

## แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 9

### วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น 1

#### หัวข้อเนื้อหา

1. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
2. วงจรเรียงกระแส
3. วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor filter circuit)
4. การรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation)
5. การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line regulation)
6. การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (Load regulation: LR)
7. พื้นฐานวงจรรักษาระดับแรงดันเชิงเส้นแบบอนุกรม
8. วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation circuit)
9. วงจรป้องกันการลัดวงจรหรือวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด (Short-Circuit protection or Overload Protection)
10. การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น

#### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่ออธิบายหลักการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
2. เพื่ออธิบายหลักการทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation circuit)
3. เพื่ออธิบายหลักการทำงานของวงจรป้องกันการลัดวงจรหรือวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด (Short-Circuit protection or Overload Protection)

#### วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
  - 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
  - 1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
  - 1.3 วิธีสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน
  - 2.1 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
  - 2.2 แสดงตัวอย่างการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ และการออกแบบ
  - 2.3 ให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัด
  - 2.4 ให้การบ้านกับนักศึกษา

#### สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

### การวัดผลและการประเมินผล

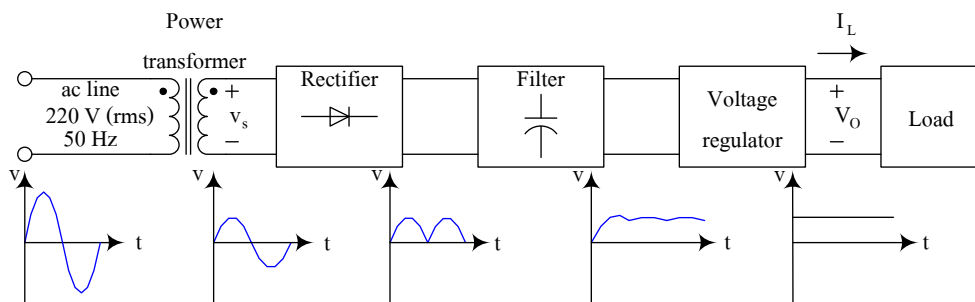
1. การเข้าเรียน
2. การบ้าน
3. สอบกลางภาค
4. สอบปลายภาค

## บทที่ 9

### วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น 1 (Regulation Power supply 1)

#### 9.1 แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น

แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นนั้นเป็นแหล่งจ่ายที่เก่าแก่มาก ตั้งแต่ยุคแรกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จนมาถึงปัจจุบัน ซึ่งแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นนั้นมีข้อดีคือ มีความทนทานสูง ราคาถูก และสามารถจ่ายกระแสและแรงดันได้สูง ในรูปที่ 9.1 แสดงไดอะแกรมของแหล่งจ่ายแรงดัน



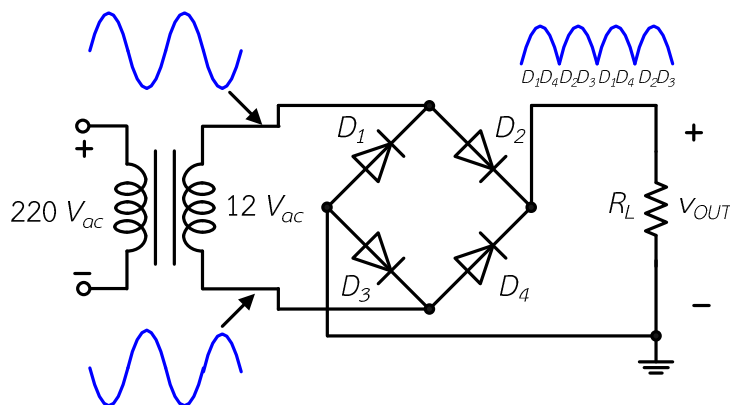
รูปที่ 9.1 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายแรงดัน

#### 9.2 วงจรเรกติไฟเออร์

วงจรเรกติไฟเออร์ คือวงจรไฟฟ้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และให้กระแสไหลไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว

##### 9.2.1 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

รูปที่ 9.2 แสดงวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว ในปัจจุบันได้นำไดโอด 4 ตัว มาบรรจุรวมเป็นชิ้นเดียว ซึ่งเรียกว่าบริดจ์ไดโอดถ้ากำหนดให้ไดโอดทั้ง 4 ตัว เป็นแบบอุดมคติ แล้วป้อนสัญญาณอินพุตมีแอมพลิจูดเท่ากับ  $V_m$  เข้ามาในวงจร การทำงานจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ



รูปที่ 9.2 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

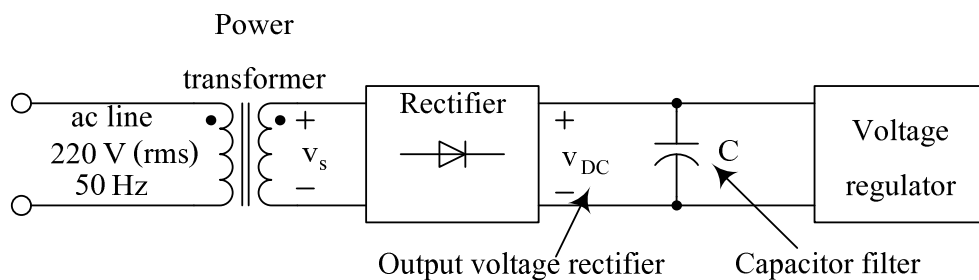
- ช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก 0 ถึง  $T/2$  ไดโอด  $D_2$  และ  $D_3$  ทำงานเพราะได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  ไม่ทำงานเพราะได้รับการไบอัสกลับ (Reverse bias) กระแสจะไหลผ่านไดโอด  $D_2, R_L$  และ  $D_3$  ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $R_L$
- ช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ  $T/2$  ถึง  $T$  ไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  ทำงานเพราะได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ไดโอด  $D_2$  และ  $D_3$  ไม่ทำงานเพราะได้รับการไบอัสกลับ (Reverse bias) กระแสจะไหลผ่านไดโอด  $D_4, R_L$  และ  $D_1$  ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $R_L$

### 10.2.2 การเลือกขนาดไดโอด

การเลือกขนาดไดโอด จะต้องเลือก 2 อย่าง คือ เลือกขนาดกระแสและขนาดแรงดัน โดยการเลือกขนาดกระแสและขนาดแรงดันนั้นจะเลือกประมาณ 2 เท่าของขนาดกระแสและขนาดแรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงจ่ายออกมา

### 9.3 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor filter circuit)

รูปที่ 9.3 แสดงตำแหน่งของตัวเก็บประจุ ตัวเก็บประจุต้องทำหน้าที่กรองแรงดันที่ถูกเรคตีไฟล์มาให้เรียบมากที่สุด ตัวเก็บประจุจึงมีความสำคัญกับวงจรแหล่งจ่ายแบบรักษาระดับแรงดันอย่างมาก



รูปที่ 9.3 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายแรงดัน

$$Ripple \ factor = \frac{Ripple \ voltage_{(rms)}}{V_{DC}} \tag{9.1}$$

#### 9.3.1 การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ

การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ จะเลือก 2 อย่าง คือ ค่าตัวเก็บประจุ และค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ โดยค่าแรงดันของตัวเก็บประจุหาได้จากสูตร

$$V_{r(rms)} = \frac{V_{r(p-p)}}{2\sqrt{3}} \tag{9.2}$$

$$V_{r(rms)} = \frac{2.9I_{DC}}{C} = \frac{2.9V_m}{R_L C} \quad (9.3)$$

$$V_{DC} = V_m - \frac{5I_{DC}}{C} = V_m - \frac{5V_m}{R_L C} \quad (9.4)$$

การเลือกค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ นั้นจะใช้ประมาณ 2 เท่าของขนาดแรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงจ่ายออกมา

**ตัวอย่างที่ 9.1** กำหนดให้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $V_R$  ของวงจรได้แรงดัน  $V_{DC(min)}$  = 5 V และ  $V_{r,pp} = 15$  Vpp จงหา  $V_{r(rms)}$  และ %ripple

**วิธีทำ**

$$V_{r(rms)} = \frac{2.9I_{DC}}{C} = \frac{2.9V_m}{R_L C} \quad (9.5)$$

$$= \frac{2.9I_{DC}}{C} = \frac{2.9V_m}{R_L C} \quad (9.6)$$

$$Ripple \ factor = \frac{Ripple \ voltage_{(rms)}}{V_{DC}} \quad (9.7)$$

$$= \frac{Ripple \ voltage_{(rms)}}{V_{DC}} \quad (9.8)$$

#### 9.4 การรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation)

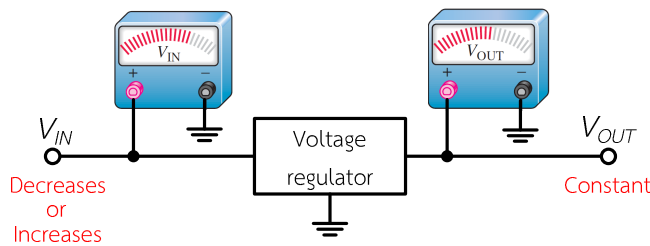
วงจรรักษาระดับแรงดัน หมายถึง เมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง วงจรสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตให้คงที่มากที่สุด วงจรรักษาระดับแรงดันซึ่งมีการทำงาน 2 ลักษณะดังนี้ 1. การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line regulation) และ 2. การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (Load regulation: LR)

#### 9.5 การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line regulation)

การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line regulation) หมายถึง ขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่มากที่สุด รูปที่ 9.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง แรงดันเอาต์พุตต้องคงที่

การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงจะแสดงเป็นร้อยละของอัตราการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต แรงดันอินพุตมี्यानการเปลี่ยนแปลง การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงหาได้จากสมการ

$$\text{Line regulation} = \left( \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \right) 100\% \tag{9.9}$$



รูปที่ 9.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรรักษากระดับแรงดัน

การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงอยู่ในหน่วย %/V ได้ เช่น การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 0.05%/V ซึ่งหมายถึง เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง 1 V แรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลง 0.05% การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงหาได้จากสมการ

$$\text{Line regulation} = \frac{(\Delta V_{OUT} / V_{OUT}) 100\%}{\Delta V_{IN}} \tag{9.10}$$

**ตัวอย่างที่ 9.2** เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาที่อินพุตของวงจร แรงดันอินพุตลดลงเท่ากับ 5 V และแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงเท่ากับ 0.25 V กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรต้องมีค่าเท่ากับ 15 V ให้หาเปอร์เซ็นต์ของการรักษากระดับแรงดัน

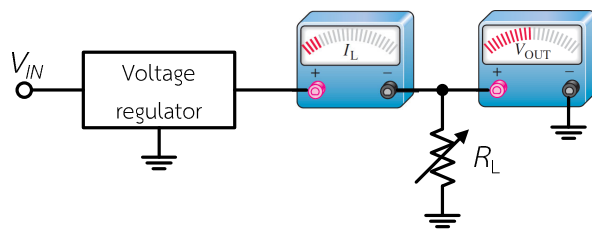
**วิธีทำ**

$$\text{Line regulation} = \frac{(\Delta V_{OUT} / V_{OUT}) 100\%}{\Delta V_{IN}} \tag{9.11}$$

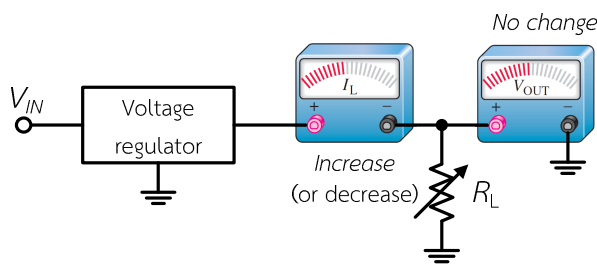
$$= \frac{(0.25V / 15V) 100\%}{5V} = 0.333\% / V \tag{9.12}$$

### 9.6 การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (Load regulation: LR)

การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง หมายถึง เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันด้วยวิธีการจ่ายกระแสเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ รูปที่ 9.5 (ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันขณะต่อตัวต้านทานเอาต์พุตซึ่งมีกระแสไหลค่าหนึ่งและเกิดแรงดันเอาต์พุต รูปที่ 9.5 (ข) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันขณะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นหรือลดลง วงจรจะมีกระแสไหลไปยังโหลดเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่



(ก)



(ข)

รูปที่ 9.5 วงจรรักษาระดับแรงดัน (ก) โหลดไม่เปลี่ยนแปลงค่า และ (ข) โหลดเปลี่ยนแปลงค่า

การรักษาระดับแรงดันที่โหลด (Load regulation: LR) สามารถนิยามได้จากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตสำหรับการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไหลผ่านโหลด การหาค่าการรักษาระดับแรงดันที่โหลดคือการหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลดกับขณะมีโหลดซึ่ง

$$\text{Load regulation} = \left( \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \right) 100\% \quad (9.13)$$

การรักษาระดับแรงดันที่โหลดสามารถแสดงได้ด้วยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตขณะที่กระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น ค่าการรักษาระดับแรงดันที่โหลดเท่ากับ 0.01% หมายถึงแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลง 0.01% เมื่อกระแสที่โหลดเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 mA

**ตัวอย่างที่ 9.3** เพื่อต้องการรักษาระดับแรงดันที่โหลดเท่ากับ 12 V ขณะที่ไม่มีโหลด ( $I_L = 0$ ) เมื่อต่อโหลดจะมีกระแสไหล 10 mA แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 11.9 V จงหาค่าการรักษาระดับแรงดันที่บอกเป็นร้อยละจากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่ และร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

**วิธีทำ** ขณะที่วงจรไม่ต่อโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{NL} = 12 \text{ V} \quad (9.14)$$

ขณะที่วงจรต่อโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{FL} = 11.9 \text{ V} \quad (9.15)$$

ค่าการรักษาระดับแรงดันที่โหลดจากไม่มีโหลดไปถึงมีโหลดเต็มที่เท่ากับ

$$\text{Load regulation} = \left( \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \right) 100\% \quad (9.16)$$

$$\text{Load regulation} = \left( \frac{12\text{V} - 11.9\text{V}}{11.9\text{V}} \right) 100\% = 0.84\% \quad (9.17)$$

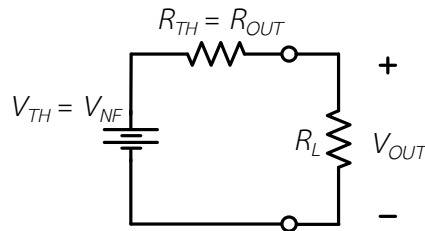
กระแสเอาต์พุตจากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่เท่ากับ 10 mA ซึ่งค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุตเท่ากับ

$$\text{Load regulation} = \frac{0.84\%}{10\text{mA}} = 0.084\% / \text{mA} \quad (9.18)$$

ภาคอุตสาหกรรม วงจรแหล่งจ่ายไฟจะต้องเทียบเคียงค่าความต้านทานเอาต์พุตของวงจรด้วยวิธีการของวงจรเทียบเคียงเทวินิน รูปที่ 9.6 แสดงวงจรเทียบเคียงเทวินินของแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งมีการต่อโหลด แรงดันเทวินิน คือแรงดันจากแหล่งจ่ายขณะที่วงจรไม่ต่อโหลด ( $V_{NL}$ ) และค่าความต้านทานเทวินิน คือค่าความต้านทานเอาต์พุต ( $R_{OUT}$ ) ซึ่งค่าความต้านทานอุดมคติเท่ากับศูนย์ ซึ่งค่าการรักษาระดับแรงดันที่โหลดเท่ากับ 0% แต่ในทางปฏิบัติ ค่าความต้านทานเอาต์พุต ( $R_{OUT}$ ) มีค่าน้อยมาก เมื่อวงจรต่อโหลด แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ



$$V_{OUT} = V_{NL} \left( \frac{R_L}{R_{OUT} + R_L} \right) \quad (9.19)$$



รูปที่ 9.6 วงจรเทียบเคียงเทวินินของแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งมีการต่อโหลด

ถ้าค่าความต้านทาน  $R_{FL}$  มีค่าความต้านทานน้อยสุด แรงดันเอาต์พุตขณะที่ต่อโหลดสูงสุด ( $V_{FL}$ ) มีค่าเท่ากับ

$$V_{FL} = V_{NL} \left( \frac{R_{FL}}{R_{OUT} + R_{FL}} \right) \quad (9.20)$$

เขียนสมการ 9.16 เพื่อหาค่า  $V_{NL}$  ได้ว่า

$$V_{NL} = V_{FL} \left( \frac{R_{OUT} + R_{FL}}{R_{FL}} \right) \quad (9.21)$$

การรักษาระดับแรงดันที่โหลดมีค่าเท่ากับ

$$\text{Load regulation} = \frac{V_{FL} \left( \frac{R_{OUT} + R_{FL}}{R_{FL}} \right) - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \quad (9.22)$$

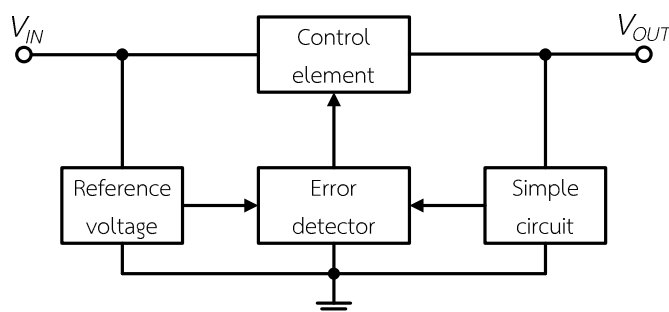
$$= \left( \frac{R_{OUT} + R_{FL}}{R_{FL}} - 1 \right) \times 100\% \quad (9.23)$$

$$\text{Load regulation} = \left( \frac{R_{OUT}}{R_{FL}} \right) \times 100\% \quad (9.24)$$

เราสามารถใช้อสมการ 9.20 หาค่าการรักษาระดับแรงดันที่โหลดได้เมื่อทราบค่าความต้านทานของโหลด และค่าความต้านทานของโหลดที่ต่ำสุดที่กำหนดไว้

### 9.7 พื้นฐานวงจรรักษาระดับแรงดันเชิงเส้นแบบอนุกรม

รูปที่ 9.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมแหล่งจ่ายแรงดันเชิงเส้นแบบอนุกรม ซึ่งประกอบด้วย วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงทำหน้าที่สร้างแรงดันอ้างอิงให้กับวงจรตรวจจับความผิดพลาด วงจรตรวจวัดแรงดันเอาต์พุตป้อนกลับจะทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันเอาต์พุตที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วป้อนให้กับวงจรตรวจจับความผิดพลาด ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุต ผลของความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุตจะถูกป้อนให้กับวงจรควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่

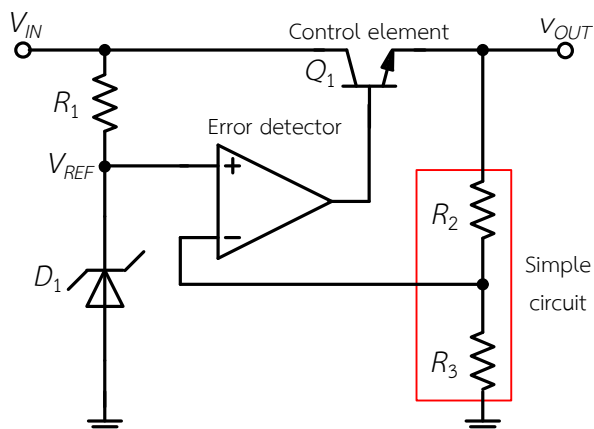


รูปที่ 9.7 บล็อกไดอะแกรมแหล่งจ่ายแรงดันแบบรักษาระดับด้วยการป้อนกลับ

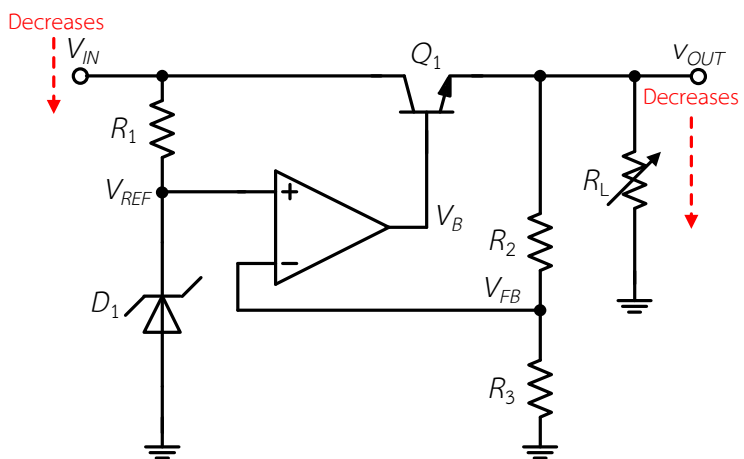
### 9.8 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation circuit)

รูปที่ 9.8 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม ซึ่งวงจรประกอบด้วย ตัวต้านทาน  $R_1$  และ ซีเนอริไดโอด  $D_1$  ต่อเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันอ้างอิง ที่ป้อนแรงดันเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ ออปแอมป์ ทำหน้าที่ตรวจจับค่าความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุต ตัวต้านทาน  $R_3$  และ  $R_4$  ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันเอาต์พุตเพื่อป้อนเข้าขาลบของออปแอมป์ และทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ที่ต่ออนุกรมระหว่างอินพุตและเอาต์พุตซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลด วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมจะอาศัยหลักการทำงานลักษณะการป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงตามที่ออกแบบไว้

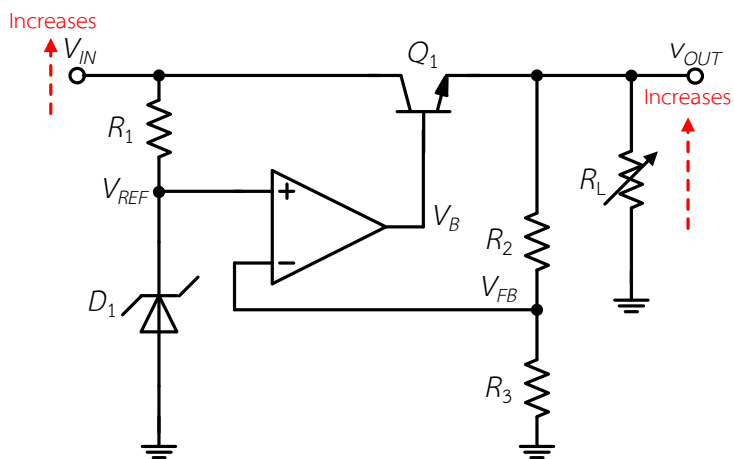
รูปที่ 9.9 (ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตลดลง ซึ่งหลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแรงดันเอาต์พุตลดลงเนื่องมาจากแรงดันอินพุตลดลงหรือเกิดจากการต่อโหลดแล้วทำให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตจะถูกแบ่งแรงดันซึ่งเป็นแรงดันป้อนกลับมีค่าเท่ากับ  $V_{FB}$  และถูกป้อนกลับเข้าที่ขาลบของออปแอมป์มีค่าน้อยกว่าแรงดันซีเนอริ ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง  $V_{REF}$  ที่ขาบวกของออปแอมป์ แรงดันผลต่างระหว่างแรงดัน  $V_{REF}$  กับแรงดัน  $V_{FB}$  จะถูกขยายโดยออปแอมป์ แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์  $V_B$  มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันที่ขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแรงดันที่ถูกป้อนกลับ  $V_{FB}$  มีค่าเท่ากับแรงดัน  $V_{REF}$  ซึ่งวงจรจะทำงานในลักษณะป้อนกลับแบบลบ ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมจะมีความร้อนสูงมาก ดังนั้น ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จำเป็นต้องติดฮีตซิงก์เพื่อระบายความร้อน



รูปที่ 9.8 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม



(ก)



(ข)

รูปที่ 9.9 (ก) ขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตลดลง และ (ข) ขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตเพิ่มขึ้น

รูปที่ 9.9 (ข) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตเพิ่มขึ้น หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นหรือเกิดจากการต่อโหลดแล้วทำให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับเป็นแรงดัน  $V_{FB}$  มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง  $V_{REF}$  แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีค่าลดลง ส่งผลให้แรงดันที่ขาอีมิเตอร์ลดลงจนกระทั่งแรงดัน  $V_{FB}$  มีค่าเท่ากับแรงดัน  $V_{REF}$  ด้วยลักษณะการป้อนกลับแบบลบจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่ ซึ่งอัตราขยายลูปปิดของวงจรมีค่าเท่ากับ

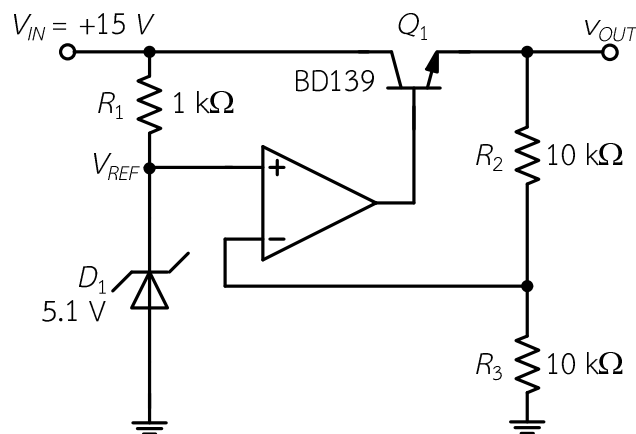
$$A_{cl} = 1 + \frac{R_2}{R_3} \tag{9.25}$$

ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตจากวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม ซึ่งไม่พิจารณาแรงดัน  $V_{BE}$  ของ  $Q_1$  แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$V_{OUT} \cong \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_{REF} \tag{9.26}$$

จากสมการที่ 9.22 เราสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับแรงดันซีเนอร์ และตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ซึ่งแรงดันเอาต์พุตไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต

**ตัวอย่างที่ 9.4** จงหาค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดันในรูปที่ 9.10



รูปที่ 9.10 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

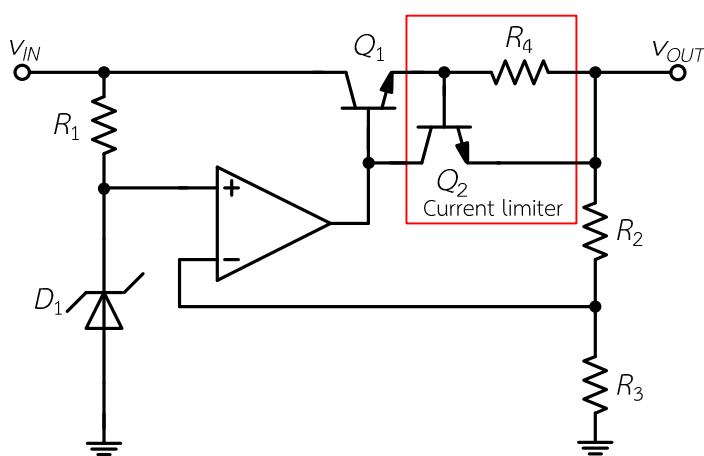
**วิธีทำ** แรงดันซีเนอร์ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง  $V_{REF} = 5.1 \text{ V}$  แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{OUT} \cong \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) V_{REF} \tag{9.27}$$

$$V_{OUT} \cong \left( 1 + \frac{10k\Omega}{10k\Omega} \right) \times 5.1V = 10.2V \tag{9.28}$$

### 9.9 วงจรป้องกันการลัดวงจรหรือวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด (Short-Circuit protection or Overload Protection)

การนำวงจรไฟเลี้ยงหรือรักษาระดับแรงดันไปใช้งาน หากวงจรถูกต่อกับโหลดที่มีค่าความต้านทานต่ำหรือโหลดต้องการกระแสสูงมากกว่าที่ออกแบบไว้ วงจรอาจจะเกิดการพังเสียหายได้ ดังนั้น วงจรไฟเลี้ยงจำเป็นต้องถูกออกแบบให้ป้องกันการจ่ายกระแสเกินกว่าที่ออกแบบไว้หรือป้องกันการลัดวงจร รูปที่ 9.11 แสดงวงจรไฟเลี้ยงหรือรักษาระดับแรงดันที่มีการต่อวงจรป้องกันการลัดวงจรหรือวงจรถูกกำหนดกระแส (Constant-current limiting) เพิ่มเข้าไประหว่างขาอิมิตเตอร์ และเอาต์พุต วงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์  $Q_2$  และ ตัวต้านทาน  $R_4$

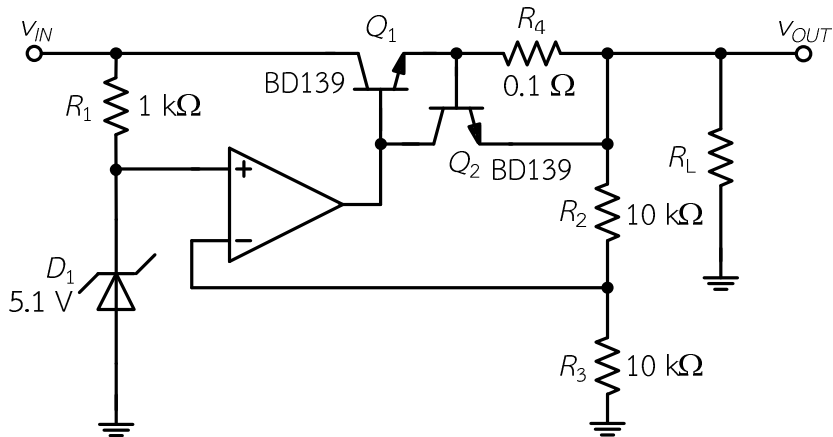


รูปที่ 9.11 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมที่เพิ่มวงจรป้องกันกระแสเกิน

หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อกระแสไหลผ่าน  $R_4$  จะเกิดแรงดันที่ตกคร่อม  $R_4$  หรือแรงดัน  $V_{BE2}$  ที่ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  เมื่อกระแสไหลมากขึ้นจนถึงค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด แรงดันที่ตกคร่อม  $R_4$  ที่มากพอให้เกิดการฟอร์เวิร์ดไบอัสให้กับรอยต่อขาเบสกับอิมิตเตอร์ของ  $Q_2$  ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  เริ่มนำกระแส ออปแอมป์จะจ่ายกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ขณะเดียวกัน กระแส  $I_B$  ที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ลดลง ส่งผลให้กระแสเอาต์พุตที่ไหลผ่าน  $Q_1$  แล้วที่จ่ายให้โหลดลดลง เนื่องจากแรงดัน  $V_{BE}$  ที่ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ไม่เท่ากับ 0.7 V กระแสที่ไหลผ่านโหลดมากขึ้นจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $R_4$  เพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่านโหลดสูงสุดเท่ากับ

$$I_{L(max)} = \frac{0.7V}{R_4} \tag{9.29}$$

**ตัวอย่างที่ 9.5** รูปที่ 9.12 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีวงจรถ่วงกันการลัดลงกราวด์ ให้หาค่ากระแสเอาต์พุตที่ไหลสูงสุดที่สามารถจ่ายให้โหลดได้



รูปที่ 9.12 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมที่เพิ่มวงจรถ่วงกันกระแสเกิน

**วิธีทำ** กระแสที่ไหลผ่าน  $R_4$  มีค่าเท่ากับ

$$I_{L(max)} = \frac{0.7V}{R_4} = \frac{0.7V}{1\Omega} = 0.7A \tag{9.30}$$

### 9.11 บทสรุป

บทนี้กล่าวถึงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดบริดจ์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มีลักษณะเต็มคลื่น ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองแรงดันให้คงที่ ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน และกระแสไฟฟ้า และออปแอมป์ทำหน้าที่ควบคุมทรานซิสเตอร์ให้จ่ายแรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ คุณลักษณะของวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแบบเชิงเส้นที่สำคัญคือ Line regulation และ Load regulation การป้องกันการลัดสามารถทำได้ด้วยการต่อทรานซิสเตอร์เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับ และป้องกันการลัดวงจร ในบทนี้มีส่วนการทำลองเพื่อให้นักศึกษามีทักษะการต่อวงจร และศึกษาการทำงานของวงจรเพิ่มเติมได้ นักศึกษาสามารถนำความรู้ที่ได้การศึกษานี้ไปออกแบบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงใช้งานได้ นักศึกษาจะมีทักษะการต่อวงจร และทดลองวงจร นักศึกษาที่มีทักษะดังกล่าวจะสามารถประกอบวงจร และหากวงจรมีข้อบกพร่องก็จะสามารถแก้ไขวงจรให้สามารถทำงานได้

### แบบฝึกหัดท้ายบท

- กำหนดให้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $V_R$  ของวงจรได้แรงดัน  $V_{DC(min)} = 5$  V และ  $V_{r,pp} = 15$  Vpp จงหา  $V_{r(rms)}$  และ %ripple
- กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรต้องมีค่าเท่ากับ 20 V ขณะที่แรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.5 V และแรงดันเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.2 V ให้หาเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน
- วงจรรักษาระดับแรงดันขณะไม่มีโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 18 V และขณะมีโหลดเต็มที่ แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 17.8 V และกระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดเท่ากับ 50 mA ให้หาการรักษาระดับแรงดันที่บอกเป็นร้อยละจากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่ และร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุต
- จากตัวอย่างที่ 9.4 ถ้าเปลี่ยนแรงดันซีเนอร์เท่ากับ 3.3 V  $R_1 = 1.8$  k $\Omega$   $R_2 = 22$  k $\Omega$   $R_3 = 18$  k $\Omega$  ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  ใช้เบอร์ BD139 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่าไร
- จากตัวอย่างที่ 9.5 ถ้าเอาต์พุตของวงจรลดลงกราวด์ ให้หาค่ากระแสเอาต์พุตที่ไหลลงกราวด์