

ชุดทดสอบเตาแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับศึกษาพารามิเตอร์โหลดแบบเหนี่ยวนำ ด้วยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับโดยตรงแบบเรโซแนนท์คลาสอี

Induction Cooktop Testbench for Load Parameter Study Using a Class-E Direct AC-AC Resonant Converter

ปฏิพงษ์ เจริญเวียนเหนือ^{1*} อภิราช รัตนอุดมพิสุทธิ² สุรชาติ ปัญญา³ อัมพล พิชัยเชิด¹ ทักษณันย์ สุภารส¹ และ ถวิล แสงธรรมชีวิน⁴

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

E-mail: patipong.c@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอชุดทดสอบ (Testbench) สำหรับศึกษาค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลของโหลดแบบเหนี่ยวนำ (Induction load equivalent circuit) ในระบบเตาแม่เหล็กไฟฟ้าในครัวเรือน โดยใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับโดยตรงแบบเรโซแนนท์คลาสอี ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนของระบบแปลงพลังงานแบบเดิม โดยทั่วไปพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำสมมูล และความต้านทานสมมูล จะวัดด้วยเครื่องวัดแอลซีอาร์มิเตอร์ (LCR meter) ภายใต้สัญญาณกระตุ้นขนาดเล็ก (Small-signal) ซึ่งจะก่อให้เกิดผลคลาดเคลื่อนเมื่อใช้งานที่ระดับกำลังไฟฟ้าสูง บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการศึกษาค่าพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะการทำงานจริง โดยใช้เงื่อนไขการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) และการสวิตช์ที่อัตราการใช้พลังงานเป็นศูนย์ (ZVDS) ร่วมกับโครงข่ายภาระแบบขนาน (Parallel load network) ที่ระดับหนึ่งในส่วนกำลังไฟฟ้าของพิกัดสูงสุด วิธีการที่นำเสนอนี้ให้การวิเคราะห์ที่เป็นระบบและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโหลดได้แม่นยำกว่าวิธีดั้งเดิม ผลการทดสอบยืนยันว่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการนำเสนอมีความสอดคล้องกับผลการทดลองในวงจรต้นแบบมากกว่าการวัดด้วยเครื่องมือวัดทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การสวิตช์แรงดันตกคร่อมเป็นศูนย์, การสวิตช์ที่อัตราการใช้พลังงานเป็นศูนย์, การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ, เตาหุงต้มไฟฟ้าในครัวเรือน, วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบเรโซแนนท์คลาสอี

Abstract

This paper presents the development of a testbench for studying the equivalent circuit parameters of inductive loads in

household induction cooktop systems, based on a Class-E direct AC-AC resonant converter. This approach reduces the complexity inherent in conventional power conversion systems. Typically, equivalent inductance and resistance parameters are measured using an LCR meter under small-signal excitation, which often leads to inaccuracies when operating at high power levels. This study proposes a parameter identification method under actual operating conditions, leveraging Zero-voltage switching (ZVS) and Zero-voltage-derivative switching (ZVDS) conditions in conjunction with a parallel load network at one-quarter of the maximum rated power. The proposed methodology provides a more systematic analysis and a more accurate representation of the electrical load characteristics compared to traditional methods. Experimental results confirm that the parameters derived from this approach align more closely with the prototype's performance than those obtained from standard measurement tools.

Keywords: Zero-voltage switching, Zero-voltage-derivative switching, Induction heating, Domestic cooker, Class-E converter

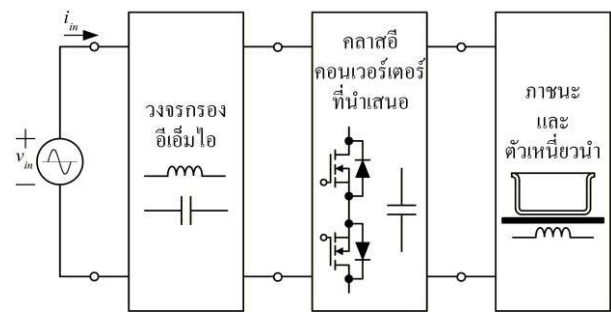
1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Induction heating) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในฐานะนวัตกรรมหลักสำหรับเครื่องครัวยุคใหม่ เนื่องจากประสิทธิภาพในการส่งผ่านพลังงานที่สูง การตอบสนองต่อการทำความร้อนที่รวดเร็ว และความปลอดภัยขณะใช้งาน หลักการทำงานพื้นฐานของระบบนี้อาศัยกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's law of electromagnetic induction) โดยการป้อนกระแสสลับความถี่สูง (High-frequency

alternating current) ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่แปรผันตามเวลา สนามแม่เหล็กดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy current) ขึ้นภายในของภาชนะหุ้มฉนวนที่มีสมบัติเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) พลังงานไฟฟ้าจึงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนโดยตรงที่กั้นภาชนะผ่านความต้านทาน ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด กระบวนการนี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดมลภาวะในที่พักอาศัย แต่ยังสอดคล้องกับแนวทางการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนในปัจจุบัน

โครงสร้างระบบกำลังไฟฟ้า เต้าแม่เหล็กไฟฟ้าในครัวเรือนส่วนใหญ่นิยมประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบเรโซแนนท์สวิตช์เดี่ยว (Single-switch) หรือแบบกึ่งบริดจ์ (Half-bridge) ซึ่งจะทำงานอยู่ในช่วงความถี่การสวิตช์ระหว่าง 20 ถึง 100 kHz เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนในย่านความถี่เสียงและลดการสูญเสียในการสวิตช์ [1-4] อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ การระบุค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลของขดลวดและภาชนะหุ้มฉนวนอย่างแม่นยำ เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำสมมูล (L_{eq}) และความต้านทานสมมูล (R_{eq}) ส่งผลโดยตรงต่อการออกแบบอุปกรณ์รวมถึงกำหนดจุดการทำงาน (Operating point) ของวงจร ไม่ว่าจะเป็นแรงดันและกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านสวิตช์กำลัง รวมถึงการเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุเรโซแนนท์ (C_r) เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามพิกัดที่ต้องการ ปัญหาสำคัญที่พบในปัจจุบันคือการใช้เครื่องวัดแอลซีอาร์มิเตอร์ (LCR meter) ซึ่งอาศัยการกระตุ้นด้วยสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal excitation) ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Induction load) วิธีการดังกล่าวไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมที่แท้จริงของโหลดภายใต้สภาวะกระแสสูงและความเข้มสนามแม่เหล็กสูงได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางแม่เหล็กของภาชนะหุ้มฉนวนมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) และแปรผันตามอุณหภูมิรวมถึงความถี่ใช้งานจริง

บทความนี้จึงนำเสนอแนวคิดชุดทดสอบเต้าแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับศึกษาพารามิเตอร์ของโหลดเหนี่ยวนำ บนพื้นฐานวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับโดยตรงแบบเรโซแนนท์คลาสอี (Class-E direct AC-AC resonant converter) ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ช่วยขจัดความจำเป็นในการใช้ชุดเรียงกระแสและตัวเก็บประจุกรองกระแส (DC-link) ส่งผลให้ระบบมีความกะทัดรัดและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้อาศัยหลักการสวิตช์ภายใต้เงื่อนไขการสวิตช์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นศูนย์ (ZVDS) ภายใต้โครงข่ายภาระแบบขนาน (Parallel-resonant load network) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์สมมูลในสภาวะการทำงานจริง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบเต้าแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงการประเมินผลและยืนยันความถูกต้องของพารามิเตอร์ที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงที่พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 1 โดอะแกรมการทำงานเต้าแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ

2. ระเบียบวิธีวิจัยที่นำเสนอ

- 1). การวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นด้วยสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal characterization) โดยการวัดค่าความเหนี่ยวนำสมมูล (L_p) ของขดลวดเหนี่ยวนำและความต้านทานสมมูล (R_p) ของภาชนะหุ้มฉนวนในโครงข่ายเรโซแนนซ์แบบขนานโดยใช้เครื่องวัดแอลซีอาร์มิเตอร์ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบ
- 2). การระบุพารามิเตอร์ผ่านชุดทดสอบเรโซแนนซ์คลาสอีที่นำเสนอบนพื้นฐานวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับโดยตรงแบบเรโซแนนท์คลาสอี (Class-E direct AC-AC resonant converter) โดยกำหนดให้วงจรทำงานที่ระดับหนึ่งโนลต์ของกำลังไฟฟ้าของพิกัดสูงสุด (Large-signal) เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะการสวิตช์แบบ ZVDS ซึ่งสะท้อนพฤติกรรมทางแม่เหล็กไฟฟ้าของโหลดขณะมีกระแสไหลผ่านจริง
- 3). นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากทั้งสองวิธี (จากข้อ 1 และ 2) มาใช้เป็นข้อมูลหลักในการออกแบบภาควงจรกำลังและคำนวณหาตัวอุปกรณ์ในโครงข่ายเรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel-resonant load network)
- 4). การประเมินผลและการยืนยันความถูกต้อง จากการทดสอบวงจรเครื่องต้นแบบ (Prototype) ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วนำผลลัพธ์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธี เพื่อพิสูจน์ความแม่นยำและประสิทธิภาพของชุดทดสอบที่นำเสนอในบทความนี้

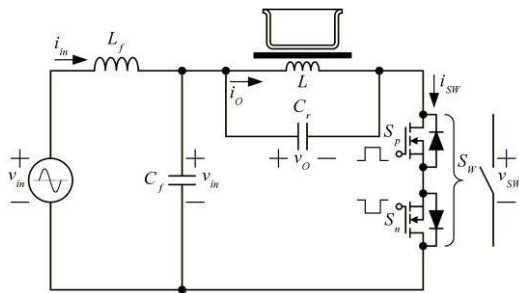
ตารางที่ 1. รายละเอียดอุปกรณ์

อุปกรณ์	รายละเอียด
L_f	500 μ H
C_f	5.6 μ F
C_r	130 nF
S_p	$r_{DS(on)} = 0.1 \Omega$
S_n	$r_{DS(on)} = 0.1 \Omega$

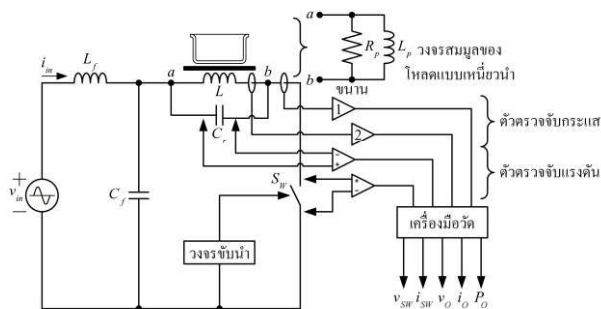
2.1 โครงสร้างและคุณลักษณะของระบบกำลัง

โครงสร้างพื้นฐานของระบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำหรือที่เรียกว่า เตาแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งได้รับการออกแบบบนพื้นฐานวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับ โดยตรงแบบเรโซแนนซ์คลาสอี (Class-E direct AC-AC resonant converter) ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter) และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบเรโซแนนซ์คลาสอีที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่สร้างกระแสสลับความถี่สูงป้อนเข้าสู่ชุดขดลวดเหนี่ยวนำ [5]

โดยมีเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ เครื่องวัดแอลซีอาร์มิเตอร์ (LCR meter) ยี่ห้อ FLUKE รุ่น PM6306 กำหนดระดับสัญญาณทดสอบ (Test signal) ที่ 1 V เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในสถานะสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal) ออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL2024 ตัวตรวจจับกระแส (Current probe) รุ่น 701932 พิกัด 30 A/100 MHz สองตัว และตัวตรวจจับแรงดัน (Differential probe) รุ่น 700924 พิกัด 1,400 V/100 MHz และตัวตรวจจับแรงดันตัวที่สองคือยี่ห้อ LeCroy รุ่น AP032 พิกัด 1,400 V/15 MHz



รูปที่ 2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบเรโซแนนซ์คลาสอีที่นำเสนอ

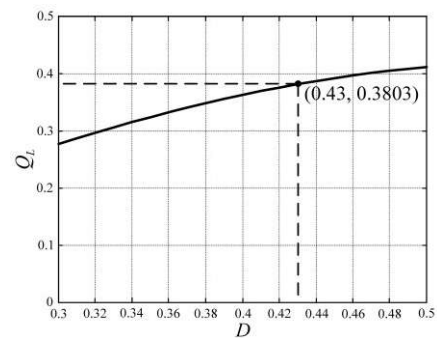


รูปที่ 3 แทนทดสอบหาค่าพารามิเตอร์สมมูลที่นำเสนอ

2.2 การวิเคราะห์เชิงระบบและขั้นตอนการระบุพารามิเตอร์

กระบวนการวิเคราะห์เพื่อระบุค่าพารามิเตอร์ตามวิธีที่นำเสนอ นั้น อ้างอิงจากแทนทดสอบที่นำเสนอในรูปที่ 3 และพารามิเตอร์

ทางไฟฟ้าในตารางที่ 1 โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบคุณภาพ (Q_L) เทียบกับค่าวัฏจักรงาน (D) ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่สะท้อนสภาวะการทำงานจริง บทความนี้จะจึงกำหนดให้แทนทดสอบทำงานที่ประมาณหนึ่งในสี่ของกำลังไฟฟ้าของพิกัดสูงสุดประมาณ 1,100 W โดยใช้เงื่อนไขการสวิตช์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นศูนย์ (ZVDS) เป็นเกณฑ์หลักในการวิเคราะห์หาค่าของแรงดันสาย (Peak line voltage) มีรายละเอียดการทำงานดังนี้ จุดการทำงานมีค่าวัฏจักรงาน (D) อยู่ที่ 0.43 ข้อมูลทางไฟฟ้า และความถี่สวิตช์ (f_s) เท่ากับ 33 kHz จากรูปที่ 5 พบว่าแรงดันตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำ (v_o) มีค่าเท่ากับ 134 V ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P_o) ได้ 293 W ข้อมูลที่ได้จากการวัดภายใต้สภาวะโหลดจริงนี้ จะถูกนำไปคำนวณย้อนกลับผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ของวงจรเรโซแนนซ์คลาสอี เพื่อระบุค่าความเหนี่ยวนำสมมูล (L_p) ของชุดขดลวดเหนี่ยวนำและความต้านทานสมมูล (R_p) ที่สภาวะ Large-signal ซึ่งจะมีความแม่นยำสูงกว่าการวัดด้วยเครื่องมือวัดทั่วไป สามารถคำนวณได้จาก $R_p = v_o^2 / P_o$ และ $L_p = Q_L R_p / \omega_s$ ตามลำดับ



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบตัวประกอบคุณภาพ Q_L และค่าวัฏจักรงาน D

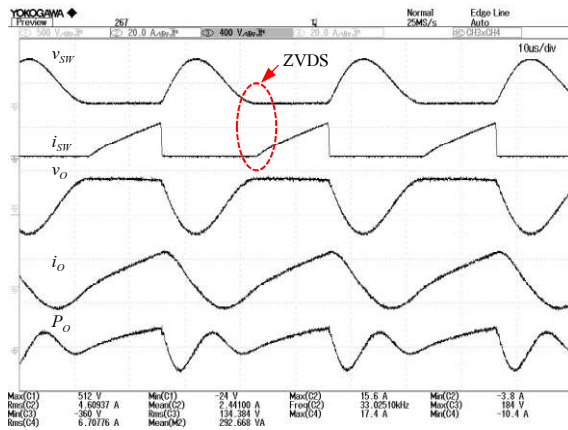
3. ผลการทดลอง

ตารางที่ 2. ตารางเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ความต้านทานสมมูล R_p

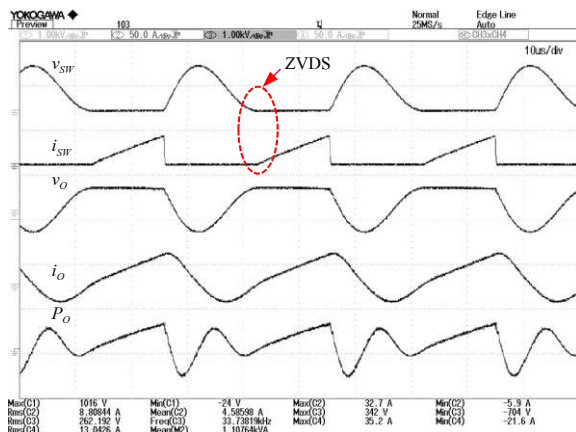
วิธีการทดสอบ	ขนาด (Ω)	ความแตกต่าง
เครื่องคันแบบ (1,100 W)	62.40	-
แอลซีอาร์มิเตอร์	68.53	+ 9.36%
แทนทดสอบ	61.28	- 1.81%

ตารางที่ 3. ตารางเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของตัวเหนี่ยวนำสมมูล L_p

วิธีการทดสอบ	ขนาด (μH)	ความแตกต่าง
เครื่องคันแบบ (1,100 W)	114.46	-
แอลซีอาร์มิเตอร์	77.34	- 38.71%
แทนทดสอบ	112.40	- 1.81%



รูปที่ 5 รูปคลื่น v_{SW} (500 V/div) และ i_{SW} (20 A/div) ที่ 293 W



รูปที่ 6 รูปคลื่น v_{SW} (1 kV/div) และ i_{SW} (50 A/div) ที่ 1,100 W

จากผลการทดลองในรูปที่ 6 เมื่อวงจรทำงานที่พิกัดกำลังเอาต์พุต (P_o) สูงสุดได้เท่ากับ 1,100 W ภายใต้เงื่อนไขการสวิตช์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นศูนย์ (ZVDS) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปแรงดัน v_{SW} และกระแส i_{SW} ที่ไหลผ่านสวิตช์กำลัง S_p และ S_n โดยมีค่าวัฏจักรงาน (D) อยู่ที่ 0.43 และวัดค่าแรงดันตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำ (v_o) ได้เท่ากับ 262 V ซึ่งพารามิเตอร์ความเหนี่ยวนำสมมูล (L_p) และความต้านทานสมมูล (R_p) ที่คำนวณได้จะสอดคล้องกับผลทดสอบคลาสสิกที่ระดับหนึ่งนีสของกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ความเหนี่ยวนำสมมูล (L_p) และความต้านทานสมมูล (R_p) ระหว่างวิธีดั้งเดิม (LCR meter) และวิธีที่นำเสนอ (Testbench) เทียบกับผลจากการทดลองที่กำลังไฟฟ้า 1,100 W ในตารางที่ 2 และ 3 พบประเด็นสำคัญดังนี้ ผลกระทบจากกระแสสูง (High-current effect) ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอมีความใกล้เคียงกับสถานะการทำงานจริงมากกว่าวิธีดั้งเดิม เนื่องจากความเหนี่ยวนำของขดลวดและลักษณะหึ่งดัมมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) โดยเฉพาะค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหล

(Leakage inductance) ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขดลวด จึงทำให้ความแม่นยำในการออกแบบการวัดด้วยเครื่องวัด LCR meter ภายใต้อสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal) มักให้ค่าพารามิเตอร์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของความร้อน (Thermal effect) และความอึดตัวของวัสดุเฟอร์ไรต์ขณะใช้งานจริง ส่งผลให้การออกแบบวงจรด้วยวิธีดั้งเดิมอาจนำไปสู่การทำงานที่ผิดเพี้ยนจากเงื่อนไขการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) และการสวิตช์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นศูนย์ (ZVDS) ที่ต้องการ

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอชุดทดสอบ (Testbench) เพื่อศึกษาพารามิเตอร์วงจรสมมูลของโหลดเหนี่ยวนำในเตาแม่เหล็กไฟฟ้า โดยประยุกต์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับโดยตรงแบบเรโซแนนท์คลาสอี ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไข ZVDS ที่ระดับหนึ่งนีสของกำลังไฟฟ้าของพิกัดสูงสุด สามารถระบุพารามิเตอร์จริงได้แม่นยำว่าการวัดด้วยเครื่องแอลซีอาร์มิเตอร์แบบดั้งเดิม จากผลทดลองกับเครื่องต้นแบบขนาด 1,100 W ยืนยันว่าค่าที่ได้สอดคล้องกับสถานะการทำงานจริงอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้การออกแบบระบบเข้าใกล้เงื่อนไขการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) ได้อย่างแม่นยำ วิธีที่นำเสนอจึงเป็นแนวทางที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพสูง สำหรับการออกแบบและพัฒนาตัวแปลงผันกำลังในระบบเตาแม่เหล็กไฟฟ้าครัวเรือนยุคใหม่ เพื่อให้ได้สมรรถนะสูงสุดภายใต้สภาวะโหลดจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Charoenwiangnuea, P. Pongsri, K. Sriamard, R. Khumchaiyo, S. Prommeuan, and P. Nangtin, "An accurate time-domain waveforms of class-e zvds inverter in series-and parallel-load network for domestic induction cooker," in *Proc. ECTI Conference*, Chiang Mai, Thailand, 2021, pp. 1055-1058.
- [2] P. Charoenwiangnuea, S. Wangnipparmo, and S. Tunyansirut, "Design of a Class-E direct AC-AC converter with only one capacitor and one inductor for domestic induction cooker," in *Proc. ECTI Conference*, Chiang Mai, Thailand, 2021, pp. 679-682.
- [3] Ó. Lucia, H. Sarnago, J. Acero and J. M. Burdío, "Induction heating appliances: Toward more sustainable and smart home appliances," in *Book Chapter Energy Smart Appliances*, pp. 301-332, 2023. doi: 10.1002/9781119899457.ch11.
- [4] P. Chakkuchan, P. Charoenwiangnuea, S. Chudjuarjeen, A. Rattanaudompiat, K. Jaito and A. Pichaicherd, "Parallel class-E resonant inverters with a common EMI filter for domestic induction cooker," in *Proc. IEEECON*, Thailand, 2024, pp. 1-4.
- [5] T. H. Wu, G. Dong, C. M. Lai, S. Liu, Y. Ying, T. Luo and H. Omori, "A Class-E Direct AC-AC Converter with a Novel Pulse Modulation Strategy for Induction Heating," in *Proc. ITECAsia-Pacific*, Singapore, 2025, pp. 1-5.