หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปการวิจัย

หม้อแปลงแรงดันคงที่ ซึ่งวิจัยขึ้นนี้ มีจุดมุ่งหมายให้เป็นอุปกรณ์ช่วยแก้แรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลง (ตกหรือเพิ่ม) ให้คงที่เฉพาะจุดที่ต้องการใช้งาน โดยมีพิกัดกำลัง 1 เควีเอ. และย่านการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุท ตั้งแต่ 200 โวลต์ ถึง 240 โวลต์ ซึ่งแรงดันเอ้าท์พุทจะได้รับการปรับให้คงที่โดยอัตโนมัติ

ก่อนดำเนินการวิจัย ได้ศึกษาหลักการทำงานของหม้อแปลงแรงดันคงที่หลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบมีทั้งข้อดีและข้อบกพร่อง ที่เป็นคุณลักษณะประจำตัวของหม้อแปลงนั้น ๆ และไม่อาจแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้นให้หมดไปได้โดยสิ้นเชิง เพราะข้อบกพร่องดังกล่าวเกิดจากหลักการขั้นพื้นฐานในการออกแบบ (ดังได้กล่าวในบทที่ 1) อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเคยหาแนวทางและหลักการที่แตกต่างจากที่เคยศึกษา และได้สร้างหม้อแปลงต้นแบบตามแนวคิดขึ้นทดสอบถึง 2 แบบ แต่หลักการดังกล่าวให้ผลไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ หม้อแปลงเหล่านั้นจะให้แรงดันคงที่เฉพาะ ขณะไม่ต่อโหลดทั้ง 2 แบบ (ดังจะกล่าวในภาคผนวก ข) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกหม้อแปลงที่เคยศึกษาและเห็นว่ามีหลักการดีที่สุดขึ้นปรับปรุงใหม่ เพื่อให้ได้แรงดันเรกกูเลชั่นไม่เกิน 2 % ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งวิเคราะห์หม้อแปลงนี้เพื่อหาข้อสรุปที่จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบต่อไป

เหตุผลในการเลือกหม้อแปลงที่มีหลักการนี้ขึ้นปรับปรุงใหม่ เนื่องจากได้วิเคราะห์แล้วว่ามีข้อได้เปรียบมากกว่าแบบอื่น คือ

1. หม้อแปลงชนิดนี้ กำหนดให้ฟลักซ์มีจุดทำงานอยู่ในช่วงอิ่มตัว ทำให้แรงดันกระชาก (transient voltage) จากอินพุท ไม่สามารถผ่านไปยังเอ้าท์พุทได้

2. มีส่วนประกอบน้อย และโครงสร้างไม่มีส่วนเคลื่อนที่ ทำให้บำรุงรักษาง่ายและทนทาน

3. สามารถสร้างให้ย่านแรงดันเอ้าท์พุทคงที่ได้กว้างมาก โดยไม่ต้องเพิ่มส่วนประกอบของอุปกรณ์ขึ้นจากเดิม ทำให้ลดต้นทุนการผลิตลงได้มากกว่าแบบอื่น

4. ขณะที่เปลี่ยนแปลงโหลดทันทีทันใด แรงดันเอ้าท์พุทจะถูกปรับให้เกือบคงที่เองโดยอัตโนมัติ เนื่องจากผลของฟลักซ์ภายในแกน จึงทำให้แรงดันที่โหลดได้รับมีลักษณะต่อเนื่องมากกว่าแบบอื่น ที่ปรับแรงดันโดยวิธีเปลี่ยนจุดต่อ (tap) จะเห็นว่าวิธีนี้จะขจัดปัญหาเกี่ยวกับ on load changing ได้ จึงคาดว่าหม้อแปลงตามหลักการนี้ น่าจะให้ความเชื่อถือได้มากกว่าแบบอื่น

<u>ปัญหาทางด้านการวิจัย</u>

เนื่องจากฟลักซ์ภายในแกนของหม้อแปลงชนิดนี้ มีความซับซ้อนมาก และพารามิเตอร์ที่ประกอบขึ้นเป็นหม้อแปลงไม่เป็นเชิงเส้น (non - linear) จึงยากต่อการวิเคราะห์ตามวิธีธรรมดา อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบและสร้างหม้อแปลงให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ จำเป็นต้องสร้างกฎเกณฑ์ขึ้นใช้ในการออกแบบ โดยมีเหตุผลสนับสนุนกฎเกณฑ์นั้นเพียงพอ และกฎเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นนั้นต้องสามารถนำไปใช้ออกแบบหม้อแปลงขนาดอื่นได้ จากเหตุผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หม้อแปลงโดยวิธีเปลี่ยนตัวแปรที่สำคัญในวงจรทุกตัวเพื่อหาข้อสรุปจากการวิเคราะห์โดยวิธีเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้สามารถสร้างกฎเกณฑ์ขึ้นใช้ในการออกแบบหม้อแปลงได้สำเร็จ และภายหลังได้นำกฎเกณฑ์นี้ไปใช้ในการออกแบบหม้อแปลงขนาด 500 วีเอ.(ดังจะกล่าวไว้ในภาคผนวก ก) ก็ได้รับผลสำเร็จอีกเช่นกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า กฎเกณฑ์ที่ได้สรุปขึ้นนี้เป็นกฎเกณฑ์สากลที่สามารถนำไปใช้ออกแบบหม้อแปลงได้ทุกขนาด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการสร้างหม้อแปลงขึ้นตามกฎเกณฑ์ดังกล่าวและนำผลมาวิเคราะห์พบว่า

1. แรงดันเรกกูเลชั่น เปลี่ยนแปลงตาม P.F.ของโหลดและจะดีที่สุดเมื่อ P.F เข้าใกล้ unity ดังนั้น การนำหม้อแปลงชนิดนี้ไปใช้งาน ควรจะทราบ P.F. ของโหลดก่อน และจัดการแก้ P.F. รวมของจุดที่จะติดตั้งให้มีค่าดังกล่าวด้วย

2. ย่านแรงดันคงที่ของหม้อแปลงที่สร้างขึ้นกว้างกว่าที่กำหนดไว้มาก ทั้งนี้เกิดจากการปรับปรุงแรงดันเรกกูเลชั่นให้มีค่าไม่เกิน 2 % ตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรให้ได้ค่าเหมาะสมนั้น นอกจากจะทำให้แรงดันเรกกูเลชั่นดีแล้ว ยังทำให้ย่านแรงดันคงที่กว้างขึ้นด้วย ซึ่งตัวแปรนั้นได้แก่ การเลือกค่า X_c ให้เหมาะสมกับ X_{Lc} นั่นเอง ในที่นี้แรงดันคงที่เกิดขึ้นตั้งแต่ขณะแปรแรงดันอินพุทที่ 60 โวลต์ จนกระทั่งถึง 260 โวลต์ แต่ที่แรงดันอินพุทต่ำ เมื่อต่อโหลดจะทำให้แรงดันเอ้าท์พุทตกเร็วกว่าที่อินพุทค่าสูง ดังนั้นจึงไม่ควรต่อโหลดเต็มพิกัดกำลัง กล่าวคือที่อินพุทตั้งแต่ 60 ถึง 80 โวลต์ จะต่อโหลดได้ประมาณ 20 % ของพิกัดกำลัง, ที่ 90 ถึง 120 โวลต์ ควรต่อโหลดประมาณ 50 %, ที่ 130 ถึง 150 โวลต์ ควรต่อโหลดประมาณ 80 % และตั้งแต่ 160 ถึง 260 โวลต์ สามารถต่อโหลดได้เต็มพิกัดกำลัง สาเหตุที่ทำให้แรงดันเอ้าท์พุทตกมากที่แรงดันอินพุทค่าต่ำเป็นเพราะว่า ที่อินพุทค่าต่ำนั้น กระแสอินพุทมีค่าสูงมาก (ใกล้กับการเกิดรีโซแนนซ์ครั้งแรก) ทำให้ Cu. loss ในขดลวด N_1 สูง และแรงดันตกคร่อมใน leakage impedance ของขด N_1 สูงด้วย จึงทำให้ความสามารถในการส่งกำลัง (transfer power) มาได้ต่ำ เมื่อการส่งกำลังมีขีดจำกัดแต่กระแสโหลด (I_L) มีค่าสูง จึงทำให้แรงดันเอ้าท์พุท (V_o) ตกมาก

การแก้ไขแรงดันตกที่อินพุทค่าต่ำ ๆ อาจทำได้โดยออกแบบให้แรงดันเอ้าท์พุทที่จุดนั้น มีค่าสูงกว่าแรงดันตามพิกัดมาก แม้ว่าขณะโหลดแรงดันจะตกมากก็ตาม แต่แรงดันที่ได้รับยังอยู่ในพิกัดที่สามารถทำงานได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการออกแบบที่เหมาะสมจะ

สามารถใช้งานได้ในช่วงนั้น แต่ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะต่ำมาก และในสภาพของความเป็นจริง แรงดันอินพุทไม่ควรเปลี่ยนแปลงมากถึงขนาดนั้น จึงไม่มีความจำเป็นต้องออกแบบจุดทำงานให้ต่ำมากถึงเพียงนั้น

3. ประสิทธิภาพของหม้อแปลง ถ้าเป็นหม้อแปลงธรรมดา ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ Core loss = Cu. loss แต่สำหรับหม้อแปลงแรงดันคงที่นั้น Cu. loss ขึ้นอยู่กับกระแส 3 ส่วนคือ I_{in}, I_c และ I_L จากการศึกษาลักษณะสมบัติของหม้อแปลงชนิดนี้ จะเห็นว่ากระแส I_{in} เปลี่ยนแปลงมากที่สุด นั่นคือ Cu. loss ขึ้นอยู่กับกระแส I_{in} ดังนั้นการที่ Cu. loss จะลดค่าลงมาเท่ากับ Core loss ได้ กระแส I_{in} ควรมีค่าอยู่ในช่วงต่ำ ๆ จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะมีค่าสูงสุด เมื่อแปรแรงดันอินพุทอยู่ในช่วง 200 ถึง 240 โวลต์ ซึ่งตรงกับที่ได้ออกแบบไว้ให้กระแส I_{in} ต่ำสุดที่พิกัดแรงดัน (220 โวลต์) และจากการทดสอบที่ P.F. ของโหลดต่าง ๆ พบว่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะสูงสุดเมื่อโหลดมีค่า P.F. = 1.0 จากเหตุผลอื่นที่ได้สรุปมาแล้วว่า แรงดันเรกกูเลชั่นจะดีที่สุดเมื่อ P.F. ของโหลดมีค่าเข้าใกล้ 1.0 เมื่อเหตุผลนี้สนับสนุนด้วย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการแก้ P.F. ของโหลดก่อนที่จะนำหม้อแปลงชนิดนี้มาใช้ปรับแรงดันให้คงที่

4. จากรูปคลื่นที่บันทึกไว้พบว่า ขณะที่หม้อแปลงไม่ต่อโหลด หรือต่อโหลดที่ค่าต่ำ ๆ จะมีฮาร์โมนิคส์ที่ 3 ปนอยู่มาก แต่ขณะที่เพิ่มโหลดสูงขึ้น ฮาร์โมนิคส์เหล่านี้จะมีขนาดลดลง และมีรูปคลื่นใกล้คลื่นซายน์ (Sine Wave) มากขึ้น แสดงว่าหม้อแปลงชนิดนี้ ควรต่อโหลดเต็มพิกัดกำลังจึงจะให้ผลดีที่สุด แต่ขณะหม้อแปลงต่อโหลด จะเห็นว่าเฟสของเอ้าท์พุทจะเลื่อนไปจากอินพุทเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากกระแสโหลด (I_L) ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมใน leakage reactance และ resistance ของขดเอ้าท์พุท ซึ่งผลรวมทางเวคเตอร์ จะทำให้แรงดัน V_{22} เลื่อนไปจากค่าแรงดันเหนี่ยวนำ E_{22} และทำนองเดียวกัน V_{21} ก็เลื่อนไปจาก E_{21} จึงทำให้แรงดันเอ้าท์พุท V_o ขณะโหลดเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม ซึ่งมุมที่เลื่อนไปนี้จะมีผลเกี่ยวข้องกับแรงดันเรกกูเลชั่น

ด้วย กล่าวคือ แรงดันเรกกูเลชั่นจะขึ้นอยู่กับค่า leakage impedance ของขดเอ้าท์พุท (N_{21} + N_{22}) ถ้าขดเอ้าท์พุทมีค่า leakage impedance สูงขึ้น ขณะต่อโหลด แรงดันเอ้าท์พุทจะตกมาก ทำให้แรงดันเรกกูเลชั่นไม่ดี ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปคลื่นที่บันทึกไว้จะเห็นว่า ถ้าขดเอ้าท์พุทมีค่า leakage impedance สูง จะทำให้มุมที่เลื่อนไปกว้างจากตำแหน่งเดิมมากขึ้น ดังนั้นจากการวิเคราะห์รูปคลื่น จึงอาจกล่าวได้ ว่าในขณะต่อโหลดถ้ารูปคลื่นของแรงดันเอ้าท์พุทเลื่อนห่างไปจากอินพุทมาก แสดงว่าหม้อแปลงตัวนั้นมีแรงดันเรกกูเลชั่นไม่ดี

5. จากการวิเคราะห์รูปคลื่นที่บันทึกไว้ จะเห็นว่าฮาร์โมนิคส์ของเอ้าท์พุทที่เกิดขึ้นมีค่าไม่คงที่ โดยเปลี่ยนแปลงไปกับค่าโหลด ดังนั้นการสร้างวงจรกรองคลื่น (Filter) จะเลือกค่าที่เหมาะสมทุกกรณีได้ยาก และอีกประการหนึ่ง วงจรกรองคลื่นที่ประกอบขึ้นจาก R - C หรือ R - L จะกลายมาเป็นผลกระทบต่อค่า P.F. ของโหลดด้วย (ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพและแรงดันเรกกูเลชั่นของหม้อแปลงไม่ดี) ดังนั้นหม้อแปลงแรงดันคงที่ ซึ่งใช้หลักการนี้ จึงไม่ควรมี วงจรกรองคลื่นเพิ่มเติม แต่ควรต่อโหลดเต็มพิกัด ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว

6. อุณหภูมิของหม้อแปลงขณะทำงานมีค่าค่อนข้างสูง อาจลดลงได้บ้างเล็กน้อย ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นกระแสในขดลวดทุกขดต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบ นั่นคือ ต้องใช้ลวดที่มีขนาดโตขึ้นกว่าเดิม

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การออกแบบหม้อแปลงแรงดันคงที่ เพื่อใช้แก้ปัญหาแรงดันเปลี่ยนแปลงนี้ ในทางปฏิบัติอาจกระทำได้ 2 วิธี คือ

ก. ออกแบบหม้อแปลงที่มีค่าพิกัดกำลังเป็นกลาง ๆ (เช่น 300, 500, 1000 หรือ 2000 วีเอ. เป็นต้น) และเลือกโหลดหรือกลุ่มของโหลดมาต่อกับหม้อแปลงภายหลัง

ข. กำหนดโหลดที่จะใช้กับหม้อแปลงให้แน่นอนลงไปก่อน แล้วออกแบบหม้อแปลงขึ้นใช้กับโหลดนั้น ๆ โดยเฉพาะ

ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ จะได้รับผลแตกต่างกัน กล่าวคือ วิธีแรกสามารถทำได้ง่าย และเป็นวิธีที่ใช้ผลิตในรูปการค้าทั่วไป แต่วิธีนี้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะต่ำกว่าที่ควร เนื่องจากจำเป็นต้องจัดโหลดหรือกลุ่มของโหลดให้พอเหมาะกับพิกัดกำลังของหม้อแปลงที่มีอยู่ ซึ่งส่วนมากจะเลือกค่าโหลดที่เท่ากันพอดีกับของหม้อแปลงได้ยาก นอกจากนั้นโหลดที่เป็นกลุ่มอาจใช้ไม่พร้อมกันตลอดเวลา ทำให้การปรับ P.F. รวมของโหลดให้เป็น unity ได้ยากขึ้น กล่าวคือ ต้องใช้วิธีแยกย่อยปรับ P.F. ของโหลดทุกตัวที่ต่ออยู่กับหม้อแปลง วิธีที่ 2 ถ้าออกแบบหม้อแปลงตามวิธีนี้ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะมีค่าสูงสุดจริง ๆ จึงเห็นว่า การออกแบบหม้อแปลงที่ดีนั้น ผู้ออกแบบควรออกแบบขึ้นเพื่อใช้กับโหลดเป็นราย ๆ ไปเท่านั้น