

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

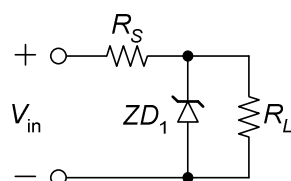
AEL-03 วงจรควบคุมแรงดันอย่างง่าย

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

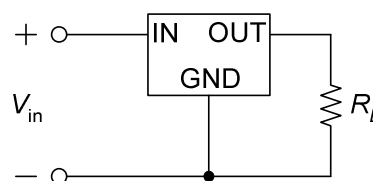
1. ศึกษาคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดและ IC ที่ทำหน้าที่เป็นซีเนอร์ diode
2. ศึกษาวงจรควบคุมแรงดันแบบ shunt
3. ศึกษาวงจรควบคุมแรงดันแบบ series

วงจรรีเลย์ทรอนิกส์โดยทั่วไป จะไวต่อแรงดันกระเพื่อมจากแหล่งจ่ายไฟตรงที่ไม่เรียบ. บางวงจรต้องการแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าในช่วงที่กำหนดให้ช่วงหนึ่ง จึงจะทำงานได้ถูกต้อง. วงจรควบคุมแรงดัน (voltage regulator) จึงเป็นวงจรพื้นฐานวงจรหนึ่งที่จะต้องมี โดยเฉพาอย่างยิ่งวงจรแบบ digital electronics ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดช่วงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ. ถ้าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด การทำงานของวงจรอาจผิดพลาด หรือเกิดความเสียหายแก่วงจรด้วย. แม้วงจรแบบ analog electronics ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟที่ไม่เรียบ ก็อาจจะมีสัญญาณที่ไม่เรียบจากแหล่งจ่ายไฟปรากฏที่เอาต์พุตของวงจรได้ เช่น เสียงฮัมจากลำโพง เป็นต้น.

วงจรควบคุมแรงดันชนิดที่มีการทำงานเป็นเชิงเส้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ shunt regulator และ series regulator. รูปที่ 3.1 ก แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบ shunt ซึ่งใช้ซีเนอร์ไดโอด ZD_1 ต่อขนานเข้ากับโหลด R_L และทั้งหมดนี้จะต่ออนุกรมเข้ากับความต้านทาน R_S . วงจรควบคุมแรงดันแบบนี้เหมาะสำหรับโหลดที่กินกระแสเล็กน้อย เพราะจะมีกระแสไหลเข้าวงจรประมาณคงที่ ไม่ขึ้นกับกระแสของโหลด(ถ้ากระแสของโหลดไม่มากเกินไป). รูปที่ 3.1 ข แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบ series ที่เป็น IC 3 ขา (three-terminal regulator) ซึ่งจะมีกระแสไหลเข้าวงจรมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับกระแสของโหลด. วงจรภายในของ IC ประเภทนี้ มักมีการใช้วงจรซีเนอร์ไดโอดเพื่อกำหนดแรงดันอ้างอิงด้วย.



(ก) Shunt regulator



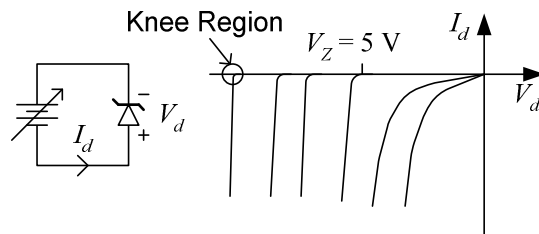
(ข) Series regulator

รูปที่ 3.1 วงจรควบคุมแรงดัน.

วงจรควบคุมแรงดันอีกชนิดหนึ่งมีการทำงานแบบ switching คือ เป็นสวิตช์ปิด/เปิดทำงานที่ความถี่สูงประมาณมากกว่า 20 kHz ขึ้นไป เพื่อไม่ให้มนุษย์ได้ยินเสียงกรางของอุปกรณ์. วงจรประเภทนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและมีขนาดเล็กกว่าวงจรประเภทเชิงเส้นมาก. วงจร switching มีความซับซ้อนและมีเนื้อหาเพียงพอเป็นอีกวิชาหนึ่งได้ จึงไม่ขอกล่าวในที่นี้.

3.1. คุณสมบัติพื้นฐานของซีเนอร์ Diode

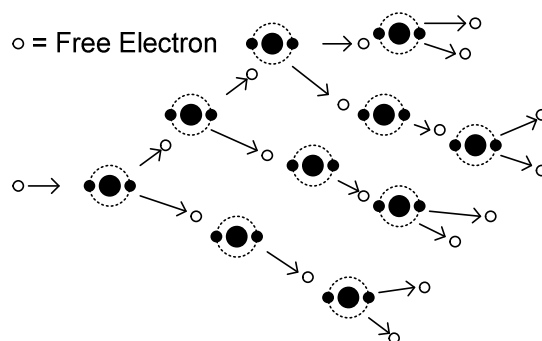
เมื่อไดโอดได้รับแรงดันทางด้าน reversed สูงพอ จะเกิด breakdown ซึ่งจะมีกระแสไหลในทิศ reversed ดังแสดงในรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของซีเนอร์ diode ขนาดแรงดันต่างๆ.

ซีเนอร์ไดโอดที่มีแรงดัน breakdown (V_Z) น้อยกว่า 5 V เส้นกราฟจะไม่ชันเท่ากับซีเนอร์ไดโอดที่มี V_Z สูงกว่านั้น. แรงดัน V_Z มีตั้งแต่ 1.8 V ถึง 200 V และมีขนาดให้เลือกตั้งแต่ 500 mW ถึง 5 W. ซีเนอร์ไดโอดบางเบอร์ถูกออกแบบมาให้ใช้กำหนดแรงดันอ้างอิง (reference voltage) ได้ โดย V_Z ของซีเนอร์เหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิน้อยกว่าในช่วงตั้งแต่ 0.01 %/°C ถึง 0.0005 %/°C.

กระบวนการที่ทำให้เกิด breakdown ในซีเนอร์ไดโอดมี 2 อย่างคือ แบบ tunneling และแบบ avalanche. สำหรับซีเนอร์ที่มี V_Z สูงกว่า 5 V เมื่ออิเล็กตรอนอิสระที่เกิดจากความร้อนอยู่ในสนามไฟฟ้าขณะ reversed bias ซึ่งมีความเข้มสูงพอ จะทำให้มีความเร็วเพียงพอที่จะไปชนอิเล็กตรอนตัวอื่นให้หลุดจาก valence band ของอะตอม. อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเป็นอิเล็กตรอนอิสระจะเพิ่มจำนวนขึ้น และเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าก็จะมีความเร็วสูงพอที่จะไปชนอิเล็กตรอนตัวอื่นใน valence band ให้หลุดออกมามากขึ้นไปอีกดังแสดงในรูปที่ 3.3. อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะทำให้กระแสไหลมากขึ้น และเกิดความร้อนสูงขึ้นด้วย ซึ่งก็ยิ่งทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจาก valence band เนื่องจากความร้อนมีจำนวนมากขึ้นไปอีก. อิเล็กตรอนอิสระซึ่งมีทั้งแบบที่ถูกชนแล้วหลุดออกมาและแบบหลุดออกมาเนื่องจากความร้อน จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ. กระบวนการนี้จึงถูกเรียกว่า avalanche.



รูปที่ 3.3 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระแบบทวีคูณจากการชน.

ซีเนอร์ไดโอดที่มี V_Z ต่ำกว่า 5 V การ breakdown จะเป็นแบบ tunneling ซึ่งได้ถูกอธิบายโดย Dr. Clarence Melvin Zener. ที่แรงดันต่ำ ปรากฏการณ์แบบ avalanche จะไม่เกิดขึ้น เพราะอิเล็กตรอนมี

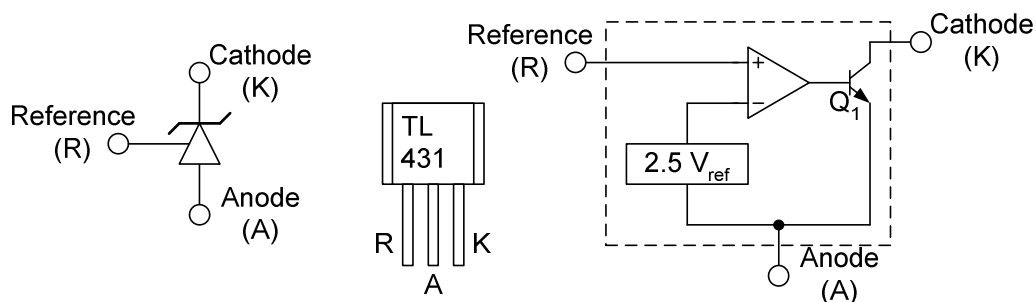
ความเร็วไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการชน แล้วจำนวนอิเล็กตรอนอิสระจะเพิ่มแบบทวีคูณ แต่ก็ยังมีกระแสไหลได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้. ในบริเวณที่เป็น depletion region เป็นบริเวณที่ปลอด carriers. บริเวณนี้บางมาก เมื่อให้แรงดันทางด้าน reversed จะทำให้เกิดความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงมาก และทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่ทำให้อิเล็กตรอนทะลุวง depletion region จากด้านหนึ่งไปปรากฏอีกด้านหนึ่งได้ (tunneling) จึงทำให้เกิด breakdown ที่แรงดันต่ำ.

การใช้งานซีเนอร์ไดโอดให้หลักเลี้ยวช่วง knee regions เพราะ เป็นช่วงที่กระแสจะเริ่มไหล จึงมีความต้านทานสมมูลภายในสูง. นอกจากนี้ช่วง knee regions จะไม่ต่อเนื่องเป็นกราฟที่เรียบ ทั้งนี้เนื่องจากบางส่วนของ depletion zone มีกระแสไหล ในขณะที่ส่วนอื่นๆของบริเวณนี้ยังไม่นำกระแส. การใช้งานในช่วง knee region นี้ จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้.

3.2. วงจรควบคุมแรงดันโดยใช้ TL431

TL431 เป็นวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์ที่ถูกออกแบบให้ทำงานเป็นซีเนอร์ไดโอดซึ่งให้ V_Z ต่ำประมาณ 2.5 V และมีเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันชันกว่าซีเนอร์ไดโอดจริงอีกด้วย. ค่า dynamic resistance ของ TL431 มีค่าเท่ากับ 0.22Ω ซึ่งน้อยกว่า dynamic resistance ของซีเนอร์ไดโอดจริงด้วย. เราสามารถกำหนดให้แรงดัน breakdown สูงขึ้นมากกว่า 2.5 V จนถึง 36 V โดยการต่อวงจร voltage divider ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัวเพิ่มเข้าไป.

TL431 เป็น IC ที่ต้องการอย่างน้อย 3 ขา คือ ขาที่ทำหน้าที่เป็น anode และ cathode ของซีเนอร์ไดโอดและขาควบคุมแรงดัน V_Z . TL431 มีตัวถังให้เลือกเป็นแบบทรานซิสเตอร์ 3 ขา หรือเป็นแบบ IC 8 ขา. รูปที่ 3.4 แสดงวงจรภายใน TL431 ซึ่งประกอบด้วย วงจรแรงดันอ้างอิง 2.5 V, วงจร op-amp ซึ่งขยายส่วนที่ต่างกันระหว่างแรงดันอ้างอิงกับแรงดันที่ขา reference (R) เพื่อไปขับทรานซิสเตอร์ Q_1 .

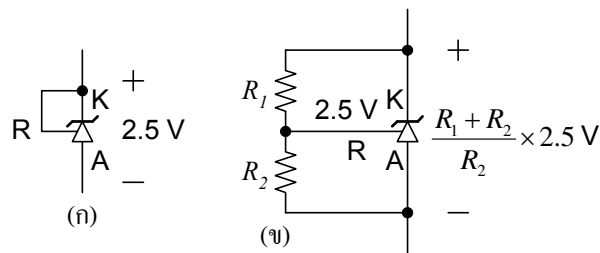


รูปที่ 3.4 สัญลักษณ์, ขาอุปกรณ์ และ block diagram ของ TL431.

การต่อ TL431 เพื่อให้ได้ V_Z เท่ากับ 2.5 V ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ก. ถ้าต่อวงจรในรูปที่ 3.5 ข TL431 จะมี V_Z ที่สูงขึ้น ตามอัตราส่วนของแรงดันที่ถูกแบ่งลงมา เพื่อเทียบกับแรงดันอ้างอิง 2.5 V.

ถ้าแรงดันขา R ของ TL431 สูงกว่า 2.5 V วงจร op-amp จะจ่ายกระแสเข้าที่ขา base ของ Q_1 ทำให้มีกระแสไหลเข้าที่ขา collector ของ Q_1 ในทำนองเดียวกับกระแสที่ไหลเข้าขา cathode ของซีเนอร์ไดโอดและจะทำให้แรงดันระหว่างขา cathode และขา anode ลดลง. ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันขา R ของ TL431 ต่ำกว่า 2.5 V วงจร op-amp จะจ่ายกระแสเข้าที่ขา base ของ Q_1 ลดลง ทำให้มีกระแสไหลเข้าที่ขา collector ของ Q_1

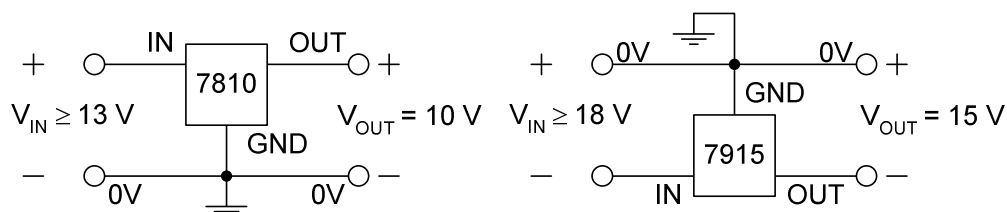
น้อยลง และจะทำให้แรงดันระหว่างขา cathode และขา anode เพิ่มขึ้น. ดังนั้น วงจรภายในตัว TL431 จะพยายามรักษาให้แรงดันที่ขา R ประมาณเท่ากับ 2.5 V โดยการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 .



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างวงจรใช้งาน TL431 เบื้องต้น.

3.3. วงจรควบคุมแรงดันคงที่ที่เป็น IC 3 ขา

วงจรควบคุมแรงดันคงที่ที่เป็น IC 3 ขานั้น มีการใช้งานที่ง่ายมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.6. เพียงแต่เลือก IC ที่ให้แรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ และเลือกขนาดของ IC ให้เหมาะสมกับกระแสที่ต้องจ่ายให้กับโหลด ก็สามารถใช้งานได้เลย. แรงดันเอาต์พุตของ IC แบบนี้ มีให้เลือกหลายค่า เช่น 5, 8, 9, 10, 12, 15, 24 V และมีให้เลือกทั้งทางด้านไฟบวกและลบ. ตัวอย่างเบอร์ IC ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1.



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างวงจรควบคุมแรงดันคงที่ที่เป็น IC 3 ขา.

ถ้ากำลังงานสูญเสียในตัว IC มีมาก ต้องคิดแผนระบายความร้อนด้วย. IC เหล่านี้มีวงจรป้องกันการลัดวงจรอยู่ภายใน. ถ้าเกิดการลัดวงจร กระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดไว้ที่ค่าหนึ่ง ตามรายละเอียดของผู้ผลิต. ถึงแม้ว่ากระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดไว้ ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัว IC จะสูงมากได้ และเพื่อป้องกันความเสียหาย วงจรจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับหนึ่ง (thermal shutdown). แรงดันอินพุตจะต้องสูงกว่าแรงดันเอาต์พุตอย่างน้อย 3 V และจะต้องไม่เกินแรงดันอินพุตสูงสุดที่ IC จะทนได้.

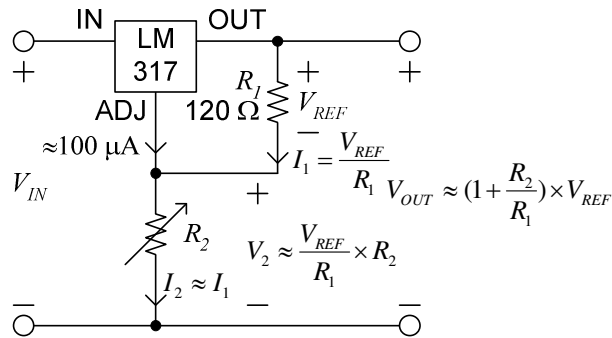
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างเบอร์ IC ควบคุมแรงดันคงที่.

แรงดันด้านบวก	แรงดันด้านลบ
7800 series, LM323 series, LM330 series, LM340, LM341 และ LM342 series, LM2930 และ LM2931 series	7900 series, LM345 series, LM320 series

3.4. วงจรควบคุมแรงดันแบบปรับค่าได้ที่เป็น IC 3 ขา

วงจรควบคุมแรงดันบางเบอร์ถูกออกแบบให้สามารถปรับค่าแรงดันได้ โดยการต่อตัวต้านทานเพียงสองตัวเพิ่มเข้าไปดังแสดงในรูปที่ 3.7. โดยทั่วไปจะเลือกค่า R_1 ให้มีกระแสไหลออกจากเอาต์พุตของวงจรควบคุมแรงดันอย่างน้อยประมาณเท่ากับกระแสโหลดต่ำสุดที่จะต้องใช้ไหล ซึ่งมีค่าประมาณ 10 mA. กระแส I_1 ที่ไหลผ่าน R_1 จะไหลไปรวมกับกระแสที่ไหลออกมาจากขา ADJ ของ IC เป็นกระแส I_2 ไหลผ่าน R_2 .

เนื่องจาก IC ถูกออกแบบให้มีกระแสไหลออกจากขา ADJ ค่อนข้างต่ำประมาณ $100\ \mu\text{A}$ ($\ll I_I$). ดังนั้น I_2 จึงประมาณเท่ากับ I_1 .



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมแรงดันที่เป็น IC 3 ขาแบบปรับค่าแรงดันได้ ใช้ LM317.

แรงดันเอาต์พุต V_{OUT} สามารถคำนวณได้จากผลบวกของ V_{REF} และ V_2 . ดังนั้น ถ้าเราเปลี่ยนค่า R_2 ค่า V_{OUT} จะเปลี่ยนตามด้วย. ค่า V_{OUT} ต่ำสุด เมื่อ R_2 เท่ากับศูนย์โอห์ม เท่ากับ V_{REF} . V_{IN} ที่เหมาะสมจะต้องมากกว่า V_{OUT} สูงสุดอีกประมาณ 3 V.

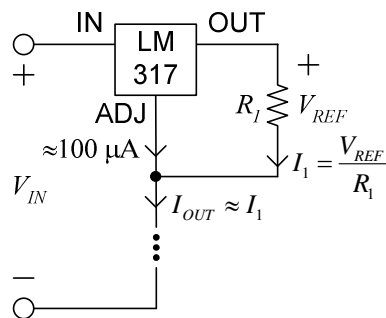
ตัวอย่างเบอร์ IC ควบคุมแรงดันแบบปรับค่าแรงดันได้นี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3. เบอร์ IC ทางด้านไฟบวก จะมีให้เลือกหลายระดับกระแส มากกว่าทางไฟลบ.

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างเบอร์ IC ควบคุมแรงดันแบบปรับค่าแรงดันได้.

แรงดันด้านบวก	แรงดันด้านลบ
LM317, LM338, LM350, LM396	LM337

3.5. วงจรจ่ายกระแสคงที่

เราสามารถดัดแปลงวงจรควบคุมแรงดันที่เป็น IC 3 ขา ให้เป็นวงจรจ่ายกระแสได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.8. ค่ากระแสเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับ V_{REF}/R_1 .



รูปที่ 3.8 วงจรจ่ายกระแสคงที่โดยใช้ LM317.

3.6. ตัวบ่งชี้คุณภาพการควบคุมแรงดัน

วงจรควบคุมแรงดันที่ดี จะต้องให้แรงดันที่ไม่ขึ้นอยู่กับกระแสของโหลด ไม่ว่าโหลดจะดึงกระแสมากเท่าใด วงจรควบคุมแรงดันที่ดีจะต้องรักษาระดับแรงดันไว้ได้เท่าเดิม. ในทางปฏิบัติ กระแสโหลดที่เพิ่มขึ้น มักจะทำให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรควบคุมแรงดันลดลงเล็กน้อย เสมือนว่าวงจรควบคุมแรงดันมี

ความต้านทานภายในขนาดเล็กต่ออนุกรมอยู่. ถ้าเป็นวงจรควบคุมแรงดันในอุดมคติ ความต้านทานภายในจะเท่ากับศูนย์.

ตัวบ่งชี้คุณภาพการรักษาระดับแรงดัน ว่าขึ้นอยู่กับกระแสของโหลดมากหรือน้อย เรียกว่า load regulation ซึ่งหาได้จาก

$$\text{load regulation} = V_{NL} - V_{FL} \text{ V}$$

หรือ

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

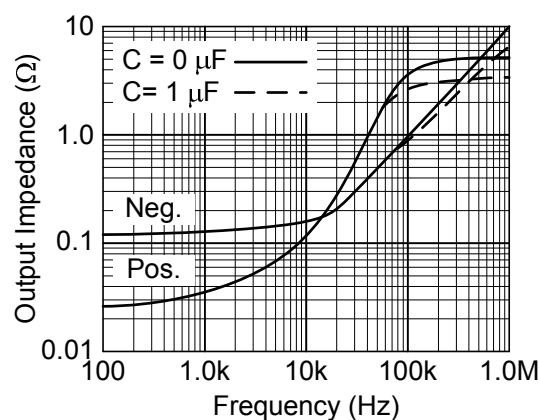
โดยที่ V_{NL} คือ แรงดันขณะที่กระแสโหลดเป็นศูนย์ และ V_{FL} คือ แรงดันขณะที่กระแสโหลดไหลตามพิกัดของแหล่งจ่ายไฟ. นอกจากนี้ การหาความต้านทานภายในของวงจรควบคุมแรงดัน จะเป็นอีกวิธีหนึ่งในการวัดคุณภาพของแหล่งจ่ายแรงดัน.

บางที่จะนิยาม load regulation ดังต่อไปนี้

$$\text{load regulation} = \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta I_L}$$

โดยที่ ΔV_{OUT} คือ แรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนไป เมื่อมีกระแสกระแสของโหลดเปลี่ยนไปด้วยขนาด ΔI_L .

โหลดประเภทวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะมีการใช้กระแสไฟฟ้าไม่คงที่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตและการทำงานในขณะนั้น. ตัวบ่งชี้ที่ดีอีกตัวหนึ่งคือ ขนาด impedance ภายในของวงจรควบคุมแรงดันที่ความถี่ต่างๆ. โดยทั่วไป impedance ของวงจรควบคุมแรงดันที่ความถี่ต่ำจะมีค่าต่ำ. แต่ที่ความถี่สูงขึ้น impedance ภายในจะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย. เราสามารถลดขนาด impedance ที่มองเข้าที่ขั้วเอาต์พุตของวงจรควบคุมแรงดัน โดยการต่อ C ครอบคลุมขั้วเอาต์พุตกับกราวด์ เพื่อให้ impedance ของ C ซึ่งลดลงตามความถี่ ช่วยทำให้ impedance ที่ขั้วเอาต์พุตที่มี C ต่อขนานอยู่ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9.



รูปที่ 3.9 กราฟแสดง output impedance ที่ไม่ได้ต่อ C และที่มี C ต่อขนานอยู่ ที่ความถี่ต่างๆ.

ตัวบ่งชี้คุณภาพวงจรควบคุมแรงดันอีกตัวหนึ่ง คือ line regulation เป็นการวัดคุณภาพการรักษา ระดับแรงดันเอาต์พุต เมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง. ในอุดมคติ เมื่อแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นหรือลดลง แรงดันเอาต์พุตจะต้องเท่าเดิม. แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตของ แหล่งจ่ายแรงดันที่ดีจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก และในทางกลับกัน เมื่อแรงดันอินพุตลดลง แรงดันเอาต์พุตของ แหล่งจ่ายแรงดันที่ดีจะลดลงน้อยมากเช่นกัน. เราสามารถคำนวณหา line regulation ได้จาก

$$\text{line regulation} = \frac{\Delta V_{OUT}}{V}$$

หรือ

$$\% \text{ line regulation} = \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \times 100$$

การทดสอบเพื่อหา line regulation นั้น จะต้องมีการชี้แจงเงื่อนไขกระแสของโหลดในขณะนั้นให้ ชัดเจนด้วย ซึ่งอาจจะเป็นตอนไม่มีกระแสโหลด, กระแสโหลดเป็นครึ่งหนึ่งของพิกัด, และกระแสโหลด ตามพิกัด.

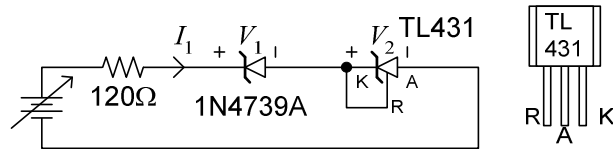
3.7. อุปกรณ์การทดลอง

ซีเนอริไดโอด 9.1V เบอร์ 1N4739A	1 ตัว
TL431	1 ตัว
7810	1 ตัว
LM317	1 ตัว
ครีระบายความร้อนสำหรับตัวถัง TO-220 และน็อตยึด	1 ตัว
ไขควง	1 ตัว
R Volume 1 k Ω	1 ตัว
R 1/4W 5% 9.1k Ω , 3k Ω , 1k Ω , 470 Ω อย่างละ	1 ตัว
R 1/2W 5% 300 Ω , 240 Ω อย่างละ	1 ตัว
R 1W 5% 200 Ω , 180 Ω , 120 Ω อย่างละ	1 ตัว
ดิจิทัลดัลติมิเตอร์	3 เครื่อง
ออสซิลโลสโคป	1 เครื่อง

3.8. การทดลอง

3.8.1. วัด V-I Characteristic ของซีเนอริไดโอด 1N4739A และ TL431

ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 3.10. ปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ เพื่อให้ได้กระแสตามค่าที่กำหนดไว้ใน คอลัมน์ซ้ายมือสุดของตารางที่ 3.4. วัดแรงดันคร่อมตัว 1N4739A (V_1) และ TL431 (V_2) โดยใช้ digital multimeter แล้วบันทึกค่าลงในตาราง.



รูปที่ 3.10 วงจรที่ใช้วัด V-I characteristic ของ 1N4739A และ TL431.

ตารางที่ 3.4 กระแสและแรงดันตกคร่อม 1N4739A และ TL431.

กระแส I_1 (mA)	V_1 คร่อม 1N4739A (V)	V_2 คร่อม TL431 (V)
1		
2		
5		
10		
15		
20		
30		
40		

ในรายงานให้นำกระแสและแรงดันที่บันทึกไว้ในตารางที่ 3.4 มาเขียนกราฟ โดยให้กระแสเป็นแกนนอน และแรงดันเป็นแกนตั้ง. จากกราฟที่ได้ ให้ประมาณค่า dynamic resistance (R_{ac}) ของทั้ง 1N4739A และ TL431 โดยนำข้อมูลแรงดันที่กระแสประมาณ 15 mA มาคำนวณ.

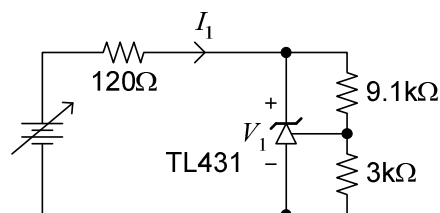
$$R_{ac} \text{ ของ 1N4739A} = \text{_____ } \Omega$$

$$R_{ac} \text{ ของ TL431 } (V_Z = V_{REF}) = \text{_____ } \Omega$$

ในรายงานให้เขียนอภิปรายผลเปรียบเทียบ R_{ac} ระหว่างซีเนอร์ไดโอดทั้งสองตัวด้วย.

3.8.2. วัด V-I Characteristic ของวงจรที่ใช้ IC TL431 ซึ่งมี V_Z ประมาณ 10 V

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.11. ปรับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ เพื่อให้ได้กระแสตามค่าที่กำหนดไว้ในคอลัมน์ซ้ายมือสุดของตารางที่ 3.5 (ในหน้าถัดไป). วัดแรงดันคร่อมตัว TL431 (V_1) โดยใช้ digital multimeter แล้วบันทึกค่าลงในตาราง.



รูปที่ 3.11 วงจรที่ใช้วัด V-I characteristic ของวงจรที่ใช้ TL431 ซึ่งมี V_Z ประมาณ 10 V.

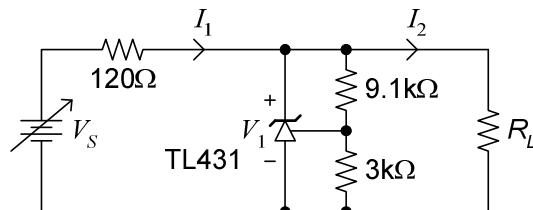
ตารางที่ 3.5 กระแสและแรงดันตกคร่อม TL431 ของวงจรในรูปที่ 3.11.

กระแส I_1 (mA)	V_1 คร่อม TL431 (V)
1	
2	
5	
10	
15	
20	
30	
40	

ในรายงานให้นำกระแสและแรงดันที่บันทึกไว้ในตารางที่ 3.5 มาเขียนกราฟลงในกระดาษกราฟเดียวกันกับข้อ 3.8.1 โดยให้กระแสเป็นแกนนอน และแรงดันเป็นแกนตั้ง. จากกราฟที่ได้ ให้ประมาณค่า R_{ac} ของ TL431 โดยนำข้อมูลแรงดันที่กระแสประมาณ 15 mA มาคำนวณ. ในรายงานให้เขียนอภิปรายเปรียบเทียบ R_{ac} ของ TL431 ที่ได้จากการทดลองนี้ ($V_z \approx 10V$) กับการทดลองที่แล้ว ($V_z \approx 2.5V$) ด้วย.

3.8.3. วงจรควบคุมแรงดันคงที่แบบที่ใช้ IC TL431 ซึ่งมี V_z ประมาณ 10 V

ใช้วงจรจากการทดลองที่แล้ว และให้เพิ่ม R_L เข้าไปในวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.12. ตั้งแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ V_S ไว้ที่ 15 V. เปลี่ยนความต้านทาน R_L ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.6. วัดกระแส I_1 , I_2 , และแรงดัน V_1 ด้วย digital multimeters แล้วบันทึกค่าลงในตารางด้วย.



รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมแรงดันคงที่แบบใช้ IC TL431 ซึ่งมี V_z ประมาณ 10 V.

ตารางที่ 3.6 บันทึกผลของ R_L ที่มีต่อแรงดัน V_1 ของวงจรในรูปที่ 3.12.

R_L (Ω)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	V_1 (V)	$P_{in} = V_S I_1$	$P_L = V_1 I_2$	$P_{loss} = P_{in} - P_L$
1k						
470						
300						
240						
200						
180						

ในรายงานให้นำข้อมูลที่ได้ในตารางไปเขียนกราฟ โดยให้ I_2 เป็นแกนนอน และ I_1 กับ V_1 เป็นแกนตั้ง. คำนวณหาค่าพลังงานขาเข้า $P_{in} = V_S I_1$, ค่าพลังงาน $P_L = V_1 I_2$ ซึ่งเกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน R_L , และค่าพลังงานสูญเสีย $P_{loss} = P_{in} - P_L$ ในวงจรควบคุมแรงดัน. ขอให้สังเกตว่า ถ้า I_2 เกินกว่าค่าๆหนึ่ง วงจรจะไม่สามารถควบคุมแรงดัน V_1 ให้คงที่ได้. ให้อภิปรายผลที่ได้ในรายงานด้วย.

ใช้วงจรตามรูปที่ 3.12 โดยให้ R_L เท่ากับ $300\ \Omega$. ปรับค่าแรงดัน V_S ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.7. วัดกระแส I_1 , I_2 , และแรงดัน V_1 ด้วย digital multimeters แล้วบันทึกค่าลงในตารางด้วย.

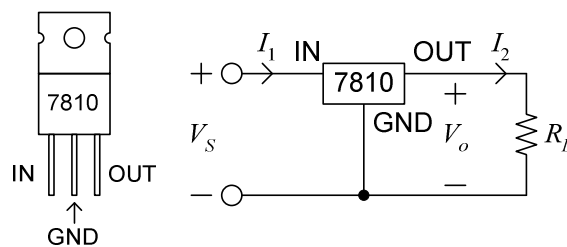
ตารางที่ 3.7 บันทึกผลของ V_S ที่มีต่อแรงดัน V_1 ของวงจรในรูปที่ 3.12.

V_S (V)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	V_1 (V)
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

ในรายงานให้นำข้อมูลที่ได้ในตารางไปเขียนกราฟ โดยให้ V_S เป็นแกนนอน และ I_1 , I_2 กับ V_1 เป็นแกนตั้ง และให้อภิปรายผลที่ได้ในรายงานด้วย.

3.8.4. วงจรควบคุมแรงดันคงที่ที่เป็น IC 3 ขา

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.13. ให้ใช้แรงดัน V_S เท่ากับ 15 V. เปลี่ยนตัวต้านทาน R_L ให้มีค่าตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.8 (ในหน้าถัดไป). วัดกระแส I_1 , I_2 , และแรงดัน V_o ด้วย digital multimeters แล้วบันทึกค่าลงในตารางด้วย.



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมแรงดันคงที่ที่ใช้ 7810.

ในรายงานให้นำข้อมูลที่ได้ในตารางไปเขียนกราฟ โดยให้ I_2 เป็นแกนนอน และ I_1 กับ V_o เป็นแกนตั้ง. คำนวณหาค่าพลังงานขาเข้า $P_{in} = V_S I_1$, ค่าพลังงาน $P_L = V_o I_2$ ซึ่งเกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน R_L , และค่าพลังงานสูญเสีย $P_{loss} = P_{in} - P_L$ ในวงจรควบคุมแรงดัน. ให้เขียนอภิปรายผลการทดลอง และเปรียบเทียบค่า

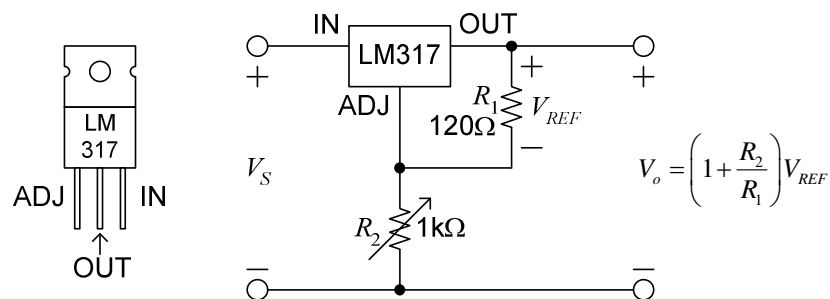
งานสูญเสียที่เกิดขึ้นในวงจรควบคุมแรงดันแบบ series ในการทดลองนี้ กับวงจรควบคุมแรงดันแบบ shunt (ตารางที่ 3.6) จากการทดลองที่แล้ว ในรายงานด้วย.

ตารางที่ 3.8 บันทึกผลของ R_L ที่มีต่อแรงดัน V_o ของวงจรในรูปที่ 3.13.

$R_L (\Omega)$	$I_1 (\text{mA})$	$I_2 (\text{mA})$	$V_o (\text{V})$	$P_{in} = V_S I_1$	$P_L = V_o I_2$	$P_{loss} = P_{in} - P_L$
1k						
470						
300						
240						
200						
180						

3.8.5. วงจรควบคุมแรงดันคงที่แบบปรับค่าได้ที่เป็น IC 3 ขา

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.14 โดยตั้งค่า V_S ไว้ที่ 15 V. ตั้งค่า R_2 เท่ากับ 0Ω วัดแรงดัน V_o ซึ่งค่านี้จะเป็นค่า V_{REF} . บันทึกค่า V_{REF} ลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.9. ปรับค่า R_2 ให้ได้ V_o ตามที่กำหนดไว้ในตาราง และบันทึกค่า R_2 ที่ใช้สำหรับ V_o แต่ละค่า.



รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมแรงดันแบบปรับค่าแรงดันได้ใช้ LM317.

ตารางที่ 3.9 บันทึกค่า R_2 ที่ทำให้เกิด V_o ตามที่กำหนดไว้ในตาราง.

$V_o (\text{V})$	$R_2 (\Omega)$
$V_{REF} = \underline{\hspace{2cm}}$	0
5	
10	

จากค่าในตารางข้างบนนี้ ให้ตรวจสอบความสอดคล้องของผลการทดลองกับสมการ

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{REF}.$$

3.9. สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้

ให้สรุปสิ่งที่เรียนรู้ทั้งหมดจากการทดลองแยกเป็นอีกหัวข้อหนึ่งในท้ายรายงาน โดยสรุปเรียงตามลำดับเรื่องที่ทดลอง.