

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะใช้ rectifier เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง ตามด้วยการใช้ filter ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน หรือบางครั้งเป็นตัวเหนี่ยวนำมากกว่า 1 ตัว เพื่อกรอง (ทำให้เรียบ) สัญญาณสลับ แรงดันไฟฟ้าสลับที่ไม่ต้องการที่ยังเหลืออยู่เล็กน้อย ที่เรียกว่า ripple คือส่วนของสัญญาณที่ไม่สามารถกำจัดได้แต่สามารถจำกัดได้

เดิมแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ไม่ได้รับการ regulated ประกอบด้วยวงจรกรองและวงจร rectifier แสดงดังรูป เอาท์พุทจาก rectifier นั้นเป็นสัญญาณ pulsating pulsations นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์ a.c. ในเอาท์พุทของ rectifier วงจรกรองนี้กำจัด a.c. component ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้า d.c. ตกคร่อมโหลด

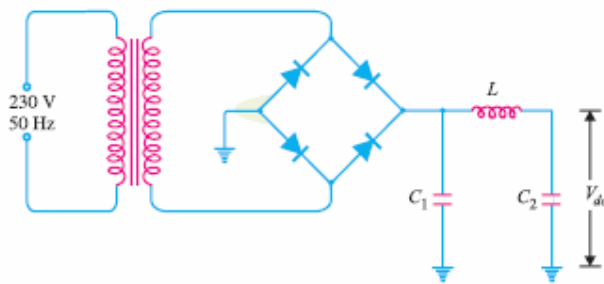


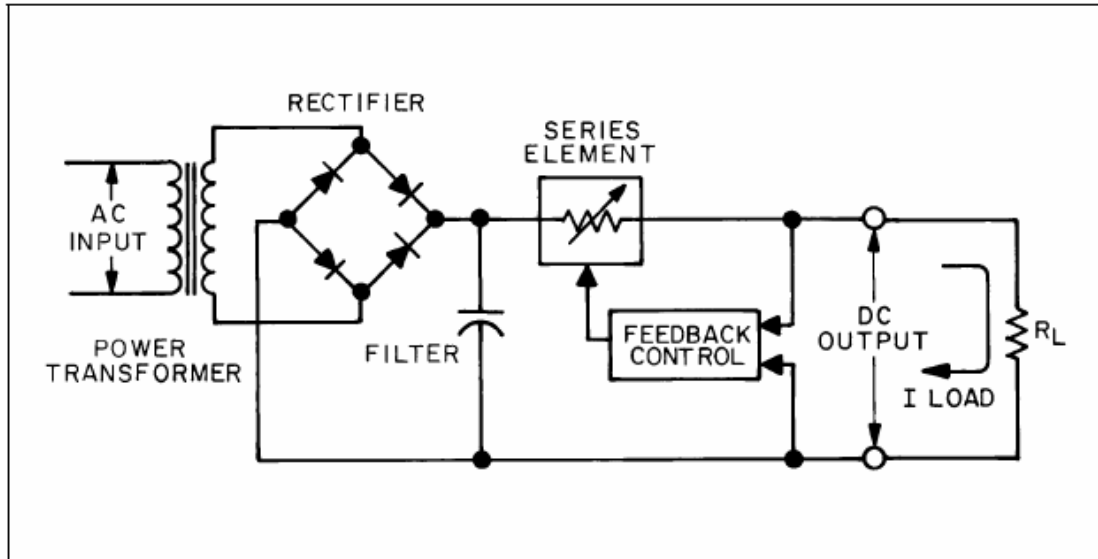
Fig. 17.1

ข้อจำกัด: แหล่งจ่าย d.c. ดังเดิมนั้นมี drawbacks ต่อไปนี้

- (i) แรงดันไฟเอาท์พุท D.C. เปลี่ยนโดยตรงตามแรงดัน A.C. input ตัวอย่างเช่น การเพิ่มแรงดันอินพุท A.C. 5% ทำให้เพิ่มแรงดันเอาท์พุท D.C 5%
- (ii) แรงดันเอาท์พุท D.C ลดลงเมื่อกระแสไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ (a) ขดลวดหม้อแปลง (b) rectifier และ (c) วงจรกรอง

การเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุท D.C นี้ อาจทำให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดหรือแม้แต่ทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากเสียหาย ตัวอย่างเช่น สำหรับ oscillator ความถี่จะเคลื่อน และใน transmitters จะเกิดสัญญาณเอาท์พุทผิดเพี้ยนไป ดังนั้น แหล่งจ่ายกำลังดั้งเดิมจึงไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก จึงถูกแทนที่ด้วยแหล่งจ่ายกำลังที่ได้รับการ regulated

DC Power Supply Definition



รูปที่ 1 แผนผังวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงพื้นฐาน

<http://www.ieeta.pt/~alex/docs/applicationnotes/dc%20power%20supply%20handbook.pdf>

วิธีการออกแบบพื้นฐาน ประกอบด้วยการต่ออุปกรณ์ควบคุมแบบอนุกรมกับ rectifier และ โหลด รูปข้างต้นแสดงแผนผังอย่างง่ายสำหรับแหล่งจ่ายไฟที่ถูก regulated แบบอนุกรม วงจรควบคุมย้อนกลับทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณเอาท์พุทและรับค่าความต้านทานแบบอนุกรมให้รักษาแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ เนื่องจากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงได้ดังรูปข้างต้น นั่นคือตัวทรานซิสเตอร์กำลัง 1 หรือมากกว่าทำงานในย่านเชิงเส้น จึงมักเลือกแหล่งจ่ายที่มี regulator นี้อยู่ว่าแหล่งจ่ายกำลังเชิงเส้น

ให้สังเกตว่าสามารถต่อตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้นี้แบบขนานเข้ากับ โหลด เพื่อสร้างเป็น shunt regulator ได้ อย่างไรก็ตาม regulator ชนิดนี้ นำมาใช้กันน้อยมาก เนื่องจากต้องทนระดับแรงดันเอาท์พุทสูงสุดภายใต้เงื่อนไขการทำงานปกติ ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำลงสำหรับการใช้งานเกือบทั้งหมด

แหล่งจ่ายกำลังที่ถูก regulated แบบอนุกรมทั่วไป

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นหลักการวงจรย่อ regulated แบบอนุกรม หลังจากผ่านสัญญาณ ac ทางหม้อแปลงกำลังแล้ว จะถูก rectified และ filtered จากการย้อนกลับนี้ regulator แบบอนุกรมจะเตือนการตกของกระแส เพื่อให้ระดับแรงดันเอาท์พุท dc ที่ถูก regulated ให้คงที่ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงใน ac line, โหลด หรืออุณหภูมิรอยๆ

แอมพลิฟายเออร์สำหรับการเปรียบเทียบ จะ

DC Power Supply Definition

<http://www.kpsec.freeuk.com/powersup.htm>

หม้อแปลง

หม้อแปลงทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าสลับจากระดับแรงดันไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกระดับแรงดันไฟฟ้าหนึ่ง โดยมีการสูญเสียกำลังน้อยมาก เรียกส่วนขดลวดอินพุทว่า primary และเรียกส่วนขดลวดเอาต์พุทว่า secondary ไม่มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองนี้ แต่ทั้งสองเชื่อมต่อกันด้วยสนามแม่เหล็กสลับที่สร้างจากแท่งโลหะอ่อนของหม้อแปลง จากสัญลักษณ์ของหม้อแปลง เส้นตรงตรงกลางวงจรถือแท่งโลหะที่กล่าวถึงนั่นเอง

อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของแต่ละขดลวดนั้นเรียกว่าอัตราส่วนรอบ แสดงอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้วย ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนจำนวนรอบ } \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \quad \text{และ}$$

กำลังไฟฟ้าขาออก=กำลังไฟฟ้าขาเข้า

$$V_S \times I_S = V_P \times I_P \quad \text{เมื่อ}$$

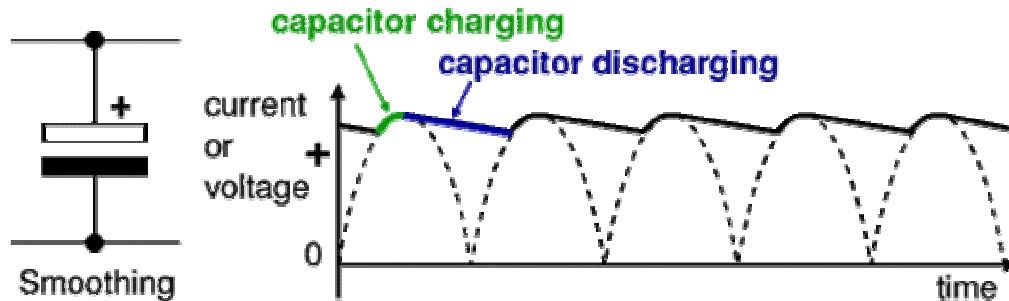
V_P	คือแรงดันไฟฟ้าหลัก(อินพุท)	V_S	คือแรงดันไฟฟารอง(เอาต์พุท)
N_P	คือจำนวนรอบของขดลวดหลัก	N_S	คือจำนวนรอบของขดลวดรอง
I_P	คือกระแสไฟฟ้าหลัก(อินพุท)	I_S	คือกระแสไฟฟารอง(เอาต์พุท)

Smoothing is performed by a large value [electrolytic capacitor](#) connected across the DC supply to act as a reservoir, supplying current to the output when the varying DC voltage from the rectifier is falling. The diagram shows the unsmoothed varying DC (dotted line) and the smoothed DC (solid line). The capacitor charges quickly near the peak of the varying DC, and then discharges as it supplies current to the output.
การทำให้สัญญาณเรียบ

การทำให้สัญญาณเรียบนั้นทำได้โดยใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ต่อคร่อมแหล่งจ่ายไฟ DC ที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวเก็บไฟ ให้กระแสเอาต์พุท เมื่อแรงดันไฟฟ้า DC ที่เปลี่ยนไปจาก rectifier ตกลง แผนผังแสดงสัญญาณ DC ที่เปลี่ยนแปลงและไม่คงที่(เส้นประ) และ

DC Power Supply Definition

สัญญาณ DC ที่เรียบ(เส้นทึบ) ตัวเก็บประจุจะทำการประจุอย่างใกล้ชิดกับยอดสัญญาณของ DC ที่เปลี่ยนแปลงไป และปล่อยประจุออกมาเมื่อจ่ายกระแสให้แก่เอาต์พุต



Note that smoothing significantly increases the average DC voltage to almost the peak value ($1.4 \times \text{RMS}$ value). For example 6V RMS AC is rectified to full wave DC of about 4.6V RMS (1.4V is lost in the bridge rectifier), with smoothing this increases to almost the peak value giving $1.4 \times 4.6 = 6.4\text{V}$ smooth DC.

Smoothing is not perfect due to the capacitor voltage falling a little as it discharges, giving a small **ripple voltage**. For many circuits a ripple which is 10% of the supply voltage is satisfactory and the equation below gives the required value for the smoothing capacitor. A larger capacitor will give less ripple. The capacitor value must be doubled when smoothing half-wave DC.

$$\text{Smoothing capacitor for 10\% ripple, } C = \frac{5 \times I_o}{V_s \times f}$$

There is more information about smoothing on the [Electronics in Meccano](#) website.

C = smoothing capacitance in farads (F)

I_o = output current from the supply in amps (A)

V_s = supply voltage in volts (V), this is the peak value of the unsmoothed DC

f = frequency of the AC supply in hertz (Hz), 50Hz in the UK

ศัพท์ทางเทคนิคที่สำคัญ

เพื่อเปรียบเทียบแหล่งจ่ายไฟชนิดต่างกัน ศัพท์ทางเทคนิคต่อไปนี้มักจะนำมาใช้:

อิทธิภูมิ บุญพิงค์

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

DC Power Supply Definition

(i) **Voltage regulation** แรงดันไฟตรงจากเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟขึ้นกับกระแสโหลด หากกระแสโหลด I_{dc} เพิ่มขึ้นโดยโหลด R_L จะทำให้แรงดันไฟตกคร่อมแหล่งจ่ายมากขึ้น ทำให้มีแรงดันไฟเอาต์พุตตรงลดลง ในทางกลับกัน หากกระแสโหลดลดลง การเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุตเนื่องจากกระแสโหลดถูกดึงจากแหล่งจ่ายไฟนี้แยกกันว่า voltage regulation แสดงตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้:

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

เมื่อ V_{NL} = แรงดันไฟเอาต์พุตตรงเมื่อไม่มีโหลดต่ออยู่
 V_{FL} = แรงดันไฟเอาต์พุตตรงเมื่อมีโหลดสูงสุดต่ออยู่

รูปที่ 17.2

รูปที่ 17.3

สำหรับแหล่งจ่ายไฟที่ได้รับการออกแบบดี แรงดันไฟโหลดสูงสุดนั้นจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟที่ไม่มีโหลดต่อเพียงเล็กน้อย หรือค่า voltage regulation จะเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้น ยิ่งค่า voltage regulation ยิ่งต่ำ ความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟโหลดสูงสุดและเมื่อไม่มีโหลดจะน้อยลง นั่นคือได้แหล่งจ่ายไฟที่ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น แหล่งจ่ายไฟที่นำมาใช้งานกันทั่วไปจะมีค่า voltage regulation 1% หรือแรงดันโหลดสูงสุดจะอยู่ในช่วง 1% ของแรงดันที่ไม่มีโหลด รูปที่ 17.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟเอาต์พุตตรงพร้อมกระแสโหลด หรือเป็นกราฟที่เรียกว่ากราฟ voltage regulation

หมายเหตุ: เรียก voltage regulation ข้างต้นว่า load regulation เนื่องจากแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตเนื่องจากการเปลี่ยนกระแสโหลด ยังมี voltage regulation ชนิดอื่นที่เรียกว่า line regulation และแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต เนื่องจากแรงดันอินพุต เปลี่ยนแปลงไป

(ii) ความต้านทานโหลดต่ำสุด การเปลี่ยนแปลงโหลดที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟเปลวลิยเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสโหลดรวมถึงแรงดันเอาต์พุตตรงด้วย เพื่อที่แหล่งจ่ายไฟจะให้แรงดันและกระแสเอาต์พุตตามที่ต้องการ จะยอมให้ความต้านทานโหลดต่ำสุดค่าหนึ่งเท่านั้น ตัวอย่างเช่น หากต้องการให้แหล่งจ่ายไฟส่งกระแสโหลดสูงสุดหรือ I_{FL} ที่แรงดันโหลดสูงสุดหรือ V_{FL} เราได้

$$R_{L(\min)} = \frac{V_{FL}}{I_{FL}}$$

DC Power Supply Definition

ดังนั้น หากข้อมูลแสดงว่าแหล่งจ่ายไฟจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็น 100 V ที่กระแสที่กำหนดไว้สูงสุด 0.4 A ความต้านทานโหลดต่ำสุดที่เราสามารถต่อเข้ากับแหล่งจ่ายได้จึงมีค่าเป็น $R_{\min} = 100/0.4 = 250\Omega$ หากพยายามที่จะลดค่า R_L ให้ต่ำกว่าค่านี้ จะไม่ได้ค่าแรงดันไฟเอาต์พุตตรงที่กำหนดไว้

ตัวอย่าง หากแรงดันเอาต์พุตตรงคือ 400 V เมื่อไม่มีโหลดต่อเข้ากับแหล่งจ่าย แต่ลดลงเหลือ 300 V ที่โหลดสูงสุด จงหาเปอร์เซ็นต์ voltage regulation

$$V_{NL} = 400V; V_{FL} = 300V \quad \text{ดังนั้น}$$

$$\% \text{ Voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = \frac{400 - 300}{300} \times 100 = 33.33\%$$

ตัวอย่าง แหล่งจ่ายไฟมีค่า voltage regulation เป็น 1% หากแรงดันไฟที่ไม่มีโหลดคือ 30 V จงหาแรงดันโหลดสูงสุด

$$\% \text{ Voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = 1 = \frac{30 - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 =$$
$$V_{FL} = 29.7 \text{ V}$$

ตัวอย่าง แหล่งจ่ายไฟ 2 ชุดคือ A และ B มีอยู่ในห้องตลาด แหล่งจ่ายไฟ A มีแรงดันสำหรับไม่มีโหลดและโหลดสูงสุดเป็น 30V และ 25V ตามลำดับ ขณะที่ค่าเหล่านี้คือ 30V และ 29V สำหรับแหล่งจ่ายไฟ B แหล่งจ่ายไฟใดดีกว่า?

แหล่งจ่ายไฟดีกว่าหากมีค่า voltage regulation ที่ต่ำกว่า

แหล่งจ่ายไฟ A

$$V_{NL} = 30V; V_{FL} = 25V \quad \text{ดังนั้น}$$

$$\% \text{ Voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = \frac{30 - 25}{25} \times 100 = 20\%$$

แหล่งจ่ายไฟ B

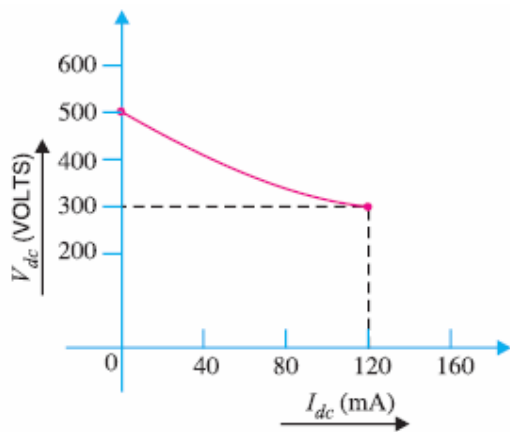
DC Power Supply Definition

$$V_{NL} = 30V; V_{FL} = 29V \quad \text{ดังนั้น}$$

$$\% \text{ Voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = \frac{30 - 29}{29} \times 100 = 4.35\%$$

ดังนั้น แหล่งจ่ายไฟ B ดีกว่าแหล่งจ่ายไฟ A

ตัวอย่าง รูปที่ 17.4 แสดงกราฟ regulation สำหรับแหล่งจ่ายไฟ จงแสดง(i) ค่า voltage regulation และ (ii) ความต้านทานโหลดต่ำสุด



รูปที่ 17.4

อ้างอิงกราฟ regulation แสดงดังรูป 17.4 เห็นได้ชัดว่า

$$V_{NL} = 500V; V_{FL} = 300V$$

$$I_{FL} = 120mA; R_L(\text{min}) = ?$$

$$(i) \quad \text{Regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = \frac{500 - 300}{300} \times 100 = 66.7\%$$

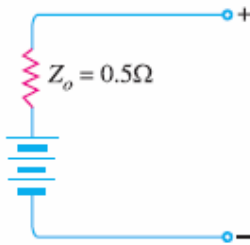
$$(ii) \quad R_L(\text{min}) = \frac{V_{FL}}{I_{FL}} = \frac{300V}{120mA} = 2.5k\Omega$$

DC Power Supply Definition

ตัวอย่าง เมื่อเพิ่มกระแส 1A ให้แก่โหลดกับกระแสโหลด 1A เดิม แรงดันไฟของแหล่งจ่ายไฟตกลงจาก 10.5V เป็น 10V จงคำนวณหา (i) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟนี้ และ (ii) แรงดันไฟไม่มีโหลดของแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟที่ใช้งานทั้งหมดจะมีค่าอิมพีแดนซ์ (มักเรียกว่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์) เสมอ ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ Z_0 แสดงดังรูป 17.5 หรือมีค่าเท่ากับอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงแรงดันโหลดต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสโหลดที่สัมพันธ์กัน หรือ

$$Z_0 = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L}$$



(i) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟคือ

$$Z_0 = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} = \frac{10.5V - 10V}{1A} = 0.5\Omega$$

(ii) ตอนนี้อยู่ $Z_0 = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L}$ หรือ

$$0.5 = \frac{V_{NL} - 10.5}{1A} \quad \text{ดังนั้น}$$

$$V_{NL} = 0.5 \times 1 + 10.5 = 11.0V$$

ตัวอย่าง แหล่งจ่ายไฟตรงนำกระแส 10V (ปกติ) ไปยังโหลดที่เปลี่ยนระดับกระแสแบบสัญญาณชานน์ระหว่าง 0.5A และ 1A ที่ความถี่ 10kHz หากเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟคือ 0.01Ω ที่ 10kHz จงหาการกระเพื่อมแรงดันเอาต์พุตเนื่องจากการเปลี่ยนค่าโหลดเป็นคาบนี้

DC Power Supply Definition

สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับโหลดทันทีทันใด สถานการณ์ปกติในระบบอิเล็กทรอนิกส์ เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของการเปลี่ยนแปลง โหลด การเปลี่ยนแปลงตามความถี่นี้เกิดขึ้นเนื่องจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟ

เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟคือ

$$Z_0 = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} \quad \text{หรือ}$$

$$\Delta V_L = Z_0 \times \Delta I_L = 0.01 \times (1 - 0.5) = 0.005V = 5mV$$

ดังนั้น แรงดันเอาท์พุทจะมีค่ากระเพื่อม 5mV p-p ที่ความถี่ 10kHz

หมายเหตุ: แหล่งจ่ายไฟนั้นไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นแหล่งแรงดันไฟ แต่ยังรวมถึงเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ด้วย เมื่อกำลังแหล่งจ่ายไฟ เอาท์พุทอิมพีแดนซ์นั้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะพิจารณา ยิ่งเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ยิ่งน้อยจะได้แหล่งจ่ายไฟที่ดีขึ้น

ตัวอย่าง voltage regulator ได้รับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟเอาท์พุท $10 \mu V$ เมื่อแรงดันอินพุทเปลี่ยนไป 5V จงหาค่า line regulation สำหรับวงจรนี้

ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทสำหรับ voltage regulator จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุท ค่า line regulation ของ voltage regulator แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุทที่เกิดขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุท 1 หน่วย หรือ

$$\text{Line regulation} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{10 \mu V}{5V} = 2 \mu V / V$$

ค่า voltage regulation $2 \mu V / V$ หมายความว่า แรงดันเอาท์พุทจะเปลี่ยนไป $2 \mu V$ สำหรับแรงดันอินพุทของ regulator ที่เปลี่ยนไป 1V

เงื่อนไขสำหรับการทำงานที่เหมาะสมสำหรับ Zener Regulator

เมื่อต่อ zener diode เข้ากับวงจรสำหรับ voltage regulation ต้องตรงตามเงื่อนไขต่อไปนี้

- (i) zener ต้องทำงานในย่าน breakdown หรือย่าน regulating เช่นระหว่าง $I_{Z(max)}$ และ $I_{Z(min)}$ กระแส $I_{Z(min)}$ (โดยทั่วไปแล้วคือ 10 mA) คือกระแส zener ต่ำสุดเพื่อป้อนให้แก่ zener

อิทธิภูมิ บุญพิศา

9

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

DC Power Supply Definition

diode ในสถานะ ON เช่น ย้าย regulating กระแส $I_{Z(\max)}$ คือกระแส zener สูงสุดที่ ener diode สามารถนำได้โดยไม่เสียหายเนื่องจากร้อนเกินไป

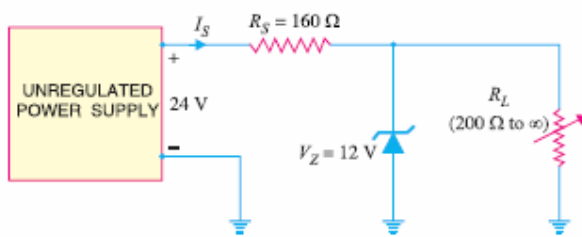
- (ii) ไม่ควรรให้ zener มี dissipation power เกิดที่กำหนดไว้ มิฉะนั้นแล้วจะเสียหายเนื่องจากร้อนเกินไป หาก power dissipation สูงสุดของ zener คือ $P_{Z(\max)}$ และ แรงดันไฟ zener คือ V_Z ดังนั้น

$$P_{Z(\max)} = V_Z I_{Z(\max)}$$

$$I_{Z(\max)} = \frac{P_{Z(\max)}}{V_Z}$$

- (iii) หากค่า R_L ต่ำสุด เพื่อให้แน่ใจว่าไดโอดจะยังคงทำงานอยู่ในย่าน regulating เช่น ย่าน breakdown หากค่า R_L ต่ำกว่าค่าต่ำสุดนี้ จะไม่ได้แรงไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อคร่อม zener เพื่อขับไดโอดนี้ให้ทำงานในย่าน breakdown

ตัวอย่าง รูปที่ 17.11 แสดง zener regulator จงคำนวณหา (i) กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานแบบอนุกรม (ii) กระแสไหลต่ำสุดและสูงสุด และ (iii) กระแส zener สูงสุดและต่ำสุด อธิบายผลที่ได้



รูปที่ 17.11

(i)
$$I_S = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_S} = \frac{24 - 12}{160} = \frac{12V}{160\Omega} = 75mA$$

(ii) กระแสไหลต่ำสุดเกิดขึ้นเมื่อ $R_L \rightarrow \infty$

$$I_{L(\min)} = 0A$$

กระแสไหลสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อ $R_L = 200\Omega$

DC Power Supply Definition

$$\text{ดังนั้น } I_{L(\max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(\min)}} = \frac{12V}{200\Omega} = 60mA$$

$$(iii) \quad I_{Z(\min)} = I_S - I_{L(\max)} = 75 - 60 = 15mA$$

$$I_{Z(\max)} = I_S - I_{L(\min)} = 75 - 0 = 75mA$$

อธิบาย: กระแส I_S ผ่านค่าต้านทานอนุกรม R_S ลงที่ เมื่อกระแสไหลลดเพิ่มจาก 0 เป็น 60 mA กระแส Zener ลดลงจาก 75mA เป็น 15 mA รักษาค่า I_S ให้คงที่ เป็นการทำงานปกติของ zener regulator เช่น I_S และ V_{out} ยังคงคงที่แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนกระแสไหลหรือแรงดันแหล่งจ่าย

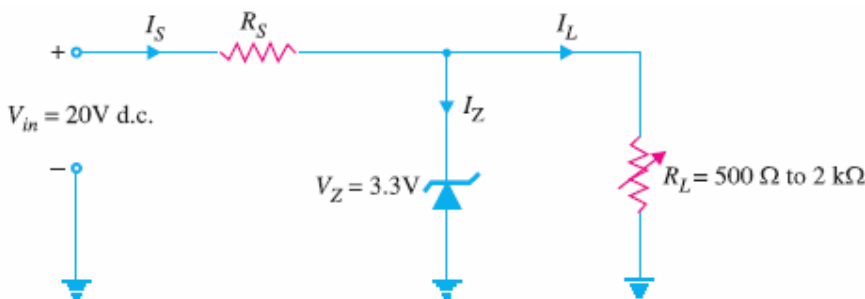
ตัวอย่าง Zener regulator ค่า $V_Z = 15V$. แรงดันอินพุตอาจเปลี่ยนจาก 22V เป็น 40V และกระแสไหลลดจาก 20 mA เป็น 100 mA. เพื่อรักษาแรงดันไหลคงที่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆทั้งหมด ค่าความต้านทานขนานควรเป็นเท่าใด?

เพื่อที่ Zener regulator อาจจะรักษาแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ภายใต้เงื่อนไขการทำงานทั้งหมด Zener นี้ต้องทำงานในย่าน breakdown หรืออีกนัยหนึ่ง ต้องมีกระแส Zener สำหรับแรงดันอินพุตและกระแสไหลลดทั้งหมด กรณีแย่สุดเกิดขึ้นเมื่อแรงดันอินพุตนั้นต่ำสุดและกระแสไหลลดสูงสุด เนื่องจากกระแส Zener จะตกลงให้เป็นค่าต่ำสุด

$$R_{S(\max)} = \frac{V_{in(\min)} - V_{out}}{I_{L(\max)}} = \frac{22 - 15}{0.1} = \frac{7V}{0.1A} = 70\Omega$$

ตัวอย่าง จงหาค่า R_S ต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับวงจร Zener voltage regulator ดังรูป 17.12 สำหรับการดำเนินงานของ Zener ดังนี้

$$V_Z = 3.3V; I_{Z(\min)} = 3mA; I_{Z(\max)} = 100mA$$



อิทธิภูมิ บุญพิงค์

DC Power Supply Definition

เมื่อโหลด R_L เป็นค่าอนันต์ หรือวงจรเปิด กระแส line ทั้งหมด I_S จะไหลผ่าน Zener และค่า R_S ควรจะเป็นค่าที่ป้องกันไม่ให้ค่ากระแส line I_S เกินค่า $I_{Z(max)}$ หากโหลดเปิด

ดังนั้น
$$R_{S(min)} = \frac{V_{in} - V_Z}{I_{Z(max)}} = \frac{20 - 3.3}{100mA} = 167\Omega$$

ตัวอย่าง จงหาค่า R_S สูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับวงจร Zener voltage regulator แสดงดังรูป 17.12

ค่า R_S สูงสุดนั้นถูกจำกัดโดยข้อกำหนดกระแสรวมในวงจรนี้ ค่า R_S ต้องเป็นค่าที่ทำให้ $I_{Z(min)}$ ไหลผ่าน Zener diode เมื่อโหลดดึงกระแสสูงสุด

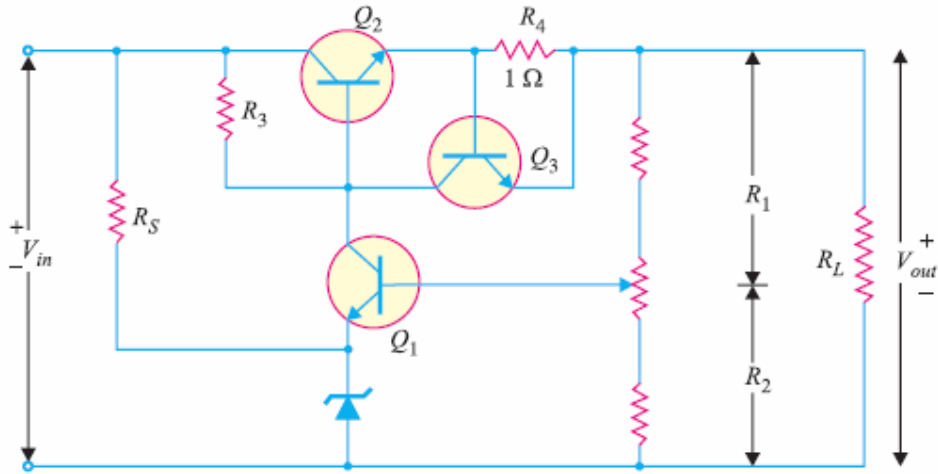
ในที่นี้
$$R_{S(max)} = \frac{V_{in} - V_Z}{I_{L(max)} + I_{Z(min)}}$$
$$I_{L(max)} = \frac{V_Z}{R_{L(min)}} = \frac{3.3V}{500\Omega} = 6.6mA$$

$$R_{S(max)} = \frac{20V - 3.3V}{6.6mA} + 3mA = \frac{16.7V}{9.6mA} = 1739\Omega$$

วงจรป้องกันการลัดวงจร

Drawback หลักของ regulator แบบขนานคือทรานซิสเตอร์นั้นอาจเสียหายได้เนื่องจากกระแส load เกิน หากบังเอิญโหลดถูกลัดวงจร เพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์เช่นนี้ จึงได้เพิ่มวงจรจำกัดกระแสเข้ากับ regulator แบบอนุกรม แสดงดังรูป 17.18 วงจรจำกัดกระแสประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 1 ตัว (Q_3) และตัวต้านทานแบบอนุกรม (R_4) ที่ต่อเข้าระหว่างขั้วเบสและอิมิตเตอร์

DC Power Supply Definition



รูปที่ 17.18

- (i) เมื่อกระแสไหลตกปกติ แรงดันตกคร่อม R_4 (=แรงดันตกคร่อม เบส-อิมิตเตอร์ของ Q_3) นั้นมีค่าต่ำ และ Q_3 จะอยู่ในสถานะ “off” ภายใต้เงื่อนไขนี้ วงจรทำงานดังที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้
- (ii) หากกระแสไหลตกเกินค่าที่กำหนดไว้ แรงดันตกคร่อม R_4 นี้จะสูงพอที่ทำให้ Q_3 อยู่ในสถานะ “on” กระแสคอลเล็กเตอร์ของ Q_3 จะไหลผ่าน R_3 จึงลดแรงดันเบสของ Q_2 การลดแรงดันเบส Q_2 ลดการนำทรานซิสเตอร์ผ่าน(เช่น Q_2) ป้องกันไม่ให้กระแส load เพิ่มอีก ดังนั้นกระแสไหลตกสำหรับวงจรนี้จึงถูกจำกัดไว้ที่ประมาณ 700 mA

ตัวอย่าง สำหรับ voltage regulator ข้อนกลับแบบอนุกรม ดังรูป 17.18 $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$, $V_Z = 6V$ และ $V_{BE} = 0.7V$ จงหาค่าแรงดันเอาต์พุตที่ถูก regulate

$$\text{เศษส่วนย้อนกลับ(Feedback fraction, } m = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2+1} = \frac{1}{3}$$

ดังนั้น การขยายแรงดันแบบวงปิด(Closed-loop voltage gain, $A_{CL} = \frac{1}{m} = 3$

$$\begin{aligned} \text{แรงดันเอาต์พุตที่ถูก regulated, } V_{out} &= A_{CL}(V_Z + V_{BE}) \\ &= 3(6 + 0.7) = 20.1V \end{aligned}$$

ตัวอย่าง สำหรับวงจร regulator ข้อนกลับแบบอนุกรม ดังรูป 17.18, $R_1 = 30k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, จงหาค่าการขยายแรงดันวงปิด

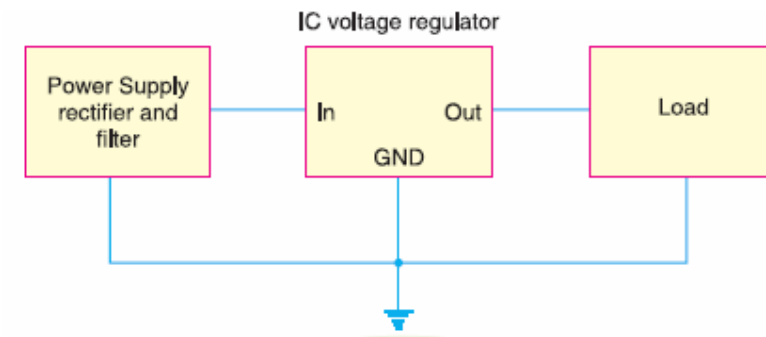
DC Power Supply Definition

$$\text{เศษส่วนย้อนกลับ(Feedback fraction, } m = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10}{30 + 10} = \frac{1}{4}$$

ดังนั้น การขยายแรงดันแบบวงปิด(Closed-loop voltage gain, $A_{CL} = \frac{1}{m} = 4$

Regulators แบบ IC สำหรับแรงดัน

เราสามารถนำวงจรรวม(integrated circuits(IC)) เพื่อสร้าง voltage regulators ได้ ข้อดีข้อหนึ่งสำหรับ voltage regulator ชนิด I คือสร้างคุณสมบัติคล้ายการชดเชยอุณหภูมิ การป้องกันการลัดวงจรและการป้องกัน สามารถสร้างเป็นอุปกรณ์ได้ voltage regulators แบบ IC ที่ใช้กันทั่วไปเกือบทั้งหมดคืออุปกรณ์ชนิด 3 ขา รูปที่ 17.25 แสดงสัญลักษณ์แผนผังสำหรับ voltage regulator IC ชนิด 3 ขา



รูปที่ 17.25

มี voltage regulators แบบ IC พื้นฐานด้วยกัน 4 ชนิด ได้แก่

- (i) voltage regulators ตายตัวชนิดบวก
- (ii) voltage regulators ตายตัวชนิดลบ
- (iii) voltage regulators ปรับค่าได้
- (iv) voltage regulators 2 ทาง

IC voltage regulators ตายตัวชนิดบวก และตายตัวชนิดลบ นั้นได้รับการออกแบบเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเฉพาะค่า ตัวอย่างเช่น LM309(ตายตัวชนิดบวก) ให้เอาต์พุตตรง + 5V(ตราบที่แรงดันอินพุต regulator นั้นอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้) voltage regulator ที่ปรับค่าได้สามารถปรับเพื่อให้แรงดันตรงใดๆ ที่อยู่ในช่วงเฉพาะ 2 ช่วง ตัวอย่างเช่น LM317 สามารถปรับเอาต์พุตไปที่ค่าใดๆได้ในช่วง 1.2V และ 32V d.c. regulator ที่ปรับค่าได้ทั้งบวกและลบนั้นมีอยู่แล้ว ส่วน regulator ชนิด 2 ทางนั้นให้แรงดัน

DC Power Supply Definition

เอาต์พุตบวกและลบเท่ากัน ตัวอย่างเช่น RC4195 ให้เอาต์พุต +15 V และ -15V d.c. และมีอยู่แล้วในท้องตลาด