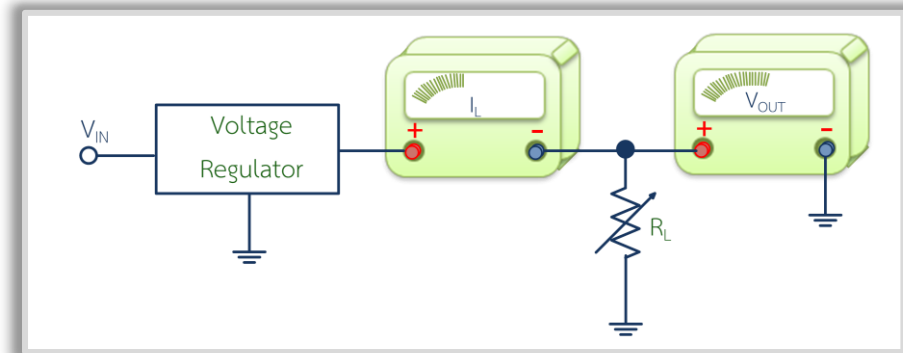
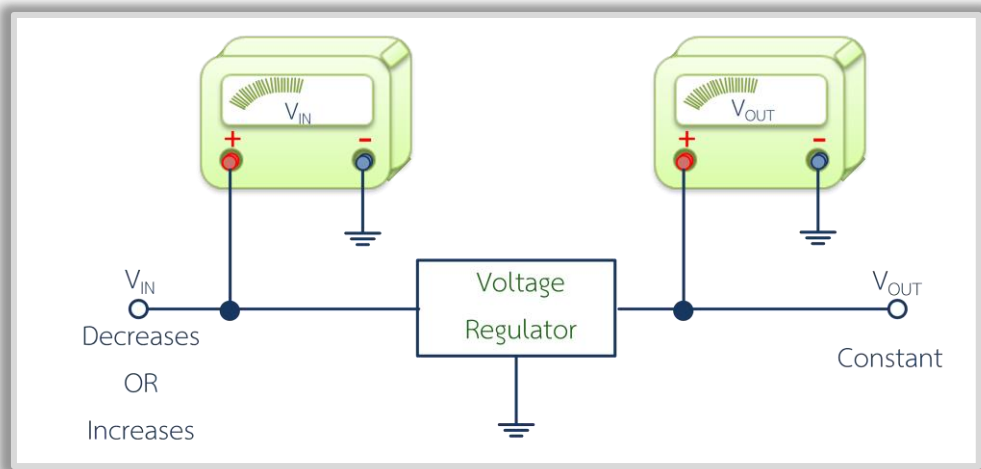


หน่วยที่ 3 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supply Circuit Design)



โดย

นายเอกนรินทร์ พลาชีวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 3

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

Power Supply Circuit Design

สาระสำคัญ

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายที่มีการใช้งานมาตั้งแต่ยุคเริ่มต้นของการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์และได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบัน เพราะมีข้อดีคือ มีราคาถูก ทนทาน ใช้งานง่ายในการออกแบบและสร้าง แต่ถ้าต้องการใช้งานให้จ่ายกระแสได้สูง ๆ ก็จะมีขนาดและน้ำหนักที่มากขึ้นตามไปด้วย

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ การรักษาระดับแรงดัน วงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันคงที่และแบบปรับค่าได้

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- อธิบายบล็อกไดอะแกรมของวงจรแหล่ง จ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างถูกต้อง
- คำนวณหาค่าแรงดันรีปเปิ้ล ($V_r(p-p)$) ของวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุได้อย่างถูกต้อง
- คำนวณหาค่า Line regulation ได้อย่างถูกต้อง
- คำนวณหาค่า Load regulation ได้อย่างถูกต้อง
- อธิบายหลักการของวงจรรักษาระดับแรงดันได้อย่างถูกต้อง
- อธิบายหลักการของวงจรป้องกันการลัดวงจรหรือวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัดได้อย่างถูกต้อง
- ออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันคงที่ได้อย่างถูกต้อง
- ออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าแรงดันได้อย่างถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหา

- แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเชิงเส้น (Linear DC Power Supply)
- วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)
- วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter circuit)
- การรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulation)

3.5 วงจรป้องกันการลัดวงจร หรือวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด (Short-Circuit Protection or Overload Protection)

3.6 แหล่งจ่ายไฟตรงแบบแรงดันคงที่ (Regulated Power Supply)

3.7 แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าแรงดันได้ (Variable Regulated Power Supply)

แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 3 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

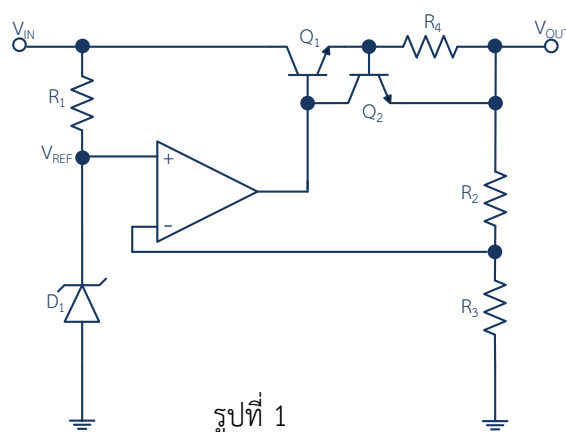
(Power Supply Circuit Design)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

-
1. วงจรใดของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันที่จ่ายออกมาเพื่อนำไปใช้งาน
 - ก. วงจร Rectifier Voltage
 - ข. วงจร Filter Voltage
 - ค. วงจร Voltage Regulator
 - ง. วงจร Voltage Fixed
 - จ. วงจร Voltage Protection
 2. วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่า $1,000\ \mu\text{F}$ ต่อกับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ขณะต่อโหลดมีกระแสไหล $200\ \text{mA}$ จงคำนวณหาค่าแรงดันริปเปิล ($V_{r(p-p)}$)
 - ก. $2\ \text{V}_{p-p}$
 - ข. $20\ \text{V}_{p-p}$
 - ค. $2\ \text{mV}_{p-p}$
 - ง. $20\ \text{mV}_{p-p}$
 - จ. $2\ \mu\text{V}_{p-p}$
 3. จงคำนวณหาค่า Line Regulation ของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำสุด $12.1\ \text{V}$ ถึงค่าสูงสุด $13.8\ \text{V}$ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่อินพุตเปลี่ยนแปลงอยู่บนช่วง $215\text{-}225\ \text{V}$
 - ก. 0.14%
 - ข. 2.4%
 - ค. 14%
 - ง. 24%
 - จ. 0.24%

4. ในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง แบบปรับค่าได้ปัจจุบันมีไอซีเบอร์ใดที่นิยมนำมาใช้
 - ก. 78XX
 - ข. 79XX
 - ค. LM555
 - ง. LM741
 - จ. LM317
5. วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานใช้หลักการใดในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่
 - ก. ใช้หลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอดที่ทำงานในซาวงเบรคดาร์วิน
 - ข. ใช้หลักการแบ่งแรงดันในวงจรของตัวต้านทาน
 - ค. ใช้หลักการแบ่งกระแสในวงจรของซีเนอร์ไดโอด
 - ง. ใช้หลักการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังอินพุต
 - จ. ใช้หลักการนำกระแสไปควบคุมแรงดัน
6. วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมใช้หลักการใดในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่
 - ก. ใช้หลักการนำกระแสไปควบคุมแรงดัน
 - ข. ใช้หลักการป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดัน
 - ค. ใช้หลักการแบ่งกระแสในวงจรด้วยไอซี
 - ง. ใช้หลักการควบคุมแรงดันด้วยไอซี
 - จ. ใช้หลักการควบคุมแรงดันด้วยซีเนอร์ไดโอด
7. จากวงจรในรูปที่ 1 อุปกรณ์ตัวใดที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไม่ให้ไหลเกินกว่าที่กำหนด



- ก. R_1 และ D_1
- ข. R_2 และ R_3
- ค. Q_1 และ R_4
- ง. Q_2 และ R_4
- จ. Q_1 และ Q_2

8. ในการออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด ถ้ากำหนดให้แรงดันอินพุตมีค่า 13-15V กระแสไหลผ่านโหลดมีค่า 50-100 mA แรงดันซีเนอร์ไดโอดมีค่า 12 V จะต้องใช้ค่า R_S ในวงจรค่าเท่าใด
- ก. 14 Ω
 - ข. 140 Ω
 - ค. 1.4 Ω
 - ง. 1.4 k Ω
 - จ. 14 k Ω
9. จงคำนวณหาค่า Load Regulation ของวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อขณะไม่ต่อโหลดมีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 15.2 V และเมื่อต่อโหลดมีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 14.8V
- ก. 0.27%
 - ข. 2.7%
 - ค. 27%
 - ง. 0.17%
 - จ. 1.7%
10. ถ้าต้องการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ให้สามารถจ่ายกระแสได้สูง ๆ ควรเลือกใช้วงจรแบบใด
- ก. แบบใช้ไอซีควบคุมแรงดันที่จ่ายกระแสได้สูง ๆ
 - ข. แบบใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อขนานกันหลาย ๆ ตัว
 - ค. แบบใช้ทรานซิสเตอร์ร่วมกับไอซีหรือซีเนอร์ไดโอดเพื่อเพิ่มกระแส
 - ง. แบบใช้มอสเฟตร่วมกับไอซี หรือซีเนอร์ไดโอดเพื่อเพิ่มกระแส
 - จ. แบบใดก็ได้เพราะจ่ายกระแสได้เหมือนกัน

หน่วยที่ 3

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

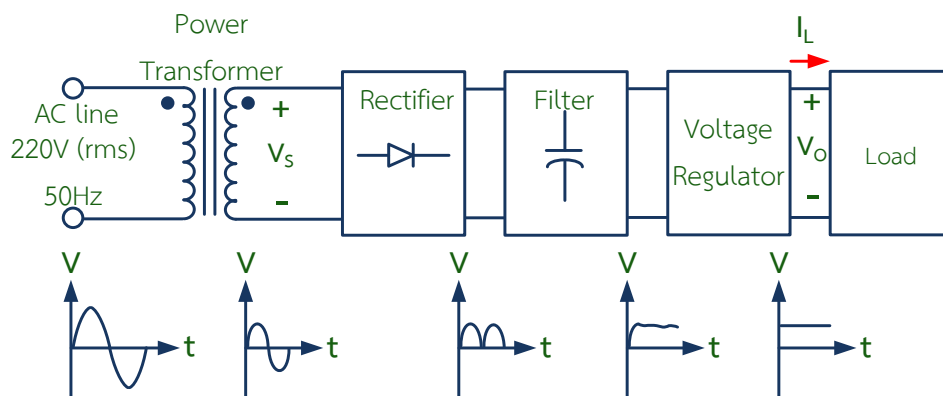
Power Supply Circuit Design

เนื้อหาสาระ

ในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบรวมกันขึ้นเป็นวงจรจะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเข้าไปในวงจรซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะใช้กำลังงานไฟฟ้าแบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เราจึงต้องมีการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจุบันแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบเชิงเส้น และแบบสวิตชิ่ง โดยในหน่วยการเรียนรู้นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะแบบเป็นเชิงเส้นเท่านั้น

3.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น

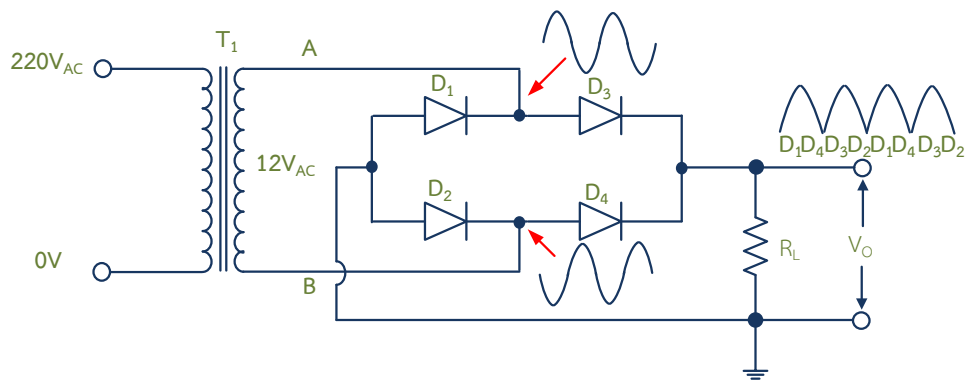
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายที่มีการใช้งานมาตั้งแต่ยุคเริ่มต้นของการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์และได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบัน เพราะมีข้อดีคือ มีราคาถูก ทนทาน ใช้งานง่ายในการออกแบบและสร้าง แต่ถ้าต้องการใช้งานให้จ่ายกระแสได้สูง ๆ ก็จะมีขนาดและน้ำหนักที่มากขึ้นตามไปด้วยตามในรูปที่ 3.1



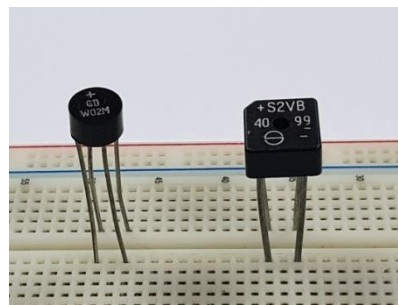
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น

3.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

จากหน่วยการเรียนรู้ที่ผ่านมา เราได้ศึกษาการทำงานและการใช้งานไดโอดมาแล้ว โดยในส่วนของวงจรเรียงกระแสที่ใช้ในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น จะใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบไปด้วยไดโอด 4 ตัว แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตออกมาอยู่ในตัวถังเดียวกัน เรียกว่า บริดจ์ไดโอด ซึ่งให้ความสะดวกในการนำมาใช้งานตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตัวถังของบริดจ์ไดโอด

ถ้ากำหนดให้ไดโอดทั้ง 4 ตัว เป็นแบบอุดมคติ แล้วป้อนสัญญาณอินพุตที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ V_m เข้ามาในวงจรการทำงานจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

- ช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก 0 ถึง $\frac{T}{2}$ 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

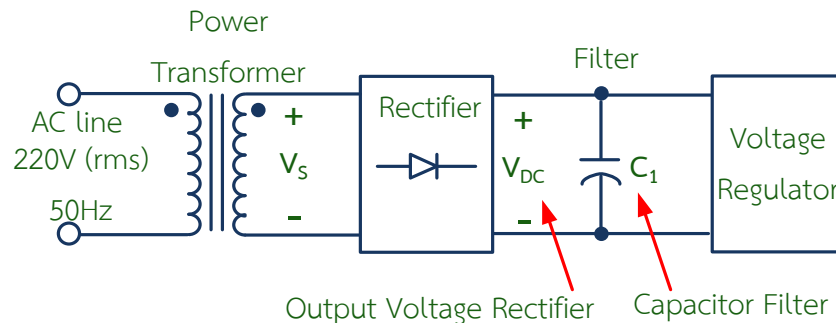
- ช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ $\frac{T}{2}$ ถึง T ไดโอด D_1 และ D_4 ทำงานเพราะได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ไดโอด D_2 และ D_3 ไม่ทำงานเพราะได้รับการไบอัสกลับ (Reverse bias) กระแสจะไหลผ่านไดโอด D_4 , R_L และ D_1 ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_L

ในการใช้งานไดโอดสำหรับทำเป็นวงจรเรียงกระแสจะต้องพิจารณา 2 อย่างคือ ค่าอัตราทนกระแสและแรงดันสูงสุด โดยการเลือกใช้งานไดโอดเบอร์ใดก็ตามควรให้มีค่าอัตราทนกระแสและแรงดันเป็น 2 เท่าของขนาดกระแสและแรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงจ่ายออกมา

3.3 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor filter circuit)

วงจรกรองคือ วงจรกรองแรงดันที่เชื่อมต่อจากเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส ซึ่งมีแรงดันเอาต์พุตเป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยมที่ไม่เรียบทำให้เรียบยิ่งขึ้นและทำให้แรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage) ลดน้อยลง ตัวเก็บประจุต้องทำหน้าที่กรองแรงดัน ให้เรียบมากที่สุด ตัวเก็บประจุจึงมีความสำคัญกับวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอย่างมาก

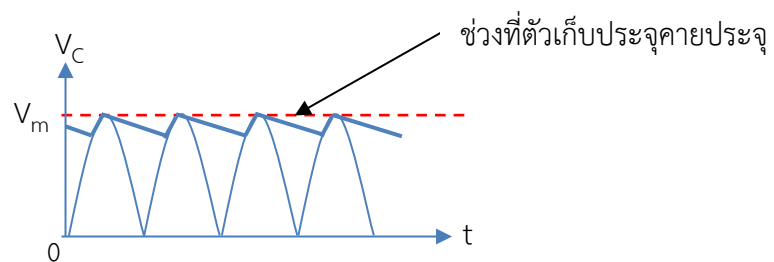
วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ เป็นวงจรกรองแรงดันที่นิยมใช้กันมากทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพราะเป็นการต่อวงจรที่ง่าย และประหยัดงบประมาณ ซึ่งลักษณะการต่อวงจรตัวเก็บประจุ คือ ต่อตัวตัวเก็บประจุ ชนิดแบบมีขั้วคร่อมที่เอาต์พุตของวงจรวงจรเรียงกระแสและต่อแรงดันเอาต์พุตคร่อมที่ตัวตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.4 การต่อตัวเก็บประจุเพื่อทำเป็นวงจรกรองแรงดัน

การทำงานของวงจร

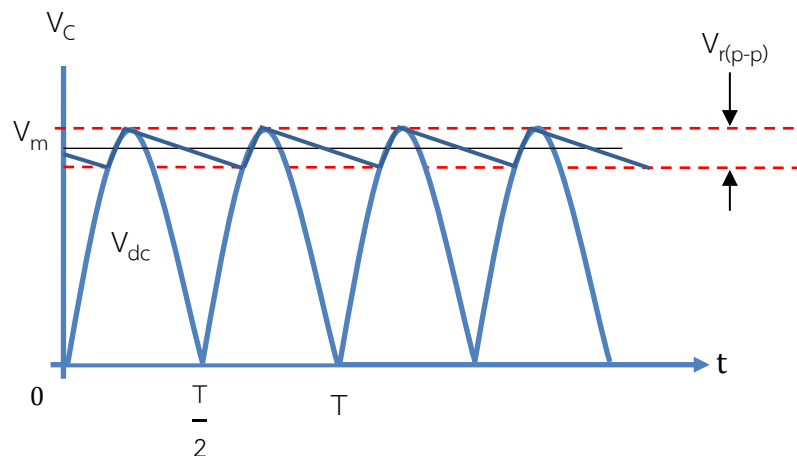
วิธีการต่อวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุจะต่อตัวเก็บประจุชนิดมีขั้วคร่อมที่เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส ซึ่งตัวเก็บประจุ C_1 ที่ต่อเข้าไปจะทำงานดังนี้ ในช่วงลูกคลื่นครึ่งไซเคิลบวกในช่วงแรกเข้ามาจะทำให้ตัวเก็บประจุ C_1 เริ่มเก็บประจุตั้งแต่สัญญาณรูปคลื่นมีแรงดันศูนย์โวลต์ถึงค่าสูงสุดของแรงดันสูงสุด (V_m) และจากช่วงที่แรงดันสูงสุด (V_m) ลดลงต่ำสุดถึงศูนย์โวลต์ ตัวเก็บประจุจะคายประจุซึ่งทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุลดต่ำลงและในช่วงครึ่งคลื่นต่อมาป้อนเข้ามาตัวเก็บประจุก็จะเก็บประจุอีกจนถึงค่าแรงดันสูงสุด (V_m) พอแรงดันลดลง ตัวเก็บประจุก็คายประจุอีกครั้งและทำซ้ำกันไปเรื่อย ๆ จะได้รูปคลื่นในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สัญญาณรูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรขณะที่ต่อตัวเก็บประจุ

ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2544. หน้า 57

เมื่อนำรูปคลื่นเอาต์พุตเวฟฟอร์มของตัวเก็บประจุในรูปที่ 3.5 มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าแรงดัน ($V_{r(rms)}$) และแรงดันดีซี (V_{dc}) สามารถวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงค่าแรงดันเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตของวงจรกรองแบบตัวเก็บประจุฟิลเตอร์
ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2544. หน้า 58

3.3.1 การหาค่าแรงดันริปเปิ้ล ($V_{r(p-p)}$)

ค่าแรงดันริปเปิ้ล ($V_{r(p-p)}$) หรือแรงดันกระเพื่อมเป็นค่าแรงดันที่เกิดจากการคายประจุของตัวเก็บประจุซึ่งค่าแรงดันริปเปิ้ล ของวงจรกรองจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่โหลดและค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรอง ถ้ากระแสโหลดถูกใช้มากจะทำให้ค่าแรงดันริปเปิ้ลมีค่ามากขึ้นสำหรับการหาค่าแรงดันริปเปิ้ลที่ความถี่ใด ๆ จะหาได้ดังนี้

$$V_{r(p-p)} = \left[\frac{I_{dc}}{F \cdot C} \right] \quad \dots 3.1$$

เมื่อ	F	คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับ	มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)
	I_{dc}	คือ กระแสไฟตรงเฉลี่ยเมื่อต่อโหลด	มีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ (mA)
	C	คือ ค่าตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองแรงดัน	มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

จากการหาค่ากระแส

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L}$$

แทนค่า I_{dc} ลงในสมการ $V_{r(p-p)}$ จะได้

$$V_{r(p-p)} = \left[\frac{V_{dc}}{R_L \cdot F \cdot C} \right] \quad \dots 3.2$$

ดังนั้น ถ้าเราทราบค่า $V_{r(p-p)}$ เราสามารถหาค่าของตัวเก็บประจุได้ดังสมการ

$$C = \left[\frac{V_{dc}}{V_{r(p-p)} \cdot R_L \cdot F} \right] \quad \dots 3.3$$

หรือ

$$C = \left[\frac{I_{dc}}{V_{r(p-p)} \cdot F} \right] \quad \dots 3.4$$

เมื่อ I_{dc} คือ กระแสไฟตรงเฉลี่ยเมื่อต่อโหลด มีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ (mA)

C คือ ค่าตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่ฟิเตอร์ มีหน่วยเป็นไมโครฟารัด (μF)

กรณีที่วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น F คือความถี่มีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz)

กรณีที่วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น F คือความถี่มีค่าเท่ากับ 100 เฮิร์ตซ์ (Hz)

3.3.2 การหาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{dc} ที่เอาต์พุตของวงจร

การคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในวงจรตัวเก็บประจุฟิเตอร์ที่ความถี่ใด ๆ ใช้สมการดังนี้

$$V_{dc} = \frac{V_m}{1 + \frac{I_{dc}}{4 \cdot F \cdot C \cdot V_m}} \quad \dots 3.5$$

สำหรับวงจร half wave

$$V_{dc} = V_m - I_{dc} \left[\frac{1}{2 \cdot F \cdot C} \right] \quad \dots 3.6$$

สำหรับวงจร full wave

$$V_{dc} = V_m - I_{dc} \left[\frac{1}{4 \cdot F \cdot C} \right] \quad \dots 3.7$$

เมื่อ V_m คือ ค่าแรงดันสูงสุดในช่วงครึ่งไซเคิล มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I_{dc} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด มีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ (mA)

F คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)

C คือ ค่าตัวเก็บประจุฟิเตอร์ มีหน่วยเป็นไมโครฟารัด (μF)

3.3.3 การหาค่าริปเปิลแฟกเตอร์ในวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ

ค่าริปเปิลหรือค่าแรงดันไฟกระเพื่อม คือ ค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงระหว่างตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เก็บและคายประจุเพื่อรักษาค่าพีค (Peak) ของแรงดันให้คงที่มากที่สุด ค่าริปเปิลน้อยแสดงว่าระบบดี ในกรณีที่ป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นความถี่ที่ออกมาจะเป็น 2 เท่า เมื่อนำเอาวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมากรองแรงดันจะได้ค่าริปเปิลน้อยกว่าแบบวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ในกรณีที่ใช้ค่าโหลดรีซิสเตอร์เท่ากัน ค่าตัวเก็บประจุเท่ากัน ค่าริปเปิลหาได้จากสมการดังนี้

สำหรับวงจร half wave

$$\text{Ripple Factor (r)} = \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot F \cdot C \cdot R_L} \quad \dots 3.8$$

สำหรับวงจร full wave

$$\text{Ripple Factor (r)} = \frac{1}{4\sqrt{3} \cdot F \cdot C \cdot R_L} \quad \dots 3.9$$

การเลือกค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ นั้นจะใช้ประมาณ 2 เท่าของขนาดแรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงจ่ายออกมา

ตัวอย่าง 3.1 จงคำนวณหาค่าแรงดันริปเปิ้ลของวงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น เมื่อตัวเก็บประจุมีค่า $470\ \mu\text{F}$ และกระแสโหลด $50\ \text{mA}$

วิธีทำ จากสมการที่ 3.1

$$V_{r(p-p)} = \left[\frac{I_{dc}}{F \cdot C} \right]$$

$$V_{r(p-p)} = \left[\frac{50\text{mA}}{100 \cdot 470\mu\text{F}} \right]$$

$$V_{r(p-p)} = 1.06\ \text{V}$$

ตอบ

ตัวอย่าง 3.2 จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรกรองแรงดัน ถ้าค่าแรงดันสูงสุดของรูปคลื่นที่ได้จากวงจรเรียงกระแสในตัวอย่างที่ 3.1 มีค่าเท่ากับ $100\ \text{V}$

วิธีทำ จากสมการที่ 3.7

$$V_{dc} = V_m - I_{dc} \left[\frac{1}{4 \cdot F \cdot C} \right]$$

$$V_{dc} = 100\text{V} - 50\text{mA} \left[\frac{1}{4 \cdot 50\text{Hz} \cdot 470\mu\text{F}} \right]$$

$$V_{dc} = 100\text{V} - \frac{1}{0.094}$$

$$V_{dc} = 100\text{V} - 10.63$$

$$V_{dc} = 89.37\ \text{V}$$

ตอบ

ตัวอย่าง 3.3 วงจรกรองแรงดันชนิดใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุเท่ากับ $47\ \mu\text{F}$ กำหนดให้กระแสโหลดเท่ากับ $30\ \text{mA}$ ถ้าค่าแรงดันสูงสุดของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นมีค่าเท่ากับ $150\ \text{V}$ จงคำนวณหา

ก) $V_{r(p-p)}$

ข) V_{dc}

ค) $\%r$ เมื่อ $R_L = 5\ \text{k}\Omega$

วิธีทำ ก) หาค่า $V_{r(p-p)}$ จากสมการที่ 3.1

$$V_{r(p-p)} = \left[\frac{I_{dc}}{F \cdot C} \right]$$

$$V_{r(p-p)} = \left[\frac{30\text{mA}}{50\text{Hz} \cdot 47\mu\text{F}} \right]$$

$$V_{r(p-p)} = 12.76\ \text{V}$$

ตอบ

ข) หาค่า V_{dc} จากสมการที่ 3.6

$$\begin{aligned} V_{dc} &= V_m - I_{dc} \left[\frac{1}{2 \cdot F \cdot C} \right] \\ V_{dc} &= 150 - 30\text{mA} \left[\frac{1}{2 \cdot 50\text{Hz} \cdot 47\mu\text{F}} \right] \\ V_{dc} &= 150 - 6.38 \\ V_{dc} &= 143.62 \end{aligned}$$

ตอบ

ค) หาค่า %r จากสมการที่ 3.8

$$\begin{aligned} \text{Ripple Factor (r)} &= \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot F \cdot C \cdot R_L} \\ \text{Ripple Factor (r)} &= \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot 50\text{Hz} \cdot 47\mu\text{F} \cdot 5 \text{ k}\Omega} \\ \%r &= \frac{1}{40.70} \times 100 \\ \%r &= 2.45 \end{aligned}$$

ตอบ

3.4 การรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation)

วงจรรักษาระดับแรงดันหมายถึง วงจรที่มีแรงดันเอาต์พุตคงที่ตลอดเวลาไม่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลง แรงดันอินพุต โหลดที่ต่ออยู่กับวงจรหรืออุณหภูมิการทำงาน แต่ในความเป็นจริงแล้ว เมื่อค่าต่าง ๆ เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในส่วนของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดันเอาต์พุตในวงจรที่มีการรักษาระดับแรงดัน ดังนั้นวงจรรักษาระดับแรงดันจึงมีการทำงาน 2 ลักษณะดังนี้

3.4.1 การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line voltage regulation)

3.4.2 การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (Load voltage regulation)

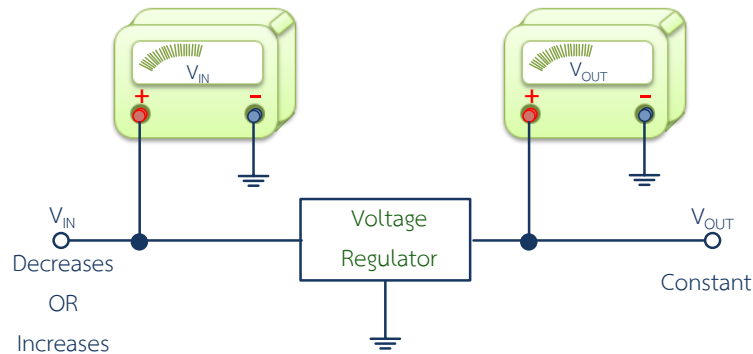
3.4.1 การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line regulation)

การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง (Line voltage regulation) หมายถึง ขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ก่อนเข้าหม้อแปลง ถ้าวงจรมีการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ ก็จะทำให้แรงดันที่จ่ายออกมาที่เอาต์พุตคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงได้ไม่มากตามรูปที่ 3.7

การรักษาระดับแรงดันขณะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงจะแสดงเป็นอัตราส่วนหรือเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยหาค่าได้จากค่าผลต่างของแรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันอินพุตสูงสุดและต่ำสุด เทียบกับแรงดันเอาต์พุตในขณะที่แรงดันอินพุตต่ำสุดดังแสดงในสมการ

$$\text{Line Voltage regulation} = \frac{V_O(V_{in\text{สูงสุด}}) - V_O(V_{in\text{ต่ำสุด}})}{V_O(V_{in\text{ต่ำสุด}})} \quad \dots 3.10$$

โดยทั่วไปนิยมแสดงค่า Line voltage regulation เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ซึ่งเราสามารถหาได้จากการนำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.10 ไปคูณด้วย 100 นั่นเอง



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมวงจรรักษาระดับแรงดัน

ตัวอย่างที่ 3.4 จงคำนวณหาค่า Line voltage regulation ของวงจรที่มีแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำสุด 11.8 V ถึงค่าสูงสุด 13.5 V เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่อินพุตเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 210 – 222 V

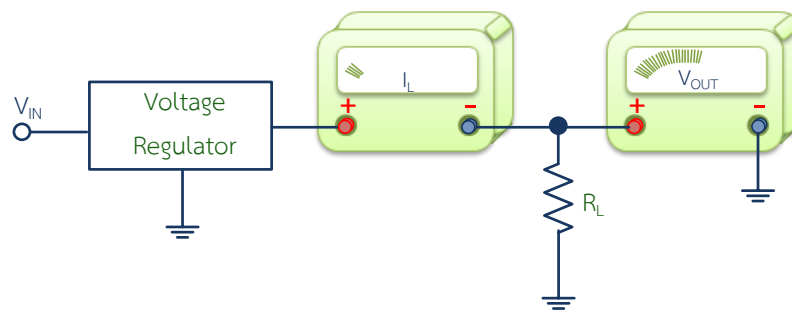
วิธีทำ จากสมการ 3.10

$$\begin{aligned} \text{Line Voltage regulation} &= \frac{V_O(V_{in\text{สูงสุด}}) - V_O(V_{in\text{ต่ำสุด}})}{V_O(V_{in\text{ต่ำสุด}})} \\ &= \frac{13.5 \text{ V} - 11.8 \text{ V}}{11.8 \text{ V}} \times 100 \\ &= 14.40 \% \end{aligned}$$

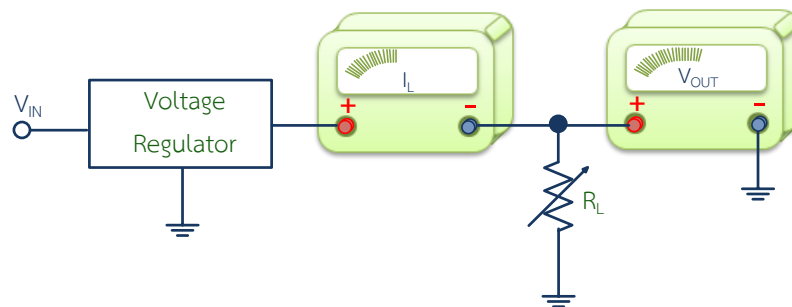
ตอบ

3.4.2 การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง (Load voltage regulation)

การรักษาระดับแรงดันขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง หมายถึง เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันด้วยวิธีการจ่ายกระแสเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ รูปที่ 3.8 (ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันขณะต่อตัวต้านทานเอาต์พุตซึ่งมีกระแสไหลค่าหนึ่งและเกิดแรงดันเอาต์พุต รูปที่ 3.8 (ข) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันขณะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นหรือลดลง วงจร จะมีกระแสไหลไปยังโหลดเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่



(ก) โหลดไม่เปลี่ยนแปลงค่า



(ข) โหลดเปลี่ยนแปลงค่า

รูปที่ 3.8 วงจรรักษาระดับแรงดัน

การหาค่า Load Voltage regulation สามารถทำได้จากผลต่างของแรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีต่อโหลด (V_{NL}) และในขณะโหลดมีกระแสไหลสูงสุด (V_{FL}) เทียบกับแรงดันเอาต์พุตขณะที่โหลดมีกระแสไหลสูงสุด (V_{FL}) โดยสามารถแสดงได้ด้วยค่าที่เป็นรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 3.11

$$\text{Load Voltage regulation} = \frac{(V_{NL}) - (V_{FL})}{(V_{FL})} \times 100\% \quad \dots 3.11$$

ตัวอย่างที่ 3.5 ถ้าต้องการรักษาระดับแรงดันที่โหลดเท่ากับ 15 V ขณะที่ไม่มีโหลด ($I_L = 0$) เมื่อต่อโหลดจะมีกระแสไหล 20 mA แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 14.8 V จงหาค่าการรักษาระดับแรงดันที่บอกเป็นเปอร์เซ็นต์จากขณะไม่ต่อโหลดไปยังโหลดมีกระแสไหลผ่านสูงสุดและเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

วิธีทำ ขณะที่ยังไม่ต่อโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{NL} = 15 \text{ V}$$

ขณะที่วงจรต่อโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{FL} = 14.8 \text{ V}$$

ค่าการรักษาระดับแรงดันที่โหลดจากไม่ต่อโหลดไปถึงมีโหลดเต็มที่เท่ากับ

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

$$= \frac{15 \text{ V} - 14.8 \text{ V}}{14.8 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 1.35 \%$$

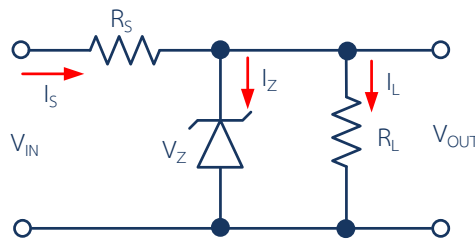
ตอบ

3.4.3 ชนิดของวงจรรักษาระดับแรงดัน

วงจรรักษาระดับแรงดัน สามารถแบ่งออกได้เป็นตามลักษณะของการควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ 2 ชนิด คือ วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนาน (Shunt Regulator) และวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม (Series Regulator)

3.4.3.1 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนาน (Shunt Regulator)

วงจรแบบนี้อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันจะต่อขนานอยู่กับโหลด อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรนี้ได้แก่ ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) เนื่องจากคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดเมื่อให้แรงดันไบอัสกลับจนถึงค่าเบรคดาวน์แล้วแรงดันตกคร่อมตัวมันจะค่อนข้างคงที่ ลักษณะการต่อวงจรใช้งานซีเนอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 3.9

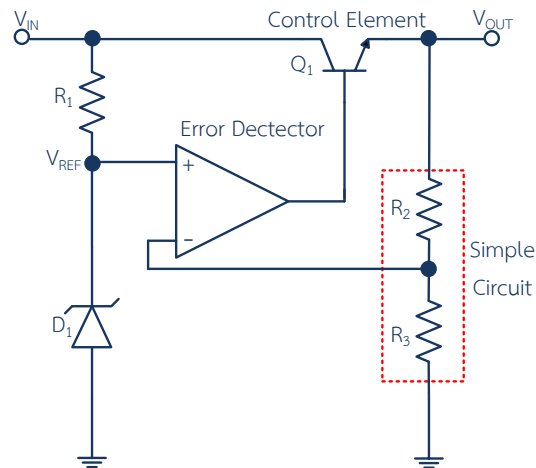


รูปที่ 3.9 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนาน

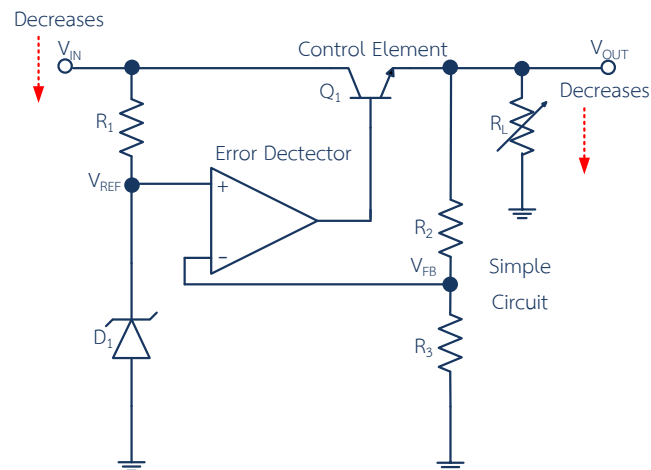
จากรูปเป็นการใช้ซีเนอร์ไดโอดทำเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator) อย่างง่าย โดยใช้ค่า V_Z ของซีเนอร์ไดโอด ซึ่งมีค่าคงที่เป็นตัวกำหนดแรงดัน V_O ส่วนค่า R_S ควรเลือกให้เป็นค่าที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเองอยู่ระหว่างค่า V_{IN} และ V_Z เมื่อค่า $I_S = I_Z + I_L$ ดังนั้นเมื่อ I_L มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ I_Z ลดลง หรือเมื่อ I_L มีค่าลดลง I_Z จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงเบรคดาวน์ของซีเนอร์ไดโอดจะให้ค่าแรงดัน V_Z คงที่ตลอดเวลาไม่ขึ้นอยู่กับ V_{IN} และ I_L เราจึงใช้ซีเนอร์ไดโอด เป็นวงจร Voltage Regulator ได้

3.4.3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม (Series Regulator)

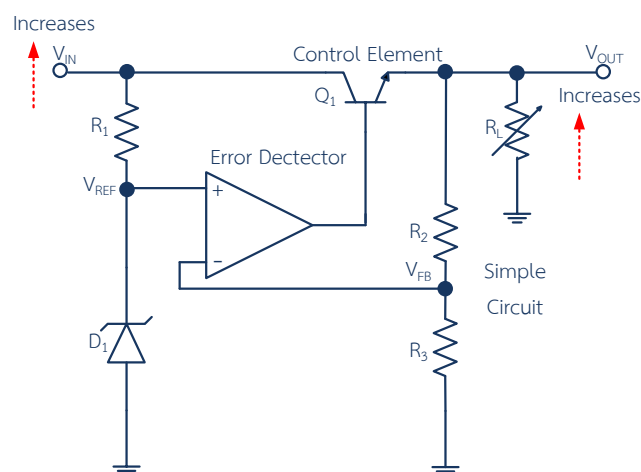
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม ซึ่งวงจรประกอบด้วย ตัวต้านทาน R_1 และซีเนอร์ไดโอด D_1 ต่อเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันอ้างอิงที่ป้อนแรงดันเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ ซึ่งออปแอมป์ทำหน้าที่ตรวจจับค่าความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุต ตัวต้านทาน R_3 และ R_4 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันเอาต์พุตเพื่อป้อนเข้าขาลบของออปแอมป์และทรานซิสเตอร์ Q_1 ที่ต่ออนุกรมระหว่างอินพุตและเอาต์พุตซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมจะอาศัยหลักการทำงานลักษณะการป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับ แรงดันเอาต์พุตให้คงตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

(ก) ขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตลดลง (ข) ขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตเพิ่มขึ้น

รูปที่ 3.11 (ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตลดลงซึ่งหลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแรงดันเอาต์พุตลดลงเนื่องจากแรงดันอินพุต ลดลงหรือเกิดจากการต่อโหลดแล้วทำให้แรงดันเอาต์พุตลดลง แรงดันเอาต์พุตจะถูกแบ่งแรงดันซึ่งเป็น แรงดันป้อนกลับมีค่าเท่ากับ V_{FB} และถูกป้อนกลับเข้าที่ขาลบของออปแอมป์มีค่าน้อยกว่าแรงดันซีเนอร์ ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง V_{REF} ที่ขาบวกของออปแอมป์ แรงดันผลต่างระหว่างแรงดัน V_{REF} กับแรงดัน V_{FB} จะถูกขยายโดยออปแอมป์ แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ V_B มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันที่ขาอีมิเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแรงดันที่ถูกป้อนกลับ V_{FB} มีค่าเท่ากับแรงดัน V_{REF} ซึ่งวงจรจะทำงานในลักษณะป้อนกลับแบบลบ ทรานซิสเตอร์ Q_1 ของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมจะมีความร้อนสูงมาก ดังนั้น ทรานซิสเตอร์ Q_1 จำเป็นต้องติดฮีตซิงก์ เพื่อระบายความร้อน

รูปที่ 3.11 (ข) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมขณะที่แรงดันอินพุตหรือเอาต์พุตเพิ่มขึ้น หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันอินพุต เพิ่มขึ้นหรือเกิดจากการต่อโหลดแล้วทำให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับเป็น แรงดัน V_{FB} มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง V_{REF} แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ จะมีค่าลดลง ส่งผลให้แรงดัน ที่ขาอีมิเตอร์ ลดลงจนกระทั่งแรงดัน V_{FB} มีค่าเท่ากับแรงดัน V_{REF} ด้วยลักษณะการป้อนกลับแบบลบจะ ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่ ซึ่งอัตราขยายลูปปิดของวงจรมีค่าเท่ากับ

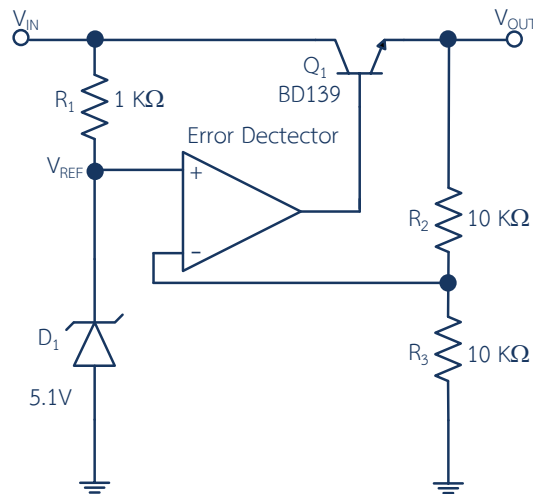
$$A_{cl} = 1 + \frac{R_2}{R_3} \quad \dots 3.12$$

ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตจากวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม ซึ่งไม่พิจารณาแรงดัน V_{BE} ของ Q_1 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$V_{OUT} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \cdot V_{REF} \quad \dots 3.13$$

เราสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับแรงดันซีเนอร์ไดโอดและตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ซึ่งแรงดันเอาต์พุตไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต

ตัวอย่างที่ 3.6 จงหาแรงดันเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดันในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม

วิธีทำ แรงดันซีเนอไรต์ไดโอด ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง $V_{REF} = 5.1 \text{ V}$ แรงดันเอาต์พุตเท่ากับเท่าไร จากสมการที่ 3.12

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

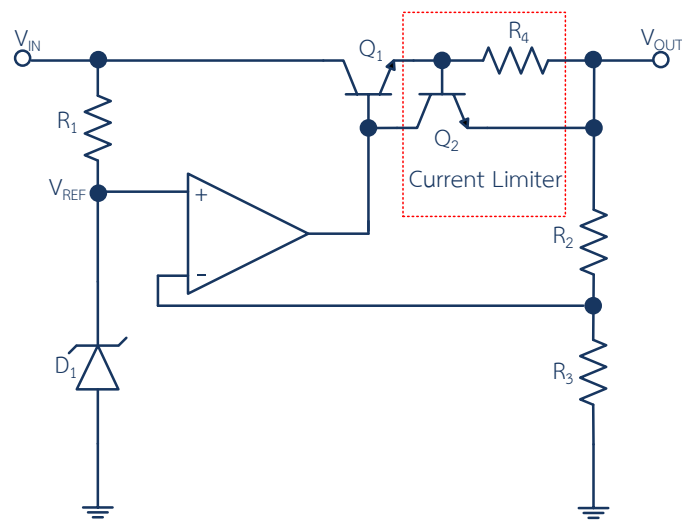
$$V_{OUT} \cong \left(1 + \frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega}\right) \cdot 5.1\text{V}$$

$$V_{OUT} = 10.2 \text{ V}$$

ตอบ

3.5 วงจรป้องกันการลัดวงจรหรือวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด (Short - Circuit protection or Overload Protection)

การนำวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานหรือวงจรรักษาระดับแรงดันไปใช้งาน หากวงจรถูกต่อกับโหลดที่มีค่าความต้านทานต่ำหรือโหลดต้องการกระแสสูงมากกว่าที่ออกแบบไว้ วงจรอาจเกิดการพังเสียหายได้ ดังนั้นวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานจำเป็นต้องถูกออกแบบให้ป้องกันการจ่ายกระแสเกินกว่าที่ออกแบบไว้หรือป้องกันการลัดวงจรตามรูปที่ 3.13 แสดงวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานหรือวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีการต่อวงจรป้องกันการลัดวงจร หรือวงจรกำหนดกระแส (Constant-current limiting) เพิ่มเข้าไประหว่างขาอีมิเตอร์และเอาต์พุต วงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q_2 และตัวต้านทาน R_4

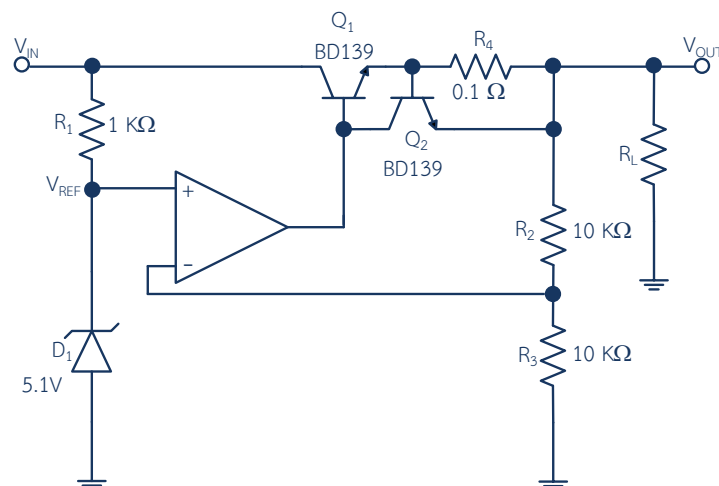


รูปที่ 3.13 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมที่เพิ่มวงจรป้องกันกระแสเกิน

หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อกระแสไหลผ่าน R_4 จะเกิดแรงดันที่ตกคร่อม R_4 หรือแรงดัน V_{BE2} ที่ทรานซิสเตอร์ Q_2 เมื่อกระแสไหลมากขึ้นจนถึงค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด แรงดันที่ตกคร่อม R_4 ที่มากพอทำให้เกิดการฟอร์เวิร์ดไบอัสให้กับรอยต่อขาเบสกับอิมิตเตอร์ของ Q_2 ทรานซิสเตอร์ Q_2 เริ่มนำกระแส ออปแอมป์จะจ่ายกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 ขณะเดียวกันกระแส I_B ที่ไหล เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 จะลดลง ส่งผลให้กระแสเอาต์พุตที่ไหลผ่าน Q_1 เพื่อจ่ายให้โหลดลดลง เนื่องจากแรงดัน V_{BE} ที่ทรานซิสเตอร์ Q_2 ไม่เท่ากับ 0.7 V กระแสที่ไหลผ่านโหลดมากขึ้นจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_4 เพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่านโหลดสูงสุดเท่ากับ

$$I_{L(\max)} = \frac{0.7\text{ V}}{R_4} \quad \dots 3.14$$

ตัวอย่างที่ 3.7 จากรูปที่ 3.14 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีวงจรป้องกันการลัดลงกราวด์ ให้หาค่ากระแสเอาต์พุตที่ไหลสูงสุดที่สามารถจ่ายให้โหลดได้



รูปที่ 3.14 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมที่เพิ่มวงจรป้องกันกระแสเกิน

วิธีทำ จากสมการ 3.14

กระแสที่ไหลผ่าน R_4 มีค่าเท่ากับ

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

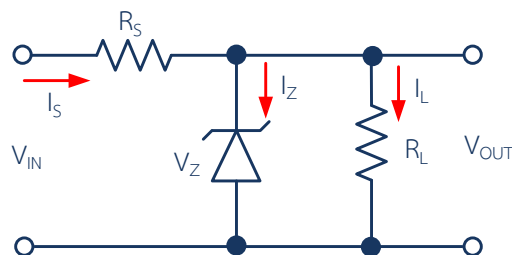
ตอบ

3.6 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันคงที่

3.6.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันคงที่ซึ่งใช้วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันคงที่แบบง่ายที่สุดคือการใช้วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอดแต่ในการใช้งานและออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงเงื่อนไข 3 ข้อ ที่จะทำให้ซีเนอร์ไดโอดทำงานรักษาระดับแรงดันได้ในสภาวะปกติ คือ

1. ต้องมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดอย่างน้อยเท่ากับกระแสซีเนอร์ไดโอดต่ำสุด ($I_{Z(\min)}$) เพื่อให้ซีเนอร์ไดโอดยังคงทำงานได้ในช่วงเบรกดาวน์ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1-10 mA
2. กระแสที่ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจะต้องไม่มากกว่าค่ากระแสซีเนอร์ไดโอดสูงสุด ($I_{Z(\max)}$) โดยเฉพาะเมื่อไม่ได้ต่อโหลดเพราะจะทำให้ซีเนอร์ไดโอดเสียหาย
3. แรงดันอินพุต (V_{in}) จะต้องมีค่ามากกว่าแรงดัน V_Z ของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 3.15 วงจรซีเนอร์ไดโอดทำเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนาน

จากวงจรเราได้สมการดังนี้

$$R_S = \frac{V_{in(\min)} - V_Z}{I_{Z(\min)} + I_{L(\max)}} \quad \dots 3.15$$

$$I_Z = \frac{V_S - V_Z}{R_S} - I_L \quad \dots 3.16$$

$$I_S = I_L + I_Z \quad \dots 3.17$$

ในการออกแบบสิ่งที่ต้องทราบคือกระแสที่ไหลผ่านโหลดสูงสุด ($I_{L(max)}$) มีค่าเท่าไร และช่วงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุต (V_{in}) จากสมการที่ 3.17 ถ้าโหลดมีกระแสไหลผ่านสูงสุด ($I_{L(max)}$) จะทำให้ค่ากระแส I_Z มีค่าลดลง แต่จะต้องไม่เท่ากับศูนย์เพราะจะทำให้ซีเนอร์ไดโอดมีค่า V_Z ไม่คงที่ ดังนั้นในการออกแบบเราจึงกำหนดให้ค่า

$$I_{Z(min)} = 10\% \text{ ของ } I_{Z(max)} \quad \dots 3.18$$

เพื่อนำมาหาค่า R_S ที่ใช้ในวงจรเพื่อให้ซีเนอร์ไดโอดทำงานรักษาระดับแรงดันได้จากสมการ

$$R_S = \frac{V_{RS}}{I_{RS}}$$

$$R_S = \frac{V_{in(min)} - V_Z}{I_{L(max)} + I_{Z(min)}}$$

ตัวอย่างที่ 3.8 จงออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด กำหนดให้แรงดันอินพุตมีค่า 14-20 V กระแสที่ไหลผ่านโหลดมีค่า 100-200 mA แรงดันซีเนอร์ไดโอดมีค่า 10 V

วิธีทำ จากสมการ 3.18 หาค่า

$$I_{Z(min)} = \frac{200 \text{ mA} \times 10}{100} = 20 \text{ mA}$$

จากสูตร R_S

$$R_S = \frac{V_{in(min)} - V_Z}{I_{Z(min)} + I_{L(max)}}$$

$$= \frac{14V - 10V}{20 \text{ mA} + 200 \text{ mA}}$$

$$= 0.018 \text{ k}\Omega$$

$$= 0.018 \text{ k}\Omega \times 1,000 \Omega$$

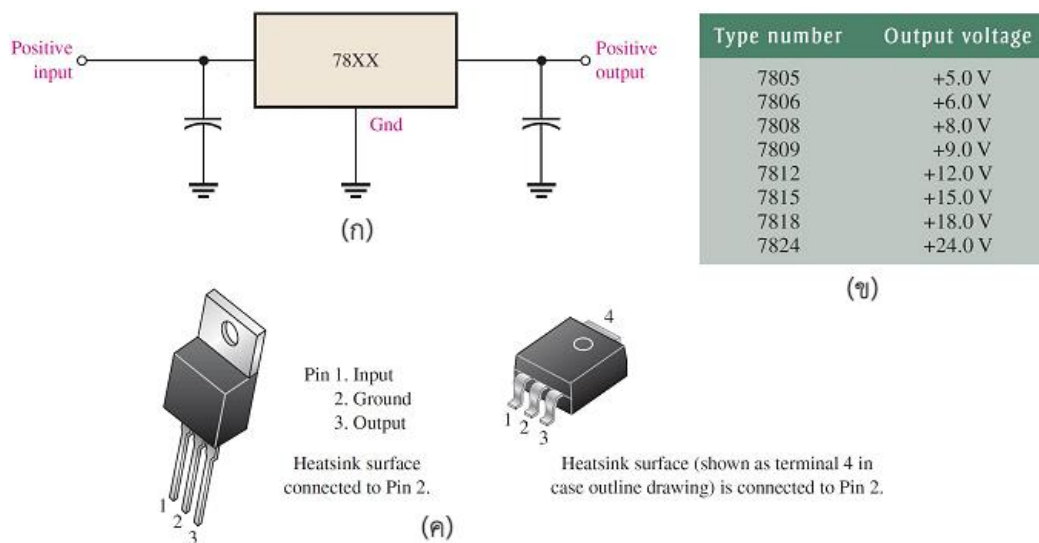
$$= 18.18 \Omega$$

ในการใช้งานจริงควรใช้ค่า 18 Ω

ตอบ

ข้อเสียของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด คือวงจรจะสิ้นเปลืองพลังงาน กล่าวคือ แม้จะไม่มีโหลดแต่ซีเนอร์ไดโอดซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันก็ยังมีการสูญเสียพลังงานภายในตัวเอง จากกระแสที่ไหลผ่าน และการจ่ายกระแสให้กับโหลดจะมีค่าสูงสุดได้ไม่เกินค่ากระแสสูงสุดซีเนอร์ไดโอด ($I_{Z(max)}$)

3.6.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบแรงดันคงที่ซึ่งใช้วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี



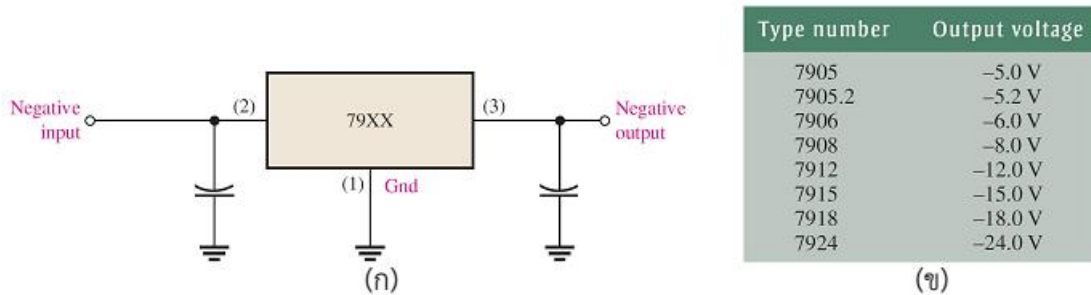
รูปที่ 3.16 ไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวกคงที่แบบ 3 ขา เบอร์ 78xx (ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดัน

เชิงเส้นไฟบวก (ข) แสดงไอซีเบอร์ต่าง ๆ และค่าแรงดันเอาต์พุต (ค) แสดงลักษณะของไอซี

ที่มา : Thomas L. Floyd. **Electronic Devices**, Eighth Edition: New York. Pearson Education.

ไอซีตระกูล 78xx คือไอซีที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟบวกให้คงที่ (Positive Voltage Power Supply) ซึ่งไอซีตระกูล 78xx จะมี 3 ขา ประกอบด้วย ขาอินพุต ขากราวด์ และขาเอาต์พุต รูปที่ 3.16 (ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันเชิงเส้นไฟบวกที่ใช้ไอซี 78xx โดยที่ 2 ตัวเลขท้ายของไอซี 78xx จะบอกค่าแรงดันเอาต์พุต ตัวอย่างเช่น 7805 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ +5 V แรงดันเอาต์พุตของไอซีรักษาระดับแรงดันมีความผิดพลาด $\pm 4\%$ ของแรงดันเอาต์พุตปกติ เช่น ไอซี 7805 จะมีแรงดันเอาต์พุตตั้งแต่ 4.8 V ถึง 5.2 V แต่ยังคงรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในย่านนั้นได้ ตารางในรูปที่ 3.16 (ข) แสดงไอซีเบอร์ต่าง ๆ และค่าแรงดันเอาต์พุตของไอซี รูปที่ 3.16 (ค) แสดงลักษณะของไอซี ซึ่งขาที่ 1 คือขาอินพุตขาที่ 2 คือขากราวด์ และขาที่ 3 คือขาเอาต์พุต วงจรรักษาระดับแรงดันประกอบด้วยไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวกคงที่แบบ 3 ขา เบอร์ 78xx และตัวเก็บประจุ ซึ่งตัวเก็บประจุภาคอินพุตและเอาต์พุตมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองสัญญาณเอซีแบบเต็มคลื่นหรือครึ่งคลื่นให้เป็นแรงดันดีซีและกรองสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ไอซีตระกูล 78xx สามารถจ่ายกระแสได้ 1 A ซึ่งการใช้งานไอซีต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อนเพื่อให้วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันได้ แรงดันอินพุตจะต้องมากกว่าแรงดันเอาต์พุตประมาณ 2.5 V วงจรภายในไอซีจะต้องมีการป้องกันเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไปและจำกัดกระแสลัดวงจร การที่อุณหภูมิจะสูงมากขึ้นได้นั้น เกิดจากกำลังสูญเสียภายในมีมากขึ้นเกินกว่าที่ออกแบบและอุณหภูมิของอุปกรณ์เกินกว่าค่าที่ออกแบบไว้เช่นกัน การประยุกต์ใช้งานไอซีรักษาระดับแรงดันส่วนมากจะต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเกิน

ไอซีตระกูล 79xx คือไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขา ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตไฟลบคงที่ (Negative Voltage Power Supply) ไอซีตระกูลนี้จะกลับด้านกับไอซีตระกูล 78xx และลักษณะการวางขาของอุปกรณ์จะแตกต่างจากไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวก รูปที่ 3.17 แสดงคุณลักษณะมาตรฐานและหมายเลขอุปกรณ์ที่สัมพันธ์กับแรงดันเอาต์พุตแต่ละค่า



รูปที่ 3.17 ไอซีรักษาระดับแรงดันไฟลบคงที่แบบ 3 ขา เบอร์ 79xx

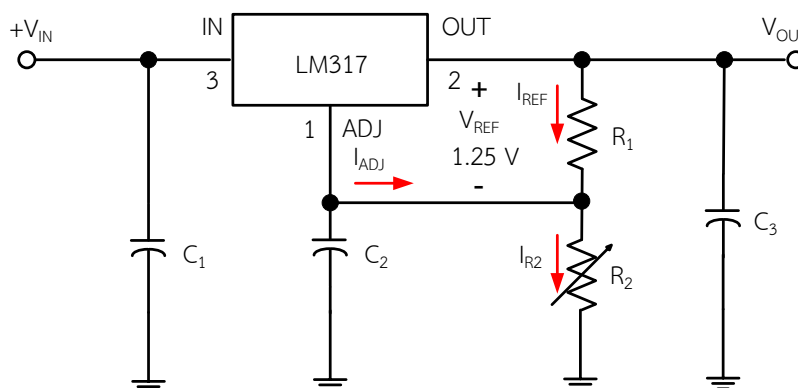
(ก) แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันเชิงเส้นไฟบวก (ข) แสดงไอซีเบอร์ต่าง ๆ และค่าแรงดันเอาต์พุต

ที่มา : Thomas L. Floyd. **Electronic Devices**, Eighth Edition: New York. Pearson Education.

3.7 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าแรงดันได้

3.7.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าแรงดันไฟบวก

ไอซีเบอร์ LM317 คือไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวก ที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ (Variable Positive Supply Voltage) ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานเนื่องจากวงจรใช้อุปกรณ์ไม่มากจึงง่ายในการออกแบบและการสร้าง ไอซี LM317 มี 3 ขา ประกอบด้วย ขาอินพุต ขาเอาต์พุต และขาปรับแรงดัน รูปที่ 3.18 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันไฟบวกที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ ประกอบด้วย ไอซี LM317 ตัวเก็บประจุ อินพุต เอาต์พุต และต่อระหว่างขาปรับแรงดันกับกราวด์ และตัวต้านทานมีค่าคงที่ที่อนุกรมกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันเอาต์พุตของวงจร ซึ่งไอซี LM317 จะมีขาปรับแรงดันซึ่งไม่ได้ต่อลงกราวด์ ขาปรับแรงดันจะถูกต้องกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ R2 เอาต์พุตของวงจรสามารถถูกปรับให้มีค่าแรงดัน 1.2 V ถึง 37 V ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ ไอซี LM317 สามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้สูงสุดเท่ากับ 1.5 A



รูปที่ 3.18 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับแรงดันไฟบวกได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317

การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับแรงดันได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317 อธิบายได้ดังนี้ แรงดันที่ตกคร่อม R_1 คือแรงดันอ้างอิง V_{REF} มีค่าเท่ากับ 1.25 V ซึ่งเป็นแรงดันผลต่างคงที่ระหว่าง แรงดันเอาต์พุตกับแรงดันที่ขาปรับค่ากระแส I_{REF} ไหลผ่าน R_1 และ R_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1} \quad \dots 3.19$$

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

กระแส I_{ADJ} ที่ไหลในขา 1 ของไอซี LM317 มีค่าประมาณ 50 μA ซึ่งไหลผ่าน R_2 สมการความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$V_{OUT} = V_{R1} + V_{R2}$$

$$= I_{REF}R_1 + I_{REF}R_2 + I_{ADJ}R_2$$

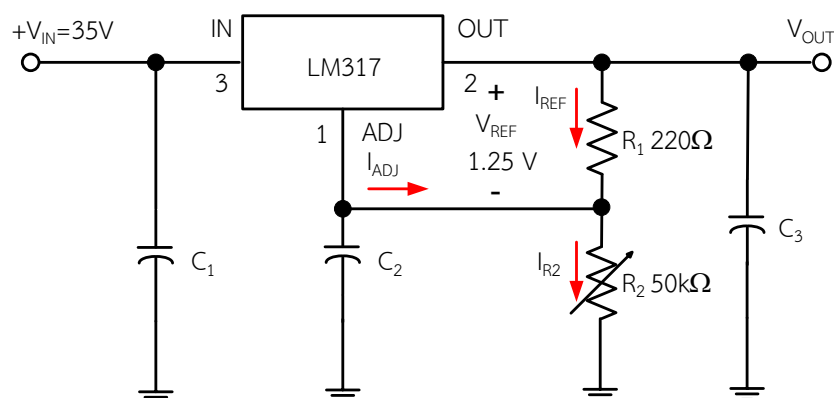
$$= I_{REF} \times (R_1 + R_2) + I_{ADJ}R_2 \quad \dots 3.20$$

สมการ 3.18 แทนลงในสมการ $V_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R_1} \times (R_1 + R_2) + I_{ADJ}R_2$

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}R_2 \quad \dots 3.21$$

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันกับ R_1 และ R_2 ดังนั้นเราสามารถกำหนดค่า R_1 ให้คงที่ และปรับค่า R_2

ตัวอย่างที่ 3.9 จงคำนวณหาค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด และต่ำสุดของวงจรในรูปที่ 3.19 เมื่อกำหนดให้ $I_{ADJ} = 50 \mu\text{A}$



รูปที่ 3.19 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันไฟบวกได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317

วิธีทำ แรงดันอ้างอิง V_{REF} เท่ากับ $V_{R1} = V_{REF} = 1.25 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ 3.21} \quad V_{OUT(min)} &= V_{REF} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}R_2 \\ &= 1.25 \text{ V} \times \left(1 + \frac{0}{220\Omega}\right) \\ &= 1.25 \text{ V} \end{aligned}$$

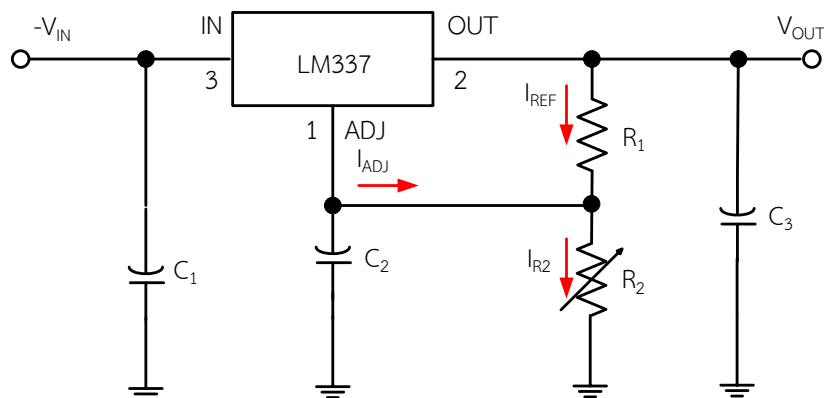
ตอบ

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } R_2 = 5 \text{ k}\Omega \quad V_{OUT(max)} &= V_{REF} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}R_2 \\ &= 1.25 \text{ V} \times \left(1 + \frac{5 \text{ k}\Omega}{220 \Omega}\right) \\ &= 29.9 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

3.7.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าแรงดันโวลต์

ไอซีเบอร์ LM337 คือไอซีรักษาระดับแรงดันโวลต์ที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ (Variable Negative Supply Voltage) ซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับไอซี LM317 และหลักการทำงานของวงจรเหมือนกับไอซี LM317 รูปที่ 3.20 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันโวลต์ที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ ประกอบด้วยไอซี LM337 ตัวเก็บประจุอินพุต เอาต์พุตและต่อระหว่างขาปรับแรงดันกับกราวด์และ ตัวต้านทานมีค่าคงที่ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันเอาต์พุตของวงจร ซึ่ง ไอซี LM337 จะมีขาปรับแรงดันซึ่งไม่ได้ต่อลงกราวด์ ขาปรับแรงดันจะถูกต่อกับตัวต้านทานแบบปรับ ค่าได้ R_2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรสามารถถูกปรับให้มีค่าแรงดัน -1.2 V ถึง -37 V ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ ตัวเก็บประจุที่ต่อเพิ่มเข้าไปจะไม่มีผลต่อการทำงานของไอซี



รูปที่ 3.20 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันโวลต์ได้ด้วยไอซีเบอร์ LM337



วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดบริดจ์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มีลักษณะเต็มคลื่น ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองแรงดันให้คงที่ ทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน และกระแสไฟฟ้า และออปแอมป์ทำหน้าที่ควบคุมทรานซิสเตอร์ ให้จ่ายแรงดัน เอาต์พุตตามที่ต้องการไว้ คุณลักษณะของวงจร วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้นที่สำคัญคือ Line regulation และ Load regulation การป้องกันการลัดวงจร สามารถทำได้ด้วยการต่อทรานซิสเตอร์ เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับ และป้องกันการลัดวงจร การออกแบบให้วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสามารถจ่ายกระแสได้มากกว่าความสามารถ ของไอซี กระทำได้โดยต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้าไปในวงจรเพื่อทำหน้าที่จ่ายกระแสจำนวนมากแทนไอซี

3. กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรต้องมีค่าเท่ากับ 20 V ขณะที่แรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.5 V และแรงดันเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.2 V ให้หาเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. วงจรรักษาระดับแรงดันขณะไม่มีโหลด แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 18 V และขณะมีโหลดเต็มที่ แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 17.8 V และกระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดเท่ากับ 50 mA ให้หาการรักษาระดับ แรงดันที่บอกเป็นร้อยละจากไม่มีโหลดไปยังมีโหลดเต็มที่ และร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 3 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

(Power Supply Circuit Design)

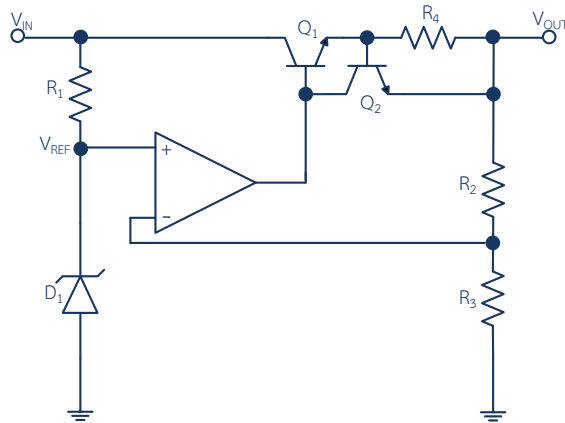
คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

1. วงจรใดของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันที่จ่ายออกมาเพื่อนำไปใช้งาน
 - ก. วงจร Voltage Fixed
 - ข. วงจร Filter Voltage
 - ค. วงจร Rectifier Voltage
 - ง. วงจร Voltage Regulator
 - จ. วงจร Voltage Protection
2. วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่า $1,000\ \mu\text{F}$ ต่อกับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ขณะต่อโหลดมีกระแสไหล $200\ \text{mA}$ จงคำนวณหาค่าแรงดันริปเปิล ($V_{r(p-p)}$)
 - ก. $2\ \mu\text{V}_{p-p}$
 - ข. $2\ \text{mV}_{p-p}$
 - ค. $20\ \text{mV}_{p-p}$
 - ง. $2\ \text{V}_{p-p}$
 - จ. $20\ \text{V}_{p-p}$
3. วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานใช้หลักการใดในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่
 - ก. ใช้หลักการนำกระแสไปควบคุมแรงดัน
 - ข. ใช้หลักการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังอินพุต
 - ค. ใช้หลักการแบ่งแรงดันในวงจรของตัวต้านทาน
 - ง. ใช้หลักการแบ่งกระแสในวงจรของซีเนอร์ไดโอด
 - จ. ใช้หลักการทำงานของซีเนอร์ไดโอดที่ทำงานในขั้วเบรคดาวน์
4. ในการออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด ถ้ากำหนดให้แรงดันอินพุตมีค่า $13\text{-}15\text{V}$ กระแสไหลผ่านโหลดมีค่า $50\text{-}100\ \text{mA}$ แรงดันซีเนอร์ไดโอดมีค่า $12\ \text{V}$ จะต้องใช้ค่า R_S ในวงจรค่าเท่าใด
 - ก. $1.4\ \Omega$
 - ข. $14\ \Omega$
 - ค. $140\ \Omega$

- ง. $1.4\text{ k}\Omega$
 - จ. $14\text{ k}\Omega$
5. ในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง แบบปรับค่าได้ปัจจุบันมีไอซีเบอร์ใดที่นิยมนำมาใช้
- ก. LM317
 - ข. LM741
 - ค. LM555
 - ง. 78XX
 - จ. 79XX
6. ถ้าต้องการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ให้สามารถจ่ายกระแสได้สูง ๆ ควรเลือกใช้วงจรแบบใด
- ก. แบบใดก็ได้เพราะจ่ายกระแสได้เหมือนกัน
 - ข. แบบใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อขนานกันหลาย ๆ ตัว
 - ค. แบบใช้ไอซีควบคุมแรงดันที่จ่ายกระแสได้สูง ๆ
 - ง. แบบใช้หมอสเฟตร่วมกับไอซี หรือซีเนอร์ไดโอดเพื่อเพิ่มกระแส
 - จ. แบบใช้ทรานซิสเตอร์ร่วมกับไอซีหรือซีเนอร์ไดโอดเพื่อเพิ่มกระแส
7. จงคำนวณหาค่า Load Regulation ของวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อขณะไม่ต่อโหลดมีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 15.2 V และเมื่อต่อโหลดมีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 14.8 V
- ก. 0.17%
 - ข. 0.27%
 - ค. 1.7%
 - ง. 2.7%
 - จ. 27%
8. จงคำนวณหาค่า Line Regulation ของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจากค่าต่ำสุด 12.1 V ถึงค่าสูงสุด 13.8 V เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่อินพุตเปลี่ยนแปลงอยู่บนช่วง $215\text{--}225\text{ V}$
- ก. 0.14%
 - ข. 0.24%
 - ค. 2.4%
 - ง. 14%
 - จ. 24%

9. จากวงจรในรูปที่ 1 อุปกรณ์ตัวใดที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไม่ให้ไหลเกินกว่าที่กำหนด



รูปที่ 1

- ก. Q_1 และ Q_2
 - ข. Q_2 และ R_4
 - ค. Q_1 และ R_4
 - ง. R_1 และ D_1
 - จ. R_2 และ R_3
10. วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมใช้หลักการใดในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่
- ก. ใช้หลักการควบคุมแรงดันด้วยไอซี
 - ข. ใช้หลักการแบ่งกระแสในวงจรด้วยไอซี
 - ค. ใช้หลักการนำกระแสไปควบคุมแรงดัน
 - ง. ใช้หลักการป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาระดับแรงดัน
 - จ. ใช้หลักการควบคุมแรงดันด้วยซีเนอร์ไดโอด

บรรณานุกรม

- เจน สงสมพันธุ์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. 2552.
- นภัทร วัจนเทพพินท์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์. 2538.
- ทรงพล กาญจนชูชัย. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
- ธนนต์ ศรีสกุล. พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: วิดีโอ กรุ๊ป. 2552.
- สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2558.
- สายัณต์ ชื่นอารมณ์. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ. 2552.
- อำนวย เถาตระกูล. คู่มือการเขียนแผนการสอน การจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะอาชีพ, กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, 2551.
- เพื่อชาติ สุขเรือน, การวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์, กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2556.
- Robert L.Boylestad, Louis Nashelsky. Electronic Devices and Circuit Theory : United States., 2009.

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

	ใบงานที่ 3.1	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	คาบรวม 5
ชื่อเรื่อง	วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ และวงจรกรองแรงดัน	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์และวงจรกรองแรงดันได้อย่างถูกต้อง
2. วาดรูปสัญญาณที่ผ่านการเรียงกระแส และผ่านการฟลเตอร์เอาทพุตได้อย่างถูกต้อง
3. วัด และอ่านค่าแรงดันไฟตรง (DC) และแรงดันไฟกระเพื่อม (RIPPLE) ได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

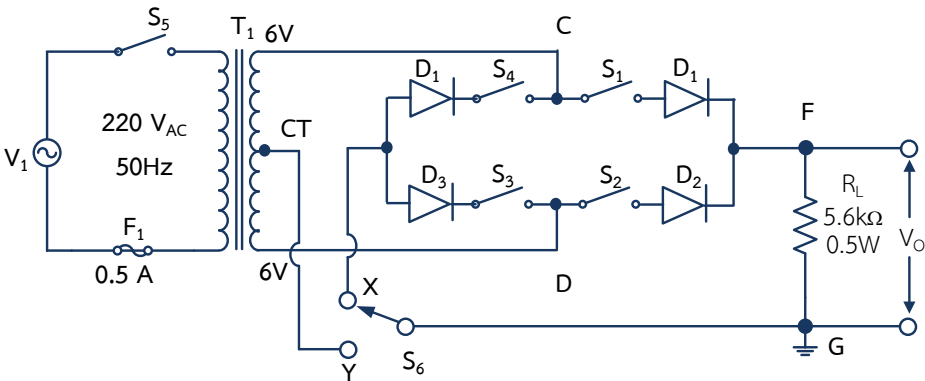
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 2. ออสซิลโลสโคปแบบ 2 เชนภาพ พร้อมสายโพรบ | 1 เครื่อง |
| 3. ไดโอด 1N 4002 (หรือเบอร์แทน) | 4 ตัว |
| 4. ตัวต้านทานคงที่ 2.7 k Ω 0.5 W, 5.6 Ω 0.5 W,
100 Ω 1 W, 250 Ω 5 W และ 500 Ω 5 W อย่างละ | 1 ตัว |
| 5. ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ 100 μ F 50 V | 2 ตัว |
| 6. หม้อแปลงแรงดันออก 6-0-6 V | 1 ตัว |
| 7. สวิตช์ตัดต่อ | 5 ตัว |
| 8. สวิตช์ 3 ทาง | 1 ตัว |
| 9. ฟิวส์ 0.5 A พร้อมขั้วต่อ | 1 ชุด |
| 10. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต่อดังตามรูปที่ 3.1.1 สวิตช์ $S_1 - S_5$ ยังไม่ต่องจรสวิตช์ S_6 โยกไว้ที่ตำแหน่ง X



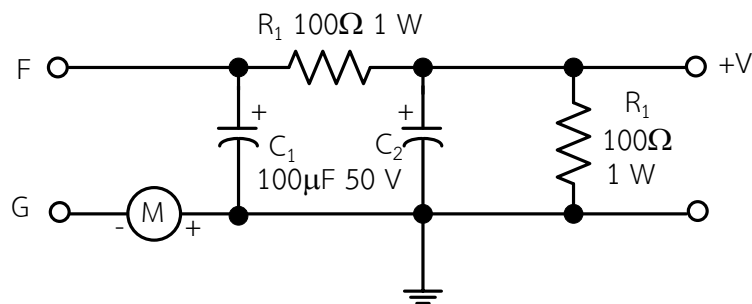
รูปที่ 3.1.1 วงจรทดลองการทำงานของไดโอดแบบบริดจ์เรียงกระแส

2. ปรับตั้งออสซิลโลสโคปให้พร้อมใช้งานปรับสวิตช์ AC-GND-DC ไปที่ตำแหน่ง AC
3. นำสายโพรบของออสซิลโลสโคปไปวัดที่จุด C และจุด D โดยใช้ปลายโพรบวัดที่จุด C สนวนกราวด์ของโพรบวัดที่จุด D
4. ON สวิตช์ S_5 เชาวงจร สังเกตภาพที่เกิดบนจอออสซิลโลสโคป
5. ปรับตั้งปุ่ม VOLTS/DIV ปุ่ม SOURCE และปุ่ม TRIGGER LEVEL จนทำให้ขนาดความกว้าง ความสูง ของภาพพอเหมาะ และภาพหยุดนิ่งอ่านค่าได้จนได้ภาพแรงดันไฟสลับที่จุด C, D (VCD) ตามตารางที่ 3.1.1 ของรูปคลื่น
6. อ่านค่าแรงดันไฟสลับที่จ้อออสซิลโลสโคปออกมาเป็นค่าพีคทูพีค (V_{p-p}) และ ค่าพีค (V_p) ที่จุด C, D (VCD) บันทึกค่าลงในตารางที่ 3.1.1 ของ V_{p-p} และ V_p

ตารางที่ 3.1.1 บันทึกผลการทดลองข้อ 4-11

ข้อที่	ตำแหน่งสวิตช์					รูปคลื่น				V_{p-p}	V_p
4-6	S_1	S_2	S_3	S_4	S_6	VCD					
7-8	OFF	OFF	OFF	OFF	X						
9	ON	OFF	OFF	OFF	X						
10	ON	ON	OFF	OFF	Y						
11	ON	ON	ON	ON	Y						

7. OFF สวิตช์ S_5 ออกยายสายโพรบของออสซิลโลสโคปไปวัดที่จุด F, G (VFG) คร่อมโหลด R_L โดย ปลายโพรบวัดที่จุด F สวมกราวด์ของโพรบวัดที่จุด G
8. ON สวิตช์ S_5 เขาวงจรสวนสวิตช์ $S_1 - S_4$ ยังคง OFF อยู่วาดรูปสัญญาณที่วัดได้ลงในตารางที่ 3.1.1 ของรูปคลื่นและบันทึกค่าแรงดันทั้งค่า V_{p-p} และ V_p ลงในตารางที่ 1 ของ V_{p-p} และ V_p
9. ON สวิตช์ S_1 เขาวงจร สวิตช์ $S_2 - S_4$ ยังคง OFF อยู่ วาดรูปสัญญาณที่วัดได้ลงในตารางที่ 4.1 ของ รูปคลื่น และบันทึกค่าแรงดันทั้งค่า V_{p-p} และ V_p ลงในตารางที่ 1 ของ V_{p-p} และ V_p
10. ON สวิตช์ S_2 สวิตช์ S_3, S_4 ยังคง OFF อยู่และสวิตช์ S_6 ปรับไปที่ตำแหน่ง Y วาดรูปสัญญาณที่วัดได้ลงในตารางที่ 3.1.1 ของรูปคลื่นและบันทึกค่าแรงดันทั้งค่า V_{p-p} และ V_p ลงในตารางที่ 3.1.1 ของ V_{p-p} และ V_p
11. ON สวิตช์ S_3 และ S_4 วาดรูปสัญญาณที่วัดได้ลงในตารางที่ 3.1.1 ของรูปคลื่นและบันทึกค่าแรงดัน ทั้งค่า V_{p-p} และ V_p ลงในตารางที่ 3.1.1 ของ V_{p-p} และ V_p



รูปที่ 3.1.2 วงจรกรองแรงดันที่ใช้ต่อเข้ากับจุด F, G ของบริดจ์เรียงกระแส

12. OFF สวิตช์ S_5 และปลด R_L ออกจากวงจรต่อวงจร R_C กรองแรงดัน เข้าที่จุด F, G และต่อแอมมิเตอร์ M วัดกระแสไฟตรงทั้งหมดของวงจรสวิตช์ $S_1 - S_4$ ยังคงต่อวงจรและสวิตช์ S_6 ยังคงอยู่ที่ตำแหน่ง Y เหมือนข้อที่ 11
13. ON สวิตช์ S_5 เขาวงจร ใช้มัลติเตอร์ตั้งที่ยานเอซีโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟสลับที่จุด C, D บันทึกค่าที่ได้อลงในตารางที่ 3.1.2 ของ V_{RMS} ที่จุด C, D
14. ใช้มัลติเตอร์ ตั้งที่ยานดีซีโวลต์มิเตอร์ วัดแรงดันไฟตรงที่จุด F เทียบกับกราวด์อ่านค่ากระแสไฟตรงจากมิเตอร์ M และใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่จุด F เทียบกับกราวด์ บันทึกค่าแรงดันไฟตรง ค่ากระแสจากมิเตอร์ M และวาดรูปสัญญาณกระเพื่อม (RIPPLE) พร้อมแรงดันเป็น V_{p-p} บันทึกลงในตารางที่ 3.1.2 ในส่วนไม่มีโหลดของ VDC, VDC, และวัดด้วยสโคป
15. OFF สวิตช์ S_5 ออก และต่อโหลด R_L 500 Ω 5W คร่อมขนาน R_2
16. ON สวิตช์ S_5 เขาวงจรทดลองซ้ำตามข้อที่ 14 ในส่วนใส่โหลด R_L
17. OFF สวิตช์ S_5 ออก ปลดโหลด R_L 500 Ω 5W ออก ย้ายดีซีโวลต์มิเตอร์ และออสซิลโลสโคปไปวัดคร่อมจุด +V เทียบกับกราวด์

ตารางที่ 3.1.2 บันทึกผลการทดลองข้อ 13-28

ข้อที่	S_{RMS} จุด C,D	จุด ที่ วัด	ไม่มีโหลด					ใส่โหลด R_L				
			I_{DC} (mA)	V_{DC} (V)	วัดด้วยสโคป		I_{DC} (mA)	V_{DC} (V)	วัดด้วยสโคป			
					รูปคลื่น	V_{P-P}			รูปคลื่น	V_{P-P}		
13-16		F										
17-20		+V										
21-24		F										
25-28		+V										

18. ON สวิตช์ S_5 เชวงจร วัดและบันทึกค่ากระแสจากมิเตอร์ M ค่าแรงดันไฟตรง และวาดรูปสัญญาณ กระเพื่อม พร้อมแรงดันเพน V_{P-P} จากออสซิลโลสโคปบันทึกลงในตารางที่ 3.1.2 ในส่วนไม่มีโหลดของ I_{DC} , V_{DC} , และวัดด้วยออสซิลโลสโคป

19. OFF สวิตช์ S_5 ออก และต่อโหลด R_L 500 Ω 5W ครอมขนาน R_2

20. ON สวิตช์ S_5 เชวงจร ทดลองซ้ำตามข้อที่ 18 ในส่วนใส่โหลด R_L

21. OFF สวิตช์ S_5 ออก ปลดโหลด R_L 500 Ω 5W ออก เปลี่ยน R_2 เป็น 2.7 k Ω 0.5W ย้ายดีซีโวลท มิเตอร์ และออสซิลโลสโคป ไปวัดครอมจุด F เทียบกับกราวด์

22. ON สวิตช์ S_5 เชวงจร ทดลองซ้ำตามข้อที่ 14 ในส่วนไม่มีโหลด

23. OFF สวิตช์ S_5 ออก ต่อโหลด R_L 250 Ω 5W ครอมขนาน R_2

24. ON สวิตช์ S_5 เชวงจร ทดลองซ้ำตามข้อที่ 14 ในส่วนใส่โหลด R_L

25. OFF สวิตช์ S_5 ออก ปลดโหลด R_L 250 Ω 5W ออก ย้ายดีซีโวลทมิเตอร์ และออสซิลโลสโคป ไป วัดครอมจุด +V เทียบกับกราวด์

26. ON สวิตช์ S_5 เชวงจร ทดลองซ้ำตามข้อที่ 18 ในส่วนไม่มีโหลด

27. OFF สวิตช์ S_5 ออก ต่อโหลด R_L 250 Ω 5W ครอมขนาน R_2

28. ON สวิตช์ S_5 เชวงจร ทดลองซ้ำตามข้อที่ 18 ในส่วนใส่โหลด R_L

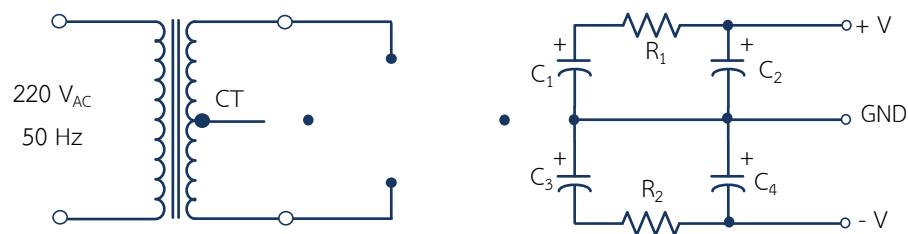
สรุปผลการทดลอง

คำถามการทดลอง

1. การทดลองในตารางที่ 3.1.2 โหลด R_L มีค่าความต้านทานเปลี่ยนไป มีผลต่อค่าแรงดันไฟกระเพื่อม (RIPPLE) อย่างไร

[illegible]

2. หากต้องการให้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ สามารถจ่ายแรงดันได้แบบแหล่งจ่ายไฟคู่ (+, GND,-) จะต้องทำอย่างไร



รูปที่ 3.1.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟตรง แบบบริดจ์เรียงกระแส

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

	ใบงานที่ 3.2	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	คาบรวม 5
ชื่อเรื่อง	วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulation circuit) และ วงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด (Overload Protection)	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่วงจรรักษาระดับแรงดันได้อย่างถูกต้อง
2. ต่วงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัดได้อย่างถูกต้อง
3. วัด อานคาแรงดันและกระแสไฟตรงของวงจรรักษาระดับแรงดัน ได้อย่างถูกต้อง
4. วัด อานคาแรงดันและกระแสไฟตรงของวงจรป้องกันกระแสไหลเกินพิกัดได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

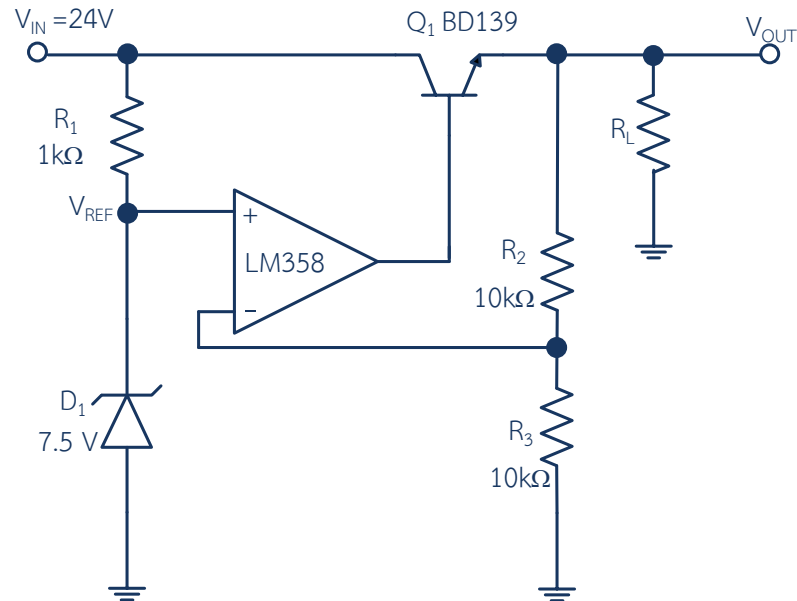
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 1 เครื่อง |
| 3. ไอซีเบอร์ LM 358 | 1 ตัว |
| 4. ตัวต้านทานคงที่ 1 k Ω 0.5 W, 100 Ω 5 W
และ 0.1 Ω 5 W อย่างละ | 1 ตัว |
| 5. ตัวต้านทานคงที่ 10 k Ω 0.5 W | 2 ตัว |
| 6. ซีเนอร์ไดโอด 7.5 V | 1 ตัว |
| 7. ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 | 2 ตัว |
| 8. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต้องวงจรตามรูปที่ 3.2.1 ค่าความต้านทานโหลดเท่ากับ $1\text{ k}\Omega$ 0.5 W



รูปที่ 3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่มีวงจรรักษาระดับแรงดัน

2. ใช้มัลติมิเตอร์ วัดค่าแรงดันตกคร่อมที่จุด ต่อไปนี้ บันทึกผล

$$V_{REF} = \dots\dots\dots \text{ V} \quad V_{R3} = \dots\dots\dots \text{ V}$$

3. ใช้มัลติมิเตอร์ วัดค่าแรงดัน และกระแสเอาต์ พูต

$$V_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ V} \quad I_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

4. เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดเท่ากับ $100\text{ }\Omega$ 5 W แล้วใช้มัลติมิเตอร์ วัดค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุต

$$V_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ V} \quad I_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

5. จงอธิบายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

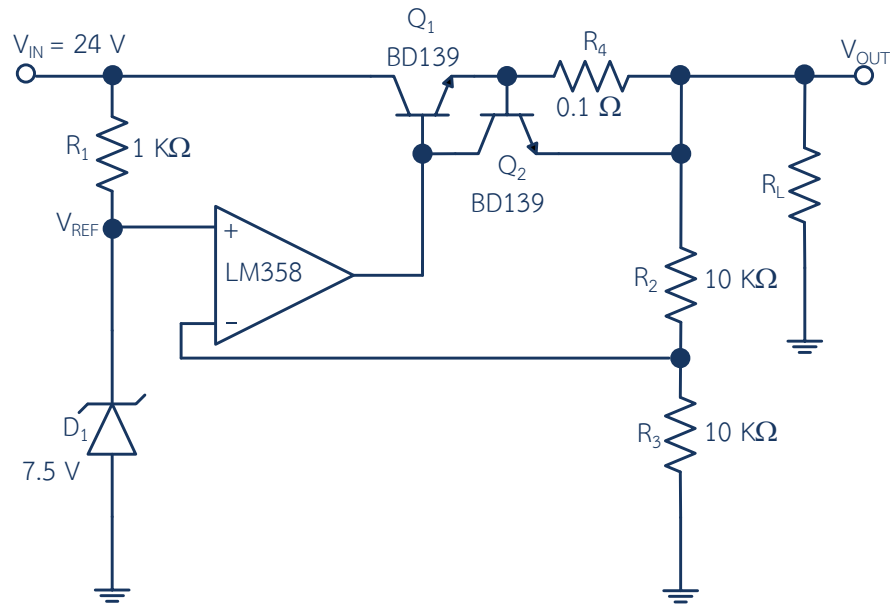
.....

.....

.....

.....

6. ต่อวงจรดังรูปที่ 3.2.2 ค่าความต้านทานโหลดเท่ากับ $1\text{ k}\Omega$ 0.5 W



รูปที่ 3.2.2 วงจรรักษาระดับแรงดันที่เพิ่มวงจรป้องกันกระแสไหลเกินฟัด

7. ใช้มัลติมิเตอร์ วัดค่าแรงดัน และกระแสเอาต์พุต

$$V_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ V} \quad I_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

8. เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดเท่ากับ $100\text{ }\Omega$ 5 W แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดค่า แรงดัน และกระแสเอาต์พุต

$$V_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ V} \quad I_{OUT} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

9. ใช้มัลติมิเตอร์ วัดค่าแรงดัน

$$V_{REF} = \dots\dots\dots \text{ V} \quad V_{R3} = \dots\dots\dots \text{ V}$$

10. จงอธิบายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

1. แรงดันเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดันขึ้นอยู่กับการ์ดอะไร ให้ออกเหตุผลประกอบ

.....

.....

.....

.....

.....

2. กระแสเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 3.2.2 จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการ์ดอะไร ให้ออกเหตุผลประกอบ

.....

.....

.....

.....

.....

3. ตัวต้านทาน R_4 ของวงจรในรูปที่ 3.2.2 มีไว้เพื่ออะไร

.....

.....