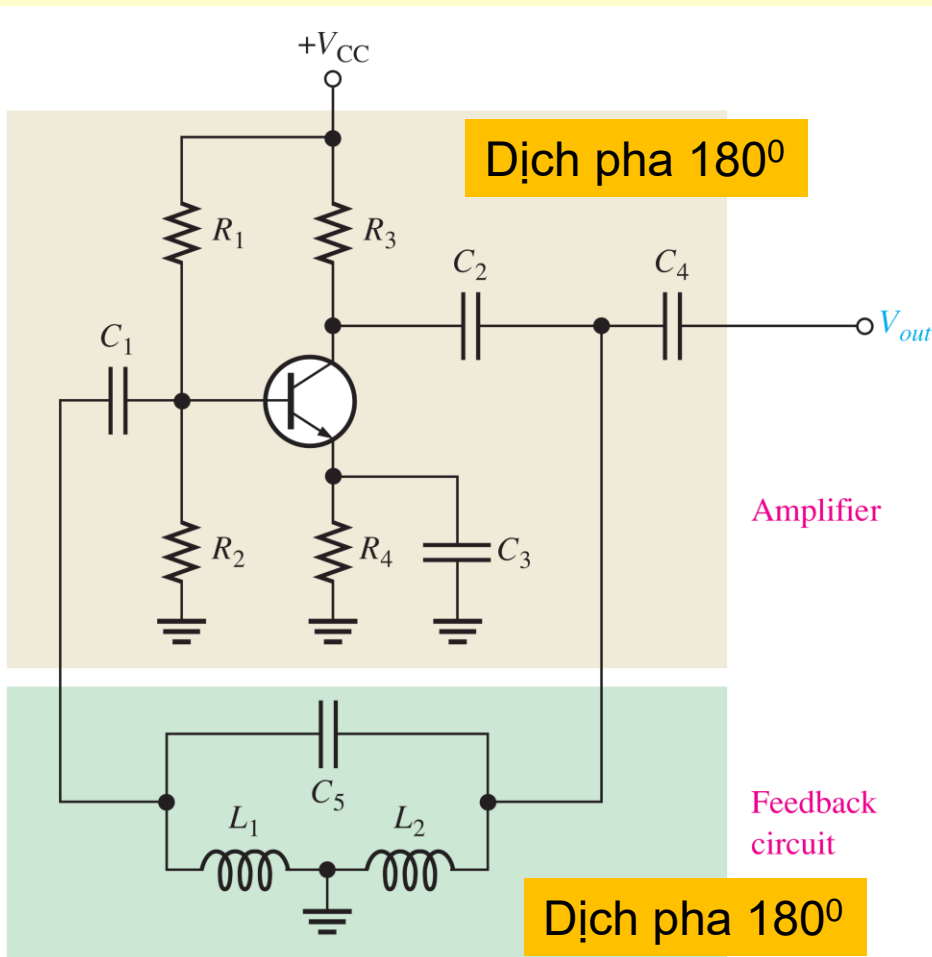
$$\frac{C_2}{C_1} = g_m R$$

□ Thường chọn:

$$g_m R > \left( \frac{C_2}{C_1} \right)$$

# Hartley Oscillator

40



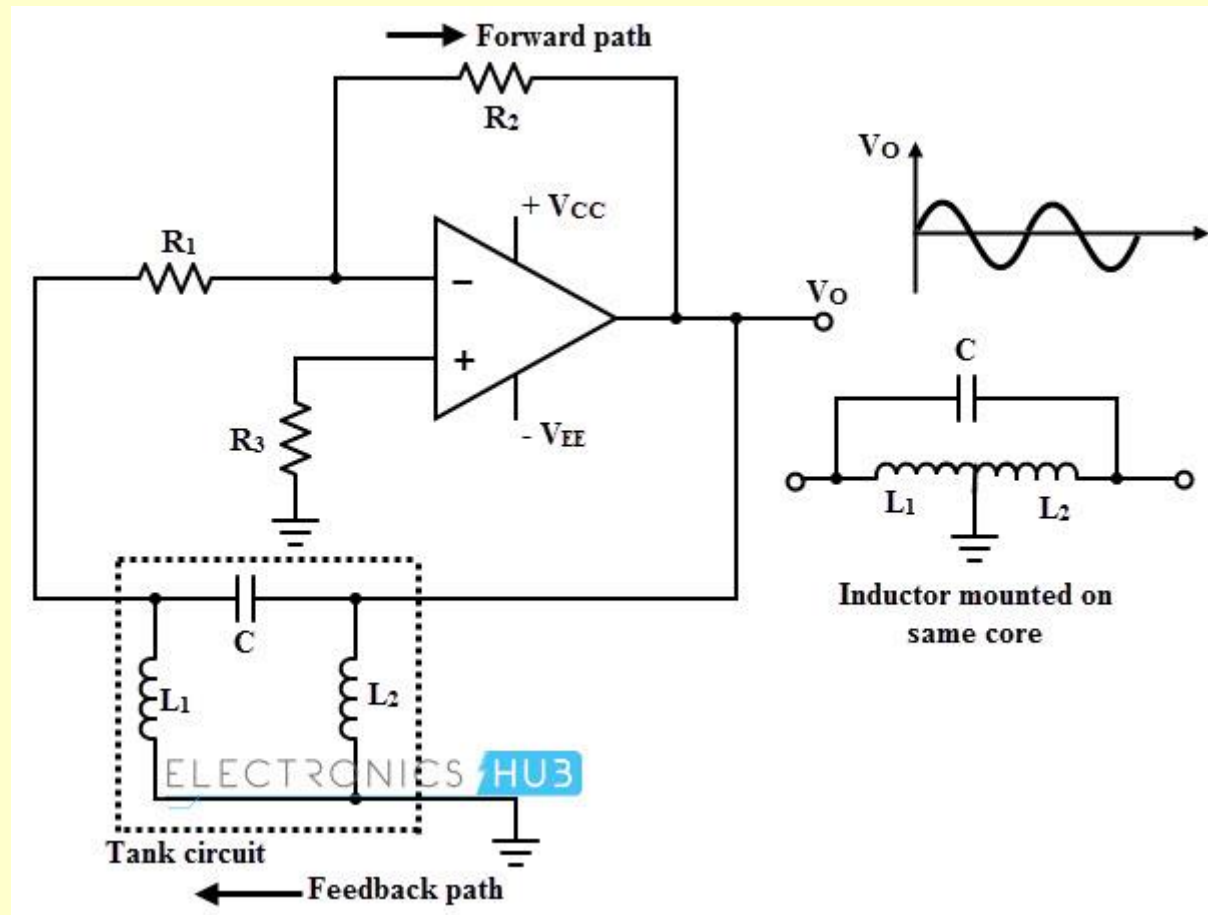
Cấu trúc giống Colpitts, chỉ hoán đổi vị trí L và C.

$$f_r \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C}}$$

$$B \cong \frac{L_1}{L_2}$$

$$A_v \cong \frac{L_2}{L_1}$$





# Dao động thạch anh

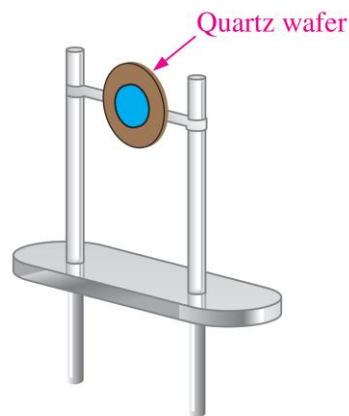
## Crystal Oscillator

42

- ▣ Được dùng trong hầu hết các hệ thống thông tin và hệ thống số do có tính ổn định tần số rất cao.
- ▣ Thạch anh dùng trong lĩnh vực điện tử gồm một miếng thạch anh nằm giữa hai bản kim loại, sau đó được đóng gói trong một vỏ kim loại như trong hình.



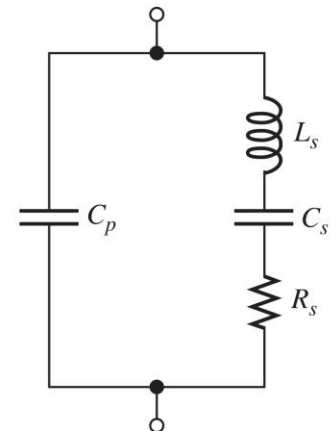
(a) Typical packaged crystal



(b) Basic construction (without case)



(c) Symbol



(d) Electrical equivalent

# Crystal Oscillator

43

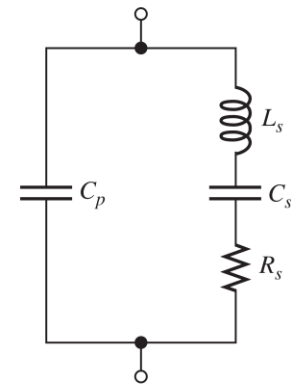
## Hiệu ứng áp điện (Piezoelectric Effect)

- Tinh thể thạch anh được tạo thành từ silicon oxide ( $\text{SiO}_2$ ) và có tích chất áp điện *piezoelectric*
- Khi áp một điện thế xoay chiều ngang qua tinh thể, nó sẽ rung tại tần số của điện thế áp vào. Nói cách khác tần số của điện thế ac sẽ bằng với tần số cộng hưởng của tinh thể.
- Tinh thể càng mỏng, tần số dao động càng cao. Hiệu ứng này gọi là hiệu ứng áp điện.

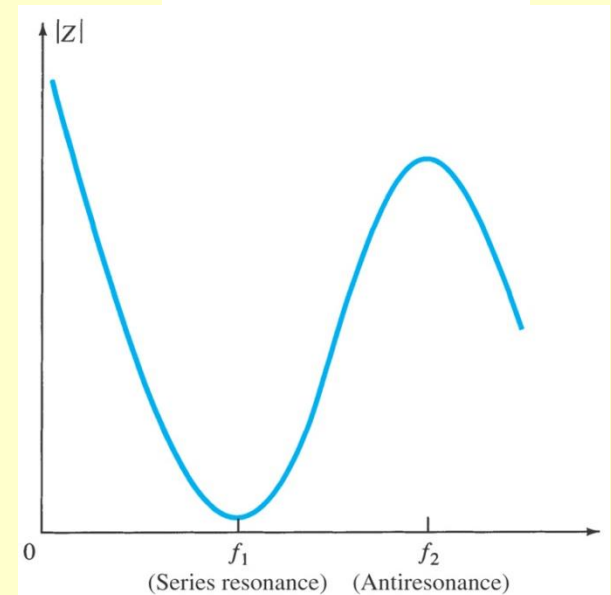
# Crystal Oscillator

44

- ▣ Đặc tính của tinh thể thạch anh.
  - Hai tần số cộng hưởng của tinh thể thạch anh:
  - Tần số cộng hưởng nối tiếp  $f_1$  xuất hiện khi  $X_{L_s} = X_{C_s}$ . Trở kháng của mạch nhỏ,  $Z = R_s$
  - Tần số cộng hưởng song song  $f_2$  xuất hiện khi điện kháng của  $C_p$  bằng với điện kháng của  $L_s$ . Trở kháng của mạch rất lớn tại tần số này.

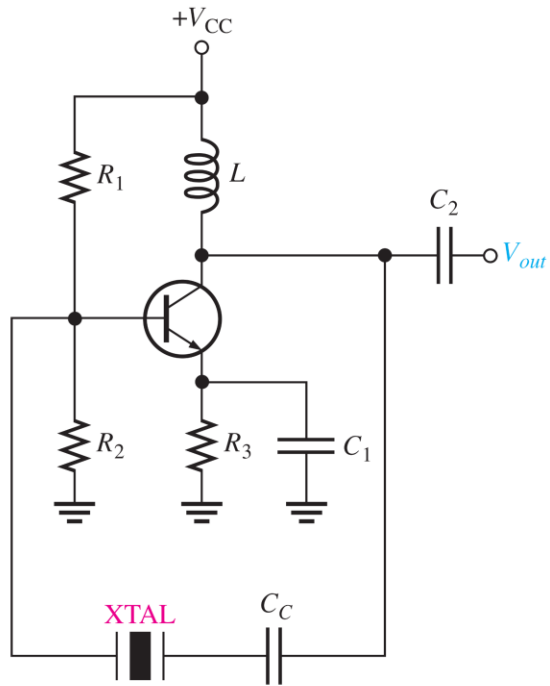


(d) Electrical equivalent

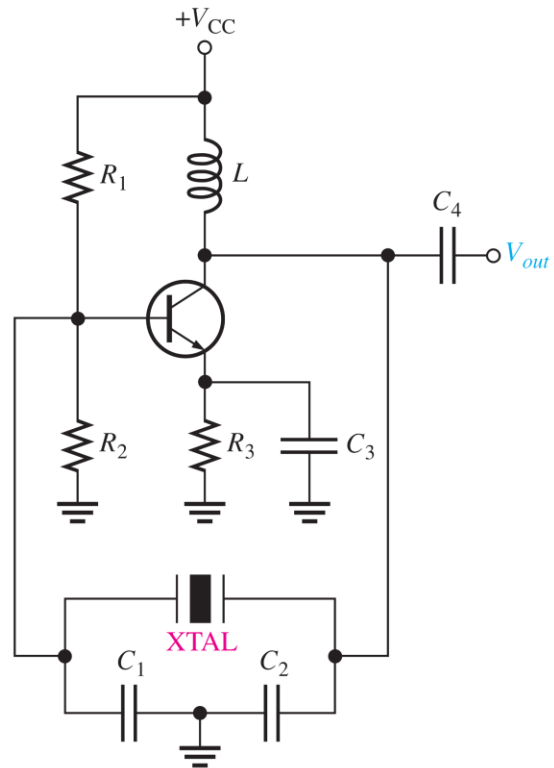


# BT: giải thích hoạt động của các mạch

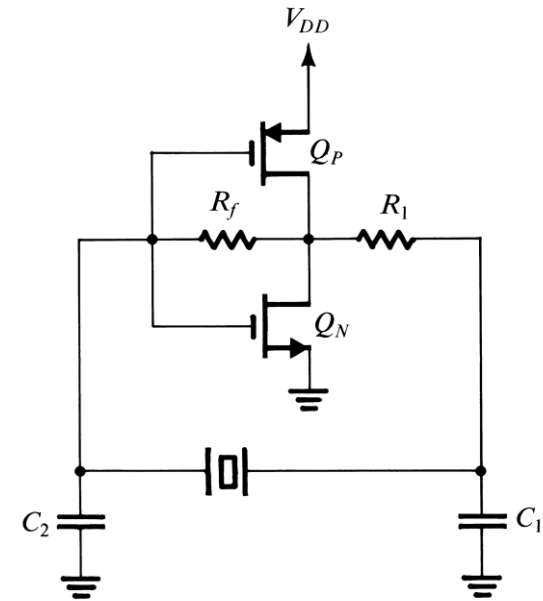
45



(a)



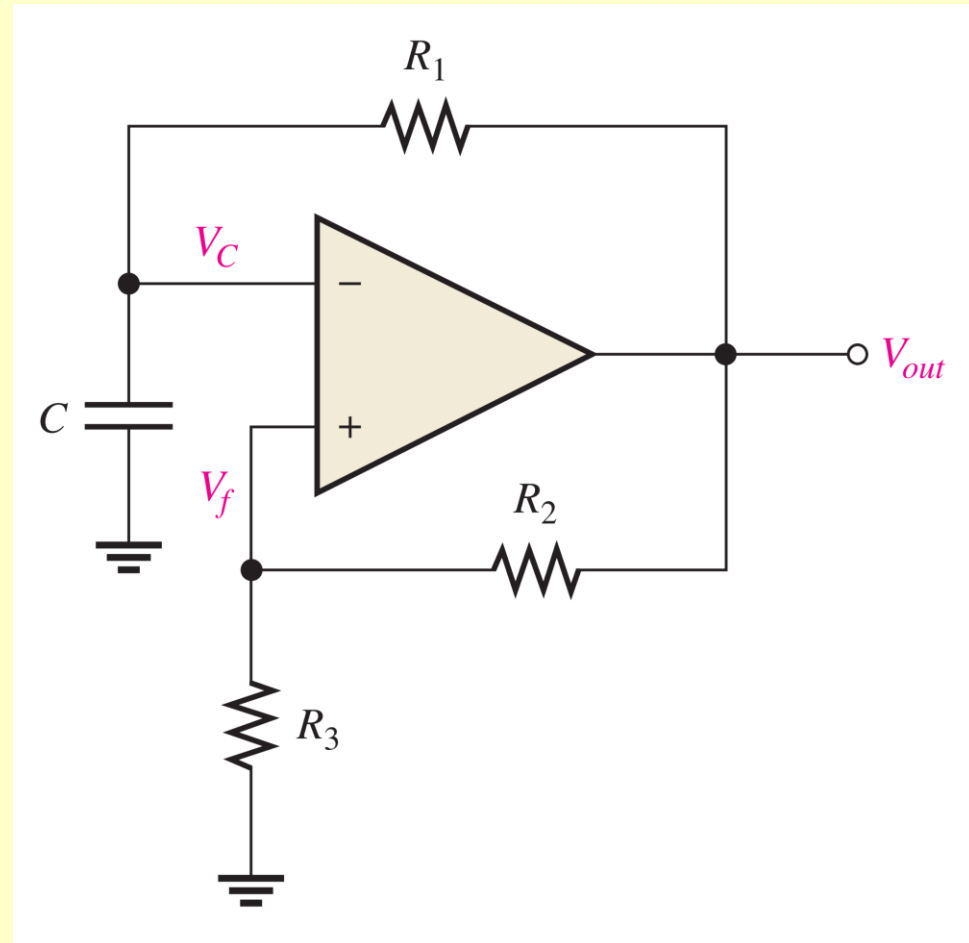
(b)

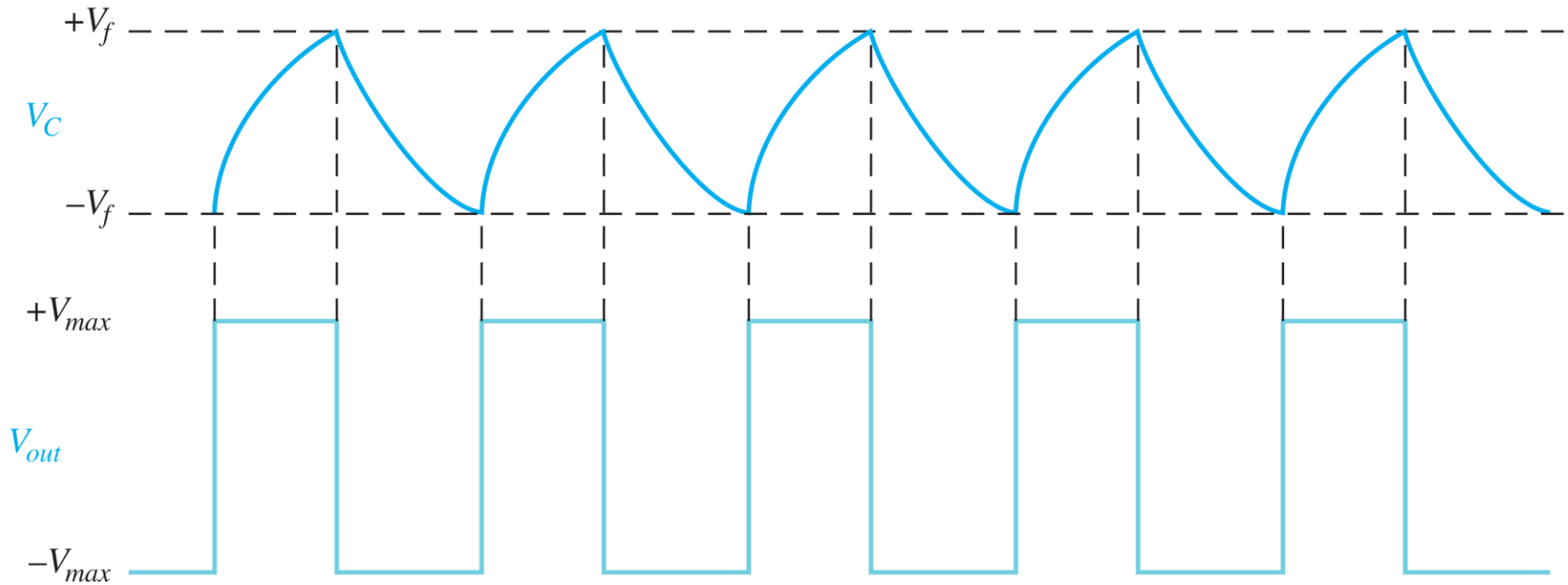


# Bộ dao động tích thoát (relaxation oscillator) tạo sóng vuông

46

Giải thích hoạt động của mạch?





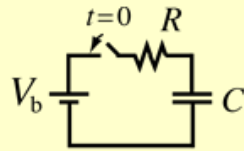
$$V_{UTP} = +V_{max} \left( \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$V_{LTP} = -V_{max} \left( \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$T = 2R_1C \ln \left( 1 + \frac{2R_3}{R_2} \right)$$

Chứng minh

## Hướng dẫn



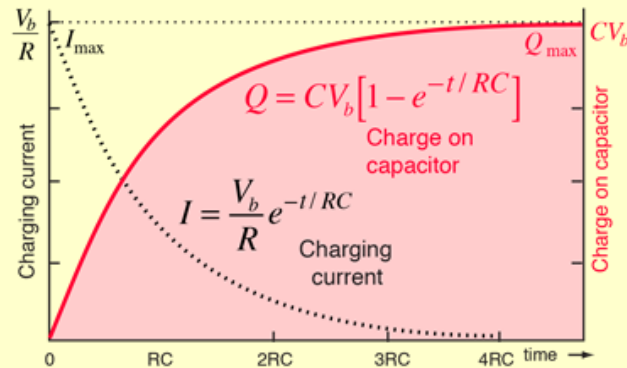
$$V_b = V_R + V_C$$

$$V_b = IR + \frac{Q}{C}$$

As charging progresses,

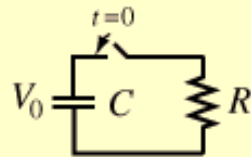
$$V_b = IR + \frac{Q}{C} \quad \uparrow$$

current decreases and charge increases.



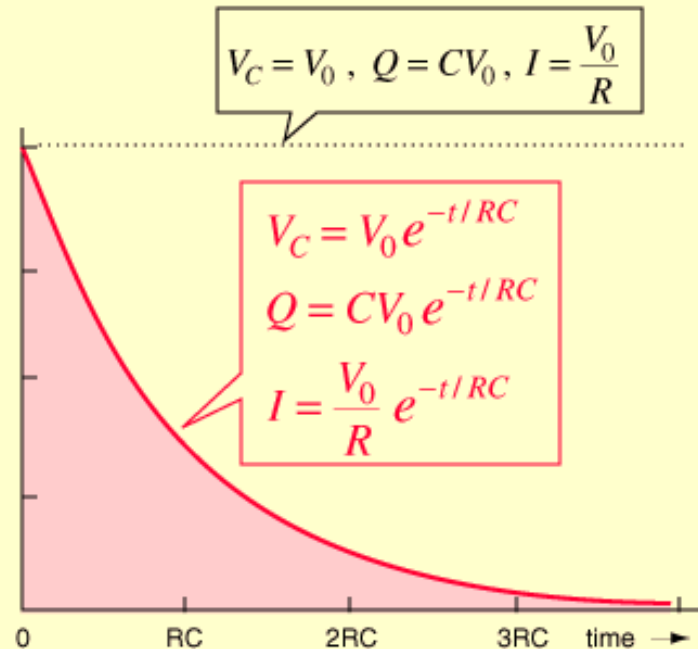
At  $t = 0$   
 $Q = 0$   
 $V_C = 0$   
 $I = \frac{V_b}{R}$

As  $t \rightarrow \infty$   
 $Q \rightarrow CV_b$   
 $V_C \rightarrow V_b$   
 $I \rightarrow 0$



$$V_C = \frac{Q}{C} = IR$$

The voltage  $V_C$ , the current  $I$ , and the charge  $Q$  all follow the same type of decay curve when the switch is closed.





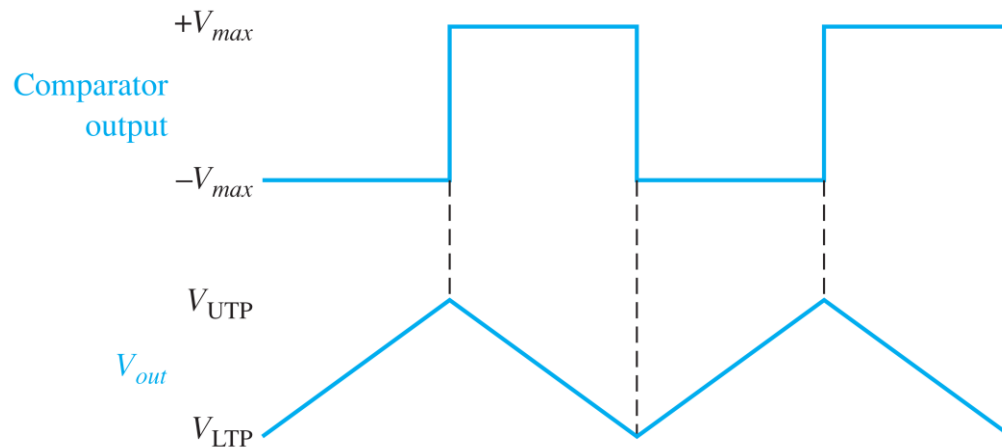
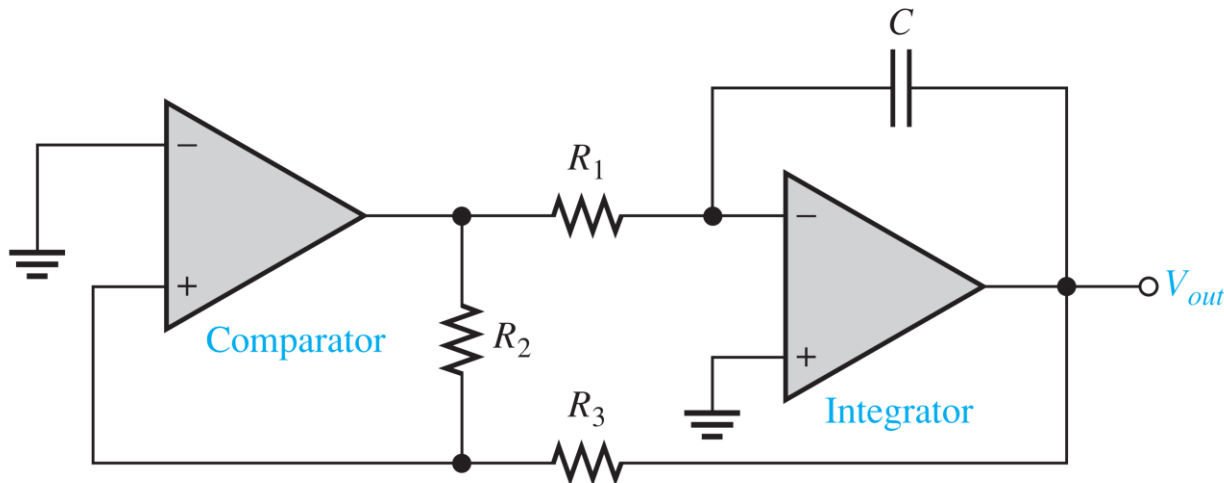
# 20 phút suy nghĩ



# Dao động tích thoát tạo sóng tam giác

## A Triangular-Wave Oscillator

50



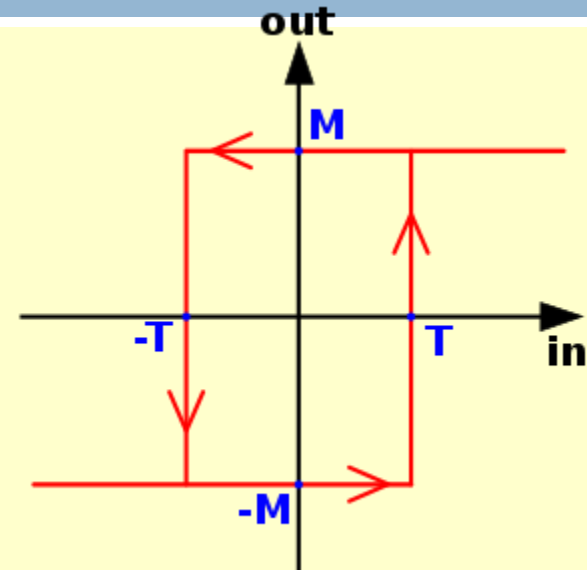
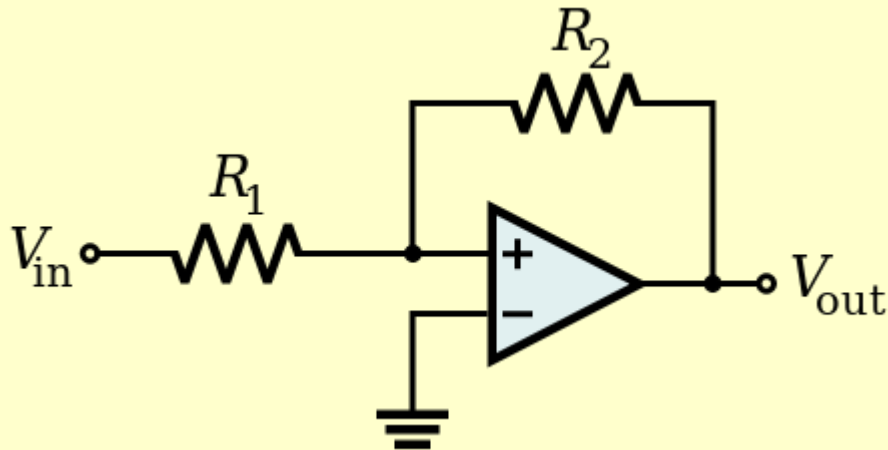
$$V_{UTP} = +V_{max} \left( \frac{R_3}{R_2} \right)$$

$$V_{LTP} = -V_{max} \left( \frac{R_3}{R_2} \right)$$

# Hướng dẫn

## Non-inverting Schmitt trigger

51



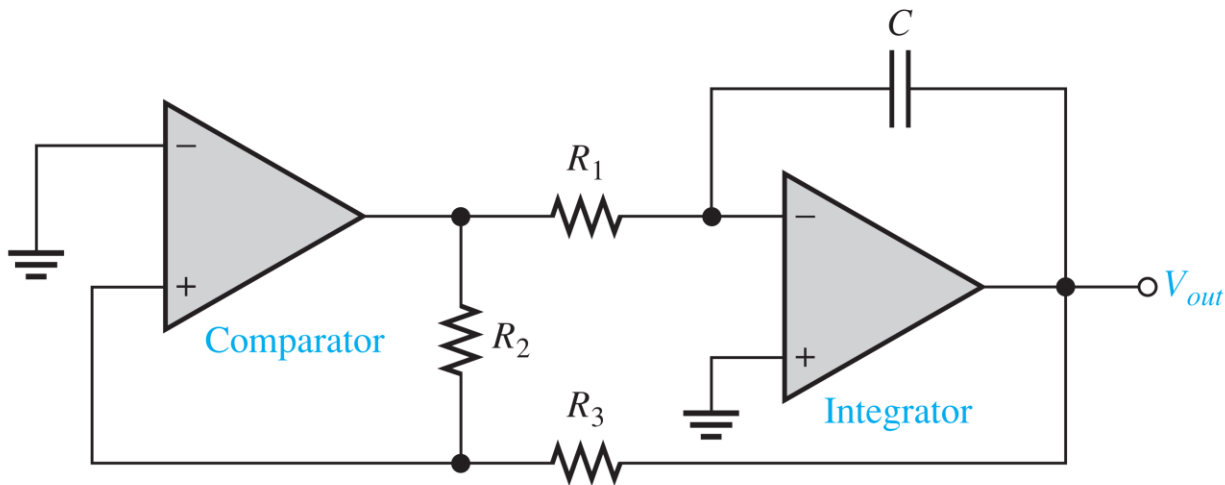
$$V_{+} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_s$$

$$V_{+} = 0 \Rightarrow R_2 \cdot V_{in} = -R_1 \cdot V_s$$

# Xem như bài tập, chứng minh

52

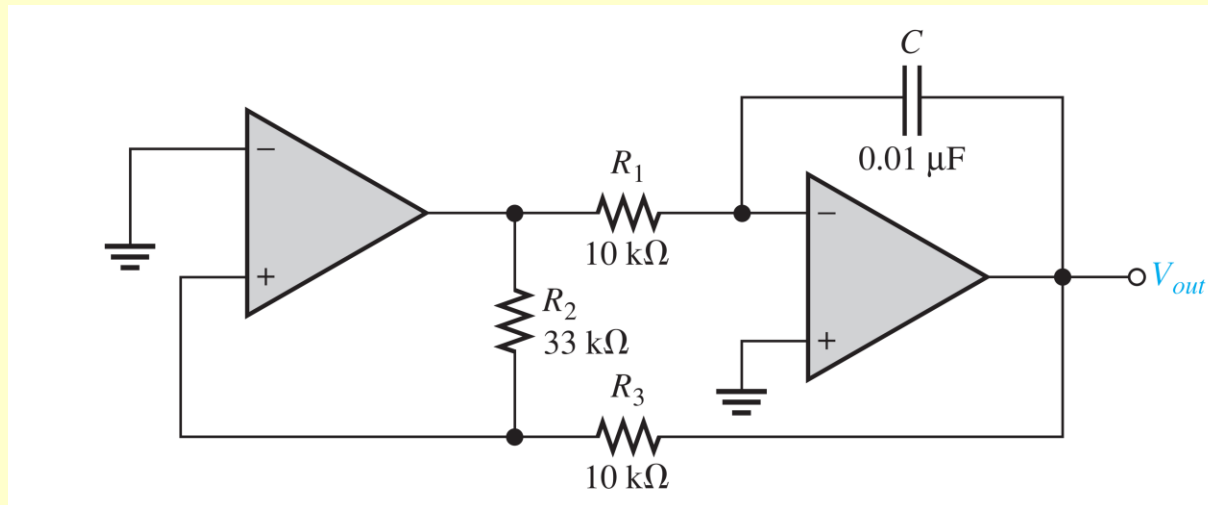
$$f = \frac{1}{4R_1C} \left( \frac{R_2}{R_3} \right)$$



# VD

53

Tìm tần số dao động của mạch? Để tần số dao động là 20 Khz thì  $R_1$  phải là bao nhiêu?

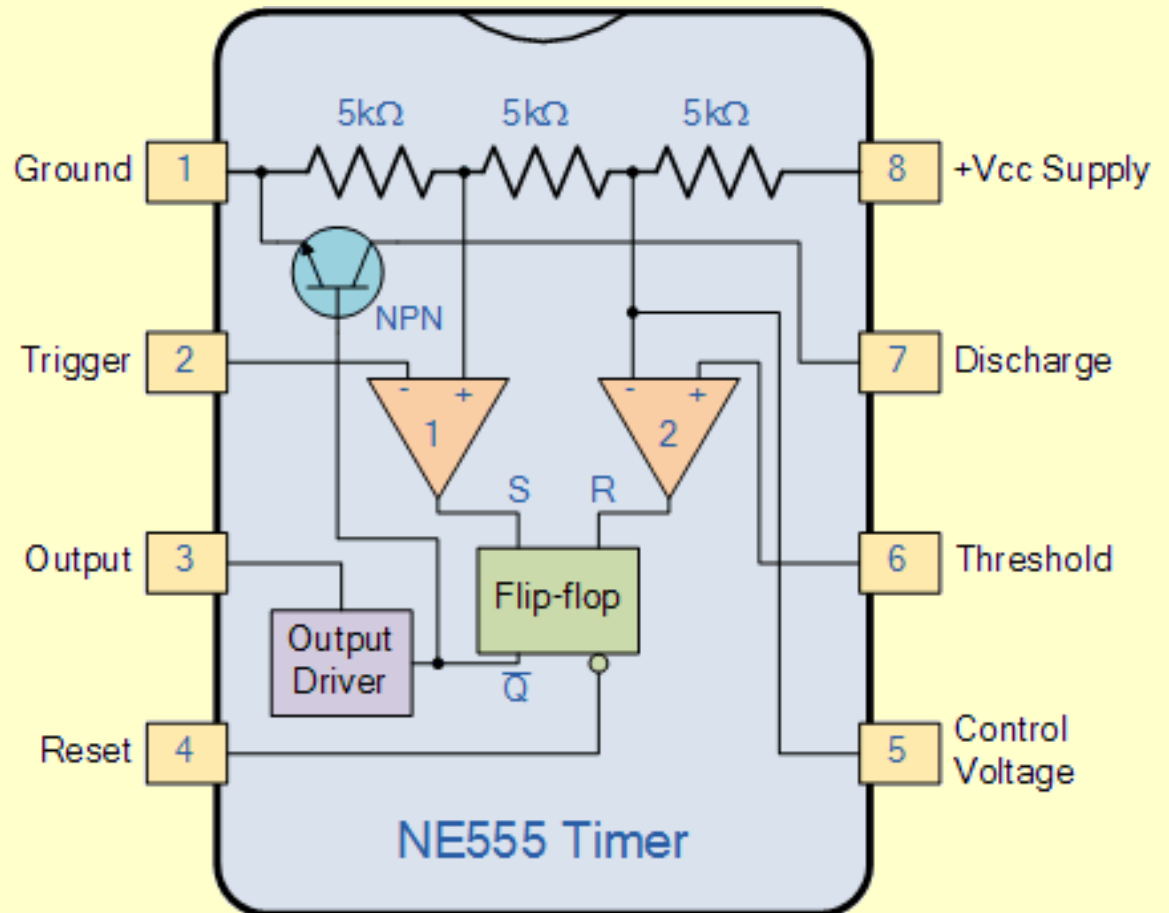
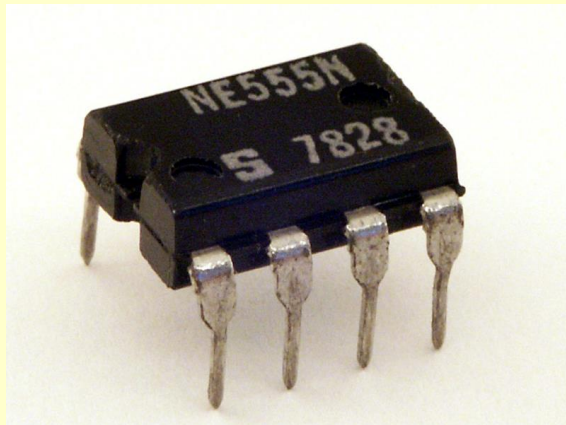


$$f = \frac{1}{4R_1C} \left( \frac{R_2}{R_3} \right) = \left( \frac{1}{4(10 \text{ k}\Omega)(0.01 \text{ }\mu\text{F})} \right) \left( \frac{33 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \right) = \mathbf{8.25 \text{ kHz}}$$

$$R_1 = \frac{1}{4fC} \left( \frac{R_2}{R_3} \right) = \left( \frac{1}{4(20 \text{ kHz})(0.01 \text{ }\mu\text{F})} \right) \left( \frac{33 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \right) = \mathbf{4.13 \text{ k}\Omega}$$

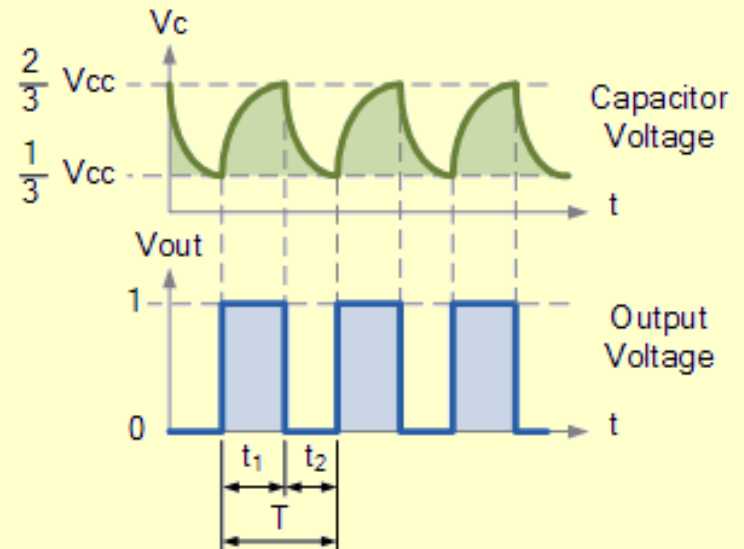
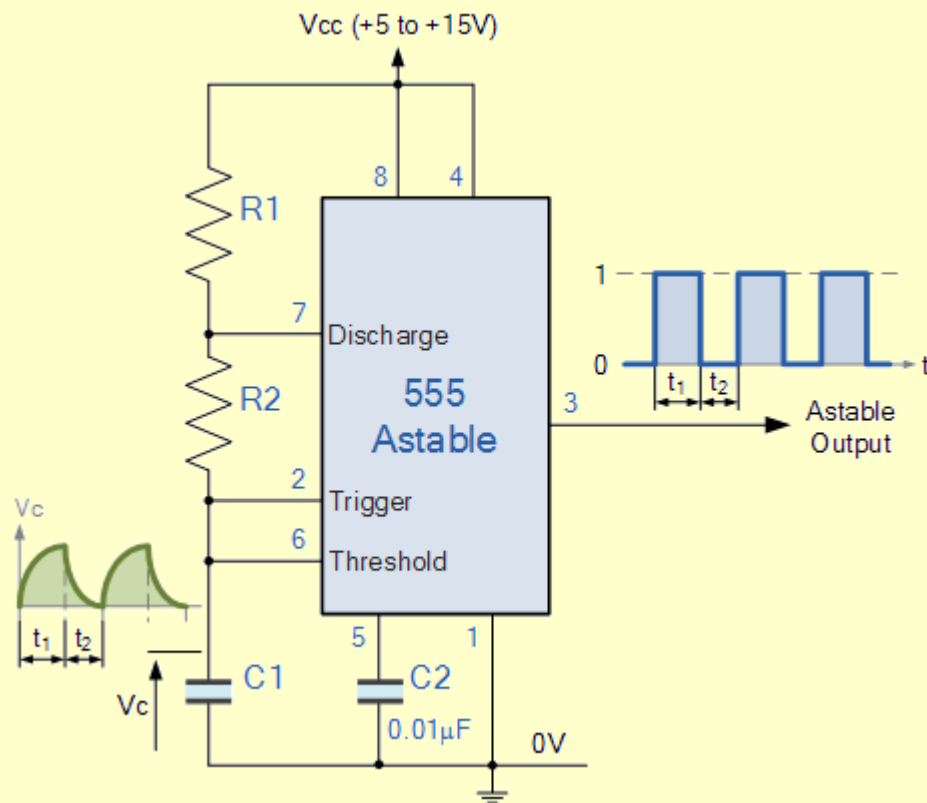
# IC Định thời 555

55



# Tạo dao động dùng 555

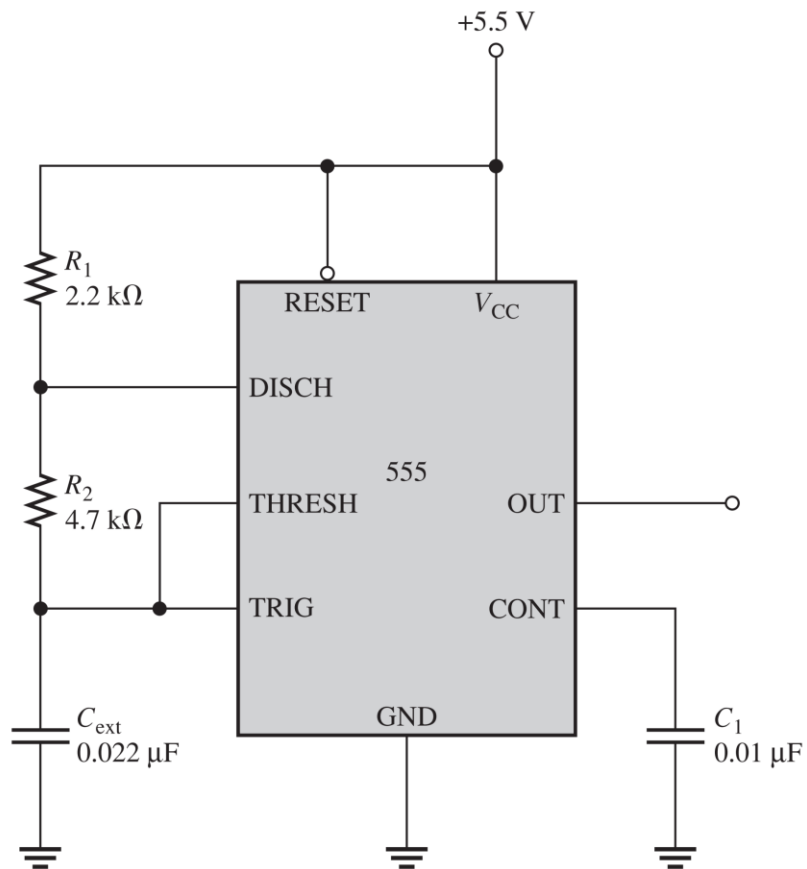
56



$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2).C}$$

$$\text{Duty cycle} = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) 100\%$$





Tìm tần số dao động và duty cycle?

Duty cycle: chu kỳ làm việc, hệ số đầy

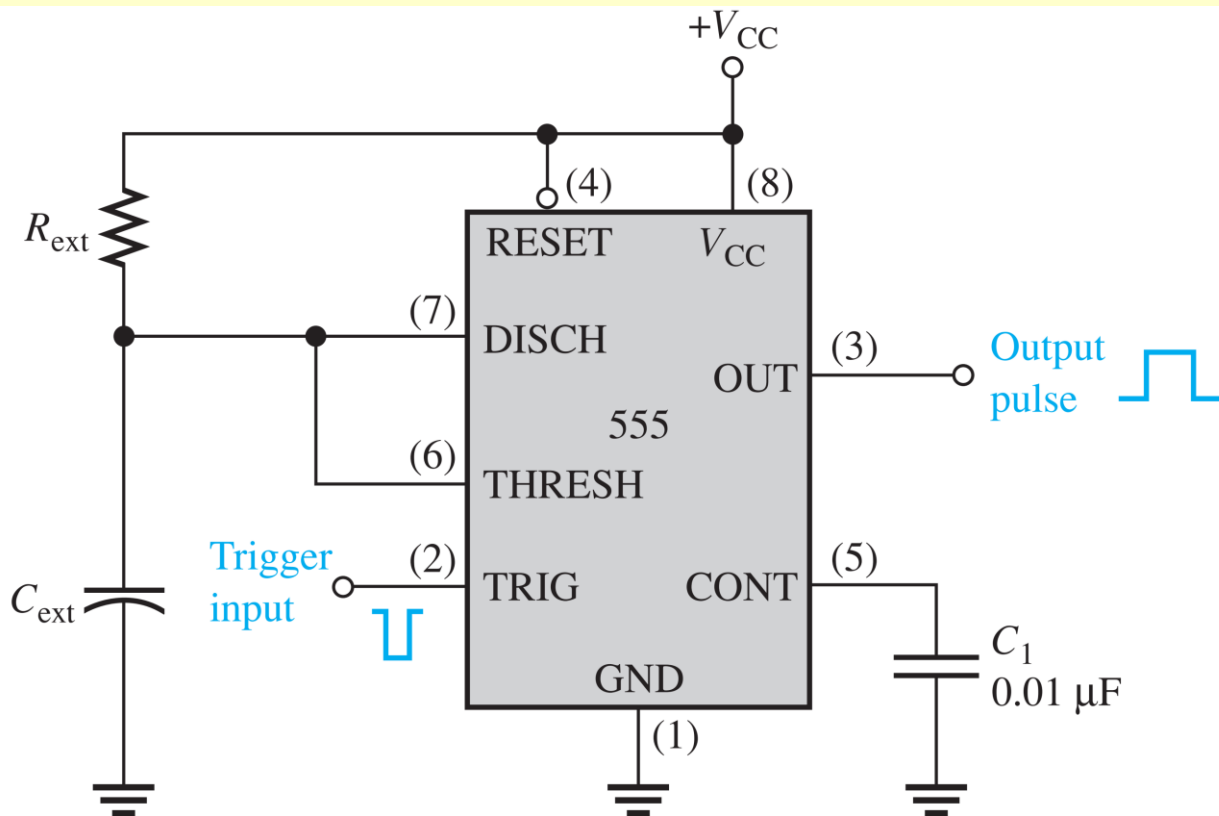
$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C_{\text{ext}}} = \frac{1.44}{(2.2 \text{ k}\Omega + 9.4 \text{ k}\Omega)0.022 \text{ }\mu\text{F}} = \mathbf{5.64 \text{ kHz}}$$

$$\text{Duty cycle} = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \right) 100\% = \left( \frac{2.2 \text{ k}\Omega + 4.7 \text{ k}\Omega}{2.2 \text{ k}\Omega + 9.4 \text{ k}\Omega} \right) 100\% = \mathbf{59.5\%}$$

# Mạch one-shot dùng 555

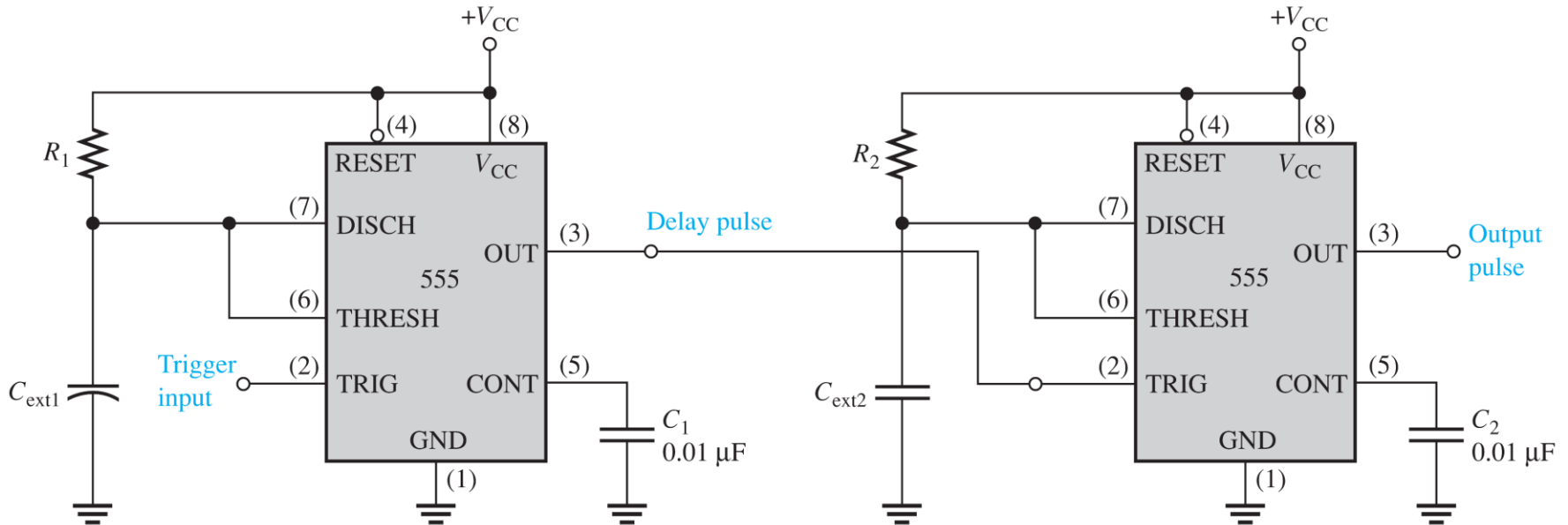
59

$$t_W = 1.1R_{\text{ext}}C_{\text{ext}}$$



# Tạo delay dùng one-shot

60

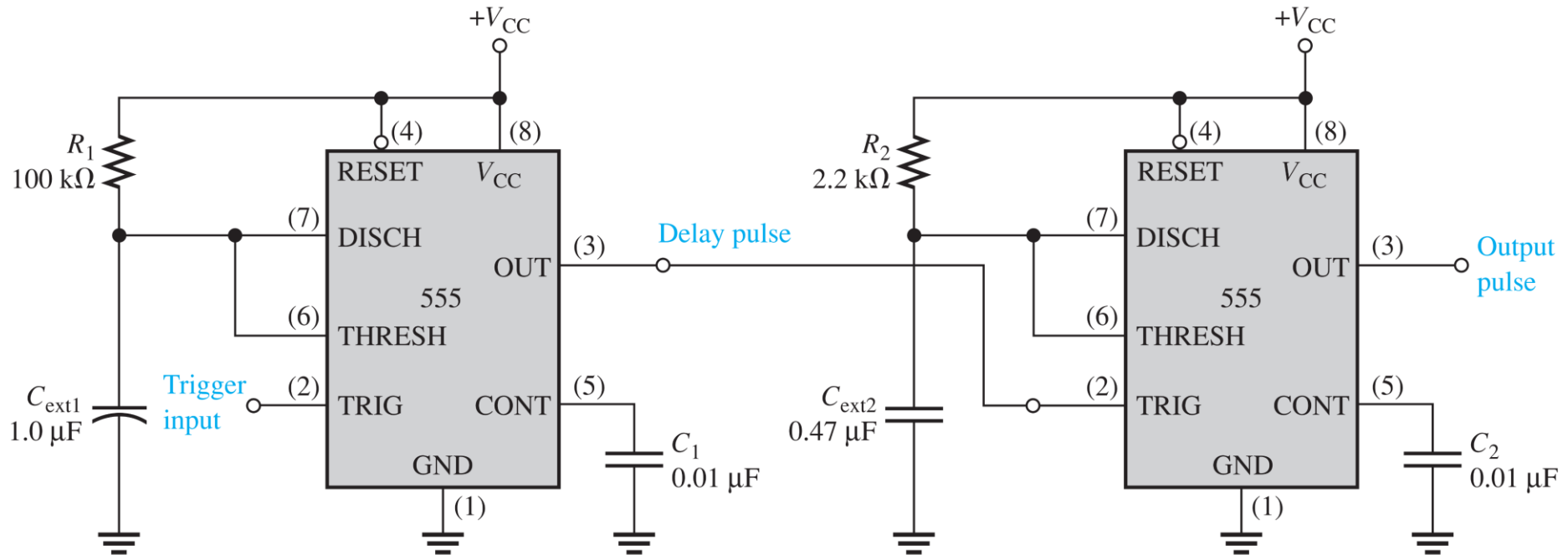


(a)



# VD: tìm thời gian delay của mạch

61



$$t_{W1} = 1.1R_1C_{\text{ext}1} = 1.1(100 \text{ k}\Omega)(1.0 \text{ }\mu\text{F}) = \mathbf{110 \text{ ms}}$$

$$t_{W2} = 1.1R_2C_{\text{ext}2} = 1.1(2.2 \text{ k}\Omega)(0.47 \text{ }\mu\text{F}) = \mathbf{1.14 \text{ ms}}$$

