หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงที่พัฒนาขึ้น มีวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ไบอัสหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนลและซินทิลเลชัน สำหรับระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ ดังนั้นจึงเลือกออกแบบให้สามารถเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าได้ในช่วง 0 ถึง 3000 โวลต์ และจ่ายกระแสสูงสุดได้ 5 มิลลิแอมแปร์ การกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง ใช้แบบ ดริเวนไทป์ ดีซี-เอซี คอนเวอเตอร์ วงจรควบคุมศักดาคงที่เป็นแบบ สวิตชิง ชนิดพัลส์วิดมอดูเลชัน โดยจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากหม้อแปลงไฟฟ้า รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงที่ได้พัฒนาขึ้น

3.1 <u>วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง</u>

ประกอบด้วยวงจรต่อไปนี้

3.1.1 วงจรลดทอน อาร์ เอฟ ไอ (RFI suppression)

3.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

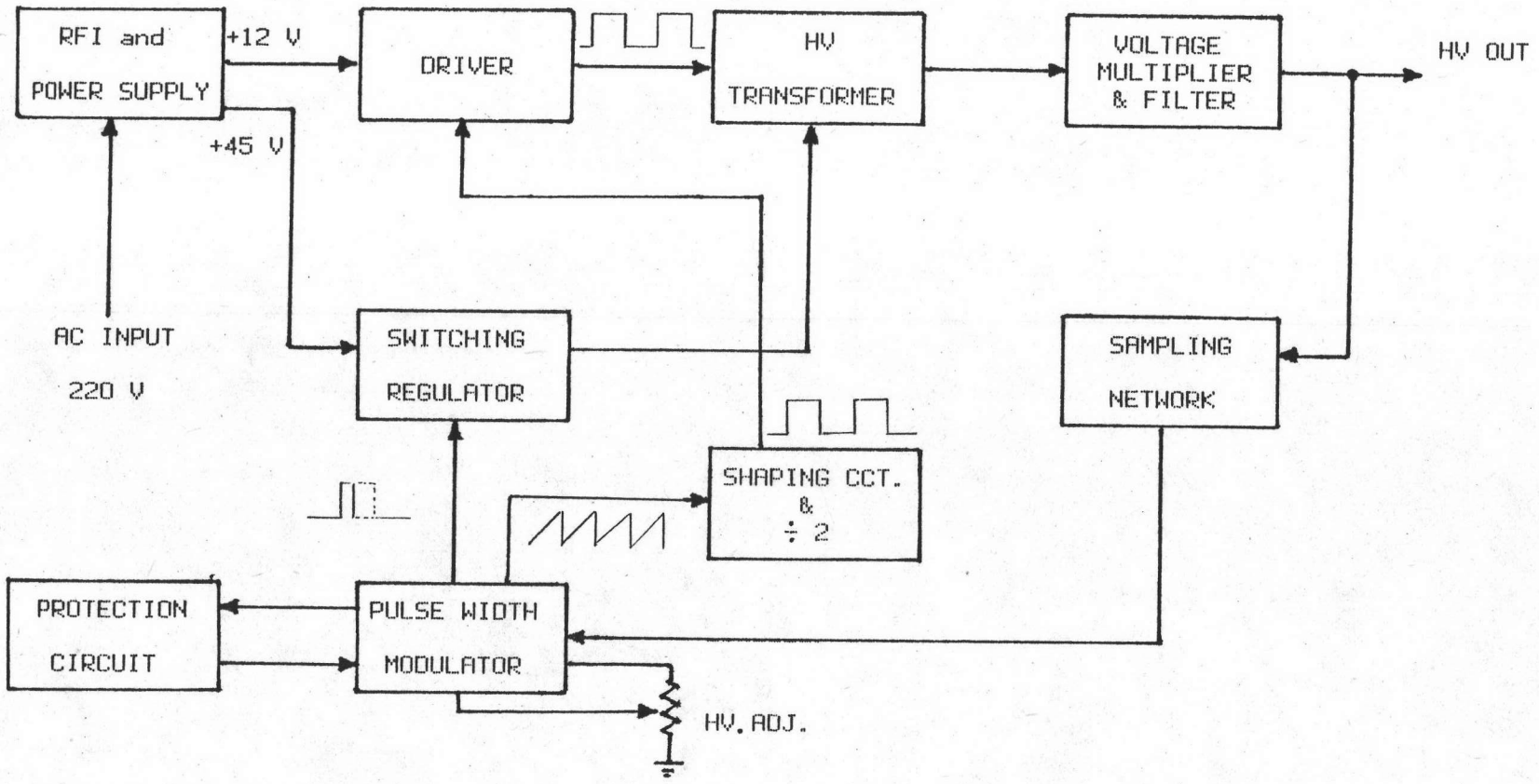
3.1.3 วงจรควบคุมแบบสวิตชิง

3.1.4 คอนเวอเตอร์ (converter)

3.1.5 วงจรทวีความต่างศักย์ และวงจรกรองกระแส (voltage multiplier)

3.1.6 วงจรป้องกัน

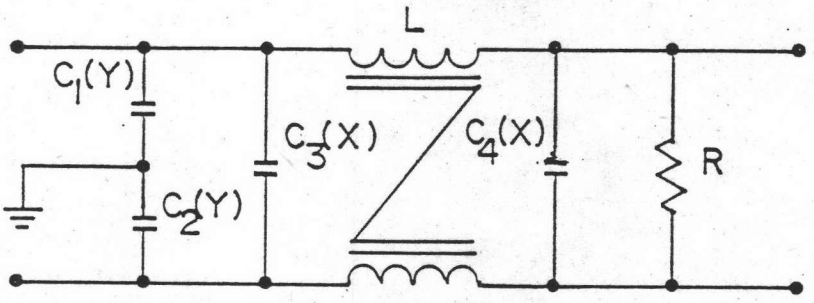
การทำงานตามแผนภาพ รูปที่ 3.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 หรือ 110 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ผ่านวงจรลดทอน อาร์เอฟไอ จากนั้นเข้าสู่ หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงเป็นไฟฟ้าแรงต่ำสองชุดจ่ายกระแสให้กับวงจรอื่นๆที่ต้องการไฟฟ้าแรงต่ำหนึ่งชุด อีกหนึ่งชุดสำหรับวงจรที่ใช้เปลี่ยนเป็นไฟฟ้าแรงสูง วงจรคอนเวอเตอร์ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงขึ้นทำให้ได้ไฟฟ้าแรงสูงแกนเฟอร์ไรต์ แล้วจึงผ่านสู่วงจรทวีความต่างศักย์ และวงจรกรองกระแสที่ทางออกส่วนตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ทางออกแล้ว ส่งต่อไปยังวงจรควบคุมแบบพัลส์วิดมอดูเลเตอร์ เพื่อควบคุมให้ความต่างศักย์ทางออกคงที่ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงวงจรต่างๆของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

3.2 การทำงานของวงจร

3.2.1 วงจรลดทอน อาร์ เอฟ ไอ (RFI suppression)[1]



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรลดทอนอาร์ เอฟ ไอ มาตรฐานที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ทำงานแบบสวิตชิง

ลักษณะการทำงานจะเป็นตัวกรองสัญญาณให้ความถี่ต่ำผ่านประกอบด้วย L และ C โดยต่อขดลวดเหนี่ยวนำอนุกรมกับไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 2 สายสายละ 1 ขด ตัวคาปาซิเตอร์ ที่ต่ออยู่ระหว่างสายไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า X capacitors (C_x) ตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ระหว่างไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 2 และสายดินเรียกว่า Y capacitors (C_y)

โดย C_x มีค่า 0.01 ถึง 2 ไมโครฟารัด

C_y " 2200 พิโคฟารัด ถึง 0.033 ไมโครฟารัด

L " 1.8 มิลลิเฮนรี่ ถึง 47 มิลลิเฮนรี่

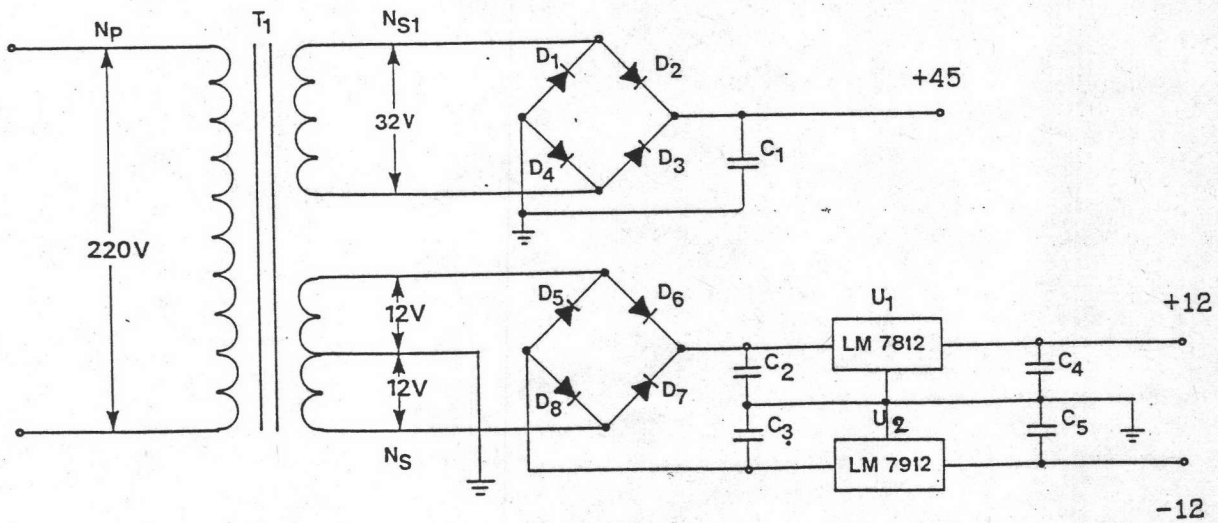
ค่า R หาได้จากสูตร

$$R = \frac{t}{2.21\ C} \qquad .....(3.1)$$

โดย t = 1 วินาที, C คือผลรวมของ X capacitors หน่วยเป็นไมโครฟารัด

3.2.2 <u>แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง</u>

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่สองส่วนส่วนแรกเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ ± 12V เพื่อจ่ายกระแสให้กับวงจรต่างๆ เช่นวงจรป้องกัน วงจรควบคุมพัลส์วิดีโอ ส่วนหนึ่งเป็นแหล่งจ่ายกระแสที่ยังไม่มีการ เรกกูเลต จะป้อนให้กับวงจรควบคุมแบบสวิตชิง ดังรูป 3.3

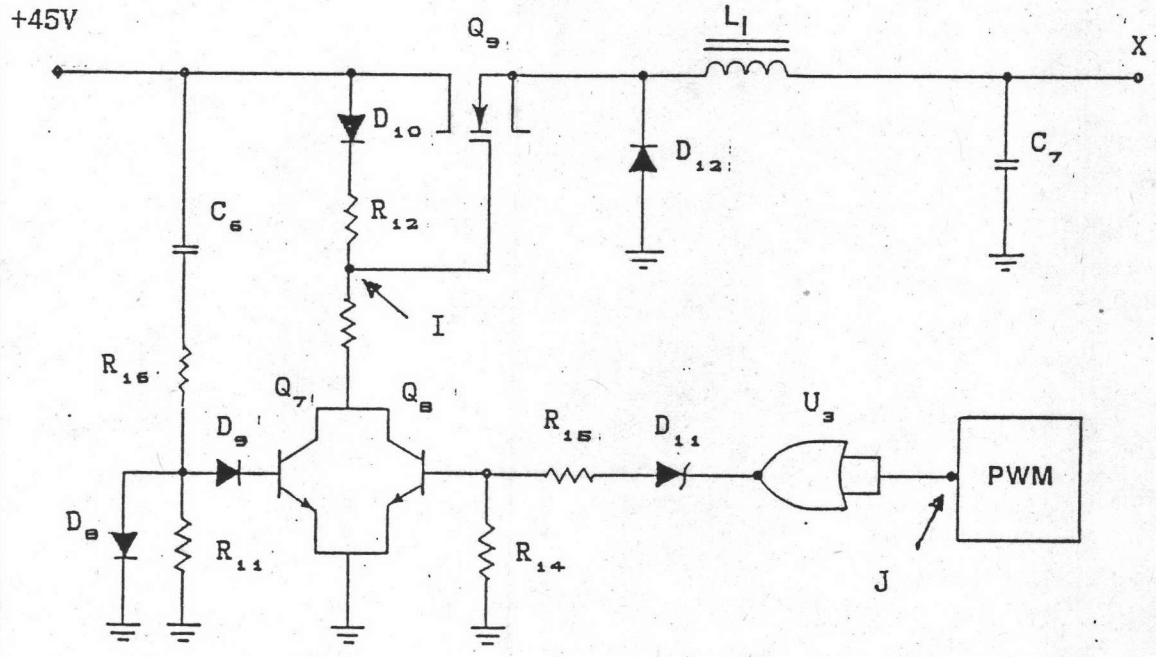


รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์
และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่เรกกูเลต

หลักการทำงาน หม้อแปลง T_1 เป็นชนิดแปลงลงโดยมีขดทุติยภูมิ 2 ขด N_{s1} และ N_{s2} ขดทุติยภูมิ N_{s1} ต่อกับวงจรเรียงกระแสแบบบริดด้วยไดโอด D_1, D_2, D_3, D_4 และมี C_1 เป็นตัวกรองกระแส ขดทุติยภูมิ N_{s2} เป็นแบบมีแทปกลาง 12-0-12 ต่อกับวงจรเรียงกระแสแบบฟูลเวฟด้วยไดโอด D_5, D_6, D_7, D_8 จะได้ความต่างศักย์บวกและลบ เพื่อจ่ายให้กับไอซี U_1 และ U_2 ซึ่งเป็นไอซีเรกกูเลเตอร์ มี C_2, C_3 เป็นตัวกรองกระแสทางเข้า C_4, C_5 กรองกระแสทางออกทำให้ได้ความต่างศักย์ทางออกเป็น $\pm$12 โวลต์

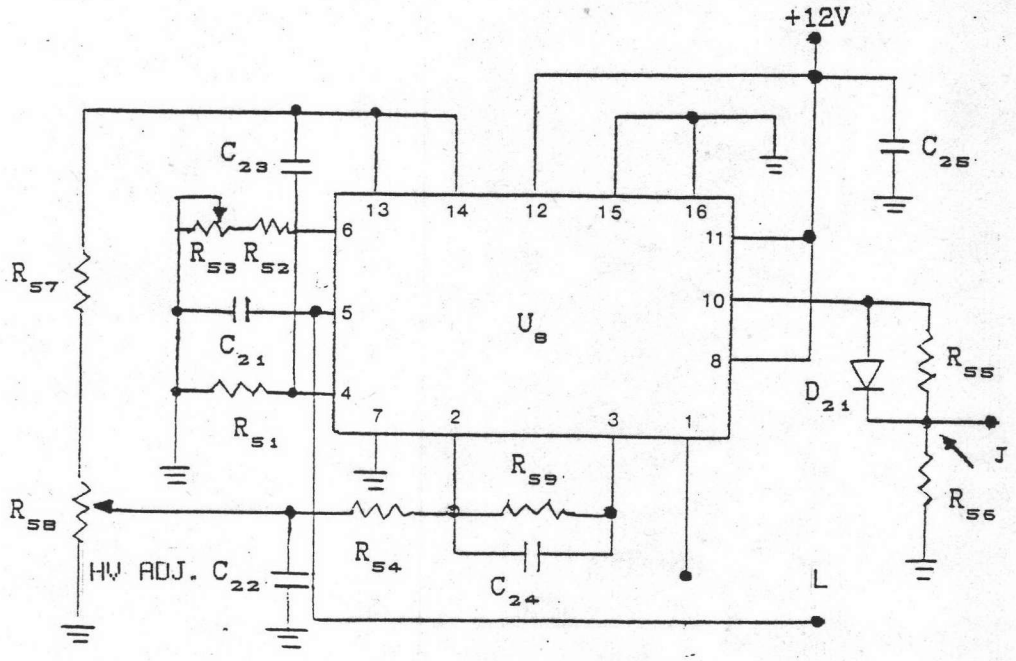
3.2.3 <u>วงจรควบคุมแบบสวิตชิง</u> (4)

หลักการทำงาน ทรานซิสเตอร์ Q_7, C_6, R_{11} ต่อกันเป็นวงจรซอฟสตาร์ทป้องกันไม่ให้เกิดการทำงานรุนแรงในช่วงเปิดสวิตครั้งแรก สัญญาณจากวงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์จะถูกกลับสัญญาณด้วย NOT gate มาควบคุมทรานซิสเตอร์ Q_8 ให้เปิดปิดตามขนาดความกว้างของพัลส์ เพาเวอร์มอสเฟตทรานซิสเตอร์ Q_9 จะถูกบังคับให้เปิดปิดกระแสในวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยทรานซิสเตอร์ Q_8 ควบคุมความต่างศักย์ที่ทางออกให้มีความต่างศักย์ตามการตรวจสอบระดับทางออกของวงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์ เพื่อรักษาระดับศักดาให้คงที่ L_1, C_7 เป็นตัวสะสมและกรองกระแสให้เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมแบบสวิตชิง

3.2.3.1 วงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulator)(3)



รูปที่ 3.5 วงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์

หลักการทำงานของวงจร ใช้ไอซีเบอร์ TL494 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมพัลส์วิด ภายในตัวไอซีประกอบด้วย วงจรขยายความคลาดเคลื่อน ศักดาอ้างอิง 5 โวลต์, วงจรกำเนิดความถี่ สัญญาณที่ใช้ควบคุมเข้าที่ขา 1 จะผ่านวงจรขยายความคลาดเคลื่อน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงรูปฟันเลื่อย กำเนิดเป็นพัลส์ขนาดความกว้างต่างๆตามระดับของศักดาเปรียบเทียบ ทรานซิสเตอร์ภายใน 2 ตัวทำหน้าที่ให้สัญญาณพัลส์ออกเพื่อนำไปควบคุมวงจรอื่น ความถี่ของวงจรกำหนดได้ด้วย C_T และ R_T ภายนอก ความถี่โดยประมาณคำนวณได้จากสูตร

$$f_{osc} = 1.1 / (R_T.C_T)$$

3.2.4 <u>วงจรคอนเวอเตอร์</u>

วงจรคอนเวอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ ดีซี - เอซี คอนเวอเตอร์ ประกอบด้วย

วงจรย่อย 2 วงจรคือ วงจรแต่งรูปสัญญาณและหารความถี่ วงจรขับ (driver) และหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7

3.2.4.1 **วงจรแต่งรูปสัญญาณและหารความถี่**

หลักการทำงาน ความถี่ของวงจรจะเป็นความถี่เดียวกับวงจรควบคุมแบบสวิตชิง โดยใช้สัญญาณพัลเลื่อยจากขา 5 ของไอซี U_8 มี Q_{10} R_{21},C_8 เป็นวงจรแต่งรูปสัญญาณ ความถี่พัลเลื่อยถูกหาร 2 ด้วยไอซี U_{11} สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากขา 1 และ 2 มี duty cycle ประมาณ 48% นำไปใช้งานในวงจรขับต่อไป

3.2.4.2 **วงจรขับแบบพุช-พูล**

หลักการทำงานของวงจรนี้เป็นแบบพุช-พูล ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ประกอบด้วยมอสเฟต (MOSFET) 2 ตัว Q_5 และ Q_6 ทำงานตามสัญญาณพัลล์สี่เหลี่ยมที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่มีความถี่ประมาณ 10 กิโลเฮิรตซ์มอสเฟตทั้ง 2 ตัวจะสลับกันทำงานเนื่องจากสัญญาณพัลล์สี่เหลี่ยมที่ขาเกตทั้ง 2 ได้รับมีเฟสต่างกัน 180 องศา ทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขดปฐมภูมิเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดทุติยภูมิ ความต่างศักย์ทางออกจะมีค่าประมาณ V_{in} N_s /N_p

โดย V_{in} คือ ความต่างศักย์ทางเข้า
N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

กำลังไฟฟ้า ที่ได้สามารถคำนาณได้จาก

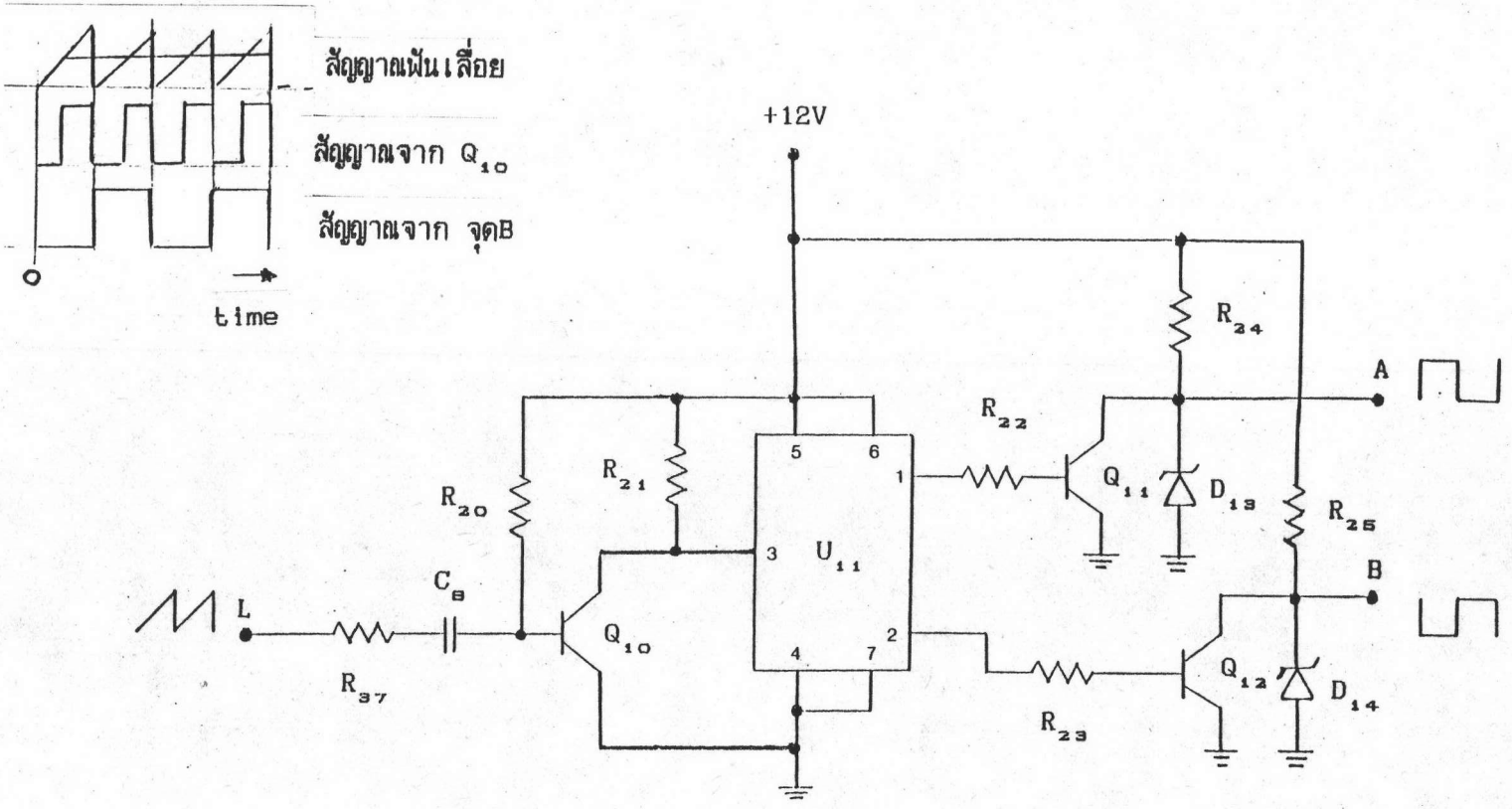
สูตร $P_{out} = (1/2)\ f\ L\ I^2$ .....(3.4)

เมื่อ P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าทางออก
f คือ ความถี่
L คือ ตัวเหนี่ยวนำ
I คือ กระแส

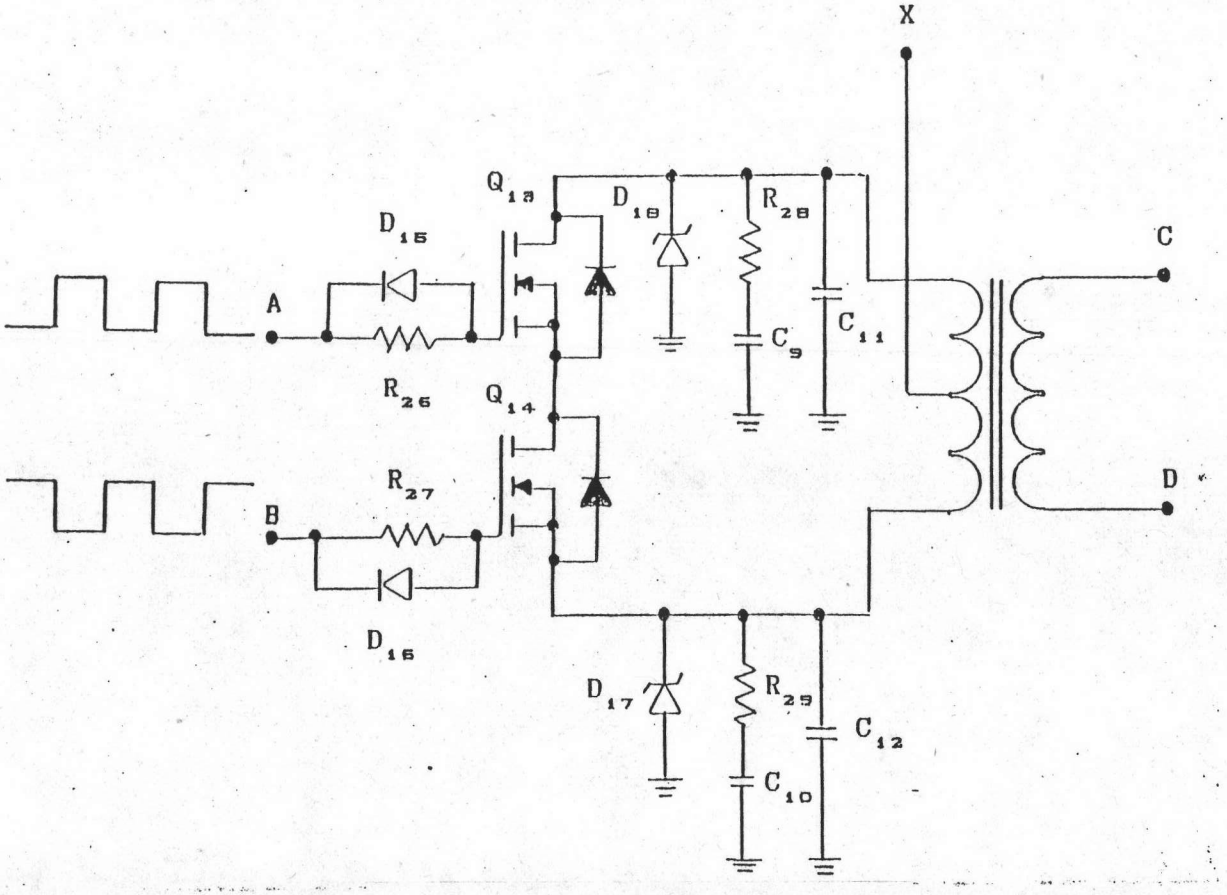
ขนาดของหม้อแปลงที่ใช้ คำนวณได้จาก

สูตร $P_{out} = 1.47\ f\ B_{max}\ A_E\ A_E\ 10^{-3}$ .....(3.5)

เมื่อ A_E คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน (ซม.^{2})
A_C คือ พื้นที่ขดลวด (ซม.^{2})



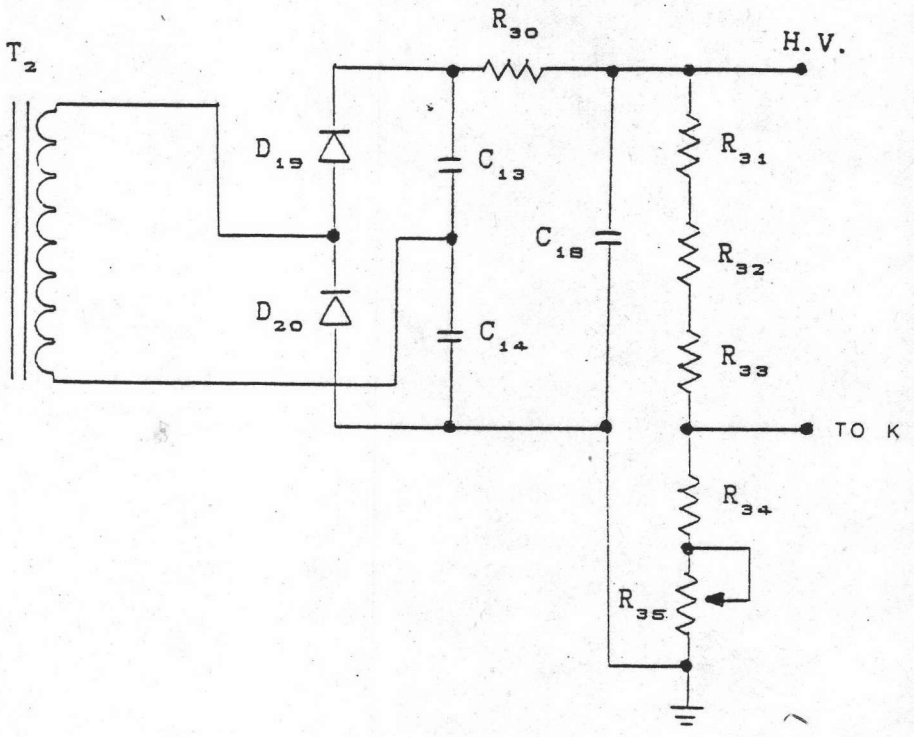
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรแต่งรูปสัญญาณและหารความถี่
เพื่อกำเนิดความถี่เดียวกับวงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์



รูปที่ 3.7 วงจรขับแบบพุช-พูล

3.3 วงจรทวีความต่างศักย์และกรองกระแส

วงจรที่ใช้เป็นแบบทวีความต่างศักย์ 2 เท่า แบบ ฟูลเวฟ ดังรูป ที่ 3.8

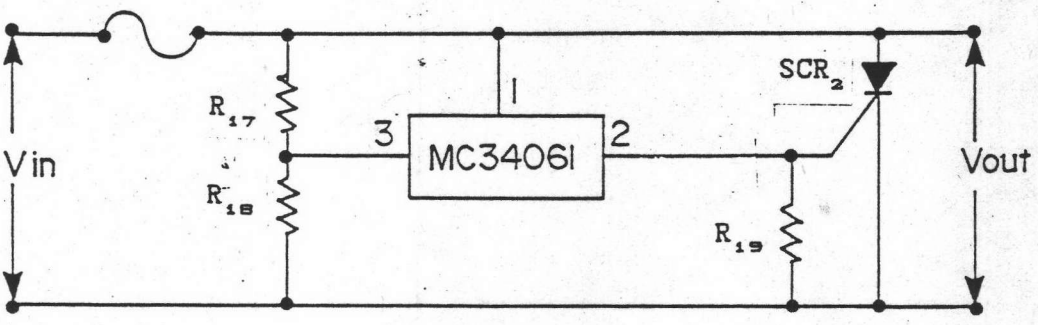


รูปที่ 3.8 แสดงวงจรทวีความต่างศักย์ 2 เท่าแบบฟูลเวฟ

D_{19}, D_{20}, C_{13} และ C_{14} จัดเป็นวงจรทวีศักดา 2 เท่าแบบฟูลเวฟ R_{30} และ C_{18} เป็นวงจรกรองกระแส R_{31-34} ร่วมกับ R_{35} เป็นวงจรสุ่มศักดาสำหรับตรวจสอบศักดาทางออกด้วยวงจรพัลส์วิดมอดูเลเตอร์

3.4 วงจรป้องกัน[2] [3]

3.4.1 วงจรป้องกันเมื่อความต่างศักย์เกิน



รูปที่ 3.9 วงจรป้องกันเมื่อความต่างศักย์เกิน

การทำงานเป็นแบบ คราวบาร์ (Crowbar) ประกอบด้วย U_4 ไอซีเบอร์ MC 34061 และ SCR

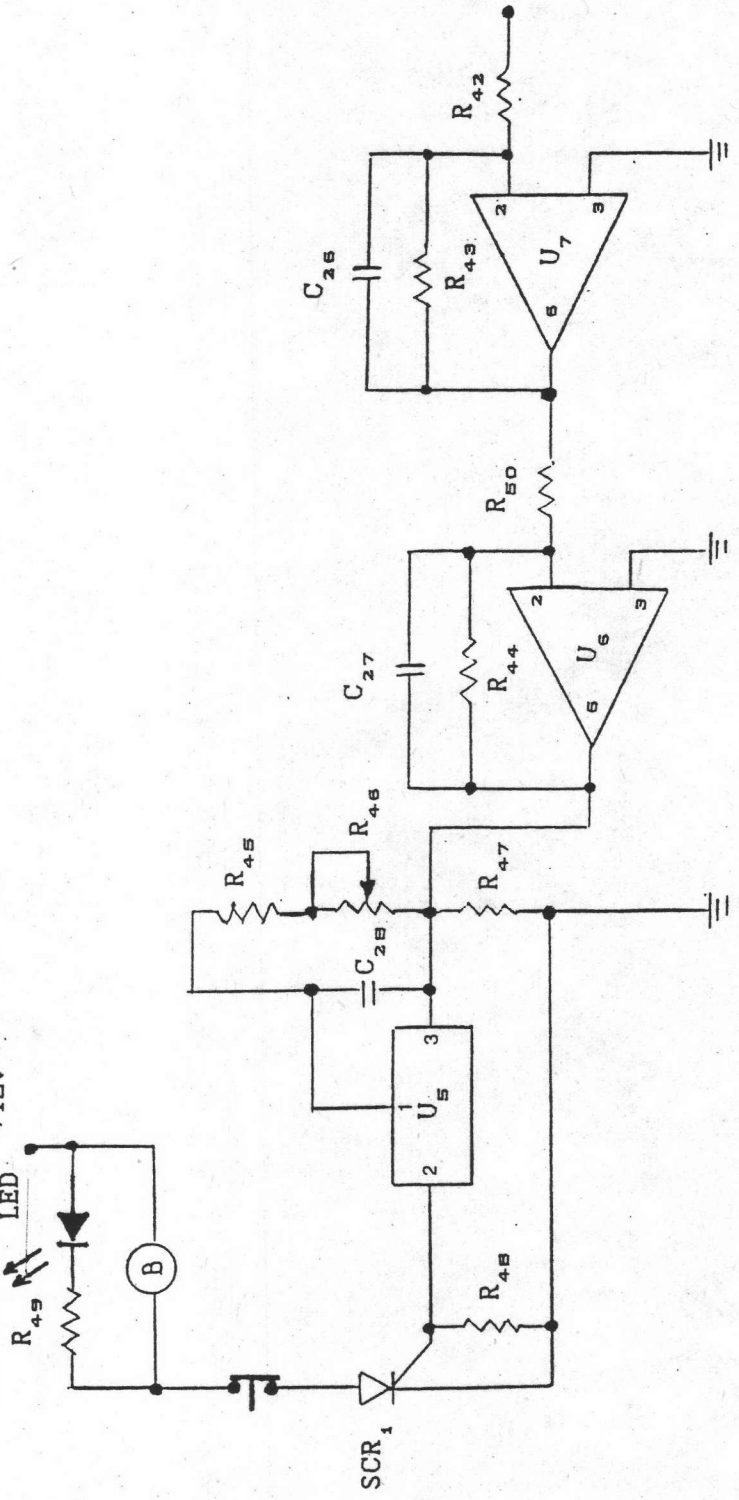
จุดทำงานคำนวณได้จาก

$$V_{trip} = \frac{2.5\ (R_{17} + R_{18})}{R_{17}} \qquad .....(3.6)$$

เมื่อความต่างศักย์จาก V_{in} สูงกว่า V_{trip} จะมีสัญญาณไปกระตุ้นเกตของSCR ทำให้ SCR นำกระแสเกิดการลัดวงจรขึ้นทำให้ฟิวส์ขาด และความต่างศักย์ที่ $V_{out} = 0$

3.4.2 วงจรป้องกันเมื่อใช้โหลดเกิน

หลักการทำงานของวงจร สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจากจุด J ต่อกับไอซี U_5 ซึ่งต่อเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเป็นคักดาไฟตรง โดยเป็นสัดส่วนกับความกว้างของพัลส์ที่รับเข้ามา คักดาไฟตรงนี้ถูกเปลี่ยนชั้วด้วยไอซี U_6 จึงเข้าวงจรตรวจสอบความต่างศักย์เกินซึ่งทำงานเหมือนกับวงจรที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมี LED และ ออด ส่งสัญญาณเตือน



รูปที่ 3.10 วงจรป้องกันเมื่อใช้โหลดเกิน

รูปที่ 3.10 วงจรป้องกันเมื่อใช้โหลดเกิน