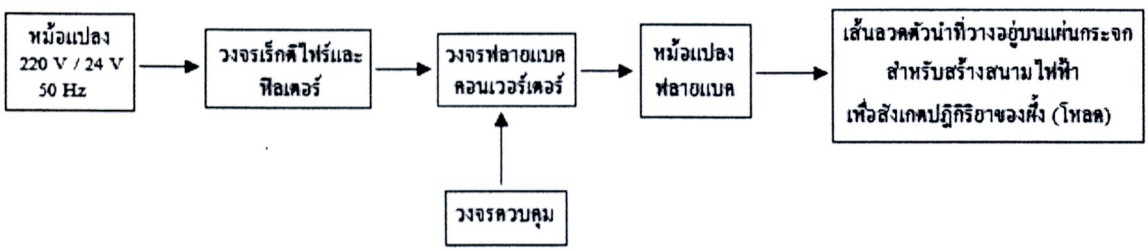
บทที่ 3
การออกแบบ

โครงการวิจัยนี้ได้แบ่งการออกแบบเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ภาคเร็กติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านอินพุต
2. ภาควงจรคอนเวอร์เตอร์ (วงจรกำลัง)
3. ภาควงจรควบคุมและวงจรขับเกท

การออกแบบทั้ง 3 ส่วนนี้ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูง ซึ่งมีหลักการทำงานโดยรวม ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 และภาพวงจรโดยรวมในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 บล็อคไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูง

จากรูปที่ 3.1 เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต เข้าหม้อแปลงไฟฟ้า 220 โวลท์ / 24 โวลท์ แล้วผ่านวงจรเร็กติไฟร์และฟิลเตอร์ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 34 โวลท์ เพื่อนำไปจ่ายให้กับด้านอินพุตของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีไอซีเบอร์ TL494 เป็นวงจรควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ให้กับเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูงที่จ่ายให้กับเส้นลวดตัวนำที่วางบนแผ่นกระจกสำหรับสร้างสนามไฟฟ้า เพื่อสังเกตปฏิกิริยาของผึ้ง

3.1 การออกแบบวงจรเร็กติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านอินพุต (ดังรูปที่ 3.4)

โดยจะยอมรับแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมไม่เกิน 10%

จาก
$$C = \frac{I_p \times \Delta T}{\Delta V} \tag{3.1}$$

$$\Delta V = 0.1 \times 34 \ = 3.4 \ \text{โวลท์}$$

$$I_p \ = \frac{P}{V_{dc}} = \frac{10}{3.4} = 2.94 \ \text{แอมแปร์}$$

$$f \ = \frac{1}{f} \ = \frac{1}{50} \ = 20 \times 10^{-3} \ \text{วินาที}$$

คำนวณ ΔT ครึ่งไซเคิล เท่ากับ 0.01 วินาที
เพราะฉะนั้น ค่า C จากสมการที่ 3.1 เท่ากับ

$$C = \frac{2.94 \times 10 \times 10^{-3}}{3.4}$$
$$= 8647 \text{ ไมโครฟารัด , } (\mu F)$$

เลือกตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลท์ ขนาด 2,200 μF 450 V_{dc} ขนานกันจำนวนสี่ตัว เพื่อลดความต้านทานภายในตัวเก็บประจุ

3.2 การออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ (วงจรกำลัง) (ดังรูปที่ 3.4)

3.2.1 การคำนวณเพื่อเลือกเพาเวอร์มอสเฟต

พิจารณากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านเพาเวอร์มอสเฟต (I_D) ขณะนำกระแสไฟฟ้า คือ

$$I_D = \frac{2P_{out}}{\eta V_{in} \delta_{\max}} \qquad (3.2)$$

เมื่อ I_D คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านมอสเฟตขณะนำกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) , (A)
η คือ ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ (%)
$\delta_{\max}$ คือ ค่าดิวตี้ไซเคิลที่เลือกใช้ (%)

เมื่อกำหนดให้ประสิทธิภาพของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ เท่ากับ 70% หรือ 0.7
พิจารณาเลือกค่าดิวตี้ไซเคิ้ล เท่ากับ 21% หรือ 0.21
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุตเท่ากับ 34 โวลท์

P_{out} = 3.5 วัตต์

จะได้ $I_D = \frac{2 \times 3.5}{0.7 \times 34 \times 0.21}$
= 1.4 แอมแปร์

จากการคำนวณสามารถเลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRFP460 ซึ่งมีกระแสไฟฟ้า I_D = 20 A และ V_{DS} = 500 V

3.2.2 การคำนวณเพื่อเลือกขนาดแผ่นระบายความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

$$T_j = P_D(R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}) + T_a \qquad (3.3)$$

T_j คือ อุณหภูมิที่ภายในตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า (องศาเซลเซียส) , ℃
P_D คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เพาเวอร์มอสเฟต (วัตต์) , W

$R_{js} = R_{jc} + R_{cs}$ คือ ความต้านทานระหว่าง Junction กับแผ่นระบายความร้อน (องศาเซลเซียสต่อวัตต์), $^{\circ}C/W$

R_{sa} คือ ความต้านทานระหว่าง แผ่นระบายความร้อนกับอากาศ (องศาเซลเซียสต่อวัตต์), $^{\circ}C/W$

T_a คือ อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส), $^{\circ}C$

เลือกใช้ที่อุณหภูมิห้อง 25$^{\circ}C$, $R_{js} = 0.69^{\circ}C, P_D = 108W, T_j = 150^{\circ}C$

$$T_j = P_D\left(R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}\right) + T_a$$

$$R_{sa} = \left(\frac{150-25}{108}\right) - 0.69$$

$$= 0.47$$

ดังนั้น ควรเลือกใช้ขนาดแผ่นระบายความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต เบอร์ 12 (ภาคผนวก จ)

3.2.3 การหากำลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ขณะนำกระแสไฟฟ้าของเพาเวอร์มอสเฟต

เนื่องจากเพาวอร์มอสเฟตเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าไปยังโหลด จากการวัดกระแสไฟฟ้าจะได้ค่าประมาณ 200 มิลลิแอมแปร์ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ขณะนำกระแสไฟฟ้าของเพาเวอร์มอสเฟต สามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ P_c คือ กำลังงานไฟฟ้าสูญเสีย ขณะนำกระแสไฟฟ้า (วัตต์), W

I_D คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขณะทำงาน (แอมแปร์), A

R_{DS} คือ ความต้านทานระหว่างขาเดรนและขาซอร์ส (โอห์ม), Ω

จากข้อมูลในดาต้าชีตของเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRFP460 ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

Drain – Source Voltage : $V_{DS(max)}$	= 500 V
Gate – Source Voltage : $V_{GS(max)}$	= -20 V +20 V
Source Resistance : $R_{DS(on)}$	= 0.22 Ω
Continuous Drian Current : $I_{D(max)}$	= 20 A
Pulse Drain Current : I_{DM}	= 80 A
Power Dissipation : $P_{D(max)}$	= 250 W

ดังนั้น เราสามารถคำนวณกำลังงานไฟฟ้าสูญเสียในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน ได้ดังนี้

$$P_c = (I_D^2) \times R_{DS(on)} \qquad (3.4)$$

$$= (1.4)^2 \times 0.22$$

$$= 0.43 \text{ W}$$

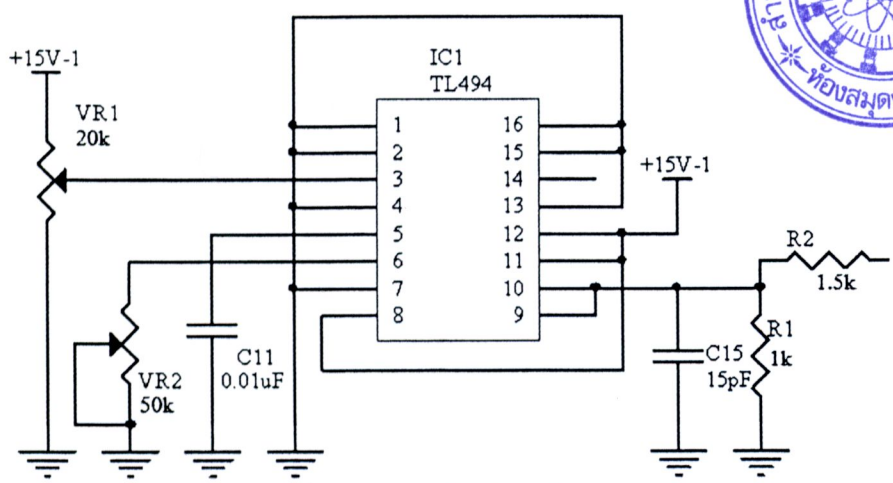
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรขับเกท

3.3.1 การออกแบบความถี่ที่ใช้งานในวงจรควบคุม โดยใช้ไอซีเบอร์ TL494

โดยการกำหนดค่า C_T เท่ากับ 0.01μF และทำการคำนวณหาค่า R_T ซึ่งเลือกใช้ความถี่สวิตชิ่งที่ 5 kHz

$$R_T = \frac{1.1}{0.01uF \times 4kHz}$$
$$= 27.5k\Omega$$

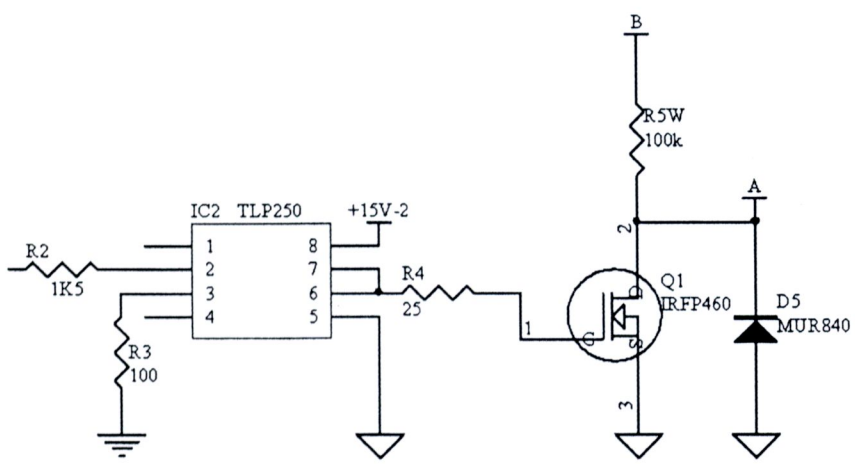
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 3.2 การต่อไอซีเบอร์ TL494

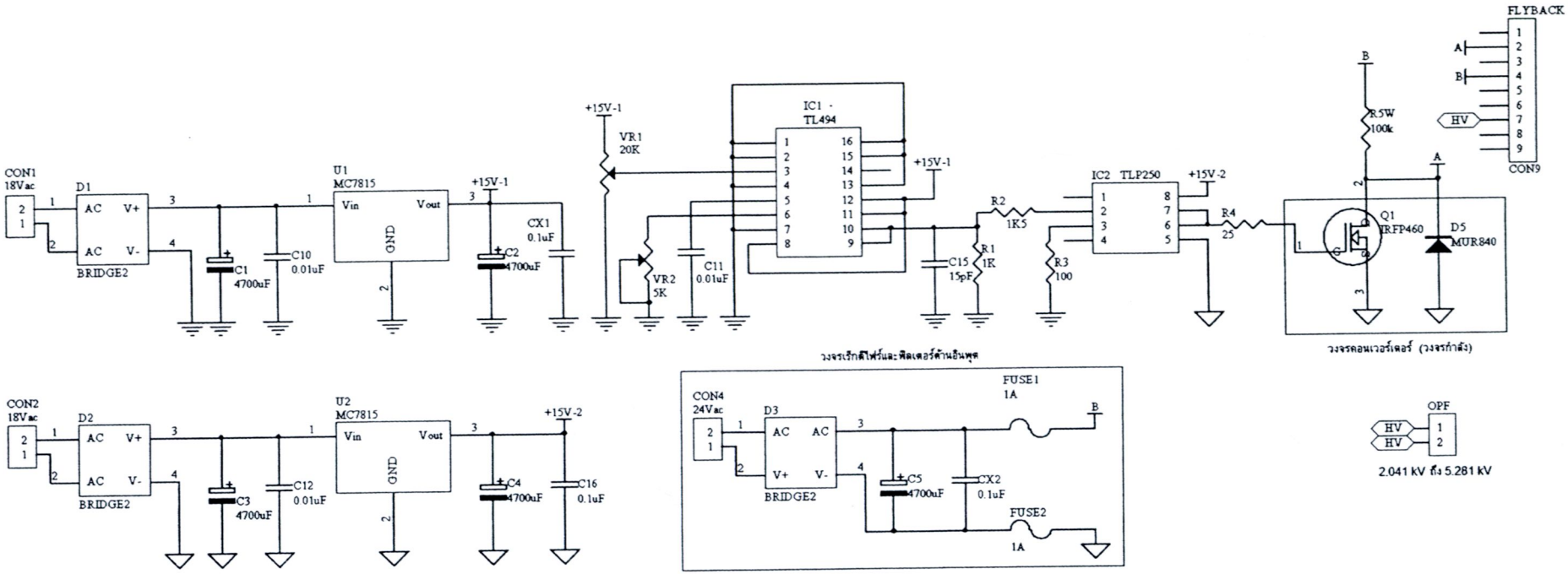
3.3.2 การออกแบบวงจรขับเกทเพาเวอร์มอสเฟต

เนื่องจากการออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานและป้องกันการพังเสียหายของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขนาดเล็ก ดังนั้นในส่วนของภาควงจรควบคุมและภาควงจรกำลังจะต้องแยกกราวด์ออกจากกัน โดยนำไอซีเบอร์ TLP250 เป็นตัวแยกกราวด์และขยายสัญญาณภายในตัว โดยสามารถนำไปขับให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้เลย ดังรูปที่ 3.3

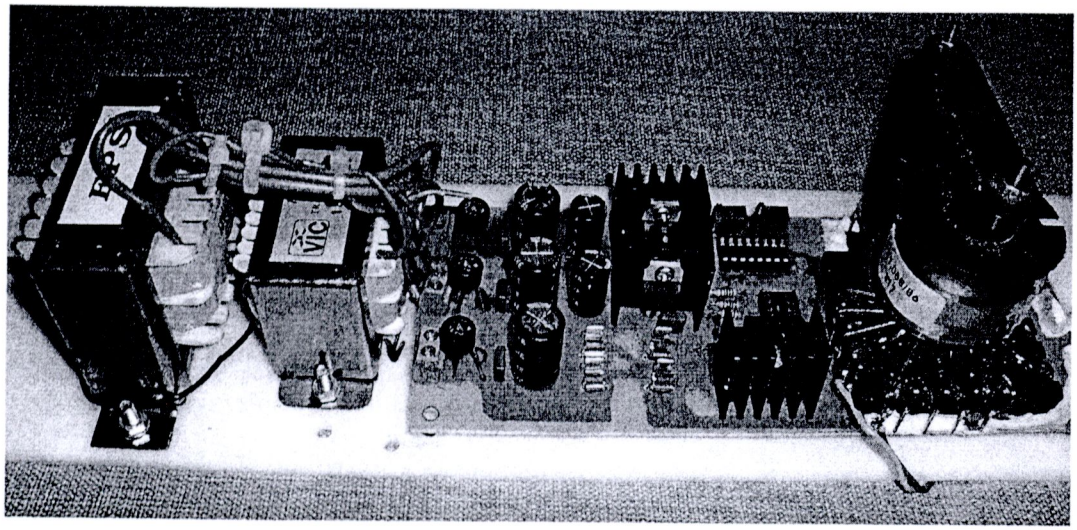


รูปที่ 3.3 วงจรขับเกท โดยใช้ไอซีเบอร์ TLP250 ในการแยกกราวด์และขยายสัญญาณภายในตัว

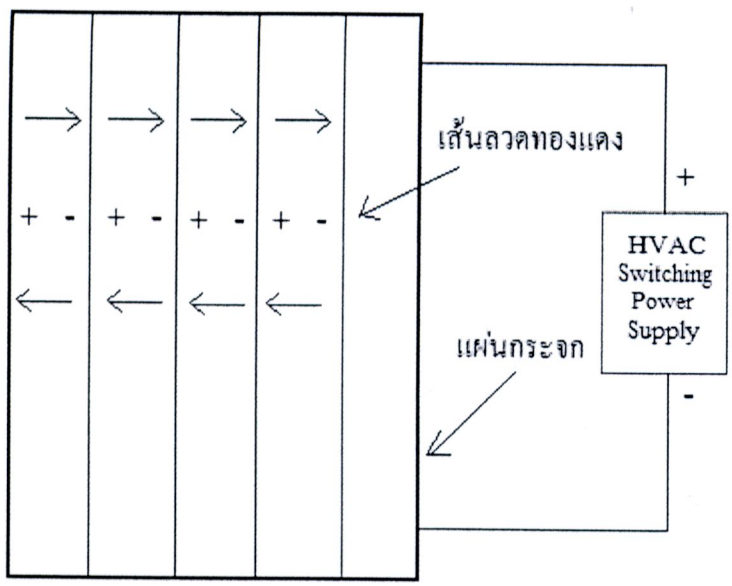
3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูงที่ออกแบบ



รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูงที่ออกแบบ



รูปที่ 3.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูงที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.6 ลักษณะการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงความถี่สูงที่สร้างขึ้นกับเส้นลวดที่วางบนแผ่นกระจกสำหรับสร้างสนามไฟฟ้า เพื่อสังเกตปฏิกิริยาของผึ้ง