

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ ที่ป้อนโดยแหล่งจ่ายกระแส จากวงจรรีโซแนนท์อนุกรม *

กิตติพงษ์ ดันมิตร¹⁾ ชัยพร อัดโดดดร²⁾ และ อำนาจ สุขศรี³⁾

- ¹⁾ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
²⁾ นักศึกษา, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
³⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: kitton@kku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ใช้ วงจรทวีคูณแรงดันเป็นแบบบริดจ์จำนวน 2 ชั้นที่ป้อนโดยแหล่งจ่ายกระแสจากวงจรรีโซแนนท์อนุกรมที่ ความถี่ 15 kHz ขนาด 40 kV 5 mA ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงชนิดนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อลด แรงดันตกคร่อมในวงจรให้มีค่าน้อยลงกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ธรรมดาที่ใช้ งานที่ความถี่ 15 kHz และไม่มีวงจรรีโซแนนท์อนุกรม จากการทดสอบโดยโปรแกรม TINA ที่ความถี่ 15 kHz พร้อมด้วยวงจรรีโซแนนท์อนุกรมพบว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะสูงกว่าการทดสอบที่ความถี่ 15 kHz ของวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ไม่มีวงจรรีโซแนนท์อนุกรม ประมาณ 610 V ที่ 2 ชั้นบันได 900 V ที่ 3 ชั้นบันได และ 1.43 kV ที่ 4 ชั้นบันได ตามลำดับ ส่วนผลที่ได้จากการ ออกแบบไว้และการทดสอบจริงสอดคล้องกันและมีค่าใกล้เคียงกัน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ แรงดันตกคร่อมใน วงจรมีค่าน้อยลงกว่าเดิมที่ค่าแรงดันอินพุตเท่ากัน

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง , วงจรทวีคูณแรงดันแบบบริดจ์ , วงจรรีโซแนนท์อนุกรม

* รับผิดชอบฉบับเมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2547 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548

HVDC Bridge Generator Fed by a Current Source From Series Resonant Converter *

Kitipong Tonmitra¹⁾ Chaiporn Addoddorn²⁾ and Amnart Suksri³⁾

- ¹⁾ Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon kaen University, Khon Kaen 40002
- ²⁾ Graduate student, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon kaen University, Khon Kaen 40002
- ³⁾ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon kaen University, Khon Kaen 40002

Email: kitton@kku.ac.th

Abstract

This paper presents the design and construction of HVDC bridge generator by using voltage multiplier bridge type comprising of 2 stages fed by a current source from series resonant converter rated at 15 kHz, 40 kV 5 mA. This HVDC generator has improved the voltage drop in the circuit which is better than the case of HVDC generator operation at 15 kHz without series resonant converter. From the simulation test based on TINA simulator, it confirms that at the frequency of 15 kHz with the series resonant converter, has produced higher voltage than the conventional HVDC generator at 15 kHz that does not use the series resonant of 610 V at 2 stages, 900 V at 3 stages and 1.43 kV at 4 stages respectively. In the actual tests and simulations results have been shown to agree well with the designed while HVDC generator have resulted to a less voltage drop than the conventional HVDC generator at equal input voltage.

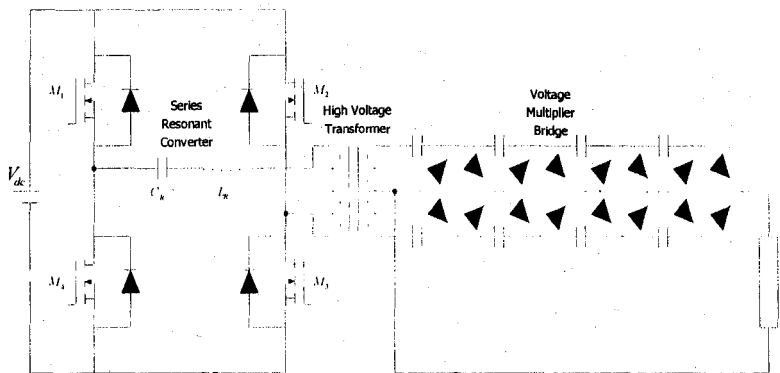
Keywords : HVDC generator, Voltage Multiplier Bridge, Series Resonant Converter

*

Original manuscript submitted: November 26, 2004 and Final manuscript received: February 9, 2005

บทนำ

ปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจะใช้วงจรทวิคูณแรงดันแบบ Cockcroft – Walton [J.S. Brugler.1971.] ในการใช้งานซึ่งในกรณีนี้จะป้อนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับความถี่ต่ำโดยที่ค่าแรงดันระลอกและแรงดันกระแสตรงที่ได้จะต้องใช้ตัวเก็บประจุจำนวนมากในวงจรทวิคูณแรงดันซึ่งในการใช้งานจริง ๆ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมในวงจรสูงและอุปกรณ์ที่ใช้งานจะมีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดแรงดันตกคร่อมในวงจรและลดขนาดอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบาลงจึงหันมาใช้แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับความถี่สูงพร้อมด้วยวงจรโซแนนท์อนุกรม (แหล่งจ่ายกระแส) [Luigi Malesani, 1993.] โดยการต่อวงจรทวิคูณแรงดันเป็นแบบบริดจ์ [Heinz van der Broeck, 2002] แทนโดยจะทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้สูงขึ้นกว่าเดิมที่ค่าแรงดันอินพุตเท่ากัน ดังนั้นการนำวงจรทวิคูณแรงดันดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบที่พัฒนาแล้วมาใช้กับวงจรโซแนนท์จะเป็นการสะดวกมาก ซึ่งไม่เพียงลดผลตอบสนองของวงจรทวิคูณแรงดันและขนาดลงแล้ว ยังสามารถลดแรงดันตกคร่อมในวงจรลงด้วยและสามารถลดผลกระทบของตัวเก็บประจุด้านขดลวดทุกขดขมึงด้วยเมื่อระบบรีโซแนนท์ทำงาน ที่ความถี่สูง การเปลี่ยนแปลงบนไดโอดและกระแสที่ไหลในตัวเก็บประจุเป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อวงจรอย่างมาก ดังนั้น การนำวงจรโซแนนท์อนุกรม [Biju S. Nathan and V. Ramanarayanan, 2000] มาใช้จะเป็นการสะดวกเนื่องจากรูปคลื่นกระแสอินพุตจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะได้ ซึ่งที่ความถี่นี้ตัวเก็บประจุของวงจรสามารถลดขนาดลงได้และแรงดันระลอกสามารถลดลงได้ โดยการต่อตัวเก็บประจุที่ขั้วเอาต์พุต



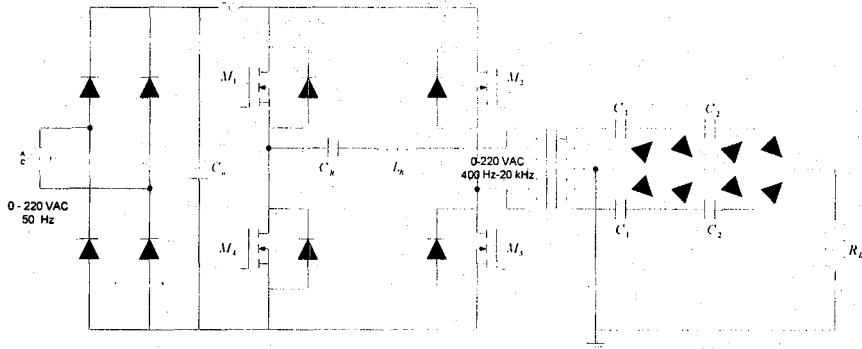
รูปที่ 1 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ป้อนโดยแหล่งจ่ายกระแส

การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงนั้น มีข้อกำหนดดังนี้

แรงดันจ่ายออก 40 kV กระแสไหล 5 mA

1. วงจรที่ใช้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง



รูปที่ 2 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ป้อนโดยแหล่งจ่ายกระแสจำนวน 2 ชั้น

2. การออกแบบวงจรโซแนนท์อนุกรม

ออกแบบวงจรโซแนนท์อนุกรมขนาด 200 W ให้ทำงานที่ความถี่ 15 kHz ประสิทธิภาพ 85% และมีแรงดันอินพุตอยู่ในช่วง 200 ถึง 220 VAC ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณในหัวข้อนี้สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง [บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด] โดยขั้นแรกต้องหาไฟตรงสูงสุดและต่ำสุดหลังจากผ่านารเรกติไฟร์และฟิลเตอร์แล้ว

$$V_{in(max)} = 1.414 \times 220 = 311.13 \text{ V}_{dc}$$

$$V_{in(min)} = 1.414 \times 200 = 282.84 \text{ V}_{dc}$$

ขั้นที่สองหากระแสเฉลี่ยที่ขดปฐมภูมิ เนื่องจากกำลังเอาต์พุต $P_{out} = 200 \text{ W}$ และ

ประสิทธิภาพ $\eta = 0.85$ ดังนั้น $P_{in} = \frac{200}{0.85} = 235.29 \text{ W}$

$$\therefore I_{pri} = \frac{2 \cdot P_{in}}{V_{in(min)}} = \frac{2 \times 235.29}{282.84} = 1.66 \text{ A}$$

ขั้นต่อมาคำนวณหาค่า L_R และ C_R

จากอิมพีแดนซ์เอาต์พุตของวงจรโซแนนท์อนุกรม

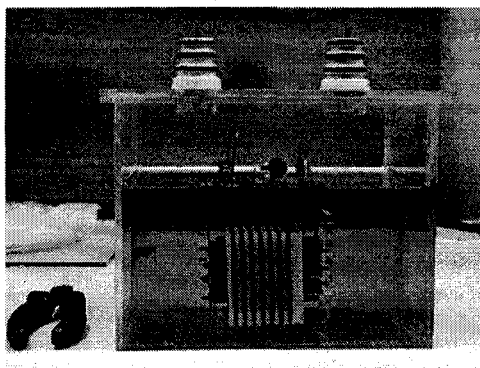
$$Z_{out} = \frac{\eta \cdot V_{in(min)}^2}{2 \cdot \pi \cdot P_{out}} = \frac{0.85 \times (282.84)^2}{6.28 \times 200} = 54.14 \text{ } \Omega$$

$$\therefore C_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z_{out}} = \frac{1}{6.28 \times 15 \times 10^3 \times 54.14} = 196.08 \times 10^{-9} \text{ F} \approx 196 \text{ nF} \text{ และ}$$

$$L_R = \frac{Z_{out}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{54.14}{6.28 \times 15 \times 10^3} = 0.57 \times 10^{-3} \text{ H} \approx 570 \text{ } \mu\text{H}$$

3. การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูง

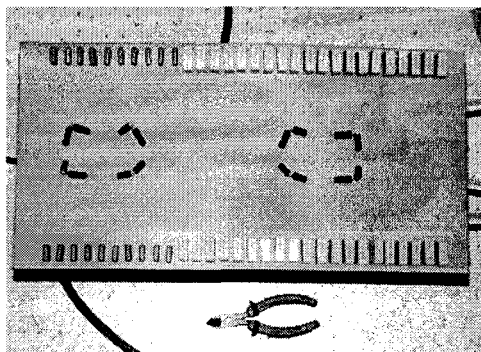
จาก [กิตติพงษ์ ตันมิตร และคณะ , 2547] จะได้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ 7 รอบ ที่มีขนาดของสายเท่ากับเบอร์ 20 AWG และจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิเท่ากับ 280 รอบ ที่มีขนาดของสายเท่ากับเบอร์ 35 AWG ซึ่งพันอยู่บนบ๊อบบี้ฉนวนซูเปอร์ลินขนาด $4.4 \times 6 \times 7.3 \text{ cm}$ ที่ออกแบบไว้ จากนั้นจะนำไปจุ่มในน้ำมันหม้อแปลงที่ใส่ในกล่องภาชนะพลาสติกหนา 0.5 cm ขนาด $18 \times 20 \times 25 \text{ cm}$ เพื่อเพิ่มแรงดันเบรคดาวน์ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้สูงขึ้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงที่ถ่ายจากภาพจริง

4. การออกแบบวงจรทวิคูณแรงดัน

จาก [กิตติพงษ์ ตันมิตร และคณะ , 2547] จะได้วงจรทวิคูณแรงดันแบบบริดจ์ที่มีค่าตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ 0.66 nF ที่ค่าแรงดันสูงสุด 10.35 kV และตัวเก็บประจุ C_2 เท่ากับ 0.33 nF ที่มีค่าแรงดันสูงสุด 20.25 kV แต่ในการใช้งานจริง ๆ จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 8.1 nF 1600 V ในการสร้างซึ่งมีขายอยู่ในท้องตลาดโดยนำมาต่ออนุกรมกันจำนวน 10 ตัว จะได้ค่าความจุเท่ากับ 0.81 nF และทนแรงดันได้ 16 kV ซึ่งตัวเก็บประจุชุดนี้ได้สร้างเป็นตัวเก็บประจุ C_1 และเมื่อนำตัวเก็บประจุขนาด 8.1 nF 1600 V มาต่ออนุกรมกัน 20 ตัวจะได้ค่าความจุเท่ากับ 0.405 nF และทนแรงดันได้ 32 kV ซึ่งตัวเก็บประจุชุดนี้ได้สร้างเป็นตัวเก็บประจุ C_2 ส่วนไดโอดจะใช้เบอร์ ESJC13 มาต่ออนุกรมกัน 2 ตัว เพื่อให้ทนแรงดันกลับทางได้ แล้วนำมาจัดวางบนแผ่นปรินขนาด $10'' \times 20''$ ที่สร้างลายวงจรไว้ โดยจำนวนชั้นทั้งหมดจะอยู่บนแผ่นปรินจำนวน 1 แผ่น ดังแสดงไว้ดังในรูปที่ 4



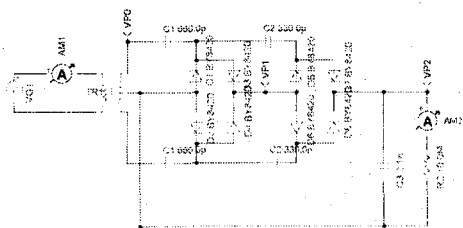
รูปที่ 4 วงจรทวีคูณแรงดันแบบบริดจ์ที่ถ่ายจากภาพจริง

การทดสอบ

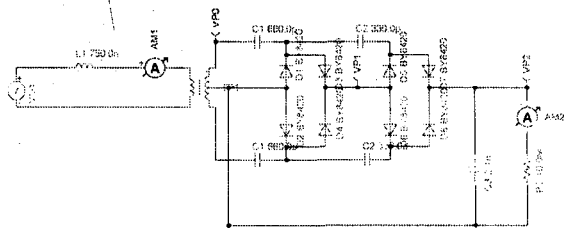
การทดสอบวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ป้อนโดยแหล่งจ่ายกระแส จะมีขั้นตอนดังนี้ คือ อันดับแรกจะทำการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวงจรที่ความถี่ 15 kHz และความถี่ 15 kHz พร้อมด้วยวงจรโซแนนท์อนุกรม (แหล่งจ่ายกระแส) อันดับสอง คือ การทดสอบจริงจากการต่อวงจรและวัดผล ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

1. การทดสอบโดยโปรแกรม TINA โดยมีเงื่อนไข ดังนี้

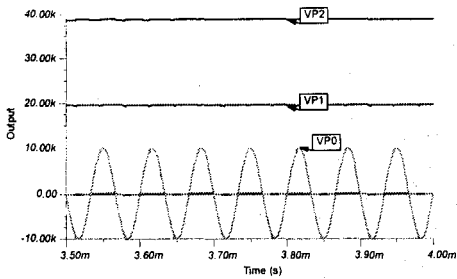
- ก. แรงดันอินพุตที่ป้อนให้เท่ากับ $10\text{ kV}_{\text{max}}$
- ข. ขนาดตัวเก็บประจุมีค่าดังที่คำนวณไว้ในเอกสารอ้างอิง [กิตติพงษ์ ตันมิตร และคณะ, 2547]
- ค. ไดโอดที่ใช้ในการทดสอบ คือ BY8420 ซึ่งเทียบเท่ากับเบอร์ ESJC13 โดยกำหนดคุณสมบัติให้ตรงกัน
- ง. จำนวนขั้นบันไดมีค่าตั้งแต่ 2 ขั้น, 3 ขั้น และ 4 ขั้น
- จ. โหลดที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด $10\text{ M}\Omega$



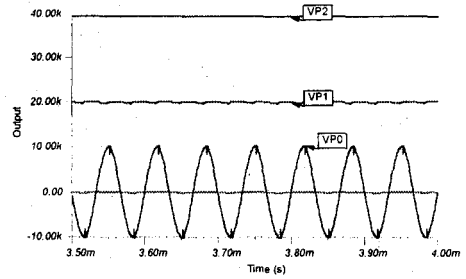
รูปที่ 5 ก) วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 2 ขั้น ที่ความถี่ 15 kHz



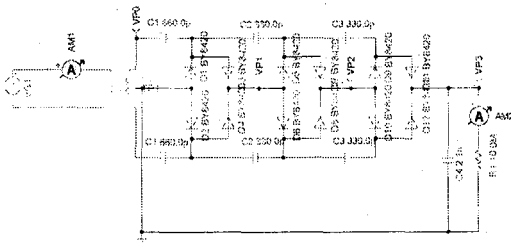
รูปที่ 5 ข) วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีวงจรโซแนนท์อนุกรมจำนวน 2 ขั้นที่ความถี่ 15 kHz

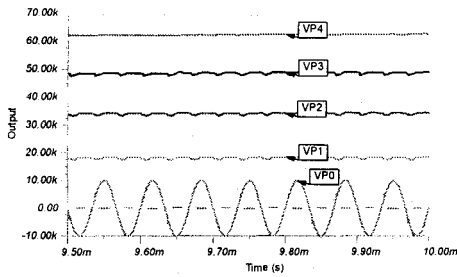


รูปที่ 5 ค) รูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรจำนวน 2 ชั้น
โซ่ที่ความถี่ 15 kHz

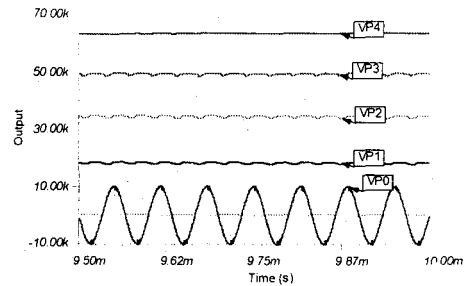


รูปที่ 5 ง) รูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรที่มีวงจรีโซ่
แนทอนุกรมจำนวน 2 ชั้นที่ความถี่ 15 kHz





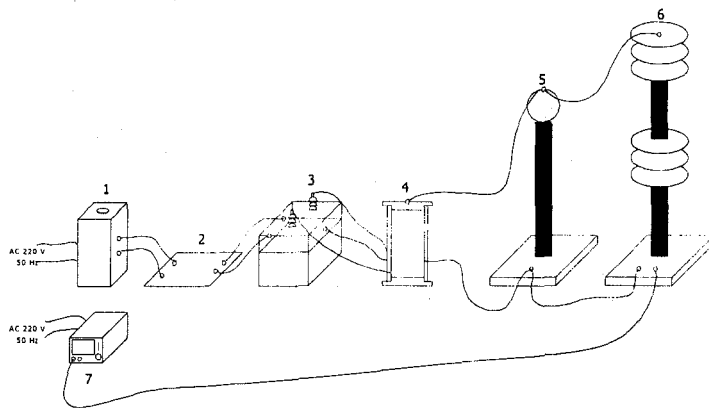
รูปที่ 7 ค) รูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรจำนวน 4 ชั้น
ที่ความถี่ 15 kHz



รูปที่ 7 ง) รูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรที่มีวงจรรีโซ
แนนท์อนุกรมจำนวน 4 ชั้นที่ความถี่ 15 kHz

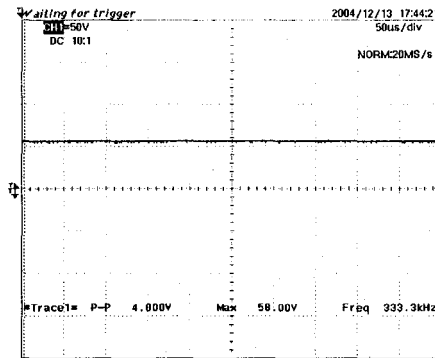
2. การทดสอบโดยการทดลองจริงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจำนวน 2 ชั้นบันได
โดยทำการทดลองจากวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ตามรูปที่ 8 ซึ่งมีอุปกรณ์
ในการทดลอง ดังนี้

1. แหล่งจ่ายแรงดันขนาด 0-220 VAC แบบปรับค่าได้
2. วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ป้อนโดยวงจรรีโซแนนท์อนุกรม
3. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงที่จุ่มในน้ำมันหม้อแปลงซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกหนา 0.5 ซม.
4. วงจรทวิคูณแรงดันแบบบริดจ์ที่บรรจุอยู่ในท่อ PVC ขนาด 10 นิ้ว
5. โหลดชนิดความต้านทานโดดๆ
6. โวลต์เตจดีไวเดอร์ชนิด RCR-500 ที่มีอัตราส่วน 1:609.6
7. Digital Oscilloscope 8 bits 200 MS/s 150 MHz Yokogawa

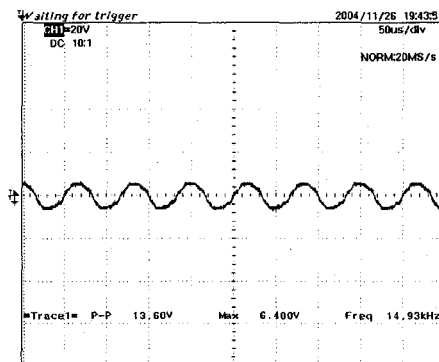


รูปที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

2.1 ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ความถี่ 15 kHz ที่ไม่มี
วงจรโซแนนท์อนุกรม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 โดยมีค่าที่วัดได้ คือ 35.36 kV ที่
แรงดันอินพุต 10.24 kV และกระแสโหลด 5 mA ตามลำดับ

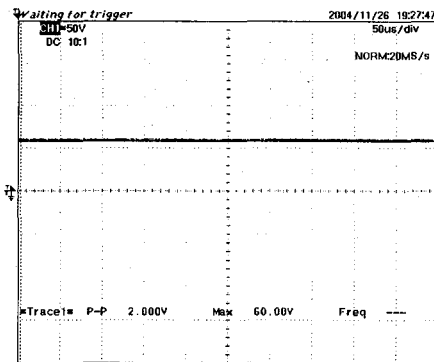


รูปที่ 9 แรงดันเอาต์พุตของวงจรวีคูณแรงดันที่ความถี่ 15 kHz

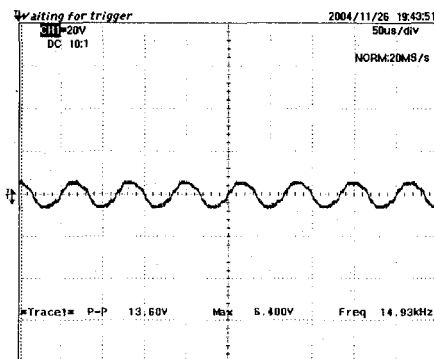


รูปที่ 10 แรงดันอินพุตของวงจรวีคูณแรงดันที่ความถี่ 15 kHz โดยวัดผ่านโวลต์เตจดีไวเดอร์ชนิดความ
ต้านทานโดดๆที่มีอัตราส่วน 1:1600

2.2 ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ที่ความถี่ 15 kHz ที่มีวงจร
โซแนนท์อนุกรม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 และรูปที่ 12 โดยมีค่าที่วัดได้ คือ 36.58 kV ที่แรงดัน
อินพุตเท่ากับ 10.24 kV และกระแสโหลด 5 mA ตามลำดับ



รูปที่ 11 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิคูณแรงดันที่ความถี่ 15 kHz พร้อมด้วยวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม



รูปที่ 12 แรงดันอินพุตของวงจรทวิคูณแรงดันที่ความถี่ 15 kHz พร้อมด้วยวงจรรีโซแนนซ์อนุกรมโดยวัดผ่านโวลต์เตจดีไวเดอร์ชนิดความต้านทานโดดๆที่มีอัตราส่วน 1:1600

บทสรุป

จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์โดยโปรแกรม TINA ที่ความถี่ 15 kHz พร้อมด้วยวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม (แหล่งจ่ายกระแส) พบว่าสามารถลดแรงดันตกคร่อมในวงจรให้น้อยลงกว่าที่ความถี่ 15 kHz ได้อีก กล่าวคือ เมื่อทดสอบที่ความถี่ 15 kHz จะได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 38.84 kV ที่ 2 ขั้วบันได 54.13 kV ที่ 3 ขั้วบันได และ 62.42 kV ที่ 4 ขั้วบันได ในขณะที่ทดสอบที่ความถี่ 15 kHz พร้อมด้วยวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม จะได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 39.45 kV ที่ 2 ขั้วบันได 55.03 kV ที่ 3 ขั้วบันได และ 63.85 kV ที่ 4 ขั้วบันได ซึ่งจะเป็นผลให้กระแสที่เอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดแรงดันตกคร่อมในวงจรให้น้อยลงอีกจึงหันมาใช้แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับความถี่สูงพร้อมด้วยวงจรรีโซแนนซ์อนุกรมแทน ส่วนผลที่ได้จากการทดสอบจริงนั้นสามารถดูได้ในรูปที่ 9 จนถึงรูปที่ 12 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้และสอดคล้องกับค่าที่ทดสอบโดย

โปรแกรม TINA ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับ คือ นอกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงชนิดนี้จะมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาลงกว่าเดิมแล้วยังมีแรงดันตกคร่อมในวงจรน้อยกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ธรรมดาทำให้สามารถที่จะพัฒนาต่อไปเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกยิ่งขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดสอบจากห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ ตันมิตร และคณะ . 2547. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริดจ์ความถี่สูง.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 27 (EECON-27); 11 – 12 พฤศจิกายน 2547
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บริษัท ซีแอลเคเซ็น จำกัด (มหาชน) .สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์
ฉบับพิเศษ ชุดแหล่งจ่ายไฟสำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ .

J.S. Brugler.1971.Theoretical Performance of Voltage Multiplier Circuits. **IEEE Journal of Solid-State Circuits** . (June): 132-135 .

Luigi Malesani .1993.Theoretical Performance of the Capacitor-Diode Voltage Multiplier Fed by a Current Source. **IEEE Trans. on Power Electronics** . 8,2 (April):147-155 .

Heinz van der Broeck. 2002. **Analysis of a current fed voltage multiplier bridge for high voltage Applications**. University of Applied Sciences Cologne: Germany.

Biju S. Nathan and V. Ramanarayanan .2000. **Analysis , Simulation and Design of Series Resonant Converter for High Voltage Applications**. Department of Electrical Engineering , Indian Institute of Science Bangalore.