หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

นับตั้งแต่มนุษย์ได้เริ่มรู้จักนำเอาพลังงานไฟฟ้ามาใช้ ความก้าวหน้าในด้านต่าง ๆ ได้เจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว จนในปัจจุบันถือได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานพื้นฐานหลักที่ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยี อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ จึงได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยให้มนุษย์มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น จากความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในภาคอุตสาหกรรม ทำให้ระบบไฟฟ้ามีขนาดและความซับซ้อนเพิ่มขึ้น และในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ใช้งานได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ มากขึ้น ซึ่งนำไปสู่การใช้งานโหลดประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear load) เพิ่มขึ้น ทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งโหลดประเภทนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์เข้าไปในระบบไฟฟ้า ซึ่งพบว่าแหล่งกำเนิดแหล่งใหม่ของฮาร์มอนิก เกิดจากการนำเอาอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์มาใช้เพิ่มมากขึ้น เช่น เครื่องจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptable Power Supply) , อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์(รวมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล) , อุปกรณ์ประหยัดพลังงานของระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์กำลังพวกคอนเวอร์เตอร์ และในปัจจุบันแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกที่สำคัญ ๆ ได้แก่ เตาหลอม , มอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ และคอมพิวเตอร์รวมทั้งอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ที่มีใช้อยู่ในสำนักงาน

ผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าไปในระบบไฟฟ้ามีมากมาย เช่นมีกำลังสูญเสียเกิดขึ้นในสายเคเบิล , หม้อแปลงไฟฟ้า , มอเตอร์ เป็นต้น , การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ , รีเลย์ป้องกันระบบไฟฟ้า , มิเตอร์ ทำงานผิดพลาด ทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าโดยรวมลดลง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการศึกษาผลของกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่ออายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่อหม้อแปลงไฟฟ้านี้ มีทั้งผลที่เกิดขึ้นโดยตรงที่สามารถวัดได้ เช่น มีการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น , อุณหภูมิของหม้อแปลงขณะใช้งานสูงขึ้น และผลโดยทางอ้อมที่ไม่สามารถวัดออกมาเป็นปริมาณได้ เช่น การเสื่อมสภาพของฉนวนซึ่งอาจนำไปสู่การลัดวงจรและทำให้หม้อแปลงเสียหายในที่สุด หรืออายุการใช้งานหม้อแปลงลดลง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะในระบบจำหน่ายหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญที่สุด

1.1 แนวเหตุผล

ในสภาวะปกติจะพบว่า อายุการใช้งานของหม้อแปลงจะขึ้นกับอายุการใช้งานของฉนวน ซึ่งสมมติฐานนี้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ในการคำนวณหาอายุการใช้งานของหม้อแปลงโดยทั่วไป อายุการใช้งานที่ลดลงตามปกติของหม้อแปลง จะหมายถึงอายุการใช้งานที่ลดลงสะสมที่จุดใดจุดหนึ่ง อันเนื่องมาจากผลทางความร้อน ที่เกิดขึ้นจากกำลังสูญเสียของหม้อแปลงขณะจ่ายโหลดตามปกติ โดยเรียกจุดนี้ว่าจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด และสมมติให้จุดนี้มีตำแหน่งคงที่

อายุการใช้งานที่ลดลงสะสมของจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด สามารถที่จะคำนวณหาได้ตามหลักการที่เสนอใน มาตรฐานของ IEEE และ IEC และผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะมีผลทำให้พลังงานสูญเสียขณะจ่ายโหลดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อุณหภูมิของจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้น และอายุการใช้งานของหม้อแปลงจะลดลงในที่สุด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หลักการที่ใช้คำนวณหาอายุการใช้งานของหม้อแปลงจะอ้างอิงตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง แต่อย่างไรก็ตามในบางส่วนพบว่าวิธีการที่เสนออยู่ในมาตรฐาน เป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมซึ่งผู้เขียนวิทยานิพนธ์จะแสดงให้เห็นด้วยการคำนวณ และจะได้นำเสนอวิธีการที่สามารถทำให้ผลการคำนวณถูกต้องมากขึ้น โดยที่อายุการใช้งานที่หามาได้นี้จะเป็นอายุการใช้งานเนื่องจากผลของความร้อนเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของหม้อแปลงแบบแห้งเปรียบเทียบกับหม้อแปลงแบบจุ่มน้ำมัน
2. ศึกษาระดับของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นขณะหม้อแปลงจ่ายโหลดที่มีสเปคตรัมของฮาร์มอนิกต่างๆ กัน
3. เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของหม้อแปลงที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตโครงการวิทยานิพนธ์

1. สร้างแบบจำลองเพื่อหาอายุการใช้งานของหม้อแปลง ขณะจ่ายโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลที่ผู้ผลิตหม้อแปลงให้มา
2. ทำการทดลองเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้เสนอไว้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาถึงผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่อหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ศึกษาแบบจำลองทางความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. สร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าอายุการใช้งานของหม้อแปลงขณะจ่ายโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น
4. ทดสอบผลของแบบจำลองที่ได้เทียบกับ Transformer Loading Guide ตามมาตรฐานของ IEC และ ANSI/IEEE
5. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของหม้อแปลงแบบฉนวนแห้งเปรียบเทียบกับหม้อแปลงแบบจุ่มน้ำมัน ขณะจ่ายโหลดที่มีสเปคตรัมของฮาร์มอนิกต่าง ๆ
6. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แบบจำลองที่สามารถหาอายุการใช้งานของหม้อแปลงขณะจ่ายโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลที่ผู้ผลิตหม้อแปลงให้มาและภายใต้สมมติฐานที่กำหนด เพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนต่อไป

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงแนวทางการศึกษาเรื่องอายุการใช้งานของหม้อแปลง ฉนวนประเภทกระดาษที่ใช้ในหม้อแปลงรวมถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของฉนวนเหล่านี้ และปัจจัยต่าง ๆ ที่มี

ผลต่ออายุการใช้งานของหม้อแปลง และท้ายที่สุดจะได้กล่าวถึงทฤษฎีของ Arrhenius ซึ่งใช้ในการหาอายุการใช้งานของหม้อแปลง

บทที่ 3 กล่าวถึงกำลังสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ซึ่งแบ่งได้เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะที่ไม่มีโหลด ได้แก่ กำลังสูญเสียฮิสเตอริซีส (Hysteresis Loss) และกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) กำลังสูญเสียขณะที่มีโหลด ได้แก่ กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานภายในขดลวด (I^2R Loss) และกำลังสูญเสียปลีกย่อยที่ส่วนประกอบอื่น (Stray Loss) นอกจากนั้นยังได้กล่าวถึงการส่งผ่านความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง และท้ายสุดได้กล่าวถึงหลักการในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง

บทที่ 4 กล่าวถึงแนวทางการแก้ไขปัญหา เนื่องจากผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่อหม้อแปลงที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การเลือกใช้หม้อแปลงตามค่า K factor และการลดพิกัดของหม้อแปลงลงในขณะจ่ายโหลดประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีตัวอย่างการคำนวณประกอบการอธิบายด้วย และท้ายสุดได้กล่าวถึงผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่อกำลังสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนประกอบของแบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

บทที่ 5 กล่าวถึงหลักการต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อคำนวณหาอายุการใช้งานของหม้อแปลง รวมทั้งได้กล่าวถึงแนวทางการจ่ายโหลดที่ใช้ในแบบจำลอง โดยได้นำเอาข้อดีจากมาตรฐานของ IEC และ IEEE รวมทั้งจากผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีผู้นำเสนอก่อนหน้านี้แล้ว มาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 6 กล่าวถึงการทดลอง เพื่อดูผลของฮาร์มอนิกที่มีต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิของขดลวดหม้อแปลง โดยการทดลองจ่ายโหลดที่มีค่ากระแสประสิทธิผลเท่ากัน แต่มีสเปคตรัมฮาร์มอนิกต่างๆ กันให้หม้อแปลง ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดที่มีฮาร์มอนิกปนอยู่ ระดับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขดลวดหม้อแปลงจะสูงกว่าในกรณีจ่ายโหลดแบบเชิงเส้น

บทที่ 7 กล่าวถึงการเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของขดลวด ที่ได้จากผลการทดลองกับหลักการที่ใช้ในแบบจำลอง และยังเปรียบเทียบกับหลักการแบบเดิมที่ใช้ในมาตรฐานต่าง ๆ ทั้งในกรณีที่หม้อแปลงจ่ายโหลดที่มีฮาร์มอนิกปนและไม่มีฮาร์มอนิกปนอยู่ ซึ่งพบว่าหลักการที่ใช้ในแบบจำลองที่ได้ปรับปรุงแล้ว จะมีระดับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขดลวดใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด และเมื่อนำผลที่ได้ไปเทียบกับแนวทางการจ่ายโหลดมาตรฐาน พบว่าผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนไปมาก

บทที่ 8 กล่าวถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ ทั้งจากการทดลองและแบบจำลองที่สร้างขึ้น