บทที่ 2

มาตรฐานการทดสอบ

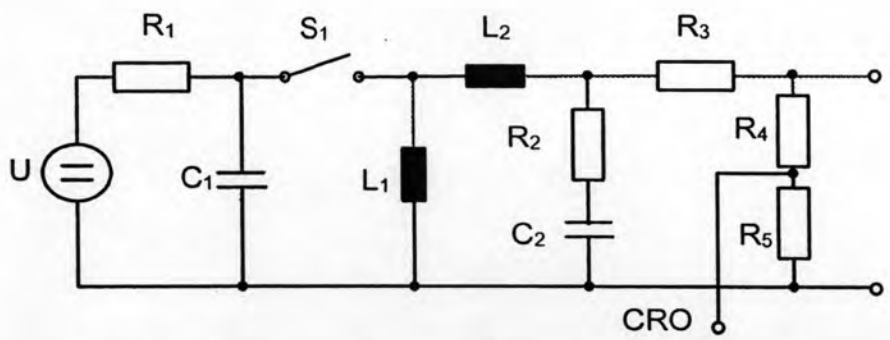
ในการทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแกว่ง (Oscillatory Waves Immunity Test) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC ซึ่งแบ่งการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จากการรบกวนของคลื่นแกว่ง 2 ลักษณะคือ [4]

1) คลื่นแกว่งแบบหน่วงไม่ซ้ำ (Ring Wave: 100 kHz) ที่เกิดขึ้นในสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ สายควบคุม และสายสัญญาณ

2) คลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ (Damped Oscillatory Wave: 100 kHz, 1 MHz) ที่เกิดขึ้นในสายเคเบิลไฟฟ้ากำลัง สายเคเบิลควบคุม และสายเคเบิลสัญญาณที่ติดตั้งในสถานีไฟฟ้าแรงดันปานกลางและแรงดันสูง

2.1 การสร้างรูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ โดยจะเป็นการศึกษามาตรฐานการทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ การคำนวณหาค่าองค์ประกอบต่างๆ ของวงจรกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ การสร้างและทดสอบเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ



รูปที่ 2.1 วงจรกำเนิดแรงดันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

ความหมายของค่าพารามิเตอร์ในวงจรดังรูปที่ 2.1 เป็นดังนี้

U คือ แรงดันกระแสตรงของแหล่งจ่าย

R_1 คือ ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ

C_1 คือ ตัวเก็บประจุสะสมพลังงาน

S_1 คือ สวิตช์แรงดันสูง

L_1 คือ ขดลวดเหนี่ยวนำปรับรูปคลื่น

L_2 คือ ขดลวดเหนี่ยวนำของวงจรกรอง

R_2 คือ ความต้านทานของวงจรกรอง

C_2 คือ ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง

R_3 คือ ความต้านทานด้านออก

$R_4 R_5$ คือ ความต้านทานแบ่งแรงดัน

CRO คือ ออสซิลโลสโคป

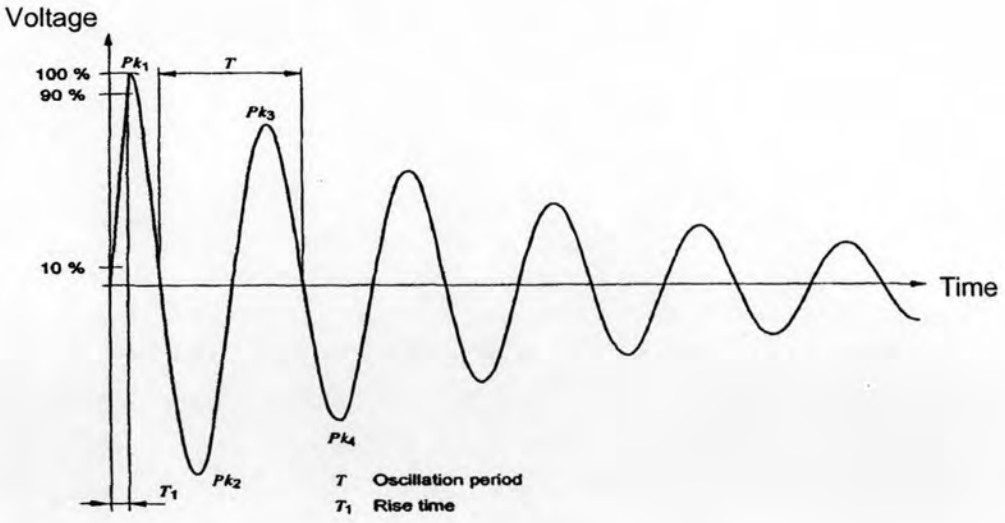
หลักการทำงานของวงจรกำเนิดแรงดันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ ในรูปที่ 2.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับตัวเก็บประจุ C_1 ผ่านความต้านทาน R_1 ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสอัดประจุให้แก่ ตัวเก็บประจุ C_1 และเมื่ออัดประจุให้ตัวเก็บประจุ C_1 จนได้แรงดัน U ตามที่ต้องการ และทำการสับสวิตช์ S_1 ทำให้ประจุที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุ C_1 จะถ่ายทอดไปยังขดลวดเหนี่ยวนำ L_1 และขดลวดเหนี่ยวนำ L_1 จะเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็ก โดยมีการถ่ายทอดพลังงานกลับไปกลับมาระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 กับขดลวดเหนี่ยวนำ L_1 เกิดเป็นแรงดันคลื่นแกว่งขึ้น เพราะในขดลวดเหนี่ยวนำ L_1 นั้น จะมีความต้านทานโดยธรรมชาติ จากนั้นแรงดันคลื่นแกว่งจะผ่านวงจรกรองซึ่งมีองค์ประกอบวงจร $R_2L_2C_2$ เพื่อกรองความถี่จากการสวิตช์ S_1 หลังจากนั้นแรงดันคลื่นแกว่งจะผ่านตัวต้านทาน R_3 ซึ่งทำหน้าที่หน่วงการแกว่งของคลื่นแรงดัน ในส่วนของความต้านทาน R_4 และ R_5 เป็นความต้านทานแบ่งแรงดัน ทำหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำเพื่อนำออสซิลโลสโคป CRO มาทำการวัดรูปคลื่นได้

2.1.1 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

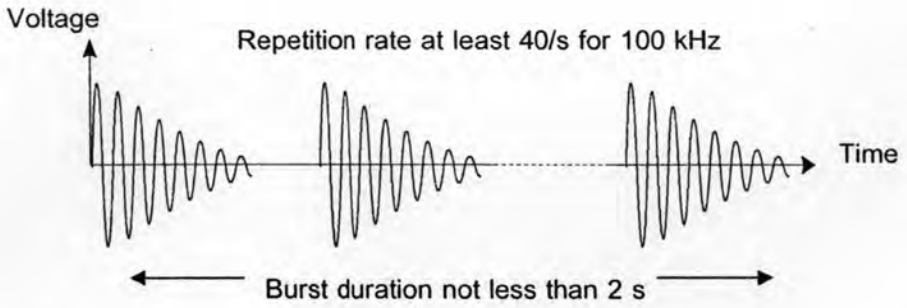
ตามมาตรฐาน IEC นั้น เครื่องกำเนิดแรงดันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- พิกัดค่ายอดแรงดัน : 250 V ถึง 2.5 kV ± 10%
- ค่าเวลาหน้าคลื่น (Rise Time) : 75 ns ± 20%, ในช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มต้นมีค่าจาก 10% จนถึง 90% ของค่ายอดแรงดัน
- ความถี่ของการแกว่ง (Oscillation Frequency): 100 kHz, 1 MHz ± 10%
- อัตราการสร้างรูปคลื่นซ้ำ (Optional Repetition Rate) : ≥ 40/s ที่ 100 kHz และ ≥400/s ที่ 1 MHz
- ขนาดรูปคลื่นแกว่งในช่วง 50% ของค่ายอด (Decaying) : ค่ายอดแรงดันที่ 5 มากกว่า 50% ของค่ายอดแรงดันที่ 1 และค่ายอดแรงดันที่ 10 น้อยกว่า 50% ของค่ายอดแรงดันที่ 1
- ระยะเวลาคลื่นแกว่งเป็นขบวน (Burst Duration) : time ≥ 2 s
- อิมพีแดนซ์ด้านออก : 200 Ω ± 20%
- มุมเฟส: มีเฟสไม่ตรงกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ
- ขั้วแรงดันคลื่นแกว่งในครึ่งคาบแรก : เป็นได้ทั้งขั้วบวกหรือขั้วลบ

2.1.2 ลักษณะรูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำตามมาตรฐาน



(ก) คลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ



(ข) อัตราการสร้างรูปคลื่นซ้ำ

รูปที่ 2.2 คลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำตามมาตรฐาน

2.2 การทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

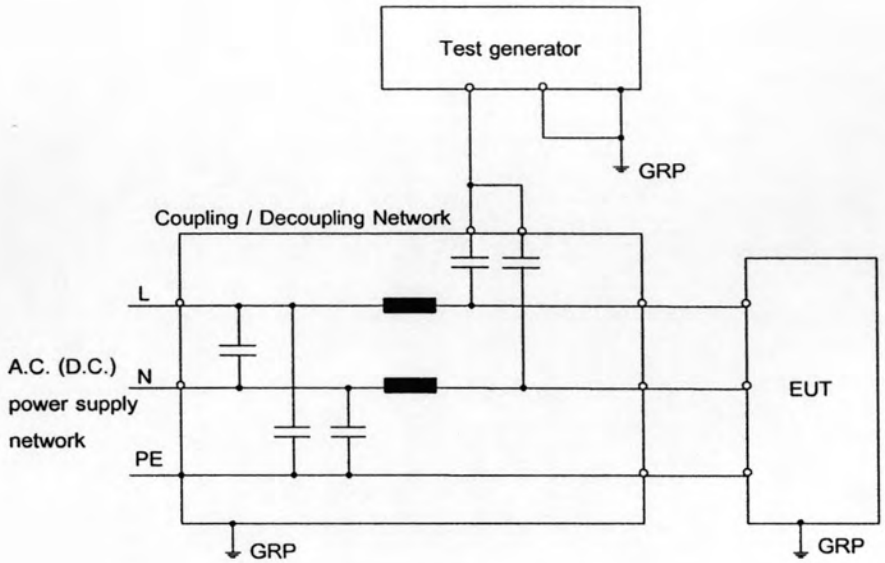
ในการทดสอบภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์ทดสอบ (Equipment Under Test: EUT) อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC นั้น จะส่งสัญญาณทดสอบเข้าไปในอุปกรณ์ทดสอบซึ่งมีได้หลายทาง เช่น ทางสายไฟเลี้ยง (Power Line AC/DC) ทางสายสัญญาณ (Signal Line) จุดเชื่อมกราวนด์ (Earth Port) พื้นผิวกราวนด์ของอุปกรณ์ทดสอบ (Enclosure Port) เป็นต้น สำหรับการทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ กำหนดให้ทำการทดสอบเฉพาะสายไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ทดสอบเท่านั้น

2.2.1 การทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

การทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ โดยการส่งสัญญาณเข้าในสายไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ทดสอบ ผ่านตัวอุปกรณ์ที่เรียกว่า Coupling/Decoupling Network (CDN) แบบ 1 เฟส ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับอุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งในมาตรฐานการทดสอบได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีโหมดร่วม (Common Mode/Line to Ground) และกรณีโหมดผลต่าง (Differential Mode/Line to Line)

2.2.1.1 การทดสอบกรณีโหมดร่วม

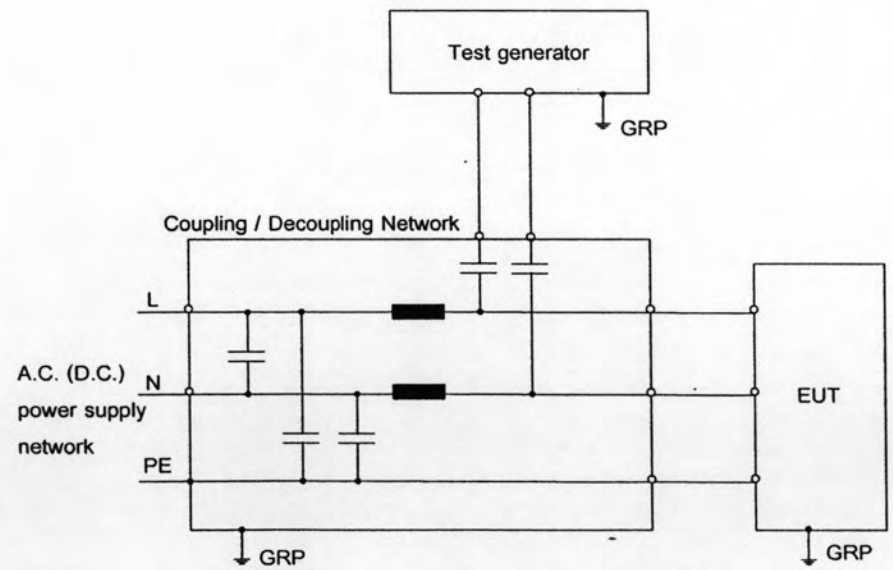
ในกรณีโหมดร่วมจะทดสอบคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำไปยังสายตัวนำเฟส (Line) กับสายนิวทรัล (Neutral) และมีขั้วขาออกข้างหนึ่งต่อลงดิน โดยผ่านแผ่นกราวนด์เพลน (Ground Reference Plane: GRP) ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทดสอบกรณีโหมดร่วม

2.2.1.2 การทดสอบกรณีโหมดผลต่าง

ในกรณีโหมดผลต่างจะทดสอบคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำไปยังสายตัวนำเฟส (Line) และมีขั้วขาออกข้างหนึ่งต่อกับสายนิวทรัล (Neutral) โดยขั้วขาออกของเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำนี้จะไม่มีขั้วใดต่อลงดินเลย ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การทดสอบกรณีโหมดผลต่าง

2.2.2 ข้อกำหนดสภาวะการทดสอบ

- กรณีโหมดร่วม อัตราการลดทอนคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำในวงจร Decoupling คือ 20 dB
- กรณีโหมดผลต่าง อัตราการลดทอนคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำในวงจร Decoupling คือ 30 dB
- ขนาดตัวเก็บประจุส่งผ่าน (Coupling Capacitors) มีค่าเท่ากับ 0.5 μF โดยมีความต้านทานด้านออกมีค่าเท่ากับ 200 Ω
- ขนาดขดลวดเหนี่ยวนำในวงจร Decoupling มีค่าไม่เกิน 1.5 mH
- สภาวะแวดล้อมในการทดสอบกำหนดดังนี้
  - อุณหภูมิ 15°C ถึง 35°C
  - ความชื้นสัมพัทธ์ 25% ถึง 75%
  - ความดันบรรยากาศ 86 kPa ถึง 106 kPa

2.2.3 ระดับสัญญาณในการทดสอบ

ระดับของสัญญาณในการทดสอบคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ระดับ คือ ระดับที่ 1, 2, 3 และระดับ x ซึ่งในแต่ละระดับของการทดสอบจะมีระดับแรงดันในการทดสอบแตกต่างกัน แต่มีคาบของสัญญาณเท่ากัน โดยแยกประเภทของการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีโหมดร่วม และกรณีโหมดผลต่าง ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับแรงดันในการทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

ระดับการทดสอบ	กรณีโหมดร่วม (kV)	กรณีโหมดผลต่าง (kV)
1	0.5	0.25
2	1	0.5
3	2[2)]	1
x[1)]	x	x

[1)] x คือ ระดับสัญญาณพิเศษที่อนุญาตให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สามารถเพิ่มขึ้นได้ตามต้องการ

[2)] การเพิ่มระดับแรงดันทดสอบเป็น 2.5 kV สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้า