หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่ง

เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งเรกกูเลเตอร์นี้ออกแบบให้สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 โวลต์ และ 110 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่ต้องการใช้กับแรงดัน 110 โวลต์ ก็กระทำได้โดยต่อจุด A กับ B เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูป 3.2 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งเรกกูเลเตอร์ ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นประกอบด้วยวงจรส่วนต่าง ๆ ซึ่งแสดงในแผนภูมิรูปที่ 3.1 ดังนี้

1 อาร์ เอฟ ไอ (Radio Frequency Interference) และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

2 พรีเรกกูเลเตอร์ และ สวิตช์ (Preregulator and Switch)

3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

4 วงจรเรียงกระแส และ ฟิลเตอร์ (Rectifier Circuit and Filter)

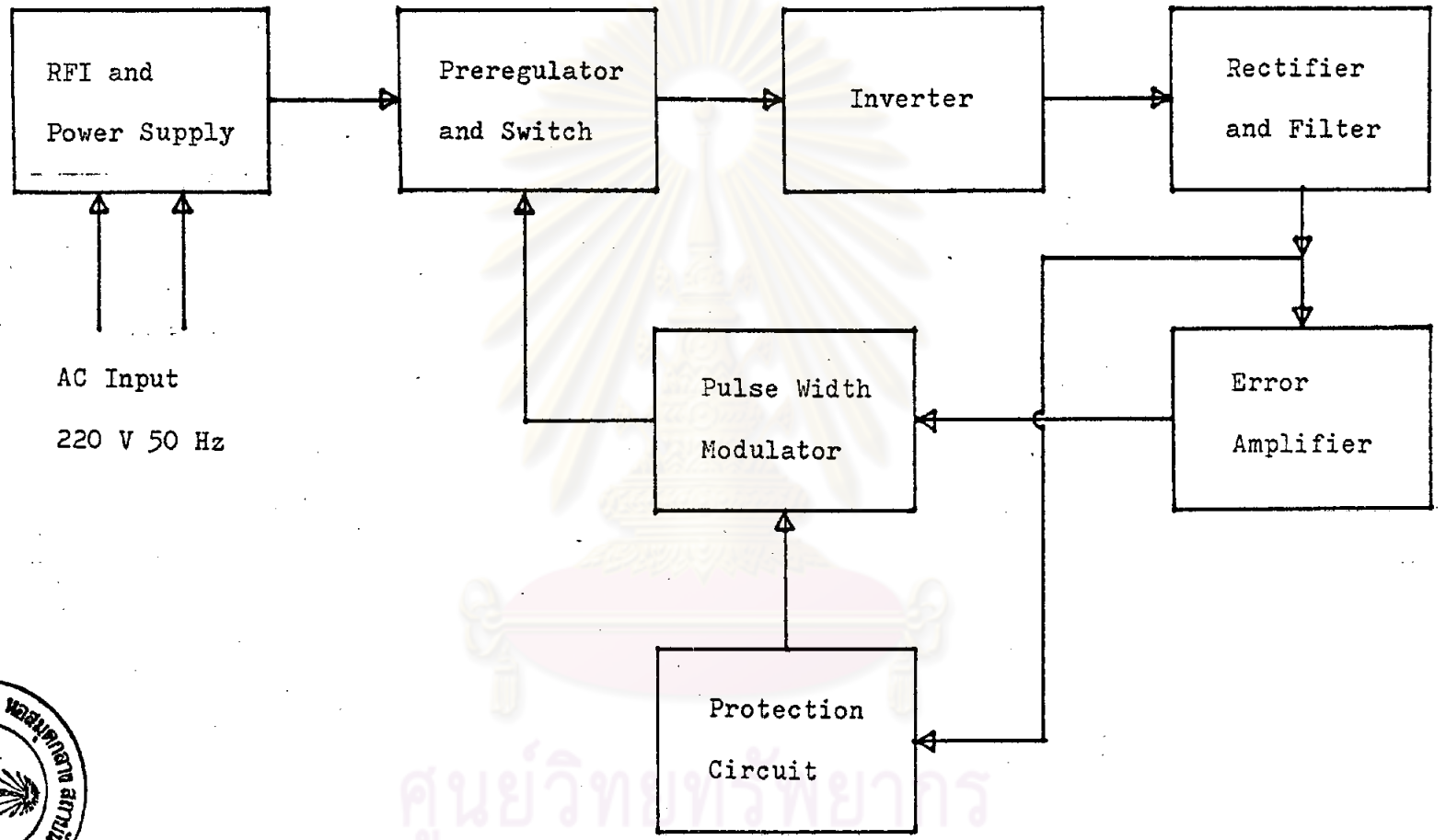
5 วงจรขยายค่าผิดพลาด (Error Amplifier)

6 วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulator)

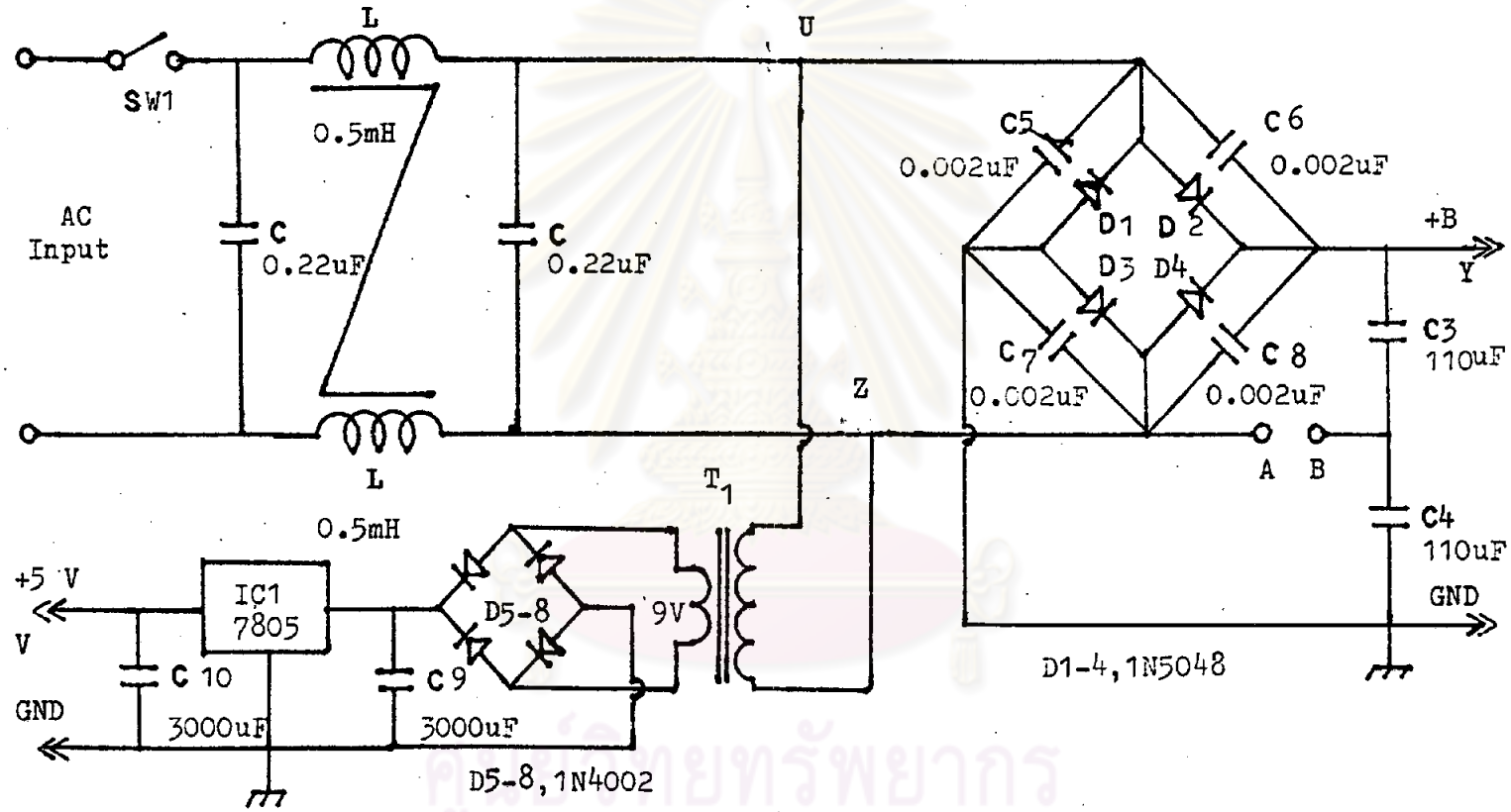
7 วงจรป้องกัน (Protector Circuit)

จากรูปที่ 3.1 หลักการพื้นฐาน

แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ คลื่นไซน์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ที่ทางเข้า ถูกทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยไดโอดเรียงกระแส และ ตัวเก็บประจุ แล้วแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะถูกทำให้กลับเป็นแรงดันไฟฟ้าคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular) ความถี่ 33 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่หม้อแปลงกำลัง ซึ่งหม้อแปลงกำลังนี้เป็นแบบแยกขด เพื่อที่จะลดแรงดันไฟฟ้าศักดาสูงที่ขดลวดปฐมภูมิ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าศักดาต่ำที่ขดลวดทุติยภูมิ แล้วผ่านวงจรเรียงกระแส และ ถูกกรองด้วยวงจร L , C ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ทาง



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนต่าง ๆ ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งเรกกูเลเตอร์



รูปที่ 3.2 วงจร อาร์ เอฟ ไอ และ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

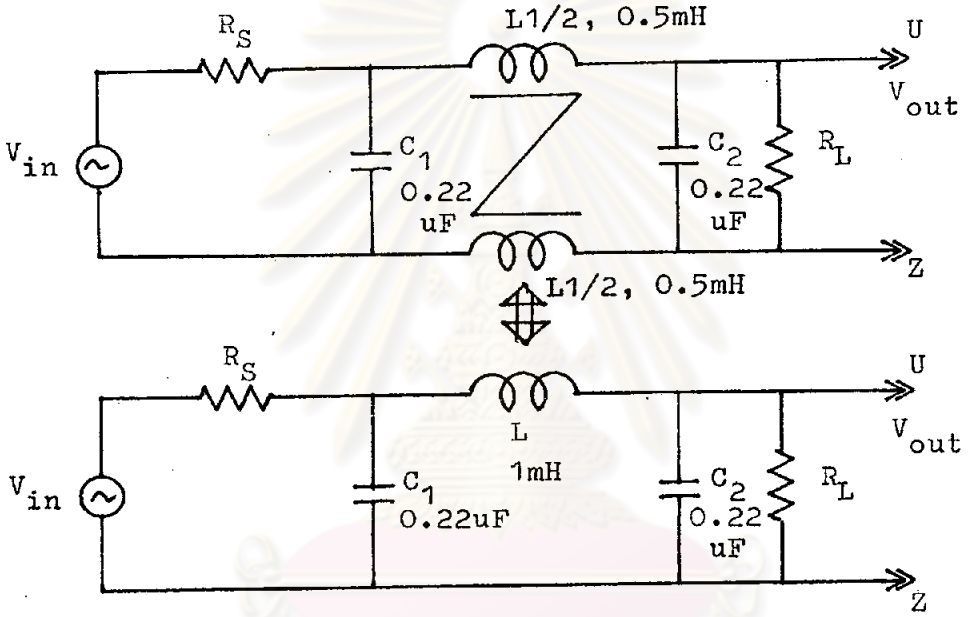
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ออก จากหลักการพื้นฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

3.1 อาร์ เอฟ ไอ และ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

วงจร อาร์ เอฟ ไอ และ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูปที่ 3.2

3.1.1 วงจร อาร์ เอฟ ไอ (2,10)



รูป ก

รูป ข

รูปที่ 3.3 ก แสดงวงจร อาร์ เอฟ ไอ ซึ่งต่อเป็นวงจรฟิลเตอร์แบบโลว์พาส (low-pass filter) ชนิดสมดุล

ข แสดงวงจร อาร์ เอฟ ไอ ซึ่งต่อเป็นวงจรฟิลเตอร์แบบโลว์พาส (low-pass filter) ชนิดไม่สมดุล

การทำงานของวงจรรูปที่ 3.3 ก

วงจร อาร์ เอฟ ไอ นี้จะทำหน้าที่ลดการรบกวนจากสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง ที่จะผ่านเข้าไปในวงจรอิเล็กตรอนิกส์อื่น ๆ ทางสายไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสัญญาณความถี่สูงที่กล่าวนี้จะเกิดขึ้นจากวงจรสวิตชิ่ง ดังนั้นสัญญาณความถี่สูงที่เกิดขึ้นในวงจรสวิตชิ่งเรกกูเลเตอร์จะถูกลดทอน (attenuate) ให้มีความสูงของสัญญาณต่ำลง

โดยการใช้ตัวเหนี่ยวนำ L1/2 , L1/2 และ ตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 ซึ่งต่อเป็นวงจรฟิลเตอร์แบบโลว์พาส

จากรูป 3.3 ข กรณีที่กำลังถ่ายทอดสูงสุดจะได้ อิมพีแดนซ์โหลด R_L เท่ากับ อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย R_S ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกสามารถเขียนได้คือ

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2 - 2\omega^2 LC + j(\frac{\omega L}{R_L} + 2\omega CR_L - \omega^3 C^2 R_L L)} \quad \ldots\ldots (3.1)$$

เมื่อไม่มีการสูญเสียภายในวงจรฟิลเตอร์ แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าของวงจรฟิลเตอร์จะได้

$$V_1 = \frac{V_{in}}{2} \quad \ldots\ldots (3.2)$$

$$V_1 = \frac{V_{out}}{2}\left[2 - 2\omega^2 LC + j(\frac{\omega L}{R_L} + 2\omega CR_L - \omega^3 C^2 LR_L)\right]$$

$$V_1 = V_{out}\left[1 - \omega^2 LC + j(\frac{\omega L}{2R_L} + \omega CR_L - \frac{\omega^3 C^2 LR_L}{2})\right]$$

$$\frac{V_1}{V_{out}} = 1 - \omega^2 LC + j(\frac{\omega L}{2R_L} + \omega CR_L - \frac{\omega^3 C^2 LR_L}{2})$$

ที่ความสูงแท้จริงของแรงดันไฟฟ้าระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า V_1 และแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก V_{out} จะได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\left|\frac{V_1}{V_{out}}\right|^2 = 1 + \omega^2\left(\frac{L^2}{4R_L^2} + C^2R_L^2 - LC\right) + \omega^4\left(\frac{L^2C^2}{2} - LC^3R_L^2\right) + \frac{\omega^6 L^2 C^4 R_L^2}{4} \quad \ldots\ldots (3.3)$$

กำลังที่สูญเสียในวงจรฟิลเตอร์จะได้

$$P_{Loss} = 10 \log\left|\frac{V_1}{V_{out}}\right|^2 \quad \ldots\ldots (3.4)$$

ที่ความถี่ตัดออก (cut off frequency) - 20 dB

$$\frac{V_1}{V_{out}} = 0.1$$

ดังนั้น จากสมการ (3.3) จะได้

$$0.01 = 1 + \omega_o^2\left(\frac{L^2}{4R_L^2} + C^2R_L^2 - LC\right) + \omega_o^4\left(\frac{L^2C^2}{2} - LC^3R_L^2\right) + \frac{\omega_o^6 L^2 C^4 R_L^2}{4} \quad \ldots\ldots (3.5)$$

จากสมการ (3.5) เมื่อ

$$\frac{\omega_o^6 L^2 C^4 R_L^2}{4} > \omega_o^2\left(\frac{L^2}{4R_L^2} + C^2R_L^2 - LC\right)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ

$$\frac{\omega_o^6 L^2 C^4 R_L^2}{4} > \omega_o^4 \left(\frac{L^2 C^2}{2} - L^3 C^2 R_L \right)$$

ดังนั้น จากสมการ (3.5) จะได้

$$\frac{\omega_o^6 L^2 C^4 R_L^2}{4} = 0.01$$

$$\omega_o = \left[\frac{0.2}{2 LC R_L} \right]^{1/3} \quad \ldots\ldots (3.6)$$

เมื่อ

$$\omega_o = 2\pi f_o$$

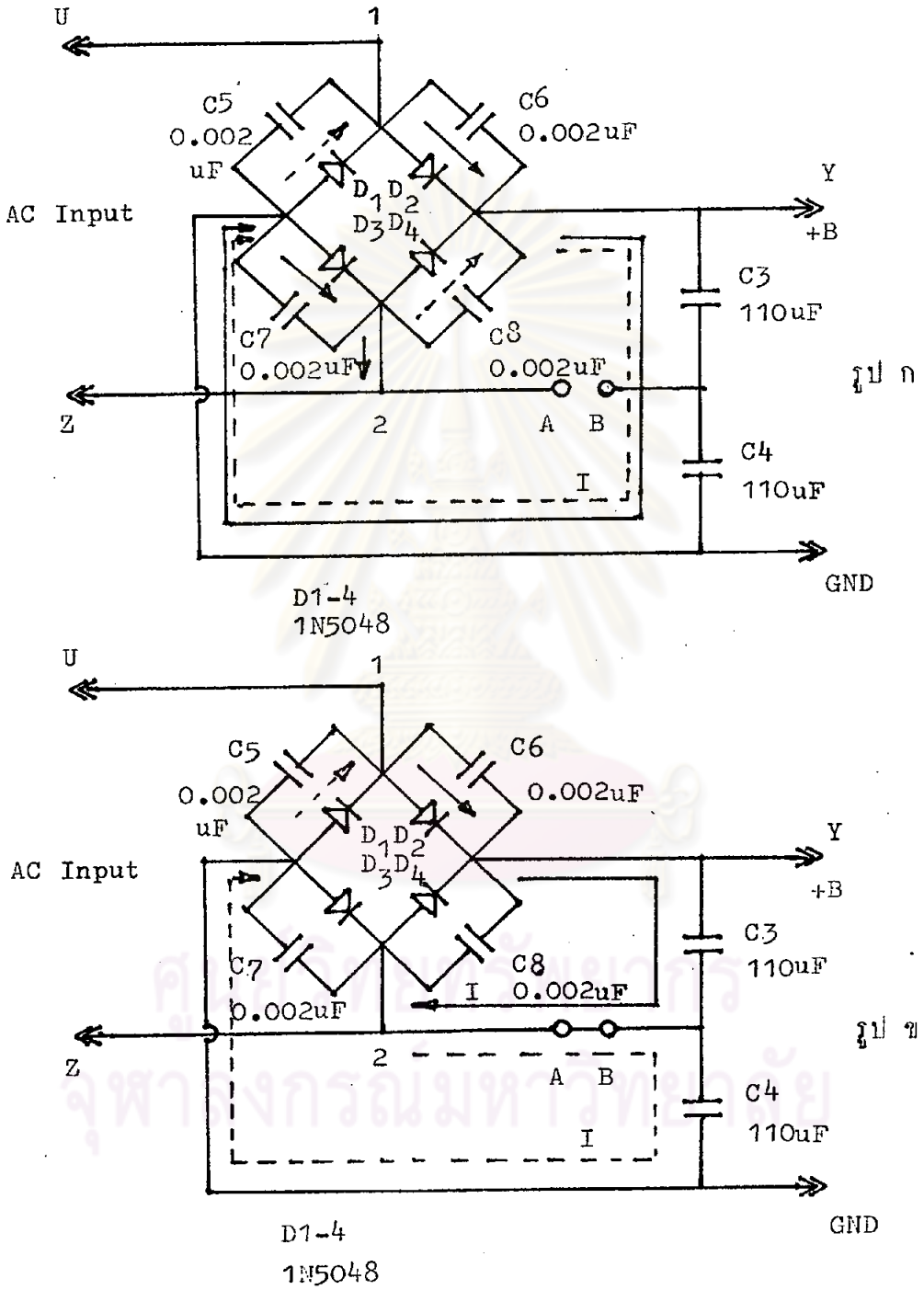
ดังนั้น จากสมการ (3.6) จะได้

$$f_o = \left[\frac{0.2}{248 LC R_L} \right]^{1/3} \quad \ldots\ldots (3.7)$$

3.1.2 <u>แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส และฟิลเตอร์</u>

การทำงานของวงจรรูป 3.4 ก

เมื่อป้อนแรงดัน 220 โวลต์ คลื่นไซน์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เข้าที่ทางเข้าของวงจร สมมุติให้ที่จุด (1) เป็นบวก และ ที่จุด (2) เป็นลบ ไดโอดเรียงกระแส D_2 , D_3 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ซึ่งทำให้ไดโอดเรียงกระแส D_2 ,



รูปที่ 3.4 ก วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นและฟิลเตอร์

ข วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นและฟิลเตอร์แบบแรงดันไฟฟ้าสองเท่าที่ทางออก

D_3 นำกระแส กระแส I จะไหลผ่านไดโอดเรียงกระแส D_2 ประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_3 , C_4 และ ไดโอดเรียงกระแส D_3 ตามลำดับ ทิศทางการไหลของกระแส I แสดงดังทิศทางลูกศรเส้นทึบ ขณะเดียวกันไดโอดเรียงกระแส D_1 , D_4 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทาง ทำให้ไดโอดเรียงกระแส D_1 , D_4 ไม่นำกระแส และ เมื่อที่จุด (2) เป็นบวก ที่จุด (1) เป็นลบ ไดโอดเรียงกระแส D_1 , D_4 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ทำให้ไดโอดเรียงกระแส D_1 , D_4 นำกระแส กระแส I จะไหลผ่านไดโอดเรียงกระแส D_4 ประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_3 , C_4 และ ไดโอดเรียงกระแส D_1 ตามลำดับ ทิศทางการไหลของกระแส I แสดงดังทิศทางลูกศรเส้นประ ขณะเดียวกันไดโอดเรียงกระแส D_2 , D_3 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทาง ทำให้ไดโอดเรียงกระแส D_2 , D_3 ไม่นำกระแส เนื่องจากวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะมีแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น (ripple voltage) ที่ทางออกต่ำ และ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4 จะเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก (+B) จึงทำให้ขนาดของตัวเก็บประจุ C_3 , C_4 เล็กลง ในขณะที่ไดโอดเรียงกระแสในวงจรเรียงกระแสทำงาน เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวไดโอดเรียงกระแสเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของวงจรคือ $\sqrt{2}\ V_{in}$ เมื่อผ่านตัวเก็บประจุ C_3 , C_4 ซึ่งตัวเก็บประจุ C_3 , C_4 ทำหน้าที่ฟิลเตอร์

การทำงานของวงจรรูป 3.4 ข

รูปที่ 3.4 ข เป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกเป็นสองเท่าแรงดันของแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า เมื่อต่อจุด A กับ B เข้าด้วยกัน ป้อนแรงดัน 110 โวลต์ คลื่นไซน์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เข้าที่ทางเข้าของวงจร สมมุติให้ที่จุด (1) เป็นบวก และ ที่จุด (2) เป็นลบ ไดโอดเรียงกระแส D_2 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ไดโอดเรียงกระแส D_2 จะนำกระแส กระแส I จะไหลผ่านไดโอดเรียงกระแส D_2 ประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_3 ตามลำดับ ทิศทางการไหลของกระแส I แสดงดังทิศทางลูกศรเส้นทึบ ขณะเดียวกันไดโอดเรียงกระแส D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทาง ทำให้ไดโอดเรียงกระแส D_1 ไม่นำกระแส และ เมื่อที่จุด (2) เป็นบวก ที่จุด (1) เป็นลบ ไดโอดเรียงกระแส D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ไดโอดเรียงกระแส D_1 จะนำกระแส กระแส I จะ

ไหลผ่าน และ ประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_4 ไดโอดเรียงกระแส D_1 ตามลำดับทิศทางการไหลของกระแส I แสดงดังทิศทางลูกศรเส้นประ ขณะเดียวกันไดโอดเรียงกระแส D_2 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทาง ทำให้ไดโอดเรียงกระแส D_2 ไม่นำกระแส แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะได้จากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4 รวมกัน และ เมื่อไดโอดเรียงกระแสในวงจรเรียงกระแสมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4 คือ $2\sqrt{2}\ V_{in}$ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของวงจรรูป 3.4 ก และ ข จึงมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกเท่ากัน

จากรูป 3.4 ก และ ข ไดโอดเรียงกระแส D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 (1N5048) เป็นไดโอดที่ใช้งานย่านความถี่ต่ำ และ จะเสียหาย เมื่อใช้งานย่านความถี่สูง เพราะเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของไดโอด เนื่องจากผลตอบสนองของไดโอดต่ำ เพื่อป้องกันไดโอดเรียงกระแส D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 เสียหาย จึงได้ต่อตัวเก็บประจุ C_5 , C_6 , C_7 และ C_8 คร่อมตัวไดโอดตามลำดับ เพื่อให้ตัวเก็บประจุ C_5 , C_6 , C_7 และ C_8 เป็นทางผ่านของแรงดันไฟฟ้าความถี่สูง

ให้

(1)

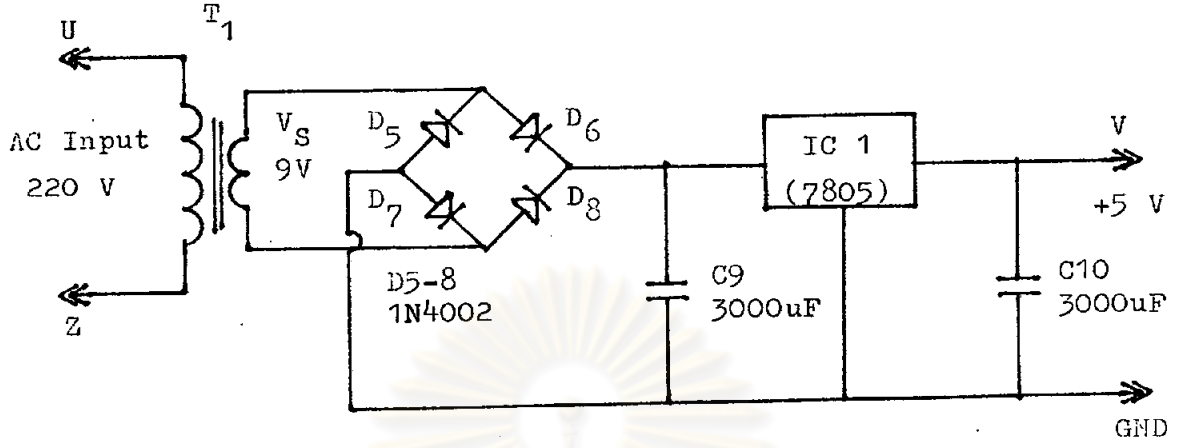
$$C = \frac{I\ T}{\Delta V} \qquad \text{..... (3.8)}$$

3.1.3 <u>แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า +5 โวลต์</u>

เนื่องจากเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งเรกกุเลเตอร์ ที่ได้ออกแบบไว้ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์อิเล็กตรอนิกส์ ประกอบเข้าชุดเป็นวงจรร่วมกับวงจรไมโครที่เรียกว่า ไอซี เพื่อความสดวกในการจัดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรต่าง ๆ จึงได้เลือกใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ ที่คงที่ เพราะเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน สำหรับจ่ายให้กับ ไอซี ในการทำงาน ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ ที่คงที่ จะประกอบขึ้นดังแสดงในรูป 3.5

การทำงานของวงจรที่แสดงในรูป 3.5

หม้อแปลง T_1 เป็นแบบแยกขด และ ลดแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ



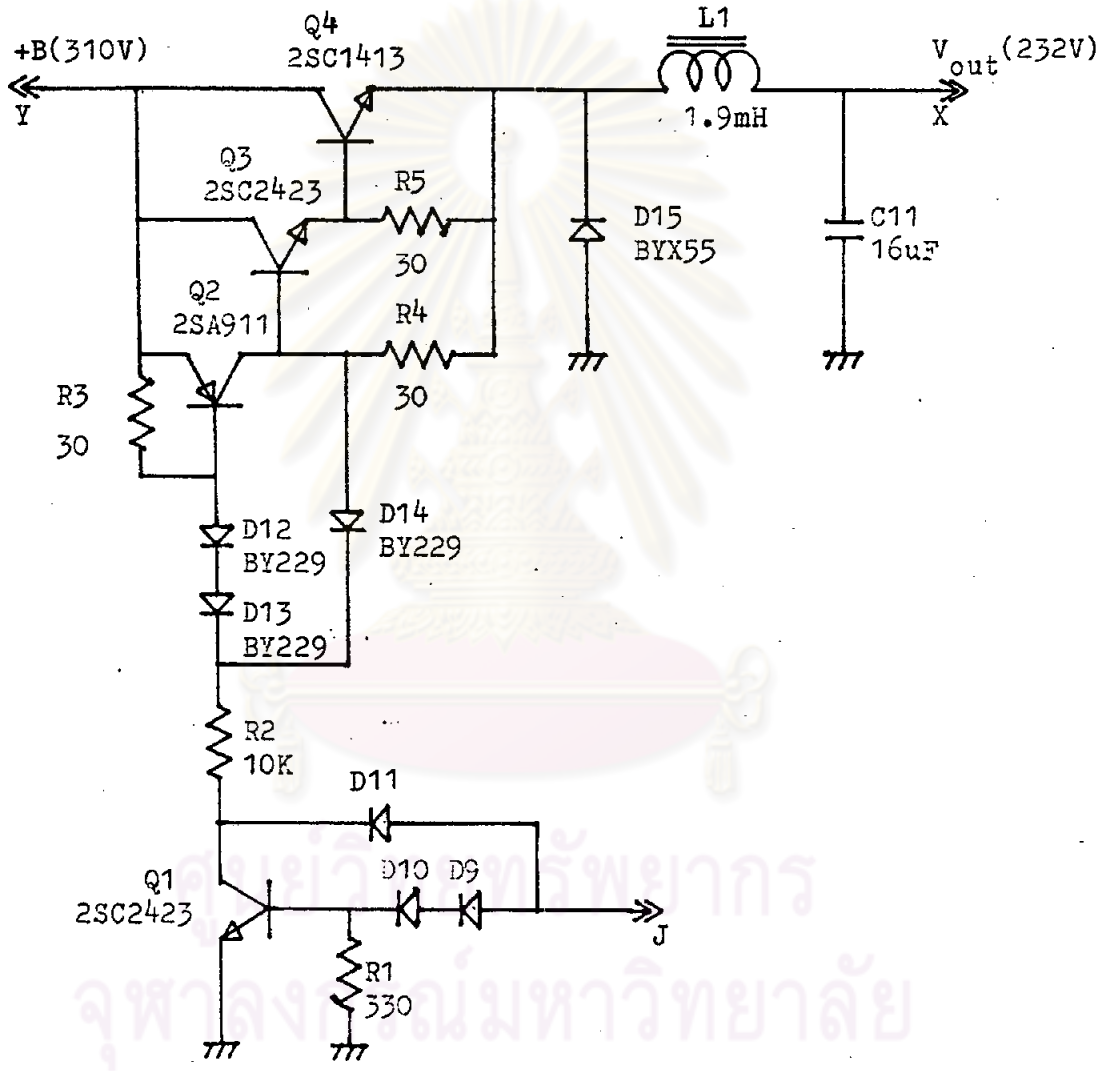
รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ ที่คงที่

(V_S) แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ 9 โวลต์ คลื่นไซน์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ นี้จะถูกเรียงกระแสด้วยไดโอดเรียงกระแส D_5 , D_6 , D_7 และ D_8 (1N4002) ต่อวงจรเป็นบริดจ์ (bridge) เรียงกระแสเต็มคลื่น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านวงจรกรองกระแสจะถูกฟิลเตอร์ด้วยตัวเก็บประจุ C_9 ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ +12 โวลต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12 โวลต์ นี้จะถูกรักษาให้ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ +5 โวลต์ ด้วย ไอซี 1 เรกกุเลเตอร์ (7805) ซึ่ง ไอซี 1 เป็นแบบ 3 ขา และ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ ที่ทางออกของไอซี 1 เรกกุเลเตอร์ จะถูกฟิลเตอร์ด้วยตัวเก็บประจุ C_{10} ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ ที่มีความราบเรียบ โดยมีแรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่นต่ำ

3.2 พรีเรกกุเลเตอร์ และ สวิตช์

การทำงานของวงจรที่แสดงในรูปที่ 3.6

ทรานซิสเตอร์ Q_3 (2SC2423) ทำหน้าที่ขับเบส (base) ทรานซิสเตอร์ Q_4 (2SC1413) โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_4 เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง ทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 เป็นแบบ N-P-N ต่อวงจรเป็นแบบดาลิงตัน (darlington) เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ Q_4 อิ่มตัว ขณะนำกระแส โดยทรานซิสเตอร์ Q_3 ทรานซิส



รูปที่ 3.6 วงจรพรีเรกกูเลเตอร์ และ สวิตช์

เตอร์ Q_4 จะไม่อิ่มตัวขณะนำกระแส เพราะแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม อิมิตเตอร์ - คอลเลกเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q_3 รวมกับ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม เบส - อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q_4 จะมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม คอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q_4 ขณะทรานซิสเตอร์ Q_4 นำกระแส จะมีเวลากักเก็บ (storage time) ยาวนาน ซึ่งเป็นผลที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_4 เสียหาย ทรานซิสเตอร์ Q_2 (2SA911) เป็นทรานซิสเตอร์แบบ P-N-P ใช้งานย่านความถี่สูง โดยต่อ คอมพลิเมนตารี (complementary) กับทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 โดยมีไดโอด D_{12} , D_{13} และ D_{14} ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 อิ่มตัวขณะนำกระแส กล่าวคือ เมื่อไดโอด D_{12} , D_{13} และ D_{14} ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตามก็จะนำกระแส ได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม คอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q_2 ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแสดังนี้คือ $V_{BE(Q2)} + V_{D12} + V_{D13} - V_{D14} = 2.4$ โวลต์ ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม คอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q_2 ขณะนำกระแส และอิ่มตัว ปกติจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 1 โวลต์ เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแสไม่ถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้เวลากักเก็บในขณะทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_2 สั้นลง ตัวต้านทาน R_1 , R_3 , R_4 และ R_5 ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบ่งกระแส ซึ่งจะให้กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_1 เท่ากับ 5เท่า ของกระแสเบสทรานซิสเตอร์ Q_1 เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงาน

ให้

$$R_1 = \frac{V_{BE(Q1)}}{5I_{B(Q1)}}$$

$$R_3 = \frac{V_{BE(Q2)}}{I_{C(Q1)}}$$

$$R_4 = \frac{V_{BE(Q3)} + V_{BE(Q4)}}{I_{R4}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17778360

$$R_5 = \frac{V_{BE(Q4)}}{I_{R5}}$$

เมื่อ

R คือ ตัวต้านทาน

V_{BE} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม เบส - อิมิตเตอร์

I_B คือ กระแสเบส

I_R คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน R_2 ทำหน้าที่เป็นโหลด (load) ให้กับทรานซิสเตอร์ Q_1 (2SC2423) ซึ่งทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ปิด (off) - เปิด (on) เพื่อควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_2 , Q_3 และ Q_4 โดยที่การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 จะถูกควบคุมโดยสัญญาณพัลส์บวกที่เข้าขับเบส และทรานซิสเตอร์ Q_1 จะนำกระแสไม่ถึงจุดอิ่มตัว โดยการทำงานของไดโอด D_9 , D_{10} และ D_{11} ซึ่งเป็นไดโอดชนิดใช้งานย่านความถี่สูง ผลที่ได้เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานไม่ถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้เวลากักเก็บสั้นลง เนื่องจากวงจรพรีเรกุเลเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ประกอบขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์ Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 ต่อเรียงกัน (cas - cade) ทำให้เวลากักเก็บรวมของทรานซิสเตอร์ในวงจรขณะทำงานยาวนาน เพื่อที่จะลดเวลากักเก็บรวมของวงจรให้สั้นลง จึงได้จัดวงจรโดยให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 , Q_2 Q_3 และ Q_4 เมื่อนำกระแสแล้วจะไม่ถึงจุดอิ่มตัว

ให้

$$R_2 = \frac{+B - V_{R3} - V_{D12} - V_{D13} - V_{CE(Q1)}}{I_{C(Q1)}}$$

..... (3.9)

เมื่อ

+B (310) คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับวงจร

V_{CE} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม คอลเลกเตอร์ - อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ เมื่ออิ่มตัว = 1 โวลต์

I_C คือ กระแสคอลเลกเตอร์

ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ ตัวเก็บประจุ C_{11} ต่อเป็นวงจรฟิลเตอร์ เพื่อฟิลเตอร์กระแสความถี่สูง ซึ่งขนาดของตัวเหนี่ยวนำ L_1 จะหาได้จากสูตร

$$L_1 = \frac{V_{out}\ t_{off}}{0.4\ I_{out}} \quad \text{..... (3.10)} \quad (1)$$

V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออก

t_{off} คือ เวลาปิด

I_{out} คือ กระแสไฟฟ้าที่ทางออก

เนื่องจากวงจรสวิตช์จะสวิตช์ที่ความถี่สูง แกนฟิลเตอร์โช้ก (filter - choke core) ของตัวเหนี่ยวนำ L_1 จึงเลือกใช้แกน เฟอร์ไร้ต์ (ferrite) เพราะคุณสมบัติเฉพาะตัวของแกนเฟอร์ไร้ต์จะมีการสูญเสียภายในแกนต่ำ เมื่อใช้งานที่ความถี่สูง ขนาดหน้าตัดเล็กสุดของแกนเฟอร์ไร้ต์ของตัวเหนี่ยวนำ L_1 จะหาได้จาก

สูตร $A_E A_C = \frac{5.067 \times 10^{8}\ L_1\ I_{out}\ D^2}{0.8\ B_{(max)}}$ ..... (3.11) (2)

เมื่อ

A_e คือ พื้นที่หน้าตัดแกน

A_C คือ พื้นที่ขดลวด

L คือ ตัวเหนี่ยวนำ

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$B_{(max)}$ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด

I_{out} คือ กระแสที่ทางออก

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 จะยังไม่ราบเรียบ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ราบเรียบนี้จะถูกตัวเก็บประจุ C_{11} ฟิลเตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกราบเรียบ ซึ่งค่าความจุของตัวเก็บประจุ C_{11} จะหาได้จาก

สูตร $C_{11} = \frac{V_{out} T^2 (V_{in} - V_{out})}{8 L_1 V_{in} \Delta V_{P-P}}$ ..... (3.12) (2)

เมื่อ

C คือ ตัวเก็บประจุ

T คือ เวลาในหนึ่งรอบ

V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า +310โวลต์

ΔV_{P-P} คือ แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น

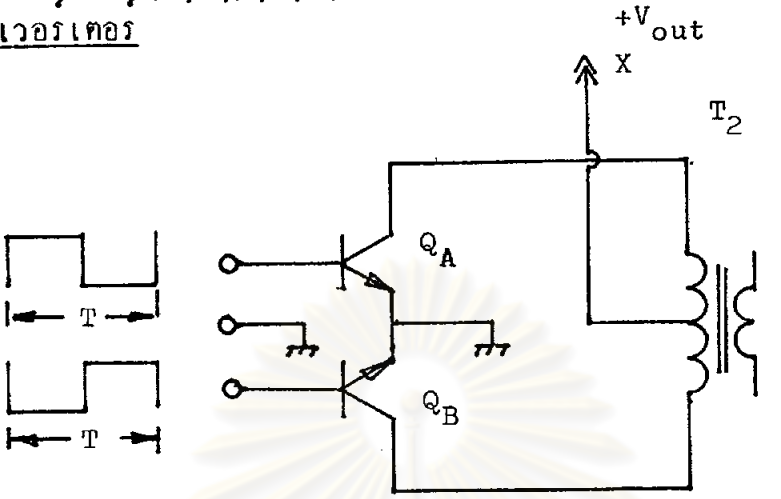
V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออก

ไดโอดD_{15} เป็นไดโอดชนิดใช้งานย่านความถี่สูง โดยทำหน้าที่เป็น ฟลายวีล ไดโอด (fly-wheel diode) กล่าวคือ ขณะที่ทรานซิสเตอร์ในวงจรสวิตช์นำกระแส กระแส I_{out} จะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ ประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_{11} ขณะเดียวกันนี้ไดโอด D_{15} จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทาง ไดโอด D_{15} จะไม่นำกระแส เมื่อกระแส I_{out} ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ เมื่อทรานซิสเตอร์ในวงจรสวิตช์หยุดนำกระแส เป็นผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ตัวเหนี่ยวนำ L_1 ยุบตัวลง ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ L_1 ทำให้ไดโอด D_{15} ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ไดโอด D_{15} จะนำกระแส และ ขณะที่ไดโอด D_{15} นำกระแส กระแสที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ L_1 จะประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_{11} เพื่อที่จะให้ตัวเก็บประจุ C_{11} สามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้ตลอดเวลา ขณะที่ทรานซิสเตอร์ในวงจรสวิตช์หยุดนำ

กระแส

(1,2,5,6,7,8)

3.3 อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานแบบ พุช - พูล พื้นฐาน

การทำงานของวงจรแสดงในรูป 3.7

วงจรรูปที่ 3.7 เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์พื้นฐาน ซึ่งประกอบขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง Q_A , Q_B , หม้อแปลงกำลัง T_2 และสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่สูง โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_A และ Q_B ทำงานเป็นแบบ พุช (push) - พูล (pull) กล่าวคือ สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมบวกที่ขับเบสทรานซิสเตอร์ Q_A และ Q_B จะมีมุม (phase) ต่างกัน 180° ดังนั้นการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_A และ Q_B จะทำงานสลับกันตามลำดับ ได้กำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งกำลังไฟฟ้านี้จะถูกส่งผ่านไปยังโหลด โดยหม้อแปลงกำลัง T_2 ที่ทางขดลวดทุติยภูมิ โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรอินเวอร์เตอร์จะหาได้จาก

สูตร $P_{out} = \frac{1}{2} f L I^2$ ..... (3.13) (2)

เมื่อ

P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่ทางออก

f คือ ความถี่

L คือ ตัวเหนี่ยวนำ

I คือ กระแส

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดทุติยภูมิจะมีรูปร่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสี่เหลี่ยม เช่นเดียวกับสัญญาณที่ขับเบสของทรานซิสเตอร์ จากวงจรพื้นฐานรูปที่ 3.7 สามารถอธิบายได้ดังนี้

การทำงานของวงจรที่แสดงในรูป 3.8 ก

วงจรรูปที่ 3.8 ก เป็นวงจรกำเนิดความถี่ 33 กิโลเฮิร์ตซ์ ได้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ทางออก ที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง T_3 สมมุติให้ เริ่มแรกเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ ให้กับวงจร ทรานซิสเตอร์ Q_5 (2N3053) จะนำกระแสและอิ่มตัว เนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าเบสได้รับจากแรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ โดยผ่านทางตัวต้านทาน R_9 และ ทางขดลวดป้อนกลับ N_{B1} ตอนนี้ไดโอด D_{16} จะมีความต้านทานสูง ทรานซิสเตอร์ Q_5 จะนำกระแสในครึ่งรอบแรก เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดป้อนกลับ N_{B1} จากแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} ขณะเดียวกันทรานซิสเตอร์ Q_6 (2N3053) จะไม่นำกระแส เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำลบที่เกิดขึ้นในขดลวดป้อนกลับ N_{B2} ปรากฏที่เบส แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_5 นำกระแสคือ $V_{CC} - V_{CE(sat)}$ เมื่อ $V_{CE(sat)} = 1$ โวลต์ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ตกคร่อมขดลวดป้อนกลับ N_{B1} คือ $N_{B1}/N_{P1}(V_{CC}-1)$ และกระแสที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_5 คือ

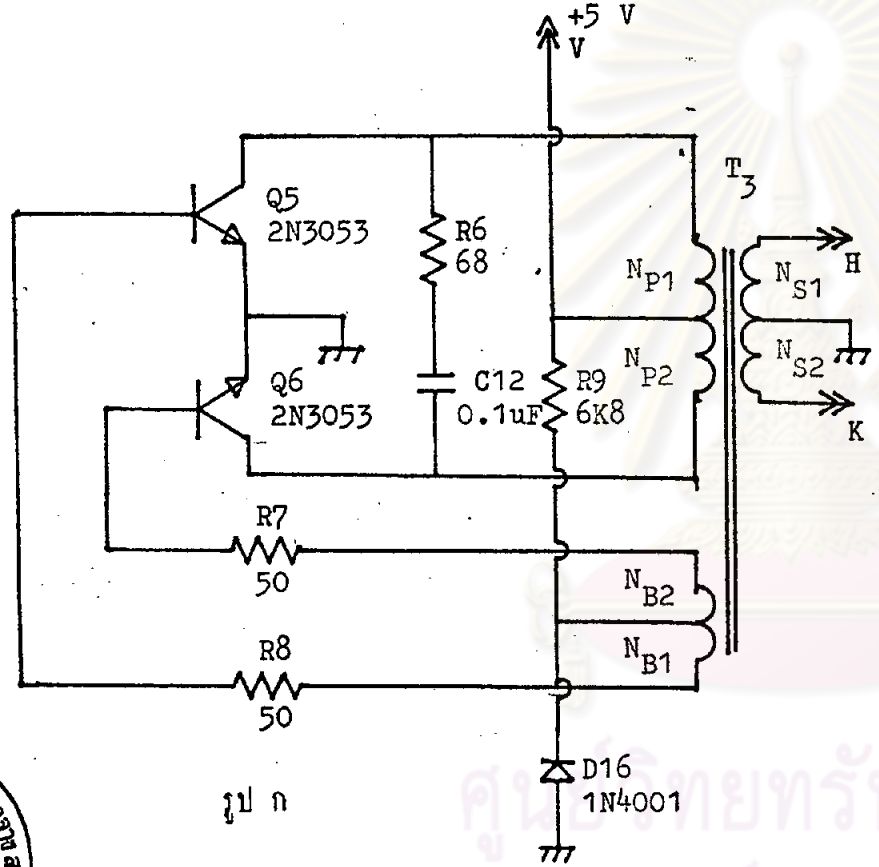
$$I_{B(Q5)} = \frac{(N_{B1}/N_{P1}) (V_{CC} - 1) - V_{BE} - V_{D16}}{R_8}$$

..... (3.14)

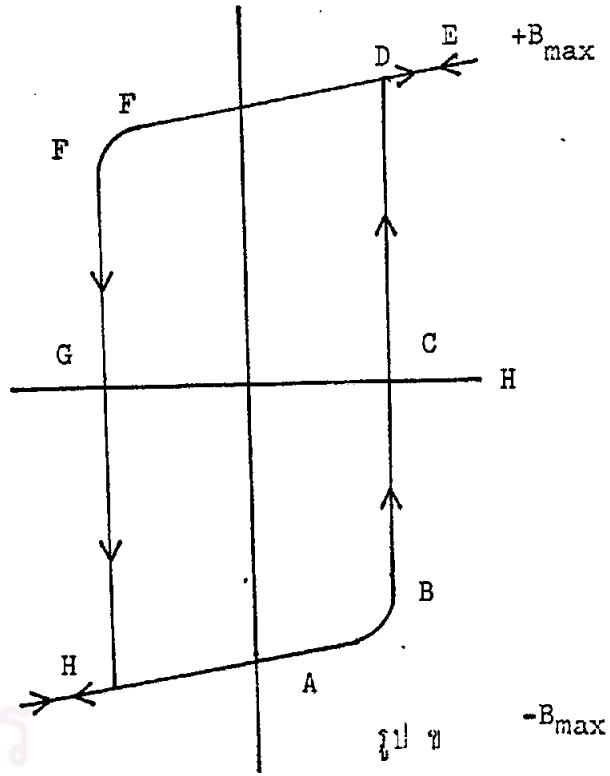
เมื่อ

N_{B1} คือ จำนวนรอบของขดลวดป้อนกลับ

N_{P1} คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ



รูป ก

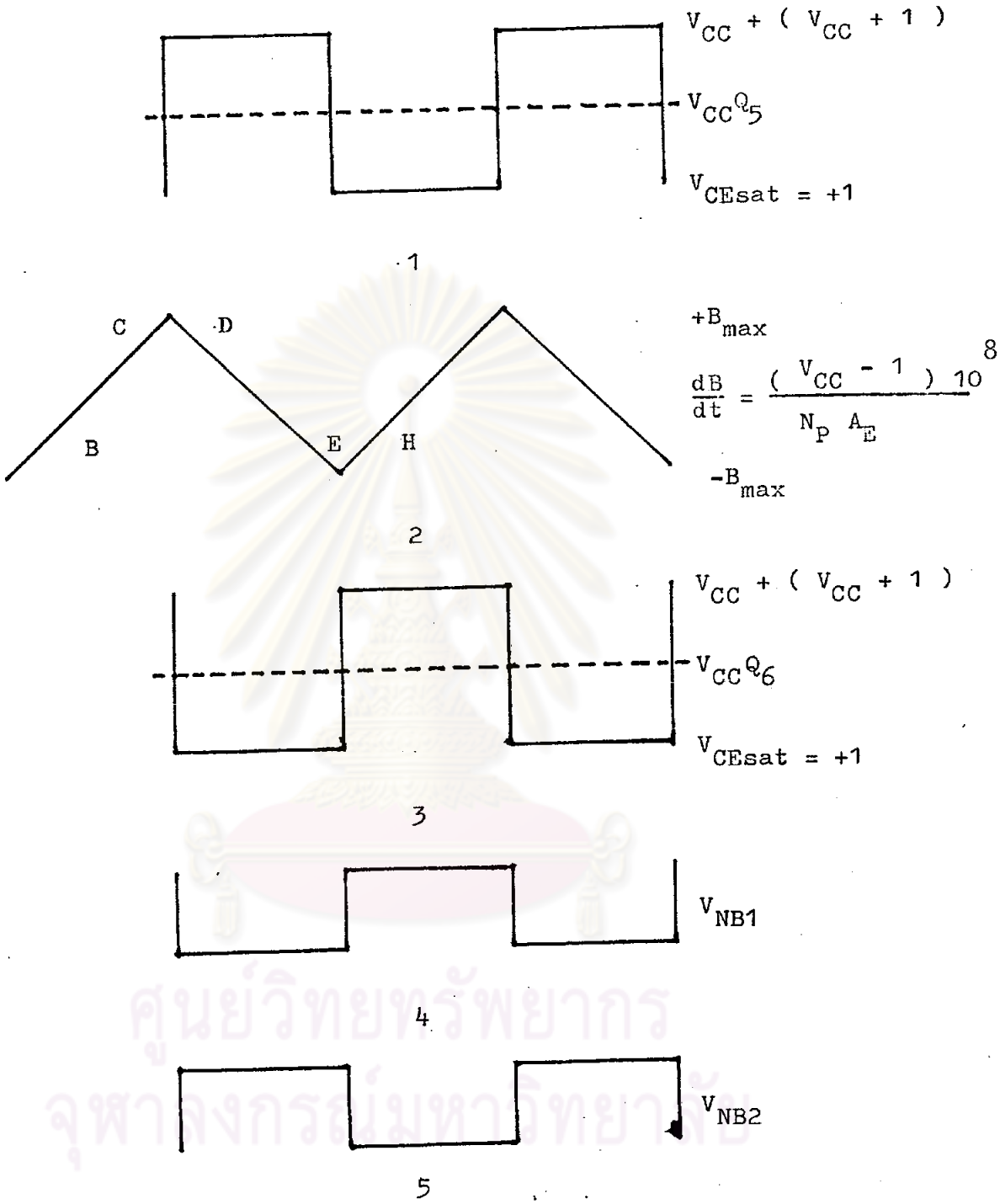


รูป ข

รูปที่ 3.8 ก วงจรกำเนิดความถี่ 33 กิโลเฮิร์ตซ์

ข แสดงเส้นโค้งบี - เอช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 ค แสดงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและฟลักซ์

1. แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่คอลเลกเตอร์ Q_5
2. แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ dB/dt
3. แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่คอลเลกเตอร์ Q_6
4. แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ N_{B1}
5. แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ N_{B2}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

V_{CC} คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับจุดกึ่งกลางของขดลวดปฐมภูมิ

V_{BE} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม เบส - อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์

V_D คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด

$V_{CE(sat)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่คอลเลกเตอร์ เมื่ออยู่ในสภาวะอิ่มตัว มีค่าประมาณ 1 โวลต์

ทรานซิสเตอร์ Q_5 จะนำกระแสด้วยเวลาที่คงที่ โดยหม้อแปลง และ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร

เมื่อ

$$V_P = N_P A_E \left(dB/dt \right) \times 10^{-8}$$

$$\frac{dB}{dt} = \frac{V_P \times 10^{8}}{N_P A_E}$$

$$V_P = V_{CC} - V_{CE(sat)}$$

เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_5 นำกระแส และ อิ่มตัว

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\left(V_{CC} - 1 \right) \times 10^{8}}{N_P A_E} \qquad \ldots\ldots (3.15)$$

ให้

$\frac{dB}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มฟลักซ์แม่เหล็ก

A_E คือ พื้นที่หน้าตัดแกน

จากสมการ (3.15) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ แสดงได้ดังรูป 3.8 ค 2 ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงในสมการ (3.15) จะแสดงได้ดังเส้นโค้งบี - เอช ดังรูป 3.8 ข กล่าวคือ ให้ความเข้มฟลักซ์เริ่มต้นจากจุด $-B_{max}$ แล้วเคลื่อนที่ไปตามเส้น B , C , D ถึง $+B_{max}$ ที่จุด E ที่จุด E นี้จะไม่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ เนื่องจาก dB/dt ไม่เปลี่ยนแปลง และ อิมพีแดนซ์ ของขดลวดปฐมภูมิจะตกลงเป็นศูนย์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่คอลเลกเตอร์ Q_5 เท่ากับ $+V_{CC}$ และ แรงดันไฟฟ้าที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_5 จะเป็นศูนย์ ทรานซิสเตอร์ Q_5 หยุดนำกระแส กระแสไฟฟ้าจาก $+V_{CC}$ จะไหลผ่านตัวต้านทาน R_9 และ ขดลวดป้อนกลับ N_{B2} ซึ่งจะขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ให้ทรานซิสเตอร์ Q_6 นำกระแส ความเข้มฟลักซ์จะเริ่มตกลงจากจุด E ไปยังจุด F ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ N_{P2} และ ขดลวดป้อนกลับ N_{B2} ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏที่ขดลวดป้อนกลับ N_{B2} นี้ จะขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ให้นำกระแส และ อิ่มตัว ได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ N_{P2} คือ $V_{CC} - 1$ ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_6 นำกระแส ความเข้มฟลักซ์จะตกลงจากจุด F , G , H จนถึงจุด $-B_{max}$ ด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง dB/dt เช่นเดียวกันกับที่ทรานซิสเตอร์ Q_5 นำกระแส เมื่อความเข้มฟลักซ์ตกลง จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดป้อนกลับ N_{B2} สูงขึ้น และ ขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 ให้นำกระแส จนแกนหม้อแปลง T_3 อิ่มตัว ที่จุด H นี้เองอิมพีแดนซ์ของขดลวดปฐมภูมิ N_{P2} จะตกลงเป็นศูนย์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_6 เท่ากับ $+V_{CC}$ และ แรงดันไฟฟ้าที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_6 จะเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้า $+V_{CC}$ นี้จะขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_5 ให้นำกระแส ความเข้มฟลักซ์จะตกลงจากจุด H ไปยังจุด A ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} และ ขดลวดป้อนกลับ N_{B1} ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดป้อนกลับ N_{B1} นี้จะขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_5 ให้นำกระแสอีกครั้ง ขณะที่วงจรทำงานปกติ จะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D_{16} ประมาณ 0.6 โวลต์ เพราะไดโอด D_{16} เป็นซิลิคอน ตัวต้านทาน R_7 และ R_8 ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าเบสของทรานซิสเตอร์ Q_5 และ Q_6 ตามลำดับ จากสมการ (3.15) ที่ช่วงครึ่งเวลา T จะได้

$$T = \frac{(B N_P A_E) \times 10^{-8}}{V_{CC} - 1}$$

เมื่อ

$$B = 2B_{max}$$

$$T = T/2$$

ดังนั้น

$$T/2 = \frac{(2B_{max} N_P A_E) \times 10^{-8}}{V_{CC} - 1}$$

และ

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{(V_{CC} - 1) \times 10^{8}}{4B_{max} N_P A_E}$$

..... (3.16)

แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของหม้อแปลง T_3 ที่ขดลวดทุติยภูมิ เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_5 และ Q_6 นำกระแส และ อิ่มตัว จะได้ดังนี้

$$V_S = \frac{(V_{CC} - 1) N_S}{N_P} \quad ..... (3.17)$$

เมื่อ

V_S คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ

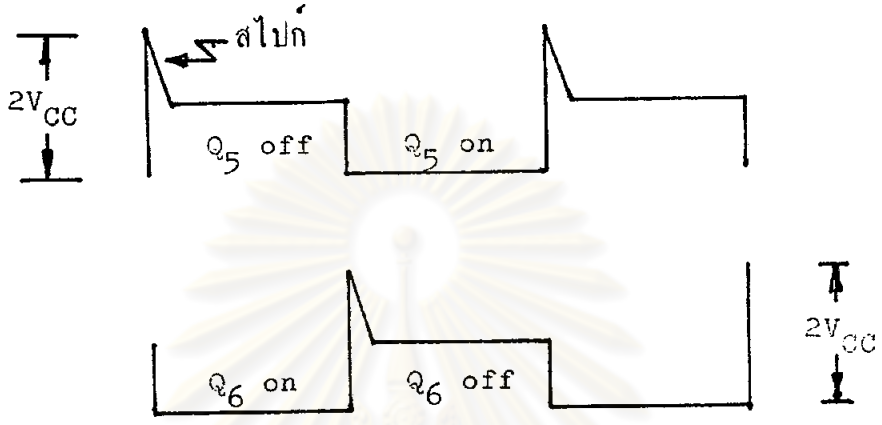
N_S คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

N_P คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

ตัวต้านทาน R_6 และ ตัวเก็บประจุ C_{12} เป็นวงจรลดสไปก์ (despike)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งสไปก์นี้จะเกิดจากรีแอกแตนซ์รั่วในหม้อแปลง T_3 ขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส รีแอกแตนซ์รั่วนี้จะทำให้เกิดโอเวอร์ชูต (overshoot) ซึ่งแสดงรูปร่างสัญญาณดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงรูปร่างสัญญาณสไปก์

จากรูป 3.9 แรงดันไฟฟ้าของสไปก์จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเกือบ $2V_{CC}$ พลังงานที่สะสมในรีแอกแตนซ์รั่วนี้จะแพร่กระจายเข้าไปในคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ในแต่ละครึ่งรอบของการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_5 และ Q_6 โดยที่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะนำกระแสสลับกัน ถ้ากระแสคอลเลกเตอร์ และ ความถี่ ที่ใช้งานสูงเพียงพอ สัญญาณ์โอเวอร์ชูตที่เกิดขึ้นจากรีแอกแตนซ์รั่วของหม้อแปลง T_3 จะทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรานซิสเตอร์ทั้งสอง เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ Q_5 และ Q_6 ไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น เนื่องจากโอเวอร์ชูต ยอดโอเวอร์ชูตที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง T_3 จะถูกลดให้ต่ำลง โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรานซิสเตอร์ทั้งสอง โดยกำหนดให้

$$3RC = 5\%\ T/2 \quad \text{..... (3.18)} \quad (1)$$

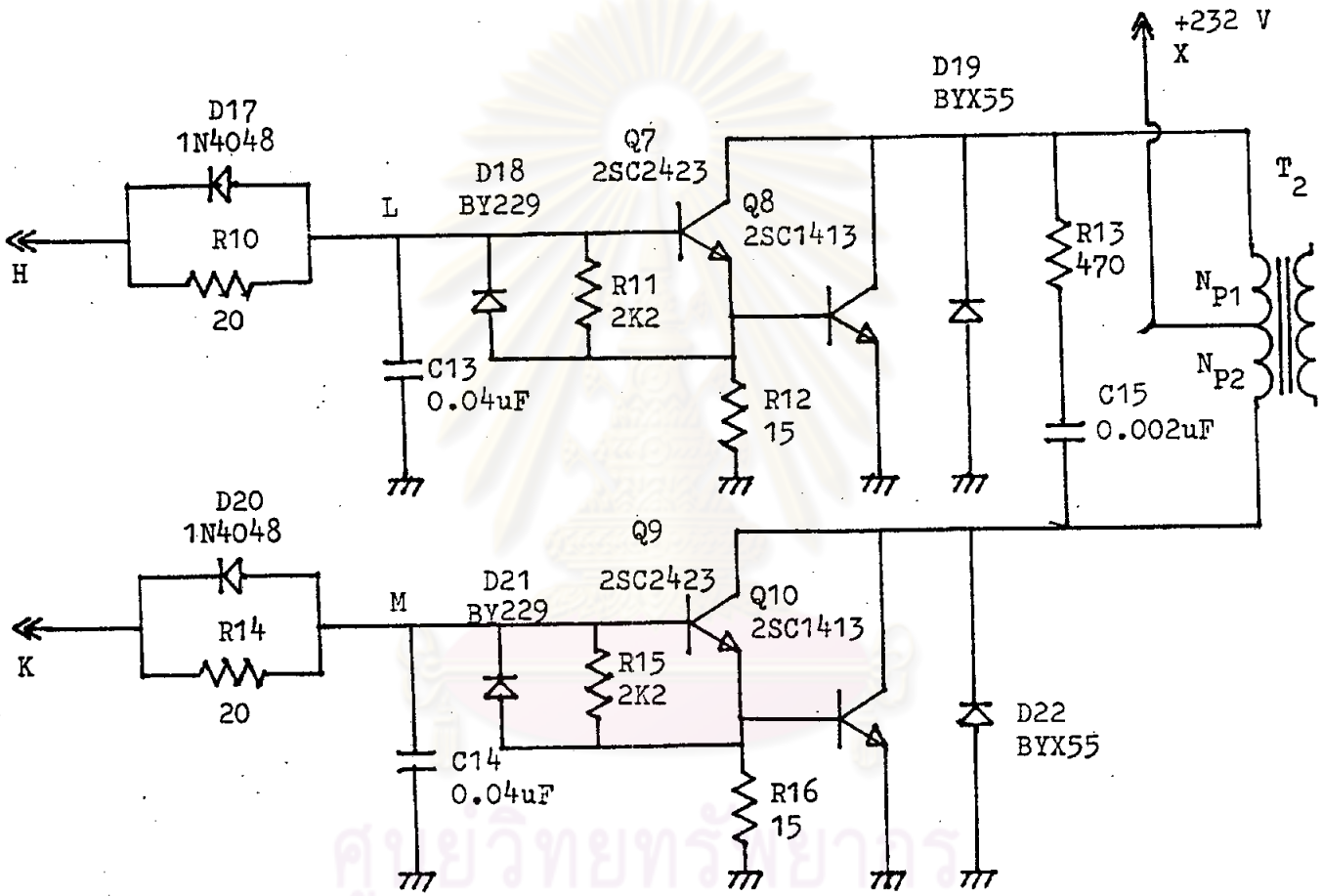
เมื่อ

R คือ ตัวต้านทาน

C คือ ตัวเก็บประจุ

T คือ เวลาในหนึ่งรอบ

พิพิธภัณฑ์กลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุช - พูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญาณที่ทางออกของหม้อแปลง T_3 ที่ขดลวดทุติยภูมิ จะต่อเข้ากับที่ทางเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงได้ดังวงจรรูป 3.10

การทำงานของวงจรรูป 3.10

จากวงจรรูป 3.10 เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุช - พูล โดยแบ่งการทำงานของวงจรออกเป็นสองส่วน และ จะทำงานสลับกัน เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ทางเข้าจุด H และ K มีมุมต่างกัน 180° และ อุปกรณ์อิเล็กตรอนิกส์ ที่ประกอบขึ้นเป็นวงจรทั้งสองส่วนจะเหมือนกัน กล่าวคือ

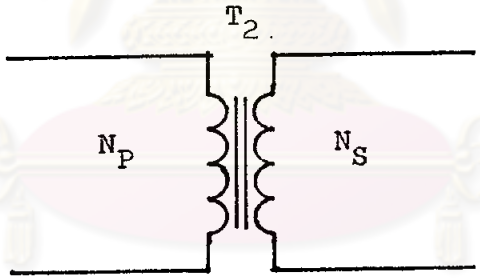
ทรานซิสเตอร์ Q_7 (2SC2423) และ Q_8 (2SC1413) ต่อวงจรเป็นแบบดาลิงตัน โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_7 จะทำหน้าที่ขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_8 ซึ่งทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 เป็นทรานซิสเตอร์แบบ N-P-N และทรานซิสเตอร์ Q_7 เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานย่านความถี่สูง เพราะต้องการผลตอบสนองในการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_7 จะต้องให้สูง เนื่องจากวงจรที่ประกอบขึ้นนี้จะใช้งานที่ความถี่สูง ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_8 เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง เมื่อสัญญาณพัลส์บวก ปรากฏที่ทางเข้าของวงจรคือ จุด H แล้วสัญญาณพัลส์บวกนี้จะถูกหน่วงให้ช้าลง โดยวงจรอินทิเกรต R_{10} C_{13} ซึ่งแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณพัลส์บวก เมื่อผ่านวงจรอินทิเกรต จะเป็นดังสมการ

$$V_{out} = V_{in} (1 - e^{-T/3R_{10}C_{13}}) \quad \ldots\ldots (3.19)$$

สาเหตุที่ต้องหน่วงสัญญาณพัลส์บวกให้ช้าลง เนื่องจากป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์ ในวงจรพุช - พูล เพราะผลตอบสนองของทรานซิสเตอร์ต่อความถี่ไม่ดีแท้จริง เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นสวิตช์จะมี เวลาตก เวลาขึ้น และ เวลากักเก็บ อยู่ เมื่อสัญญาณพัลส์บวกที่ถูกหน่วงปรากฏที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_7 ไดโอด D_{18} จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับทาง ไดโอด D_{18} จะไม่นำกระแส ซึ่งเป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 นำกระแสเร็วขึ้น เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 นำกระแส ก็จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} ของหม้อแปลง T_2 และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} = 232-1

โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 นำกระแส และ อิ่มตัว เมื่อสัญญาณพัลส์ลบ ปรากฏที่ทางเข้าของวงจรที่จุด H ไดโอด D_{17} จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ไดโอด D_{17} จะนำกระแส กระแสที่ประจุในตัวเก็บประจุ C_{13} จากสัญญาณพัลส์บวกปรากฏที่ทางเข้าจุด H ตัวเก็บประจุ C_{13} จะคายประจุกระแสที่ประจุไว้ออกทางไดโอด D_{17} อย่างรวดเร็ว ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 หยุดนำกระแสอย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 หยุดนำกระแส เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} ของหม้อแปลง T_2 จะยุบตัวลง ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ในขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} ทำให้ไดโอด D_{19} ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ไดโอด D_{19} จะนำกระแส กระแสที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} จะประจุกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_{11} ของวงจรรูปที่ 3.6 โดยผ่านทางไดโอด D_{19} ตัวต้านทาน R_{13} และ ตัวเก็บประจุ C_{15} ต่อเป็นวงจรลดสไปก์ ที่เกิดจากรีแอกแตนซ์รั่วของหม้อแปลง T_2 เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ Q_7 และ Q_8 ไม่ให้เกิดความเสียหายขณะทำงาน

3.4 หม้อแปลง [1,2]



รูปที่ 3.11 แสดงหม้อแปลงแบบแยกขดลวด

จากรูปที่ 3.11 แสดงการพันขดลวดของหม้อแปลง T_2 แบบแยกขดลวดปฐมภูมิ กับ ขดลวดทุติยภูมิ ออกจากกัน ชนิดของแกนหม้อแปลง T_2 จะถูกกำหนดโดยความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งความถี่ที่ใช้งานในวงจรอินเวอร์เตอร์นี้มีความถี่สูงคือ ความถี่ 33 กิโลเฮิร์ตซ์ แกนหม้อแปลง T_2 จึงเป็นชนิดเฟอร์ไรต์ (ferrite) 3C8 ซึ่งแกนหม้อแปลงเฟอร์ไรต์ 3C8 นี้จะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ จะมีการสูญเสียภายในแกนต่ำเมื่อใช้งานที่ความถี่สูง และ ยังง่ายต่อการพันขดลวด เพราะขดลวดจะพันอยู่บนกระสวย ซึ่งกระสวยสามารถแยกออกจากแกนหม้อแปลงได้ง่าย โดยที่แกนหม้อแปลงเป็นรูปตัว E-E เมื่อใช้งานแกนหม้อแปลง กำลังที่ทางออก (Pout) ถูกกำหนดโดย

$$P_{out} = \frac{1 L I^2 f}{2} \quad \text{..... (3.20)} \quad (2)$$

และพลังงานที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ N_P ของหม้อแปลง T_2 ถูกกำหนดโดย พลังงานที่ปลอดภัยในการใช้งานของทรานซิสเตอร์ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ และพลังงานที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังเสียหายจะหาได้จาก

$$\text{สูตร } E_{s/b} = \frac{1 L I^2}{2} \quad \text{(3.21)} \quad (2)$$

ซึ่งค่า $E_{s/b}$ ในสมการ (3.21) จะมีค่าน้อยกว่าค่า $E_{s/b}$ เฉพาะของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อความปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน

เมื่อ

P_{out} คือ กำลังที่ทางออก

L คือ ตัวเหนี่ยวนำ

I คือ กระแสไฟฟ้า

f คือ ความถี่

$E_{s/b}$ คือ พลังงานที่ปลอดภัย ของทรานซิสเตอร์

และขนาดความโตของแกนหม้อแปลง จะหาได้จาก

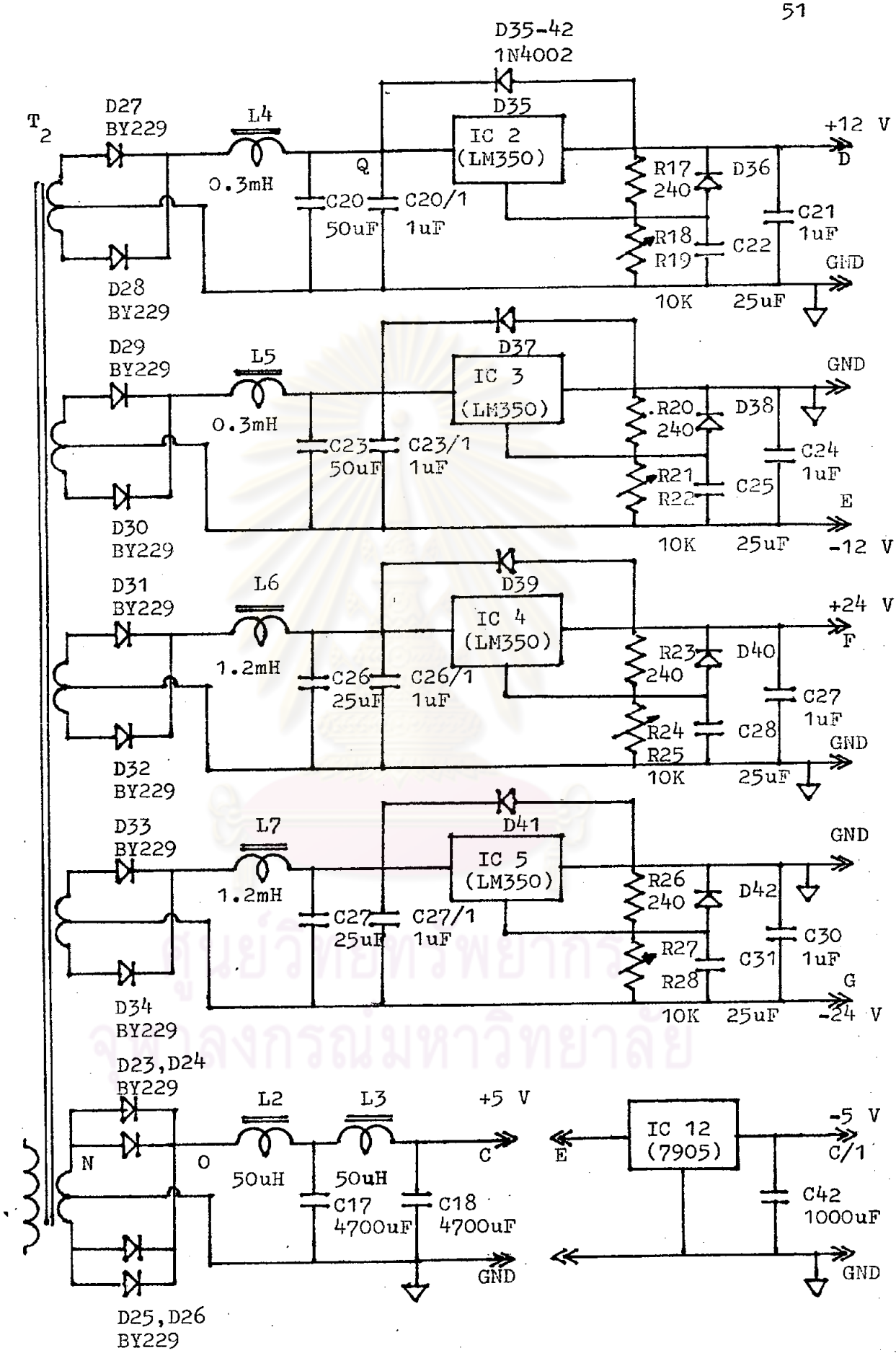
$$\text{สูตร } P_{out} = \frac{1.47 f B_{max} A_E A_C \times 10^{-3}}{D} \quad (2)$$
$$\text{(3.22)}$$

เมื่อ

A_E คือ พื้นที่หน้าตัดแกนหม้อแปลง

A_C คือ พื้นที่ขดลวด

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด

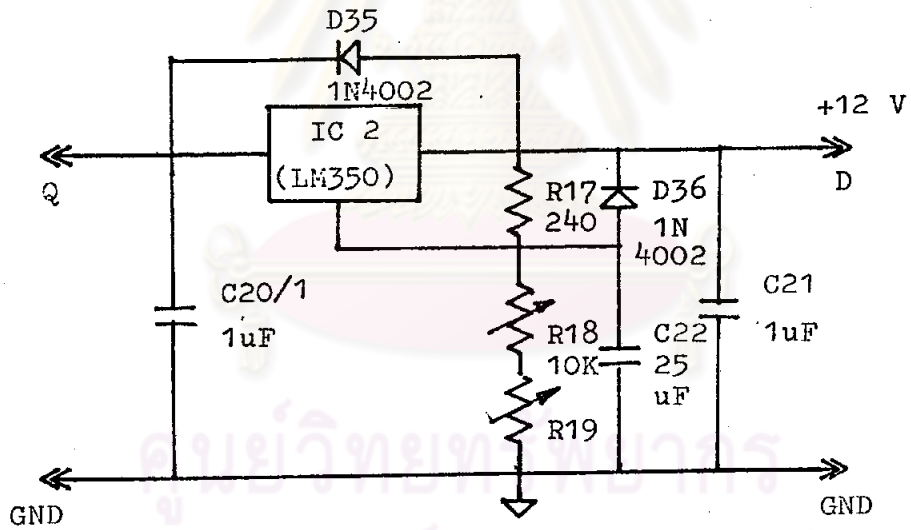


รูปที่ 3.12 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

3.5 วงจรเรียงกระแส และ วงจรเรกกุเลเตอร์

การทำงานของวงจรรูป 3.12

ไดโอด D_{23} - 34 (BY-229) ทำหน้าที่เป็นไดโอดเรียงกระแส ที่ใช้ย่านความถี่สูง โดยจัดวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ตัวเหนี่ยวนำ L_2 - L_7 และเก็บประจุ C_{17} - 28 ต่อเป็นวงจรฟิลเตอร์ ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกจากแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าผ่านวงจรเรียงกระแส และ ฟิลเตอร์ คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 โวลต์ , ±12 โวลต์ และ ±24 โวลต์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 2 โวลต์ และ ±24 โวลต์ นี้จะถูกรักษาให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้คงที่ด้วย ซี 2 - 5 (LM-350) ซึ่งเป็น ไอซี 3 ขา เรกกุเลเตอร์แบบอนุกรม สามารถับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกได้ โดยการต่ออุปกรณ์อิเล็กตรอนิกส์ภายนอก ดังแสดงในรูปจร 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เรกกุเลเตอร์บบอนุกรม

การทำงานของวงจรรูป 3.13

จากรูป 3.12 เนื่องจาก ไอซี 2 - 5 เป็น ไอซี (LM350) ชนิดเดียวกัน จึงเลือก ไอซี 2 อธิบายการทำงาน กล่าวคือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะถูกรักษาให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยแรงดันอ้างอิงที่ได้จากแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก ตกคร่อม

ตัวต้านทาน R_{17} , R_{18} และ R_{19} และ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_{17} จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าที่คงที่ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่คงที่นี้จะไหลผ่านตัวต้านทาน R_{18} , R_{19} โดยที่ตัวต้านทาน R_{18} , R_{19} เป็นแบบปรับค่าได้ ซึ่งตัวต้านทาน R_{18} จะปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกแบบหยาบ ส่วนตัวต้านทาน R_{19} จะปรับค่าได้แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกแบบละเอียด ไดโอด D_{35} เป็นชนิดซิลิคอน ทำหน้าที่ป้องกัน ไอซี 2 เสียหายเนื่องจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ C_{21} ที่จะคายประจุผ่านตัว ไอซี 2 เมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นที่ทางเข้าของ ไอซี 2 ไดโอด D_{36} เป็นชนิดซิลิคอน ทำหน้าที่ป้องกัน ไอซี 2 เสียหายเนื่องจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ C_{22} ที่จะคายประจุผ่านตัว ไอซี 2 เมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นที่ทางออกของ ไอซี 2 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของ ไอซี 2 จะหาได้จาก

$$V_{out} = V_{ref} (1 + R_{17}/R_{18} + R_{19}) + I_{adj} (R_{18} + R_{19}) \quad \ldots\ldots (3.23)$$

เมื่อ

V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางออก

V_{ref} คือ แรงดันอ้างอิง

R คือ ตัวต้านทาน

I คือ กระแส

และ ค่าความจุ ของตัวเก็บประจุ C_{20} , C_{22} จะหาได้จาก

$$C = \frac{I \Delta T}{\Delta V}$$

เมื่อ

C คือ ตัวเก็บประจุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ΔT คือ เวลาระลอกคลื่น

ΔV คือ แรงดันไฟฟ้าระลอกคลื่น

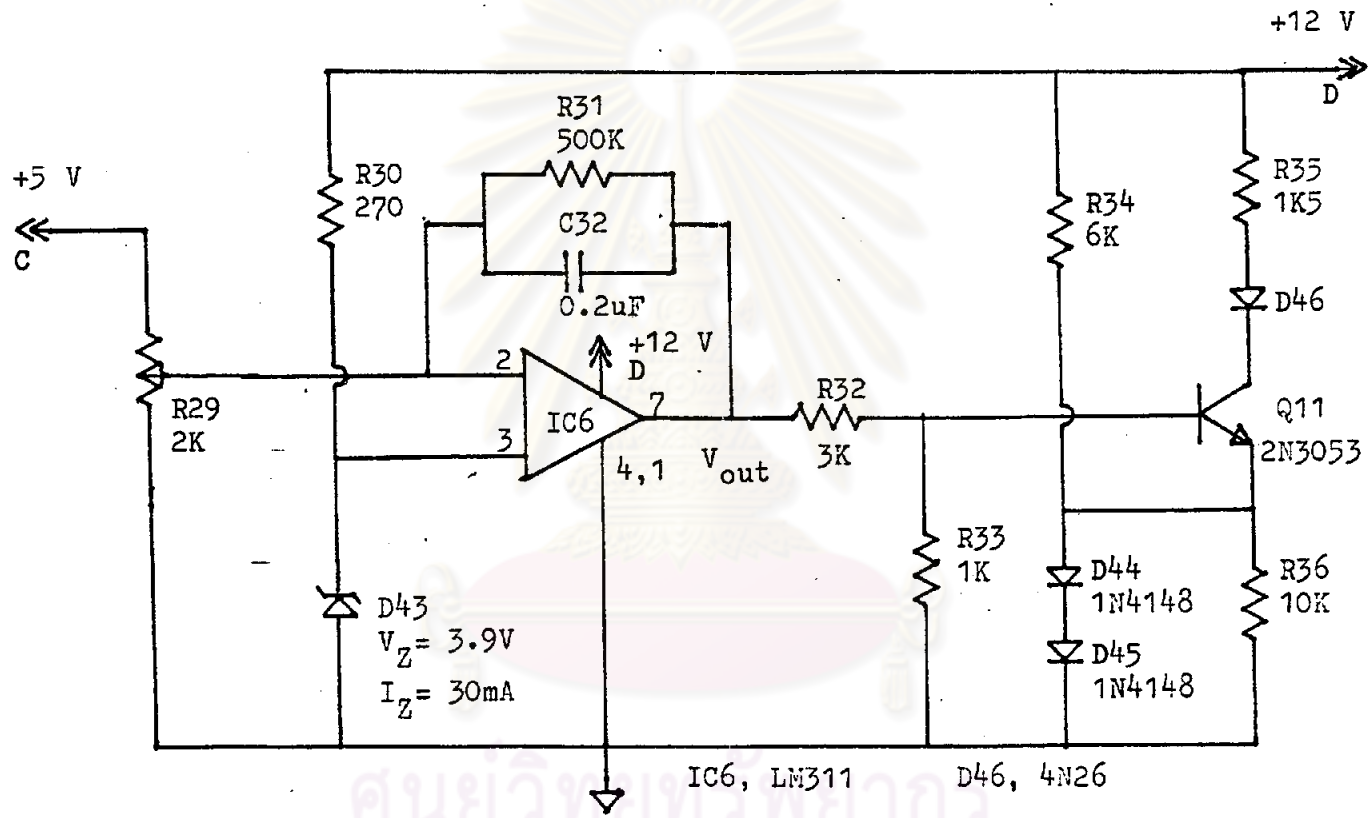
แรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ นี้จะถูกรักษาให้ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยการต่อแยกแรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ นี้ เข้าไปยังวงจรขยายค่าผิดพลาดส่วนหนึ่ง และ อีกส่วนหนึ่งจะจ่ายกระแสให้กับโหลด

3.6 <u>วงจรขยายค่าผิดพลาด</u>

วงจรขยายค่าผิดพลาดที่ได้ออกแบบไว้จะแยกกันร่วม ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ออกจากกันร่วม ที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง T_2 รูปที่ 3.12 โดยการใช้ตัวเชื่อมต่อใช้แสง (optocoupler) เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกัน และกัน วงจรขยายค่าผิดพลาดที่กล่าวแล้วข้างต้น แสดงได้ดังวงจรรูป 3.14

การทำงานของวงจรรูป 3.14 ก

ไอซี 6 (LM311) เป็นไอซีชนิดเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าแรงดันอ้างอิงคงที่ ที่ขาอินเวอร์ติง (inverting) ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) D_{43} โดยตัวต้านทาน R_{30} เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_{43} จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า +12 โวลต์ ที่ทางออกของหม้อแปลง T_2 ที่จุด D ของรูปวงจรที่ 3.13 และ แรงดันไฟฟ้าที่ขานอนอินเวอร์ติง (noninverting) ได้รับแรงดันไฟฟ้าจาก +5 โวลต์ ที่ทางออกของหม้อแปลง T_2 ที่จุด C รูปวงจรที่ 3.13 โดยแรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ นี้จะถูกแบ่งโดยตัวต้านทาน R_{29} ซึ่งเป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของหม้อแปลง T_2 ได้ตามต้องการ ไอซี 6 ถูกจัดให้ทำงานแบบวงรอบปิดโดยตัวต้านทาน R_{31} และ ตัวเก็บประจุ C_{32} ที่ทางออกของไอซี 6 จะขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_{11} โดยตัวต้านทาน R_{32} และ R_{33} ต่อแบ่งแรงดัน ตัวต้านทาน R_{35} และ ไดโอด D_{46} ซึ่งไดโอด D_{46} เป็นออปโต้ไดโอด (opto diode) ต่อเป็นโหลดให้กับทรานซิสเตอร์ Q_{11} เมื่อกระแสที่เข้าเบสเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้กระแสที่คอลเลกเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย การเปลี่ยนแปลงกระแสคอลเลกเตอร์นี้ จะทำให้ออปโต้ไดโอด D_{46} เปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่ส่งไปยังออปโต้ทรานซิสเตอร์ Q_{12} รูปวงจร 3.14 ข ตัว



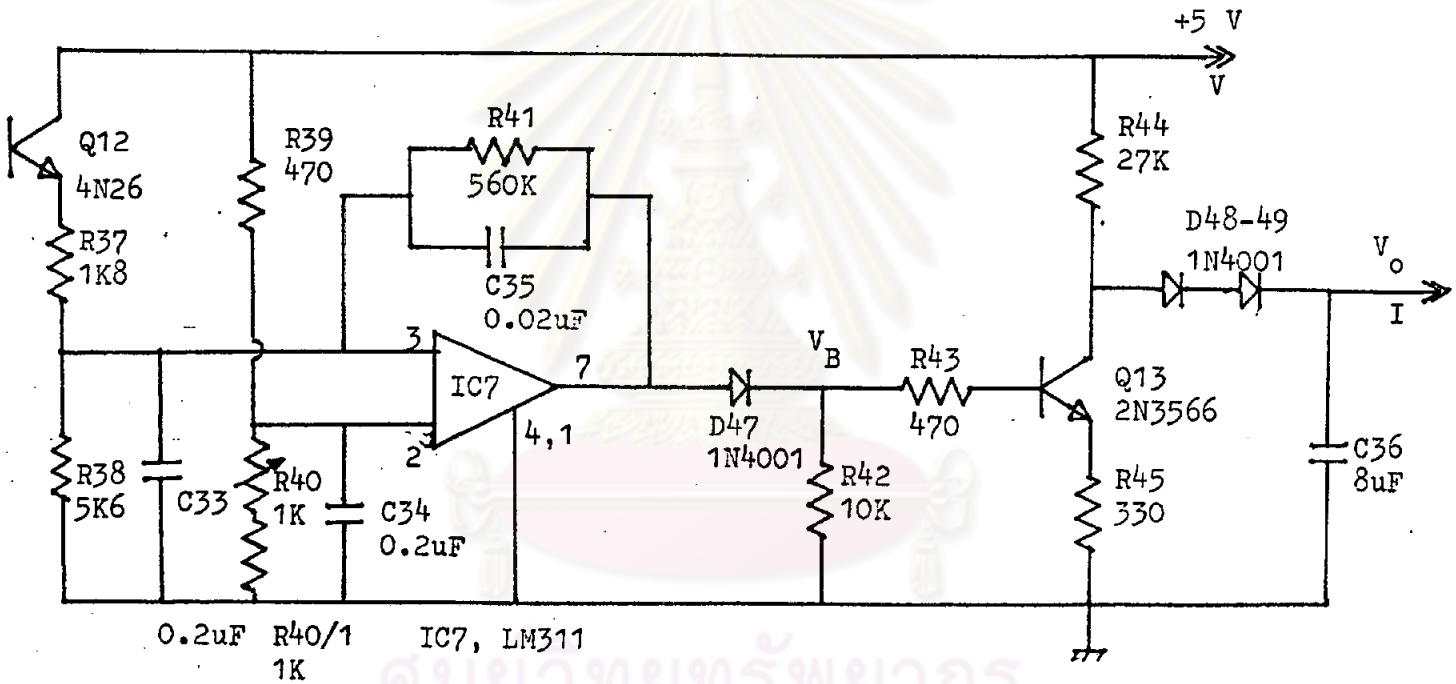
รูปที่ 3.14 ก วงจรขยายค่าผิดพลาดส่วนที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้านทาน R_{34} และ R_{36} ต่อแบ่งแรงดันไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_{11} จะคงที่ โดยแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D_{44} และ D_{45} เพื่อเป็นจุดปรับตั้ง (set point) ให้กับวงจรขยายค่าผิดพลาด

การทำงานของวงจรรูป 3.14 ข

ไอซี 7 (LM311) เป็นไอซีชนิดเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าขานอนอินเวอร์ติง ของไอซี 7 เป็นแรงดันอ้างอิง ซึ่งได้จากการแบ่งแรงดันไฟฟ้าของตัวต้านทาน R_{39} และ R_{40} โดยตัวต้านทาน R_{40} เป็นแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับกำหนดค่าแรงดันอ้างอิง แรงดันไฟฟ้าที่ขาอินเวอร์ติง ของไอซี 7 ได้จากแรงดันไฟฟ้าที่แบ่งโดยตัวต้านทาน R_{37} , ออปโต้ทรานซิสเตอร์ Q_{12} และ ตัวต้านทาน R_{38} แรงดันไฟฟ้าที่ขาอินเวอร์ติง จะเปลี่ยนไปตามการทำงานของออปโต้ทรานซิสเตอร์ Q_{12} ซึ่งออปโต้ทรานซิสเตอร์ Q_{12} จะทำงานตามสัญญาณแสงที่ได้รับจากออปโต้ไดโอด D_{45} รูปที่ 3.14 ก ตัวเก็บประจุ C_{33} และ C_{34} จะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสัญญาณความถี่สูงลงดิน เพื่อป้องกันสัญญาณความถี่สูงรบกวนการทำงานของไอซี 7 ซึ่ง ไอซี 7 จะทำงานแบบวงปิด โดยตัวต้านทาน R_{41} และ ตัวเก็บประจุ C_{35}เพื่อป้องกันการออสซิลเลตของ ไอซี 7 เมื่อทำงานที่วงรอบเปิด เพราะ ไอซี 7 จะมีอัตราขยายสูง แรงดันไฟฟ้าค่าคลาดเคลื่อนที่ทางออกของ ไอซี 7 จะขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_{13} โดยผ่านทางไดโอด D_{47} ซึ่งไดโอด D_{47} จะทำหน้าที่ยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของ ไอซี 7 โดยที่ตัวต้านทาน R_{43} เป็นตัวต้านทานจำกัดกระแส และ ตัวต้านทาน R_{42} จะทำหน้าที่แบ่งกระแสที่ไหลเข้าเบสของทรานซิสเตอร์ Q_{13} ตัวต้านทาน R_{44} เป็นโหลดให้กับทรานซิสเตอร์ Q_{13} ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_{44} จะสูงสุดได้ไม่เกิน ความสูงของระดับแรงดันไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยของวงจรรูปที่ 3.15 ก ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_{13} ไม่นำกระแส และ ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_{13} นำกระแส และ อิ่มตัว แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_{44} จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของสัญญาณรูปฟันเลื่อยของวงจรรูปที่ 3.15 ก ไดโอด D_{48} และ D_{49} (1N4001) เป็นไดโอดยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_{13} และ สัญญาณความถี่สูงที่ทางออกจะถูกกรองด้วยตัวเก็บประจุ C_{36}

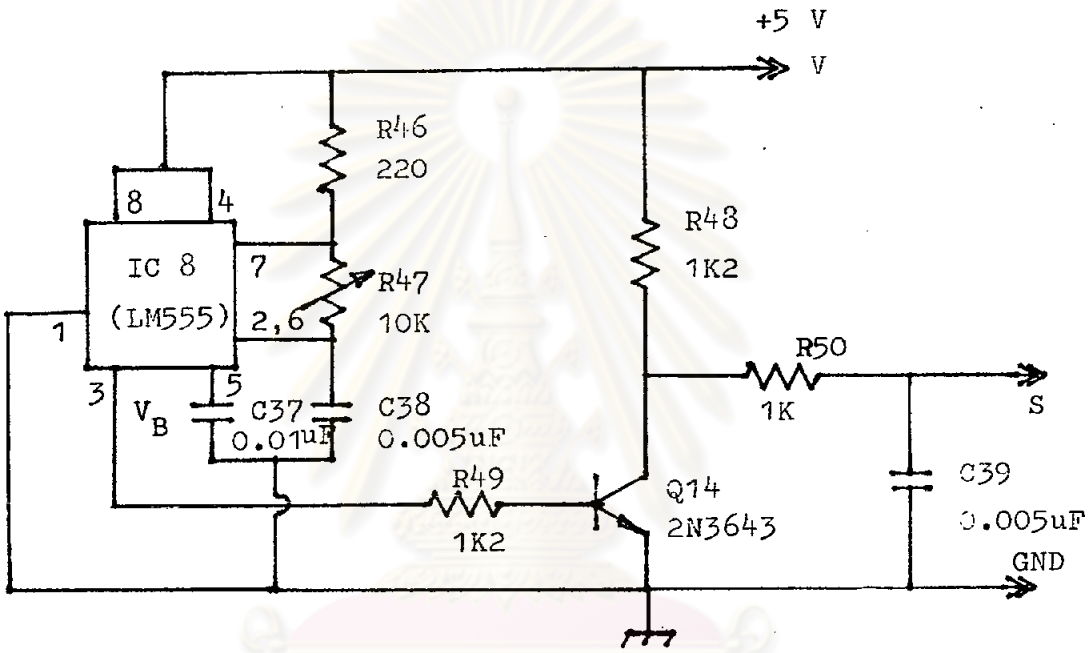


รูปที่ 3.14 ข วงจรขยายค่าผิดพลาดส่วนที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 พัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์

การทำงานของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์พื้นฐานจะได้จาก การเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกับสัญญาณไฟฟ้ารูปฟันเลื่อย ที่ทางเข้าของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์ ได้สัญญาณพัลส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างที่ทางออก จากการทำงานดังที่กล่าวแล้วข้างต้นจะแสดงได้ดังวงจรรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ก วงจรผลิตสัญญาณฟันเลื่อย

การทำงานของวงจรรูป 3.15 ก

วงจรผลิตสัญญาณรูปฟันเลื่อยประกอบด้วย ไอซี 8 (LM555) ซึ่งไอซี 8 เป็นชนิดไทมเมอร์ (timer) ทำงานแบบอเสถียร (astable) ความถี่ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการประจุกระแสของตัวเก็บประจุ C_{38} โดยที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทางตัวต้านทาน $R_{46} + R_{47}$ และการคายประจุของตัวเก็บประจุ C_{38} จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_{47} เวลาที่ใช้ในการประจุกระแสของตัวเก็บประจุ C_{38} คือ

$$t_1 = 0.693 (R_{46} + R_{47}) C_{38} \quad \ldots\ldots (3.24)$$

และ เวลาในการคายประจุกระแสของตัวเก็บประจุ C_{38} คือ

$$t_2 = 0.693\ R_{47}\ C_{38} \quad \text{..... (3.25)}$$

เมื่อ

t_1 คือ เวลาในการประจุกระแสของตัวเก็บประจุ C_{38}

t_2 คือ เวลาในการคายประจุกระแสของตัวเก็บประจุ C_{38}

R คือ ตัวต้านทาน

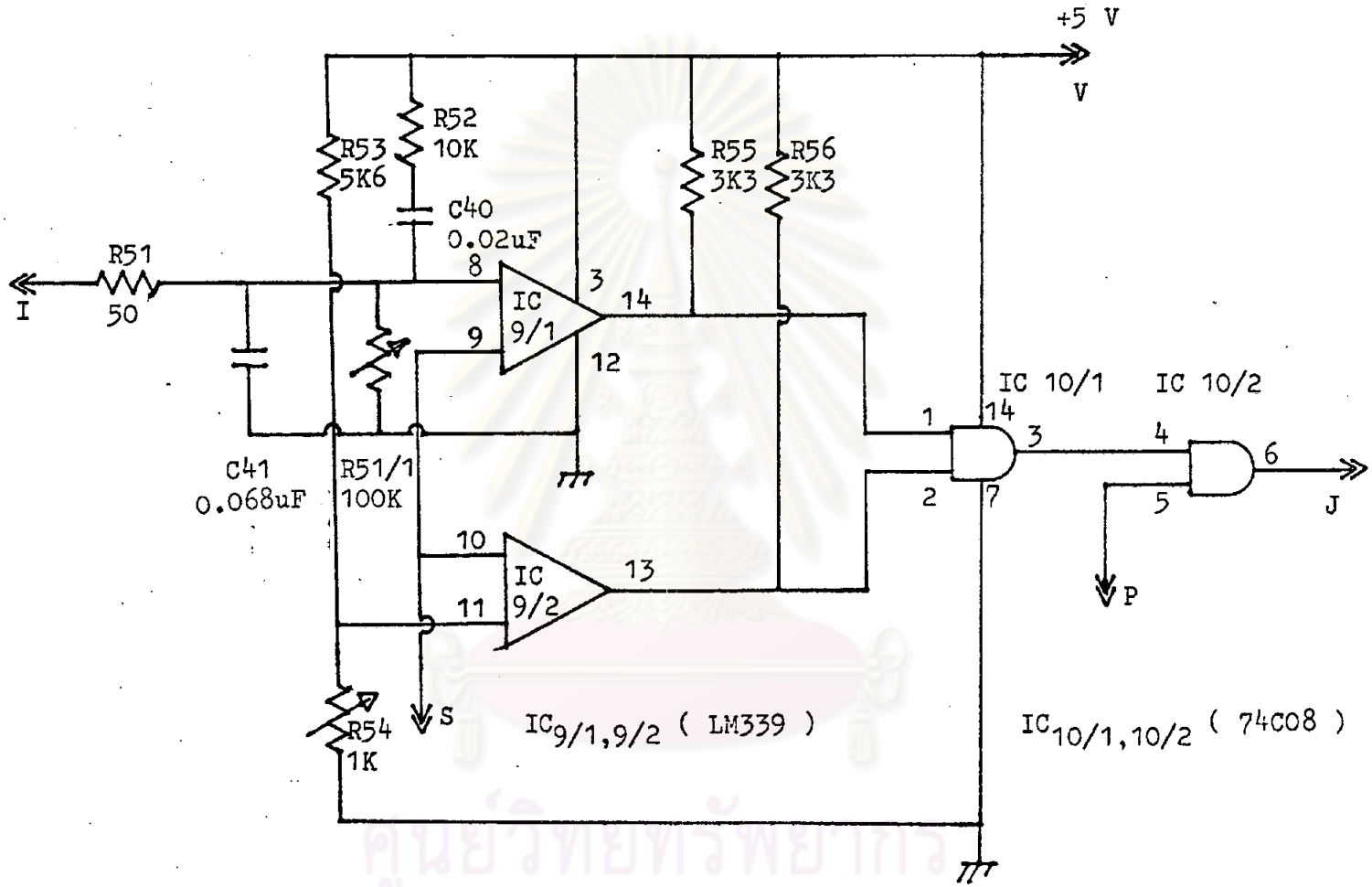
C คือ ตัวเก็บประจุ

สัญญาณพัลส์ที่ทางออกของ ไอซี 8 จะเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม โดยมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกคือ V_B โวลต์ สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมนี้จะส่งเข้าขับเบสของทรานซิสเตอร์ Q_{14} โดยผ่านทางตัวต้านทาน R_{49} ทรานซิสเตอร์ Q_{14} (2N3643) เป็นซนิคซิลิคอนแบบ N-P-N ทำงานย่านความถี่สูง ซึ่งทรานซิสเตอร์ Q_{14} จะทำงานเป็นสวิตช์ และ ขยายแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก ได้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ทางออกที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_{14} และ สัญญาณพัลส์นี้จะส่งผ่านวงจรอินทิเกรต R_{50} , C_{39} ได้สัญญาณรูปฟันเลื่อยที่จุด S เวลาที่ใช้ในการอินทิเกรตคือ

$$T = 0.6\ R_{50}\ C_{39} \quad \text{..... (3.26)}$$

การทำงานของวงจรรูป 3.15 ข

วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์ประกอบด้วย ไอซี 9 (LM339) ซึ่งเป็น ไอซี แบบเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าขาอินเวอร์ติงของไอซี 9/1 ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากจุด I ของวงจรรูป 3.14 ข แรงดันไฟฟ้าที่จุด I นี้จะถูกกรองด้วยตัวต้านทาน R_{51} และ ตัวเก็บประจุ C_{41} แรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้าขาอินเวอร์ติง นี้จะเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยที่ได้จากวงจรรูป 3.15 ก ที่จุด S ได้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ทางออกของ ไอซี 9/1 โดยมีความกว้างของพัลส์เปลี่ยนแปลง ซึ่งความกว้างของพัลส์ที่ทางออกนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามความแตกต่างของระดับแรง



รูปที่ 3.15 ข วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

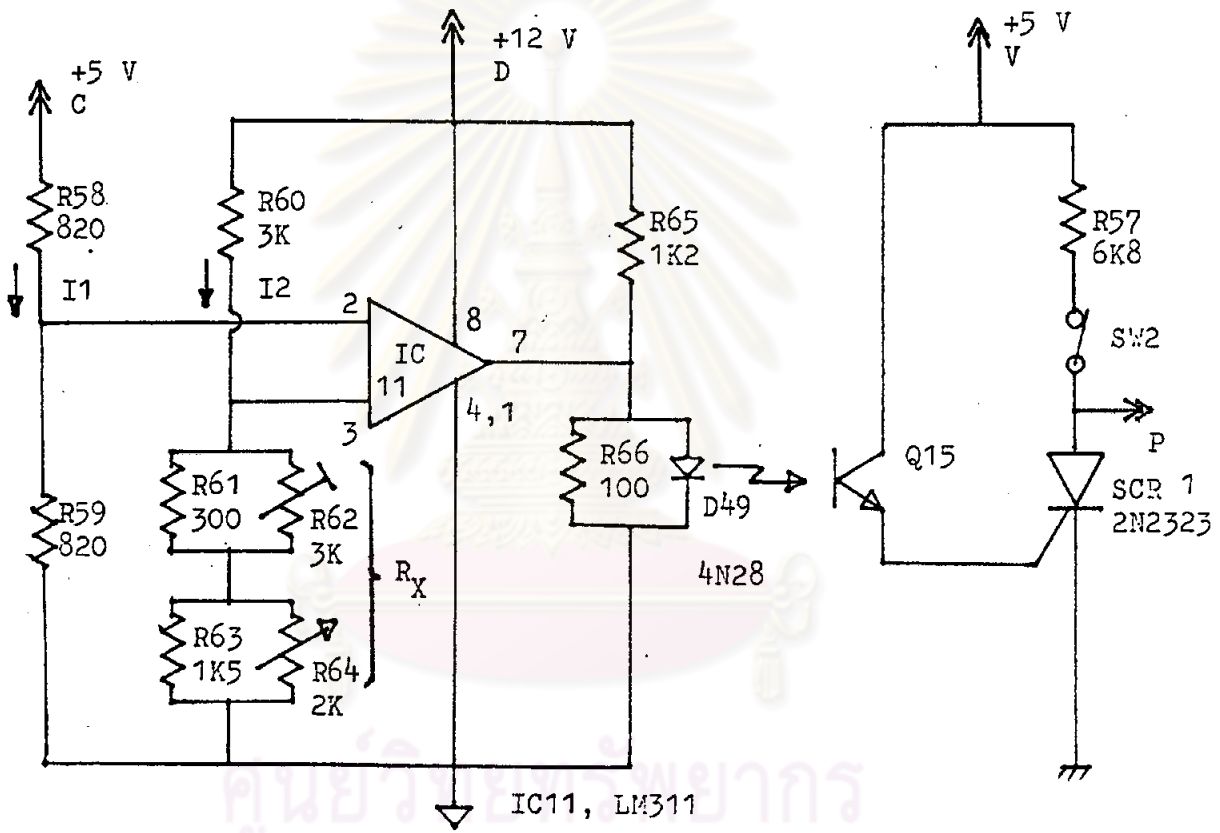
ดันไฟฟ้าเปรียบเทียบที่ทางเข้าของ ไอซี 9/1 ตัวต้านทาน R_{55} เป็นโหลดให้กับ ไอซี 9/1 และ สัญญาณพัลส์ที่ทางออกของ ไอซี 9/2 นี้ได้จากการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขาอินเวอร์ติง ซึ่งได้รับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานแบ่งแรงดัน R_{53} , R_{54} กับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ารูปฟันเลื่อย ที่ทางเข้าขาอินเวอร์ติงของ ไอซี 9/2 โดยที่ตัวต้านทาน R_{54} เป็นแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับกำหนด เวลาหยุดทำงาน (dead - time) ของ ไอซี 9/2 ตัวต้านทาน R_{56} เป็นโหลดให้กับ ไอซี 9/2 สัญญาณพัลส์ที่ทางออกของ ไอซี 9/1 และ ไอซี 9/2 จะส่งเข้าไปยังที่ทางเข้าของ ไอซี 10/1 ซึ่ง ไอซี 10/1 เป็น ไอซี แบบเกตแบบแอนด์ (AND gate) ได้สัญญาณพัลส์ที่ทางออก และ ที่ทางเข้าของ ไอซี 10/2 ซึ่ง ไอซี 10/2 เป็น ไอซีแบบ เกตแบบแอนด์ จะได้รับสัญญาณพัลส์ที่ทางออกของ ไอซี 10/1 และ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_{57} ที่จุด P รูปวงจรที่ 3.16 ได้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ทางออก ซึ่งสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมนี้จะส่งเข้าขับเบสของทรานซิสเตอร์ ในวงจรพรีเรกุเลเตอร์รูปวงจรที่ 3.6 ที่จุด J

3.8 วงจรป้องกัน

เนื่องจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชุด NTM3201 นี้ ทำงานโดยใช้ทรานซิสเตอร์กำลังทำงาน โดยมีแรงดันไฟฟ้าสูงตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวทรานซิสเตอร์กำลังขณะทำงาน ซึ่งถ้าหากความร้อนที่เกิดขึ้นที่ตัวทรานซิสเตอร์ สูงเกินขีดจำกัดของทรานซิสเตอร์กำลังก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังเสียหาย และ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทางออกของหม้อแปลง T_2 รูปวงจรที่ 3.12 สูงเกินขีดจำกัดการใช้งานของไอซีประเภทใช้งานดิจิตอล (digital) ก็จะทำให้ไอซีประเภทดิจิตอลเสียหายได้ เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์กำลังเสียหายจากความร้อน และ ป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของหม้อแปลง T_2 ไม่ให้สูงเกินกว่ากำหนด จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันดังแสดงในวงจรรูป 3.16

การทำงานของวงจรที่แสดงในรูปที่ 3.16

ไอซี 11 (LM311) เป็นไอซีชนิดเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ทางเข้า แรงดันไฟฟ้าที่ขานอนอินเวอร์ติง ได้รับจากแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของหม้อแปลง T_2 รูปวงจรที่ 3.12 +5 โวลต์ ที่จุด C และ แรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ นี้ จะถูกแบ่งโดย



รูปที่ 3.16 วงจรป้องกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวต้านทาน R_{58} , R_{59} สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ขาอินเวอร์ติง ได้จากแรงดันไฟฟ้า +12โวลต์ จากหม้อแปลง T_2 รูปวงจรที่ 3.12 ที่จุด D และ แรงดันไฟฟ้า +12 โวลต์ นี้ จะถูกแบ่งโดยตัวต้านทาน R_{60} และ R_X ซึ่งตัวต้านทาน R_X คือ

$$R_{61}//R_{62} + R_{63}//R_{64}$$

ตัวต้านทาน R_{62} เป็นเทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวเป็นลบ กล่าวคือ ค่าความต้านทาน R_{62} จะลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ตัวต้านทาน R_{62} สูงขึ้น ตัวต้านทาน R_{61} ต่อขนานกับตัวต้านทาน R_{62} เพื่อให้ ไอซี 11 มีเสถียรภาพในการทำงาน เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวต้านทาน R_{62} จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพราะอุณหภูมิรอบตัวต้านทาน R_{62} เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของ ไอซี 11 และ ตัวต้านทาน R_{62} นี้ จะเป็นตัวตรวจรับ (sensor) ความร้อนที่เกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์กำลัง เพราะตัวต้านทาน R_{62} จะยึดติดอยู่กับทรานซิสเตอร์กำลัง ตัวต้านทาน R_{63} ต่อขนานกับตัวต้านทาน R_{64} เพื่อให้การปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน R_{64} เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยที่ตัวต้านทาน R_{64} จะเป็นตัวปรับตั้งจุดการทำงานของ ไอซี 11 ขณะที่ ไอซี 11 ทำงาน แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของ ไอซี 11 จะสูงขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_{66} และ ออปโต้ไดโอด D_{49} ที่ได้รับจากแรงดันไฟฟ้า +12 โวลต์ จากหม้อแปลง T_2 โดยผ่านตัวต้านทาน R_{65} สูงขึ้น ทำให้ไดโอด D_{49} และ ออปโต้ทรานซิสเตอร์ Q_{15} นำกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_{15} นำกระแส กระแสไฟฟ้า +5 โวลต์ จากวงจรรูปที่ 3.5 ที่จุด V จะไหลเข้าเกท (gate) ของ เอสซีอาร์ (SCR) 1 เอสซีอาร์ 1 นำกระแส ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่แอโนด (anode) ของเอสซีอาร์ต่ำลง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำลงนี้คือ ที่จุด P ซึ่งต่อเข้ากับจุด P ของวงจรรูปที่ 3.15 ข ทำให้สัญญาณพัลส์ที่ทางออกของวงจรรูปที่ 3.15 ข ที่จุด P เป็นศูนย์ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุด NTM3201 จะหยุดทำงาน และ เมื่อต้องการให้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุด NTM3201 ทำงานก็กดสวิตช์รีเซต (reset) $S.W_1$ ซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน R_{57} ซึ่งเป็นโหลดให้กับเอสซีอาร์ 1