



การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 9 กิโลโวลต์ 200 กิโลเฮิร์ตซ์

Design and Construction of 9-kV, 200-kHz High-Voltage High-Frequency Power Supply

ธนากร น้าหอมจันทร์

อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

E-mail : thanakorn@eau.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 9 กิโลโวลต์ 200 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยใช้วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์และเทคนิคการแคสเคดหม้อแปลง หลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงประกอบด้วย วงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์ ส่วนการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง จะใช้วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่แรงดัน 310 โวลต์ วงจรอินเวอร์เตอร์ใช้มอสเฟตกำลัง IRFP-460 เป็นสวิตช์ ควบคุมสัญญาณด้วย SG-3524 ที่ความถี่สวิตซ์ 200 กิโลเฮิร์ตซ์ และหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 220/3,000 โวลต์ ที่ต่อกันในลักษณะแคสเคด เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็น 9 กิโลโวลต์ จากผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่สร้างขึ้น จะพบว่าหม้อแปลงนี้สามารถผลิตความถี่และแรงดันได้ตามที่ออกแบบ

คำสำคัญ : แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า แรงดันสูงความถี่สูง ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ การแคสเคดหม้อแปลง

ABSTRACT

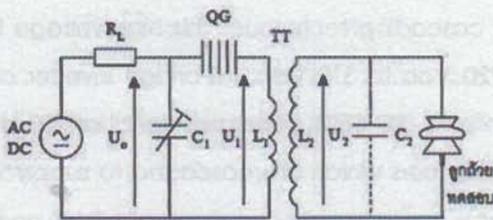
This paper presents a design and construction of high-voltage high-frequency power supply rated 9 kV, 200 kHz using full-bridge inverter circuit and transformer cascading technique. This high-voltage high-frequency power supply compose of a rectifier circuit from 220 Vac to 310 Vdc, full-bridge inverter circuit using IRFP-460 POWER MOSFET for high-frequency switching while IC, SG-3524 generates signal of 200 kHz to controlled the POWER MOSFET, and three 200 V / 3,000 V transformers which are cascaded to supply 9,000 V. From experimental tests, this high-voltage and high frequency power supply can generate 9 kV and 200 kHz as design requirements.

KEYWORDS : power supply, high voltage high frequency, full bridge inverter, transformer cascade

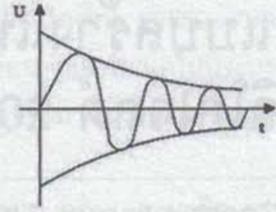
บทนำ

การทดสอบการวางไฟตามผิวของฉนวนแข็ง ในปัจจุบันจะใช้หม้อแปลงเทสลา (Tesla transformer) ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงที่สามารถผลิตความถี่สูงได้จากหลักการ แอลซีเรโซแนนซ์ (LC Resonance) เพื่อให้ตรวจสอบความบกพร่องในเนื้อวัสดุฉนวน หากมีความบกพร่องมาก แรงดันสูงความถี่สูงจะทำให้เกิดความร้อนและเกิดการเจาะทะลุผ่าน ถ้าเป็นวัสดุฉนวนดีและแรงดันทดสอบที่มีความถี่สูงจะช่วยให้สังเกตเห็นปรากฏการณ์วางไฟตามผิวภายนอกได้ง่าย โดยความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 150-250 kHz

หม้อแปลงเทสลา ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดแรงต่ำเป็นขดลวดป้อนแรงดันเข้า และขดลวดแรงสูงเป็นขดลวดจ่ายแรงดันออก ดังรูปที่ 1 (a) ขดลวดทั้งสองเชื่อมโยงสนามแม่เหล็กผ่านทางอากาศ ซึ่งทำให้ความเหนี่ยวนำร่วมมีค่าต่ำ ขดลวดทางด้านป้อนแรงดันเข้า L_1 จะต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_1 ซึ่งเป็นค่าความประจุไฟฟ้ารวมของด้านแรงสูง เมื่อป้อนแรงดันให้กับตัวเก็บประจุ C_1 ผ่าน R_L ซึ่งทำหน้าที่กำจัดกระแสอัดประจุจนได้แรงดัน U_0 ตามที่ต้องการ ซึ่งระยะห่างของช่องว่าง QG เป็นตัวกำหนดแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดแรงดันต่ำ เมื่อเกิดสปาร์คที่ QG พลังงานที่เก็บไว้ใน C_1 ในรูปสนามไฟฟ้าก็จะถ่ายเทให้กับขดลวด L_1 และ L_1 จะเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กเต็มที่แล้ว L_1 ก็จะถ่ายทอดพลังงานกลับไปให้ C_1 ใหม่ การถ่ายทอดพลังงานกลับไปกลับมาจะระหว่าง C_1 และ L_1 จึงทำให้เกิดออสซิลเลชันความถี่สูงทางด้านแรงดันต่ำ จะมีรูปคลื่นเป็นคลื่นหน่วง (damped train wave) ดังรูปที่ 1 (b) (สำรวยสังข์สะอาด, 2549)



(a) วงจรหม้อแปลงเทสลา



(b) รูปคลื่นที่ได้จากหม้อแปลงเทสลา

รูปที่ 1 วงจรและรูปคลื่นที่ได้จากหม้อแปลงเทสลา (สำรวยสังข์สะอาด, 2549)

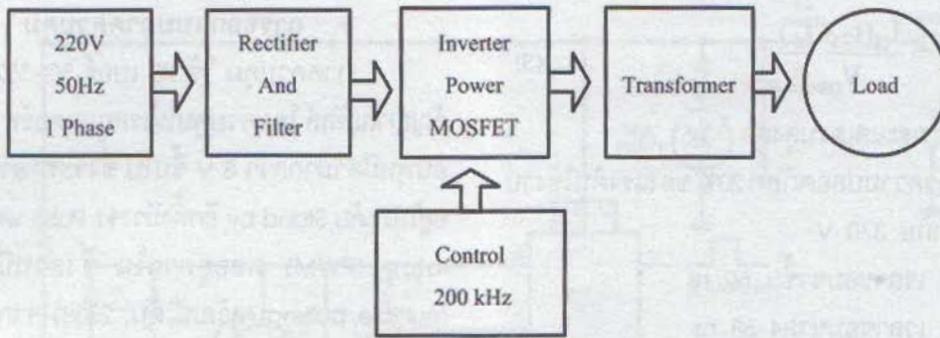
เนื่องจากหม้อแปลงเทสลา มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก จึงมีงานวิจัยขึ้นนี้เพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ที่มีขนาดเล็กโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง โดยใช้วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์และเทคนิคการ แคลสเคดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 9 kV 200 kHz ที่มีขนาดเล็กและราคาถูก เพื่อใช้ทดแทนหม้อแปลงเทสลา มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก การเคลื่อนย้ายลำบาก การวางไฟตามผิวไม่ต่อเนื่อง และราคาอุปกรณ์ทั้งหมดค่อนข้างแพง

ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ต้นแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 9 kV, 200 kHz ที่มีพิกัดกำลังที่สูงขึ้น เพื่อทดแทนหม้อแปลงเทสลา เหมาะกับการใช้ในการเรียนการสอน การวิจัย การทดสอบทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งมีข้อดีคือ แหล่งจ่ายมีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ควบคุมความถี่ได้ง่าย และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยลง นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาบุคลากรทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าให้สามารถสร้างอุปกรณ์เครื่องมือได้เอง ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศอีกด้วย



รูปที่ 2 โดอะแกรมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่จะออกแบบสร้าง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 9 kV, 200 kHz ที่ต้องการออกแบบสร้าง มีโดอะแกรมแสดงการออกแบบ เป็นส่วนๆ แสดงดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 อินพุทของแหล่งจ่ายที่ต้องการออกแบบสร้างเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 Vac, 50 Hz จ่ายให้กับวงจรเรกติไฟเออร์สำหรับแปลงไฟฟ้า 220 Vac เป็น 310 Vdc และวงจรฟิลเตอร์สำหรับกรองแรงดันให้มีแรงดันกระเพื่อม 3% ภาคควบคุมจะต้องสามารถควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานที่ความถี่ 200 kHz เพื่อป้อนให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงที่มีพิกัดเอาต์พุท 9 kV, 200 kHz ได้

2. การออกแบบวงจรเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์

โดยปกติแรงดันกระเพื่อมที่ยอมรับได้จะมีค่าไม่เกิน 10% ในที่นี้กำหนดให้แรงดันกระเพื่อมมีค่า 3% สมการหาขนาดของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ เพื่อลดแรงดันกระเพื่อมจะคำนวณได้สมการที่ (1) (สุวัฒน์ ดัน, 2538)

$$C = \frac{I_{(rms)} \times t}{V_{ripple}} \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (μF)
 $I_{(rms)}$ คือ กระแสที่ใช้ (A)
 t คือ เวลาที่ตัวเก็บประจุต้องจ่ายกระแส (ms)
 DV_{ripple} คือ แรงดันกระเพื่อม (V)

เลือกใช้ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ขนาด 10,000 μF , 400 V

3. การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมีแรงดันตกคร่อมมอสเฟต เท่ากับค่าแรงดันอินพุตไฟตรง ดังนั้นจึงเลือกออกแบบที่ 120% ของแรงดันอินพุต (สุวัฒน์ ดัน, 2538) ฉะนั้น มอสเฟตจะต้องทนแรงดันตกคร่อมสูงสุด 370 V เมื่อกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 80% ดังนั้นการคำนวณหาค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแสของมอสเฟตสามารถหาค่าได้ จากสมการที่ (2)

$$I_p = \frac{P_{out} \times T}{2\eta \times V_{in(min)} \times t_{on(max)}} \quad (2)$$

เมื่อ I_p คือ พิกัดกระแสที่มอสเฟตทนได้
 P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าด้านออก
 T คือ Maximum pulse width (s)
 η คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์
 $V_{in(min)}$ คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า

4. การออกแบบวงจรสแน็บเบอร์

วงจรสแน็บเบอร์เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสีย และป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอสเฟต ในบทความนี้เลือกใช้วงจรสแน็บเบอร์แบบป้องกันแรงดันเกิน (RCD Snubber) หา Ct โดยใช้สมการที่ (3) จากพิกัดของมอสเฟตกำลัง IRFP-460

$$C_t = \frac{I_D(t_r + t_f)}{V_{DS}} \quad (3)$$

โดยที่ I_D คือ กระแสเดรนสูงสุด 13.61 A
 เลือก V_{DS} ที่ค่าความปลอดภัย 120% ของแรงดันใช้งาน
 เท่ากับ 370 V
 t_r คือ เวลาขอบขาขึ้น 59 ns
 t_f คือ เวลาขอบขาลง 58 ns

ฉะนั้น

$$C_t = \frac{13.61 \times [(59 \times 10^{-9}) + (58 \times 10^{-9})]}{370}$$

$$C_t = 4.3 \text{ nF}$$

ฉะนั้นเลือก C_t ขนาด 4.3 nF
 หาขนาด R_t Snubber ได้ดังนี้

$$R_t = \frac{t_{on}}{3C_t} = \frac{2 \times 10^{-6}}{3(4.3 \times 10^{-9})} = 155 \Omega$$

ฉะนั้นเลือก R_t ขนาด 155 Ω

วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์และ RCD Snubber

ที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3

5. การออกแบบภาคควบคุม

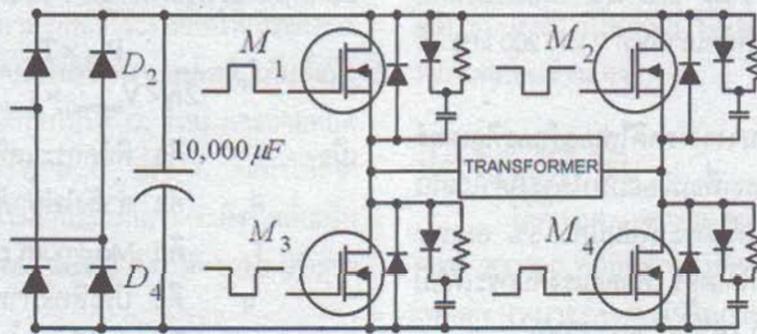
ภาคควบคุม ใช้ IC เบอร์ SG-3524 สำหรับสร้างสัญญาณพัลส์ โดยควบคุมให้เรกกูเลเตอร์ทำงานเมื่อแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่า 8 V ขึ้นไป ซึ่งจะรักษากระแสที่ไหลให้อยู่ในระดับ Stand by อีกทั้งมีวงจร Pulse width modulator latch (PWM) ต่ออยู่ภายใน ซึ่งส่วนนี้มีหน้าที่กำจัด multiple pulsing (สวิตช์ ดัน, 2538) จากนั้นนำสัญญาณจาก SG-3524 ป้อนเข้ากับ IC TLP-250 เพื่อทำการแยกภาคควบคุมและภาคกำลังออกจากกัน เพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวน โดยกำหนดความถี่ที่ 200 kHz

กำหนดให้ $f_{osc} = 400 \text{ kHz}$, $C_T = 0.01 \mu\text{F}$

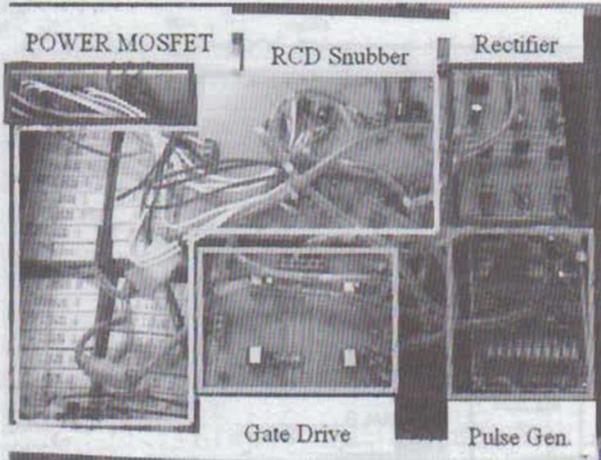
$$\text{จาก } f_{osc} = \frac{1.3}{C_T R_T} \quad (4)$$

$$\text{ฉะนั้น } R_T = \frac{1.3}{0.01 \times 10^{-6} \times 400 \times 10^3} = 325 \Omega$$

ดังนั้นเลือก R_T เป็นความต้านทานปรับค่าได้เท่ากับ 10 k Ω วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 วงจร Full Bridge Inverter



รูปที่ 6 วงจรฟูลบริดจิ้นเวอร์เตอร์ที่ออกแบบสร้างแล้วเสร็จ

7. การออกแบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับวงจรฟูลบริดจิ้นเวอร์เตอร์ (ศักดิ์ชัย ตรีรัตน์พิจารณ์, 2544) ในบทความนี้กำหนดให้หม้อแปลงมีพิกัด ดังนี้

- $V_{in} = 300 \text{ V}$: AC input voltage (V)
- $V_{out} = 3 \text{ kV}$: AC output voltage (V)
- $I_{out} = 0.3 \text{ A}$: AC output current (A)
- $P_{out} = 900 \text{ W}$: Output power (W)
- $f = 200 \text{ kHz}$: Switching frequency (kHz)
- $t_{on}/T = 40\%$: Maximum duty (%)

โดยที่ทำการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 220 V / 3 kV, 200 kHz จำนวน 3 ตัว ต่อแคสเคดกันแบบขั้นบันได

$$\text{เมื่อ } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200 \times 10^3} = 5 \mu\text{s}$$

$$t_{on} = 0.4T = 2 \mu\text{s}$$

7.1 เลือกขนาดแกนเฟอร์ไรท์ P-42/29 โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- $A_e = 2.64 \text{ cm}^2$
- $A_w = 1.77 \text{ cm}^2$
- $B_{max} = 2,100 \text{ Wb/m}^2$

$$\text{จาก } P_{out} = \frac{1.4 \times B_{max} \times f \times A_e \times A_w}{D} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{1.4 \times 2,100 \times 200k \times 2.64 \times 1.77}{400} \times 10^{-3}$$

$$= 6.869 \text{ kW}$$

เมื่อพิจารณา P_{out} ของแกน P-42/29 สามารถใช้ในการออกแบบได้

7.2 คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ (N_p) กำหนดค่า B_{max} มีค่าเท่ากับ $2,100 \text{ Wb/m}^2$ และค่า A_e มีค่าเท่ากับ 2.65 cm^2 ดังนั้นสามารถคำนวณหาจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ดังนี้

$$N_p = \frac{V_{in} \times t_{on}}{B_{max} \times A_e} \times 10^8$$

$$= \frac{300 \times 2 \times 10^{-6}}{2,100 \times 2.65} \times 10^8$$

$$= 11 \text{ รอบ}$$

7.3 คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ (N_s)

$$N_s = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times N_p = \frac{3,000}{300} \times 11$$

$$= 110 \text{ รอบ}$$

7.4 คำนวณหากระแสเฉลี่ยขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ

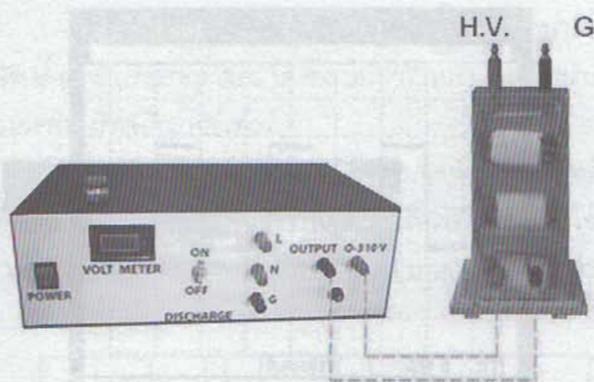
$$I_p = \frac{I_s \times N_s}{N_p} = \frac{0.3 \times 110}{11} = 3 \text{ A}$$

เมื่อ S คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง 900 VA

$$I_s = \frac{S}{V_s} = \frac{900}{3,000} = 0.3 \text{ A}$$

7.5 คำนวณหาขนาดขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ เมื่อแทนความหนาแน่นของกระแส $D = 400 \text{ CirMil}$

- ขนาดของขดลวดปฐมภูมิ = 400×3
- = 1,200 CirMil ใช้ลวดเบอร์ 20
- ขนาดของขดลวดทุติยภูมิ = 400×0.3
- = 120 CirMil ใช้ลวดเบอร์ 31



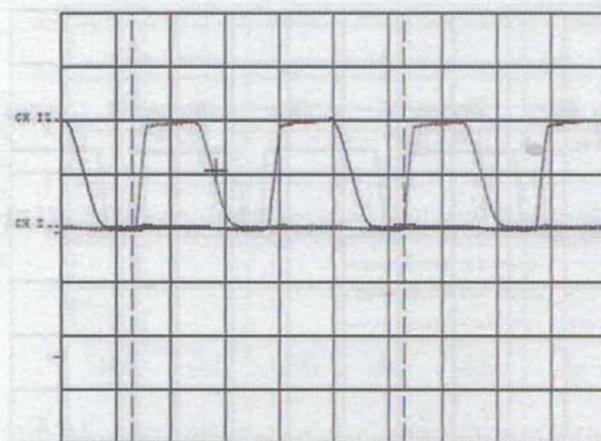
รูปที่ 7 ต้นแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง
ที่ออกแบบสร้างแล้วเสร็จ

จากรายละเอียดการออกแบบวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงที่แสดงข้างต้น ต้นแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่ออกแบบสร้างแล้วเสร็จเป็นดังรูปที่ 7

8. การทดสอบและประเมินผล

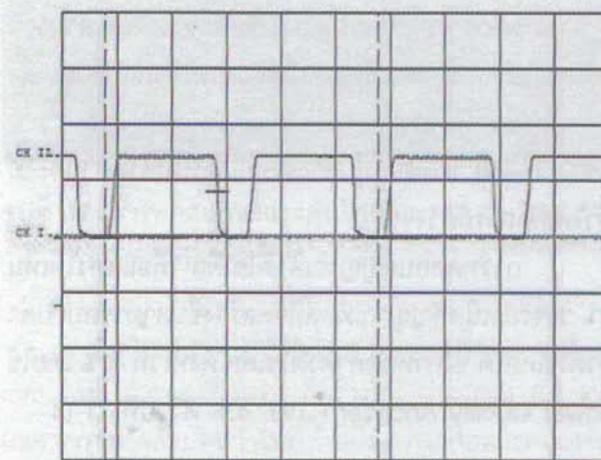
การทดสอบและประเมินผลการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่ออกแบบสร้างแล้วเสร็จ จะทำการทดสอบ 2 ส่วนด้วยกัน คือ 1 การทดสอบการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ และ 2 การทดสอบการเบรกดาวน์ในฉนวนอากาศและการวาบไฟตามผิวฉนวนทางไฟฟ้าเบื้องต้น

ผลการทดสอบการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ จะแสดงการทำงานของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์ วงจรขับเคลื่อน ของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้น โดยกำหนดค่าดีวตีไซเคิลคงที่ไว้ที่ 40% ความถี่ถึงที่ 200 kHz โดยใช้ Oscilloscope HM-507 และโพรบ X 10 ดังรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10



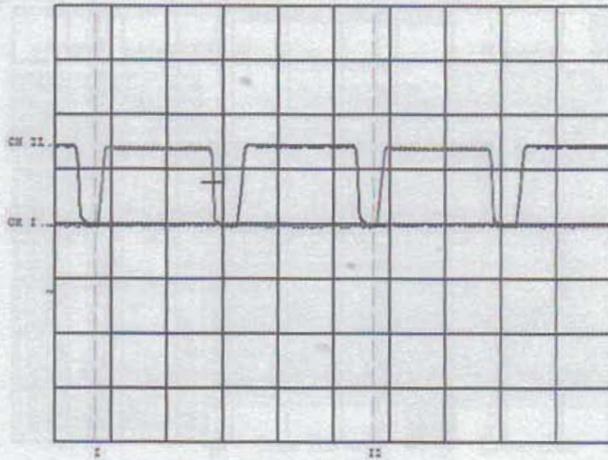
CH1 : 5 V / DIV DC, CH2 : 5 V / DIV DC

รูปที่ 8 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ A และ B จากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ดังรูปที่ 4



CH1 : 10 V / DIV DC, CH2 : 10 V / DIV DC

รูปที่ 9 เปรียบเทียบสัญญาณขับเคลื่อน M1 และ M4 จากวงจรขับเคลื่อน ดังรูปที่ 5

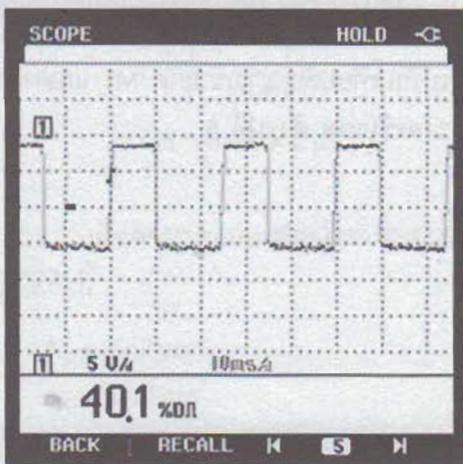


CH1 : 10 V / DIV DC, CH2 : 10 V / DIV DC

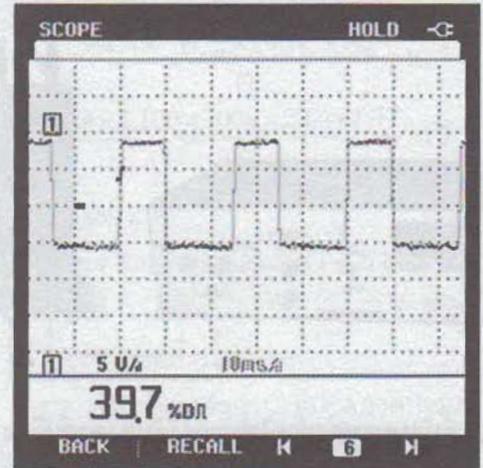
รูปที่ 10 เปรียบเทียบสัญญาณขับเคลื่อน M2 และ M3 จากวงจรขับเคลื่อน ดังรูปที่ 5

จากการทดสอบสัญญาณขับเคลื่อน M1-M4 สามารถอธิบายได้ว่า แรงดันที่จะนำไปขับเคลื่อนให้มอเตอร์แต่ละตัวมีค่าที่เหมาะสม โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 มีช่วง Dead time ซึ่งเมื่อวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานจะไม่ทำให้เกิดการลัดวงจร

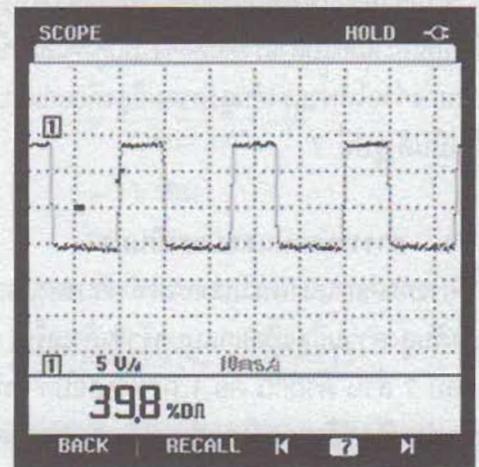
การทดสอบสัญญาณดิวิตซ์เซลล์ เพื่อแสดงให้เห็นว่า วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่จัดสร้างขึ้นสามารถปรับค่าดิวิตซ์เซลล์ได้ ซึ่งกำหนดค่าดิวิตซ์เซลล์ คงที่ไว้ที่ 40% โดยใช้ Power Quality Analyzer FLUKE 43B ดังรูปที่ 11-14



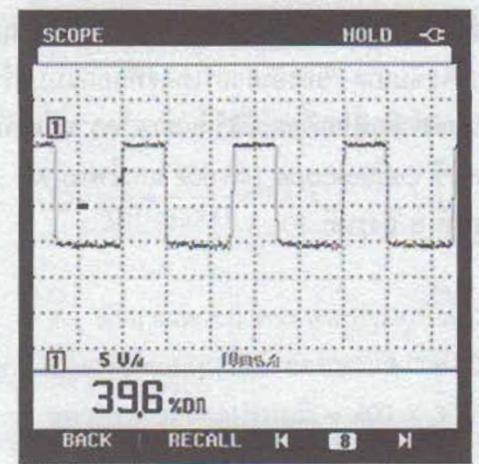
รูปที่ 11 สัญญาณ Duty cycle M1 ที่ความถี่ 200 kHz



รูปที่ 12 สัญญาณ Duty cycle M2 ที่ความถี่ 200 kHz

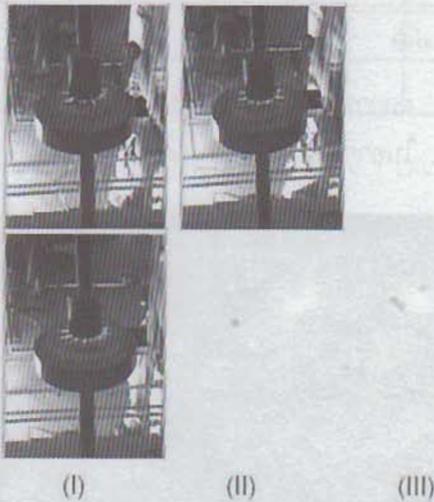


รูปที่ 13 สัญญาณ Duty cycle M3 ที่ความถี่ 200 kHz



รูปที่ 14 สัญญาณ Duty cycle M4 ที่ความถี่ 200 kHz

ต่ำกว่า อะคริลิกในการทำให้เกิดวาบไฟตามผิว เนื่องจาก กระจกสามารถทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าได้ประมาณ 10 kV/mm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอะคริลิกที่สามารถทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าได้ประมาณ 35 kV/mm (สำรวย สังข์สะอาด, 2549) ดังนั้นจึงทำให้อะคริลิกต้องใช้แรงดันที่มากกว่ากระจกจึงจะทำให้เกิดวาบไฟตามผิว



(a) ฉนวนอะคริลิกวงกลม



(b) ฉนวนอะคริลิกสี่เหลี่ยม



(I) (II) (III)

(c) ฉนวนกระจกสี่เหลี่ยม

รูปที่ 18 ผลการทดสอบวาบไฟตามผิวฉนวน

- (I) เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm
- (II) เส้นผ่านศูนย์กลาง 45 mm
- (III) เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 9 kV, 200 kHz เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับทดแทนหม้อแปลงเตสลาได้ตามที่ต้องการ

ผลจากการทดสอบวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ จะพบว่า สัญญาณขั้วเกต M1 - M4 มีแรงดันที่จะนำไปขั้วเกตให้มอสเฟตกำลังแต่ละตัวมีค่าที่เหมาะสม โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 มีช่วง Dead time ซึ่งเมื่อวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานจะไม่ทำให้เกิดการลัดวงจร โดยมีดีวีดีไซเคิลประมาณ 40% ได้ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่จัดสร้างขึ้น จะพบว่า หม้อแปลงที่ออกแบบสามารถตอบสนองต่อความถี่ 200 kHz และสามารถรักษาอัตราส่วนแรงดันได้คงที่ตามทีออกแบบไว้ ผลจากการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนเฉลี่ยที่ระยะแก๊ป 4 mm โดยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ออกแบบสร้างขึ้นใช้ระดับแรงดันต่ำกว่าการทดสอบ โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงที่ความถี่กำลัง 50 Hz เนื่องจากที่ความถี่สูงกลไกในการแตกตัวของประจุอิเล็กตรอนจะแตกตัวได้ง่าย ทำให้เกิดการเบรกดาวนได้



ง่ายขึ้น (สำรวจ สังข์สะอาด, 2549) และจากการทดสอบ วาบไฟตามผิวฉนวน โดยใช้วัสดุฉนวน แผ่นอะคริลิกและ กระจกหนา 5 mm พบว่า การวาบไฟตามผิวฉนวนเป็นไป อย่างต่อเนื่อง และการทดสอบไม่ทำให้เกิดความเสียหาย ต่อวงจรถูกปรกติจันเนอร์เตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ความถี่สูง

จากการออกแบบสร้างและทดสอบข้างต้น จะพบว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่นำเสนอสมากรใช้ในการทดสอบทางวิศวกรรม ไฟฟ้าแรงสูงได้เป็นอย่างดี โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อ แหล่งจ่ายที่ออกแบบสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจะสามารถพัฒนาให้สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อ ใช้ในการทดสอบการวาบไฟตามผิวฉนวนของลูกถ้วยฉนวน ไฟฟ้าตามมาตรฐานต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียที่ให้ ทุนสนับสนุนงานวิจัย และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทดลอง ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาธาธิระเชษฐ์. 2549. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ วิ.เจ. พรินติ้ง.

ศักดิ์ชัย ตริรัตน์พิจารณ์. 2544. "เครื่องต้นแบบสำหรับการทดสอบแรงดันสูงความถี่สูงโดยใช้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สำรวจ สังข์สะอาด. 2549. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวัฒน์ ดัน. 2538. **เทคนิคและการออกแบบสวิตชิง เพาเวอร์ซัพพลาย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอนเทลไทย.

IEC Publication 60052. 2002. Voltage measurement by means of standard air gaps. Geneva.

IEC Publication 60060-1. 1989. High-voltage Test Techniques, Part 1: General definitions and test requirements. Geneva.

IEC Publication 60060-2. 1994. High-voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems. Geneva.

IEC Publication 60243-1. 1998. Electrical strength of Insulating materials - Test methods - Part 1: Tests at power frequencies. Geneva.