

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 10 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น 2

หัวข้อเนื้อหา

1. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันบวกคงที่
2. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันลบคงที่
3. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันบวกปรับค่าได้
4. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันลบปรับค่าได้
5. การเพิ่มกระแสเอาต์พุตด้วยการต่อทรานซิสเตอร์ภายนอก
6. บทสรุป

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. นักเรียนอธิบายคุณลักษณะไอซีรีกซาระดับแรงดันได้
2. นักเรียนสามารถออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟด้วยไอซีรีกซาระดับแรงดัน
3. นักเรียนสามารถออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟด้วยไอซีรีกซาระดับแรงดันที่สามารถป้องกันการลัดวงจรได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

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

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารคำสอนรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และโปโตบอร์ด
3. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์
4. กระดานไวท์บอร์ด
5. โปรเจ็คเตอร์

การวัดผลและการประเมินผล

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

บทที่ 10

การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น 2

10.1 แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันบวกคงที่

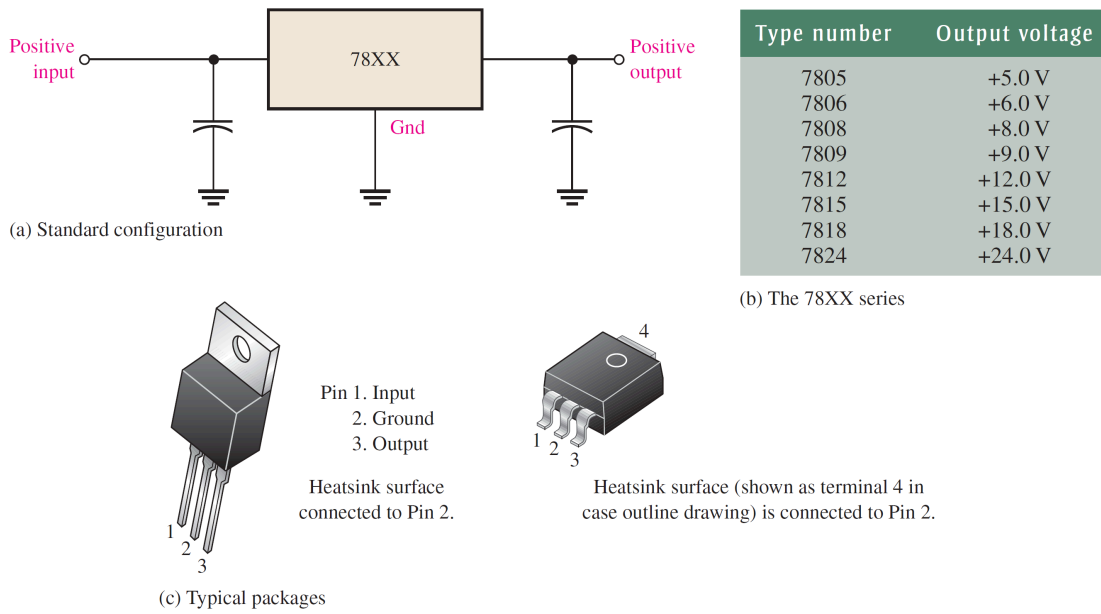
วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นถูกออกแบบเพื่อใช้จ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นนั้นมีข้อดี คือมีความทนทานสูง ราคาถูก และสามารถจ่ายกระแส และแรงดันได้สูง ไอซีรักษาระดับแรงดัน (IC voltage regulators) คือไอซีที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ เมื่อไอซีมีแรงดันอินพุตเข้ามามากกว่าแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการจ่ายออกไป ตัวอย่าง ไอซีรักษาระดับแรงดัน เช่น IC 78xx IC 79xx และ ไอซีเบอร์อื่น ๆ

ไอซีตระกูล 78xx คือไอซีที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟบวกให้คงที่ (positive voltage power supply) ซึ่งไอซีตระกูล 78xx จะมี 3 ขา ประกอบด้วย ขาอินพุต ขาเอาต์พุต และขากราวด์ ภาพที่ 10.1 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันเชิงเส้นไฟบวกที่ใช้ไอซี 78xx 2 ตัวเลขท้ายของไอซี 78xx จะบอกถึงค่าแรงดันเอาต์พุต ตัวอย่างเช่น 7805 แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ +5 V แรงดันเอาต์พุตของ ไอซีรักษาระดับแรงดันมีความผิดพลาด $\pm 4\%$ ของแรงดันเอาต์พุตปกติ เช่น ไอซี 7805 จะมีแรงดันเอาต์พุตตั้งแต่ 4.8 V ถึง 5.2 V แต่ยังคงรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในย่านนั้นได้ ตารางในภาพที่ 10.1 แสดงไอซีเบอร์ต่าง ๆ และค่าแรงดันเอาต์พุตของไอซี ภาพที่ 10.1 แสดงลักษณะของไอซี ซึ่งขาที่ 1 คือขาอินพุต ขาที่ 2 คือขากราวด์ และขาที่ 3 คือขาเอาต์พุต วงจรรักษาระดับแรงดันประกอบด้วยไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวกคงที่แบบ 3 ขา เบอร์ 78xx และตัวเก็บประจุ ซึ่งตัวเก็บประจุภาคอินพุตและเอาต์พุตมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองสัญญาณเอซีแบบเต็มคลื่นหรือครึ่งคลื่นให้เป็นแรงดันดีซี และกรองสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ

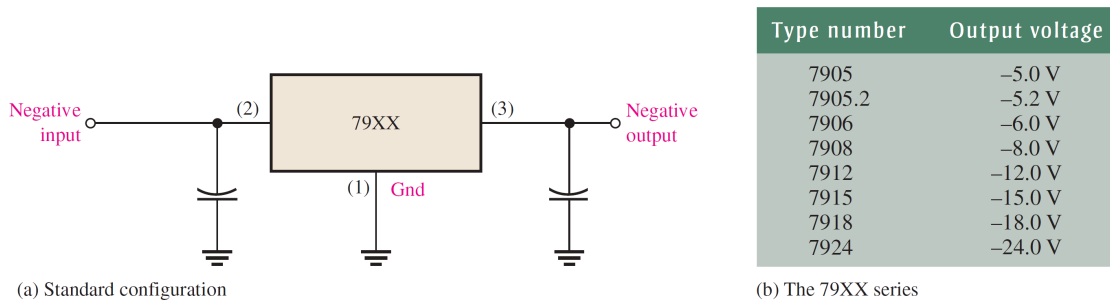
ไอซีตระกูล 78xx สามารถจ่ายกระแสได้ 1 A ซึ่งการใช้งานไอซีต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อน เพื่อให้วงจรสามารถรักษาระดับแรงดันได้ แรงดันอินพุตจะต้องมากกว่าแรงดันเอาต์พุตประมาณ 2.5 V วงจรภายในไอซีจะต้องมีการป้องกันเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน และจำกัดกระแสลัดวงจร การที่อุณหภูมิสูงมากขึ้นได้ก็ต่อเมื่อกำลังสูญเสียภายในมีมากขึ้นเกินกว่าที่ออกแบบไว้ และอุณหภูมิของอุปกรณ์เกิดกว่าค่าที่ออกแบบไว้ การประยุกต์ใช้งานไอซีรักษาระดับแรงดันส่วนมากแล้วจะต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเกิน

10.2 แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันลบคงที่

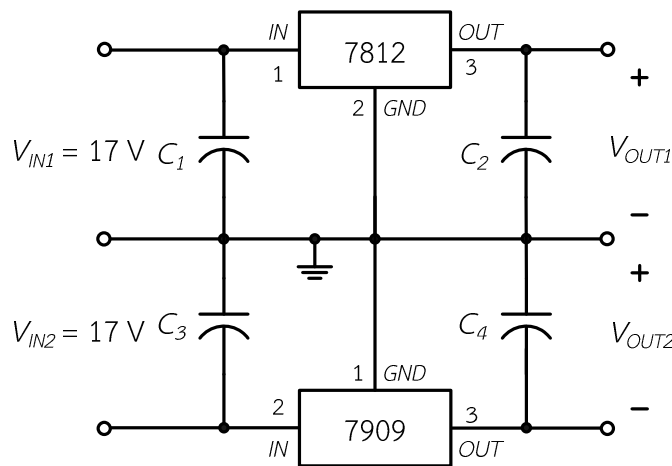
ไอซีตระกูล 79xx คือไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขา ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตไฟลบคงที่ (negative voltage power supply) ไอซีตระกูลนี้จะกลับด้านกับไอซีตระกูล 78xx และลักษณะการวางขาของอุปกรณ์จะแตกต่างจากไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวก ภาพที่ 10.2 แสดงคุณลักษณะมาตรฐานและหมายเลขอุปกรณ์ที่สัมพันธ์กับแรงดันเอาต์พุตแต่ละค่า



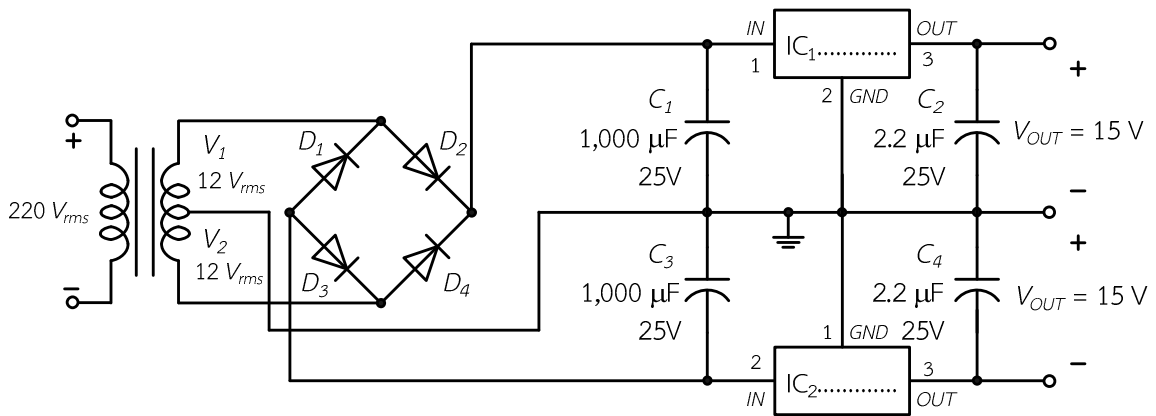
ภาพที่ 10.1 ไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวกคงที่แบบ 3 ขา เบอร์ 78xx ที่มา (Floyd, 2012, p. 870)



ภาพที่ 10.2 ไอซีรักษาระดับแรงดันไฟลบคงที่แบบ 3 ขา เบอร์ 79xx ที่มา (Floyd, 2012, p. 871)



ภาพที่ 10.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงบวก และลบ



ภาพที่ 10.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงบวก และลบ

ตัวอย่างที่ 10.1 ถ้าต้องการให้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ -15 V ต้องใช้ไอซีเบอร์อะไร
 ตอบ ใช้ไอซีเบอร์ 7915

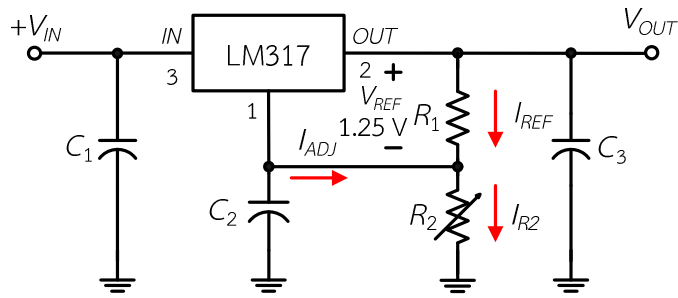
ตัวอย่างที่ 10.2 ภาพที่ 10.3 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง แรงดันเอาต์พุตเท่ากับเท่าไร
 ตอบ แรงดัน $V_{OUT1} = 12\text{ V}$ และ แรงดัน $V_{OUT2} = -9\text{ V}$

ตัวอย่างที่ 10.3 ภาพที่ 10.4 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง แรงดัน V_1 และ V_2 มีค่าเท่าไร (ตอบเป็นค่า V_p) และ วงจรต้องใช้ไอซีเบอร์อะไร
 วิธีทำ แรงดัน V_1 และ V_2 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 V_{p1} &= V_{p2} = 1.414 \times V_{1,2} & (10.1) \\
 &= 1.414 \times 12\text{ V}_{\text{rms}} \\
 &= 16.968\text{ V}_p
 \end{aligned}$$

10.3 แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันบวกปรับค่าได้

ไอซี LM317 คือไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวกที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ (variable positive supply voltage) ไอซี LM317 มี 3 ขา ประกอบด้วย ขาอินพุต ขาเอาต์พุต และขาปรับแรงดัน ภาพที่ 10.5 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันไฟบวกที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ ประกอบด้วย ไอซี LM317 ตัวเก็บประจุอินพุต เอาต์พุต และต่อระหว่างขาปรับแรงดันกับกราวด์ และตัวต้านทานมีค่าคงที่ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันเอาต์พุตของวงจร ซึ่งไอซี LM317 จะมีขาปรับแรงดันซึ่งไม่ได้ต่อลงกราวด์ ขาปรับแรงดันจะถูกต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ R_2 เอาต์พุตของวงจรสามารถถูกปรับให้มีค่าแรงดัน 1.2 V ถึง 37 V ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ ไอซี LM317 สามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้สูงสุดเท่ากับ 1.5 A



ภาพที่ 10.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันไฟบวกได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317

การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317 อธิบายได้ดังนี้ แรงดันที่ตกคร่อม R_1 คือแรงดันอ้างอิง V_{REF} มีค่าเท่ากับ 1.25 V ซึ่งเป็นแรงดันผลต่างคงที่ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันที่ขาปรับค่า กระแส I_{REF} ไหลผ่าน R_1 และ R_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1} = \frac{1.25V}{R_1} \quad (10.2)$$

กระแส I_{ADJ} ที่ไหลไอซี LM317 มีค่าประมาณ 50 μA ซึ่งไหลผ่าน R_2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$V_{OUT} = V_{R1} + V_{R2} = I_{REF}R_1 + I_{REF}R_2 + I_{ADJ}R_2 \quad (10.3)$$

$$= I_{REF} \times (R_1 + R_2) + I_{ADJ}R_2 \quad (10.4)$$

$$= \frac{V_{REF}}{R_1} (R_1 + R_2) + I_{ADJ}R_2 \quad (10.5)$$

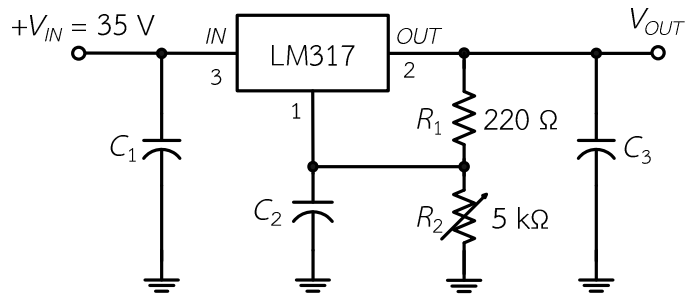
$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}R_2 \quad (10.6)$$

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันกับ R_1 และ R_2 ดังนั้น เราสามารถกำหนดค่า R_1 ให้คงที่ และปรับค่า R_2

ตัวอย่างที่ 10.4 ทำการหาค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด และต่ำสุดของวงจรในภาพที่ 10.6 กำหนดให้ $I_{ADJ} = 50 \mu A$

วิธีทำ แรงดันอ้างอิง V_{REF} เท่ากับ

$$V_{R1} = V_{REF} = 1.25 V \quad (10.7)$$



ภาพที่ 10.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันไฟบวกได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317 ตัวอย่างที่ 10.4

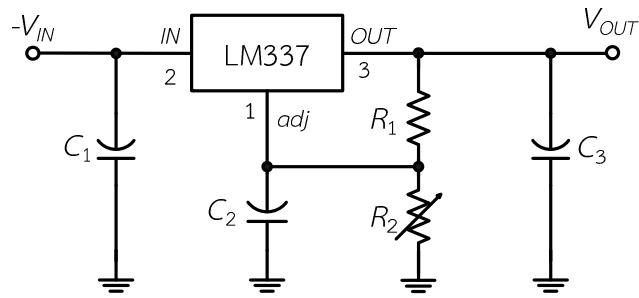
$$\begin{aligned}
 V_{OUT(\min)} &= V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2 & (10.8) \\
 &= 1.25V \left(1 + \frac{0}{220\Omega} \right) \\
 &= 1.25 V
 \end{aligned}$$

เมื่อ $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$

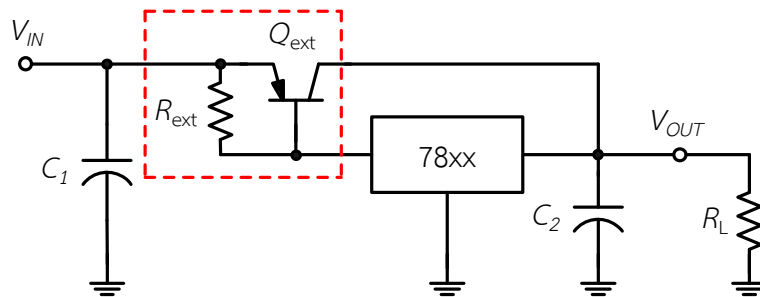
$$\begin{aligned}
 V_{OUT(\max)} &= V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2 & (10.9) \\
 &= 29.66 V + 0.25 V = 29.9V
 \end{aligned}$$

10.4 แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นแรงดันลบปรับค่าได้

ไอซี LM337 คือไอซีรักษาระดับแรงดันไฟลบที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ (variable negative supply voltage) ซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับไอซี LM317 และหลักการทำงานของวงจรเหมือนกับไอซี LM317 ภาพที่ 10.7 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันไฟลบที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ประกอบด้วยไอซี LM337 ตัวเก็บประจุอินพุต เอาต์พุต และต่อระหว่างขาปรับแรงดันกับกราวด์ และตัวต้านทานมีค่าคงที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันเอาต์พุตของวงจรซึ่งไอซี LM317 จะมีขาปรับแรงดันซึ่งไม่ได้ต่อลงกราวด์ ขาปรับแรงดันจะถูกต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ R_2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรสามารถถูกปรับให้มีค่าแรงดัน -1.2 V ถึง -37 V ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ ตัวเก็บประจุที่ต่อเพิ่มเข้าไปจะไม่ส่งผลต่อการทำงานของไอซี



ภาพที่ 10.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันโพลลบได้ด้วยไอซีเบอร์ LM337

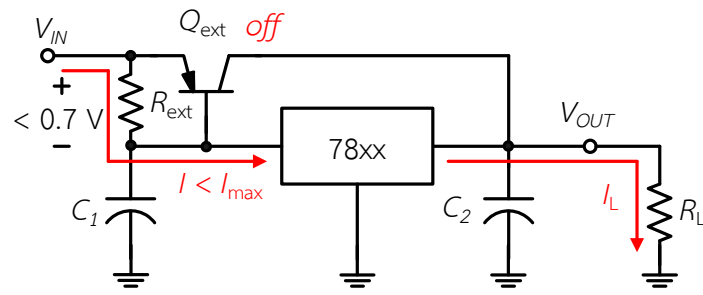


ภาพที่ 10.8 ไอซีรักษาระดับแรงดันคงที่เบอร์ 78xx ซึ่งต่อทรานซิสเตอร์ภายนอก

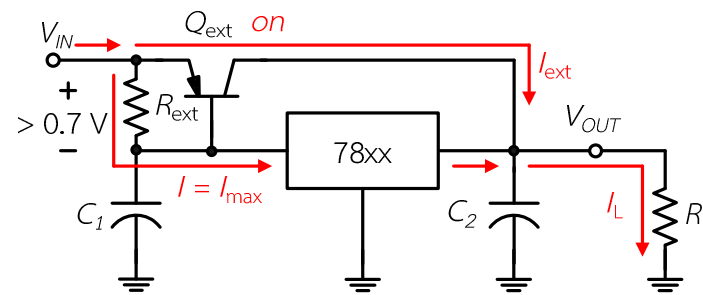
10.5 การเพิ่มกระแสเอาต์พุตด้วยการต่อทรานซิสเตอร์ภายนอก

เนื่องจากไอซีรักษาระดับแรงดันมีข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการจ่ายกระแสให้กับโหลด เช่น ไอซีรักษาระดับแรงดัน 78xx ที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดเท่ากับ 1.3 A ถ้าโหลดต้องการกระแสที่มากขึ้น ไอซีจะเกิดความร้อนเนื่องจากจ่ายกระแสเกิน และไอซีจะหยุดทำงาน

จากปัญหาดังกล่าว การนำวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงด้วยไอซีรักษาระดับแรงดันตระกูล 78xx ต่อประยুক্তใช้งานให้มีกระแสเอาต์พุตไหลมากกว่าที่ไอซี 78xx จะจ่ายให้กับโหลดได้ สามารถทำได้ด้วยวิธีการต่อทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อเพิ่มกระแสเอาต์พุตที่ต้องการจะจ่ายให้กับโหลด ภาพที่ 10.8 แสดงไอซีรักษาระดับแรงดันคงที่เบอร์ 78xx ซึ่งต่อทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อเพิ่มกระแสเอาต์พุตให้กับวงจร ภาพที่ 10.9 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันคงที่เบอร์ 78xx ซึ่งต่อทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อเพิ่มกำลังสูญเสียให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ภาพที่ 10.9 (ก) แสดงลักษณะการทำงานของวงจรขณะทรานซิสเตอร์ Q_{ext} ไม่ทำงาน กระแสภายนอกจะไหลซึ่งไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_{ext} ก็ด้วยการตรวจจับด้วยกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{ext} กล่าวคือ เมื่อมีกระแสที่ไหลผ่าน R_{ext} จะเกิดแรงดันตกคร่อมระหว่างขาเบสกับอิมิตเตอร์หรือแรงดัน V_{BE} ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ Q_{ext} เริ่มนำกระแส ถ้ากระแสที่ไหลผ่าน R_{ext} มีค่าน้อย กล่าวคือ เมื่อกระแสที่ไหลผ่าน R_{ext} มีค่าน้อย ส่งผลให้แรงดัน V_{BE} มีค่าน้อยกว่า 0.7 V ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_{ext} จะไม่ทำงาน และวงจรรักษาระดับแรงดันทำงานตามปกติ ถ้ากำหนดให้ I_{max} คือกระแสที่ไหลผ่านไอซี 78xx สูงสุด ค่าความต้านทาน R_{ext} มีค่าเท่ากับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 10.9 ลักษณะการไหลของกระแส (ก) กระแสอินพุตไหลเข้า และ (ข) กระแสอินพุตไหลออก

$$R_{ext} = \frac{0.7V}{I_{max}} \quad (10.10)$$

ภาพที่ 10.9 (ข) แสดงลักษณะการทำงานของวงจรถณะทรานซิสเตอร์ Q_{ext} ทำงาน เมื่อกระแสที่ไหลทำให้เกิดแรงดันอย่างน้อย 0.7 V ตกคร่อม R_{ext} ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ Q_{ext} ทำงานและกระแสจำนวนมาก I_{max} ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะนำกระแสมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการกระแสของโหลด เช่น ถ้าโหลดต้องการกระแส 3 A และ I_{max} ถูกออกแบบให้มีค่าเท่ากับ 1 A กระแสจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ภายนอกเท่ากับ 2 A ซึ่งมีค่ามากกว่ากระแสที่ไอซี 78xx สามารถจ่ายได้

ตัวอย่างที่ 10.5 ถ้ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านไอซีรักรับระดับแรงดันเท่ากับ 700 mA ค่าความต้านทาน R_{ext} มีค่าเท่าไร

วิธีทำ ค่าความต้านทาน R_{ext} มีค่าเท่ากับ

$$R_{ext} = \frac{0.7V}{I_{max}} = \frac{0.7V}{0.7A} = 1\Omega \quad (10.11)$$

ทรานซิสเตอร์กำลังจำเป็นต้องติดฮีตซิงก์เพื่อระบายความร้อน ค่ากำลังสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ตัวทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$P_{ext(min)} = I_{ext}(V_{IN} - V_{OUT}) \quad (10.12)$$

ตัวอย่างที่ 10.6 จากวงจรในภาพที่ 10.9 อัตรากำลังสูงสุดของทรานซิสเตอร์ที่ต่อกับไอซีรักษาระดับแรงดัน 7824 มีค่าเท่ากับเท่าไร กำหนดให้แรงดันอินพุตเท่ากับ 30 V ค่าความต้านทานโหลดเท่ากับ 10 Ω กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์สูงสุดเท่ากับ 700 mA

วิธีทำ กระแสที่ไหลผ่านโหลดเท่ากับ

$$I_L = \frac{V_{OUT}}{R_L} = \frac{24V}{10\Omega} = 2.4A \quad (10.13)$$

กระแสที่ไหลผ่าน

$$\begin{aligned} I_{ext} &= I_L - I_{max} \\ &= 2.4 A - 0.7 A = 1.7 A \end{aligned} \quad (10.14)$$

กำลังสูญเสียที่ Q_{ext} เท่ากับ

$$\begin{aligned} P_{ext(min)} &= I_{ext}(V_{IN} - V_{OUT}) \\ &= 1.7 A \times (30V - 24V) = 10.2 W \end{aligned} \quad (10.15)$$

เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีอัตราทานกำลังงานได้ไม่น้อยกว่า 15 W

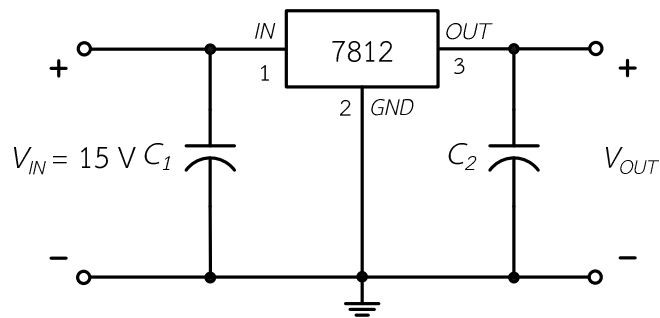
10.7 บทสรุป

บทนี้กล่าวถึงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแบบเชิงเส้นที่ใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันบวก และลบแบบคงที่ และแบบปรับค่าได้ การออกแบบให้วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสามารถจ่ายกระแสได้มากกว่าความสามารถของไอซีกระทำได้โดยต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้าไปในวงจรเพื่อทำหน้าที่จ่ายกระแสจำนวนมากแทนไอซี ในบทนี้มีส่วนการทดลองเพื่อให้นักศึกษามีทักษะการต่อวงจร และศึกษาการทำงานของวงจรเพิ่มเติมได้ นักศึกษาสามารถนำความรู้ที่ได้การศึกษาในบทนี้นำไปออกแบบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงไปใช้งานได้

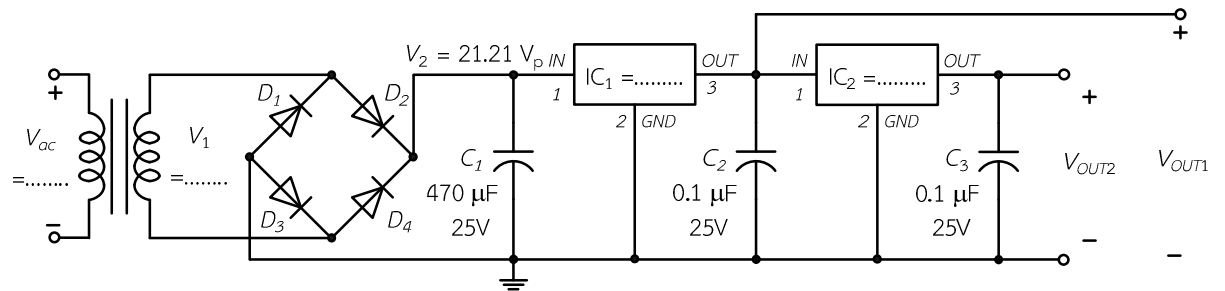
แบบฝึกหัดท้ายบท

1. นักศึกษาทราบได้อย่างไรว่าแรงดันเอาต์พุตของไอซีรักษาระดับแรงดันมีค่าเท่าไร
2. แรงดันเอาต์พุตของไอซี LM337 มีลักษณะเป็นอย่างไร
3. เมื่อปรับแรงดันเอาต์พุตของ LM317 เพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่านโหลดเพิ่มขึ้นหรือไม่ เพราะอะไร
4. วิธีการอะไรที่ทำให้แหล่งจ่ายไฟที่ใช้ไอซี 78xx สามารถจ่ายกระแสได้มากกว่าที่ไอซี 78xx สามารถจ่ายได้
5. ภาพที่ 10.14 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง แรงดันเอาต์พุตเท่ากับเท่าไร
6. จากตัวอย่างที่ 10.2 ถ้าต้องการให้วงจรสามารถจ่ายกระแสได้มากกว่าที่ไอซีสามารถจ่ายได้ ต้องต่อวงจรเพิ่มเติมอย่างไร ให้วาดวงจรพร้อมอธิบายการทำงาน
7. จากตัวอย่างที่ 10.3 ถ้าค่าความต้านทาน R_2 เท่ากับ 2 k Ω แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่าไร

8. จากตัวอย่างที่ 10.2 ถ้าค่าความต้านทาน R_{ext} เปลี่ยนเป็นค่า 1.5 Ω กระแสไหลผ่าน Q_{ext} ขณะทำงานมีค่าเท่าไร
9. ทำการคำนวณหาค่าอัตราทงกำลังงานในตัวอย่างที่ 10.3 กำหนดให้ใช้ไอซีรีกขาระดับแรงดัน 7815
10. ภาพที่ 10.15 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 2 เอาต์พุต กำหนดให้ $V_{OUT1} = 15\text{ V}$ และ $V_{OUT2} = 5\text{ V}$
 - (ก) V_{ac} มีค่าเท่าไร
 - (ข) V_1 มีค่าเท่าไร
 - (ค) IC_1 และ IC_2 เบอร์อะไร



ภาพที่ 10.14 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง



ภาพที่ 10.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 2 เอาต์พุต