

บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง

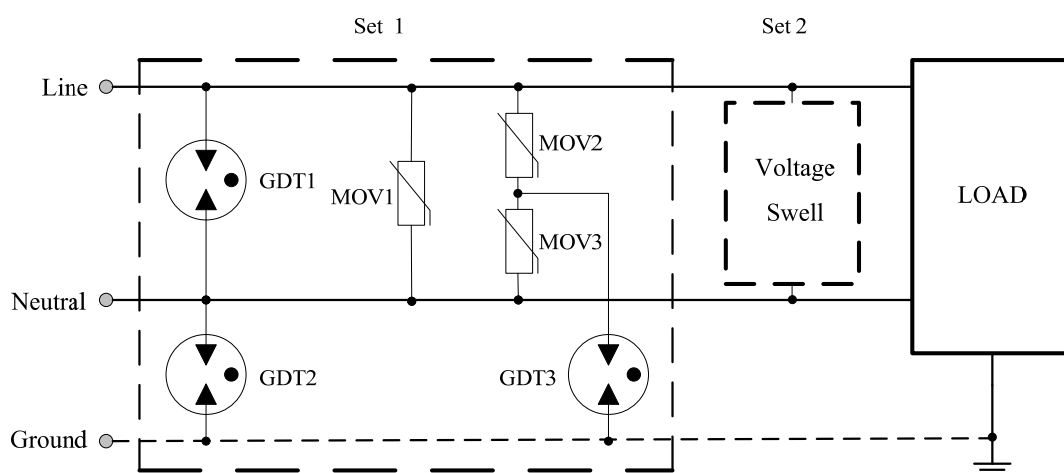
3.1 การออกแบบและประกอบสร้าง

การออกแบบวงจรได้แบ่งโหมดการป้องกันออกเป็น 2 ชุด เพื่อทำหน้าที่ป้องกันไฟกระชอกตามความสามารถเฉพาะอย่างของวัสดุที่ออกแบบไว้ให้กับระบบงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดดังนี้

ชุดที่ 1 คือ โหมดป้องกันแรงดันเกินในสถานะชั่วขณะ (Transient Over voltage)

ชุดที่ 2 คือ โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

3.1.1 โหมดป้องกันแรงดันเกินในสถานะชั่วขณะ (Transient Over voltage)



รูปที่ 3.1 แสดงชุดที่ 1 โหมดการป้องกันแรงดันเกินในสถานะชั่วขณะ

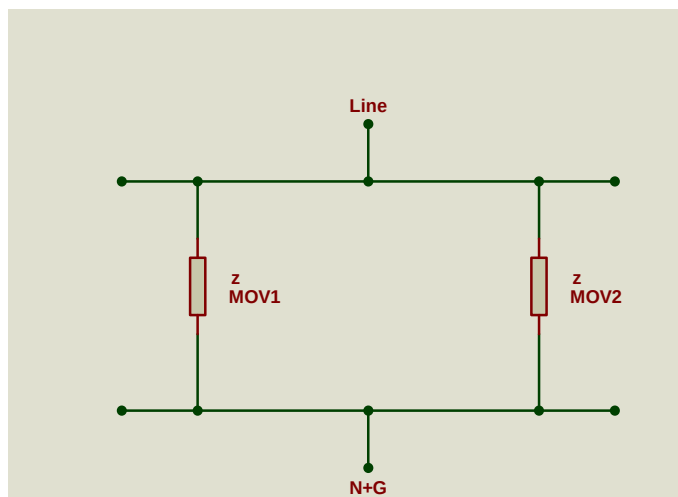
ภายในโหมดป้องกันนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

1. วัสดุ Gas Discharge Tube (GDT)
2. วัสดุ Metal Oxide Varistor (MOV)

ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นี้เป็นการจัดความสัมพันธ์โหมดการป้องกันไฟกระชอก ที่เป็นลักษณะขนานกับระบบไฟฟ้า โดยมี Gas Discharge Tube (GDT) [11] ที่อยู่ต้นทาง ทำหน้าที่ลดทอนพลังงานที่จะผ่านไปยังตัวป้องกัน ตัวที่อยู่ถัดไป โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย วัสดุ MOV จะทำหน้าที่ลดทอนแรงดันเกินที่เหลือจากวัสดุต้นทาง เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าป้อนผ่านไปที่ ชุดที่ 2 และ Load ไม่เกิดความเสียหาย

การออกแบบชุดนี้จะเอา GDT ต่อไว้ด้านหน้าซึ่งพฤติกรรมของ GDT จะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่สูงมาก อยู่ในช่วงของย่าน Giga Ohms จึงหมดห่วงในปัญหาเรื่องกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Leakage Current) พฤติกรรมของตัว GDT จะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเงื่อนไขทางแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่า ระดับสูงขึ้นเกินระดับการทำงานของ GDT ส่งผลให้ตัว GDT มีการสร้างออรอนขึ้นภายในตัวมัน และ กลายเป็นตัวนำทางไฟฟ้าในที่สุด คุณสมบัติเด่นของ GDT คือ สามารถรองรับค่ากระแสและ แรงดันไฟกระชาก ได้สูงกว่าวัสดุคดทอนไฟกระชาก ประเภทอื่นๆ (เปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ พื้นหลักเดียวกัน) นอกเหนือจากความสามารถในการรองรับกระแสไฟกระชาก ได้สูงแล้วตัวมันเอง ยังมีค่าคาปาซิแตนซ์แฝงต่ำอีกด้วยคือประมาณ 1pF - 5pF จึงทำให้ GDT มีความเหมาะสมเป็นอย่าง ยิ่ง ที่จะนำไปใช้คดทอนกระแสไฟกระชากในระบบที่มีความถี่สูง

วัสดุคดทอนไฟกระชาก อีกชนิดหนึ่งคือ Metal Oxide Varistor หรือ MOV [11] โดยส่วนใหญ่ จะมีการระบุค่า Response Time เอาไว้ ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลา 5-30 nanoseconds จะมีค่าความต้านทานที่สูงมาก หรือ High Impedance แต่เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวมันต่ออยู่ มีค่าสูงเกินจุดหรือค่าแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นทำงานของตัวมัน ค่าความต้านทานของตัวมัน ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเข้าใกล้ศูนย์โอห์ม โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเพื่อลดค่าความต้านทานของตัว MOV จะมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Exponential Function) จากผลของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมที่ High Impedance ในสภาวะปกติ มาเป็นเกือบเสมือนตัวนำทางไฟฟ้า ทำให้ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ปรากฏไฟกระชากขึ้น จะมีค่าระดับที่สูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นการทำงานของ MOV ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา นี้ ไหลผ่านตัว MOV ลงสู่ระบบกราวด์ การต่อใช้งาน MOV จะดำเนินการต่อในลักษณะขนานกับ ระบบงาน เพื่อสามารถเบี่ยงทิศทางกระแสไฟกระชาก ผ่านตัวมันลงสู่ระบบกราวด์ แต่ทว่าหาก จำนวนครั้งของกระแส ไฟกระชาก เข้ามามีบ่อยๆ มากขึ้น ย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพ ความสามารถในการรองรับกระแสไฟกระชากของ MOV ย่อมค่อยๆลดลงไปด้วย ซึ่งได้มีการออกแบบชุดสำหรับ ป้องกันความเสียหาย MOV ไว้อยู่แล้ว โดยชุดป้องกันความเสียหาย MOV ชุดที่หนึ่ง จะใช้วัสดุ คดทอนประเภท GDT เพราะมีความไว (Response Time) ต่อแรงดันไฟกระชากที่ช้ากว่า MOV เล็กน้อย และอีกชุดสองจะเป็นชุดโหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell) ในการนำเอา MOV มาต่อในลักษณะขนานกัน นอกเหนือจะสามารถทำให้รองรับกระแสไฟกระชากได้สูงขึ้นแล้ว ค่าแรงดันไฟฟ้าปล่อยผ่าน หรือ Let Through Voltage ก็จะต่ำลงด้วยเช่นกัน และเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพในการคดทอนกระแสและแรงดันไฟกระชากให้กับ MOV ซึ่งการออกแบบในวงจร ป้องกัน ทำการออกแบบตามรูปที่ 3.2 และตามสมการที่ 3.1



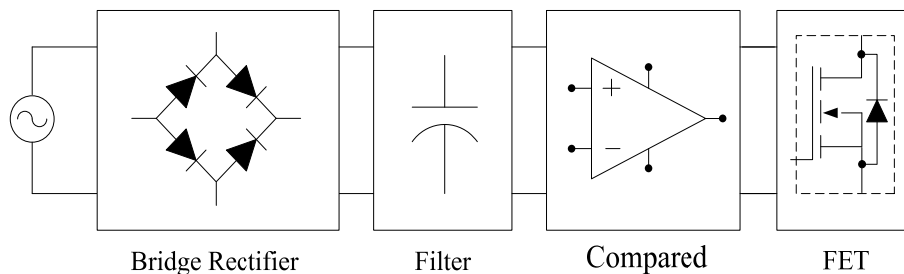
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการนำเอา MOV มาต่อขนานกัน

$$\begin{aligned}
 Z_T &= Z_{\text{MOV1}} // Z_{\text{MOV2}} \\
 &= 1\Omega // 1\Omega \\
 &= 0.5\Omega
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

3.1.2 โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

โหมดนี้จะทำการลดทอนแรงดันไฟเกินช่วงสั้นลักษณะของค่าแรงดัน RMS ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติของ มาตรฐานกำหนด (เท่ากับ $220\text{ V} \pm 10\%$) การออกแบบเป็นลักษณะขนานกับระบบไฟฟ้า โดยไม่ต้องคำนึงถึงภาระโหลดที่จะกินกระแสเท่าไร การทำงานในโหมดนี้จะทำงาน เมื่อมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบที่เป็นลักษณะของค่าแรงดัน RMS เท่านั้น เมื่อเกิดแรงดันไฟเกินขึ้นในระบบ ชุดแรกที่จะทำงานคือ ชุด Compared circuit ซึ่งชุดนี้จะทำการตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้า ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าถึงค่าหรือระดับที่ตั้งไว้ จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมา เพื่อที่จะไปขับเฟดต่อไปตามลักษณะของค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามาในระบบ กล่าวคือ ถ้าหากมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบอยู่ในช่วงที่ค่าไม่มาก ชุด Compared circuit จะทำการปล่อยแรงดันไฟค่าน้อยๆ ค่าหนึ่งให้กับเฟด เพื่อให้เฟดนำกระแสและความคุมแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่ถ้าหากมีแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามาในระบบที่มีแรงดันสูง Compared circuit จะทำการปล่อยแรงดันไฟที่มากขึ้นเพื่อให้ตัวเฟด ได้นำกระแสมากขึ้น เพื่อที่จะความคุมแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในส่วนของชุดเฟด นั้นมีหน้าที่เป็นตัวรองรับพลังงานหรือแรงดันไฟเกินที่เกิดขึ้นมาในระบบ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นโหลดตัวหนึ่งในระบบ ชุดนี้ตัวรองรับ

พลังงานเมื่อชุดนี้ทำงานจะทำให้ตัวเฟทร้อน ดังนั้นจำเป็นต้องมีแผ่นระบายความร้อนให้กับเฟท เพื่อที่จะสามารถรองรับพลังงานได้เป็นเวลานาน

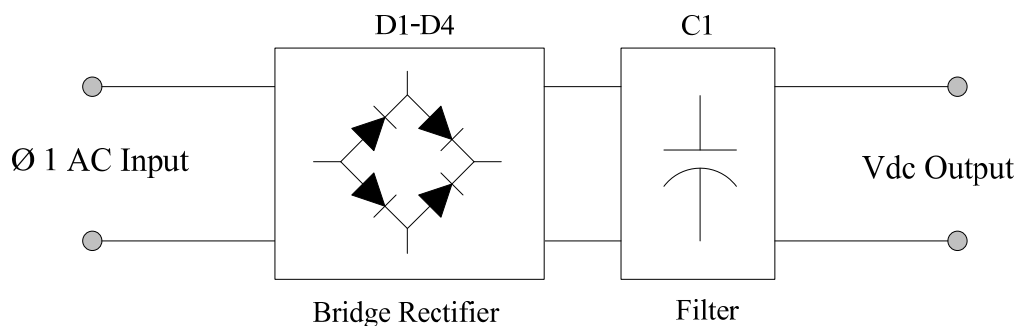


รูปที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบของวงจรป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

ภายในโหมดป้องกันนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

3.1.3 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 3.4 แสดงวงจรเรียงสัญญาณ (Rectifier Circuit)

การหาค่าแรงดันไฟหลังผ่านไดโอดในกรณีที่มันเป็นแบบอุดมคติและแบบที่ใช้งานจริง
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

$$V_m = \sqrt{2} V_{rms}$$

$$= \sqrt{2} \times 220$$

$$= 311.127 \text{ Volts.}$$

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

$$= 197.87 \text{ Volts. (เมื่อไดโอดเป็นแบบอุดมคติ)}$$

และ $V_{dc} = 0.636 (311.127 - 2(0.7))$

$$= 196.98 \text{ Volts. (เมื่อไดโอดเป็นแบบใช้งานจริง)}$$

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

หาขนาดของความจุของ C

$$R_L = \frac{250V}{20 A}$$

$$= 12.5 \Omega$$

$$V_{r(rms)} = \frac{V_L(p-p)}{2} \quad (3.4)$$

$$= \sqrt{3} V_{r(rms)}$$

$$= \sqrt{3} \times 5$$

$$= 8.66 \text{ Volt.}$$

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

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

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

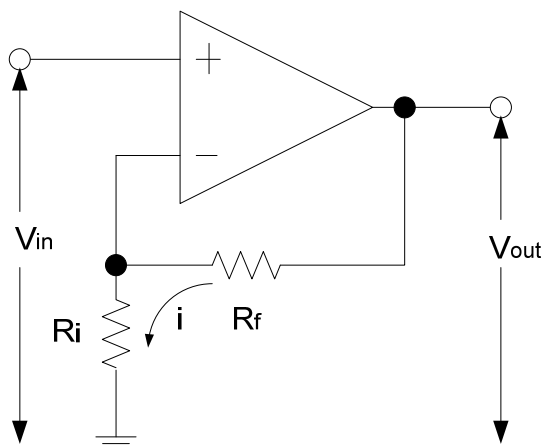
หาขนาดของแรงดัน C

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

จากการออกแบบสามารถเลือกค่าตัวเก็บประจุได้ที่ค่า $C = 10\mu F$ 450 Volt. ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่สามารถหาซื้อได้ง่าย และเหมาะสมกับค่าที่ใช้งานจริง

3.1.4 วงจรเปรียบเทียบ (Compared circuit)

การออกแบบวงจรเปรียบเทียบแรงดันนั้น เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบขนาดของสัญญาณเสิร์จหรือแรงดันเกินที่เข้ามาในระบบ ในการออกแบบชุดวงจรเปรียบเทียบนั้น จะใช้ออปแอมป์ทำการประมวลสัญญาณทางด้านอินพุตแล้วเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง จากนั้นทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกไปทางเอาต์พุตของออปแอมป์ เพื่อนำสัญญาณนั้นไปขับเฟดต่อไป



รูปที่ 3.5 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

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

ค่าของ V_{out} ที่หาได้สามารถนำมาหาอัตราขยายของวงจรได้ดังนี้

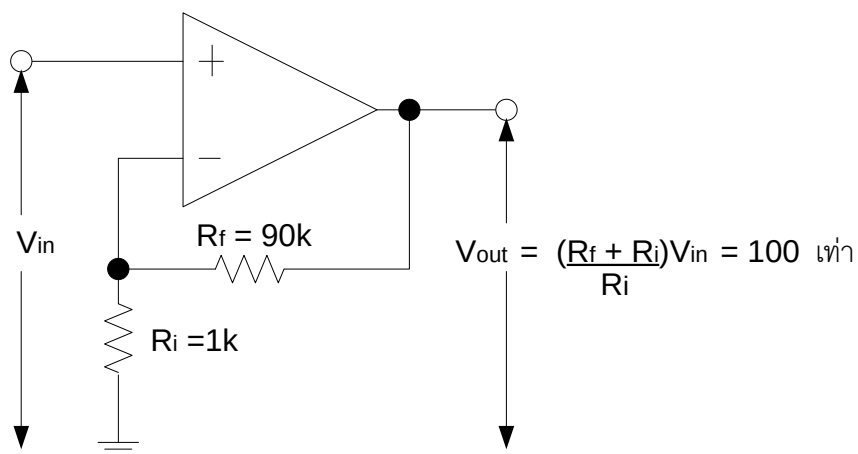
$$AV = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

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

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

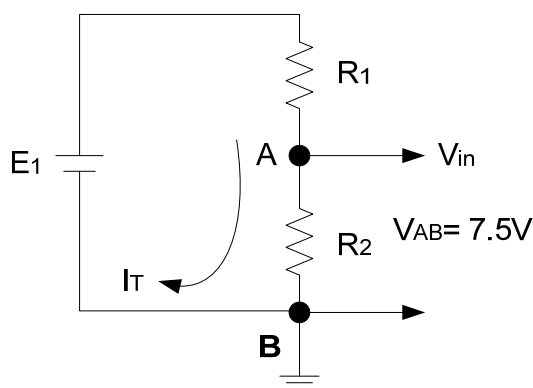
อัตราขยายของวงจรแบบนอนอินเวอร์ตหรือแบบไม่กลับเฟส จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ ดังนั้นการออกแบบวงจรเปรียบเทียบนี้ต้องการอัตราขยายที่ 100 เท่า โดยกำหนดให้ R_i เท่ากับ $1\text{k}\Omega$ และ R_f เท่ากับ $90\text{k}\Omega$ ซึ่งสามารถแทนค่าคำนวณได้ดังนี้

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



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตซึ่งมีอัตราขยาย 100 เท่า

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



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรแบ่งแรงดันด้านอินพุต

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

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

หาค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1

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

เมื่อ

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

หาค่า V_{R1}

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

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

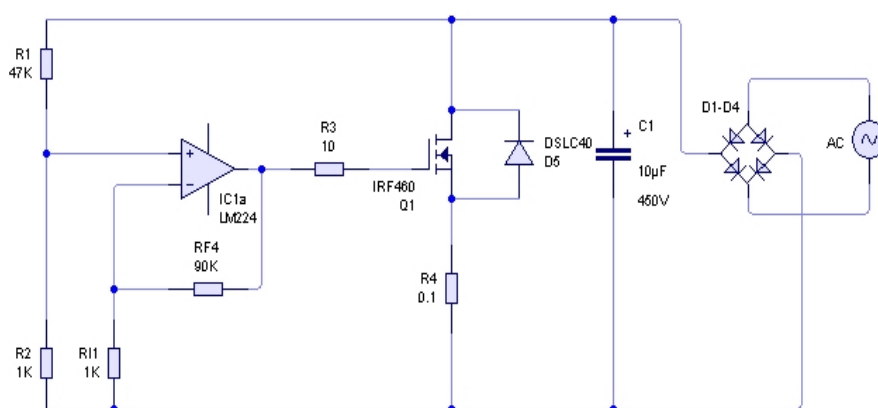
หาค่ากระแส I_T

$$\begin{aligned} I_T &= \frac{V_{R2}}{R_2} \\ &= \frac{7.5 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} \\ &= 7.5 \text{ mA} \end{aligned} \quad (3.13)$$

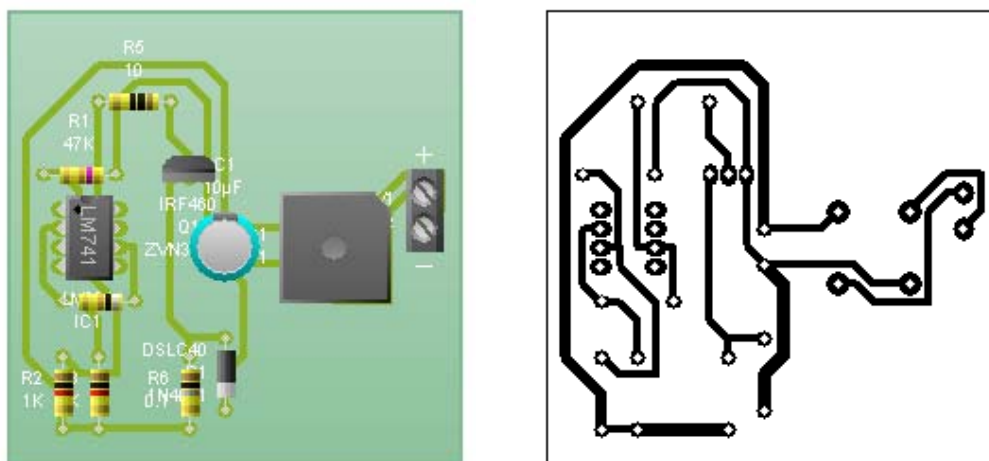
ดังนั้น R_1 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{V_{R1}}{I_T} \\ &= \frac{359.5 \text{ V}}{7.5 \times 10^{-2}} \\ &= 47.9 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (3.14)$$

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



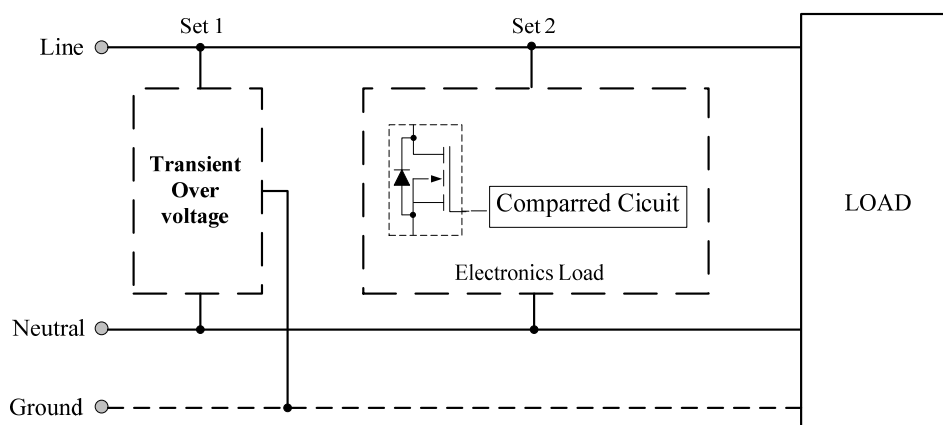
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรชุดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรชุดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้นและลายปรี้น

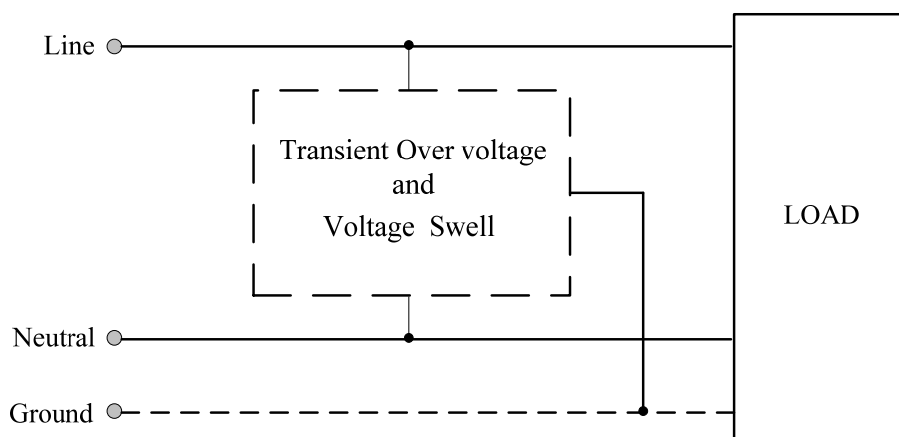
3.1.5 วงจรสแน็บเบอร์ (Snubber circuit)

สำหรับวงจรสแน็บเบอร์นี้ ทำการออกแบบเพื่อลดค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นกับเฟท เนื่องจากเกิดพลังงานสะสม เมื่ออุปกรณ์อยู่ในสภาวะช่วงหยุดการทำงาน (OFF) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวเฟท ซึ่งการออกแบบให้วงจรมีชุดสแน็บเบอร์ จะช่วยในส่วนของการลดพลังงานสะสมที่ตัวของเฟท ได้ ส่วนอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะเป็นไดโอดชนิด Fast Recovery Diode เบอร์ DSLC40 ซึ่งมีพิคททนกระแสได้สูงสุดถึง 20 แอมป์ และทนแรงดันได้ 600 โวลต์ เมื่ออุปกรณ์โหลดอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน (ON) Fast Recovery Diode จะทำงานในช่วง (ON) ทำหน้าที่เป็นชุดคายพลังงานที่สะสมกับตัวอุปกรณ์เฟท ให้ทำงานมีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.10 แสดงชุดที่ 2 โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

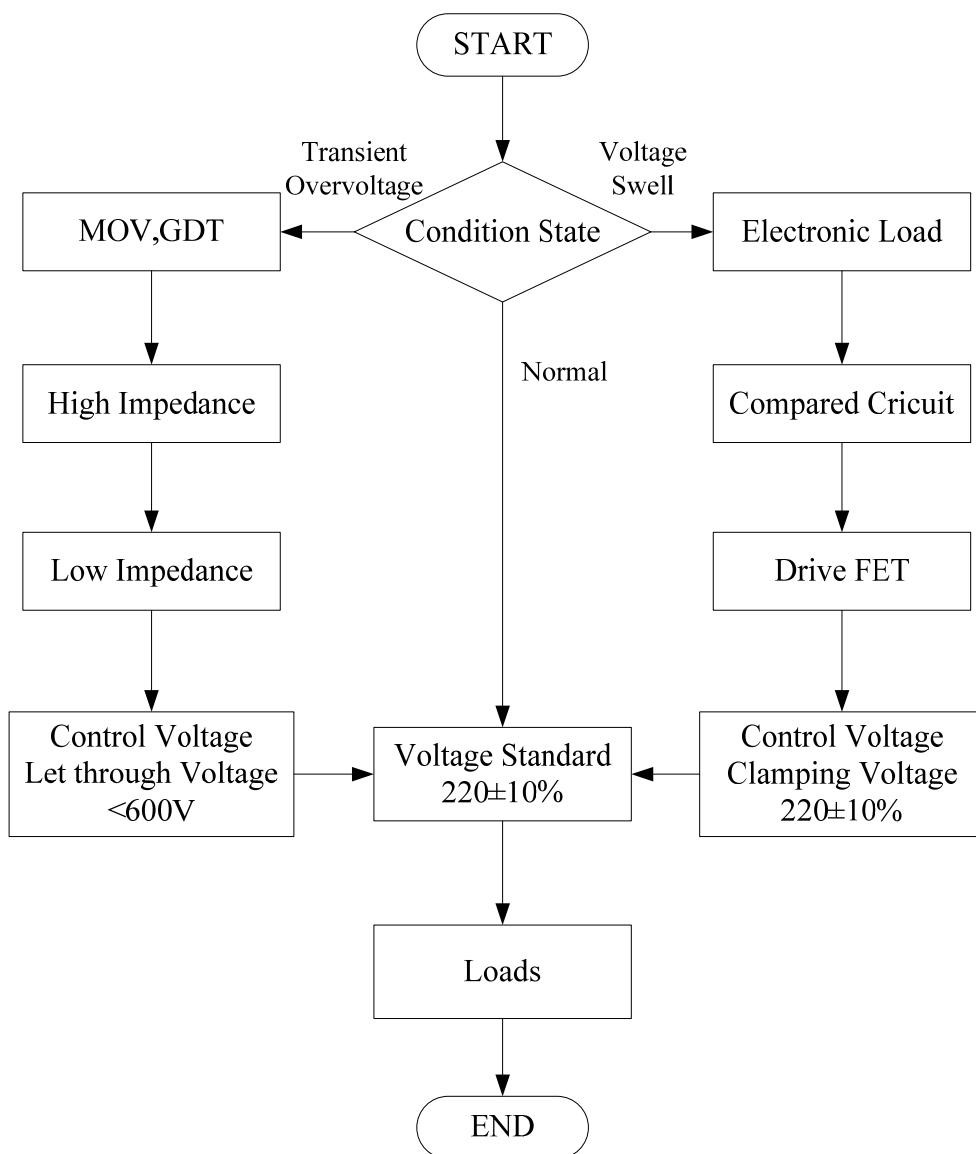
3.2 บล็อกไดอะแกรมรวมอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้าน เอซี



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมรวมอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอซี

จากรูปที่ 3.10 เป็นบล็อกไดอะแกรมรวมอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอซี ภายในชุดอุปกรณ์ป้องกันประกอบด้วย ชุด Transient Over voltage และ Electronic Load ลักษณะการติดตั้งจะทำการขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าเปรียบเสมือนเป็นโหลดอีกตัวหนึ่ง แต่จะทำงานในกรณีที่เกิดแรงดันไฟเกินขึ้นในระบบเท่านั้น สภาวะปกติจะไม่ทำงาน ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางด้านเอซีนั่น จะทำงานแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่เกิดแรงดันไฟกระชอกในสภาวะชั่วขณะ ชุดที่จะทำงานในลักษณะนี้ จะเป็นโหมดการป้องกันแรงดันเกินในสภาวะชั่วขณะ (Transient Over voltage) ซึ่งในชุดนี้จะประกอบด้วย GDT และ MOV ที่มีค่า Response Time ที่มีความไวที่สุด และการเกิดแรงดันไฟเกินในลักษณะแรงดันเกินช่วงสั้น ชุดที่จะทำงานในลักษณะนี้ จะเป็นโหมดการป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น หรือ Electronic Load เป็นชุดที่ทำหน้าที่ป้องกัน ถึงแม้ว่าชุดนี้จะมีการตอบสนองที่ช้า แต่สามารถรองรับพลังงานได้มากและนาน

3.3 Flow Chart for Design of AC Electronics Load Surge Protection



รูปที่ 3.12 Flow chart for Design of AC Electronics Load Surge Protection