

1

Chương 7

Bộ ổn áp/Voltage Regulator

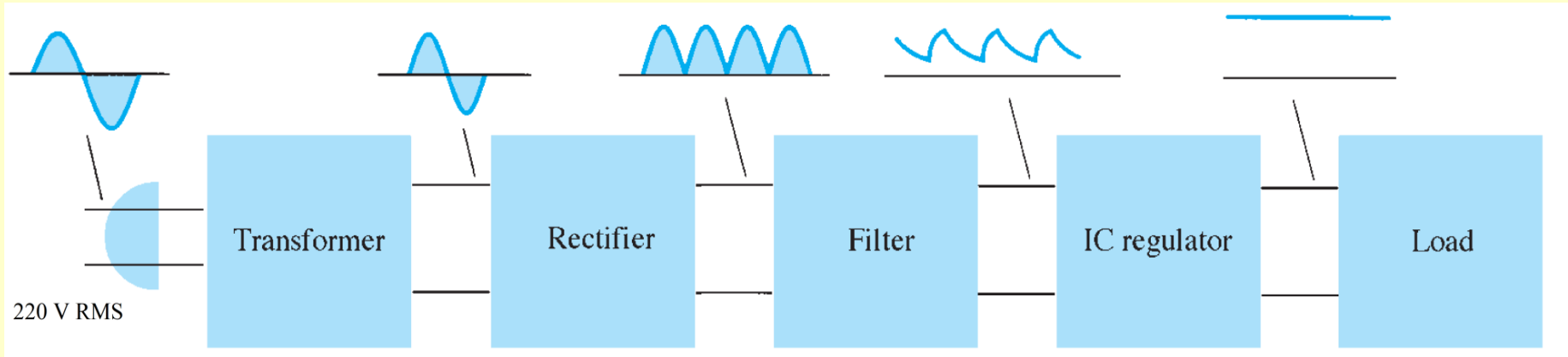
Outline

2

- Introduction
- Voltage Regulation
- Line Regulation
- Load Regulation
- Series Regulator
- Shunt Regulator
- Switching Regulator
- IC Voltage Regulator

Introduction

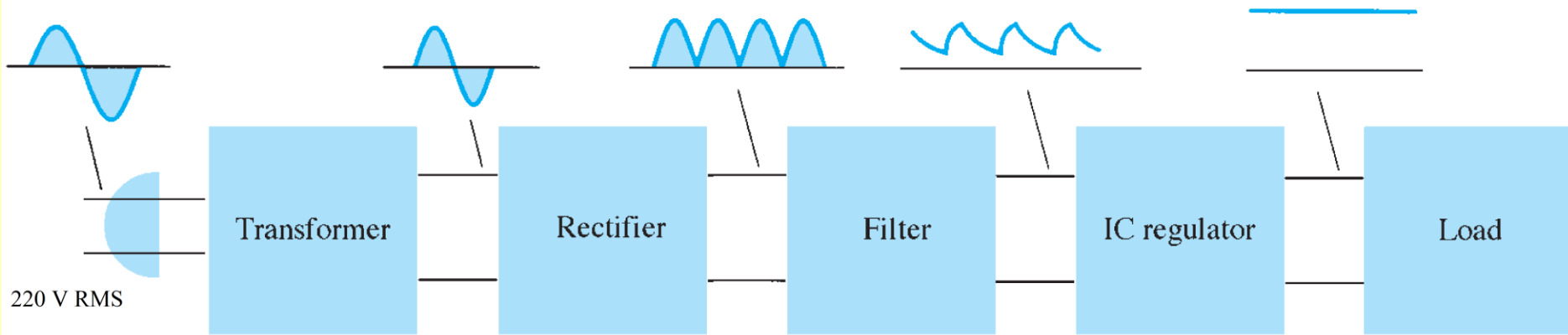
3



- ❑ **Power supply:** một nhóm các mạch điện chuyển điện thế xoay chiều (220 V, 50 Hz) sang điện thế DC ổn định.
- ❑ **Transformer (biến thế):** Linh kiện giúp tăng/giảm điện thế ac tới giá trị mong muốn.

Introduction

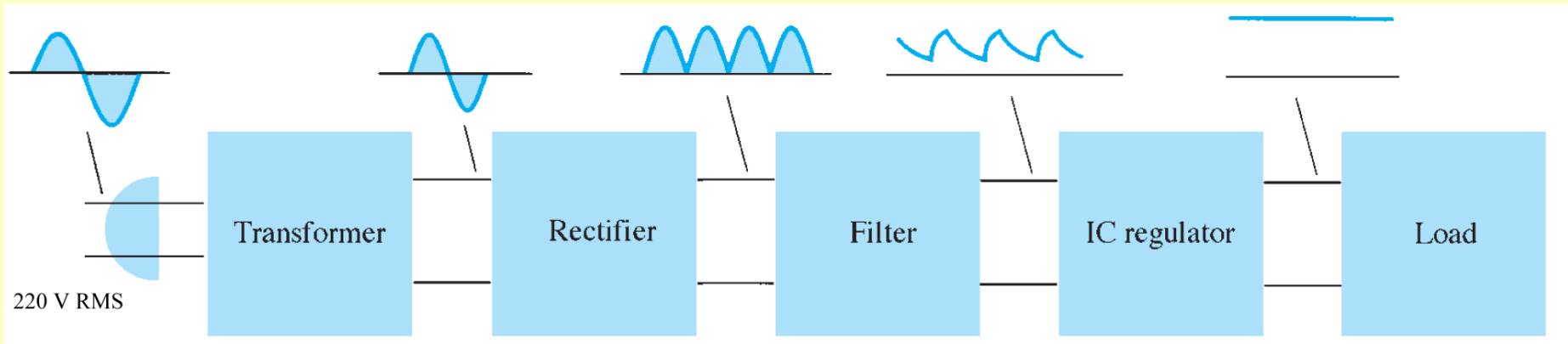
4



- ❑ **Rectifier (chỉnh lưu)**: mạch điện dùng diode chuyển điện thế ac thành điện thế dc (có gợn sóng).
- ❑ Điện thế dc sau mạch chỉnh lưu không đủ tốt để sử dụng làm bộ cấp nguồn dc cho các thiết bị điện tử.

Introduction

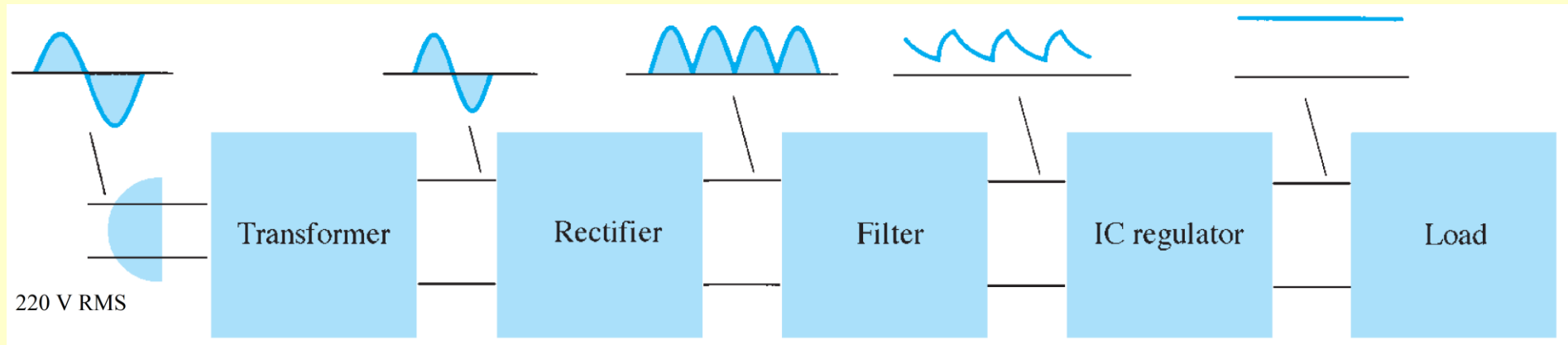
5



- Có hai loại mạch chỉnh lưu cơ bản:
 - ▣ Chỉnh lưu một bán kỳ (Half-wave rectifier)
 - ▣ Chỉnh lưu toàn lý (Full-wave rectifier - Center-tapped & Bridge full-wave rectifier)
- Mạch chỉnh lưu toàn sóng có độ gợn sóng nhỏ hơn một bán kỳ nên thích hợp hơn cho mạch lọc phía sau.

Introduction

6



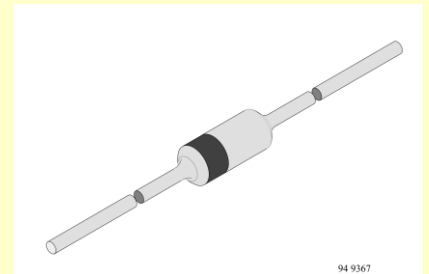
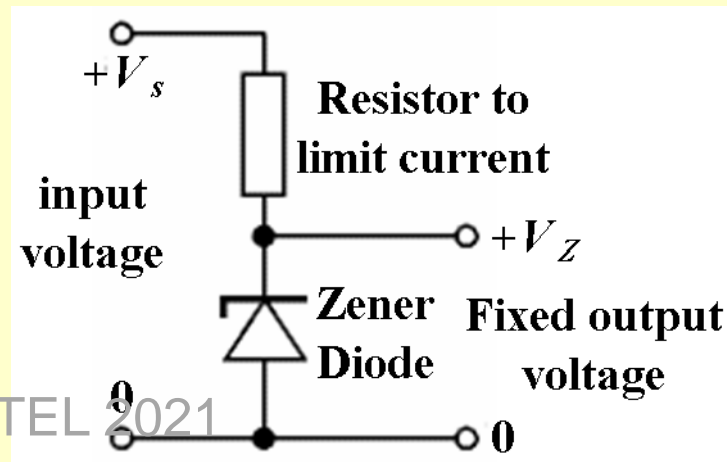
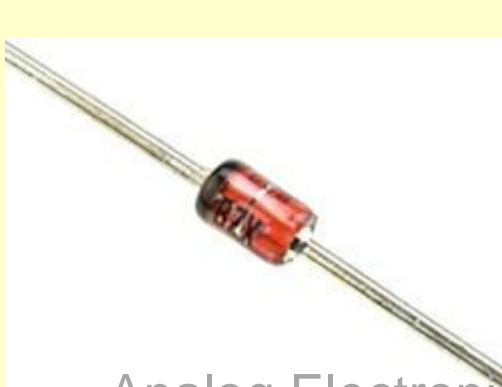
- ❑ **Filter (lọc):** dùng để giảm độ gợn sóng của ngõ ra của mạch chỉnh lưu.
- ❑ **Regulator (bộ/mạch ổn áp):** tạo ra điện thế dc là một hằng số

Introduction

7

Regulator - Zener diode regulator

- Mạch ổn áp đơn giản chỉ gồm một diode Zener và một điện trở. Ổn áp kiểu này có khả năng cấp dòng điện nhỏ.
- Zener diodes có nhiều loại khác nhau về điện thế Zener (breakdown voltage V_Z) và công suất tối đa P_Z (loại thông thường 400mW và 1.3W)



Description	
	BZX4V7 4V7 1.3 ZENER DIODE
	BZX5V1 5V1 1.3W ZENER DIODE
	BZX5V6 5V6 1.3W ZENER DIODE
	BZX6V2 6V2 1.3W ZENER DIODE
	BZX6V8 6V8 1.3W ZENER DIODE
	BZX7V5 7V5 1.3W ZENER DIODE
	BZX8V2 8V2 1.3W ZENER DIODE
	BZX9V1 9V1 1.3W ZENER DIODE
	BZX10 10V 1.3W ZENER DIODE
	BZX11 11V 1.3W ZENER DIODE
	BZX12 12V 1.3W ZENER DIODE
	BZX13 13V 1.3W ZENER DIODE
	BZX15 15V 1.3W ZENER DIODE
	BZX16 16V 1.3W ZENER DIODE
	BZX18 18V 1.3W ZENER DIODE
	BZX20 20V 1.3W ZENER DIODE
	BZX22 22V 1.3W ZENER DIODE
	BZX24 24V 1.3V ZENER DIODE
	BZX27 27V 1.3W ZENER DIODE
	BZX30 30V 1.3W ZENER DIODE
	BZX33 33V 1.3 ZENER DIODE
	BZX36 36V 1.3W ZENER DIODE
	BZX39 39V 1.3W ZENER DIODE

- Diode Zener có khuyết điểm là thay đổi theo nhiệt độ và điện thế Zener trôi theo thời gian sử dụng → có thể thay diode Zener bằng IC

LM4140 High Precision Low Noise Low Dropout Voltage Reference

Check for Samples: [LM4140](#)

FEATURES

- High Initial Accuracy: 0.1%
- Ultra Low Noise
- Low Temperature Coefficient: 3 ppm/°C (A grade)
- Low Voltage Operation: 1.8V
- Low Dropout Voltage: 20 mV (typ) @ 1mA
- Supply Current: 230 μ A (typ), ≤ 1 μ A Disable Mode
- Enable Pin
- Output Voltage Options: 1.024V, 1.250V, 2.048V, 2.500V, and 4.096V
- Custom Voltages from 0.5V to 4.5V
- Temperature Range (0°C to 70°C)

APPLICATIONS SUMMARY

- Portable, Battery Powered Equipment
- Instrumentation and Test Equipment
- Automotive
- Industrial Process Control
- Data Acquisition Systems
- Medical Equipment
- Precision Scales
- Servo Systems
- Battery Charging

DESCRIPTION

The LM4140 series of precision references are designed to combine high accuracy, low drift and noise with low power dissipation in a small package.

The LM4140 is the industry's first reference with output voltage options lower than the bandgap voltage.

The key to the advance performance of the LM4140 is the use of EEPROM registers and CMOS DACs for temperature coefficient curvature correction and trimming of the output voltage accuracy of the device during the final production testing.

The major advantage of this method is the much higher resolution available with DACs than is available economically with most methods utilized by other bandgap references.

The low input and dropout voltage, low supply current and output drive capability of the LM4140 makes this product an ideal choice for battery powered and portable applications.

The LM4140 is available in three grades (A, B, C) with 0.1% initial accuracy and 3, 6 and 10 ppm/°C temperature coefficients. For even lower Tempco, contact Texas Instruments.

The device performance is specified over the temperature range (0°C to +70°C) and is available in compact 8-pin package.

For other output voltage options from 0.5V to 4.5V, contact Texas Instruments.

Typical Application

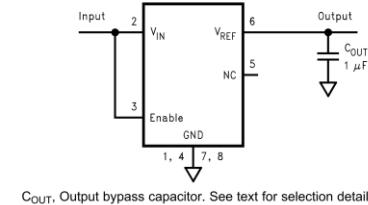


Figure 1.

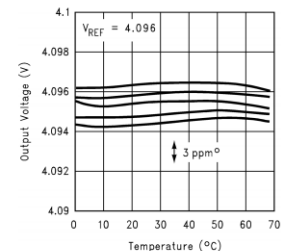


Figure 2. Typical Temperature Coefficient (Sample of 5 Parts)

Connection Diagram

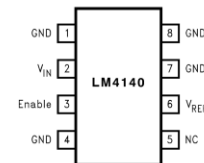


Figure 3. 8-Lead Surface Mount Package Number D0008A Top View

PIN DESCRIPTIONS

V _{ref} (Pin 6):	Reference Output. Capable of sourcing up to 8mA.
Input (Pin 2):	Positive Supply.
Ground (Pins 1, 4, 7, 8):	Negative Supply or Ground Connection. These pins must be connected to ground.
Enable (Pin 3):	Pulled to input for normal operation. Forcing this pin to ground will turn-off the output.
NC (Pin 5):	This pin must be left open.

LM4030 SOT-23 Ultra-High Precision Shunt Voltage Reference

Check for Samples: [LM4030](#)

FEATURES

- High Output Voltage Accuracy 0.05%
- Low Temperature Coefficient 10 ppm/°C
- Extended Temperature Operation -40-125°C
- Excellent Thermal Hysteresis, 75ppm
- Excellent Long-Term Stability, 40ppm
- High Immunity to Board Stress Effects
- Capable of Handling 50 mA Transients
- Voltage Options 2.5V, 4.096V
- SOT-23 Package

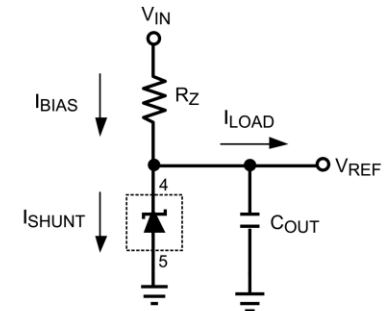
APPLICATIONS

- Data Acquisition/Signal path
- Test and Measurement
- Automotive & Industrial
- Communications
- Instrumentation
- Power Management

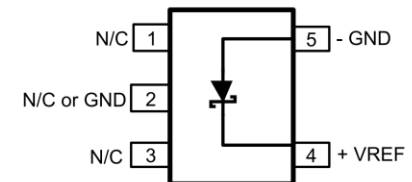
DESCRIPTION

The LM4030 is an ultra-high precision shunt voltage reference, having exceptionally high initial accuracy (0.05%) and temperature stability (10ppm/°C). The LM4030 is available with fixed voltage options of 2.5V and 4.096V. Despite the tiny SOT-23 package, the LM4030 exhibits excellent thermal hysteresis (75ppm) and long-term stability (40ppm) as well as immunity to board stress effects.

Typical Application Circuit



Connection Diagram



**SOT-23 Package
(Top View)**

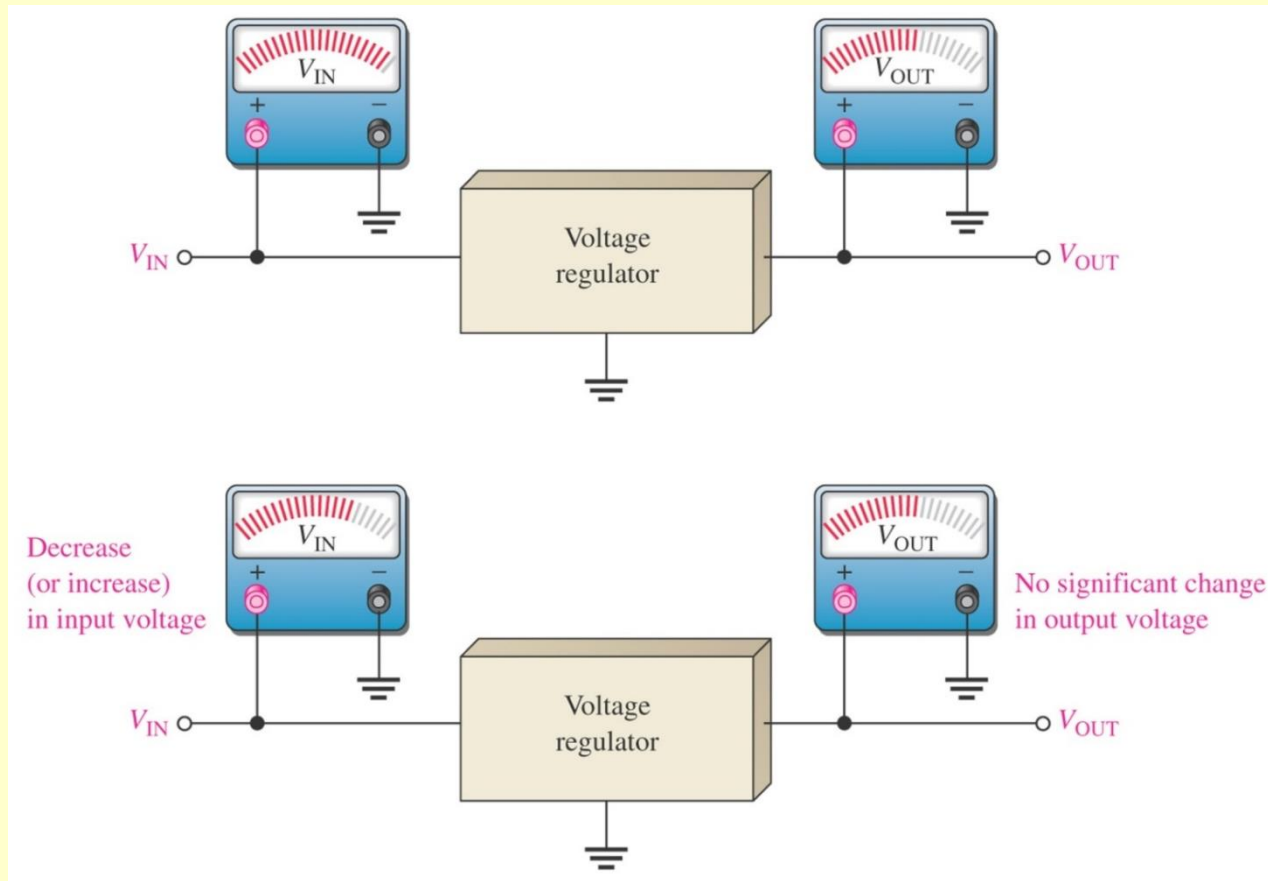
Ổn áp (Voltage Regulation)

11

- Hai loại mạch ổn áp:
 - Ổn áp/ổn định theo điện thế vào/điện thế lưới (line regulation)
 - Ổn áp theo tải (load regulation)
- Mục tiêu của mạch **line regulation** là duy trì một điện áp là hằng số ở ngõ ra khi điện áp vào thay đổi.
- Mục tiêu của mạch **load regulation** là duy trì một điện áp là hằng số ở ngõ ra khi tải **(load)** thay đổi.

Line Regulation

12



Line regulation: Thay đổi điện thế ở ngõ vào (line) không ảnh hưởng nhiều đến điện thế ngõ ra của bộ ổn áp. (Dĩ nhiên là trong một giới hạn)

Line Regulation

13

- Line regulation: là hệ số thể hiện khả năng duy trì hằng số điện thế ngõ ra khi điện thế ngõ vào thay đổi.

$$\textit{Line regulation} = \left(\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \right) \times 100\% \quad (\text{đơn vị: mV/V})$$

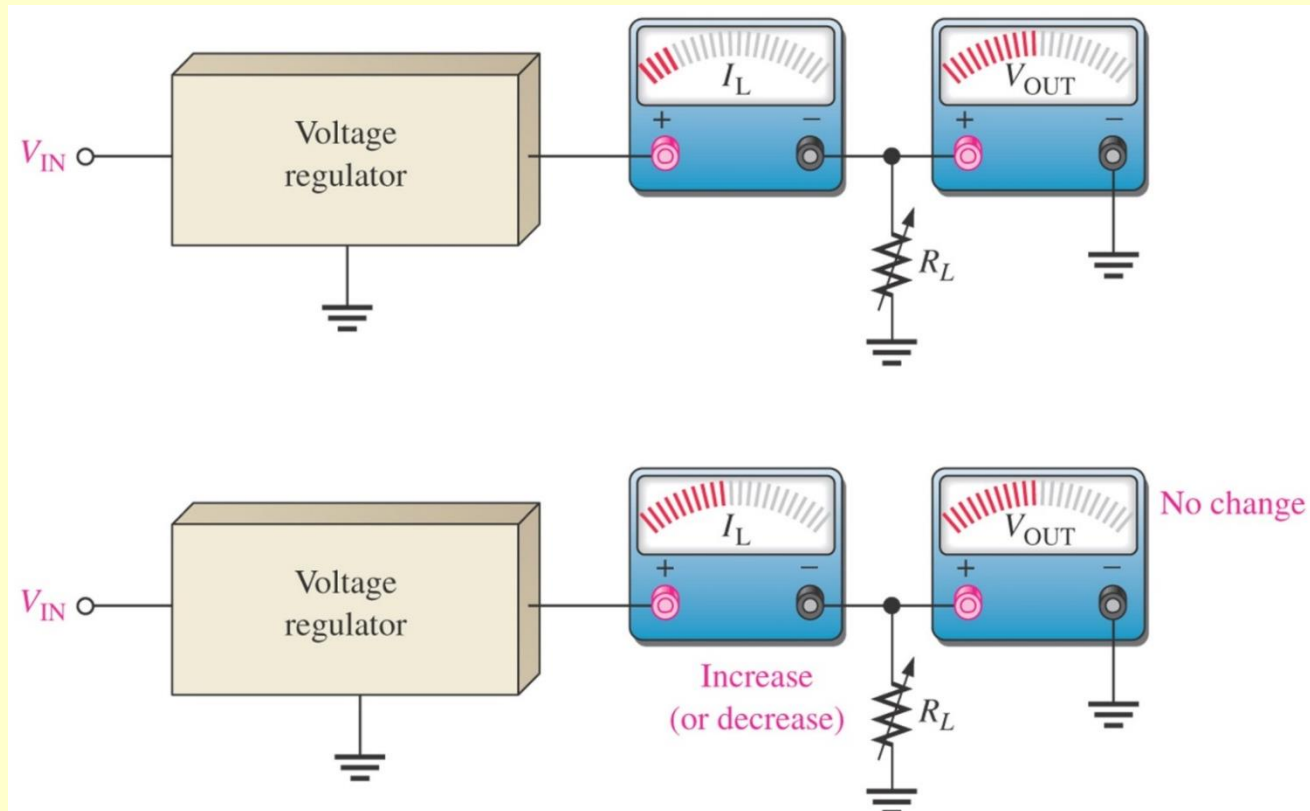
Line regulation cũng có thể được tính theo công thức:

$$\textit{Line regulation} = \frac{(\Delta V_{OUT} / V_{OUT}) \times 100\%}{\Delta V_{IN}} \quad (\text{đơn vị: \% / mV hay \% / V})$$

Dùng công thức nào cần phải coi trong datasheet (dựa vào đơn vị)

Load Regulation

14



Load regulation: Thay đổi ở dòng điện tải (do thay đổi R_L) không ảnh hưởng nhiều tới điện thế ngõ ra của bộ ổn áp. (Trong một giới hạn cho phép)

Load Regulation

15

- Load regulation: được định nghĩa là phần trăm thay đổi điện thế ngõ ra từ không tải (no-load, NL) đến toàn tải (full-load, FL).

$$\text{Load regulation} = \left(\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \right) \times 100\%$$

- Với:

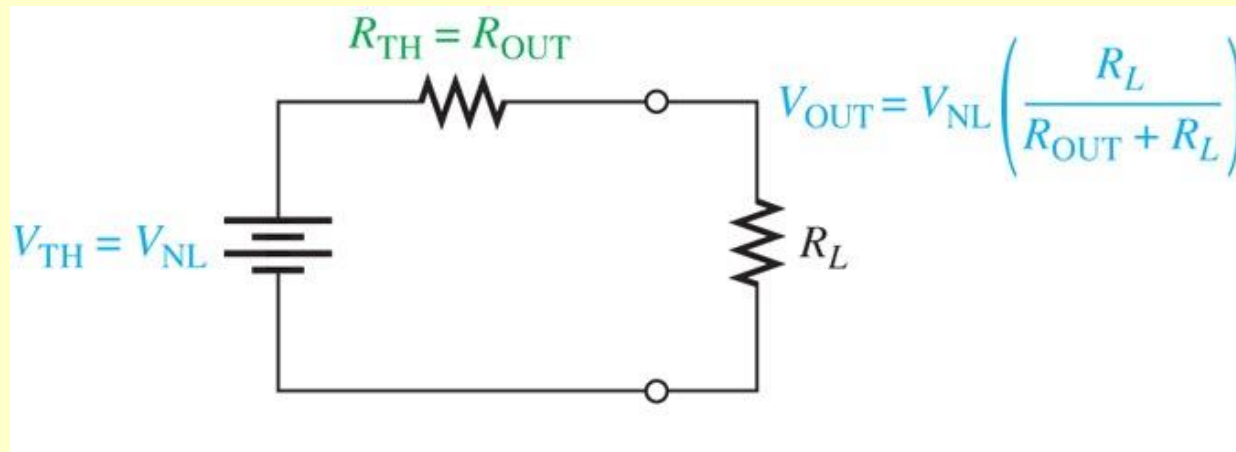
V_{NL} = the no-load output voltage

V_{FL} = the full-load output voltage

Load Regulation

16

- Một số bộ cấp nguồn dùng đại lượng output resistance (R_{out}) thay cho load regulation.



- Nếu ta định nghĩa R_{FL} là điện trở tải nhỏ nhất, V_{FL} được tính bằng công thức:

$$V_{FL} = V_{NL} \left(\frac{R_{FL}}{R_{OUT} + R_{FL}} \right)$$

Load Regulation

17

- Sắp xếp lại và thay vào công thức load regulation:

$$V_{NL} = V_{FL} \left(\frac{R_{OUT} + R_{FL}}{R_{FL}} \right)$$

$$\text{Load regulation} = \frac{V_{FL} \left(\frac{R_{OUT} + R_{FL}}{R_{FL}} \right) - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

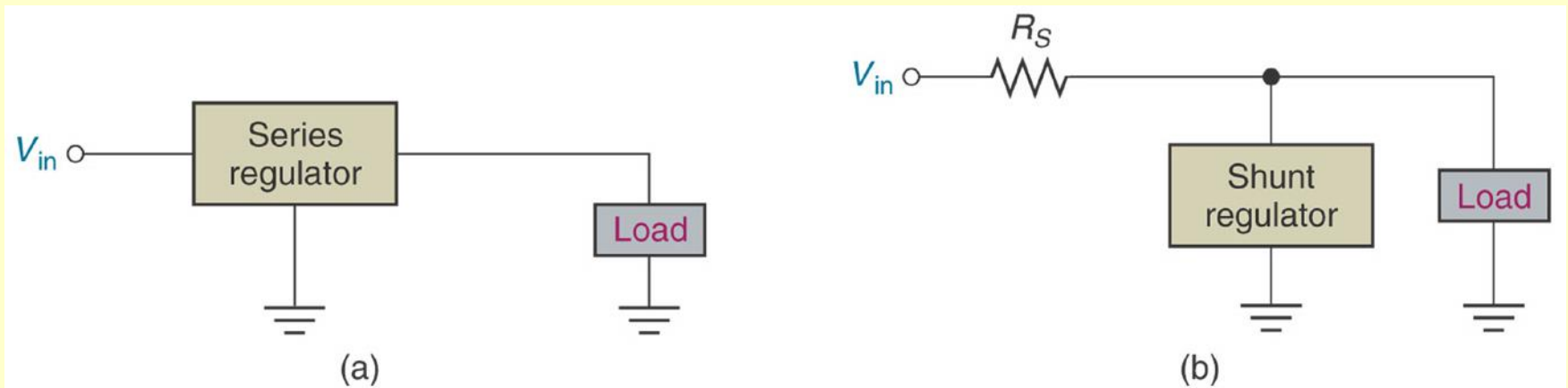
$$\text{Load regulation} = \left(\frac{R_{OUT} + R_{FL}}{R_{FL}} - 1 \right) \times 100\%$$

$$\text{Load regulation} = \left(\frac{R_{OUT}}{R_{FL}} \right) \times 100\%$$

Phân loại mạch ổn áp

18

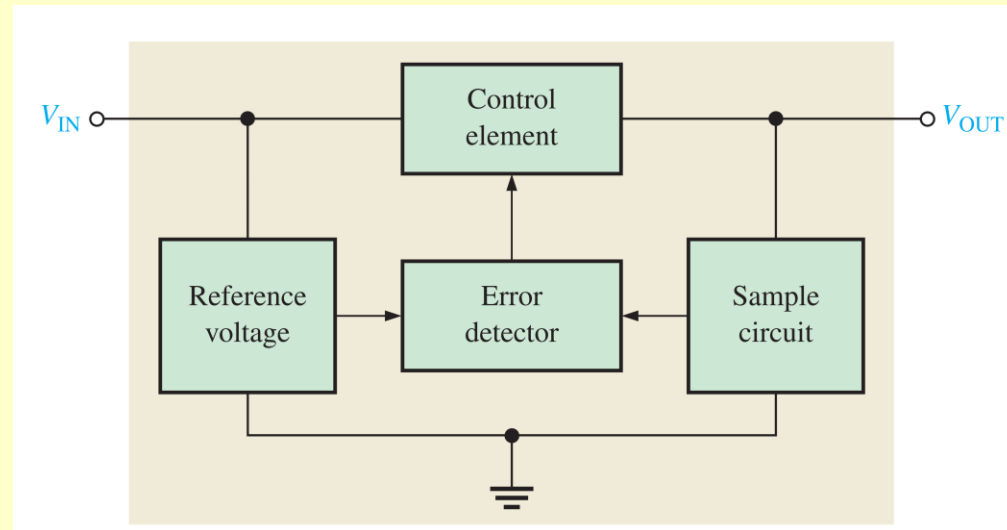
- **Linear regulators & switching regulators.**
- Hai loại linear regulator cơ bản là **series regulator** và **shunt regulator**.



Series Regulator Circuit

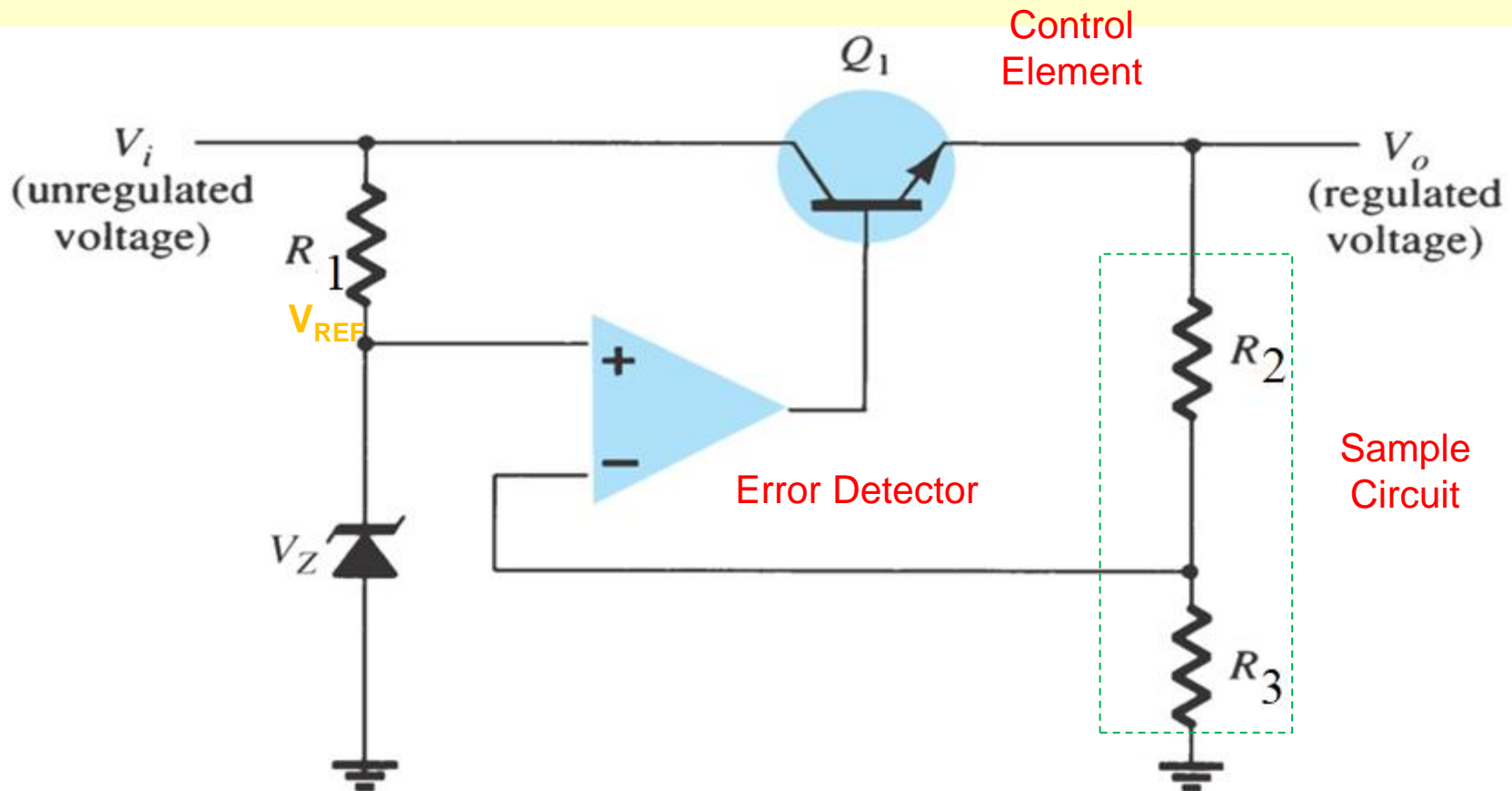
19

- **Control element** nối tiếp với tải, nằm giữa ngõ vào và ngõ ra.
- Output **sample circuit** cảm nhận sự thay đổi điện áp ngõ ra.
- **Error detector**
So sánh điện áp lấy mẫu với một điện thế tham chiếu → điều khiển mạch control element để bù điện áp thay đổi, đảm bảo điện áp ra không đổi.



Op-Amp Series Regulator

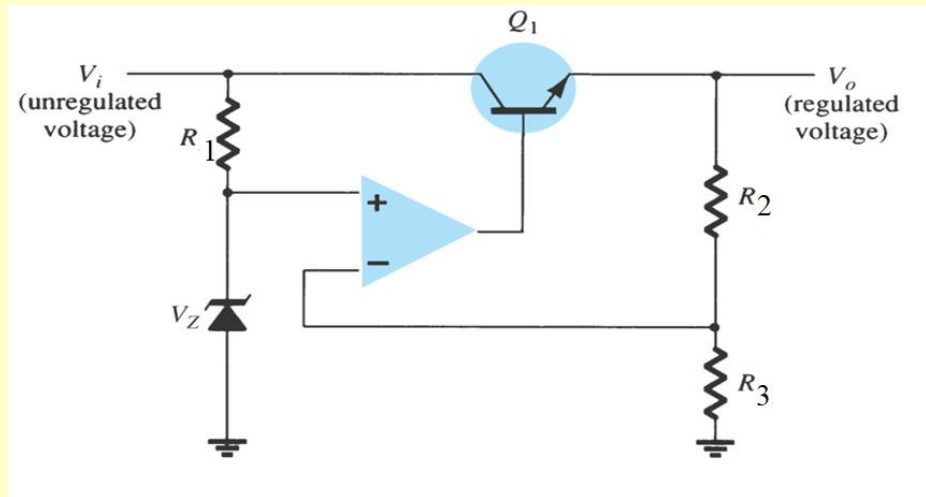
20



Op-Amp Series Regulator

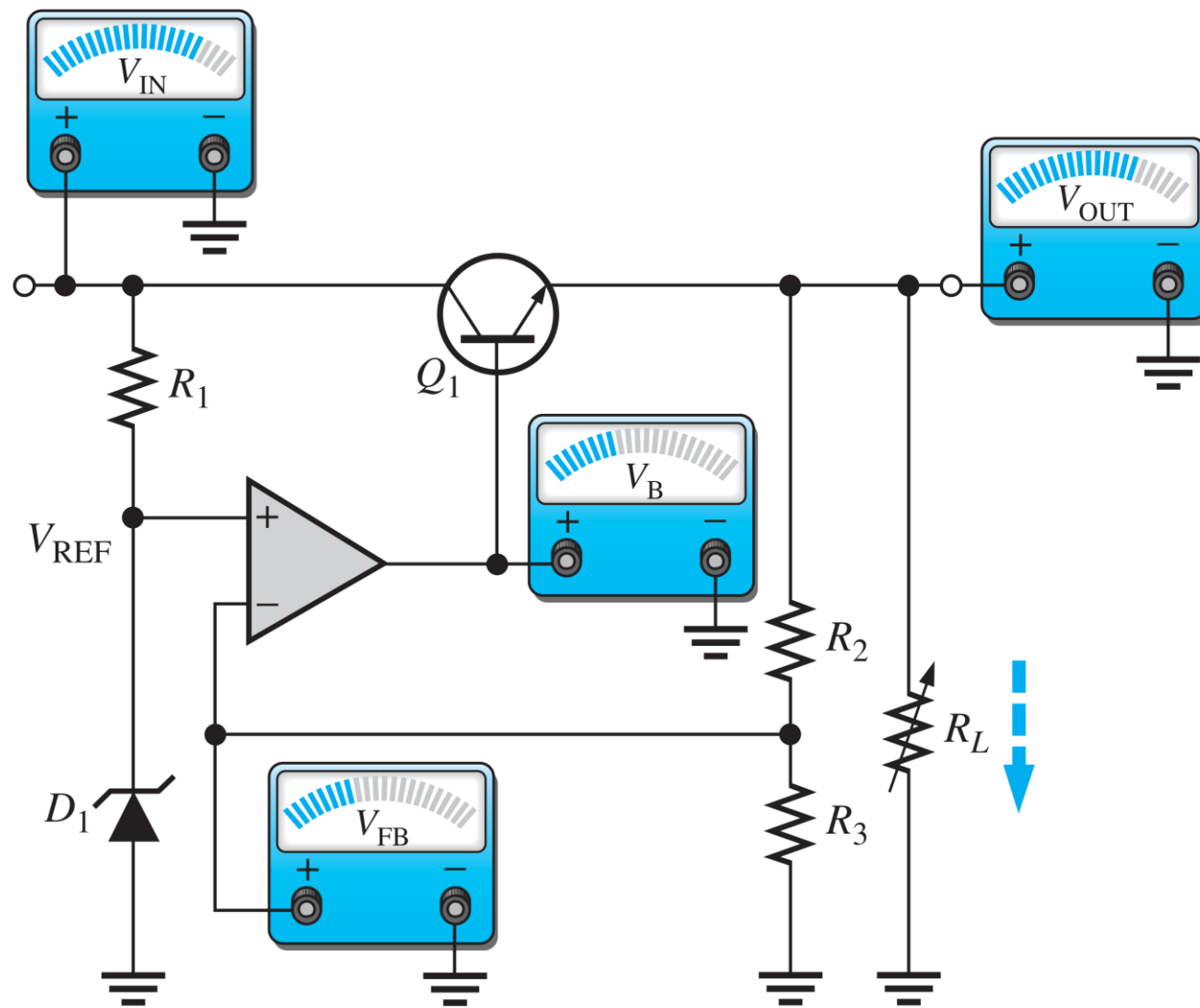
21

- Giải thích mạch:

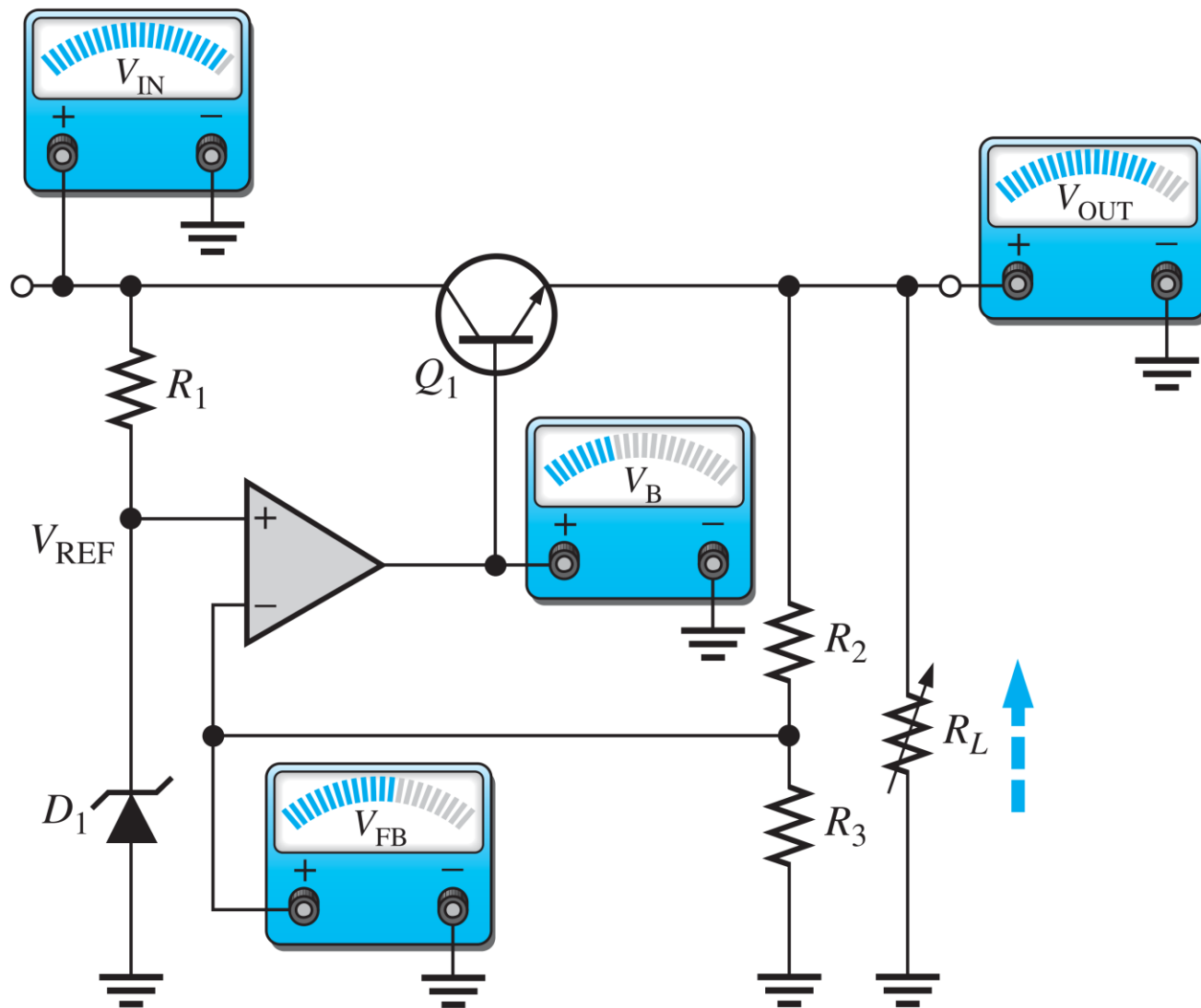


- Điện thế ngõ ra được duy trì ở mức điện áp:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_Z$$



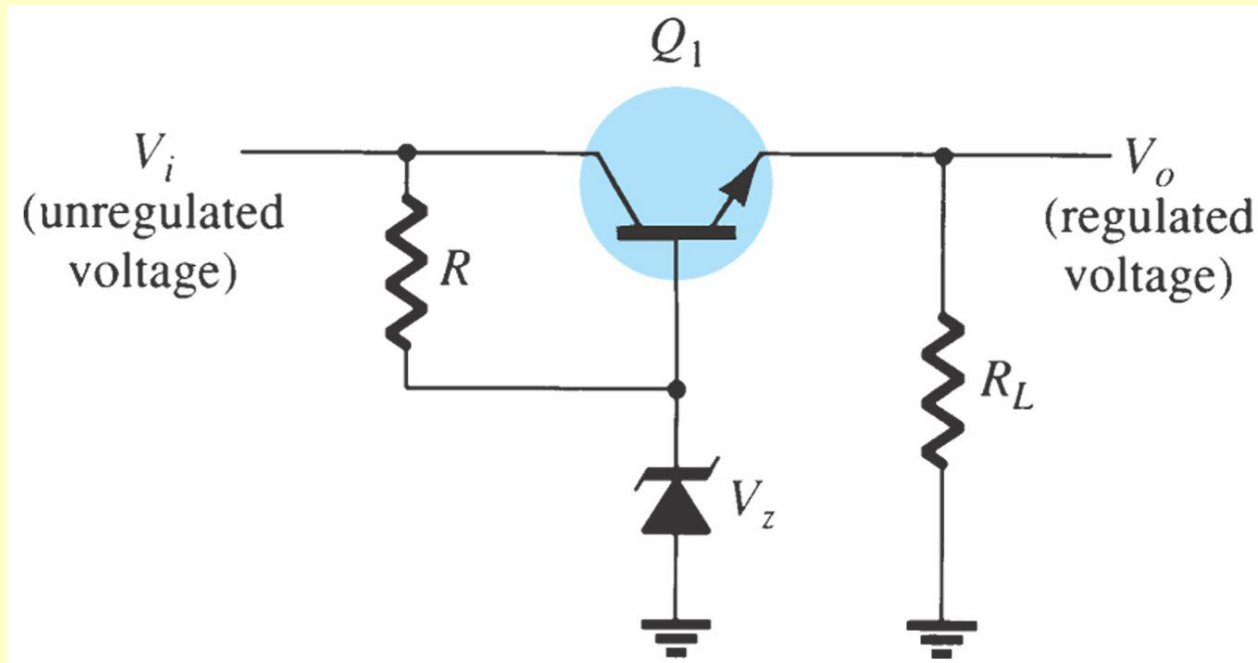
- (a) When V_{IN} or R_L decreases, V_{OUT} attempts to decrease. The feedback voltage, V_{FB} , also attempts to decrease, and as a result, the op-amp's output voltage V_B attempts to increase, thus compensating for the attempted decrease in V_{OUT} by increasing the Q_1 emitter voltage. Changes in V_{OUT} are exaggerated for illustration.



(c) When V_{IN} or R_L increases, V_{OUT} attempts to increase. The feedback voltage, V_{FB} , also attempts to increase, and as a result, V_B , applied to the base of the control transistor, attempts to decrease, thus compensating for the attempted increase in V_{OUT} by decreasing the Q_1 emitter voltage.

Transistor Series Regulator

24



- Transistor Q_1 là phần tử điều khiển nối tiếp với tải.
- Diode Zener tạo ra điện thế tham chiếu.

Transistor Series Regulator

25

- Q_1 là npn transistor, V_o tính theo công thức:

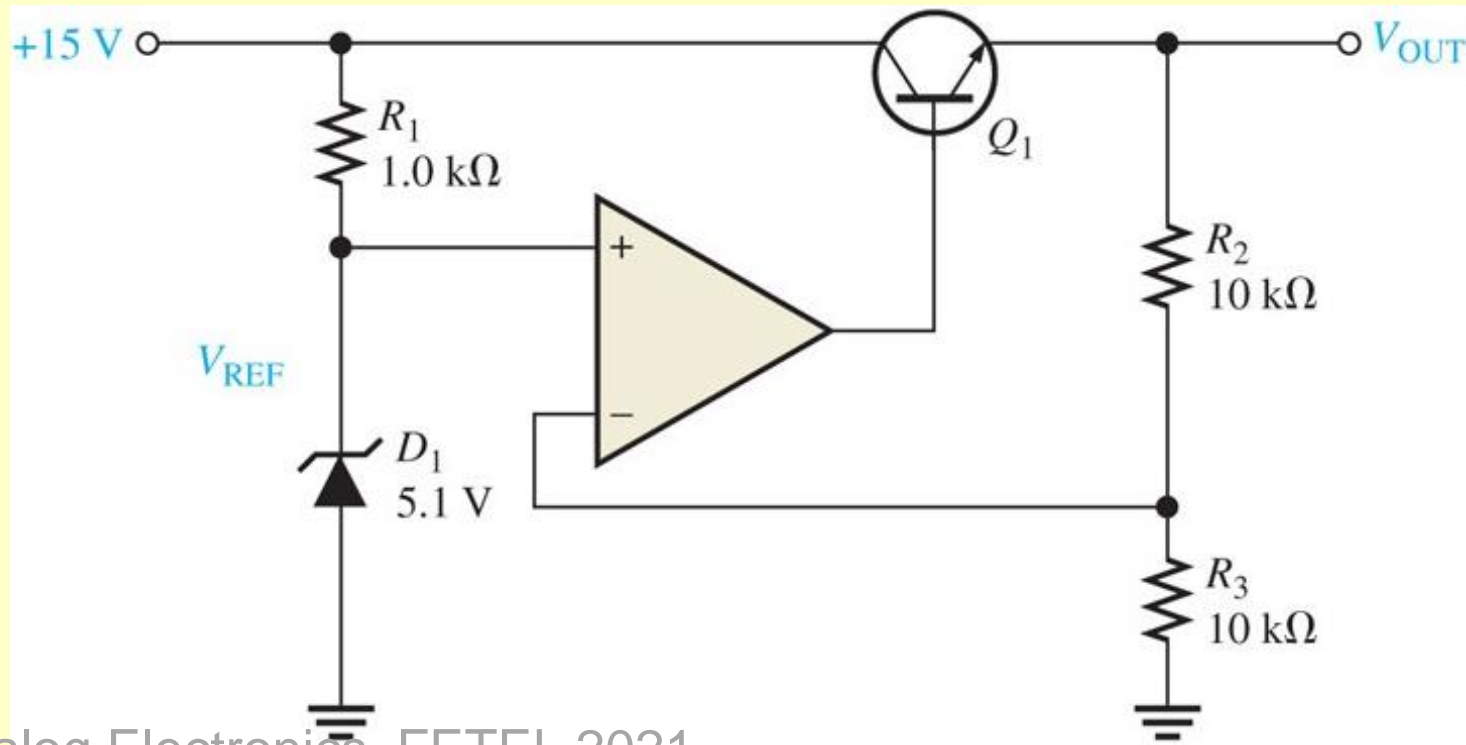
$$V_{BE} = V_Z - V_o$$

- Giải thích hoạt động:
- R tải tăng --> V tải tăng
- Zener voltage là hằng số --> V_o tăng làm cho V_{BE} giảm
- V_{BE} giảm làm giảm dòng qua transistor Q_1 --> dòng qua tải giảm.
Quá trình này bù trừ cho sự gia tăng điện trở tải, làm cho điện thế trên tải được duy trì ở mức hằng số.

Example

26

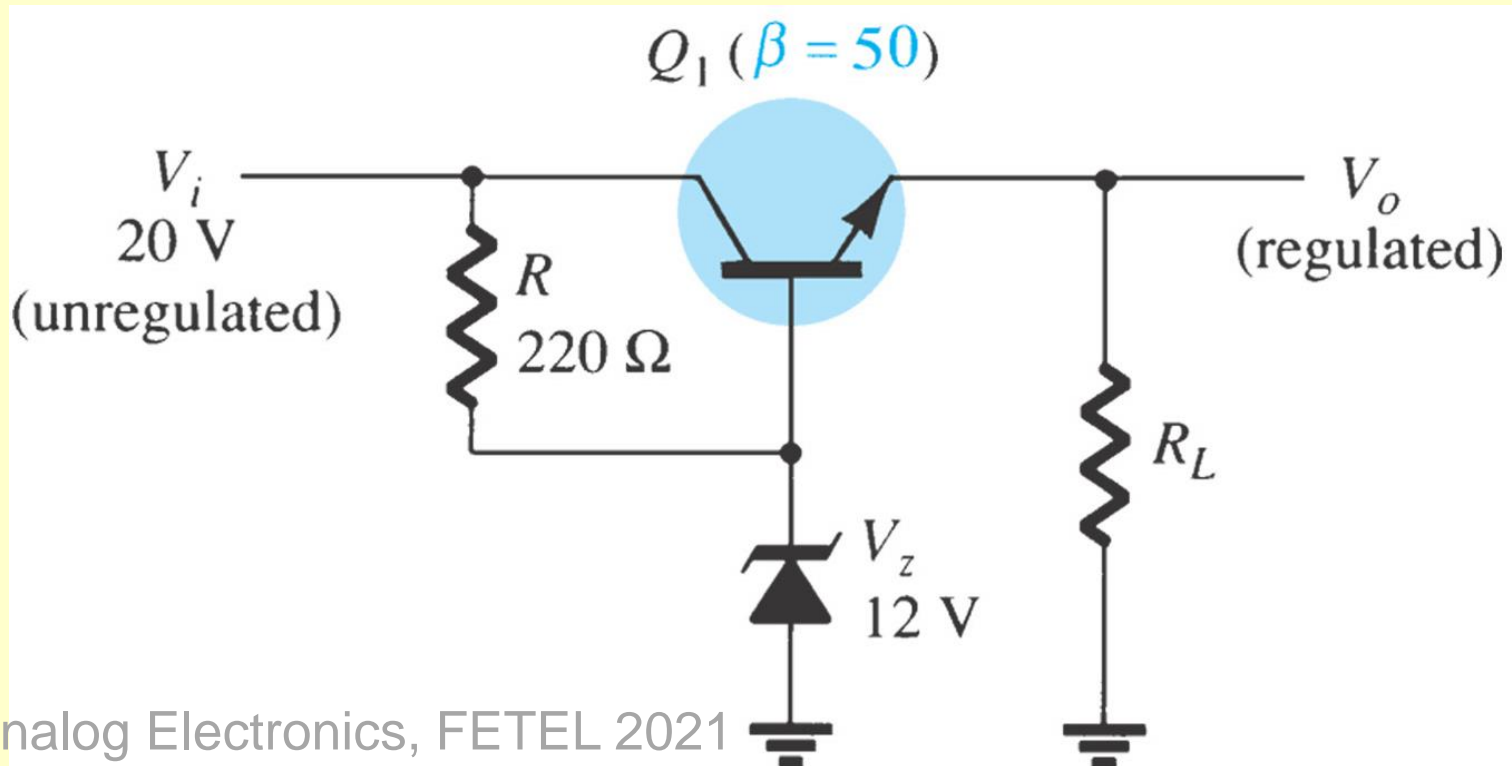
- Tìm V_{out}
(Solution: 10.2 V)



Example

27

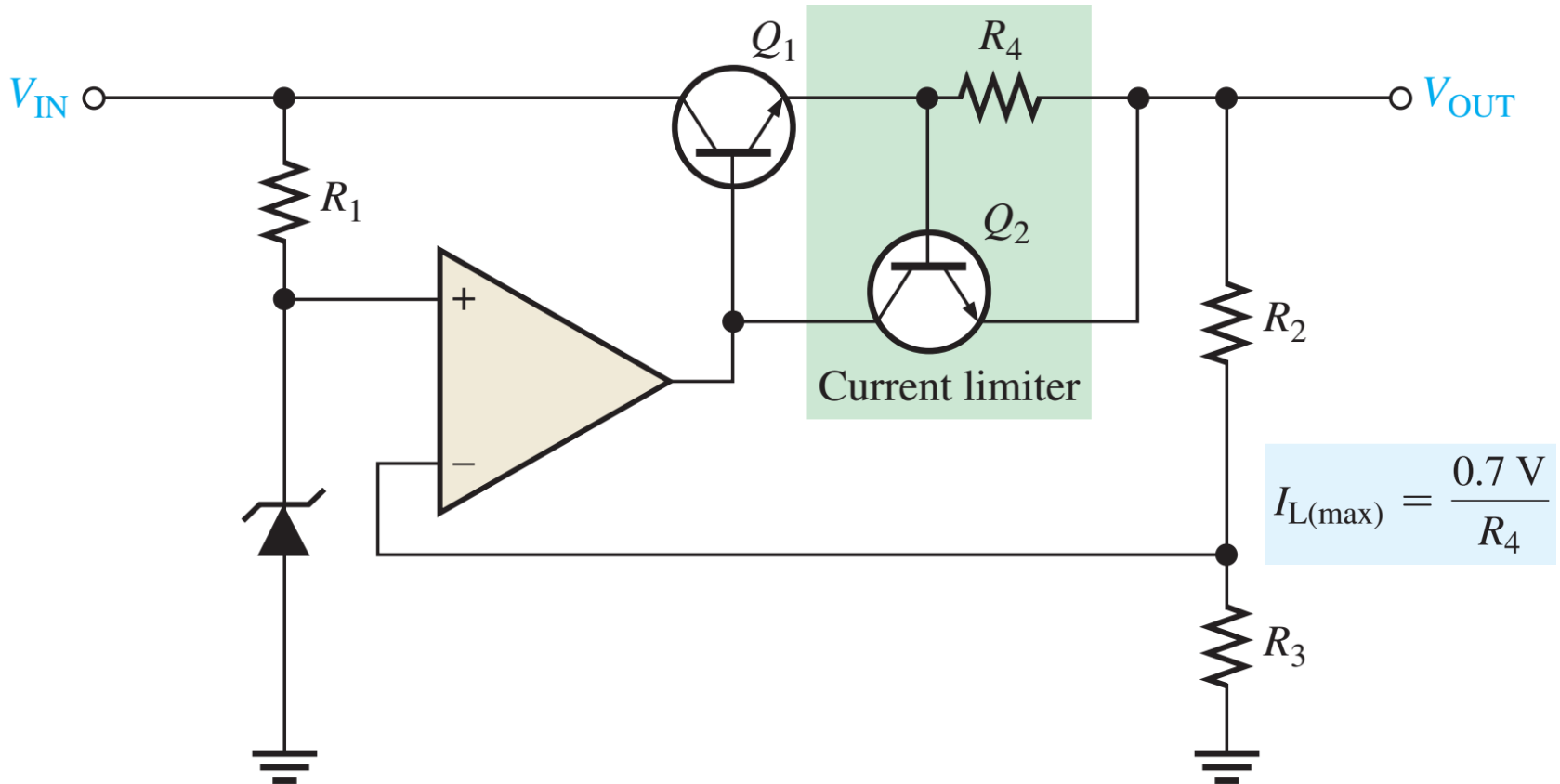
- Tìm output voltage và Zener current với $R_L = 1\text{k}\Omega$.
(Solution: $V_o = 11.3\text{ V}$; $I_z \approx 36\text{ mA}$)



Bảo vệ ngắn mạch và quá tải

Short-Circuit , Overload Protection

28



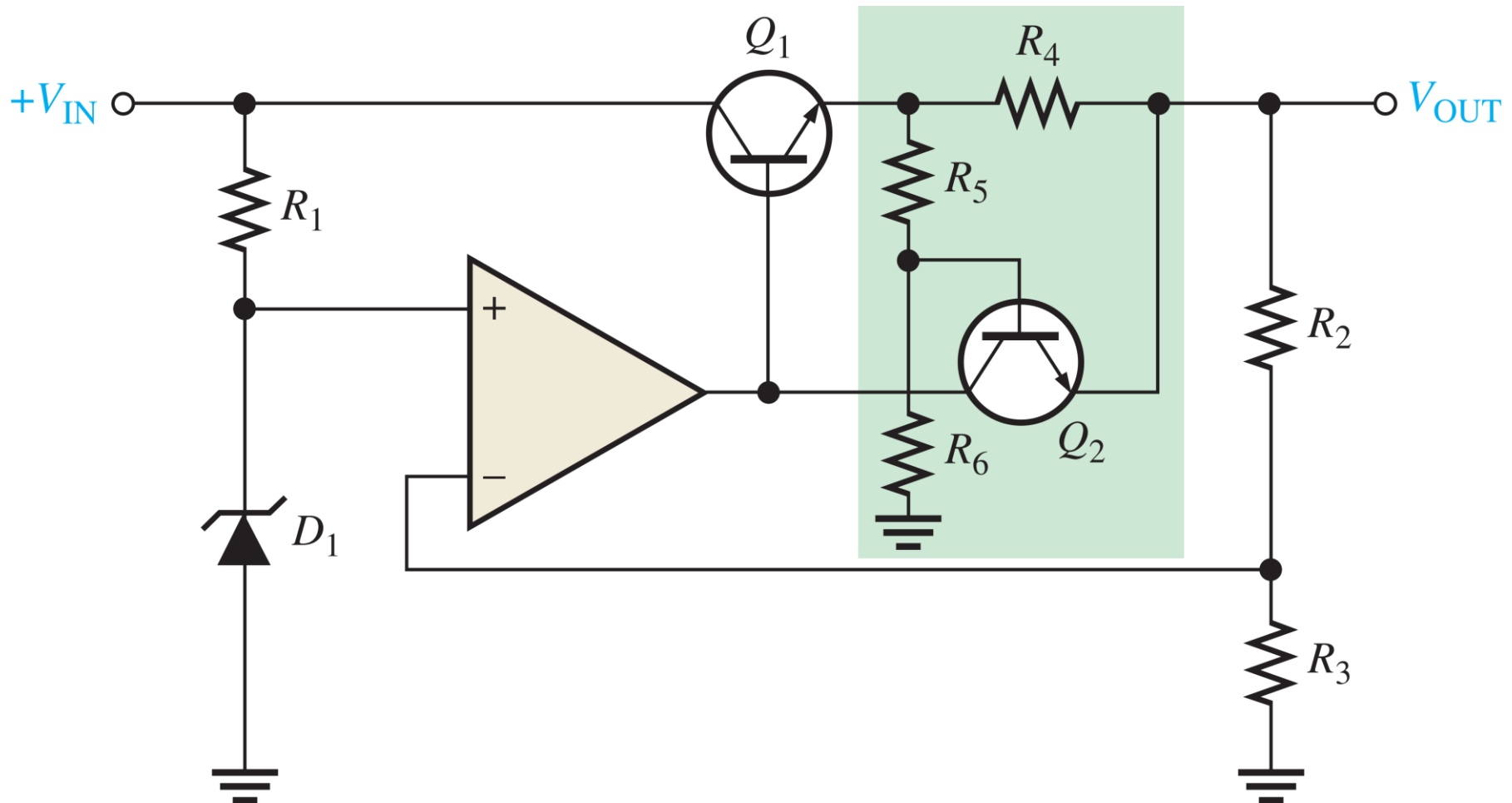
Analog Electronics - FETEL 2024

Hãy giải thích cơ chế bảo vệ của mạch trên.

Bài tập:giải thích cơ chế bảo vệ của mạch bên dưới

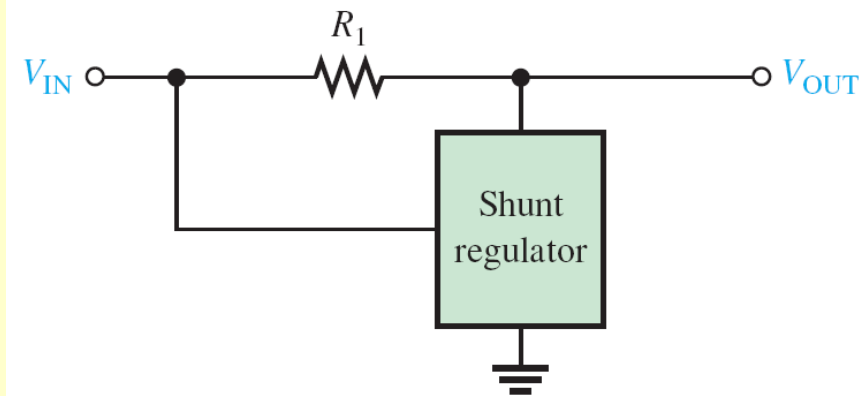
29

$$V_{R4} = V_{R5} + V_{BE}$$

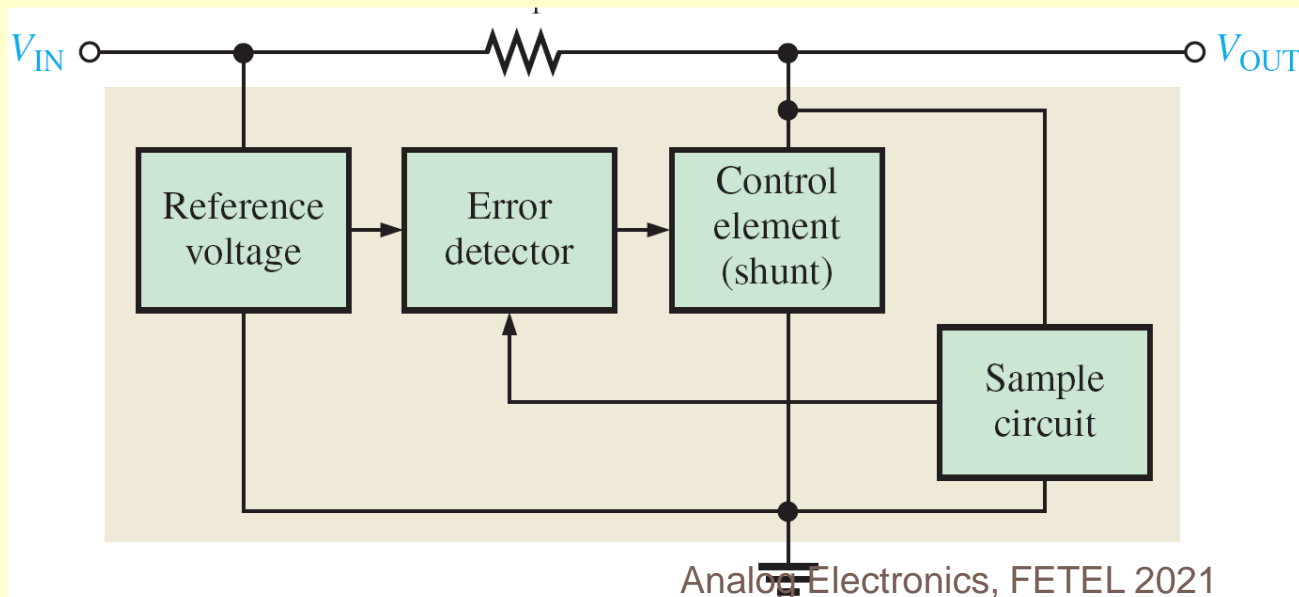


Mạch ổn áp dạng shunt (Shunt Regulator Circuit)

30

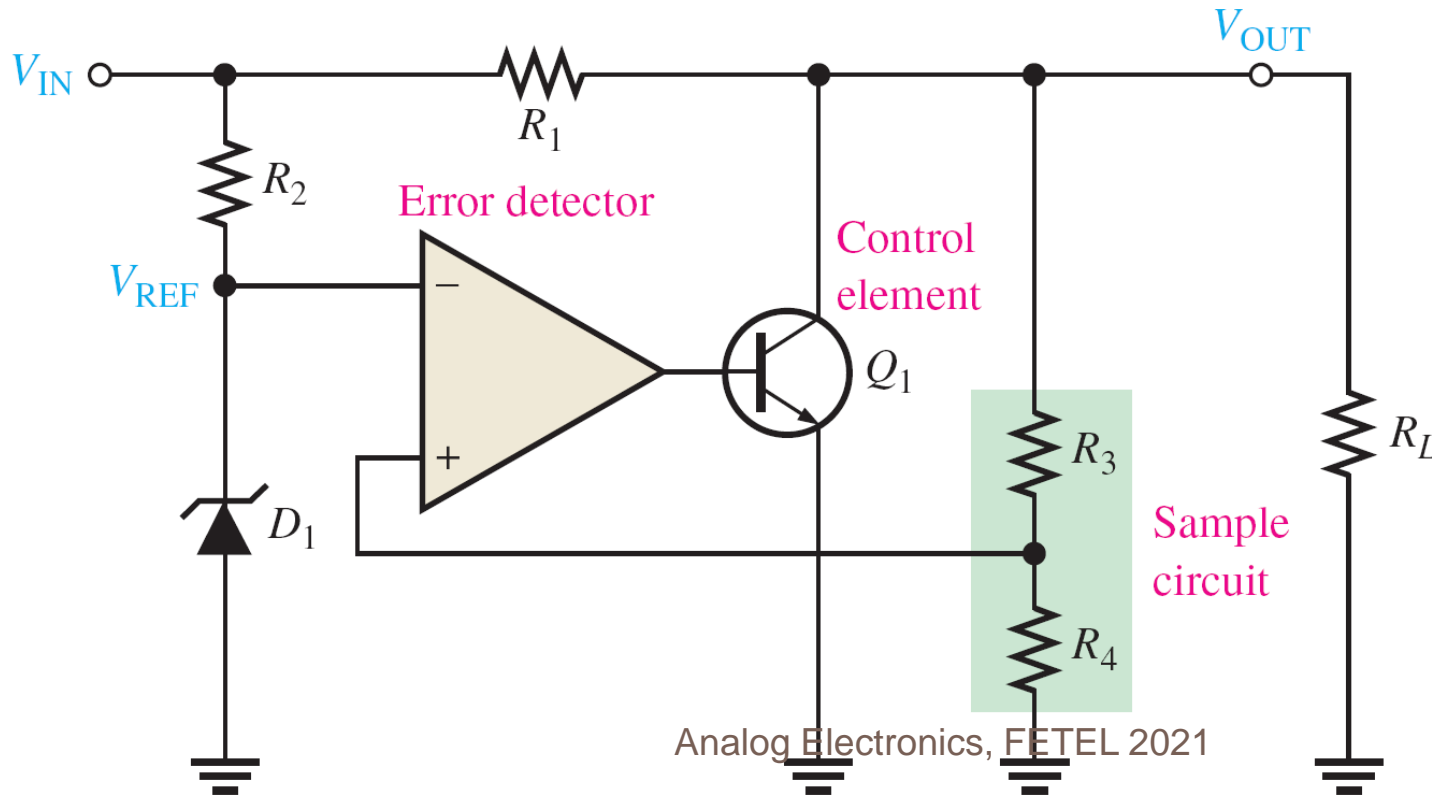
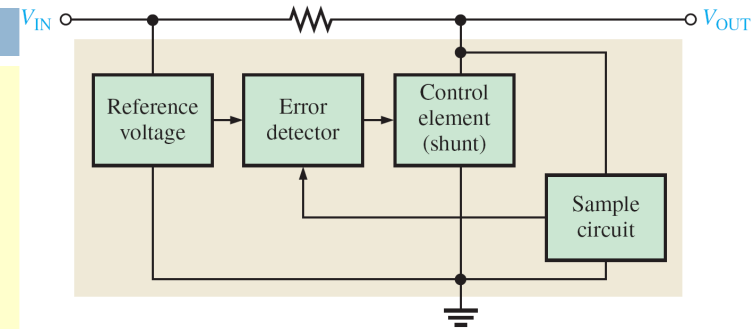


Cơ chế ổn áp: điều khiển dòng qua Control element

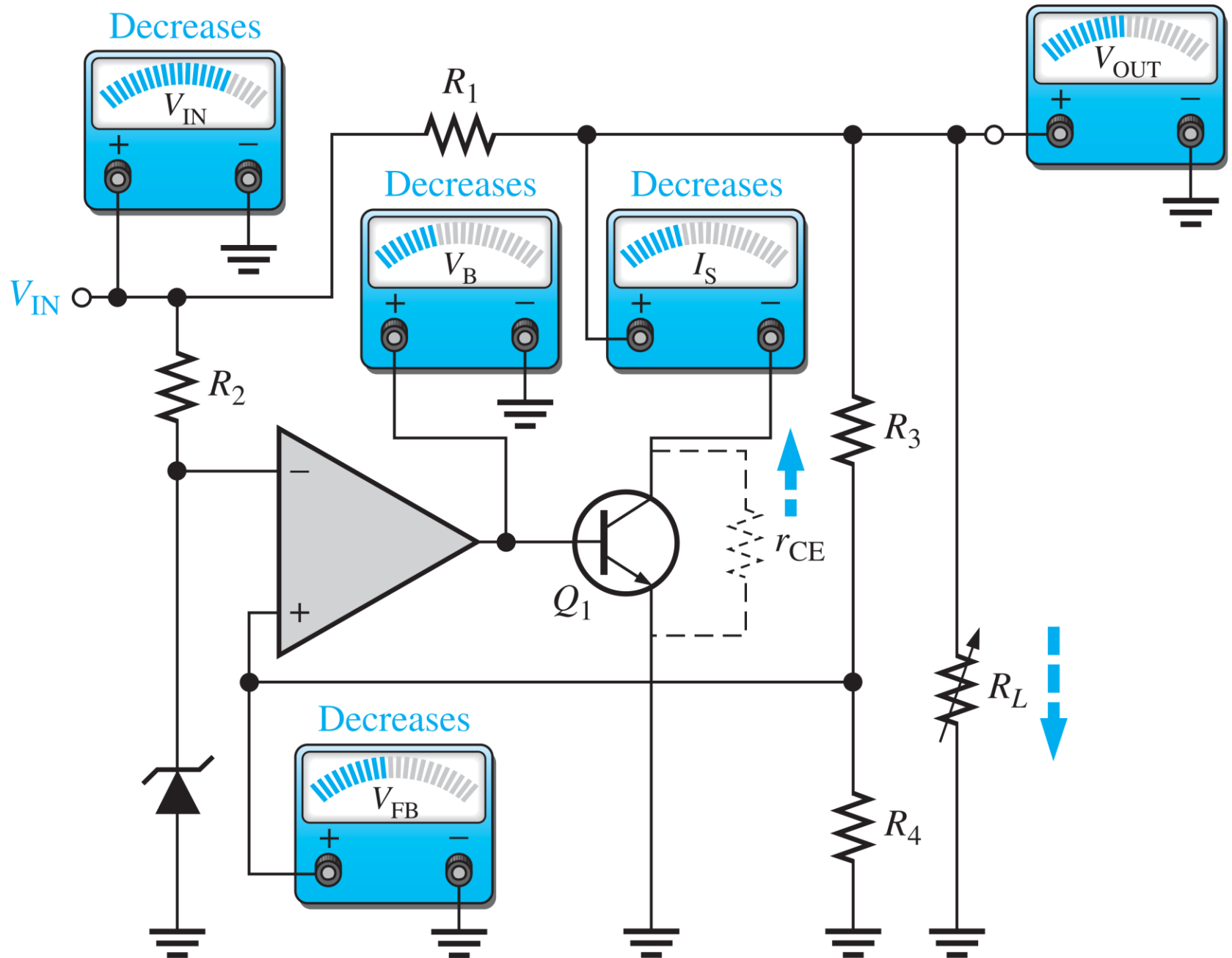


Op-Amp Shunt Regulator

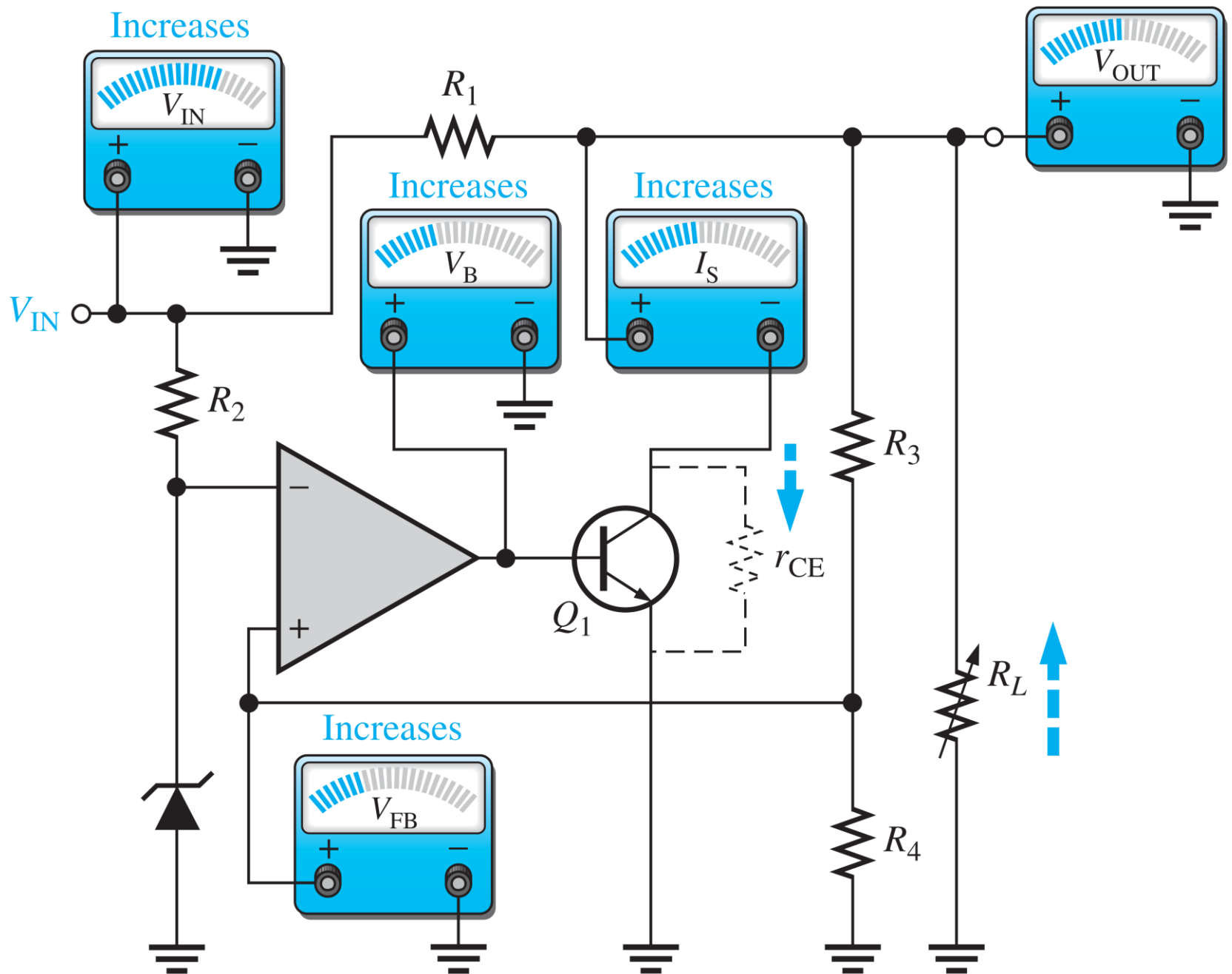
31



$$I_{L(max)} = \frac{V_{IN}}{R_1}$$



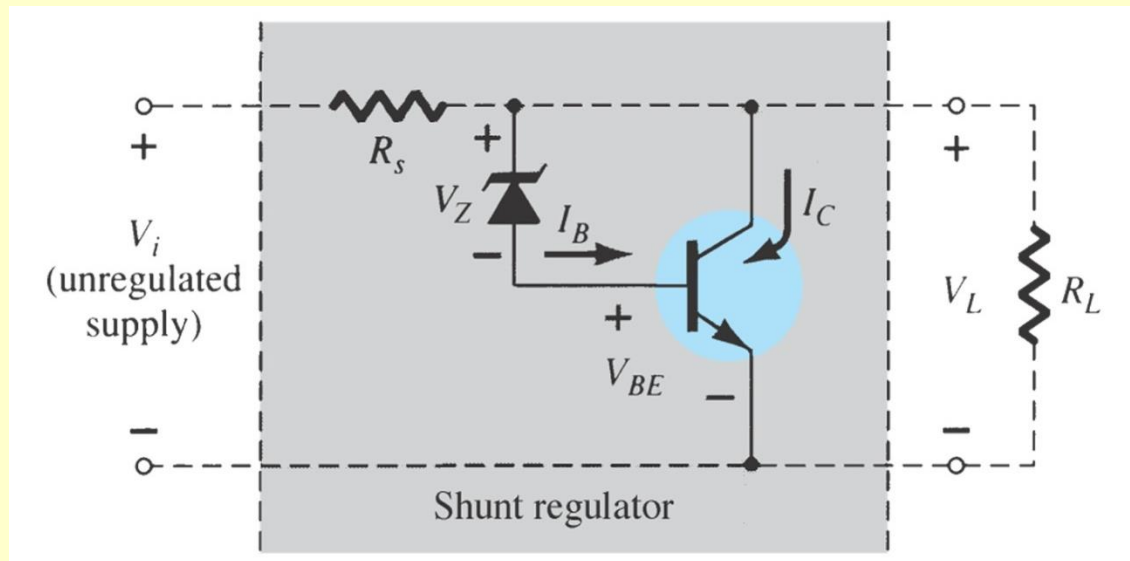
(a) Response to a decrease in V_{IN} or R_L



(b) Response to an increase in V_{IN} or R_L

Transistor Shunt Regulator

34



- Control element : transistor, mắc song song với tải. Điện trở R_s nối tiếp với tải.
- Hoạt động của mạch ổn áp này tương tự như mạch ổn áp kiểu nối tiếp dùng transistor. Việc ổn áp được thực hiện thông qua điều khiển dòng điện qua transistor.

Transistor Shunt Regulator

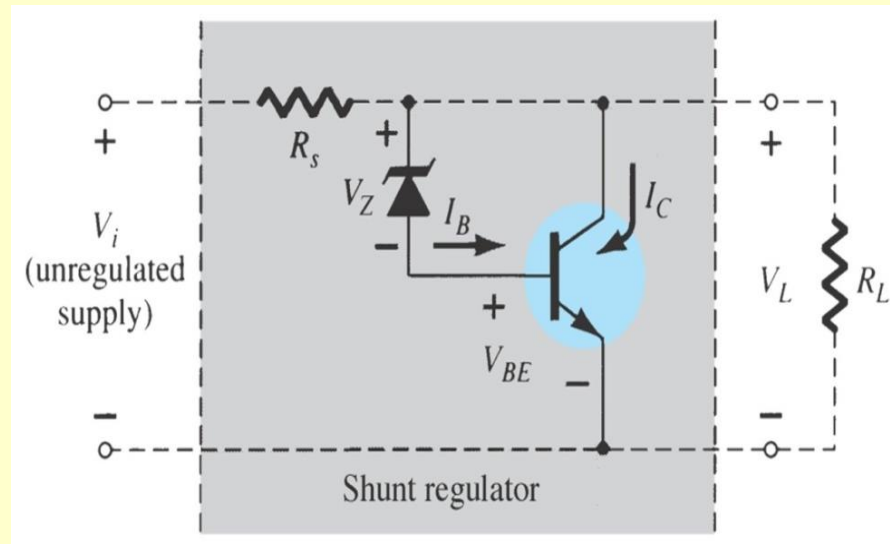
35

$$V_o = V_L = V_Z + V_{BE}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

$$I_C = I_S - I_L$$

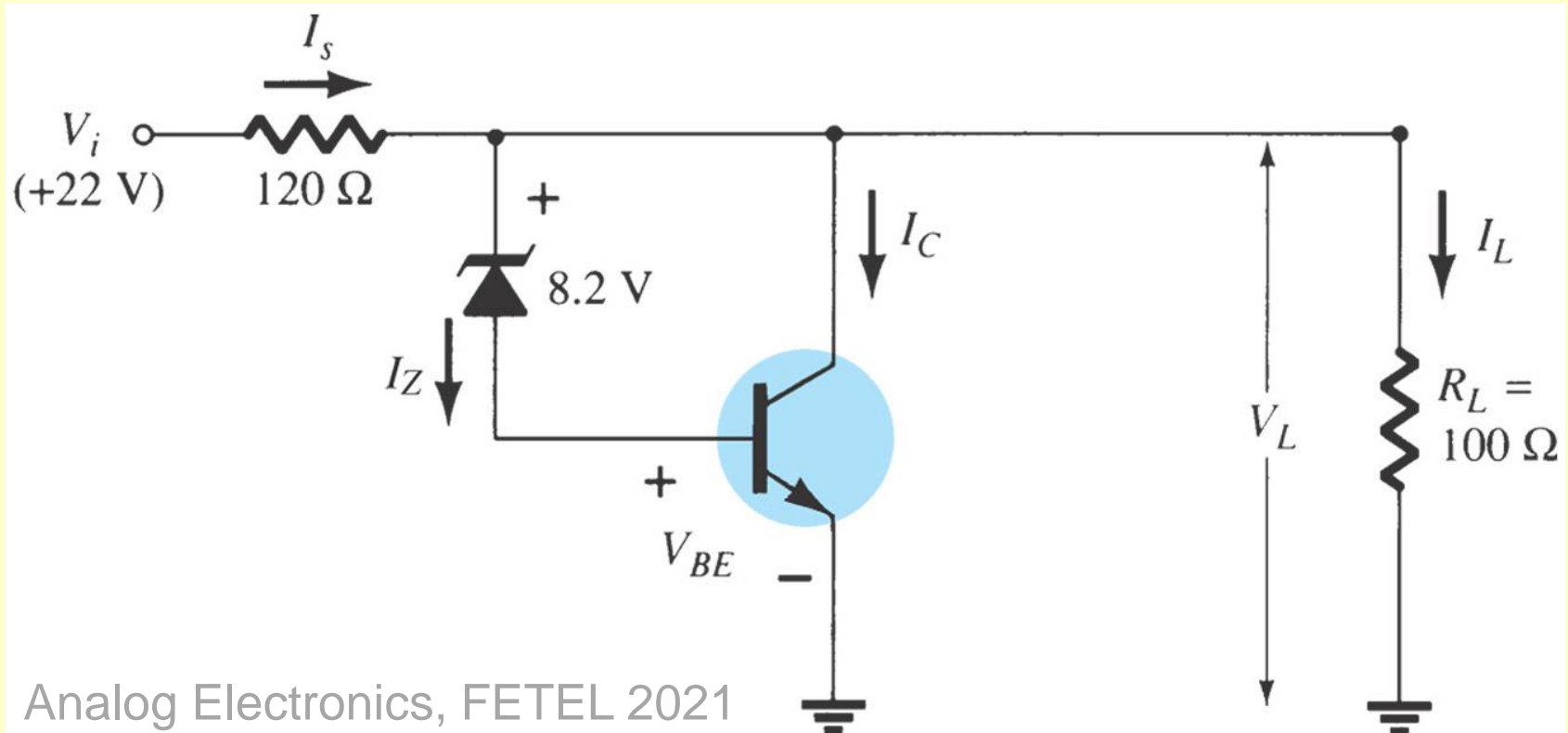
$$I_S = \frac{V_i - V_L}{R_S}$$



Example

36

- Tìm điện thế ổ áp, V_L và các dòng điện.
(Solution: $V_L=8.9$ V; $I_L=89$ mA; $I_S=109$ mA; $I_C=20$ mA)



Switching Regulator

37

- Switching regulator có hiệu suất truyền công suất tới tải tốt hơn các bộ ổn áp nối tiếp và song song do các transistor không dẫn liên tục. Đạt tới khoảng 90%
- Switching regulator truyền điện thế tới tải dưới dạng xung → cần mạch lọc để có điện thế DC phẳng.

Step-Down Configuration/
buck converter

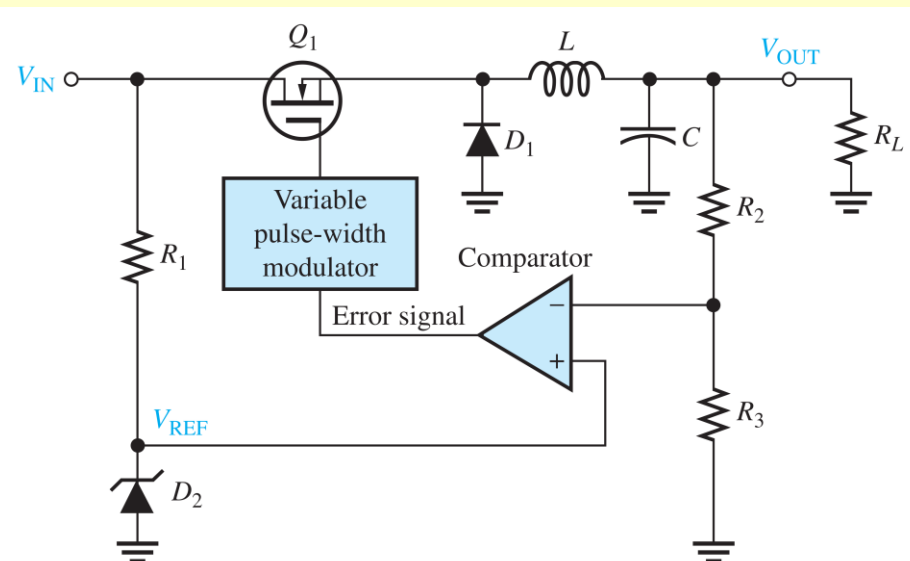
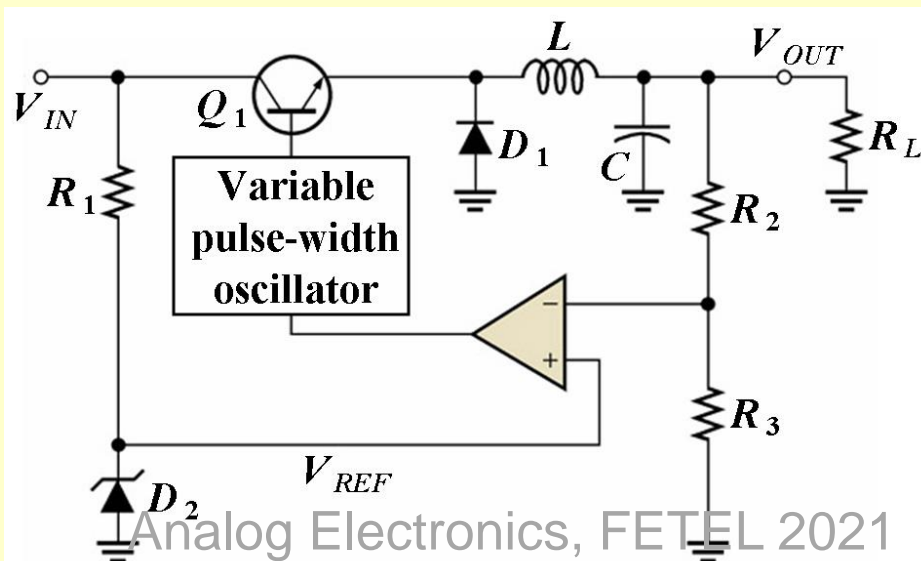
Step-up configuration

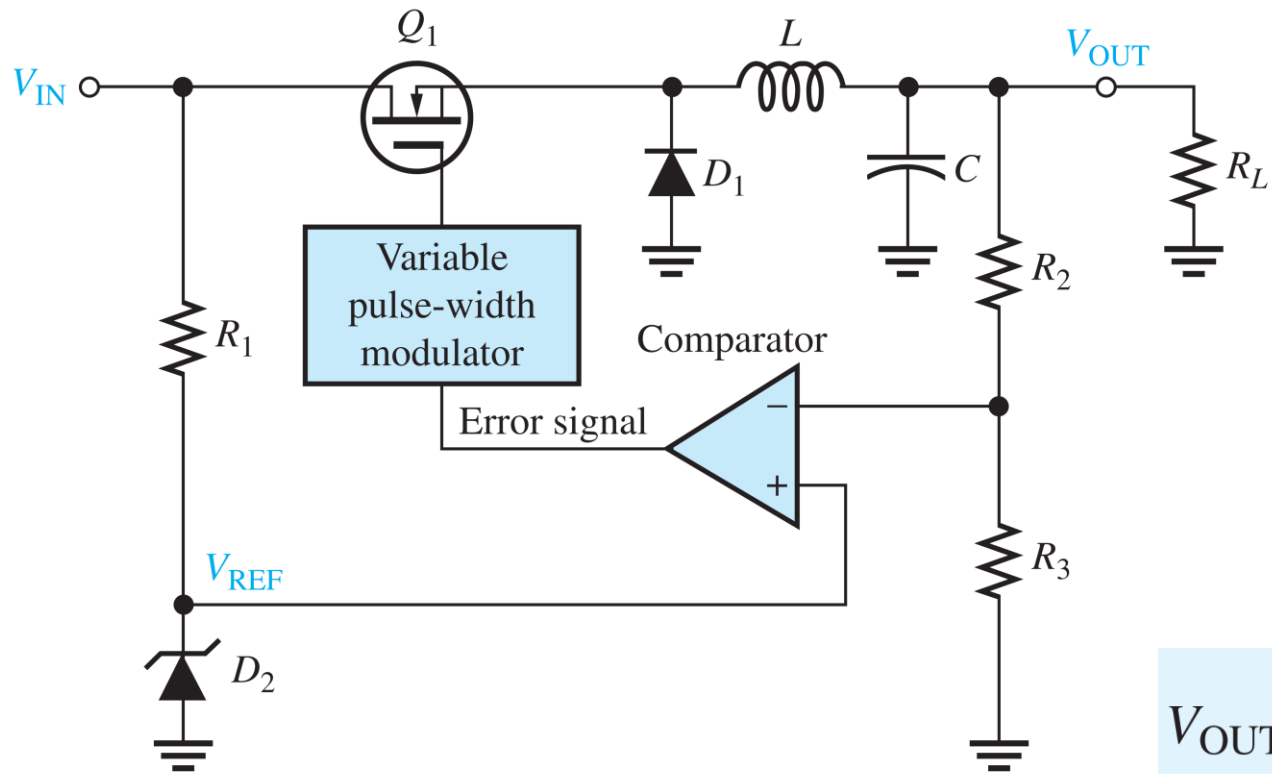
Switching Regulator

38

Step-Down Configuration

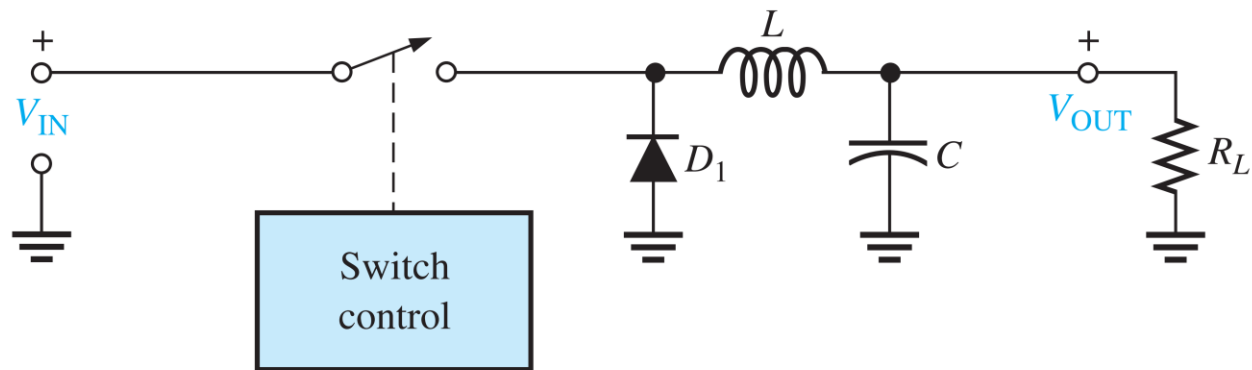
- Điện thế ra nhỏ hơn điện thế vào. Phần tử điều khiển (control element) Q_1 được đóng/mở (on/off) với tần suất thay đổi tùy theo dòng điện tải
- Mạch lọc LC (LC filter) dùng để lọc các gợn sóng ở ngõ ra qua Q_1 .



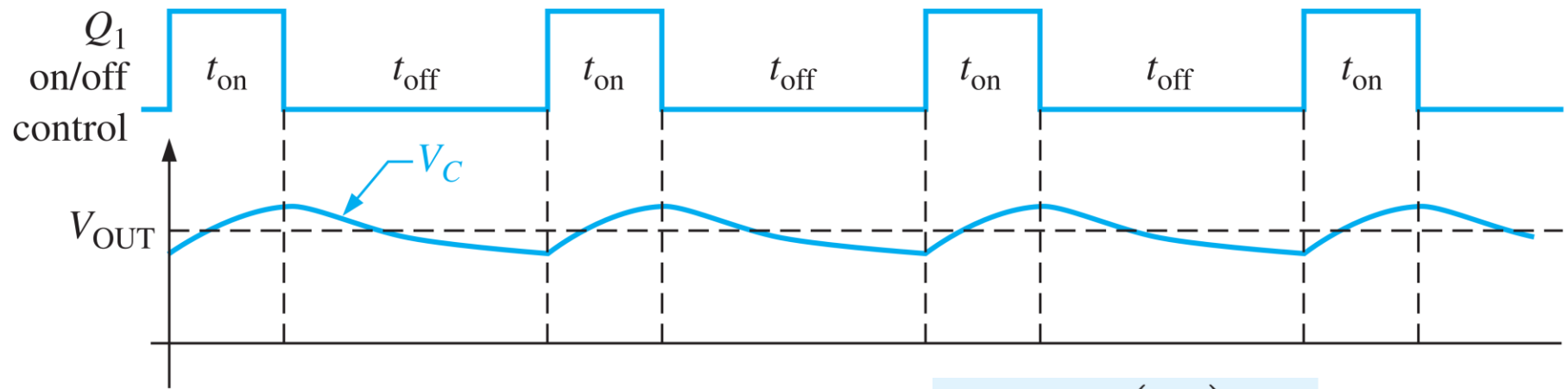


$$V_{OUT} = \left(\frac{t_{on}}{T} \right) V_{IN}$$

(a) Typical circuit

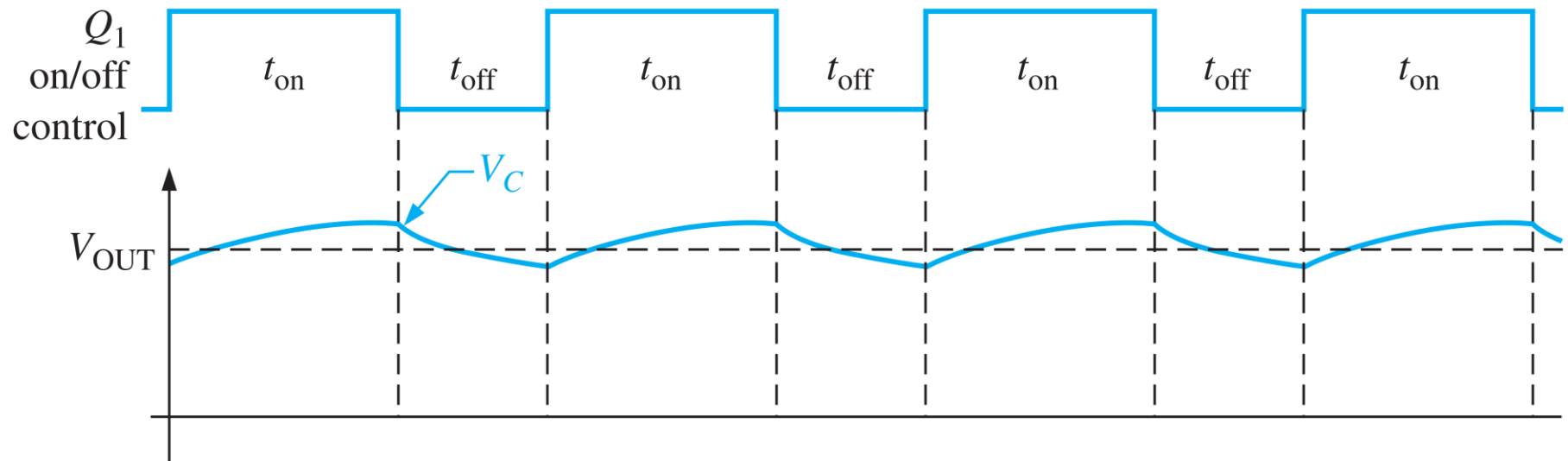


(b) Simplified equivalent circuit

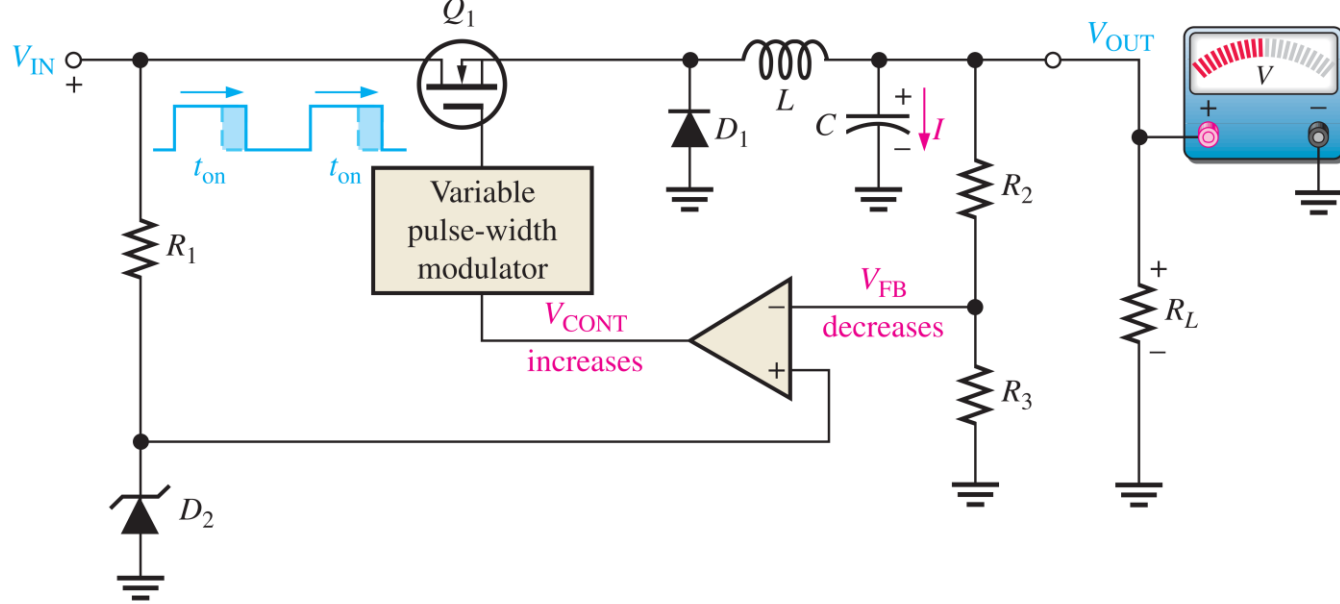


(a) V_{OUT} depends on the duty cycle.

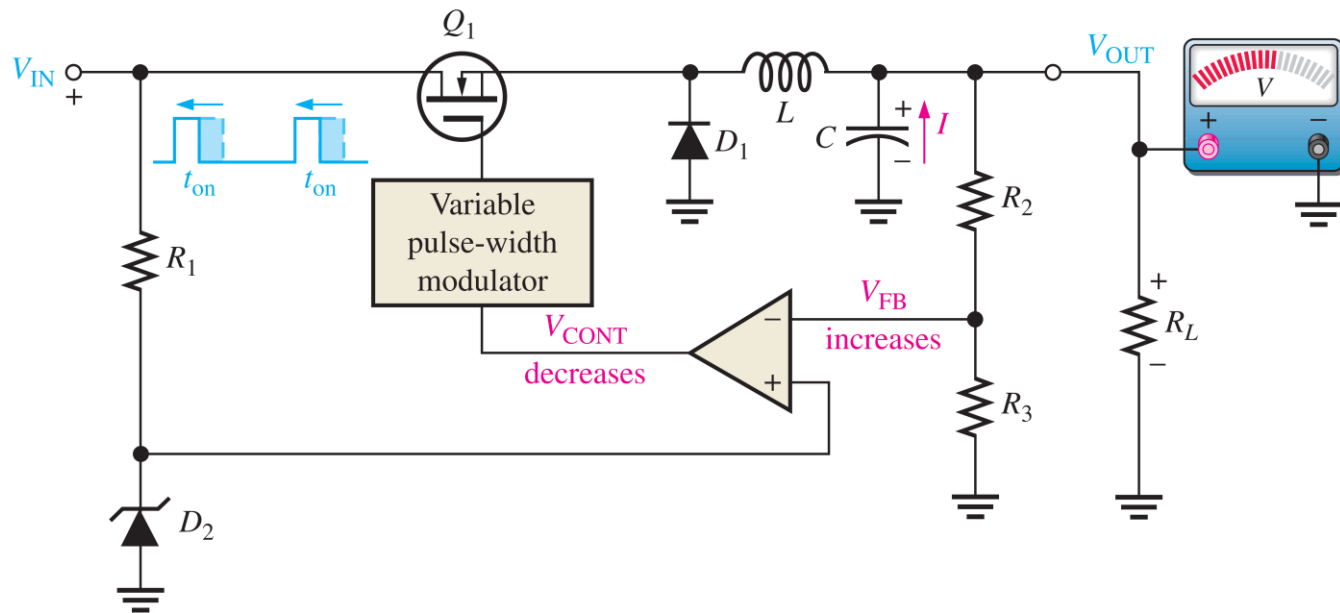
$$V_{OUT} = \left(\frac{t_{on}}{T} \right) V_{IN}$$



(b) Increase the duty cycle and V_{OUT} increases.

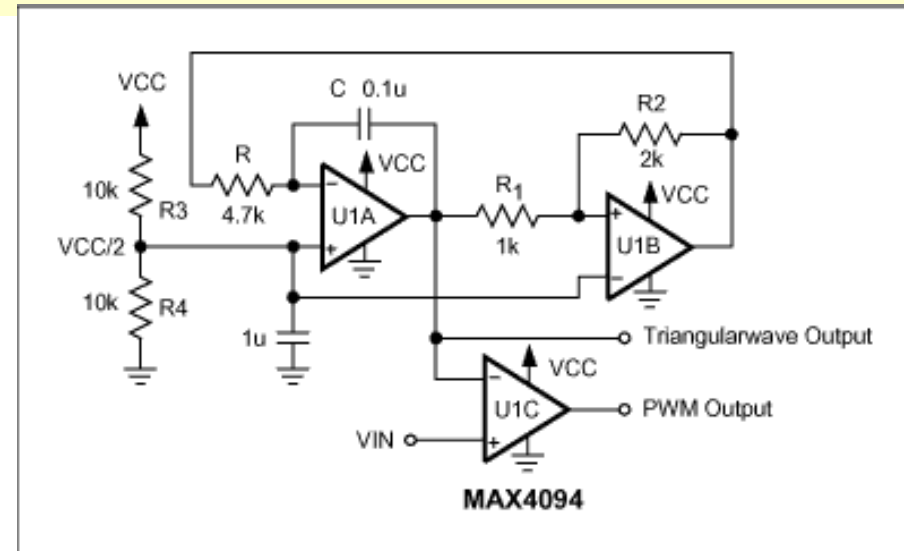


(a) When V_{OUT} attempts to decrease, the on-time of Q_1 increases.



(b) When V_{OUT} attempts to increase, the on-time of Q_1 decreases.

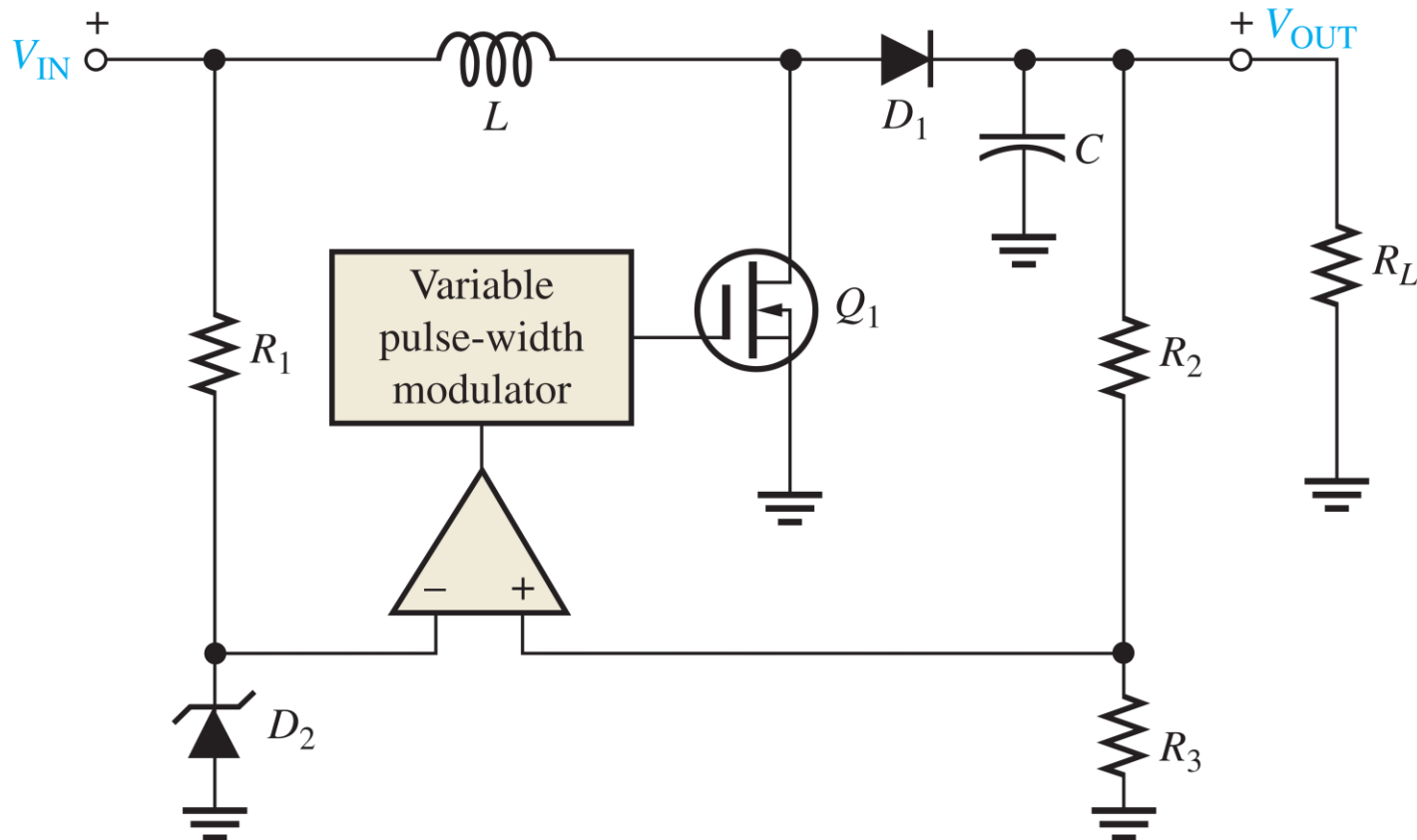
42



Switching Regulator

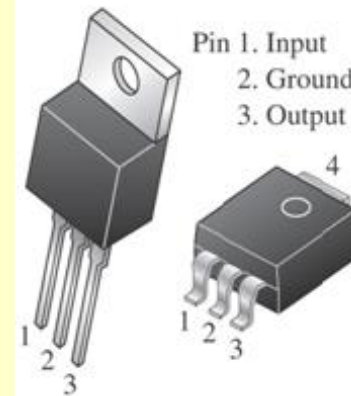
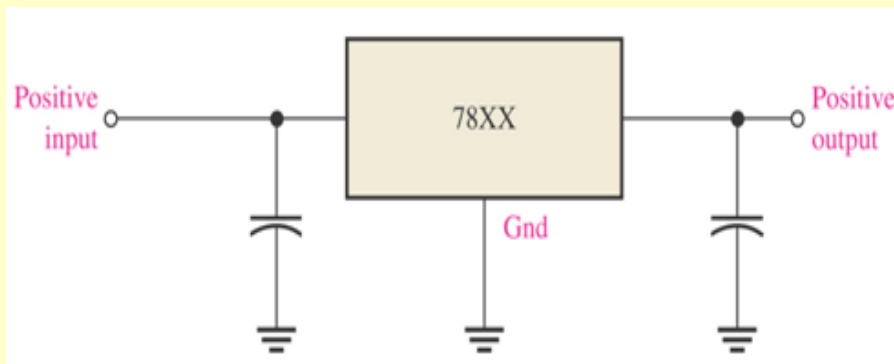
43

Step-up configuration: điện áp ra lớn hơn điện áp vào
Hãy giải thích hoạt động của mạch



IC ổn áp có điện thế ra cố định

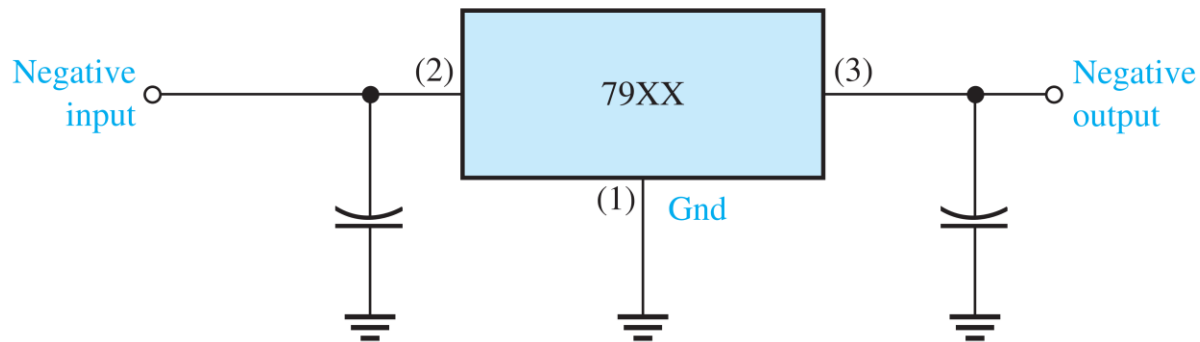
44



IC Part	Output Voltage (V)	Minimum V_i (V)
7805	+5	+7.3
7806	+6	+8.3
7808	+8	+10.5
7810	+10	+12.5
7812	+12	+14.5
7815	+15	+17.7
7818	+18	+21.0
7824	+24	+27.1

IC ổn áp có điện thế ra cố định

45

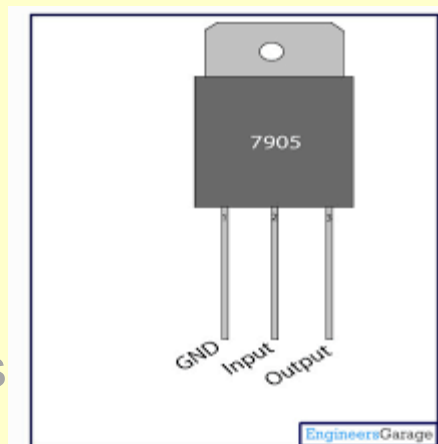


(a) Standard configuration

Type number	Output voltage
7905	-5.0 V
7905.2	-5.2 V
7906	-6.0 V
7908	-8.0 V
7912	-12.0 V
7915	-15.0 V
7918	-18.0 V
7924	-24.0 V

(b) The 7900 series

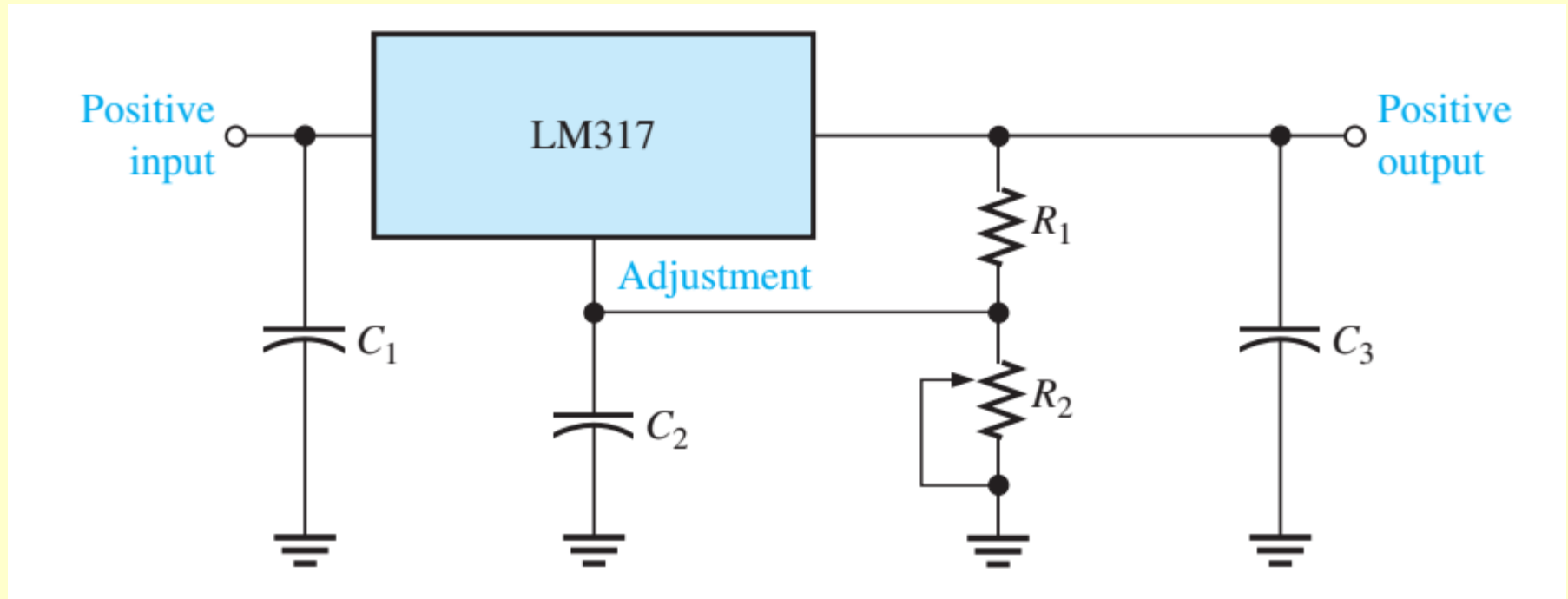
Analog Electronics



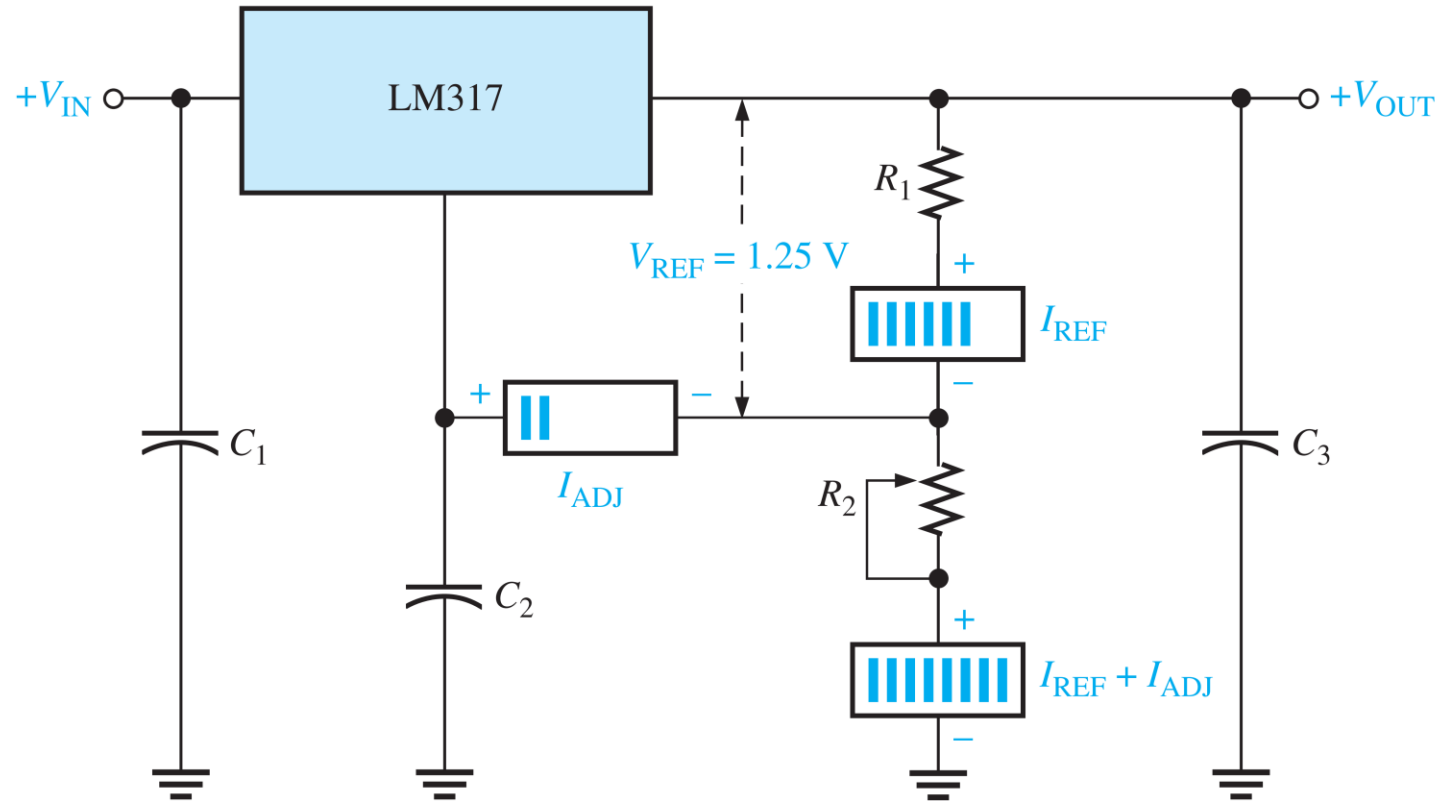
IC Ổn áp có thể điều chỉnh điện thế ra

46

LM317 là một IC có thể điều chỉnh điện áp ra từ 1.2 tới 37 V.

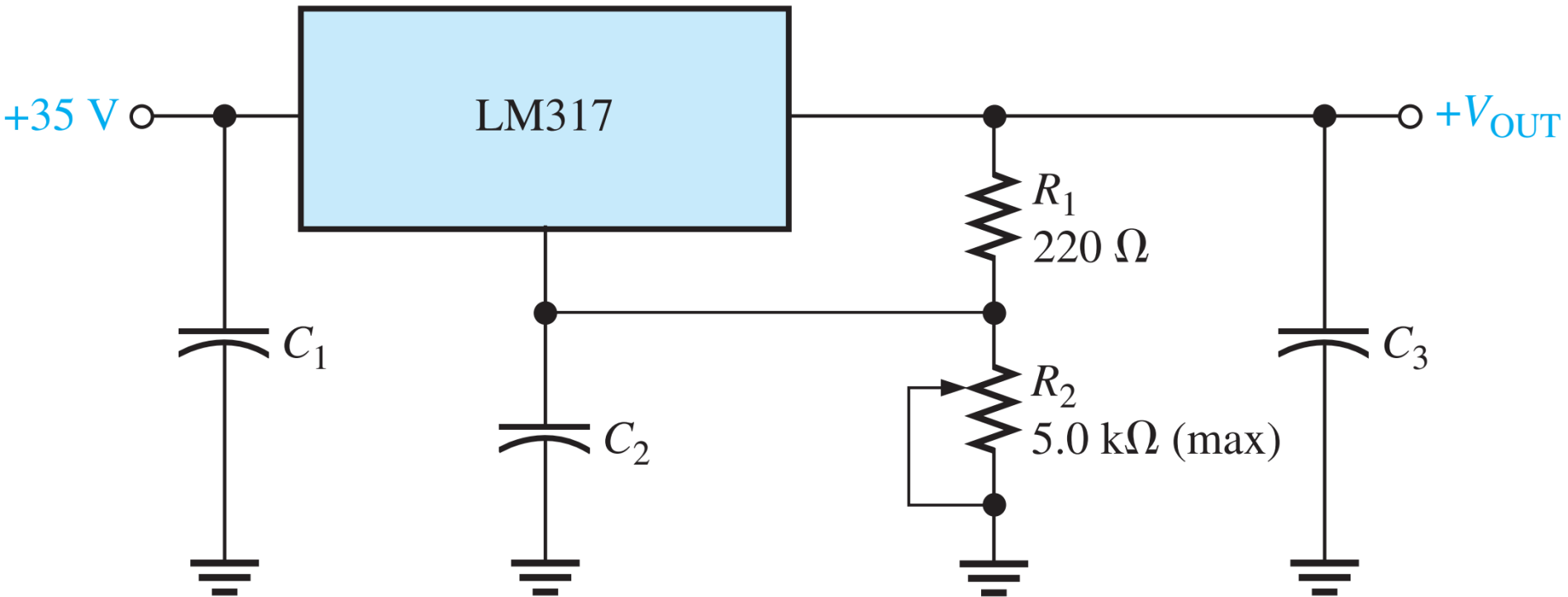


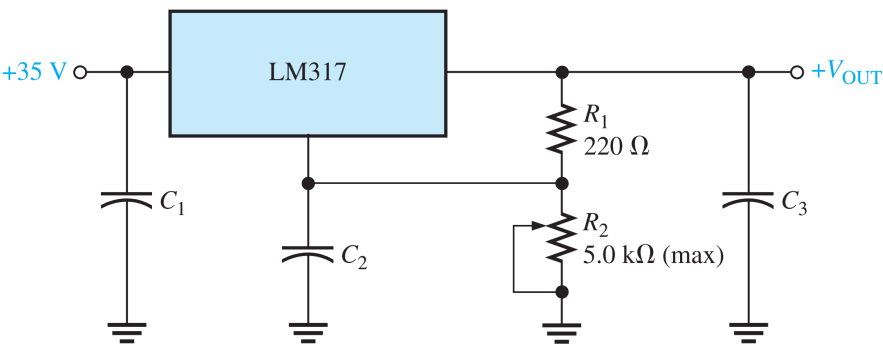
$$I_{\text{REF}} = \frac{V_{\text{REF}}}{R_1} = \frac{1.25 \text{ V}}{R_1}$$



$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{ADJ}} R_2$$

Tìm điện thế ra lớn nhất và nhỏ nhất giả sử $I_{ADJ} = 50\mu A$.





$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{ADJ}} R_2$$

$$V_{R1} = V_{\text{REF}} = 1.25 \text{ V}$$

$$V_{\text{OUT}(\text{min})} = V_{\text{REF}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{ADJ}} R_2 = 1.25 \text{ V}(1) = \mathbf{1.25 \text{ V}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{OUT}(\text{max})} &= V_{\text{REF}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{ADJ}} R_2 = 1.25 \text{ V} \left(1 + \frac{5.0 \text{ k}\Omega}{220 \Omega} \right) + (50 \mu\text{A}) 5.0 \text{ k}\Omega \\ &= 29.66 \text{ V} + 0.25 \text{ V} = \mathbf{29.9 \text{ V}} \end{aligned}$$