บทที่ 3 การออกแบบ

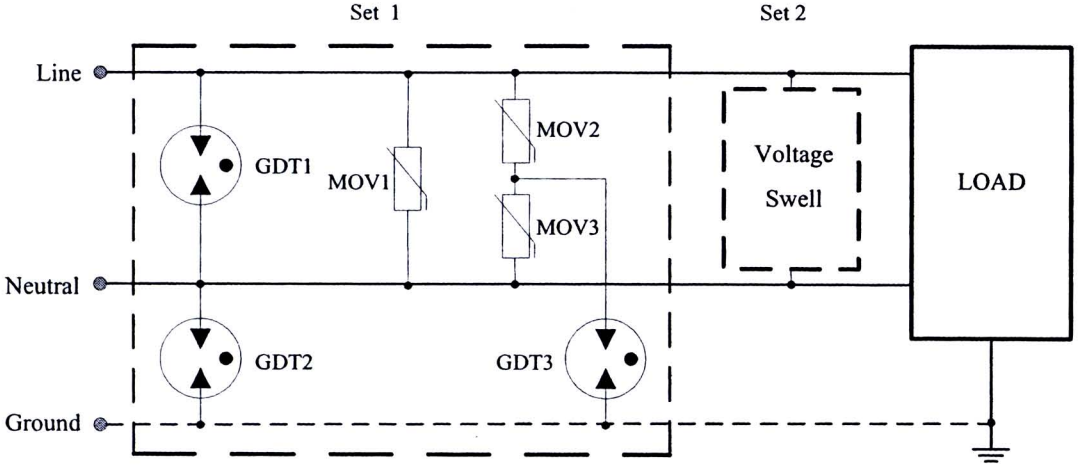
3.1 การออกแบบและประกอบสร้าง

การออกแบบวงจรได้แบ่งโหมดการป้องกันออกเป็น 2 ชุด เพื่อทำหน้าที่ป้องกันไฟกระโชกตามความสามารถเฉพาะอย่างของวัสดุที่ออกแบบไว้ให้กับระบบงานอย่างมีประสิทธิผล โดยกำหนดดังนี้

ชุดที่ 1 คือ โหมดป้องกันแรงดันเกินในสภาวะชั่วขณะ (Transient Over voltage)

ชุดที่ 2 คือ โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

3.1.1 โหมดป้องกันแรงดันเกินในสภาวะชั่วขณะ (Transient Over voltage)



รูปที่ 3.1 แสดงชุดที่ 1 โหมดการป้องกันแรงดันเกินในสภาวะชั่วขณะ

ภายในโหมดป้องกันนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

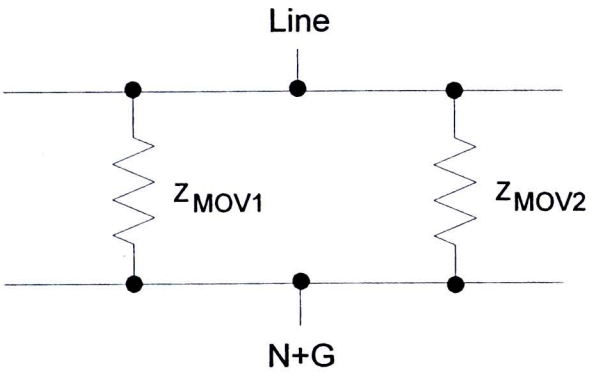
3.1.1.1 วัสดุ Gas Discharge Tube (GDT)

3.1.1.2 วัสดุ Metal Oxide Varistor (MOV)

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

การออกแบบชุดนี้จะเอา GDT ต่อไว้ด้านหน้าซึ่งพฤติกรรมของ GDT จะมีค่าอิมพิแดนซ์ที่สูงมาก อยู่ในช่วงของย่าน Giga Ohms จึงหมดห่วงในปัญหาเรื่องกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Leakage Current) พฤติกรรมของตัว GDT จะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเงื่อนไขทางแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสูงขึ้นเกินระดับการทำงานของ GDT ส่งผลให้ตัว GDT มีการสร้างอิออนขึ้นภายในตัวมัน และกลายเป็นตัวนำทางไฟฟ้าในที่สุด คุณสมบัติเด่นของ GDT คือ สามารถรองรับค่ากระแสและแรงดันไฟกระโชก ได้สูงกว่าวัสดุลดทอนไฟกระโชก ประเภทอื่นๆ (เปรียบเทียบบนพารามิเตอร์พื้นหลักเดียวกัน) นอกเหนือจากความสามารถในการรองรับกระแสไฟกระโชก ได้สูงแล้วตัวมันเองยังมีค่าคาปาซิแตนซ์แฝงต่ำอีกด้วยคือประมาณ 1pF - 5pF จึงทำให้ GDT มีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่ง ที่จะในไปใช้ลดทอนกระแสไฟกระโชกในระบบที่มีความถี่สูง

วัสดุลดทอนไฟกระโชก อีกชนิดหนึ่งคือ Metal Oxide Varistor หรือ MOV [11] โดยส่วนใหญ่ จะมีการระบุค่า Response Time เอาไว้ ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลา 5-30 nanoseconds จะมีค่าความต้านทานที่สูงมาก หรือ High Impedance แต่เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวมันต่ออยู่ มีค่าสูงเกินจุดหรือค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นทำงานของตัวมัน ค่าความต้านทานของตัวมัน ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเข้าใกล้ศูนย์โอห์ม โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเพื่อลดค่าความต้านทานของตัว MOV จะมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Exponential Function) จากผลของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมที่ High Impedance ในสภาวะปกติมาเป็นเกือบเสมือนตัวนำทางไฟฟ้า ทำให้ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ปรากฏไฟกระโชกขึ้นจะมีค่าระดับที่สูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นการทำงานของ MOV ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลานี้ ไหลผ่านตัว MOV ลงสู่ระบบกราวด์ การต่อใช้งาน MOV จะดำเนินการต่อในลักษณะขนานกับระบบงาน เพื่อสามารถเบนเบี่ยงทิศทางกระแสไฟกระโชก ผ่านตัวมันลงสู่ระบบกราวด์ แต่ทว่าหากจำนวนครั้งของกระแส ไฟกระโชก เข้ามาบ่อยๆ มากขึ้น ย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพ ความสามารถในการรองรับกระแสไฟกระโชกของ MOV ย่อมด้อยลงไปด้วย ซึ่งได้มีการออกแบบชุดสำหรับป้องกันความเสียหาย MOV ไว้อยู่แล้ว โดยชุดป้องกันความเสียหาย MOV ชุดที่หนึ่ง จะใช้วัสดุลดทอนประเภท GDT เพราะมีความไว (Response Time) ต่อแรงดันไฟกระโชกที่ช้ากว่า MOV เล็กน้อย และอีกชุดสองจะเป็นชุดโหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell) ในการนำเอา MOV มาต่อในลักษณะขนานกัน นอกเหนือจะสามารถทำให้รองรับกระแสไฟกระโชกได้สูงขึ้นแล้ว ค่าแรงดันไฟฟ้าปล่อยผ่าน หรือ Let Through Voltage ก็จะต่ำลงด้วยเช่นกัน และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดทอนกระแสและแรงดันไฟกระโชกให้กับ MOV ซึ่งการออกแบบในวงจรป้องกัน ทำการออกแบบตามรูปที่ 3.2 และตามสมการที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการนำเอา MOV มาต่อขนานกัน

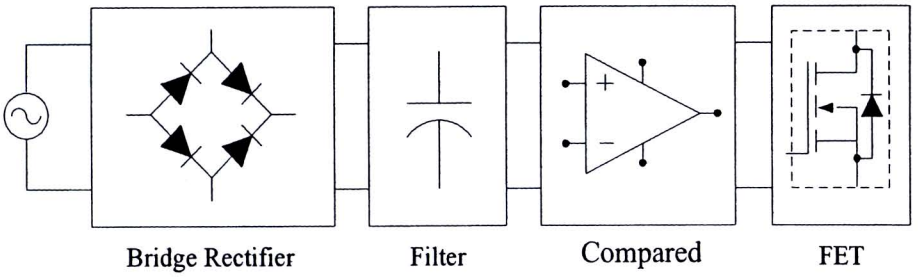
$$Z_T = Z_{MOV1} // Z_{MOV2} \quad (3.1)$$

$$= 1\Omega // 1\Omega$$

$$= 0.5\Omega$$

3.1.2 โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

โหมดนี้จะทำการลดทอนแรงดันไฟเกินช่วงสั้นลักษณะของค่าแรงดัน RMS ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าพิกัดของ มาตรฐานกำหนด (เท่ากับ 220 V $\pm$ 10%) การออกแบบเป็นลักษณะขนานกับระบบไฟฟ้า โดยไม่ต้องคำนึงถึงภาระโหลดว่าจะกินกระแสเท่าไร การทำงานในโหมดนี้จะทำงาน เมื่อมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบที่เป็นลักษณะของค่าแรงดัน RMS เท่านั้น เมื่อเกิดแรงดันไฟเกินขึ้นในระบบ ชุดแรกที่จะทำงานคือ ชุด Compared circuit ซึ่งชุดนี้จะทำการตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้า ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าถึงค่าหรือระดับที่ตั้งไว้ จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมา เพื่อที่จะไปขับเฟทต่อไปตามลักษณะของค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามาในระบบ กล่าวคือ ถ้าหากมีแรงดันไฟเกินเข้ามาในระบบอยู่ในช่วงที่ค่าไม่มาก ชุด Compared circuit จะทำการปล่อยแรงดันไฟค่าน้อยๆ ค่าหนึ่งให้กับเฟท เพื่อให้เฟทนำกระแสและความคุมแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่ถ้าหากมีแรงดันไฟฟ้าที่เกินเข้ามาในระบบที่มีแรงดันสูง Compared circuit จะทำการปล่อยแรงดันไฟที่มากขึ้น เพื่อให้ตัวเฟท ได้นำกระแสมากขึ้น เพื่อที่จะความคุมแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในส่วนของชุดเฟท นั้นมีหน้าที่เป็นตัวรองรับพลังงานหรือแรงดันไฟเกินที่เกิดขึ้นมาในระบบ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นโหลดตัวหนึ่งในระบบ ชุดนี้ตัวรองรับพลังงานเมื่อชุดนี้ทำงานจะทำให้ตัวเฟทร้อน ดังนั้นจำเป็นต้องมีแผ่นระบายความร้อนให้กับเฟทเพื่อที่จะสามารถรองรับพลังงานได้เป็นเวลานาน

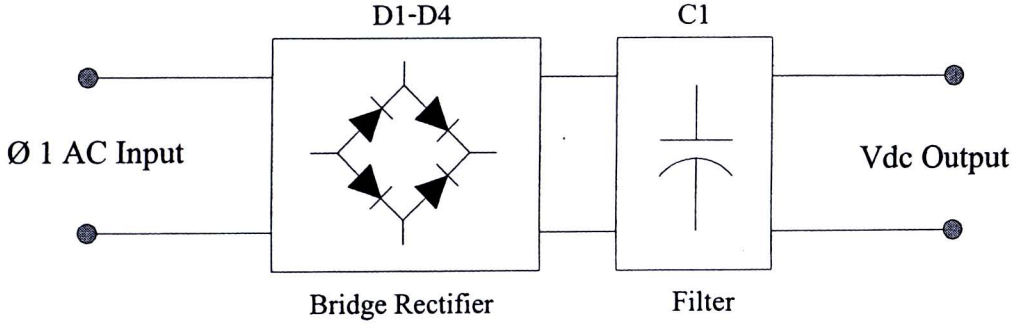


รูปที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบของวงจรป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

ภายในโหมดป้องกันนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

3.1.3 วงจรเรียงสัญญาณ (Rectifier Circuit)

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



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรเรียงสัญญาณ (Rectifier Circuit)

การหาค่าแรงดันไฟหลังผ่านไดโอดในกรณีที่เป็นแบบอุดมคติและแบบที่ใช้งานจริง

จากสมการ

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

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

การออกแบบจงจร

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

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

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

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

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

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

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

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

หาขนาดของความจุของ C

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

$$= 12.5\ \Omega$$

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

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

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

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

$$V_m = V_{dc} + V_r(peak)$$

$$= 220 + 8.66$$

$$= 228.66 \text{ Volt.}$$

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

$$C = \frac{2.9 \times 228.66V}{0.0125k\Omega \times 5V}$$

$$= \frac{663.11}{62.5}$$

$$= 10.60\ \mu F$$

หาขนาดของแรงดัน C

$$C = 2V_m \qquad (3.6)$$

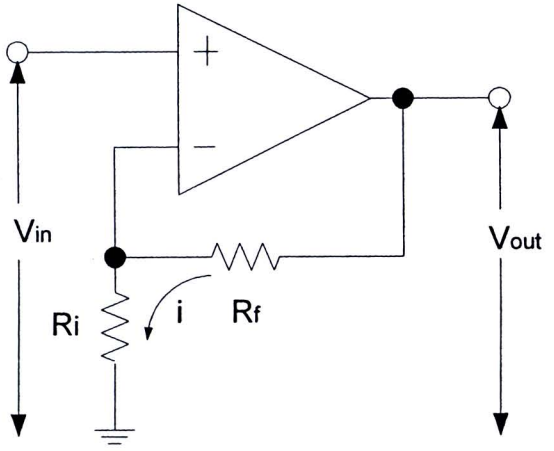
$$= 2 \times 228.66V$$

$$= 457.32 \text{ Volt.}$$

จากการออกแบบสามารถเลือกค่าตัวเก็บประจุได้ที่ค่า C = 10μF 450 Volt. ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่สามารถหาซื้อได้ง่าย และเหมาะสมกับค่าที่ใช้งานจริง

3.1.4 วงจรเปรียบเทียบ (Compared circuit)

การออกแบบวงจรเปรียบเทียบแรงดันนั้น เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบขนาดของสัญญาณเสิร์จหรือแรงดันเกินที่เข้ามาในระบบ ในการออกแบบชุดวงจรเปรียบเทียบนั้น จะใช้ออปแอมป์ทำการประมวลสัญญาณทางด้านอินพุตแล้วเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง จากนั้นทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกไปทางเอาต์พุตของออปแอมป์ เพื่อที่นำสัญญาณนั้นไปขับเฟทต่อไป



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณของออปแอมป์

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

$$V_{Rf} = i R_f$$

$$= \frac{R_f V_{in}}{R_i} \qquad (3.7)$$

เมื่อได้ R_i และ R_f สามารถหา V_{out} ได้

$$V_{out} = (V_{Rf} + V_{in})$$

$$= V_{in} \left(\frac{R_f V_{in}}{R_i}\right)$$

$$V_{out} = 1 \left(\frac{R_f V_{in}}{R_i}\right) \qquad (3.8)$$

ค่าของ V_{out} ที่หาได้สามารถนำมาหาค่าอัตราการขยายของวงจรได้ดังนี้

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

$$= 1 \left(\frac{R_f V_{in}}{R_i}\right)$$

$$= \quad 1+ \frac{R_f}{R_i} \qquad (3.9)$$

หรือ

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

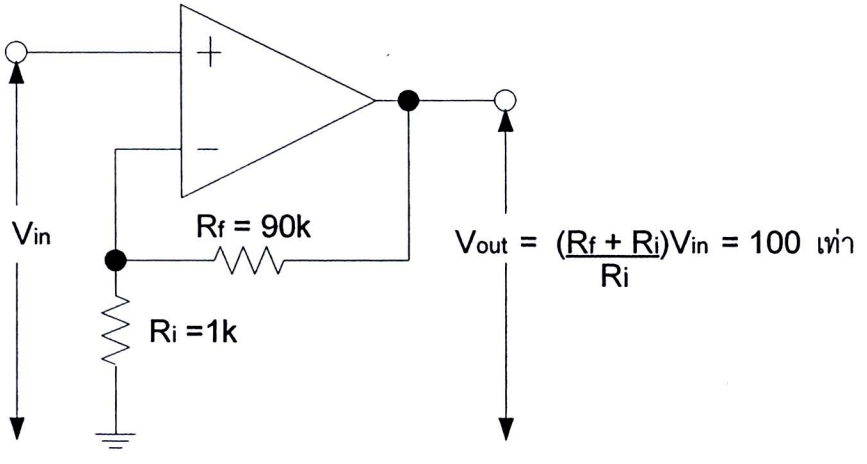
อัตราการขยายของวงจรแบบนอนอินเวอร์ติ้งหรือแบบไม่กลับเฟส จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ ดังนั้นการออกแบบวงจรเปรียบเทียบนี้ต้องการอัตราการขยายที่ 100 เท่า โดยกำหนดให้ R_i เท่ากับ $1k\Omega$ และ R_f เท่ากับ $90k\Omega$ ซึ่งสามารแทนค่าคำนวณได้ดังนี้

$$AV = \frac{(R_i + R_f)}{R_i}$$

$$= \frac{1k\Omega + 90k\Omega}{1k\Omega}$$

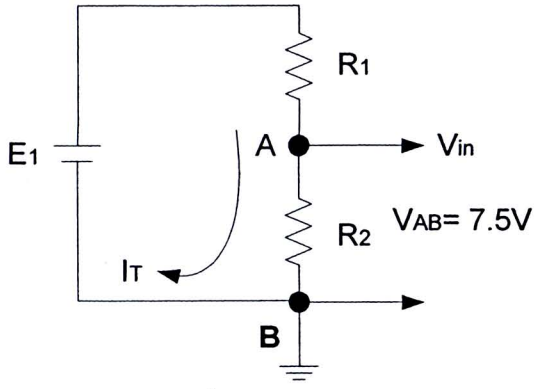
$$= \frac{100k\Omega}{1k\Omega}$$

$$AV = 100 \text{ เท่า}$$



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ติ้งซึ่งมีอัตราขยาย 100 เท่า

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



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

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 $1k\Omega$

$$E_1 = 260\ V_{rms} \times \sqrt{2}$$

$$= 260 \times 1.414$$

$$= 367\ V_{dc}$$

หาค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1

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

เมื่อ

$$V_{R2} = VAB$$

$$= 7.5\ V$$

หาค่า V_{R1}

$$V_{R1} = E_1 - V_{R2} \qquad (3.12)$$

$$= 367 - 7.5$$

$$V_{R1} = 359.5\ V_{dc}$$

หาค่ากระแส I_T

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

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

$$= 7.5\ mA$$

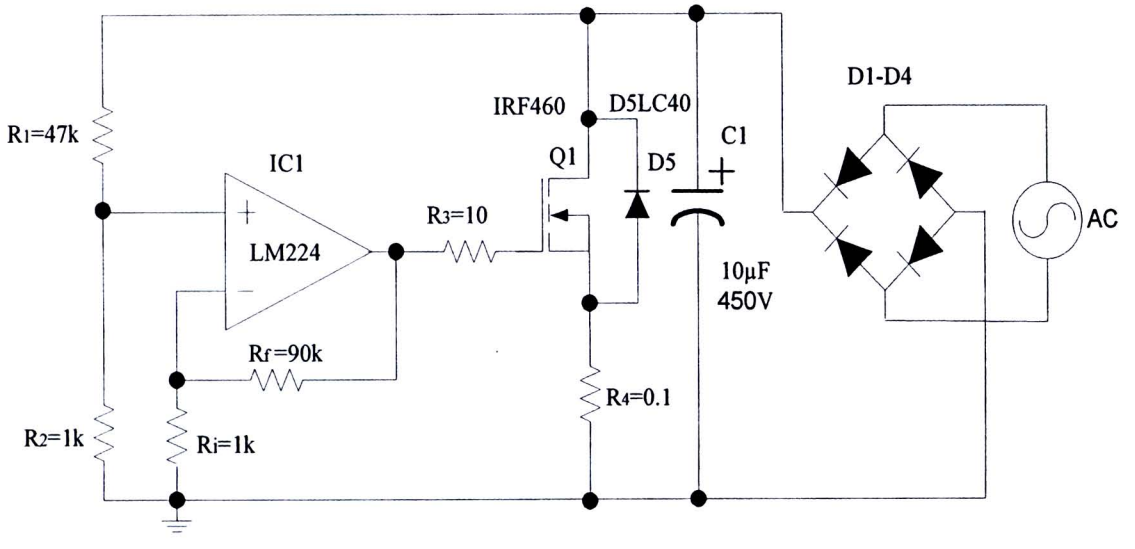
ดังนั้น R_1 มีค่าเท่ากับ

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

$$= \frac{359.5\ V}{7.5x10^{-2}}$$

$$= 47.9\ k\Omega$$

ดังนั้นการเลือกค่าความต้านทาน R_1 ใช้ค่า $47\ k\Omega$ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถหาซื้อได้ง่าย

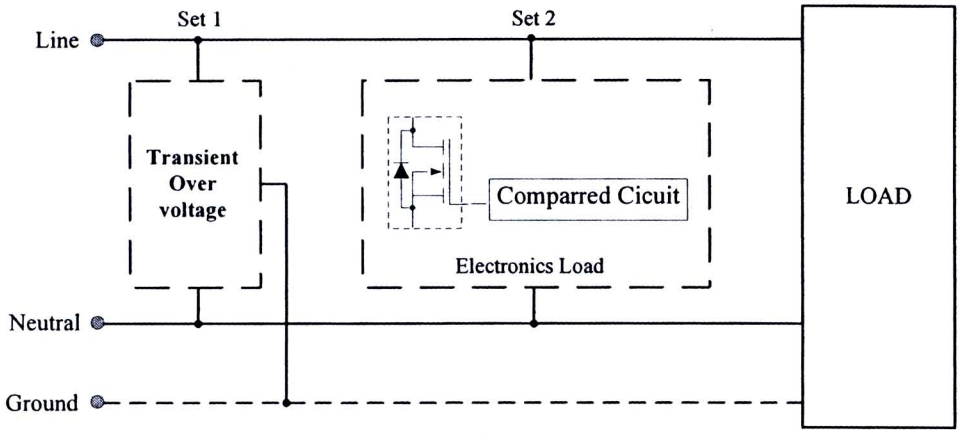


รูปที่ 3.8 แสดงวงจรชุดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

3.1.5 วงจรสนับเบอร์ (Snubber circuit)

สำหรับวงจรสนับเบอร์นี้ ทำการออกแบบเพื่อลดค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นกับเฟท เนื่องจากเกิดพลังงานสะสม เมื่ออุปกรณ์อยู่ในสภาวะช่วงหยุดการทำงาน (OFF) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวเฟท ซึ่งการออกแบบให้วงจรมีชุดสนับเบอร์ จะช่วยในส่วนของการลดพลังงานสะสมที่ตัวของเฟท ได้ ส่วนอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะเป็นไดโอดชนิด Fast Recovery Diode เบอร์ D5LC40 ซึ่งมีพิกัดทนกระแสได้สูงสุดถึง 20 แอมป์ และทนแรงดันได้ 600 โวลต์ เมื่ออุปกรณ์โหลดอิเล็กทรอนิกส์

ทำงาน (ON) Fast Recovery Diode จะทำงานในช่วง (ON) ทำหน้าที่เป็นชุดคายพลังงานที่สะสมกับตัวอุปกรณ์เฟท ให้ทำงานมีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.9 แสดงชุดที่ 2 โหมดป้องกันแรงดันเกินช่วงสั้น

3.2 การวิเคราะห์วงจรแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2 /50 μs

วงจรแรงดันอิมพัลส์เป็นวงจรที่มีคุณลักษณะของวงจร RC และ RL ซึ่งเป็นการสะสมพลังงานของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ ได้แก่ ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งตัวเก็บประจุสะสมพลังงานไว้ในรูปของสนามไฟฟ้า ส่วนตัวเหนี่ยวนำเก็บสะสมพลังงานในรูปสนามแม่เหล็ก สมการของการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับแรงดัน ทำให้การสะสมหรือคายพลังงานของตัวเก็บประจุ ไม่สามารถทำได้แบบฉับพลันจะต้องใช้เวลา เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันได้ ส่วนสมการของพลังงานสะสมที่ตัวเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับกระแส ทำให้การสะสมหรือคายพลังงานของตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้แบบฉับพลันเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันได้ ในการวิเคราะห์จะกล่าวถึง ตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ บางครั้งเรียกวงจรเหล่านี้ วงจร RC โดยพิจารณาหาค่ากระแสและแรงดันในสภาวะที่ตัวเก็บประจุคายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ให้กับตัวต้านทานในขณะที่วงจรไม่มีแหล่งจ่ายกำเนิดพลังงาน และเรียกสภาวะนี้ว่า การตอบสนองตามธรรมชาติของวงจร จากนั้นจะพิจารณาสภาวะการตอบสนองเมื่อมีแหล่งกำเนิดพลังงานต่ออยู่ในวงจร ซึ่งเป็นสภาวะที่เรียกว่า การตอบสนองแบบบังคับ

3.2.1 ค่าแรงดันและพลังงานของเครื่องกำเนิด

จากค่าตัวเก็บประจุที่มีอยู่แล้วทำให้ได้ ค่าความจุไฟฟ้าต่อชั้น C_S' = 0.4 μF และแรงดันอันประจุต่อชั้น U_O = 100 kv โดยที่เครื่องกำเนิดจะมีจำนวน 4 ชั้น จะได้แรงดันอัดประจุเป็น

$$U_o = 4\,U_o'$$
$$= 4(100)\ \text{kv}$$
$$= 400\ \text{kv}$$

ค่าอัดประจุรวม
$$C_s = C_s' / 4$$
$$= (0.4 / 4)\ \mu F$$
$$= 0.1\ \mu F$$

เครื่องกำเนิดจะมีพลังงาน
$$W = C_s U_o^2 / 2$$
$$= (0.1\ \mu F)(400\ \text{kv})^2 / 2$$
$$= 8000\ J$$

พลังงานต่อชั้น
$$W' = 8000 / 4 = 2000\ J \text{ ต่อชั้น}$$

3.2.2 การออกแบบหาค่า C_s และ C_b

ใช้ตัวเก็บประจุขนาด 100 kv 0.4 μF มีทั้งหมด 4 ชั้น (C_s')

$$C_s = C_s' / n$$
$$= 0.4\ \mu F / 4$$
$$= 0.1\ \mu F$$

ใช้ตัวเก็บประจุขนาด 100 kv 0.02 μF มีทั้งหมด 4 ชั้น (C_b')

$$C_b = C_b' / n$$
$$= 0.02\ \mu F / 4$$
$$= 0.005\ \mu F$$

หรือการหาค่า $C_s = C_b / 0.053$
$$= 0.005\ \mu F / 0.053 = 0.09\ \mu F \text{ หรือ } 0.01\ \mu F$$

จากตาราง วงจร B ค่าแฟกเตอร์

$T_1 = 1.2\ \mu F$ $K_1 = 0.73$ (n) จำนวนชั้น = 4 ชั้น

$T_2 = 50\ \mu F \qquad K_2 = 2.96$

การหาค่าความต้านทาน R_d จากสมการความสัมพันธ์ของวงจร B

$$T_1 = K_2\ R_d\ ((C_S C_b) / (C_S + C_b))$$

$$1.2\ \mu F = 2.96 \times R_d\ ((0.1 \times 0.005) / (0.1 + 0.005))\ \mu F$$

$$R_d = 85.14\ \Omega$$

R_d' ต่อชั้น

$$R_d = n R_d'$$

$$R_d' = 85.14 / 4 = 21.28\ \Omega \text{ ต่อชั้น}$$

การหาค่าความต้านทาน R_e จากสมการความสัมพันธ์ของวงจร B

$$T_2 = K_1\ R_e (C_S + C_b)$$

$$50\ \mu F = 0.73 \times R_e\ (0.1 + 0.005)\ \mu F$$

$$R_e = 652.31\ \Omega$$

R_e' ต่อชั้น

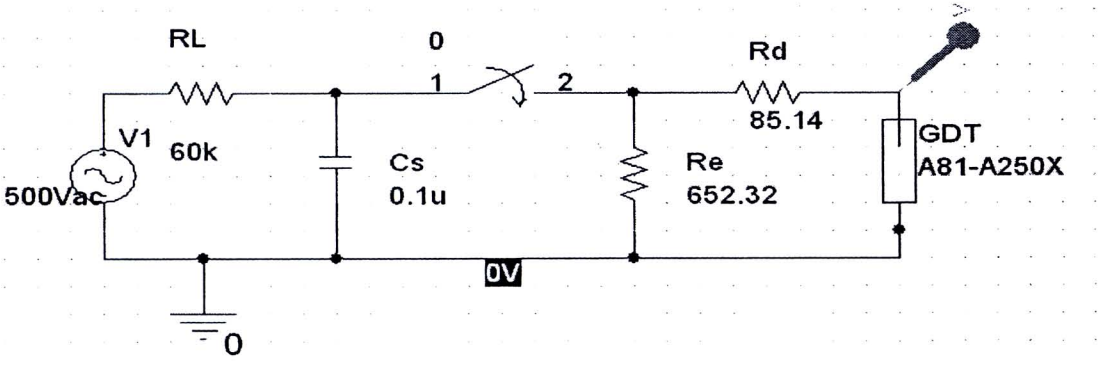
$$R_e = n R_e'$$

$$R_e' = 652.31 / 4 = 163.08\ \Omega \text{ ต่อชั้น}$$

3.3 การสร้างวงจรป้องกันแรงดันเกินเสิร์จด้วยวัสดุลดทอนด้วย GDT จำลอง

3.3.1 การสร้างวงจรป้องกันแรงดันเกินเสิร์จด้วย GDT

ทำการทดลองวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของวัสดุลดทอนของ Gas Discharge Tube (GDT) ในขณะทำการจ่ายรูปคลื่นสัญญาณทดสอบที่พิกัดแรงดัน (รูปคลื่น 1.2/50 μS) ค่าต่างๆ



รูปที่ 3.10 วงจรป้องกันแรงดันเกินเสิร์จโดยใช้ GDT 1 ตัว

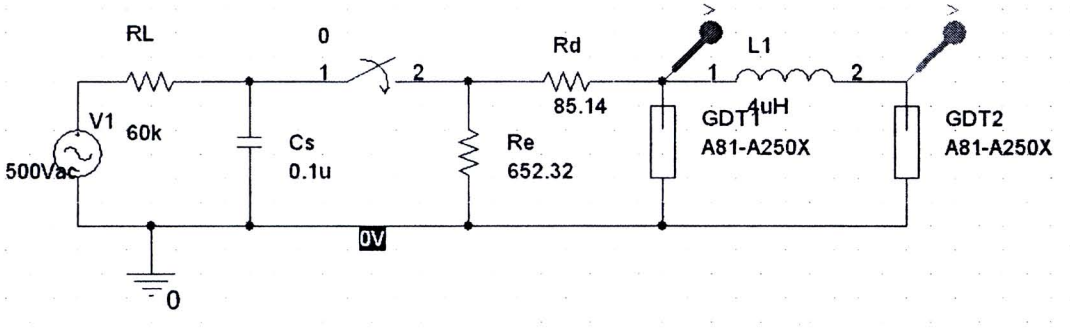
ตารางที่ 3.1 กรณีทดสอบ GDT ที่แรงดัน 1000 - 6000โวลต์ (1.2 / 50μS) ด้วยโปรแกรม PSpice

ลำดับ	จำนวน GDT (ตัว)	แรงดัน (INPUT)	แรงดัน (OUTPUT)
1	1	1000	
2	1	2000	
3	1	3000	
4	1	4000	
5	1	5000	
6	1	6000	

จากนั้นให้เพิ่ม GDT เข้าในวงจรไปจนครบ 5 ตัว บันทึกผลที่ได้และรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของ Pspice

3.3.2 การสร้างวงจรป้องกันแรงดันเกินเสิร์จด้วย GDT และ L

ทำการทดลองวัดรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของวัสดุลดทอนของ Gas Discharge Tube (GDT) และ L ในขณะทำการจ่ายรูปคลื่นสัญญาณทดสอบที่พิกัดแรงดัน (รูปคลื่น 1.2/50 μS) ค่าต่างๆ



รูปที่ 3.12 วงจรป้องกันแรงดันเกินเสิร์จโดยใช้ GDT และ L

ตารางที่ 3.2 กรณีทดสอบ GDT และ Lที่แรงดัน 1000 - 6000โวลต์ $(1.2/50\mu S)$ ด้วยโปรแกรม PSpice

ลำดับ	จำนวน GDT (ตัว)	แรงดัน (INPUT)	แรงดัน (OUTPUT)
1	1	1000	
2	1	2000	
3	1	3000	
4	1	4000	
5	1	5000	
6	1	6000	

จากนั้นให้เพิ่ม GDT และ L เข้าในวงจรไปจนครบ 2 ตัว บันทึกผลที่ได้และรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของ Pspice