



มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม  
Nakhon Pathom Rajabhat University

## Chapter 9 Linear Power supply

Thawatchai Thongleam

School of Electronics Engineering

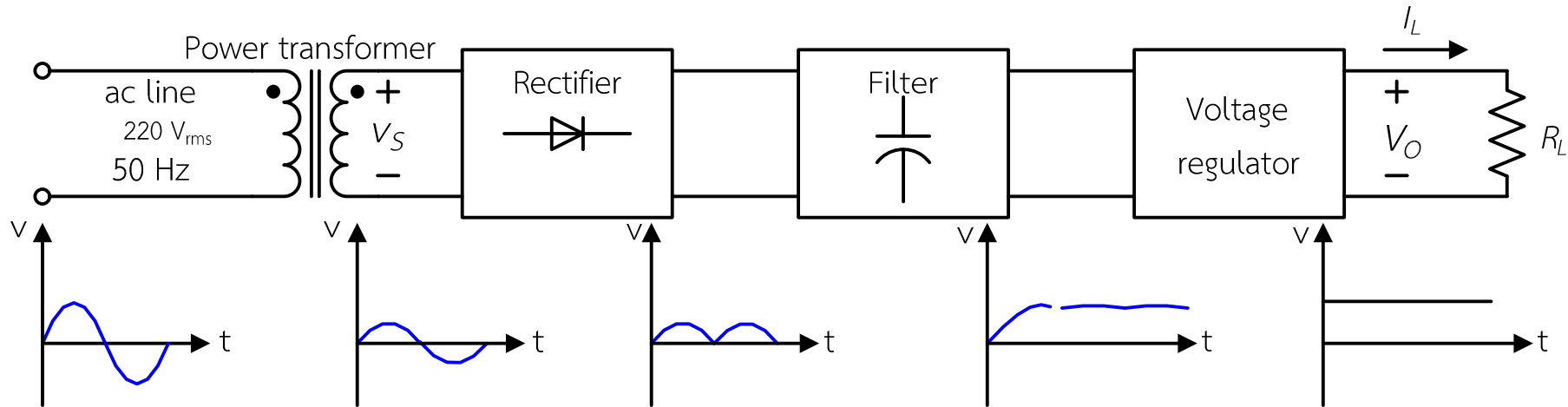
Faculty of Science and Technology

Nakhon Pathom Rajabhat University

## Outline

- Introduction
- Electrical transformer
- Rectifier circuits
- Capacitor filter design
- Voltage regulation
- Line regulation
- Load regulation
- Basic of series linear voltage regulation
- Voltage regulator circuits
- Short-circuit protection or overload protection
- Conclusions
- Problems

# 1. Introduction



**Fig 9.1** block diagram of Linear power supply

- Power transformer
- Rectifier circuit
- Capacitor filter
- Voltage regulator

## 2. Electrical transformer

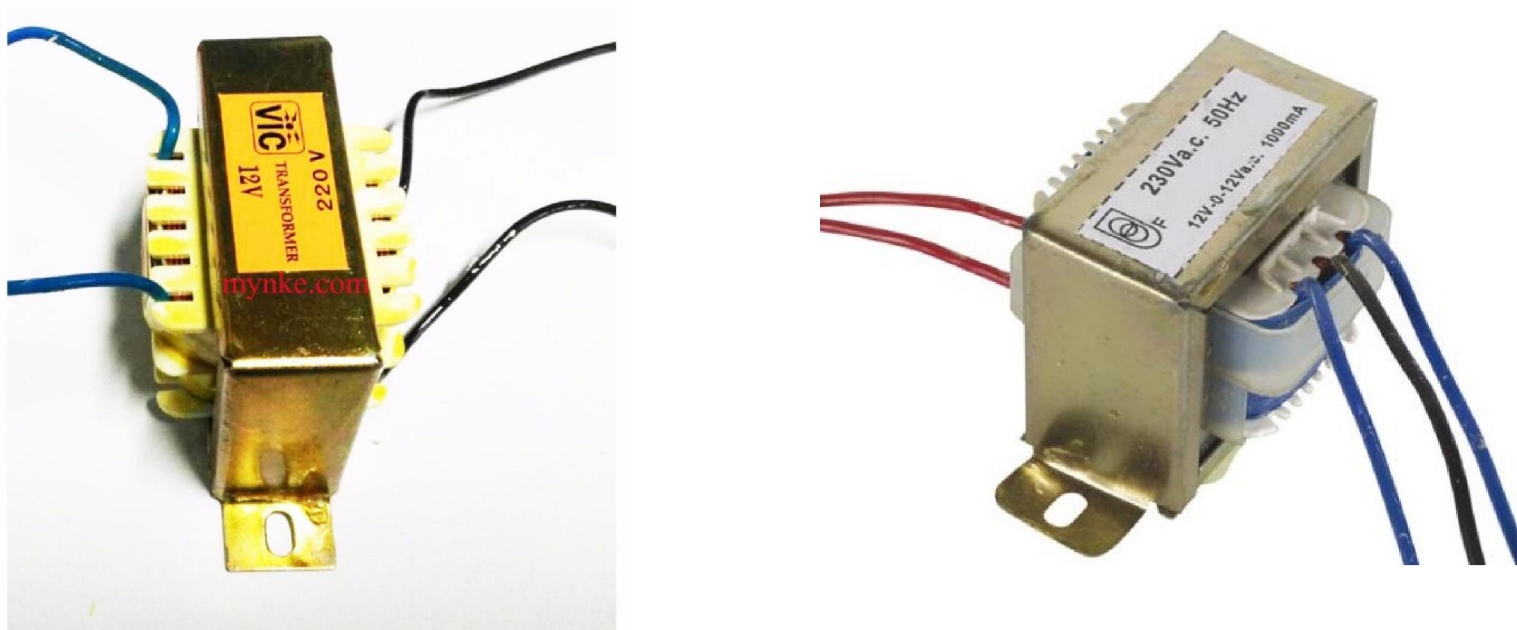


Fig 9.2 Electrical transformer

$$V_P = 1.414 \times V_{rms}$$

### 3. Rectifier circuits

- วงจรเรียงกระแส (rectifier) คือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีลูกคลื่นด้านบวกหรือด้านลบเพียงอย่างเดียว และกระแสไฟฟ้าไหลไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว

### 3. Rectifier circuits (con)

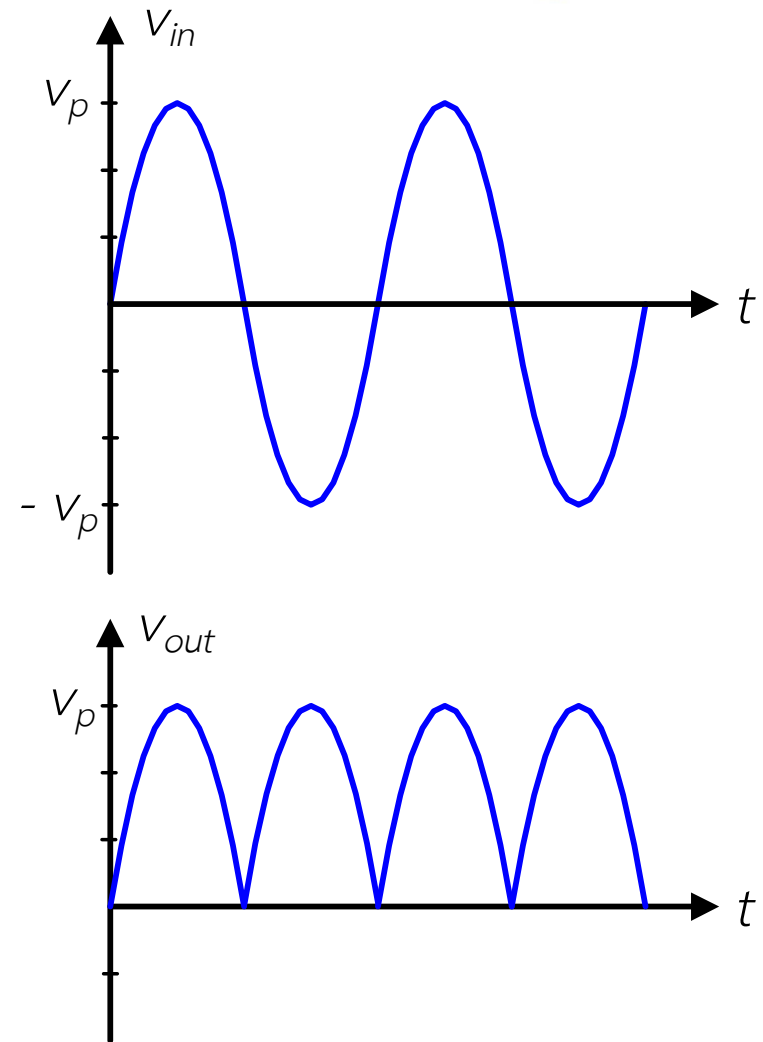
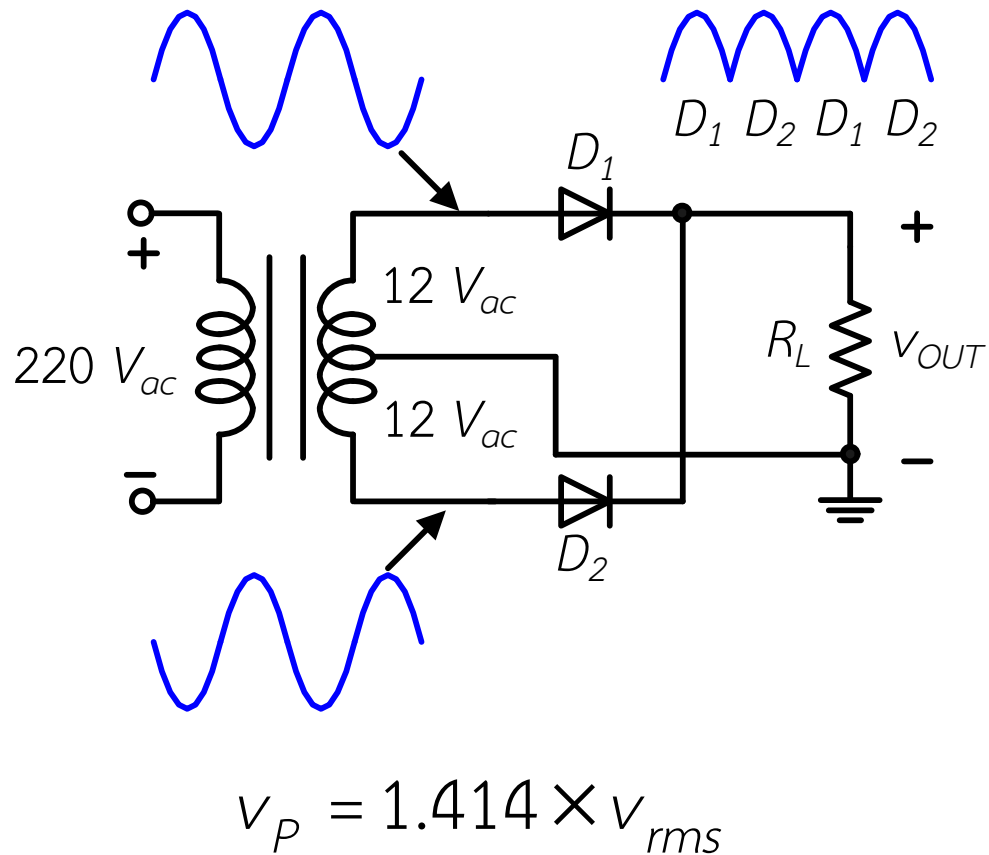


Fig 9.3 Full-wave rectifier circuit

### 3. Rectifier circuits (con)

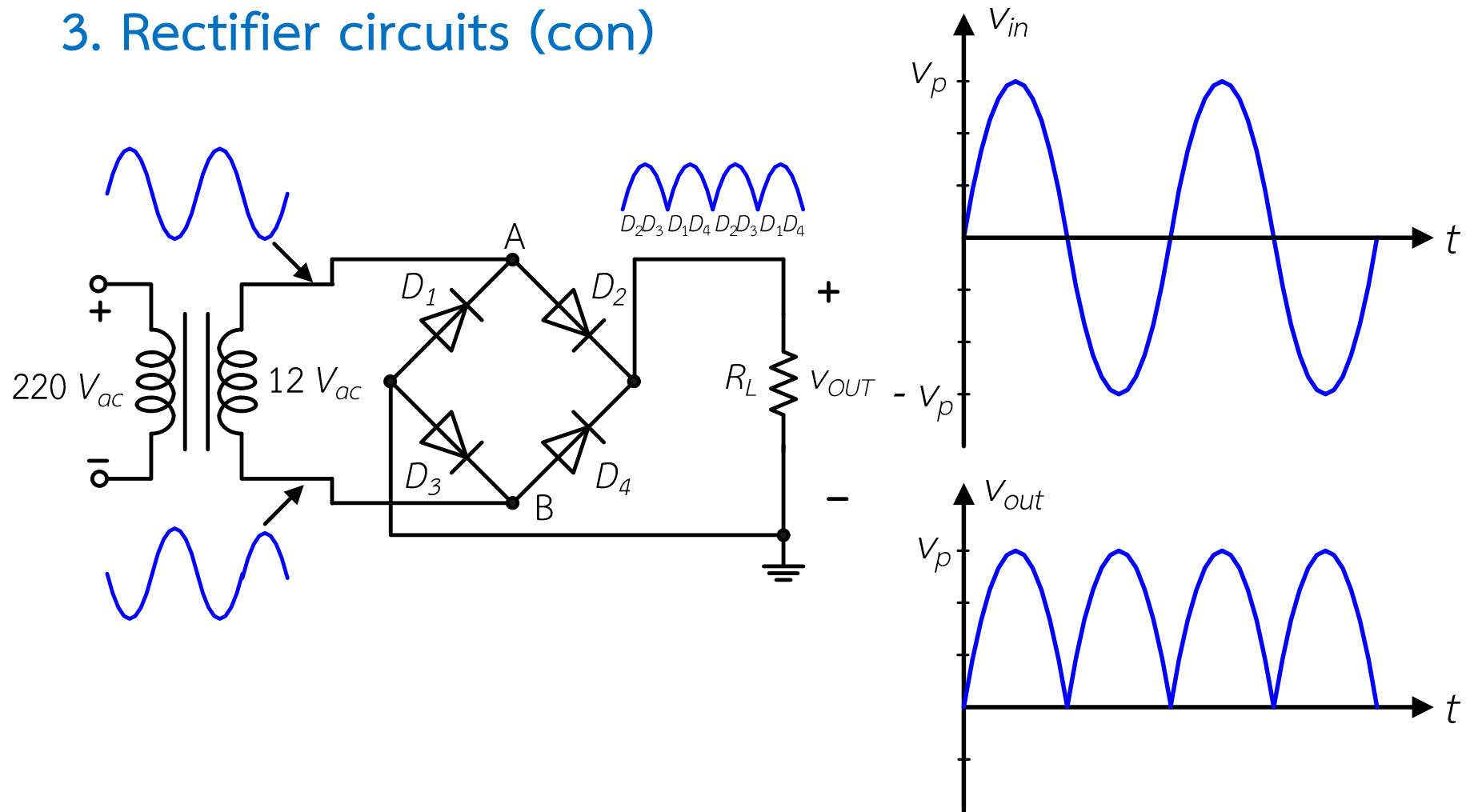


Fig 9.4 Bridge rectifier circuit

## 4. Capacitor filter design

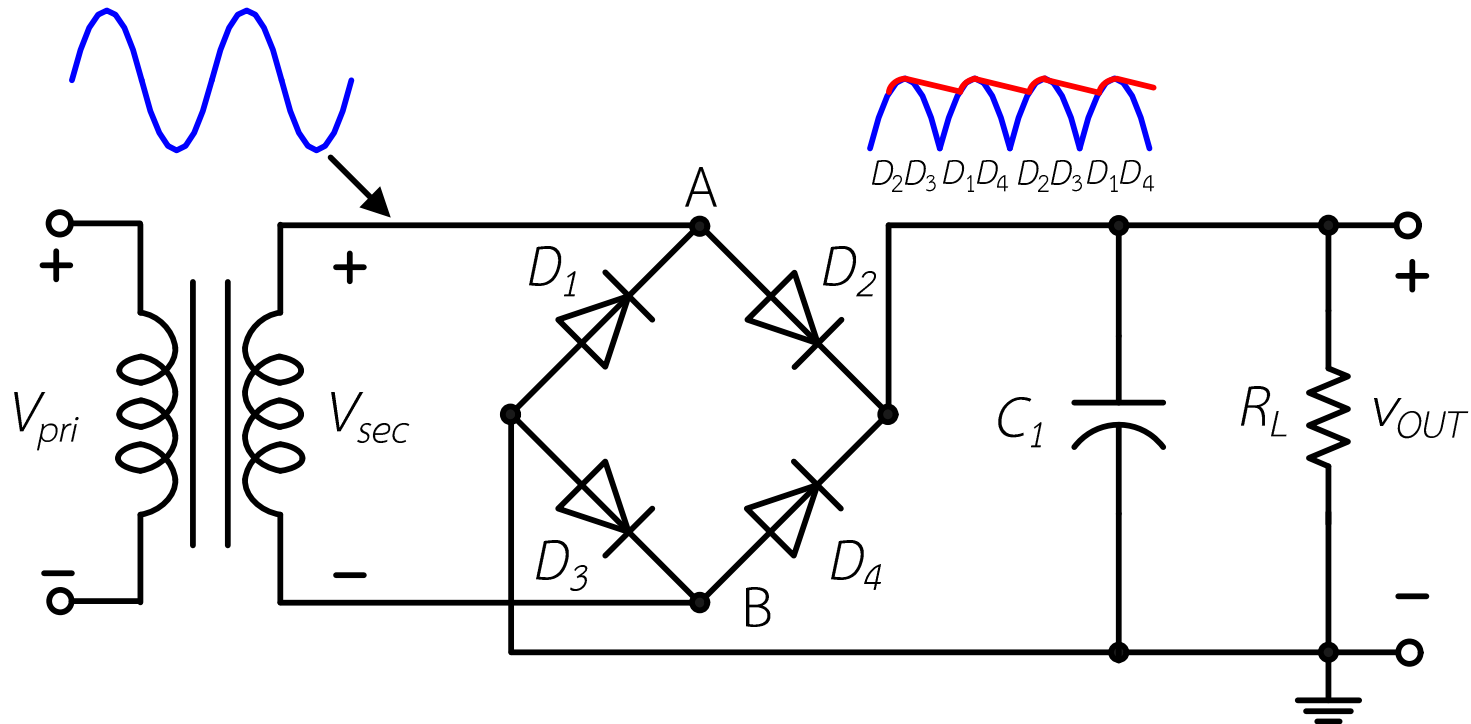


Fig 9.5 Bridge rectifier circuit with capacitor filter



## 4. Capacitor filter design (con)

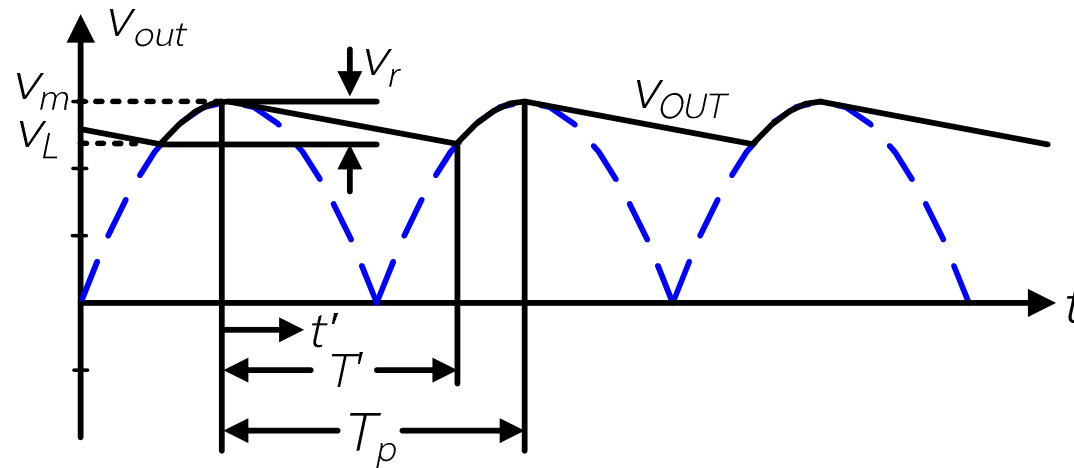


Fig 9.6 The output wave form

$$v_{OUT}(t) = V_m e^{-t'/R_L C_1}$$

$$V_r = V_m - V_L$$

$$V_L = V_m e^{-T'/R_L C_1}$$

$$V_r = V_m \left( 1 - e^{-T'/R_L C_1} \right)$$

## 4. Capacitor filter design (con)

กรณีค่า  $v_r$  น้อยมาก คาบเวลา  $T'$  มีค่าเท่ากับ  $T_p$  ซึ่ง  $T_p \ll R_L C_1$

$$V_r \cong \frac{V_m T_p}{R_L C_1}$$

กำหนดให้คาบเวลา  $T_p = 1/2f$  แรงดันระรอกคลื่นมีค่าเท่ากับ

$$V_r = \frac{V_m}{2fR_L C_1} \quad C_1 = \frac{V_m}{2fR_L V_r}$$

## 4. Capacitor filter design (con)

กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสูงสุด  $i_{D,peak}$  มีค่าเท่ากับ

$$i_{D,peak} \cong \frac{V_m}{R_L} \left( 1 + \pi \sqrt{\frac{2V_m}{V_r}} \right)$$

กระแสที่ไหลผ่านไดโอดเฉลี่ย  $i_{D,avg}$  มีค่าเท่ากับ

$$i_{D,avg} = \frac{V_m}{\pi R_L} \sqrt{\frac{2V_r}{V_m}} \left( 1 + \pi \sqrt{\frac{2V_m}{V_r}} \right)$$

**Exercise 9.1** กำหนดให้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $V_R$  ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและตัวเก็บประจุกรองสัญญาณความถี่ต่ำ ผ่าน แรงดันสูงสุด  $V_m = 10 \text{ V}$  ความถี่เท่ากับ  $50 \text{ Hz}$  กำหนดให้  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$  และ  $V_r = 0.2 \text{ V}$  จงหาค่าความจุ  $C_1$

**วิธีทำ** ค่าความจุ  $C_1$  เขียนได้ว่า

$$C_1 = \frac{V_m}{2fR_L V_r}$$

$$C_1 = \frac{10\text{V}}{2 \times 50\text{Hz} \times 10\text{k}\Omega \times 0.2\text{V}} = 50\mu\text{F}$$



Exercise 9.2 จาก Ex. 9.1 กำหนดให้  $R_L = 500 \Omega$ ,  $V_m = 15.66 \text{ V}$   $C_1$  มีค่าเท่าไร

$$C_1 = \frac{V_m}{2fR_L V_r}$$

$$C_1 = \frac{15.66\text{V}}{2 \times 50\text{Hz} \times 500\Omega \times 0.2\text{V}} = 1,566\mu\text{F}$$

- เลือกค่า  $C_1 = 2,200 \mu\text{F}/25 \text{ V}_{DC}$

## 5. Voltage regulation

- การรักษาระดับแรงดัน (voltage regulation) หมายถึงการทำหน้าที่ของวงจรรักษาค่าแรงดันเอาต์พุตให้คงที่มากที่สุด ขณะที่แรงดันอินพุตหรือโหลดมีการเปลี่ยนแปลง วงจรรักษาระดับแรงดันมีการทำงาน 2 ลักษณะดังนี้
  - การรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (line regulation)
  - การรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (load regulation: LR)

## 6. Line regulation

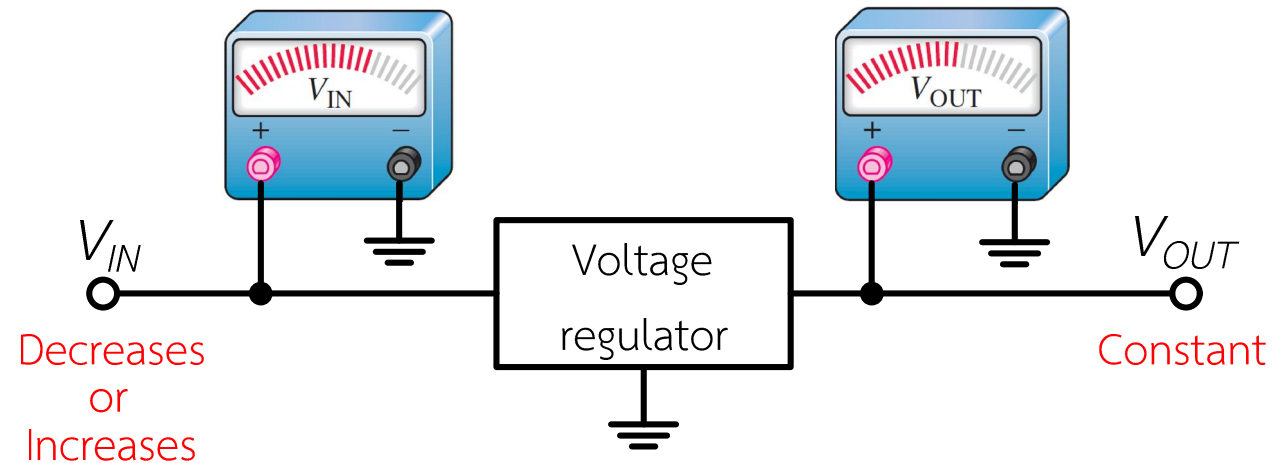


Fig 9.7 Block diagram line regulation

- การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (line regulation) หมายถึงขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่มากที่สุด

## 6. Line regulation (con)

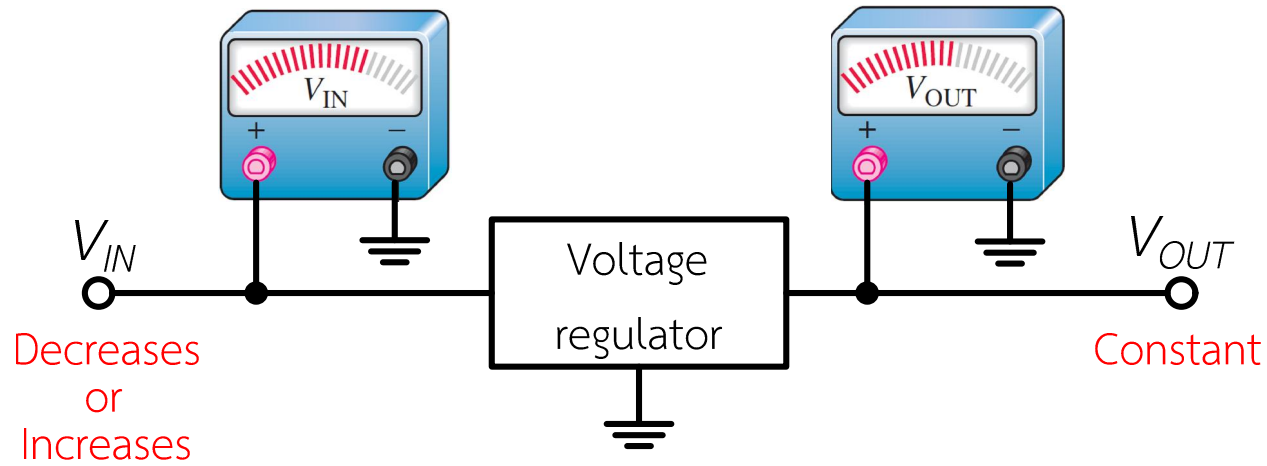


Fig 9.8 Block diagram line regulation

$$\text{Line regulation} = \left( \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \right) 100\%$$

$$\text{Line regulation} = \left( \frac{\Delta V_{OUT} / V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \right) 100\%$$



**ตัวอย่างที่ 9.3** เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาที่อินพุตของวงจร แรงดันอินพุตลดลงเท่ากับ 5 V และแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงเท่ากับ 0.25 V กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรต้องมีค่าเท่ากับ 15 V ให้หาเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน

$$\begin{aligned}\text{Line regulation} &= \frac{\left(\Delta V_{OUT} / V_{OUT}\right)}{\Delta V_{IN}} 100\% \\ &= \frac{\left(0.25\text{V} / 15\text{V}\right) 100\%}{5\text{V}} = 0.333\% / \text{V}\end{aligned}$$

- การรักษาระดับแรงดัน (Line regulation) ของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.333%/V

## 7. Load regulation

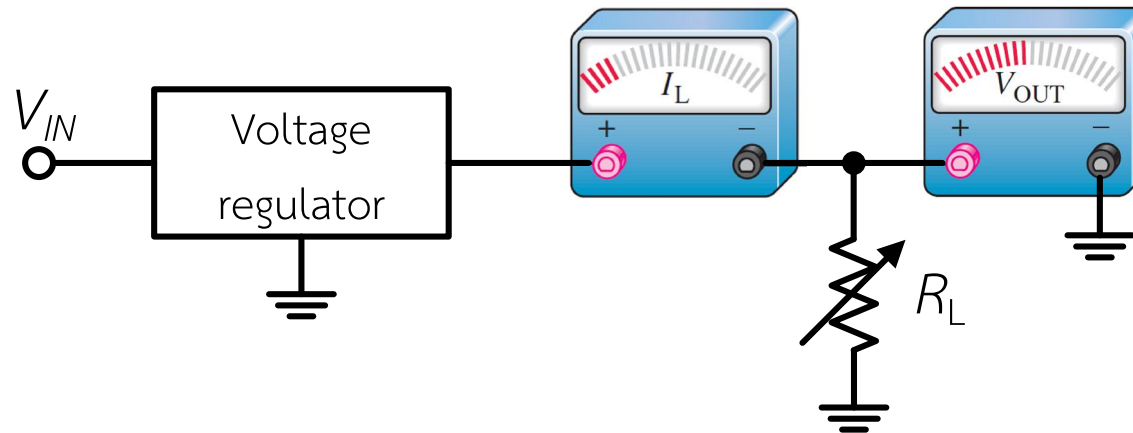


Fig 9.9 Block diagram load regulation

- การรักษาระดับแรงดันขณะทีโหลดมีการเปลี่ยนแปลง (load regulation: LR) หมายถึง เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนค่าความต้านทาน วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตด้วยวิธีการจ่ายกระแสเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่

## 7. Load regulation (con)

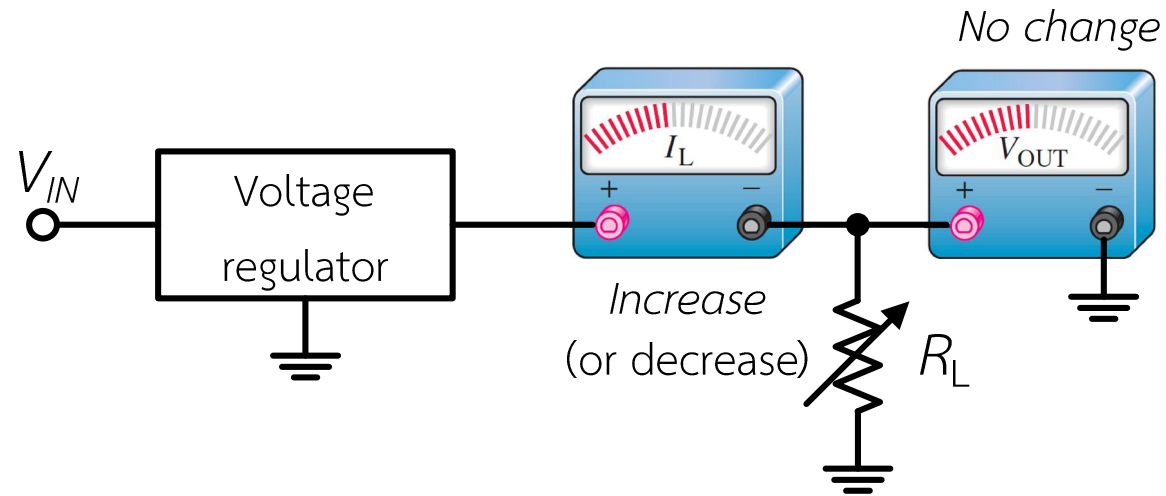


Fig 9.10 Block diagram load regulation

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

## 7. Load regulation (con)

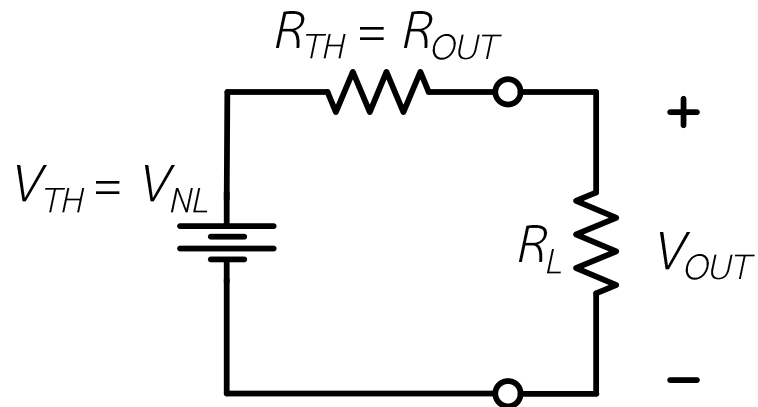


Fig 9.11 Equivalent output load regulation

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

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

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

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

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

**ตัวอย่างที่ 9.4** เพื่อต้องการรักษาระดับแรงดันที่โหลดเท่ากับ 12 V ขณะที่ไม่มีโหลด ( $I_L = 0$ ) เมื่อต่อโหลดจะมีกระแสไหล 10 mA แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 11.9 V จงหาค่าการรักษาระดับแรงดันที่บอกเป็นร้อยละจากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่ และร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

$$V_{NL} = 12 \text{ V}$$

$$V_{FL} = 11.9 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{Load regulation} &= \left( \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \right) 100\% \\ &= \left( \frac{12\text{V} - 11.9\text{V}}{11.9\text{V}} \right) 100\% = 0.84\% \end{aligned}$$

- กระแสเอาต์พุตจากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่เท่ากับ 10 mA ซึ่งค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุตเท่ากับ

$$\text{Load regulation} = \frac{0.84\%}{10\text{mA}} = 0.084\% / \text{mA}$$

## 8. Basic of series linear voltage regulation

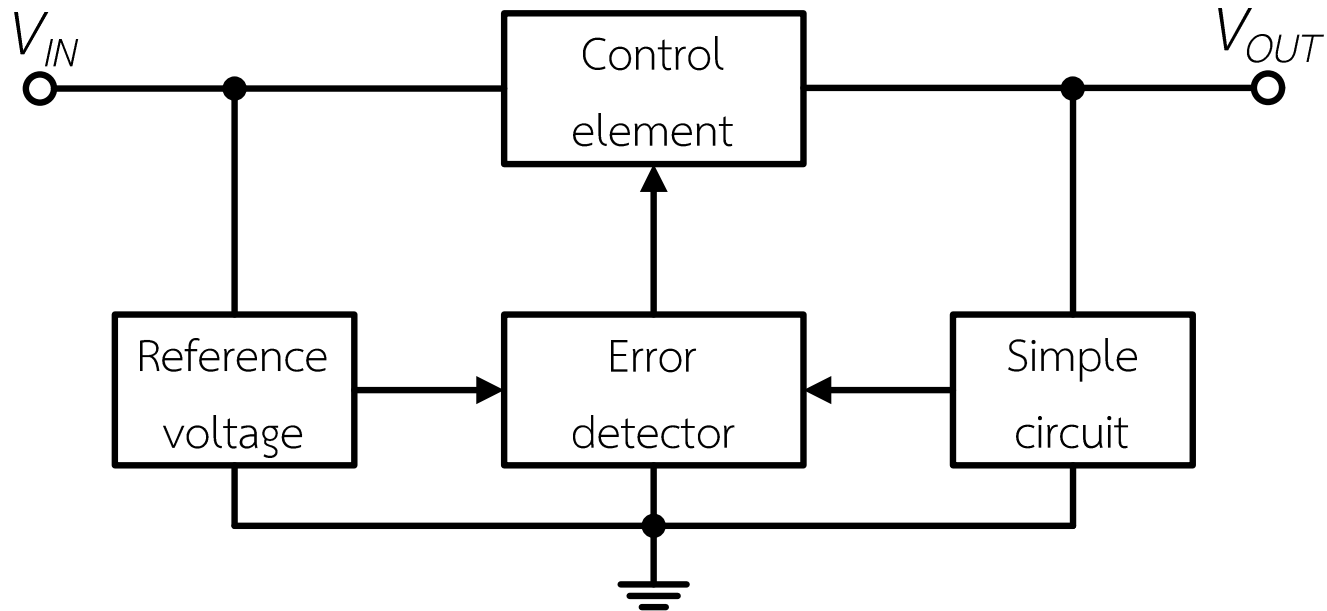


Fig 9.12 Block diagram of series linear voltage regulation



## 9. Voltage regulator circuits

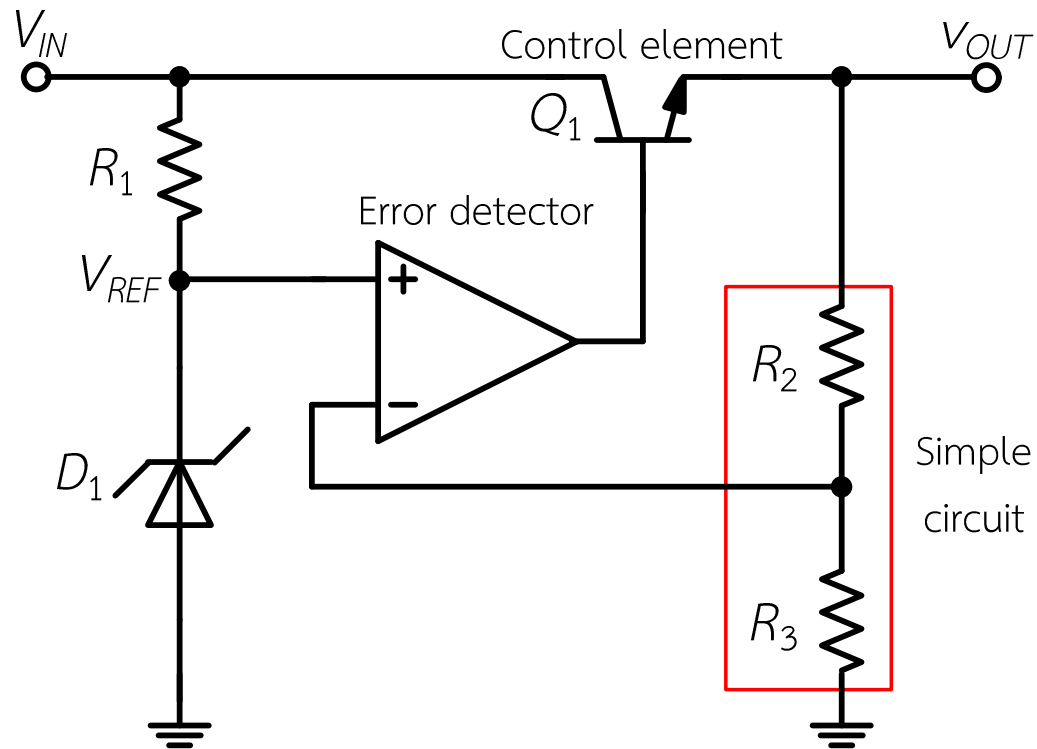


Fig 9.13 Voltage regulation circuit

$$V_{OUT} \cong \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_{REF}$$

## 9. Voltage regulator circuits (con)

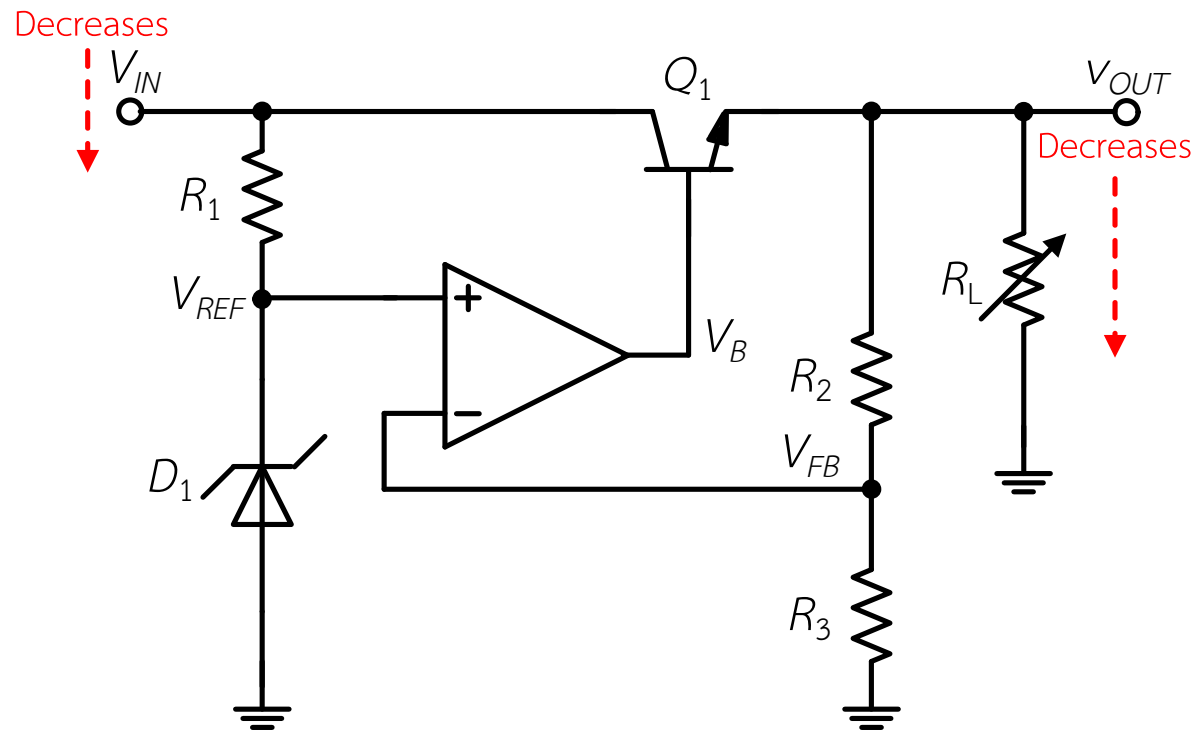


Fig 9.14 Voltage regulation circuit with load connection

## 9. Voltage regulator circuits (con)

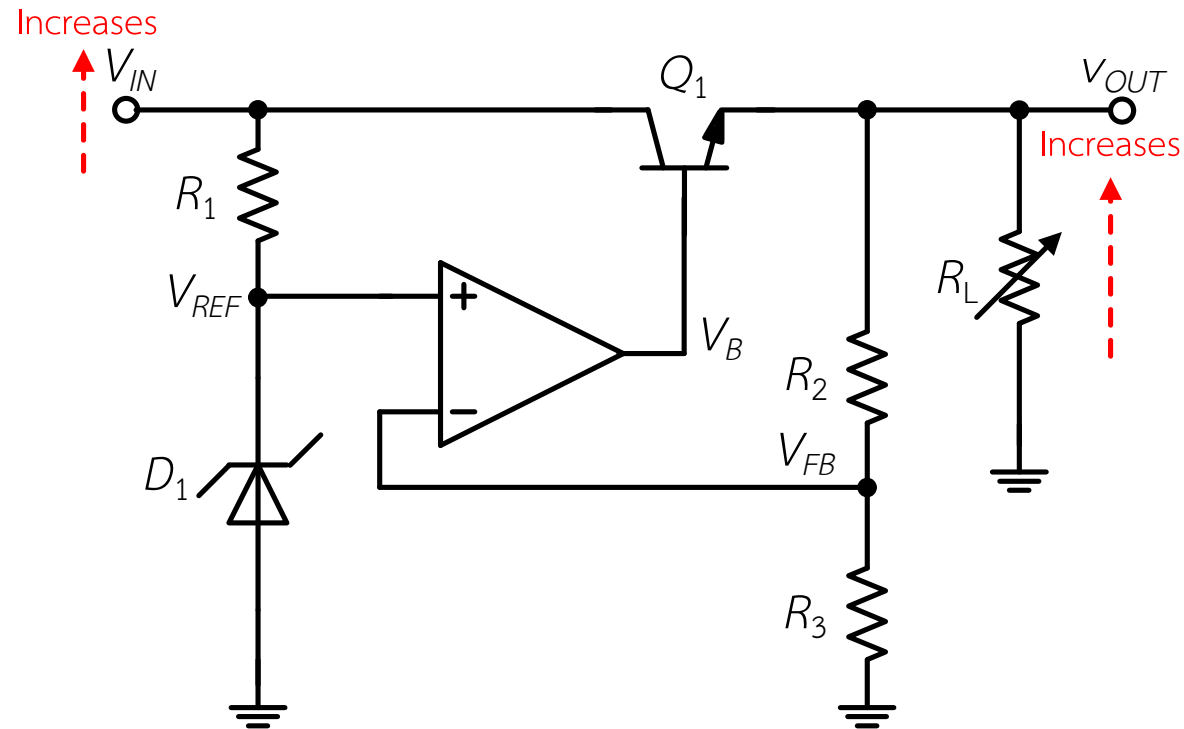
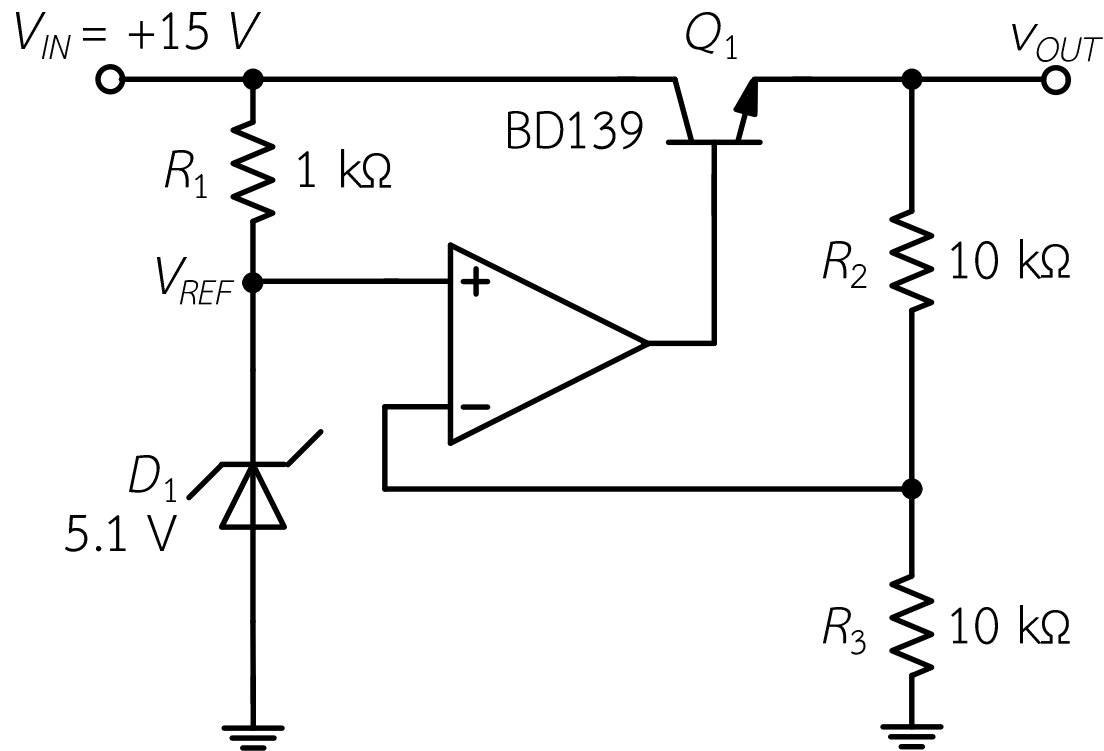


Fig 9.15 Voltage regulation circuit with load increases

Exercise 9.5 Fig.9.15 show the regulator circuit. Find the output voltage.



$$\begin{aligned}
 V_{OUT} &\cong \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_{REF} \\
 &\cong \left( 1 + \frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} \right) \times 5.1\text{V} \\
 &= 10.2\text{V}
 \end{aligned}$$

Fig 9.16 Voltage regulation circuit

## 10. short-circuit protection or overload protection

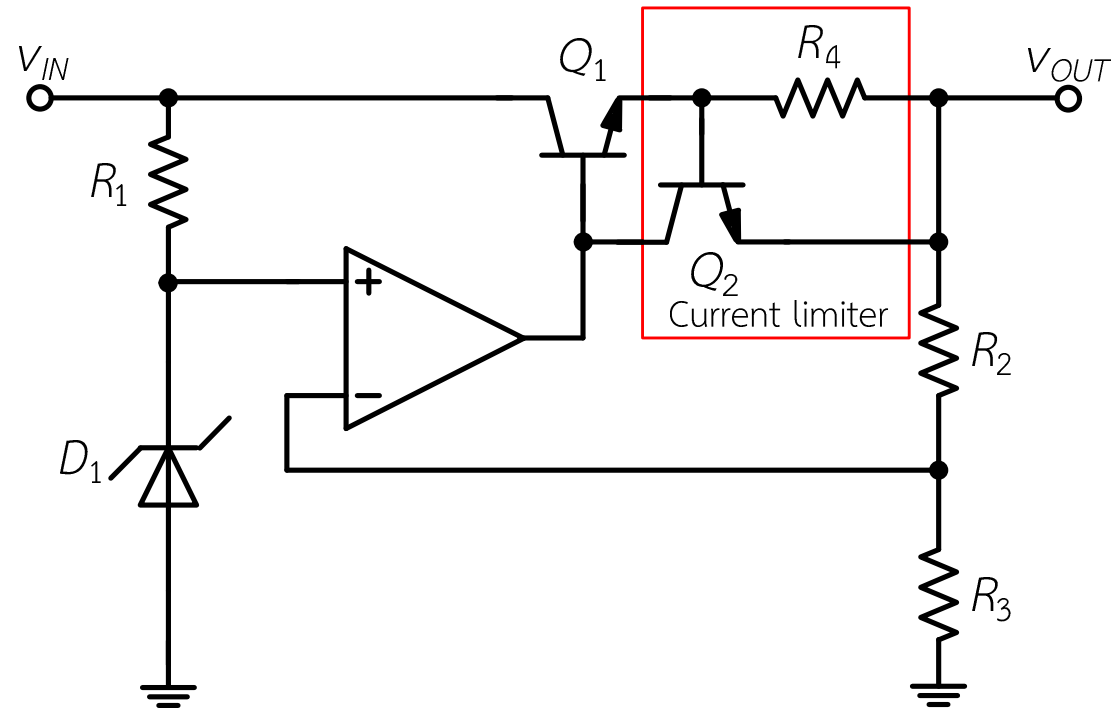
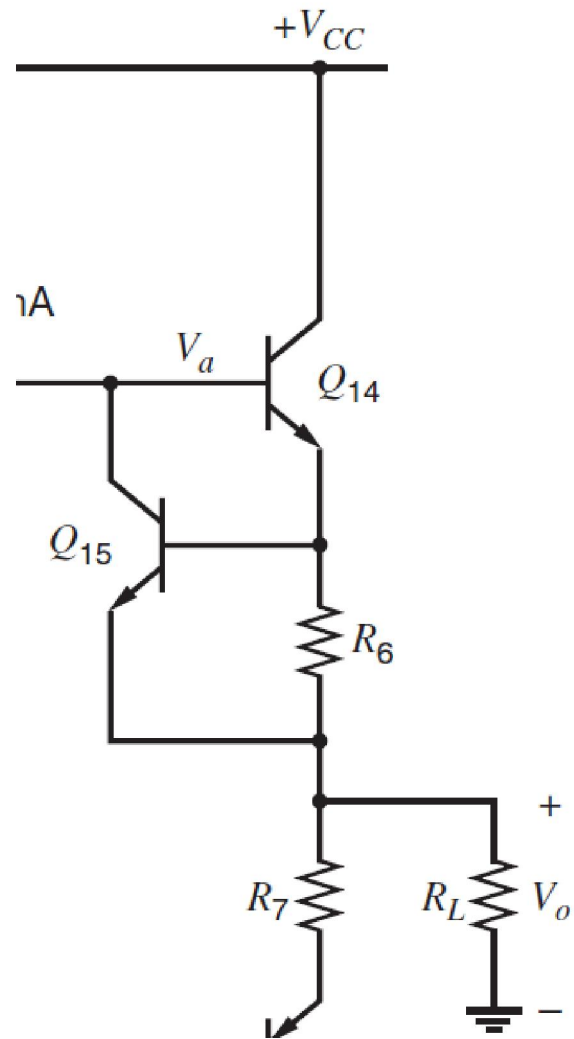
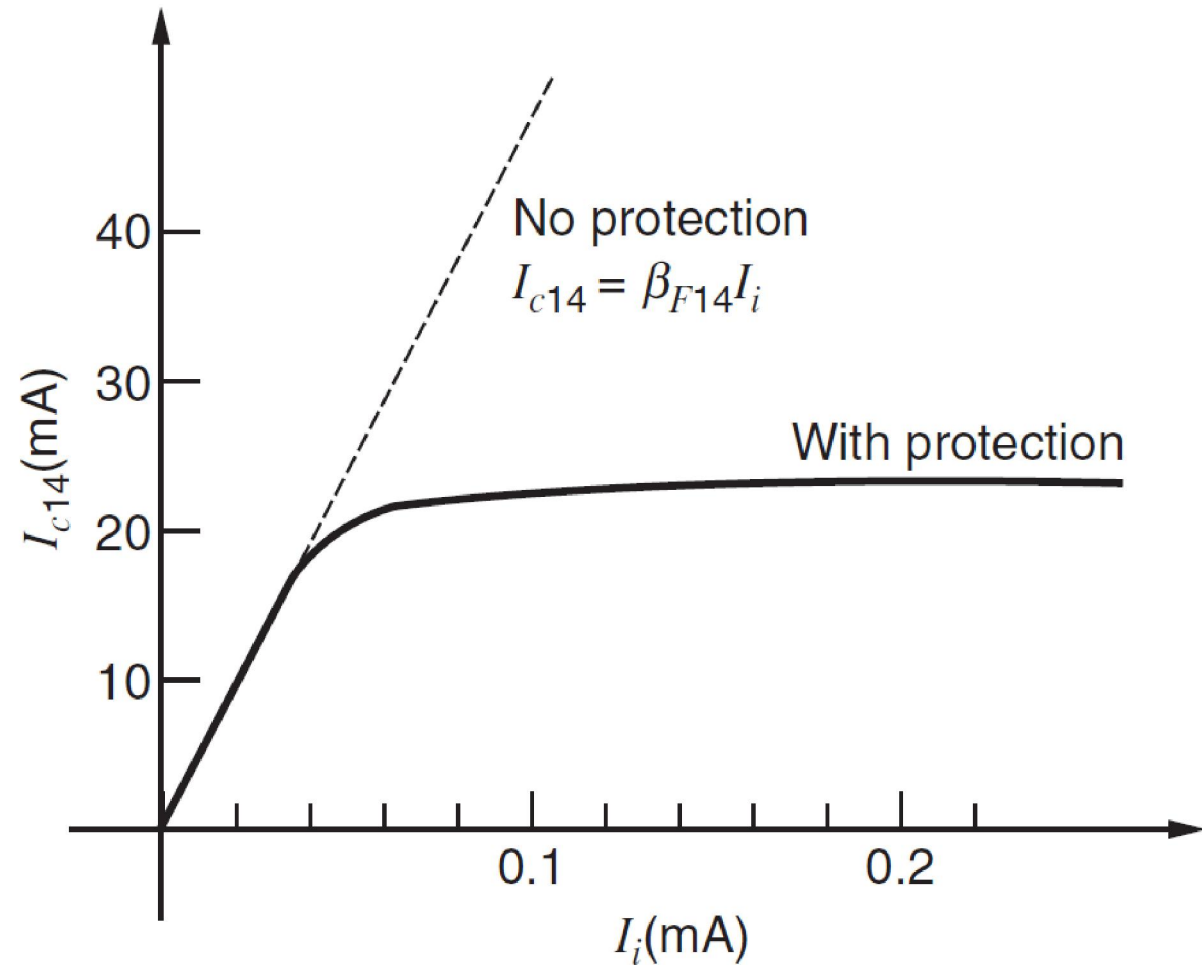


Fig 9.17 Voltage regulation circuit with overload protection

$$I_{L(\max)} = \frac{0.7V}{R_4}$$



(a)



(b)

Fig 9.18 (a) overload protection circuit and (b) output current with protection

ตัวอย่างที่ 9.6 ภาพที่ 9.19 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีวงจรป้องกัน  
ลัดลงกราวด์ ให้หาค่ากระแสเอาต์พุตที่ไหลสูงสุดที่สามารถจ่ายให้โหลดได้

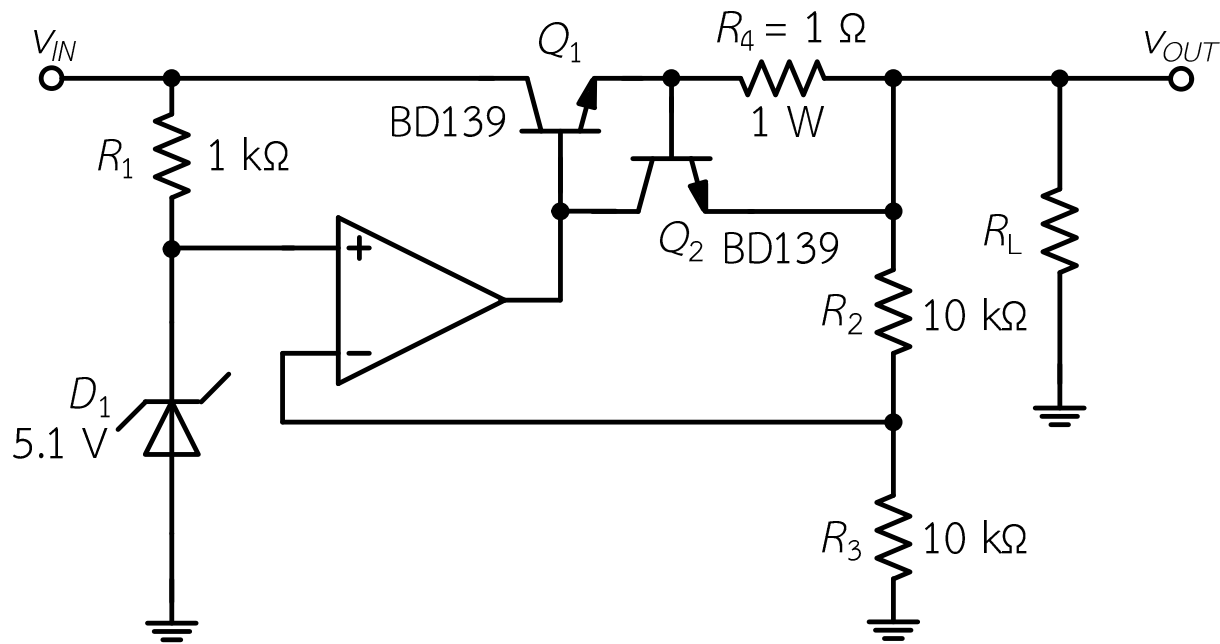


Fig 9.19 Voltage regulation circuit with overload protection

$$I_{L(\text{max})} = \frac{0.7\text{ V}}{R_4} = \frac{0.7\text{ V}}{1\text{ }\Omega} = 0.7\text{ A}$$

## Conclusions

- บทนี้กล่าวถึงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้า ไดโอดบริดจ์ ตัวเก็บประจุ ทรานซิสเตอร์ และ ออปแอมป์
- คุณสมบัติของวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแบบเชิงเส้นที่สำคัญคือ Line regulation และ Load regulation
- การป้องกันการลัดสามารถทำได้ด้วยการต่อทรานซิสเตอร์เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับ และป้องกันการลัดวงจร



## Problems

1. แรงแดัน ripple จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าอุปกรณ์อะไร ให้บอกเหตุผลประกอบ
2. แรงแดันเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงแดันขึ้นอยู่กับค่าอุปกรณ์อะไร ให้บอกเหตุผลประกอบ
3. กระแสเอาต์พุตของวงจรในภาพที่ 9.15 จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุปกรณ์อะไร ให้บอกเหตุผลประกอบ
4. จากภาพที่ 9.16 ตัวต้านทาน  $R_4$  มีไว้เพื่ออะไร
5. ให้อธิบายหลักการทำงานของวงจรป้องกันการลัดวงจร

## Problems (con)

6. กำหนดให้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $V_R$  ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและ ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน แรงดันสูงสุด  $V_m = 12 \text{ V}$  ความถี่เท่ากับ  $50 \text{ Hz}$  กำหนดให้  $R_L = 2 \text{ k}\Omega$  และ  $V_r = 0.4 \text{ V}$  จงหาค่าความจุ  $C_1$
7. จากข้อ 1 ถ้าเปลี่ยนวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าความจุ  $C_1$  มีค่าเท่าไร
8. กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรต้องมีค่าเท่ากับ  $20 \text{ V}$  ขณะที่แรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นเท่ากับ  $3.5 \text{ V}$  และแรงดันเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ  $4.2 \text{ V}$  ให้หาเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน

## Problems (con)

9. วงจรรักษาระดับแรงดันขณะไม่มีโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 18 V และขณะมีโหลดเต็มที่ แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 17.8 V และกระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดเท่ากับ 50 mA ให้หาการรักษาระดับแรงดันที่บอกเป็นร้อยละ จากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่ และร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุต
10. จากตัวอย่างที่ 9.4 ถ้าเปลี่ยนแรงดันซีเนอร์เท่ากับ 3.3 V  $R_1 = 1.8 \text{ k}\Omega$   $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$   $R_3 = 18 \text{ k}\Omega$  ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  ใช้เบอร์ BD139 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่าไร
11. จากตัวอย่างที่ 9.5 ถ้าเอาต์พุตของวงจรลดกราวด์ ให้หาค่ากระแสเอาต์พุตที่ไหลลงกราวด์

Thank you