บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

จากผลการทดสอบเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำทั้งการทดสอบสร้างรูปคลื่นอ้างอิงตามมาตรฐานกำหนด รวมทั้งการทดสอบใช้งานผ่านตัวอุปกรณ์ Coupling/Decoupling Network แบบ 1 เฟส สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

รูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำที่สร้างได้มีพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาดังนี้ คือ เวลาหน้าคลื่น, อัตราการสร้างรูปคลื่นซ้ำ, ความถี่ของการแกว่ง และพิกัดค่ายอดแรงดัน โดยรูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำที่สร้างได้เปรียบเทียบกับรูปคลื่นตามมาตรฐานกำหนดจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของรูปคลื่นดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของรูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ

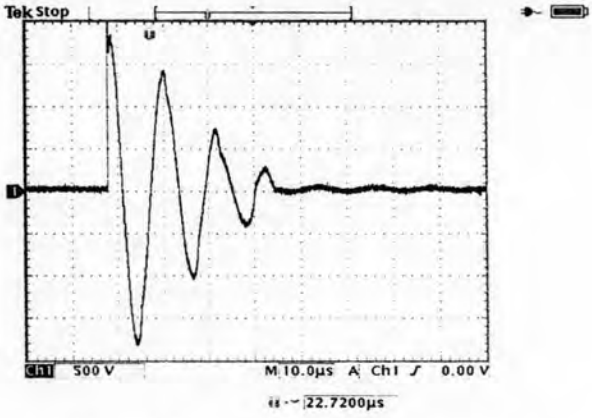
ลักษณะรูปคลื่น	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่สร้างได้
เวลาหน้าคลื่น	75 ns ± 20%	76 ns
อัตราการสร้างรูปคลื่นซ้ำ	≥ 40/s	65/s
ความถี่ของการแกว่ง	100 kHz ± 10%	100.2 kHz
พิกัดค่ายอดแรงดัน	250 to 2.5 kV ± 10%	250 to 2 kV

สำหรับทดสอบคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำผ่านตัวอุปกรณ์ Coupling/Decoupling Network แบบ 1 เฟส ทั้งการทดสอบแบบโหมดร่วมและโหมดผลต่าง โดยคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำที่เข้าแหล่งจ่ายไฟของอุปกรณ์ทดสอบในขณะต่อและไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟ มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ส่วนแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟที่ตกคร่อมองค์ประกอบภายในเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำนั้นมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ

เมื่อทดสอบคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำผ่านอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงดันกระแสสลับ 220 V, 50 Hz ซึ่งทำการติดตั้งก่อนเข้าอุปกรณ์ทดสอบ โดยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จสามารถลดทอนพลังงานส่วนเกินของคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำก่อนเข้าสู่อุปกรณ์ทดสอบได้

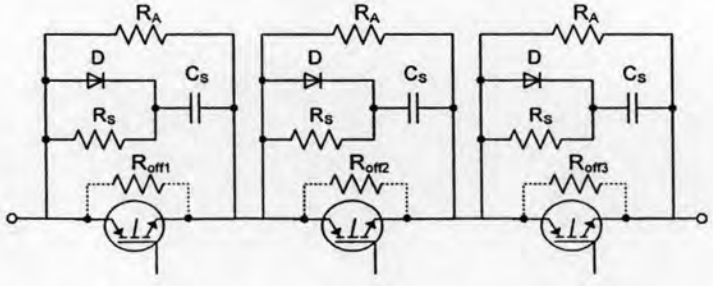
5.2 สรุปการใช้งานสวิตช์สารกึ่งตัวนำประเภทไอจีบีที

จากการทดลองใช้สวิตช์ IGBT แทนการใช้สปาร์กแกปซึ่งทำหน้าที่เป็นไกสวิตช์ โดยมีข้อดี คือ เปลี่ยนสถานะสวิตชิ่งได้เร็ว และสามารถควบคุมการเปิดปิดวงจรได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ การใช้สวิตช์ IGBT ทำให้สามารถสร้างรูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำที่มีเวลาหน้าคลื่นอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งสปาร์กแกปไม่สามารถทำได้ อย่างไรก็ตามการใช้สวิตช์ IGBT ก็มีข้อเสียคือ มีพิกัดแรงดันต่ำ



รูปที่ 5.1 คลื่นแกว่งแบบหน่วงไม่ซ้ำ (Ring Wave)

โดยในการทดลองได้เลือกใช้สวิตช์ IGBT เบอร์ IXEL40N400 มีพิกัดแรงดัน 4 kV และพิกัดกระแส 40 A ทำหน้าที่ดีสชาร์จแรงดันอัดประจุเพื่อสร้างรูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำ พบว่ารูปคลื่นมีลักษณะการแกว่งแบบหน่วงไม่ซ้ำซึ่งไม่ตรงตามมาตรฐานดังรูปที่ 5.1 จากปัญหาดังกล่าวจึงเลือกใช้สวิตช์ IGBT เบอร์ IRG4PH40UD มีพิกัดแรงดัน 1.2 kV และพิกัดกระแส 21 A ซึ่งสามารถสร้างรูปคลื่นได้ตรงตามมาตรฐาน แต่เนื่องจากสวิตช์ IGBT เบอร์ IRG4PH40UD มีพิกัดแรงดันต่ำทำให้การต่อสวิตช์ IGBT เพียงตัวเดียวไม่สามารถทนต่อพิกัดแรงดันอัดประจุได้ จึงได้นำสวิตช์ IGBT จำนวน 3 ตัวนำมาอนุกรมกันในหนึ่งชุดเพื่อเพิ่มพิกัดทางแรงดันดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การติดตั้งวงจรสนับเบอร์และความต้านทานแบ่งแรงดันให้กับสวิตช์ IGBT

จากรูปที่ 5.2 ทำการติดตั้งความต้านทานแบ่งแรงดัน R_A และวงจรสนับเบอร์ R_sC_sD ต่อขนานให้กับสวิตช์ IGBT โดยวงจรสนับเบอร์ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกิน dv/dt ในขณะที่สวิตช์ IGBT เริ่มหยุดนำกระแสจะเกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์เพิ่มสูงขึ้นและมีกระแสไหลผ่านไดโอดฟื้นตัวเร็วเข้าชาร์จตัวเก็บประจุ C_s ส่วนความต้านทาน R_A จะทำหน้าที่แบ่งแรงดันให้กับสวิตช์ IGBT แต่ละตัวให้เท่ากัน และในช่วงที่สวิตช์ IGBT เริ่มนำกระแสตัวเก็บประจุ C_s จะคายประจุให้กับสวิตช์ IGBT ผ่านความต้านทาน R_s ซึ่งออกแบบให้กระแสคายประจุมีค่าประมาณ 500 mA และพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุ C_s นั้นเลือกที่ 1.6 kV เพราะพิกัดแรงดันของสวิตช์ IGBT คือ 1.2 kV มีค่าน้อยกว่าพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุ C_s จะได้ค่าความต้านทาน R_s คือ 3.2 kΩ
โดยค่าตัวเก็บประจุ C_s คำนวณได้จากสมการดังนี้ [6]

$$C_s = \frac{i_L t_{fi}}{2V_s} \tag{5.1}$$

เมื่อ i_L คือ กระแสโหลด

t_{fi} คือ ช่วงเวลากระแสลดลงขณะหยุดนำกระแส

V_s คือ แรงดันตกคร่อมสวิตช์

คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ C_s จากสมการที่ 5.1

$$C_s = \frac{i_L t_{fi}}{2V_s} = \frac{(12.5A)(510ns)}{2(1.2kV)} = 2.65\ nF$$

สำหรับค่าความต้านทานแบ่งแรงดัน R_A คำนวณได้จากสมการดังนี้ [7]

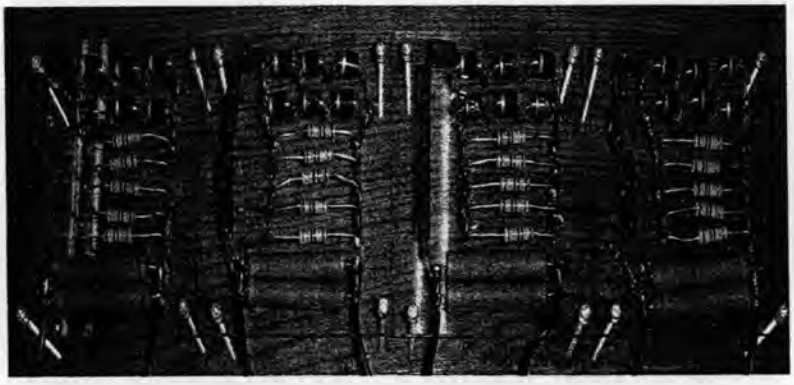
$$R_A = \frac{1}{10} R_{off} \tag{5.2}$$

ซึ่งค่าความต้านทาน R_{off} ของสวิตช์ IGBT แต่ละตัวโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณคือ

$$R_{off} = R_{off1}(IGBT1) \approx R_{off2}(IGBT2) \approx R_{off3}(IGBT3) \approx 1\ M\Omega$$

คำนวณหาค่าความต้านทานแบ่งแรงดัน R_A จากสมการที่ 5.2

$$R_A = \frac{1}{10} R_{off} = \frac{1}{10}(1M\Omega) = 100\ k\Omega$$



รูปที่ 5.3 วงจรสนับเบอร์และความต้านทานแบ่งแรงดันจำนวน 4 ชุด

สำหรับการทดลองโดยใช้สวิตช์ IGBT หลายตัวนั้น ในการทดลองครั้งแรกนั้นใช้สวิตช์ IGBT หนึ่งตัวไม่ได้ติดตั้งวงจรสนับเบอร์ ทดลองโดยเพิ่มขนาดแรงดันขึ้นเรื่อยๆ จาก 0.25 kV ถึง 0.8 kV พบว่ารูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำเกิดแรงดันเกินบริเวณยอดคลื่น ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะสวิตชิ่งขณะหยุดนำกระแส จึงได้ทำการติดตั้งวงจรสนับเบอร์ให้กับสวิตช์ IGBT ผลของแรงดันเกินบริเวณยอดคลื่นมีค่าต่ำลง ในการทดลองต่อมาได้ทำการเพิ่มสวิตช์ IGBT เป็นสองตัวมาต่ออนุกรมกันพร้อมติดตั้งวงจรสนับเบอร์ ทดลองโดยเพิ่มขนาดแรงดันขึ้นเรื่อยๆ จาก 0.25 kV ถึง 0.8 kV พบว่ารูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำเกิดผิดเพี้ยนบริเวณหน้าคลื่น เนื่องจากสวิตช์ IGBT แต่ละตัวจะมีคุณสมบัติในการเปิดปิดวงจรที่ต่างกัน จึงได้ทำการติดตั้งความต้านทานแบ่งแรงดันและแผ่นระบายความร้อนให้กับสวิตช์ IGBT จะได้รูปคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำตามมาตรฐาน จากนั้นได้ทำการเพิ่มขนาดแรงดันขึ้นเรื่อยๆ จาก 0.25 kV ถึง 1.5 kV สามารถสร้างรูปคลื่นได้ตามปกติ แต่ในขณะที่จะเพิ่มขนาดแรงดันสูงกว่า 1.7 kV ไม่สามารถป้อนแรงดันให้กับตัวเก็บประจุสะสมพลังงานได้ และเมื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของสวิตช์ IGBT ก็เกิดเสียสภาพการทำงานแล้วทั้งสองตัว โดยในการทดลองต่อมาได้ทำการเพิ่มสวิตช์ IGBT เป็นสามตัวมาต่ออนุกรมกันพร้อมติดตั้งวงจรสนับเบอร์และความต้านทานแบ่งแรงดัน ทดลองโดยเพิ่มขนาดแรงดันขึ้นเรื่อยๆ จาก 0.25 kV ถึง 2 kV สามารถสร้างรูปคลื่นได้ตามปกติ แต่ในขณะที่จะเพิ่มขนาดแรงดันสูงกว่า 2 kV ไม่สามารถป้อนแรงดันให้กับตัวเก็บประจุสะสมพลังงานได้ และเมื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของสวิตช์ IGBT ก็เกิดเสียสภาพการทำงานแล้วทั้งสามตัว จากนั้นได้ทำการทดลองโดยเพิ่มสวิตช์ IGBT เป็นสี่ตัวมาต่ออนุกรมกันพร้อมติดตั้งวงจรสนับเบอร์และความต้านทานแบ่งแรงดัน ผลการทดลองที่ได้คล้ายกับการทดลองโดยการนำสวิตช์ IGBT สามตัวมาต่ออนุกรมกัน คือ ไม่สามารถสร้างรูปคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 2 kV ได้

จากผลทดลองในการใช้สวิตช์ IGBT หลายตัวต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มพิกัดแรงดันนั้น สวิตช์ IGBT แต่ละตัวจะทำงานไม่พร้อมกันแม้จะควบคุมการขับสวิตช์ IGBT ให้พร้อมกันก็ตาม ผลจากการเปิดปิดวงจรที่ต่างกันนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้สวิตช์ IGBT ค่อยๆ เสียสภาพไป และเมื่อทำการทดสอบเพิ่มขนาดแรงดันไปเรื่อยๆ จนสูงเกินพิกัดสวิตช์ IGBT ทำให้สวิตช์ IGBT บางตัวรับแรงดันมากเกินพิกัดและเกิดเบรกดาวน์ เมื่อเกิดเบรกดาวน์เพียงตัวเดียวก็ทำให้ตัวอื่นๆ รับแรงดันเกินและเกิดเบรกดาวน์ตามกันมา

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการปรับขนาดแรงดันกระแสสลับจ่ายให้กับหม้อแปลงทดสอบเพื่อปรับขนาดแรงดันให้สูงขึ้น โดยใช้หม้อแปลงปรับแรงดัน (Variac) ซึ่งวิธีการดังกล่าวต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานควบคุมการปรับขนาดแรงดันอัดประจุให้กับเครื่องกำเนิดเพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทดสอบจึงควรมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการปรับขนาดแรงดันอัดประจุให้กับเครื่องกำเนิด

2. เปลี่ยนการใช้หม้อแปลงทดสอบที่ใช้สร้างแรงดันสูงกระแสสลับซึ่งมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก มาเป็นหม้อแปลงความถี่สูงแรงดันสูงที่พิกัดแรงดันเดียวกันซึ่งมีขนาดเล็กกว่า และน้ำหนักน้อยกว่ามาก

3. ในการพัฒนาการใช้งานสวิตช์ IGBT ควรใช้สวิตช์ IGBT ที่มีพิกัดไม่สูงและราคาถูกนำมาทดลองเพื่อพัฒนาการใช้งานก่อนที่จะใช้สวิตช์ IGBT ขนาดพิกัดจริงในการทดสอบซึ่งจะมีราคาสูงกว่า

4. อุปกรณ์ Coupling/Decoupling Network ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องกำเนิดคลื่นแกว่งแบบหน่วงซ้ำเป็นแบบ 1 เฟส เท่านั้น ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นแบบ 3 เฟส ได้ โดยออกแบบอุปกรณ์ Coupling/Decoupling Network เพิ่มเติม