

การจำลองการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไฟตรง



* ศาสตราจารย์ ดร.หยู ชุนอ็

** แปลและเรียบเรียงโดย ปรีชา สาครังค์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์สำคัญของการจำลองการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไฟตรง คือเพื่อสาธิตและช่วยในการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง เพราะในการทดลองปฏิบัติจริงมีความยุ่งยากในการต่อวงจร ใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูง และเกี่ยวข้องกับสมการที่มีการคำนวณที่ซับซ้อนเมื่อทำการคำนวณด้วยมือขณะทดลองปฏิบัติการ

บทความนี้จะแสดงการจำลองการทดสอบอุปกรณ์แรงสูงไฟตรงโดยส่วนแรกจะพิจารณาวจรกรองกระแสครึ่งคลื่น ส่วนที่สองจะพิจารณาวจรกรองกระแสเต็มคลื่น การเปรียบเทียบจะใช้เอาทพุทที่เรียกว่าแรงดันกระเพื่อม (ripple voltage) เป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งจากการคำนวณด้วยมือโดยใช้สมการคณิตศาสตร์และจากการคำนวณโดยใช้

กราฟฟิก ส่วนสุดท้ายที่พิจารณาคือวงจรอนุกรม (cascaded circuit) ซึ่งจะพิจารณาทั้งแรงดันกระเพื่อม (ripple voltage) และแรงดันตก (drop voltage) โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองคือ PSPICE ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองจะทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

1. บทนำ

ในการทดลองปฏิบัติกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะพบกับความยุ่งยากในการต่อวงจร ใช้เวลาในการต่อวงจรนานและมีค่าใช้จ่ายสูง บทความนี้จะแสดงผลลัพธ์ของการจำลองการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไฟตรงโดยใช้โปรแกรม PSPICE ช่วยในการจำลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและช่วยสอนภายในห้องเรียน ข้อได้เปรียบของการจำลองคือ

* ศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต : ปริญญาเอก (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยี สตีคโฮม ประเทศสวีเดน

** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต : วศม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

ใช้งานง่าย ประหยัดและใช้เวลาน้อยกว่า อาจารย์ผู้สอนและ นักศึกษาสามารถใช้เครื่องมือนี้ช่วยในการเรียน การสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

วงจรไฟฟ้าแรงสูงหลายๆ วงจรสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วงจร ตัวอย่างเช่น การกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงไฟตรงการกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงอิมพัลส์ การกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงไฟสลับและอีกมาก ในบทความนี้จะเสนอการกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงไฟตรง 3 แบบ สองวงจรแรกคือวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่นและวงจรกรองกระแสเต็มคลื่น จะใช้การวิเคราะห์เฉพาะแรงดันกระเพื่อม ส่วนวงจรสุดท้ายคือวงจรอนุกรม จะใช้การวิเคราะห์ทั้งแรงดันกระเพื่อมและแรงดันตก

นอกจากนี้การจำลองยังแสดงผลลัพธ์ที่หลากหลายเกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อตัวแปรต่างๆ ต่อเอาต์พุต การจำลองการกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง เหมาะสมกับมหาวิทยาลัยทั้งหลายสำหรับการศึกษาปรากฏการณ์ที่มีโอกาสน้อยมากที่จะได้เห็นจากการทดลองจริง การจำลองการทดสอบ

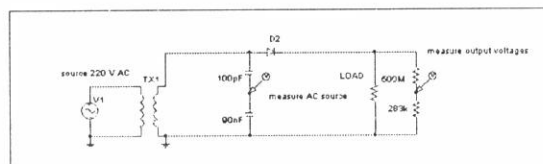
อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไฟตรงเพื่อใช้ในการศึกษา ยังไม่เคยได้ทำมาก่อน

2. วงจรกรองกระแส

การกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงไฟตรงจะต้องใช้วงจรกรองกระแสและพิจารณาแรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตซึ่งจะต้องน้อยกว่า 5% ของค่าเฉลี่ย (ตามมาตรฐาน IEC 600-60) ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทั่วโลกควรจะต้องปฏิบัติให้สอดคล้องกับมาตรฐานดังกล่าวด้วย

วงจรกรองกระแสประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ เพื่อจ่ายแรงดันชายนผ่านวงจรของหม้อแปลงที่สามารถกำเนิดแรงดันสูงได้มากกว่าระดับแรงดันแหล่งจ่าย จนกระทั่งได้ระดับแรงดันที่ต้องการ วงจรกรองกระแสแบบครึ่งคลื่นโดยทั่วไปแสดงดังรูป 1 อธิบายการทำงานของวงจร โดยเริ่มจาก ตัวคาปาซิเตอร์รับประจุจากแหล่งจ่ายไฟสลับระหว่างครึ่งบวกของสัญญาณชายน และเมื่อระดับแรงดันของคาปาซิเตอร์

สูงกว่าแหล่งจ่ายไฟคาปาซิเตอร์จะจ่ายประจุผ่านตัวต้านทาน จนกระทั่งระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟสลับจะสูงกว่าแรงดันของคาปาซิเตอร์



รูปที่ 1 วงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น

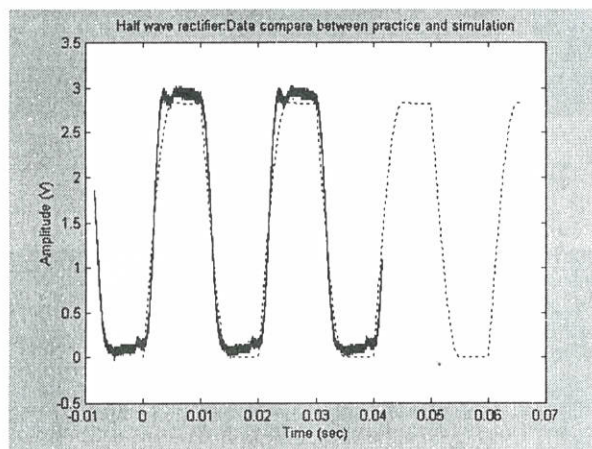
แรงดันกระเพื่อมที่ได้จากเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วยตัวแปรกระแสโหลด

ความถี่ และคาปาซิเตอร์ สมการขนาดของแรงดันกระเพื่อม คือ

$$\delta V = \frac{IT}{2C} = \frac{I}{2fC}$$

เมื่อ δV คือค่าเฉลี่ยของแรงดันกระเพื่อม การใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถใช้ในการออกแบบได้คือสามารถเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมก่อนการทดลองปฏิบัติจริง

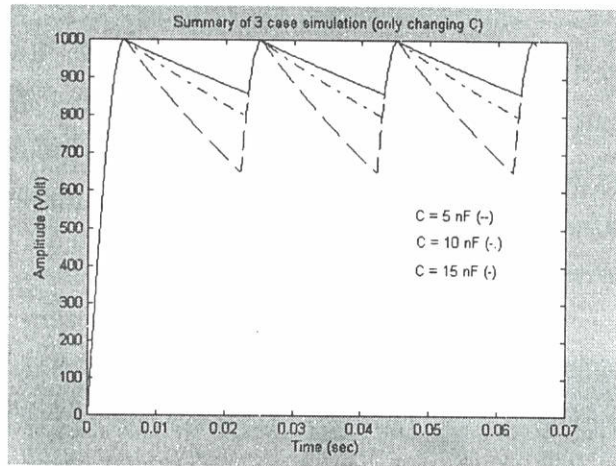
รูปที่ 2 แสดงผลลัพธ์ของวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น ที่ได้จากการจำลองและที่ได้จากการทดลอง โดยเส้นประเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการจำลองและเส้นสีดำเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองจริง



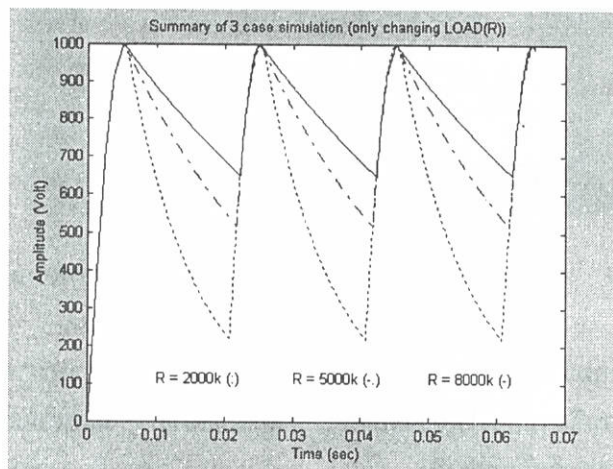
รูปที่ 2 ผลลัพธ์เปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลองจริง

แรงดันกระเพื่อมแตกต่างจากรูปที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.5% ตามนิยามของไฟตรงขนาดของแรงดันกระเพื่อมมีความสำคัญอย่างยิ่ง จากเหตุผลดังกล่าวการควบคุมแรงดันกระเพื่อมที่เกิดที่เอาต์พุต จึงเป็นสิ่งที่ช่วยในการออกแบบการกำเนิดไฟตรง ขนาดของแรงดันกระเพื่อมจะขึ้นอยู่กับค่าคาปาซิเตอร์และตัวต้านทานโหลดซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากการจำลอง ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ สามารถดูได้จากกราฟ

รูป 3, 4 และ 5 จากกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตัวแปรต่างๆ มีผลต่อแรงดันกระเพื่อมอย่างไร อุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรมีผลกระทบต่อแรงดันกระเพื่อมอย่างไร ซึ่งจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนและง่ายมากในการเปลี่ยนค่าของอุปกรณ์เหล่านั้น นอกจากนี้ นักศึกษายังสามารถเข้าใจได้ง่ายและสามารถเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับค่าแรงดันกระเพื่อมที่ต้องการได้



รูปที่ 3 ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนค่าคาปาซิเตอร์



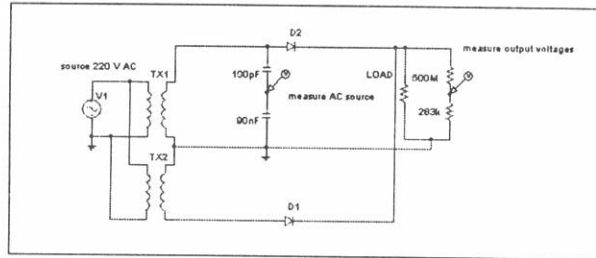
รูปที่ 4 ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนค่าตัวต้านทานโหลด

สมการแรงดันกระเพื่อมสามารถดูได้
อย่างชัดเจน ในรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 วงจร
กรองกระแสครึ่งคลื่นในรูปที่ 3 ได้ทำการเปลี่ยน
ตัวคาปาซิเตอร์ 3 ตัว รูปที่ 4 ได้ทำการเปลี่ยน
ตัวต้านทานโหลด และรูปที่ 5 ได้ทำการเปลี่ยน
ค่าความถี่ของแหล่งจ่าย เมื่อค่าความต้านทาน
เพิ่มแรงดันกระเพื่อมลดลง ในทางกลับกันแรง

ดันกระเพื่อมลดลงขณะที่ความถี่และคาปาซิเตอร์
มีค่าเพิ่มขึ้น

วงจรกรองกระแสเต็มคลื่น แสดงได้ใน
รูปที่ 6 ค่าคาปาซิเตอร์มีค่าเท่ากับคาปาซิเตอร์ที่
ใช้ในวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น แต่รูปร่าง
สัญญาณของแรงดันโหลดมีพัลส์บวก 2 พัลส์

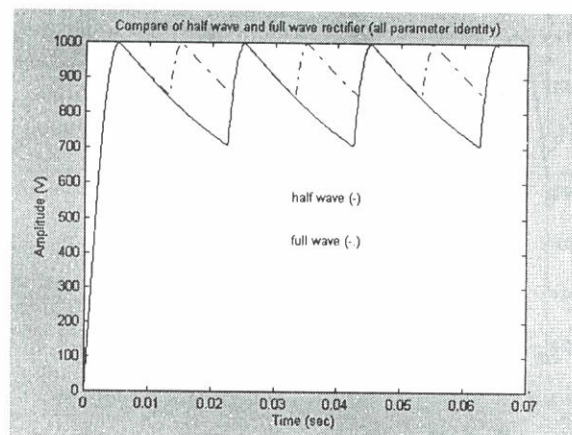
ขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มของวงจรกรองกระแส เตอร์คล้ายกันกับวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น เต็มคลื่น ควบคุมได้ด้วยตัวต้านทานและคาปาซิ



รูปที่ 6 วงจรกรองกระแสเต็มคลื่น

โดยปกติ วงจรกรองกระแสเต็มคลื่นจะ ให้แรงดันเอาต์พุตไฟตรง ที่มีขนาดของแรงดัน กระแสเพิ่มน้อยกว่าวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น ซึ่ง แสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 7

แรงดันกระแสเพิ่มของวงจรกรองกระแส เต็มคลื่น ในรูปที่ 7 หาได้จาก $(1000 - 850) / 2 = 75 \text{ V}$. และ แรงดันกระแสเพื่ อของวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่นหาได้จากสมการ $\delta V = (106.7 \times 10^{-6}) / (2 \times 50 \times 12 \times 10^{-9}) = 88.9 \text{ V}$.



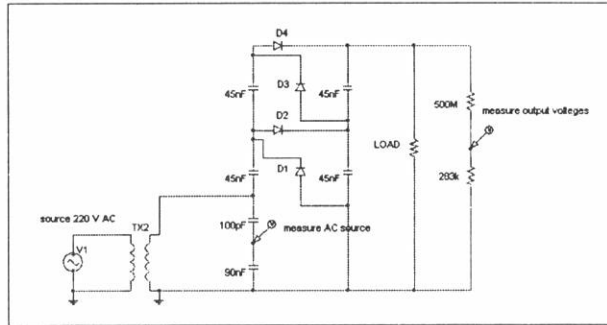
รูปที่ 7 แสดงวงจรกรองกระแสเต็มคลื่นมีแรงดันกระแสเพิ่มน้อยกว่าวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น

3. วงจรอนุกรม

วิธีการที่ได้รับความนิยมในการสร้าง แรงดันไฟฟ้าแรงสูงไฟตรงในห้องปฏิบัติการ โดย

ทั่วไปคือการประยุกต์ใช้วงจร Cockcroft-Walton ดังแสดงได้ดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นวงจร Cockcroft-Walton สองชั้น

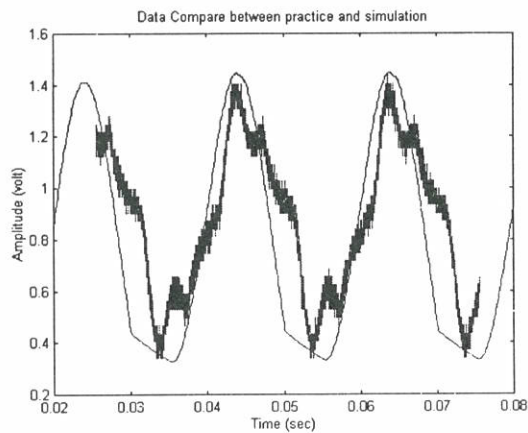
คาปาซิเตอร์ที่ใช้มีค่า $45 \mu\text{F}$ และจะ V_{max} เมื่อไม่มีโหลดโดย V_{max} คือขนาดของแรง
รับประจุเข้าไปเป็น 2 เท่าของแรงดันอินพุทวงจร ดันอินพุทและ n คือจำนวนชั้นของวงจรอนุกรม
นี้จะให้อาท์พุทมากกว่าอินพุทเท่ากับ $2 * n *$



รูปที่ 8 วงจร Cockcroft-Walton

โดยทั่วไปโหลดใด ๆ ที่ต่ออยู่ที่เอาท์พุทจะ กับโหลดความต้านทาน โหลดคาปาซิเตอร์และ
ดึงกระแสจากแหล่งจ่าย นอกจากแรงดัน ความถี่ ดังจะเห็นได้จากสมการ ΔV คือ
กระเพื่อมที่ต้องพิจารณาแล้ว แรงดันตกคืออีกสิ่ง
หนึ่งที่จะต้องพิจารณาเพิ่มขึ้น แรงดันตกขึ้นอยู่กับ

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} + \frac{n}{6} \right) \quad (2)$$



รูปที่ 9 ผลลัพธ์เปรียบเทียบระหว่างการทดลองและการจำลอง

การคำนวณแรงดันตกในวงจร Cockcroft Walton ที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าเท่ากับ $\Delta V = 2474 - 2432 = 42 \text{ V}$. และแรงดันตกที่ได้จากการจำลองคือ $\Delta V = 2492 - 2443 = 49 \text{ V}$.

แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ความแตกต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันกระเพื่อมระหว่างการจำลอง และการทดลองในห้องปฏิบัติการคือ 4.8 % อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้นับว่าน้อย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเหตุผลบางอย่าง อาทิเช่น หม้อแปลงเกิดอิ่มตัว คุณสมบัติของหม้อแปลงที่ไม่สามารถคาดเดาได้ สเตย์คาปาซิแตนซ์ เป็นต้น

5. สรุป

การจำลองการทดลองอุปกรณ์แรงสูงไฟตรง ในบทความนี้ประกอบด้วยวงจรกรองกระแสครึ่งคลื่น วงจรกรองกระแสเต็มคลื่นและวงจรอนุกรม Cockcroft-Walton

ผลลัพธ์จากการจำลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง การจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงได้สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการให้ความร่วมมือมา ณ. ที่นี้



บรรณานุกรม

J.L.Suthar ,J.R.Laghari and T.J.Saluzzo, USEFULNESS OF SPICE IN HIGH VOLTAGE ENGINEERING EDUCATION,IEEE Transactions on Power System,Vol. 6,No.3, August 1991

Suthar, J.L., Laghri, J.R. and Saluzzo, T.J. "Usefulness of spice in high voltage engineering education" TEEE Transactions on Power System. 16, 3, August 1991, pp. 1272-1281