

การวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงจำหน่ายเชิงเศรษฐศาสตร์
ให้มีต้นทุนวัสดุต่ำและมีความสูญเสียที่เหมาะสม

THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION TRANSFORMER DESIGN FROM
AN ECONOMIC PERSPECTIVE TO ACHIEVE LOW MATERIAL COSTS
AND APPROPRIATE LOSS

บุญเลิศ สือเฉย

อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160, tdler@hotmai.com

Boonlert Suechoey

Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Southeast Asia University, 19/1 Phetkasem Road, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand,
tdler@hotmai.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายให้มีต้นทุนวัสดุต่ำ มีค่าความสูญเสียที่เหมาะสมและเป็นไปตามข้อกำหนด ขั้นตอนการวิจัยจะทำการออกแบบหม้อแปลงโดยจะคำนึงถึงค่าความสูญเสียและทำการเปรียบเทียบต้นทุนวัสดุหลัก ในงานวิจัยได้เลือกขนาดหม้อแปลงที่มีใช้เป็นจำนวนมากในภาคอุตสาหกรรมและติดตั้งในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) หม้อแปลง 3 Phase 50 Hz 22000-416/240 V Dyn11 ขนาด 250 kVA และ 500 kVA ตามข้อกำหนดใหม่ที่มีการไฟฟ้าประกาศใช้ ผลจากการวิเคราะห์ออกแบบสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการออกแบบหม้อแปลงให้มีต้นทุนต่ำ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และความสูญเสียเป็นไปตามข้อกำหนด และใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้หม้อแปลงให้มีค่าความสูญเสียต่ำได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การออกแบบหม้อแปลง กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ประสิทธิภาพ ราคาต้นทุน

ABSTRACT

This research presents an analysis of the design of transformers used in distribution systems to minimize material costs, achieve acceptable loss values, and comply with regulations. The

research process involves designing the transformer while considering loss values and comparing the costs of key materials. The study focuses on transformer sizes commonly used in the industrial sector and installed in the distribution systems of the Provincial Electricity Authority (PEA). The selected transformer 3 Phase 50 Hz 22000-416/240 V Dyn11 sizes are 250 kVA and 500 kVA, in accordance with the new regulations announced by the electricity authority. The results from the design analysis can serve as guidelines for improving transformer designs to reduce costs, increase efficiency, and ensure that loss values meet regulatory requirements. Additionally, it provides a good basis for decision-making when selecting transformers with low loss values.

KEYWORDS: transformer design, power losses, efficiency, costs

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันการใช้พลังงานอย่างประหยัดเป็นสิ่งที่สำคัญ ต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงานมีความผันผวน ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคส่วนต่างๆ เช่น ภาคการผลิต ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น [1] ในภาคอุตสาหกรรมก็จะมีปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ลดค่าความสูญเสียให้ต่ำลง หม้อแปลงไฟฟ้าจึงนับเป็นเครื่องจักรที่สำคัญที่สามารถลดค่าความสูญเสียได้ ทางด้านไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการปรับปรุงข้อกำหนดรายละเอียด (Specification) [2] ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีค่าความสูญเสียต่ำกว่าเดิม และปรับลดอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันหม้อแปลงและขดลวดให้มีค่าต่ำลง ทางบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าจึงต้องทำการออกแบบและสร้างหม้อแปลงให้มีคุณสมบัติ (Specification) เป็นไปตามข้อกำหนดใหม่ และมีต้นทุนวัสดุต่ำ โดยกล่าวถึงงานวิจัยของ Suechoey [3] ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาและปรับปรุงการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าให้ทนต่อสภาวะการใช้งานโหลดเกิน และทนต่อการลัดวงจร งานวิจัยของ Suechoey [4] ได้นำเสนอแนวทางในการเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้มีขนาดที่เหมาะสมกับโหลดมีต้นทุนต่ำ ลดค่าพลังงานสูญเสีย โดยได้นำราคาเริ่มต้นของหม้อแปลง อายุการใช้งานอัตราดอกเบี้ย ค่าเสื่อมราคา ค่าความสูญเสียของหม้อแปลง และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย มาทำการวิเคราะห์หาค่าราคาของหม้อแปลงไฟฟ้า (Cost to Own Transformer; COT) งานวิจัยของ Dawood et al [5] ได้นำเสนอผลการศึกษาวิเคราะห์ราคาและตัวประกอบที่เหมาะสมในการออกแบบและผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า จากการปรับปรุงข้อกำหนดรายละเอียดของหม้อแปลง [2] อาจส่งผลให้ต้นทุนการผลิตหม้อแปลงสูงขึ้น การออกแบบและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ดีจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด มีค่าความสูญเสียต่ำ และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยพิจารณาถึง

ค่าต้นทุนวัสดุหลักในการผลิต ค่าความสูญเสียของหม้อแปลง และประสิทธิภาพของหม้อแปลงโดยให้มีจุดที่เหมาะสมให้มากที่สุด ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีต้นทุนวัสดุต่ำ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเลือกใช้หม้อแปลงให้เกิดประโยชน์สูงสุด ลดต้นทุนการผลิต และช่วยลดค่าพลังงานสูญเสียได้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง [4]

พลังงานสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลดและขณะจ่ายโหลด ค่าความสูญเสียหากมีค่ามากทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดลดลง สำหรับประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงเกิดขึ้นเมื่อค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลดเท่ากับขณะจ่ายโหลด ประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงสามารถพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ในการจ่ายโหลด ดังสมการที่ 1

$$\%Load = 100 \sqrt{\frac{No\ load\ loss}{load\ loss}} \quad (1)$$

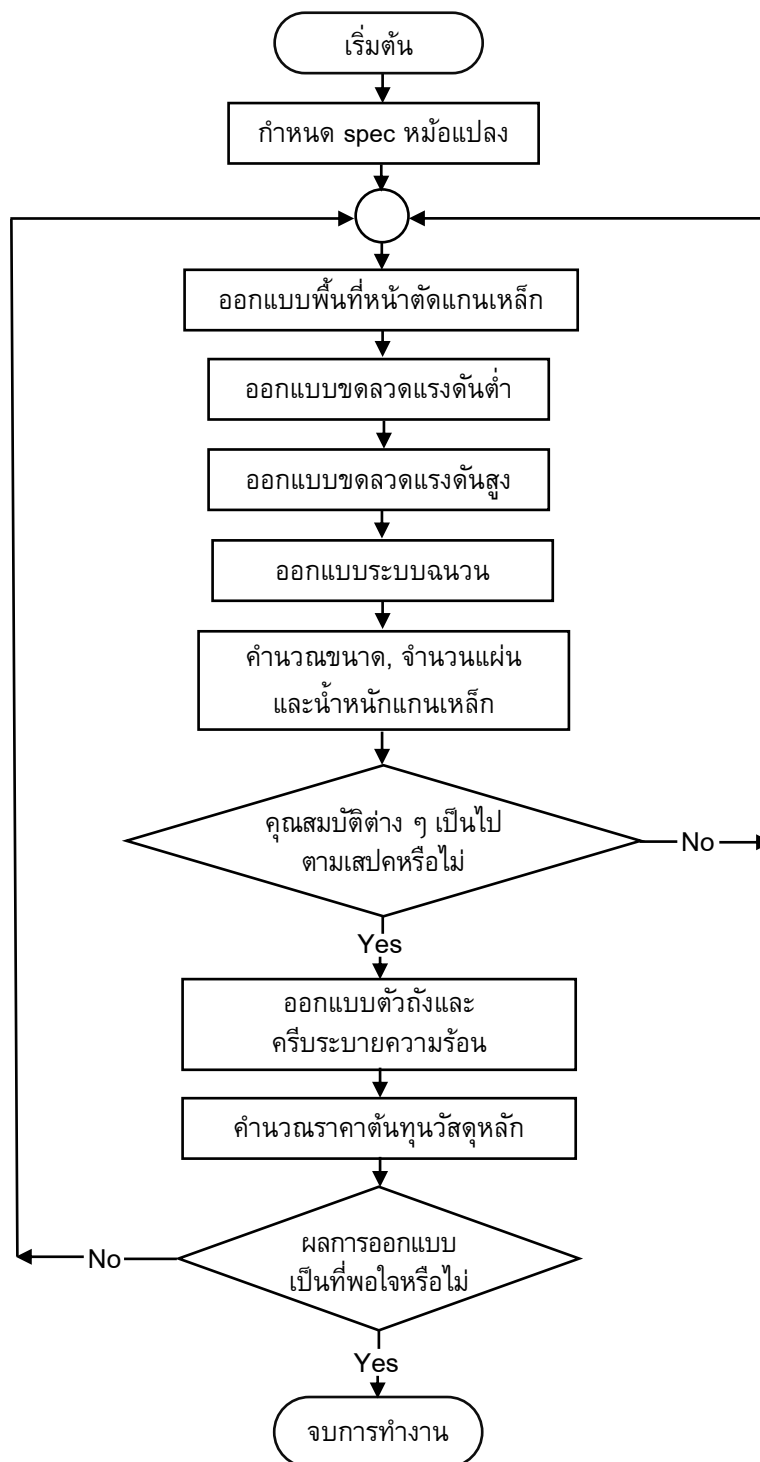
สำหรับค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงสามารถหาได้จากสมการ

$$Efficiency = \frac{Input - Losses}{Input} \times 100 \quad (2)$$

ค่าสูญเสียของหม้อแปลงจะถูกกำหนดโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงขนาด 250 kVA 22000-416/240V Dyn11 มีค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด 360 วัตต์ ขณะมีโหลด 2750 วัตต์ หรือมีค่าสูญเสียรวมเท่ากับ 3110 วัตต์ [2] หม้อแปลงขนาด 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม) 22000-400/230V Dyn11 มีค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด 860 วัตต์ ขณะมีโหลด 4950 วัตต์หรือมีค่าสูญเสียรวมเท่ากับ 5810 วัตต์ [6] และหม้อแปลงขนาด 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่) 22000-416/240V Dyn11 มีค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด 610 วัตต์ ขณะมีโหลด 4600 วัตต์ หรือมีค่าสูญเสียรวมเท่ากับ 5210 วัตต์ [2] ดังนั้นในการออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าจึงต้องทำการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนด และได้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีต้นทุนวัสดุต่ำ และมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ [7]

ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า มีขั้นตอนหลักในการออกแบบคือ ออกแบบแกนเหล็กของหม้อแปลง ออกแบบขดลวดและฉนวนของขดลวดแรงดันต่ำและแรงดันสูง คำนวณคุณสมบัติของหม้อแปลง และออกแบบตัวถังและครีบบระบายความร้อน รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะแสดงผลการออกแบบหม้อแปลงที่มีการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม และมีการติดตั้งในระบบจำหน่ายจำนวนมาก หม้อแปลง 3 Phase 50 Hz 22000-416/240V Dyn11 ขนาด 250 kVA และ 500 kVA ตามข้อกำหนดใหม่ [2] และหม้อแปลง 3 Phase 50 Hz 22000-400/230 V ขนาด 500 kVA ตามข้อกำหนดเดิม [6] ในการวิเคราะห์ได้ทำการออกแบบหม้อแปลงขนาดดังกล่าวให้มีค่าความสูญเสียที่แตกต่างกัน โดยปรับเปลี่ยนวัตถุดิบหลักคือแกนเหล็กและลวดตัวนำ ดังนั้นถ้าพิจารณาพารามิเตอร์ระหว่างต้นทุนวัตถุดิบหลัก กับค่าความสูญเสียสำหรับการออกแบบหม้อแปลงสามารถพิจารณาหาจุดที่เหมาะสมได้ ซึ่งจะส่งผลให้มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำและหม้อแปลงมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบหม้อแปลงให้มีค่าต้นทุนวัตถุดิบและค่าความสูญเสียที่ดีและเหมาะสมสำหรับการออกแบบหม้อแปลงในแต่ละแบบ (Design A - H) จำนวน 8 แบบ สามารถพิจารณาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับแบบมาตรฐาน ซึ่งมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุด โดยกำหนดให้แบบมาตรฐานมีค่าราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100% ผลการออกแบบแสดงได้ดังตารางที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของต้นทุนวัตถุดิบหลัก ค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 250 kVA (ข้อกำหนดใหม่) ที่ออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

Design	Cost (%)	Total Loss (%)	Efficiency (%)	Total loss (W)
A	127.26	93.97	98.87	2855.35
B	121.83	95.31	98.85	2896.11
C	115.11	96.21	98.84	2923.18
D	109.85	97.96	98.82	2976.62
E	103.50	98.82	98.81	3002.70
F	100.00	100.00	98.80	3038.50
G	102.32	100.78	98.79	3062.36
H	105.21	101.96	98.78	3098.18

หมายเหตุ: Design F คือ แบบมาตรฐานมีค่าราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100 %

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของต้นทุนวัตถุดิบหลัก ค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่) ที่ออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

Design	Cost (%)	Total Loss (%)	Efficiency (%)	Total loss (W)
A	129.66	95.52	99.04	4868.70
B	123.49	96.58	99.03	4922.72
C	116.93	97.51	99.02	4970.18
D	108.87	98.56	99.01	5023.80
E	105.32	99.31	99.00	5062.12
F	100.00	100.00	98.99	5097.16
G	102.93	101.21	98.98	5158.91
H	107.71	101.94	98.97	5196.22

หมายเหตุ: Design F คือ แบบมาตรฐานมีค่าราคาค่าต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100 %

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของต้นทุนวัตถุดิบหลัก ค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม) ที่ออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

Design	Cost (%)	Total Loss (%)	Efficiency (%)	Total loss (W)
A	129.18	95.35	98.92	5436.40
B	123.27	95.85	98.92	5464.50
C	117.51	96.81	98.91	5519.50
D	109.38	97.30	98.90	5547.60
E	104.61	99.06	98.88	5647.50
F	100.00	100.00	98.87	5701.30
G	103.28	100.97	98.86	5756.60
H	106.86	101.50	98.86	5787.10

หมายเหตุ: Design F คือ แบบมาตรฐานมีค่าราคาค่าต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100 %

จากตารางที่ 1, 2 และ 3 Design A ถึง H เป็นการออกแบบหม้อแปลงที่ดีที่สุดที่ค่าความสูญเสียและต้นทุนวัตถุดิบหลักที่แตกต่างกัน โดยหม้อแปลงมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกัน ในงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบที่ดีและเหมาะสมจะทำให้ได้หม้อแปลงที่มี

ค่าความสูญเสียต่ำ และมีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด การออกแบบที่มีค่าความสูญเสียมากไม่ได้แสดงว่าจะมีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด ราคาต้นทุนวัตถุดิบหลัก (Cost) จากตารางที่ 1, 2 และ 3 ได้จากการออกแบบหม้อแปลงที่ค่าความสูญเสียต่าง ๆ กัน โดยคำนวณราคาต้นทุนจากวัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างหม้อแปลงคือ แกนเหล็กซิลิคอน, ลวดตัวนำ, น้ำมันฉนวน (insulating oil) และกระดาษฉนวน ค่าต้นทุนวัตถุดิบหลักของหม้อแปลงจะลดลงเมื่อค่าความสูญเสียเพิ่มขึ้น จนกระทั่งค่าความสูญเสียมีค่าใกล้เคียงกับ Design F โดย Design F คือ หม้อแปลงที่ออกแบบให้มีราคาต่ำต้นทุนที่สุด ถ้าพิจารณา Design G และ H จะเห็นว่ามีความสูญเสียมากกว่า Design F แต่จะมีต้นทุนที่สูงกว่า โดย Design H จะมีค่าความสูญเสียใกล้เคียงกับข้อกำหนดมากที่สุด ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการออกแบบให้มีค่าความสูญเสียมาก หรือใกล้เคียงกับค่าความสูญเสียตามข้อกำหนดมากที่สุด อาจจะไม่ทำให้มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุด พารามิเตอร์ที่ทำให้ต้นทุนวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไปก็คือแกนเหล็กและลวดตัวนำ ถ้าพิจารณาสมการพื้นฐานของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในชุดขดลวดตั้งสมการที่ 3 [7]

$$E = 4.44fNAB_m \quad (3)$$

โดยที่ E คือ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (volt)

f คือ ความถี่ (Hz)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (Turn)

A คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิของแกนเหล็ก (m^2)

B_m คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Tesla)

จากสมการที่ 3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในชุดขดลวดคือ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กซิลิคอน จำนวนรอบของขดลวด และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวนี้จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของหม้อแปลง ดังนั้นในการออกแบบอย่างเหมาะสม จะต้องทำการปรับตัวแปรดังกล่าวให้มีความสัมพันธ์กันซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ของการออกแบบที่เหมาะสม (Optimum) มากที่สุด มีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงตัวอย่างที่ผลิตตามแบบมาตรฐาน (Design F) ที่มีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด ในการทดสอบจะทำการทดสอบประจำ (Routine test) และทดสอบอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันและขดลวดของหม้อแปลงผลการทดสอบหม้อแปลงทั้งสามเครื่องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด [2, 6-10] สำหรับตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100% [2, 6, 8-11]

ตารางที่ 4 คุณสมบัติและผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดโหลดของแบบมาตรฐาน

คุณสมบัติหม้อแปลงไฟฟ้า	250 kVA Design F ข้อกำหนดใหม่	500 kVA Design F ข้อกำหนดใหม่	500 kVA Design F ข้อกำหนดเดิม
High voltage (V)	22000	22000	22000
Low Voltage (V)	416/240	416/240	400/230
HV. Current (A)	6.560	13.12	13.12
LV. current (A)	360.84	693.93	721.69
Vector Group	Dyn 11	Dyn 11	Dyn 11
No Load Loss (W)	351.20	581.96	832.80
Load Loss (W)	2678.30	4515.20	4868.50
Total Loss (W)	3038.50	5097.16	5701.30
Short circuit impedance (%)	4.05	6.48	6.35
Voltage regulation (%)	1.16	1.10	1.16
Efficiency (%)	98.80	98.99	98.87
HV. Winding temp. rise (°C)	51.35	50.90	53.60
LV. Winding temp. rise (°C)	52.12	51.30	53.90
Top oil temp. rise (°C)	43.80	43.00	44.00

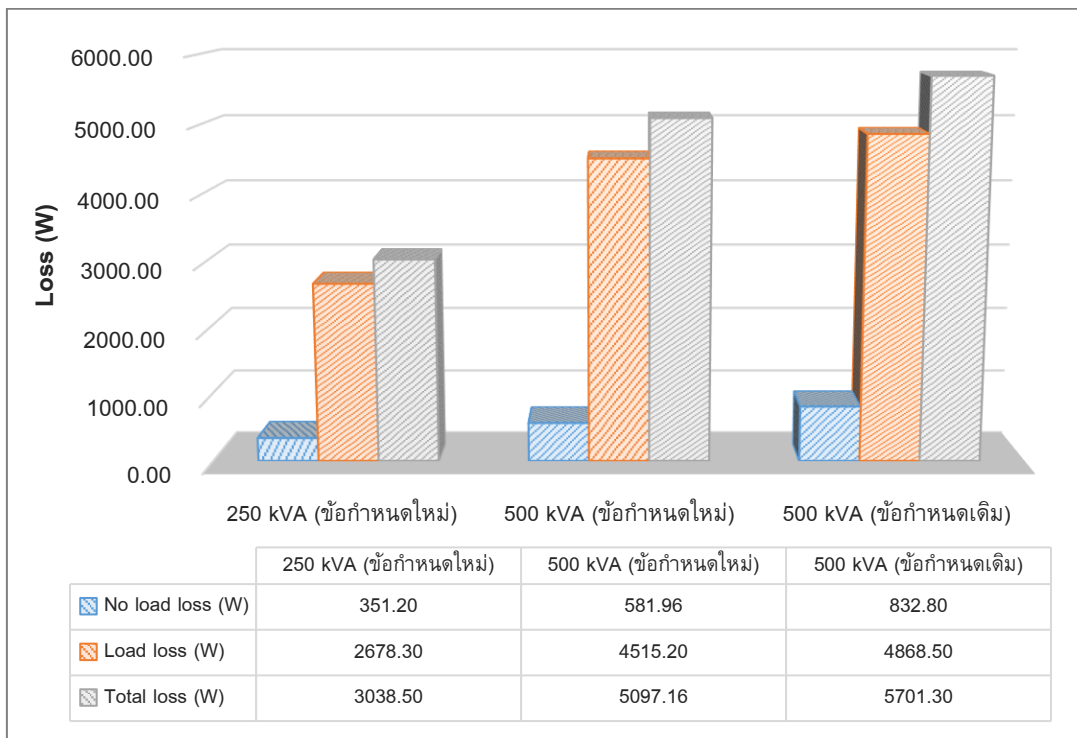
ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100% ของหม้อแปลง Design F ได้จากการทดสอบ

% Load Loss	% Load Loss ที่เพิ่มขึ้น		
	250 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดเดิม
0	0.00	0.00	0.00
10	100.00	100.00	100.00
20	300.00	300.00	300.00
30	125.00	125.00	125.00

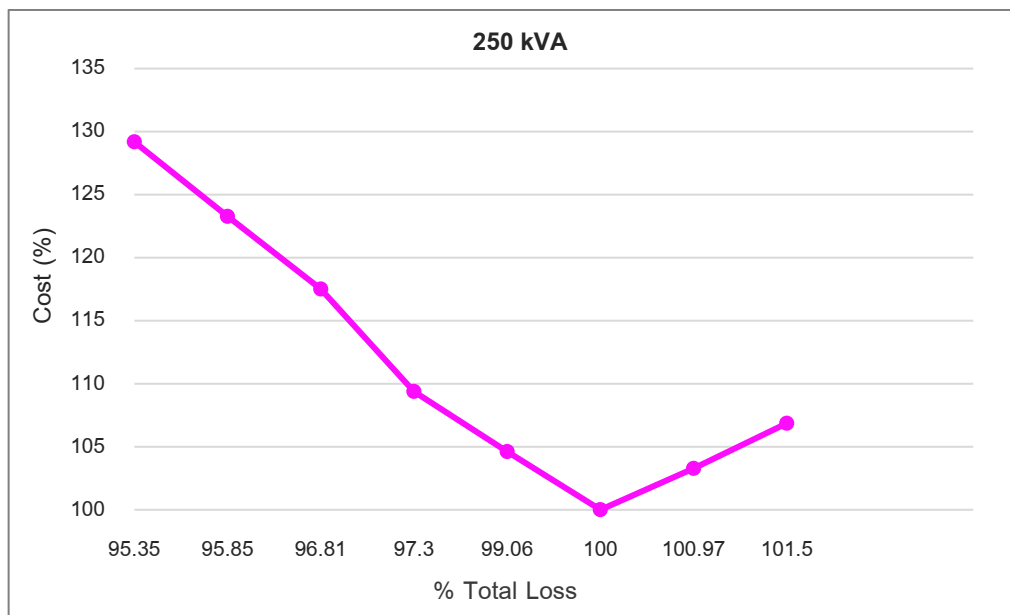
ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100% ของหม้อแปลง Design F ได้จากการทดสอบ (ต่อ)

% Load Loss	% Load Loss ที่เพิ่มขึ้น		
	250 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดเดิม
40	77.78	77.78	77.78
50	56.25	56.25	56.25
60	44.00	44.00	44.00
70	36.11	36.11	36.11
80	30.61	30.61	30.61
90	26.56	26.56	26.56
100	23.46	23.46	23.46

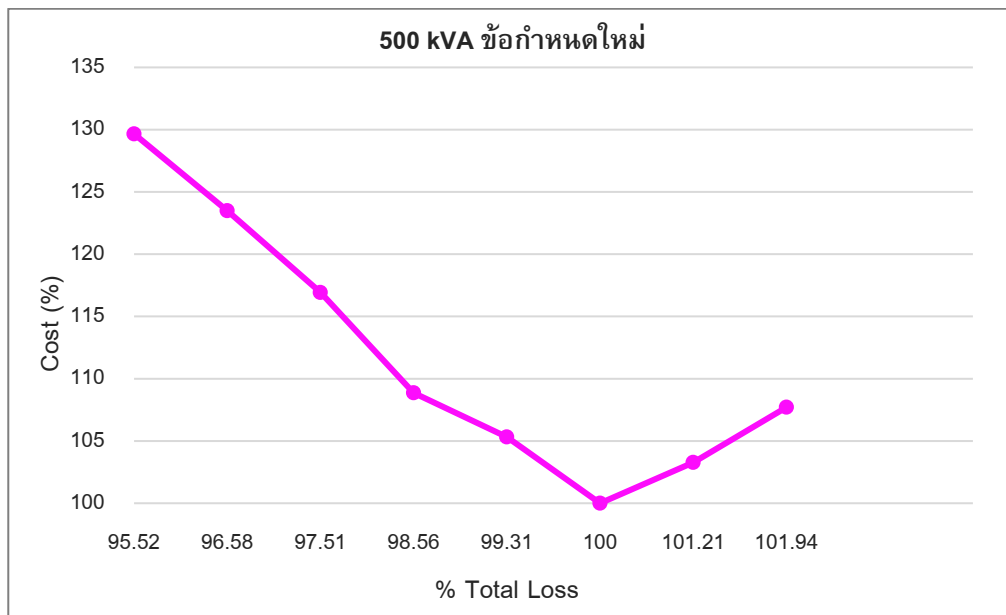
จากตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงตัวอย่างที่สร้างจาก Design F โดยทำการทดสอบหาค่าความสูญเสียขณะจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100 % ของพิกัดโหลด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดมากขึ้นจะทำให้มีค่าความสูญเสียเพิ่มสูงขึ้น ถ้าต้องการให้หม้อแปลงจ่ายโหลดโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โหลดได้ดังสมการที่ 1 จากหม้อแปลงตัวอย่างในงานวิจัยนี้หม้อแปลงจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด หม้อแปลง 250 kVA จะจ่ายโหลดประมาณ 36.21% หม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่) จ่ายโหลดประมาณ 35.90 % และหม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม) จ่ายโหลดประมาณ 41.36% รูปที่ 2, 3 และ 4 จะแสดงผลการทดสอบและเปรียบเทียบหม้อแปลงตัวอย่างโดยรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดที่พิกัดทั้งสามขนาด รูปที่ 3, 4 และ 5 แสดงการเปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง Design A ถึง H ของหม้อแปลงทั้งสามขนาด และรูปที่ 6, 7 และ 8 แสดงผลการทดสอบค่า Load Loss ที่เปอร์เซ็นต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลงตัวอย่าง



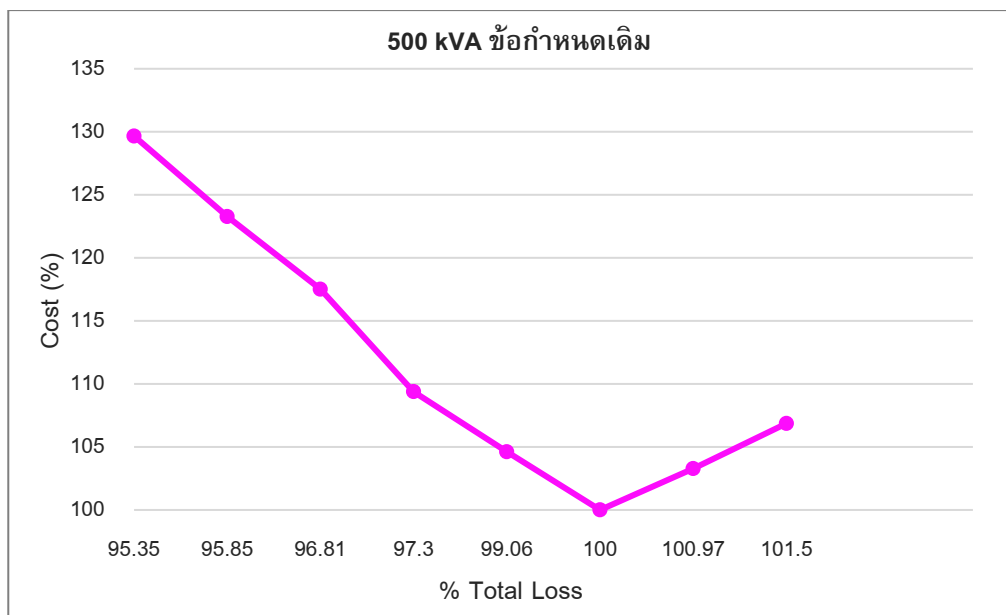
รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดที่พิกัด



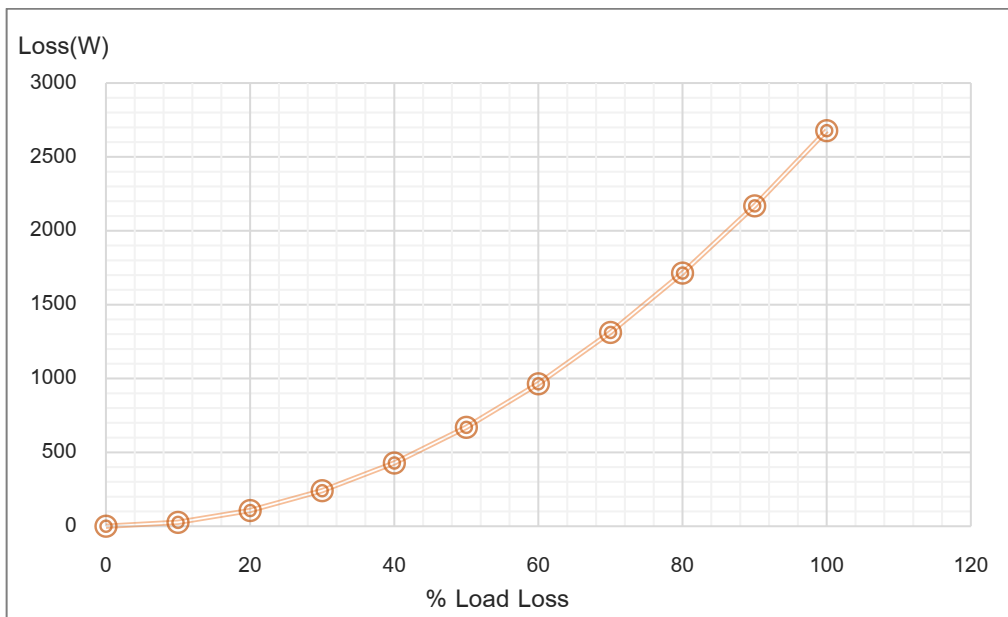
รูปที่ 3 เปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง Design A - H ขนาด 250 kVA



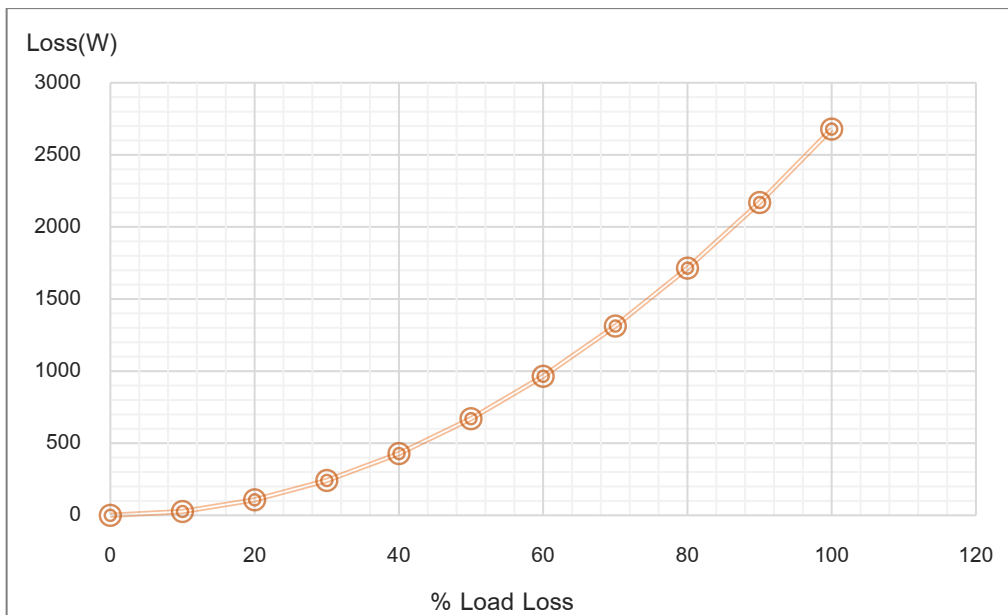
รูปที่ 4 เปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง Design A - H ขนาด 500 kVA ข้อกำหนดใหม่



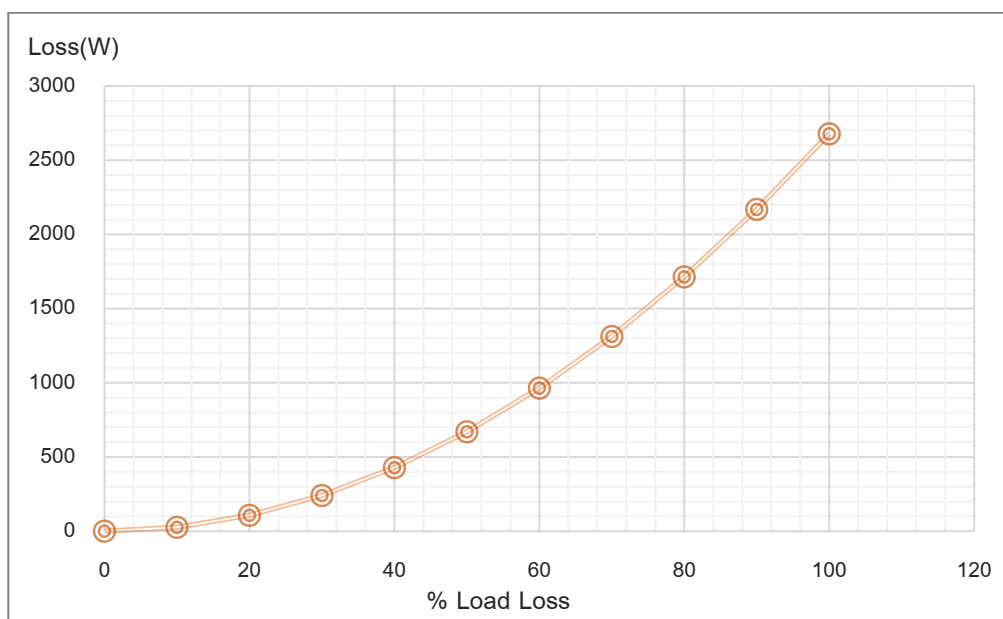
รูปที่ 5 เปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง Design A - H ขนาด 500 kVA ข้อกำหนดเดิม



รูปที่ 6 ผลการทดสอบ Load Loss ที่เปอร์เซ็นต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลง 250 kVA (ข้อกำหนดใหม่)



รูปที่ 7 ผลการทดสอบ Load Loss ที่เปอร์เซ็นต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่)



รูปที่ 8 ผลการทดสอบ Load Loss ที่เปอร์เซ็นต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม)

4. สรุป

จากตัวอย่างที่ศึกษาดังตารางที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าการออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพที่ดี มีค่าความสูญเสียต่ำและมีต้นทุนวัสดุต่ำ ผู้ออกแบบสามารถทำการพิจารณาผลลัพธ์ของการออกแบบโดยทำการเลือกวัสดุและปรับปรุงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้มีค่าที่เหมาะสมก็จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก การออกแบบหม้อแปลงให้มีค่าความสูญเสียต่ำส่งผลให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น มีค่า Regulation ต่ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลงได้

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดโหลดของแบบมาตรฐาน (Design F) ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ขนาด มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด [2, 6] จากตารางที่ 5 เมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความสูญเสียเพิ่มขึ้นสูงมาก ถ้ามีการวางแผนการจ่ายโหลดของหม้อแปลง ก็จะทำให้สามารถลดค่าพลังงานสูญเสียลงได้มากและยังช่วยให้หม้อแปลงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงลดลง ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงจ่ายโหลดที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6, 7 และ 8 ปริมาณของเปอร์เซ็นต์โหลดที่เหมาะสมที่ทำให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูงสุด คำนวณได้จากสมการที่ 1 โดยจะมีค่าเปอร์เซ็นต์โหลดประมาณ 35-42 % และยังทำให้สามารถลดค่าพลังงานสูญเสียลงได้อีกทางหนึ่ง ทำให้

หม้อแปลงทำงานต่ำกว่าพิกัดโหลดโดยจะส่งผลดีคือทำให้หม้อแปลงมีอุณหภูมิขณะทำงานต่ำ ทำให้น้ำมันที่ส่วนต่าง ๆ และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ของหม้อแปลงมีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น และยังมีการเผื่อโหลดสำหรับอนาคตได้ด้วย

เมื่อพิจารณาการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าดังตัวอย่างประกอบการพิจารณา เช่น ถ้ามีโหลด 420 kVA

(1) ถ้าเลือกหม้อแปลง 250 kVA จำนวนสองเครื่องจะจ่ายโหลดประมาณ 84 % ของพิกัด (จ่ายโหลดเครื่องละ 210 kVA)

(2) ถ้าเลือกหม้อแปลง 500 kVA จำนวนหนึ่งเครื่องจะจ่ายโหลดประมาณ 84 % ของพิกัด ดังนั้นสามารถพิจารณาค่าความสูญเสีย และประสิทธิภาพของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง เมื่อจ่ายโหลดประมาณ 84% ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลง 500 kVA และ 250 kVA เมื่อจ่ายโหลด 84% ของพิกัด

รายการ	500 kVA (ข้อกำหนดเดิม)	500 kVA (ข้อกำหนดใหม่)	250 kVA (แต่ละเครื่อง)
No-load loss (W)	832.80	581.96	351.20
Load loss (W)	3435.21	3185.93	1889.81
Total loss (W)	4268.01	3767.89	2241.01
Efficiency (%)	99.15	99.25	99.11

การจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่ต่ำกว่าพิกัดทำให้ความสูญเสียขณะจ่ายโหลดมีค่าลดลง ดังผลการทดสอบหม้อแปลงในรูปที่ 6-8 และตารางที่ 6 การคำนวณหาความสูญเสียที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลดสามารถหาได้ดังสมการที่ 4 [4]

$$Loss_{\%Load} = (\%Load)^2 \times Loss_{Rated} \quad (4)$$

โดยที่ $Loss_{\%Load}$ คือ ความสูญเสียขณะจ่ายโหลดที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของหม้อแปลง (วัตต์)

$\%Load$ คือ เปอร์เซนต์การจ่ายโหลดของหม้อแปลง (%)

$Loss_{Rated}$ คือ ความสูญเสียขณะจ่ายโหลดที่พิกัดของหม้อแปลง (วัตต์)

จากการเปรียบเทียบดังตารางที่ 6 พบว่าค่าความสูญเสียของหม้อแปลง 250 kVA จำนวนสองเครื่องจะมีค่าสูงกว่า 500 kVA เครื่องเดียว ทั้งข้อกำหนดเดิมและข้อกำหนดใหม่ จากหลักการที่

นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้หม้อแปลงให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยจะส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในการลงทุน ลดค่าความสูญเสียได้มากยิ่งขึ้น

จากผลการศึกษาวิเคราะห์นี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหม้อแปลงที่ขนาดพิกัดอื่น ๆ ได้และยังสามารถศึกษาวิจัยต่อไปได้ในเรื่องของการกำหนดโหลดในการใช้งานของหม้อแปลงก็จะสามารถลดค่าพลังงานสูญเสียลงได้อีกทางหนึ่ง และยังเป็นการยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงให้ยาวนานมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษาหม้อแปลงและยังช่วยให้ระบบจำหน่ายมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทพงษ์พิมานการไฟฟ้า จำกัด และบริษัท ที.ดี.ทรานสฟอร์เมอร์ จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- [1] Suechoey B, Siriporananon S, Wannaraj O. Impact analysis of a solar rooftop with batteries installed on the roof of an organic fertilizer plant. Kasem Bundit Engineering Journal 2022;12(2):51-66. (In Thai)
- [2] Provincial Electricity Authority of Thailand (PEA). Three-phase transformer for 22 kV and 33 kV distribution systems with ability to withstand short circuit, specification no. RTRN035/2561. Bangkok, Thailand: Provincial Electricity Authority Thailand; 2018. (In Thai)
- [3] Suechoey B. Analysis and design of distribution transformer for short circuit withstand capability. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(1):120-35. (In Thai)
- [4] Suechoey B. Estimating the economically optimal size of distribution transformer to suitable the load and reduce electrical power losses. Kasem Bundit Engineering Journal 2024;14(1):48-61. (In Thai)
- [5] Dawood K, Cakir MA, Komurgoz G, Tursun S. Cost analysis and economic factors in transformer design and production. Proceedings of the 8th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM); 2024 Nov 21-22; Medan, Indonesia. p. 303-7.
- [6] Provincial Electricity Authority of Thailand (PEA). Three-phase transformer for 22 kV and 33 kV distribution systems with ability to withstand short circuit, specification no. RTRN035/2558. Bangkok, Thailand: Provincial Electricity Authority Thailand; 2015. (In Thai)

- [7] Suechoey B. Design and use of distribution transformer. 8th ed. Bangkok, Thailand: Southeast Asia University; 2020. (In Thai)
- [8] International Electrotechnical Commission. IEC60076-1. Power transformer part 1: General. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission; 2011.
- [9] International Electrotechnical Commission. IEC60076-2. Power transformer part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission; 2011.
- [10] Suechoey B, Siriporananon S, Petchjarern N. Using artificial neural networks to analyze power losses of distribution transformer under normal load and over load conditions. Kasem Bundit Engineering Journal 2024;14(2):166-83. (In Thai)
- [11] Suechoey B, Siriporananon S. Power losses analysis in 3 phase distribution transformer in normal load and over load condition using artificial neural networks technique. Srinakarinwirot University Journal of Science and Technology 2023;15(29):249768. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



บุญเลิศ สือเฉย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการหลักสูตรปริญญา
ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 เบอร์โทรศัพท์
02-8074500 ต่อ 312 E-mail: tdlert@hotmail.com

Article History:

Received: February 14, 2025

Revised: April 23, 2025

Accepted: April 24, 2025