

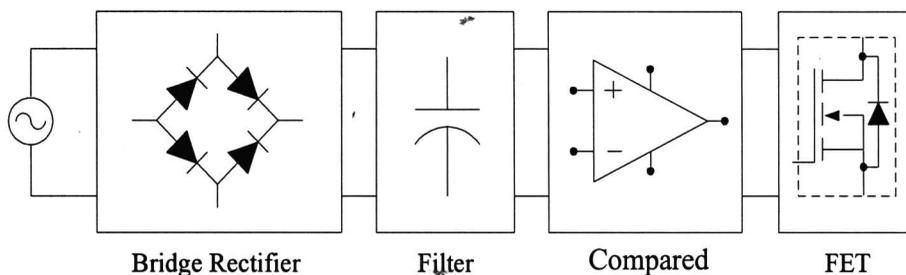
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง

3.1 การออกแบบและประกอบสร้าง

การออกแบบวงจรได้แบ่งโหมดการป้องกันออกเป็น 1 ชุด เพื่อทำหน้าที่ป้องกันไฟกระชอกตามความสามารถเฉพาะอย่างของวัสดุที่ออกแบบไว้ให้กับระบบงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดดังนี้คือ โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

3.1.1 โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

โหมดนี้จะทำการลดทอนแรงดันไฟเกินช่วงสั้นลักษณะของค่าแรงดัน RMS ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าพิกัดของมาตรฐานกำหนด (เท่ากับ $220\text{ V} \pm 10\%$) การออกแบบเป็นลักษณะขนานกับระบบไฟฟ้า โดยไม่ต้องคำนึงถึงภาระโหลดที่จะกินกระแสเท่าไร การทำงานในโหมดนี้จะทำงาน เมื่อมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบที่เป็นลักษณะของค่าแรงดัน RMS เท่านั้น เมื่อเกิดแรงดันไฟเกินขึ้นในระบบ ชุดแรกที่จะทำงานคือ ชุด Compared circuit ซึ่งชุดนี้จะทำการตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้า ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าถึงค่าหรือระดับที่ตั้งไว้ จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมา เพื่อที่จะไปขับเฟตต่อไปตามลักษณะของค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามาในระบบ กล่าวคือ ถ้าหากมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบอยู่ในช่วงที่ค่าไม่มาก ชุด Compared circuit จะทำการปล่อยแรงดันไฟค่าน้อยๆ ค่าหนึ่งให้กับเฟต เพื่อให้เฟตนำกระแสและความคุมแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่ถ้าหากมีแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามาในระบบที่มีแรงดันสูง Compared circuit จะทำการปล่อยแรงดันไฟที่มากขึ้น เพื่อให้ตัวเฟต ได้นำกระแสมากขึ้น เพื่อที่จะความคุมแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในส่วนของชุดเฟต นั้นมีหน้าที่เป็นตัวรองรับพลังงานหรือแรงดันไฟเกินที่เกิดขึ้นมาในระบบ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นโหลดตัวหนึ่งในระบบ ชุดนี้ตัวรองรับพลังงานเมื่อชุดนี้ทำงานจะทำให้ตัวเฟตร้อน ดังนั้นจำเป็นต้องมีแผ่นระบายความร้อนให้กับเฟตเพื่อที่จะสามารถรองรับพลังงานได้เป็นเวลานาน

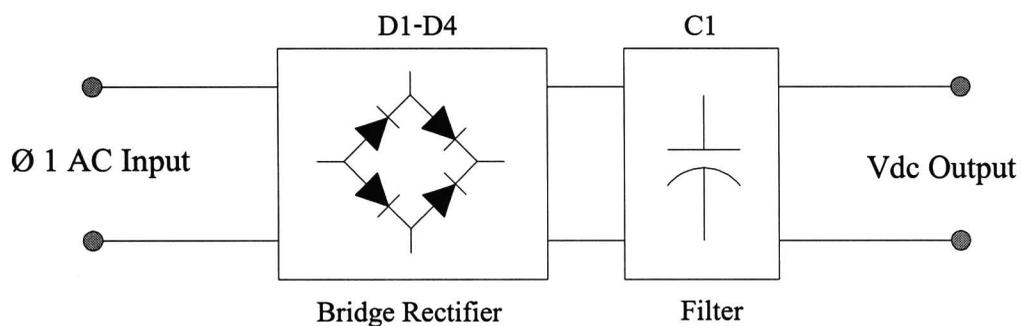


รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของวงจรป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

ภายในโหมคป้องกันนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

3.1.2 วงจรเรียงสัญญาณ (Rectifier Circuit)

วงจรเรียงสัญญาณเป็นวงจรที่สำคัญที่สุดวงจรหนึ่ง ซึ่งวงจรนี้เป็นส่วนที่รับพลังงานโดยตรงจากแรงดันอินพุตที่เข้ามา โดยวงจรนี้ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับที่มีความถี่ 50 เฮิร์ต ให้เป็นแรงดันไฟตรง แล้วผ่านส่วนของวงจรกรองแรงดันเพื่อกำจัดแรงดันกระเพื่อม (Ripple) สำหรับวงจรนี้ส่วนสำคัญคือ บริดจ์ เรกติไฟเออร์ การออกแบบวงจรนี้ต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์ป้องกัน สามารถทนแรงดันไฟเกินที่เข้ามาในระบบได้ สามารถทนกระแสขณะรับการไบอัสตรงของค่ากระแสที่ใช้งานได้ และมีค่าแรงดันเบรกดาวน์ (Break Down Voltage) สูง และต้องสามารถทนกระชากขณะเริ่มต้นใช้งานได้ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเรียงสัญญาณ (Rectifier Circuit)

การหาค่าแรงดันไฟหลังจากผ่านไดโอดในกรณีที่เป็นแบบอุดมคติและแบบที่ใช้งานจริง
จากสมการ

$$V_{dc} = 0.636 V_m^* \text{ (เมื่อไดโอดเป็นแบบอุดมคติ)} \quad (3.2)$$

$$V_{dc} = 0.636 (V_m - 2V_T) \text{ (เมื่อไดโอดเป็นแบบใช้งานจริง)} \quad (3.3)$$

การออกแบบวงจร

$$\begin{aligned} V_m &= \sqrt{2} V_{rms} \\ &= \sqrt{2} \times 220 \\ &= 311.127 \text{ Volts.} \end{aligned}$$

$$V_{dc} = 0.636 \times 311.127$$

$$\begin{aligned}
 &= 197.87 \text{ Volts. (เมื่อไดโอดเป็นแบบอุดมคติ)} \\
 \text{และ } V_{dc} &= 0.636 (311.127 - 2(0.7)) \\
 &= 196.98 \text{ Volts. (เมื่อไดโอดเป็นแบบใช้งานจริง)}
 \end{aligned}$$

การหาค่า C-Filter กำหนดให้วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์มีขนาด 250 V / 20 A ขอมให้เกิดค่าแรงดัน Ripple ได้ 5 Vrms

หาขนาดของความจุของ C

$$\begin{aligned}
 R_L &= \frac{250V}{20 A} \\
 &= 12.5 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{r(rms)} &= \frac{V_r(p-p)}{\sqrt{2}} & (3.4) \\
 &= \sqrt{3} V_{r(rms)} \\
 &= \sqrt{3} \times 5 \\
 &= 8.66 \text{ Volt.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_m &= V_{dc} + V_r(\text{peak}) \\
 &= 220 + 8.66 \\
 &= 228.66 \text{ Volt.}
 \end{aligned}$$

$$V_{r(rms)} = \frac{2.9 V_m}{R_L C} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{2.9 \times 228.66V}{0.0125k\Omega \times 5V} \\
 &= \frac{663.11}{62.5} \\
 &= 10.60 \mu F
 \end{aligned}$$

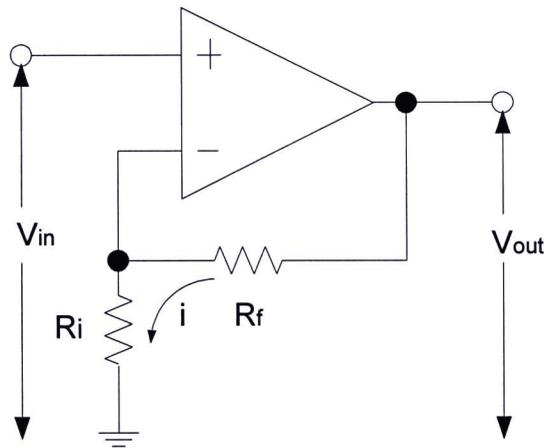
หาขนาดของแรงดัน C

$$\begin{aligned}
 C &= 2V_m & (3.6) \\
 &= 2 \times 228.66V \\
 &= 457.32 \text{ Volt.}
 \end{aligned}$$

จากการออกแบบสามารถเลือกค่าตัวเก็บประจุได้ทีค่า $C = 10\mu\text{F}$ 450 Volt. ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่สามารถหาซื้อได้ง่าย และเหมาะสมกับค่าที่ใช้งานจริง

3.1.3 วงจรเปรียบเทียบ (Compared circuit)

การออกแบบวงจรเปรียบเทียบแรงดันนั้น เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบขนาดของสัญญาณเล็กรหรือแรงดันเกินที่เข้ามาในระบบ ในการออกแบบชุดวงจรเปรียบเทียบนั้น จะใช้อุปกรณ์ทำการประมวลสัญญาณทางด้านอินพุตแล้วเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง จากนั้นทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกไปทางเอาต์พุตของออปแอมป์ เพื่อนำสัญญาณนั้นไปขับเฟดต่อไป



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณของออปแอมป์

จากรูปที่ 3.5 มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_i และ R_f มีค่าเท่ากับ i ดังนั้น ถ้าทราบ i สามารถหาค่าความต่างศักย์ตกคร่อม R_f ได้

$$\begin{aligned} V_{R_f} &= i R_f \\ &= \frac{R_f V_{in}}{R_i} \end{aligned} \quad (3.7)$$

เมื่อได้ R_i และ R_f สามารถหา V_{out} ได้

$$\begin{aligned} V_{out} &= (V_{R_f} + V_{in}) \\ &= V_{in} \left(\frac{R_f V_{in}}{R_i} \right) \\ V_{out} &= 1 \left(\frac{R_f V_{in}}{R_i} \right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

ค่าของ V_{out} ที่หาได้สามารถนำมาหาค่าอัตราขยายของวงจรได้ดังนี้

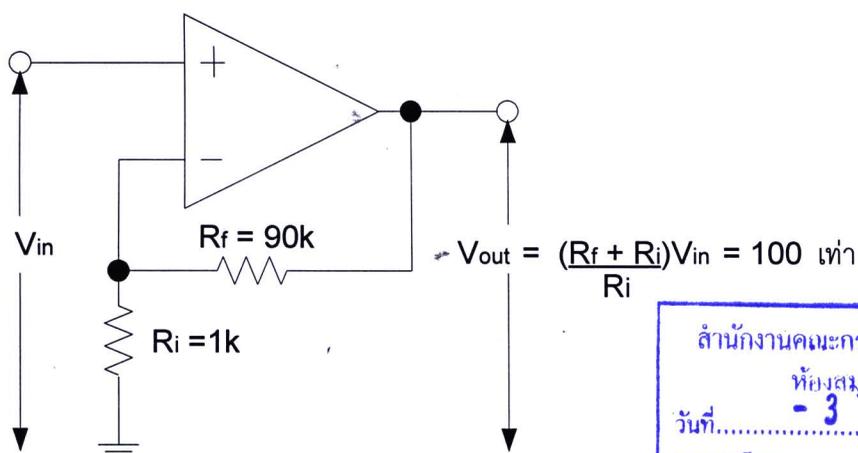
$$\begin{aligned} AV &= \frac{V_{out}}{V_{in}} \\ &= \frac{1 (R_f V_{in})}{R_i} \\ &= \frac{1 + (R_f)}{R_i} \end{aligned} \quad (3.9)$$



$$\text{หรือ} \quad AV = \frac{(R_i + R_f)}{R_i} \quad (3.10)$$

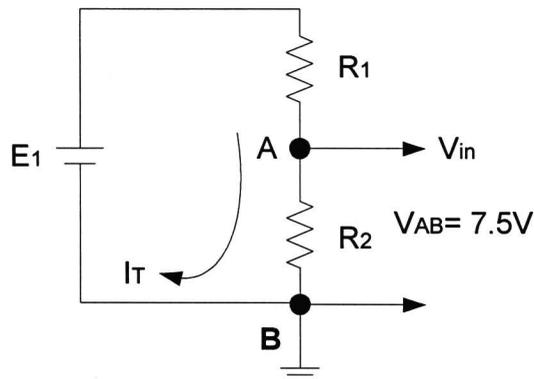
อัตราขยายของวงจรแบบนอนอินเวอร์ตติ้งหรือแบบไม่กลับเฟส จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ ดังนั้นการออกแบบวงจรเปรียบเทียบกับต้องการอัตราขยายที่ 100 เท่า โดยกำหนดให้ R_i เท่ากับ $1k\Omega$ และ R_f เท่ากับ $90k\Omega$ ซึ่งสามารถแทนค่าคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} AV &= \frac{(R_i + R_f)}{R_i} \\ &= \frac{1k\Omega + 90k\Omega}{1k\Omega} \\ &= \frac{100k\Omega}{1k\Omega} \\ AV &= 100 \text{ เท่า} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้งซึ่งมีอัตราขยาย 100 เท่า

ในส่วนของวงจรทางด้านอินพุตของวงจรเปรียบเทียบนั้น จะมีวงจรแบ่งแรงดันอยู่หนึ่งชุด ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามาทางด้าน V_{in} เพื่อไม่ให้โอปแอมป์ได้รับความเสียหาย ซึ่งคือตัวต้านทาน R_1 และ R_2



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรแบ่งแรงดันด้านอินพุต

จากวงจรดังรูป E_1 เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า ต้องการให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่จุด A และ B มีค่าเท่ากับ 7.5 V เพื่อนำไปเทียบกับแรงดันอ้างอิง แล้วทำให้ได้แรงดันที่เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ ถ้ากำหนดให้ระดับแรงดันไฟเกินที่เข้ามาในระบบ ที่ทำให้วงจรชดป้องกันแรงดันเกินทำงานที่พิกัดแรงดัน 260 Vrms เมื่อผ่านวงจรเรียงสัญญาณ (Rectifier Circuit) จะทำให้ค่าของระดับของแรงดันเพิ่มสูงขึ้น โดยกำหนดให้ R_2 มีค่าเท่ากับ $1k\Omega$

$$\begin{aligned} E_1 &= 260 \text{ V}_{\text{rms}} \times \sqrt{2} \\ &= 260 \times 1.414 \\ &= 367 \text{ V}_{\text{dc}} \end{aligned}$$

หาค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1

$$E_1 = V_{R1} + V_{R2} \quad (3.11)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} V_{R2} &= V_{AB} \\ &= 7.5 \text{ V} \end{aligned}$$

หาค่า V_{R1}

$$\begin{aligned} V_{R1} &= E_1 - V_{R2} \quad (3.12) \\ &= 367 - 7.5 \end{aligned}$$

$$V_{R1} = 359.5 \text{ V}_{dc}$$

หาค่ากระแส I_T

$$I_T = \frac{V_{R2}}{R_2} \quad (3.13)$$

$$= \frac{7.5 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega}$$

$$= 7.5 \text{ mA}$$

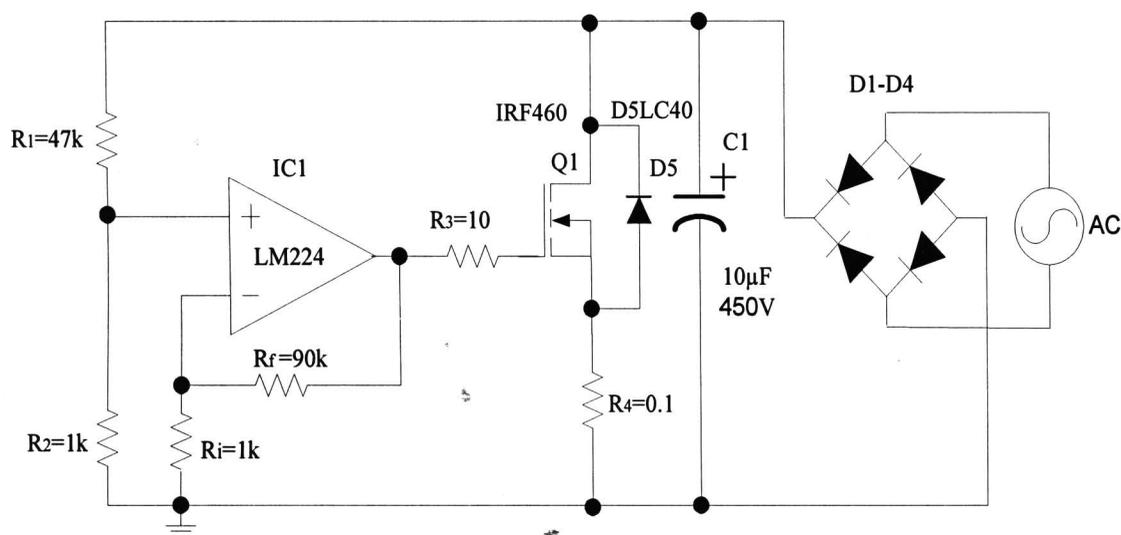
ดังนั้น R_1 มีค่าเท่ากับ

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I_T} \quad (3.14)$$

$$= \frac{359.5 \text{ V}}{7.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 47.9 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้นการเลือกค่าความต้านทาน R_1 ใช้ค่า $47 \text{ k}\Omega$ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถหาซื้อได้ง่าย

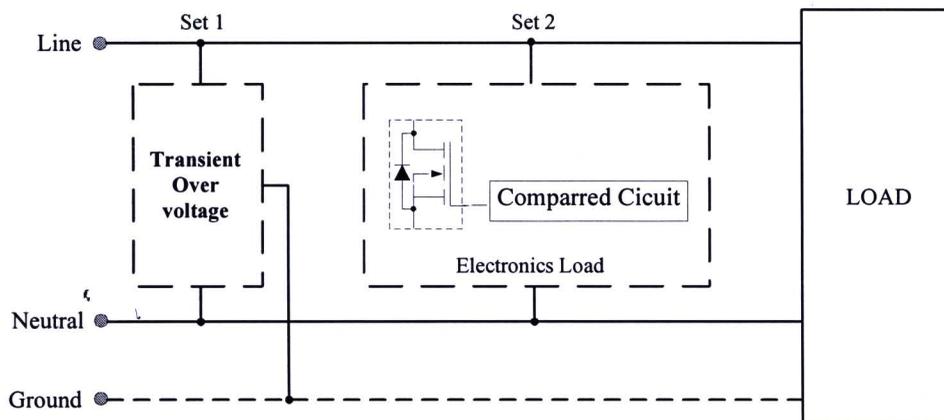


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรชดเชยกันแรงดันเกินช่วงสั้น

3.1.4 วงจรสแน็บเบอร์ (Snubber circuit)

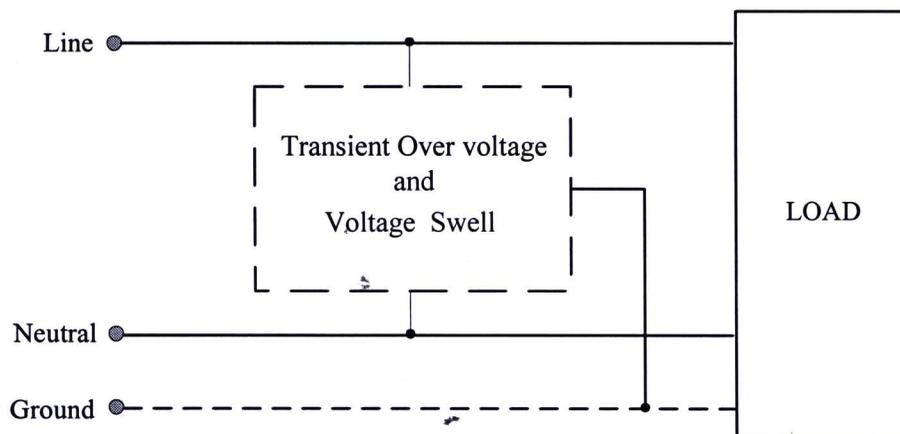
สำหรับวงจรสแน็บเบอร์นี้ ทำการออกแบบเพื่อลดค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นกับเฟด เนื่องจากเกิดพลังงานสะสม เมื่ออุปกรณ์อยู่ในสภาวะช่วงหยุดการทำงาน (OFF) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวเฟด ซึ่งการออกแบบให้วงจรมีชุดสแน็บเบอร์ จะช่วยในส่วนของ การลดพลังงานสะสมที่ตัวของ

เฟท ได้ ส่วนอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะเป็นไดโอดชนิด Fast Recovery Diode เบอร์ D5LC40 ซึ่งมีพิกัดทนกระแสได้สูงสุดถึง 20 แอมป์ และทนแรงดันได้ 600 โวลต์ เมื่ออุปกรณ์ไหลดอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน (ON) Fast Recovery Diode จะทำงานในช่วง (ON) ทำหน้าที่เป็นชุดคายพลังงานที่สะสมในตัวอุปกรณ์เฟท ให้ทำงานมีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงชุดที่ 2 โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

3.2 บล็อกไดอะแกรมรวมอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้าน เอซี

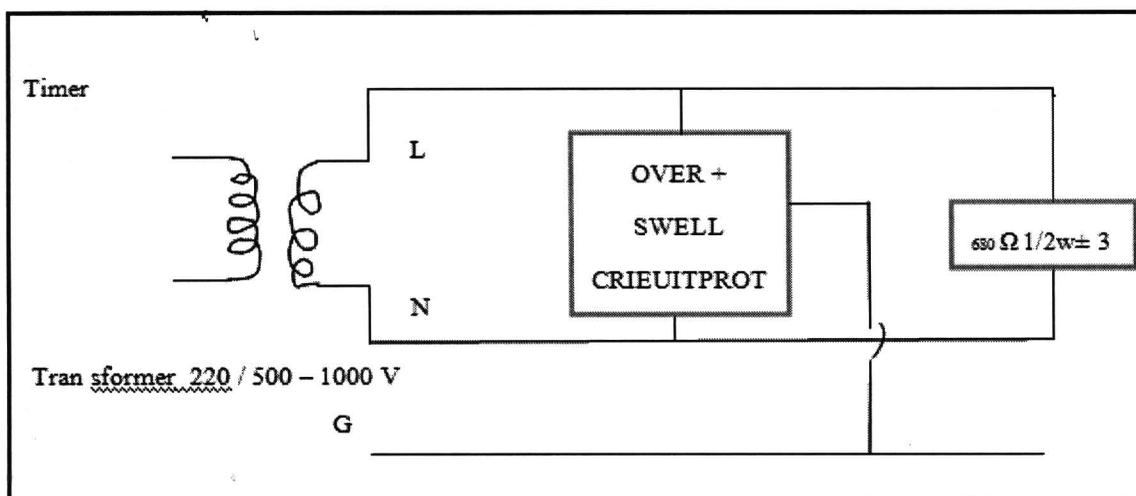


รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมรวมอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอซี

จากรูปที่ 3.8 เป็นบล็อกไดอะแกรมรวมอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอซี ภายในชุดอุปกรณ์ป้องกันประกอบด้วย ชุด Transient Over voltage และ Electronic Load ลักษณะการติดตั้งจะทำการขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าเปรียบเสมือนเป็นโหลดอีกตัวหนึ่ง แต่จะทำงานในกรณีที่เกิดแรงดันไฟ

เกินขึ้นในระบบเท่านั้น สถานะปกติจะไม่ทำงาน ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอชนั้น จะทำงานแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่เกิดแรงดันไฟกระชอกในสถานะชั่วขณะ จุดที่จะทำงานในลักษณะนี้ จะเป็นโหมคการป้องกันแรงดันเกินในสถานะชั่วขณะ (Transient Over voltage) ซึ่งในจุดนี้จะประกอบด้วย GDT และ MOV ที่มีค่า Response Time ที่มีความไวที่สุด และการเกิดแรงดันไฟเกินในลักษณะแรงดันเกินช่วงสั้น จุดที่จะทำงานในลักษณะนี้ จะเป็นโหมคการป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น หรือ Electronic Load เป็นจุดที่ทำหน้าที่ป้องกัน ถึงแม้ว่าจุดนี้จะมีการตอบสนองที่ช้า แต่สามารถรองรับพลังงานได้มากและนาน

3.3 การออกแบบการทดสอบและตรวจวัด



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรชุดวงจรทดสอบแรงดันเกินช่วงสั้น

จากวงจรการทดสอบเราสามารถตรวจวัดแรงดันตามเวลาแต่ละช่วงดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดสอบที่แรงดัน 250 โวลต์

ตารางที่ 3.1 บันทึกผลการทดลองชุดอุปกรณ์โหมคป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้นที่แรงดัน 250 โวลต์

Sec	Voltage
0.1	
0.2	

ตารางที่ 3.1 บันทึกผลการทดลองชุดอุปกรณ์โพลดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้นที่แรงดัน 250 โวลต์
(ต่อ)

Sec	Voltage
0.3	
0.4	
0.5	

3.3.2 การทดสอบที่แรงดัน 300 โวลต์

ตารางที่ 3.2 บันทึกผลการทดลองชุดอุปกรณ์โพลดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้นที่แรงดัน 300 โวลต์

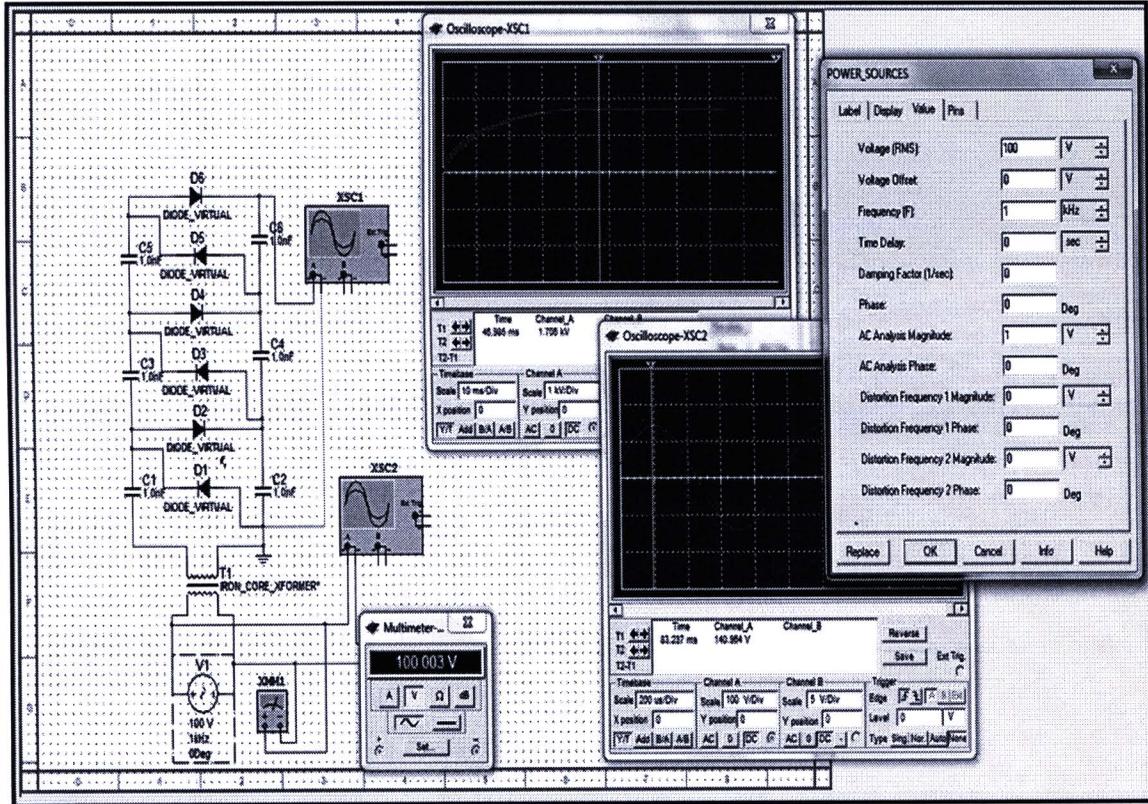
Sec	Voltage
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

3.3.3 การทดสอบที่แรงดัน 400 โวลต์

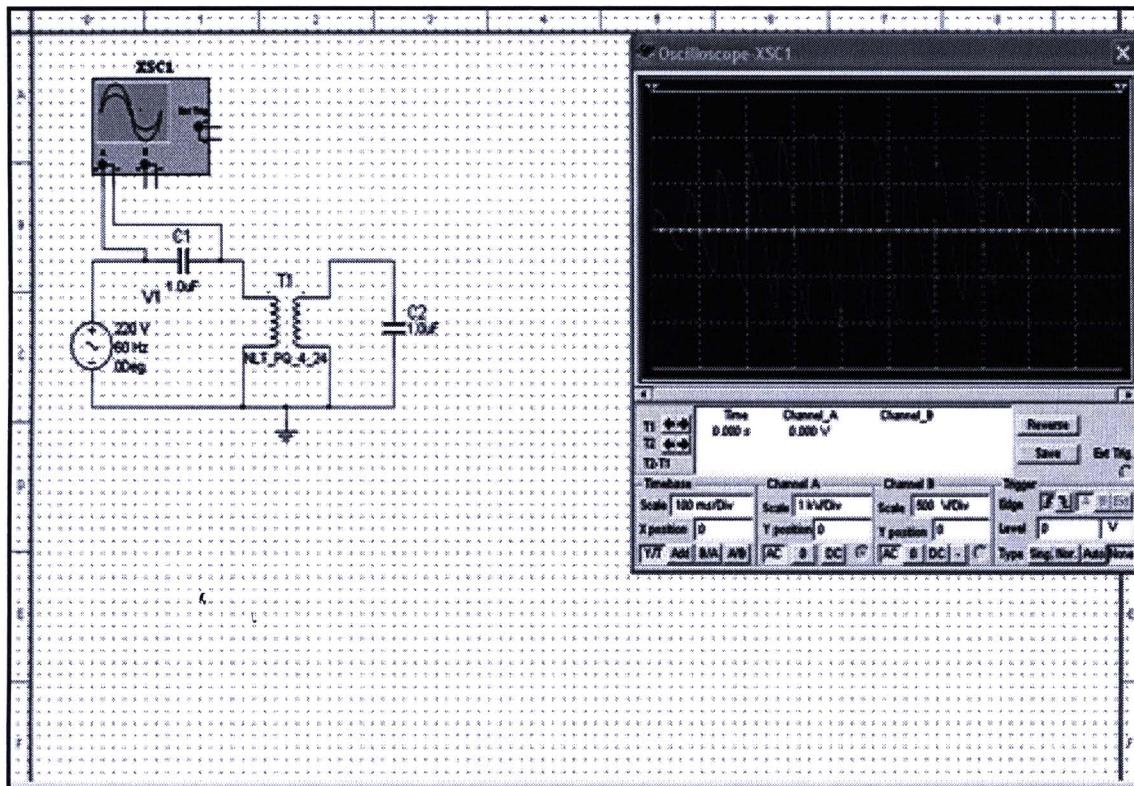
ตารางที่ 3.3 บันทึกผลการทดลองชุดอุปกรณ์โพลดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้นที่แรงดัน 400 โวลต์

Sec	Voltage
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

3.4 วงจรสร้างแรงดันสูง



รูปที่ 3.10 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูง



รูปที่ 3.11 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง