

สารบัญ

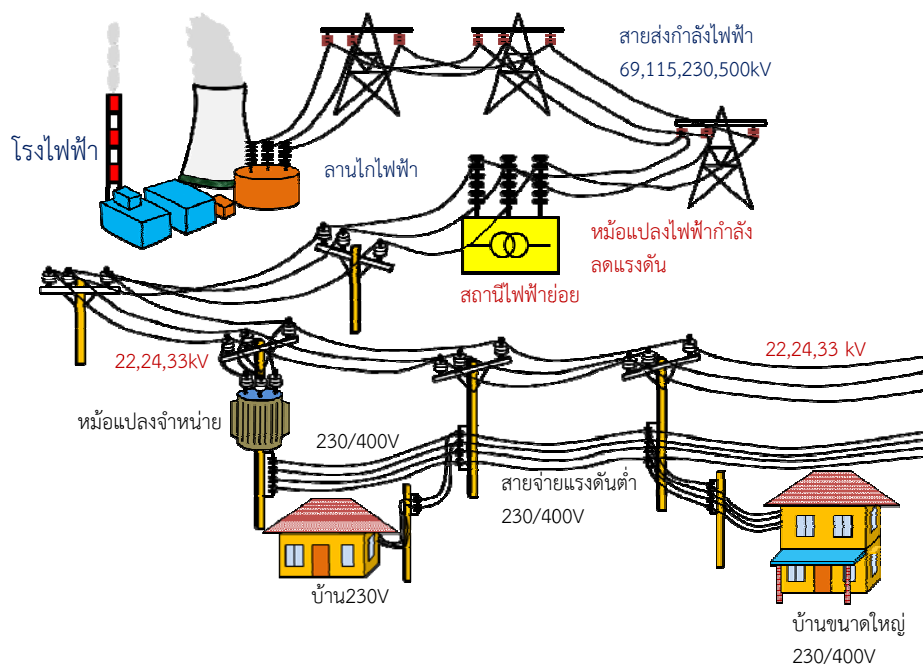
หัวข้อ	หน้า
1. ความรู้เบื้องต้นหม้อแปลงไฟฟ้า	1
2. ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	3
3. ส่วนประกอบของหม้อแปลง	5
4. ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า	13
5. นิยามที่ควรทราบ	14
6. การติดตั้งและการเลือกใช้หม้อแปลง	21
7. การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลง	35
บรรณานุกรม	39

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

1. ความรู้เบื้องต้นหม้อแปลงไฟฟ้า

ในการออกแบบ ควบคุมการติดตั้ง การอำนวยความสะดวก การตรวจสอบ ทดสอบ ของระบบไฟฟ้ากำลัง ไม่ว่าจะเป็นส่วนของการผลิตการส่งและการจำหน่ายนั้น อุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับของแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่ความถี่เท่าเดิมซึ่งอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด และแกนเหล็ก โดยพลังงานไฟฟ้าจะถ่ายทอดจากขดลวดด้านจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด (Instrument Transformer) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งก็คือหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากระบบ แรงดันปานกลาง (Medium Voltage) แรงดันไม่เกิน 33 kV ไปเป็นระบบแรงดันต่ำ (Low Voltage) เพื่อใช้งานมีขนาดพิกัดเป็น kVA ซึ่งจะแบ่งเป็นระบบ 1 เฟส 2 สาย 1 เฟส 3 สาย และระบบ 3 เฟส 4 สาย



รูปแสดงการส่งและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

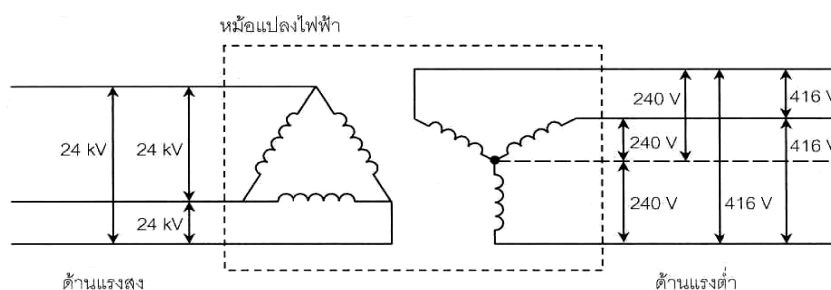
ระบบแรงดันและโหลดในการจ่ายไฟของการไฟฟ้า

ระบบจำหน่าย	กฟน.(MEA)	กฟภ.(PEA)
ระบบแรงสูง	>15000 kVA 69/115 kV 3Ph 3W	> 10000 kVA 115 kV 3 Ph 3W
ระบบแรงกลาง	≥300 – 15000 kVA 12/24 kV 3Ph 3W	≥ 250 – 10000 kVA 22/33 kV 3Ph 3W
ระบบแรงต่ำ	<300 kVA 240/416 V	< 250 kVA 230/400 V

การใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า

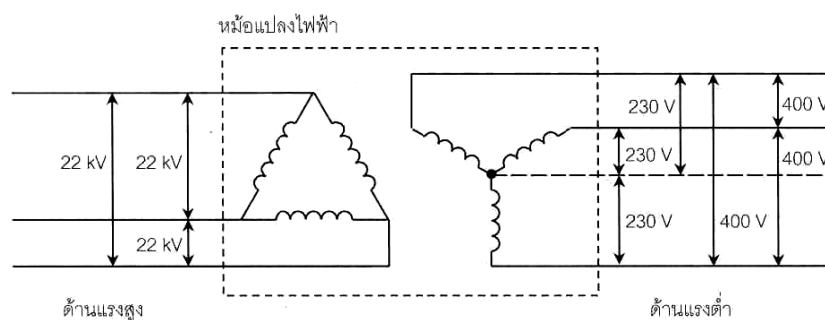
- การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority; MEA)

- แรงดันระบบจำหน่าย 24 kV หรือ 12/24 kV และแรงดันใช้งาน 240/416V, 3PH 3W
- Tapping Range : - 4x 2.5% (Off-Load Tap- Changer on HV Side)



- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority; PEA)

- แรงดันระบบจำหน่าย 22kV หรือ 33 KV และแรงดันใช้งาน 230/400V, 3PH 3W
- Tapping Range: $\pm 2 \times 2.5\%$ (Off-Load Tap Changer on HV Side)



ปัจจุบันค่าตัวเลขแรงดันไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า แรงดันที่ระบุ (Nominal Voltage) ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ วสท. ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าระบุเพียงค่าเดียวเช่น แรงดันไฟฟ้า 220/380 V และ 240/416 V ให้เหลือเพียงค่าเดียวคือ 230/400V เป็นต้น สำหรับประเทศไทย ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ชนิด 3 เฟส 4 สาย กำหนดเป็น 230/400 V และตามมาตรฐาน IEC จะใช้ค่าตัวเลขต่ำตามด้วยค่าตัวเลขสูง

- มาตรฐานหม้อแปลงไฟฟ้า
 - มอก.384-2543/TIS 384-2000
 - IEC 60076 Power Transformer
 - IEC 60076-1,2011 Part 1 : General
 - IEC 60076-2,2011 Part 2: Temperature Rise
 - IEC 60076-3,2000 Part 3 : Insulation Level and Dielectric Tests
 - IEC 60076-4,2002 Part 4 : Lightning and Switching Impulse
 - IEC 60076-5,2006 Part 5 : Withstand Short Circuit
 - IEC 60076-1,2004 Part 11 : Dry-type Transformer
 - IEEE C57.12.00-2000
 - General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers

2. ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบคือ

- หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid – Immersed Transformers)
- หม้อแปลงแบบแห้ง (Dry - Type Transformers)

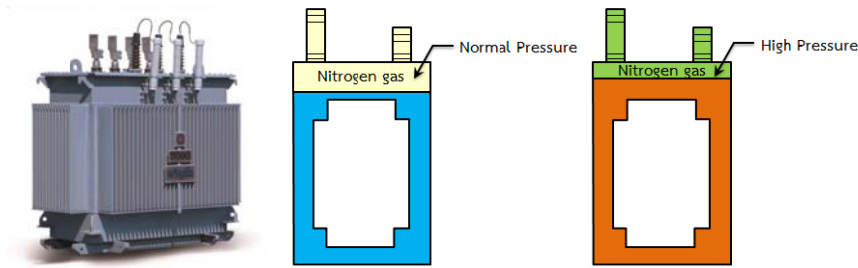
2.1 หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid - Immersed Transformers) หม้อแปลงที่ใช้ของเหลวเป็นฉนวนและตัวระบายความร้อนแบ่งเป็น

1. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (Flammable Liquid - Insulated Transformer) หรือเรียกว่า หม้อแปลงน้ำมัน (Oil Type Transformer) เป็นหม้อแปลง ที่ใช้น้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ซึ่งน้ำมันหม้อแปลงมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ราคาถูก การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก นิยมใช้กับงานภายนอกอาคาร ถ้านำมาติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง เนื่องจากน้ำมันสามารถติดไฟได้ โดยมีจุดติดไฟ (Fire Point) ที่ 165°C หม้อแปลงน้ำมันยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- แบบมีถังพัก (Open Type with Conservator) เป็นหม้อแปลงในระบบจำหน่ายชนิดดั้งเดิมซึ่งนิยมใช้มานาน ระบายความร้อนด้วยน้ำมันและมีท่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้ นอกจากนี้ยังมีสารซิลิกาเจล (Silica Gel) สีฟ้าใสเป็นตัวช่วยดูดความชื้น และเป็นตัวบ่งบอกความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

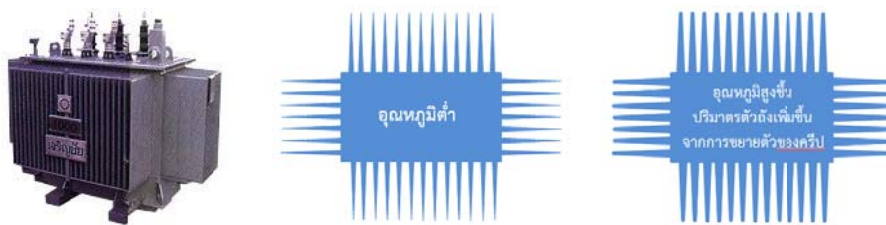
- แบบที่มีตัวถังปิดผนึก (Hermetically Sealed Tank) ในปัจจุบันได้มีการใช้หม้อแปลงที่มีตัวถังปิดผนึกมากขึ้น เนื่องจากหม้อแปลงแบบนี้ไม่มีถังพัก ไม่ต้องมีซิลิกาเจลไม่ต้องบำรุงรักษา จึงสามารถป้องกันความชื้นได้อย่างสมบูรณ์และเพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันขณะจ่ายโหลดหรือเกิดจากการลัดวงจร และหม้อแปลงปิดผนึกมีการออกแบบเป็น

- 1) หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงแบบนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีที่ว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน



รูปแสดง หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน

2) หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated Tank) หม้อแปลงแบบนี้จะออกแบบให้ผนังสามารถระบายความร้อนด้วยลอนคลื่นขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลงซึ่งในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากราคาถูก การบำรุงรักษาน้อยลงและความชื้นภายนอกไม่มีโอกาสเข้าสู่ภายในหม้อแปลงได้



รูปแสดง หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated)

2. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (Less Flammable Liquid Insulated Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ของเหลวที่ติดไฟยากเป็นฉนวนและระบายความร้อน โดยทั่วไปนิยมใช้สารซิลิโคน (Silicone) ซึ่งมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 300°C ไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีใช้น้อยแต่มีความปลอดภัยสูงกว่าหม้อแปลงน้ำมันและหม้อแปลงชนิดนี้อ่อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้ตามข้อกำหนด

3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (Non-Flammable Fluid - Insulated Transformer) เป็นหม้อแปลงที่มีการใช้น้ำมันน้อยและมีราคาแพงเพราะต้องระมัดระวังการนำฉนวนไม่ติดไฟมาใช้เนื่องจากอาจเป็นพิษต่อบุคคลได้

2.2 หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry - type Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนเป็นของแข็งนิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร มีความปลอดภัยจากการเกิดเพลิงไหม้สูง เนื่องจากหากหม้อแปลงเกิดระเบิดขึ้นจะไม่มีส่วนที่ติดไฟ หม้อแปลงชนิดนี้มีทั้งชนิดที่เป็นฉนวนเรซินแข็ง (Cast Resin) และฉนวนอากาศ (Air Cooled) แต่ที่นิยมใช้กันมากคือหม้อแปลง Cast Resin ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่มีระหว่างขดลวดอัดด้วย Cast Resin Reinforced Glass Fiber ซึ่ง Resin มีคุณสมบัติติดไฟได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C ทำให้หม้อแปลงชนิดนี้ติดไฟยากฉนวน Resin ต้องไม่เป็นพิษต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อม รวมถึงต้องอยู่ในสิ่งห่อหุ้ม (Enclosure) ด้วย



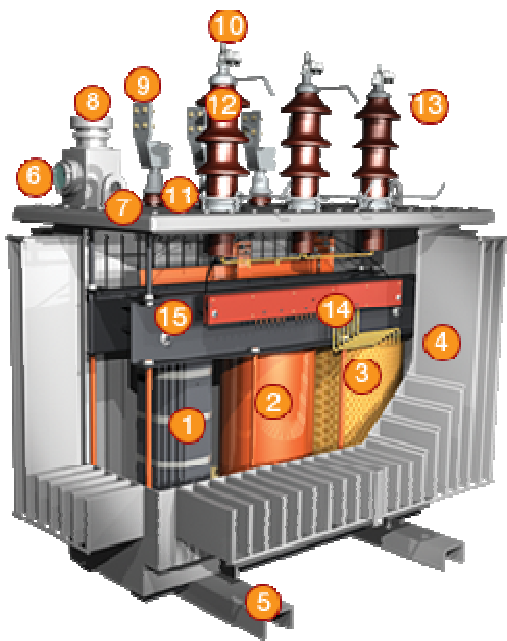
รูปแสดง หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer) และสิ่งห่อหุ้ม

3. ส่วนประกอบของหม้อแปลง

3.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมัน มีดังนี้

- แกนเหล็ก (Magnetic Core) เป็นแผ่นเหล็กซิลิคอนบาง ๆ วางเรียงซ้อนกันยึดด้วยแคล้มบน-ล่าง ทำหน้าที่เป็นวงจรเส้นแรงแม่เหล็ก
- ขดลวดแรงสูง-แรงต่ำ (High voltage - Low Voltage Winding) เป็นลวดทองแดงกลม/แบน เคลือบน้ำยาหรือหุ้มกระดาษฉนวนพันรอบแกนเหล็กขดลวดรับแรงสูงสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำขดลวดแรงต่ำ ทำหน้าที่เป็นวงจรไฟฟ้า
- แท็ปปรับแรงดัน (Tap Changer) เป็นชุดสวิตช์เปลี่ยนเพิ่ม/ลด จำนวนขดลวดแรงสูงเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าด้านจ่ายหรือแรงต่ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- สายไฟและบัสบาร์ (Cable and Busbar) เป็นสายไฟและบัสบาร์ทองแดงเชื่อมต่อเข้ากับชุดแท็ปขดลวดแรงสูงเชื่อมต่อปลายขดลวดแรงสูง-ต่ำระหว่างเฟสและปลายขดลวดกับแกนลูกถ้วย เพื่อเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าภายนอก
- น้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil) เป็นน้ำมันแร่ผสมทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและระบายความร้อนของขดลวดและแกนเหล็ก
- ถังและครีป (Tank and Fin) เป็นโลหะเชื่อมขึ้นรูปบรรจุส่วนประกอบภายในหม้อแปลงและน้ำมันหม้อแปลง มีครีปหรือลอนลูกฟูกสำหรับระบายความร้อนหรือรองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลงชนิดปิด
- ลูกถ้วยแรงสูง-แรงต่ำ (HV-LV Bushing) เป็นเซรามิคฉนวนมีแกนนำอยู่ภายในสำหรับเชื่อมต่อสายวงจรไฟฟ้าภายในตัวหม้อแปลงกับภายนอก
- ถังพักน้ำมัน (Conservator Tank) อยู่เหนือถังหม้อแปลง มีหน้าที่สำรองในถังลดหรือเพิ่มจากการขยายตัวของหม้อแปลงที่มีถังพัก (เฉพาะหม้อแปลงแบบมีถังพัก)
- ระดับน้ำมัน (Oil Level Gauge) เป็นเกจชี้แสดงระดับน้ำมันซึ่งอาจมีลักษณะเป็นร่อง เป็นท่อหรือเข็มหน้าปิด หม้อแปลงชนิดปิดจะมีลูกถ้วยชี้บอกการมีอยู่ของน้ำมัน
- อุปกรณ์ระบายความดันหรือท่อกันระเบิด (Pressure-Relief Device) เป็นกลไกสปริงเมื่อความดันภายในหม้อแปลงสูงจนชนะแรงสปริง ความดันจะระบายออก
- บุคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz Relay) เป็นอุปกรณ์ป้องกันทำหน้าที่เตือนหรือตัดวงจรเมื่อเกิดเหตุไม่ปกติภายในหม้อแปลง(เฉพาะหม้อแปลงแบบที่มีถังพัก)

- ขั้วต่อสายแรงสูง-แรงต่ำ (HV-LV Terminal) เป็นที่ต่อสายระหว่างแกนลูกถ้วยหม้อแปลงกับสายแรงสูงเข้าและแรงต่ำออกไปใช้งาน
- ล่อฟ้าหรืออาร์คชิ่งฮอร์น (Arcing Horn) เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงมิให้ชำรุดเสียหายจากภาวะแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า
- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer Pocket) เป็นตัววัดอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง
- ที่ต่อสายดิน (Earthing Terminal) เป็นจุดที่ต่อสายจากตัวถังลงสู่ดินเพื่อความปลอดภัยจากไฟรั่ว ลัดวงจร ฟ้าผ่า
- วาล์วถ่ายน้ำมัน (Oil Drain Valve) เป็นวาล์วเปลี่ยนถ่ายน้ำมันออกจากน้ำมันหรือแปลงหรือเป็นวาล์วเปิดเก็บตัวอย่างน้ำมันทดสอบ



1. Magnetic Core (แกนเหล็ก)
2. Low Voltage Winding (ขดลวดแรงต่ำ)
3. High Voltage Winding (ขดลวดแรงสูง)
4. Corrugated Tank (ตัวถัง และครีบบระบายความร้อน)
5. Transformer Base (ฐานหม้อแปลง)
6. Oil Level Gauge (เกจวัดระดับน้ำมัน)
7. Lifting Eye (หูยกหม้อแปลง)
8. Pressure Relief Device (ท่อกันระเบิด)
9. Low Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงต่ำ)
10. High Voltage Terminal (ขั้วต่อสายแรงสูง)
11. Low voltage Bushing (ลูกถ้วยแรงต่ำ)
12. High Voltage Bushing (ลูกถ้วยแรงสูง)
13. Arcing Horn (ล่อฟ้า)
14. Off-Load Tap Changer (แท็ปปรับแรงดัน)
15. Upper Steel Clamp (เหล็กหนีบแกนเหล็กด้านบน)

รูปแสดง ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงน้ำมันแบบ Corrugated Tank

- **แผ่นป้าย** เป็นป้ายที่บ่งบอกถึงข้อมูลต่าง ๆ ของหม้อแปลง ประกอบด้วย

- Rate kVA : มีขนาดกำลังที่กำหนดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดได้มีหน่วยเป็น kVA
- Phase : แสดงจำนวนเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น 1 เฟส 3 เฟส
- Frequency : แสดงความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ เช่น 50 Hz
- H.V. Volt : ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของหม้อแปลงด้านแรงสูงหรือด้านปฐมภูมิ เช่น 24,000 V
- L.V. Volt : ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดของหม้อแปลงด้านแรงต่ำหรือด้านทุติยภูมิ เช่น 416/240 V
- Type of Cooling : ระบบระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้าเช่น ONAN
- H.V. Amp. : กระแสไฟฟ้าที่กำหนดด้านแรงสูง
- L.V. Amp. : กระแสไฟฟ้าที่กำหนดด้านแรงต่ำ
- Ins. Oil : ชนิดน้ำมันที่ใช้ เช่น MINERAL OIL

- % Imp : ค่าอิมพีแดนซ์เทียบร้อยละ
- Ins. Class : ชนิดของฉนวนในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น Class A
- Oil Quantity : ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในหม้อแปลงทั้งหมดเป็นลิตร
- Total Weight : น้ำหนักรวมของหม้อแปลงไฟฟ้า (kg)
- Connection Diagram : แผนผังแสดงตำแหน่งของขั้วต่างๆของขดลวดด้านแรงสูงและแรงต่ำ
- Vector Diagram : แผนผังแสดงความแตกต่างของมุมเฟสระหว่างด้านแรงสูงแรงต่ำ
- HV. Side(Pos, Connect, Voltage) : ตำแหน่งแท่งที่ขดลวดสัมผัสกับแรงดันของขั้วต่อต่างๆ
ด้านแรงสูง
- LV. Side (Terminal, Voltage) : แรงดันที่ขั้วต่อด้านแรงต่ำ

RATED KVA.		STANDARD	
H.V. VOLT. 24000		IEC 60076	
H.V. AMP.		L.V. VOLT. 415 / 240	
PHASE 3 FREQUENCY 50		L.V. AMP.	
TYPE OF COOLING ONAN		%IMP. VOLT AT 75 °C	
VECTOR GROUP Dyn11		INS. OIL MINERAL OIL	
TYPE STEP DOWN		H.V. WINDING COPPER	
INS. CLASS A		L.V. WINDING COPPER	
TEMP. WINDING 65 °C		OIL QUANTITY	
TEMP. TOP OIL 60 °C		TOTAL WEIGHT	
AMB. TEMP 40 °C		SERIAL No.	
DATE			

H.V. SIDE			L.V. SIDE		
POS.	CONNECT	VOLTAGE	TERMINAL	VOLTAGE	
1.	5 - 4	24000	a TO b	415	
2.	5 - 3	23400	b TO c		
3.	6 - 3	22800	c TO d		
4.	6 - 2	22200	a TO c	240	
5.	7 - 2	21600	b TO n		

รูปแสดง แผ่นป้ายของหม้อแปลง

3.2 อุปกรณ์ประกอบหม้อแปลง

- ฟิวส์ (Fuse) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า จากภาวะการณ้ลัดวงจร (Short Circuit) หรือกระแสเกิน (Over Load) จะมีทั้งฟิวส์ด้านแรงสูง (ติดตั้งด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง) และฟิวส์ด้านแรงต่ำ (ติดตั้งด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง) ขนาดฟิวส์แรงสูงตามมาตรฐาน EEI-NEMA คือ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 140, 200 A



รูปแสดงฟิวส์แรงสูง (Dropout Fuse)

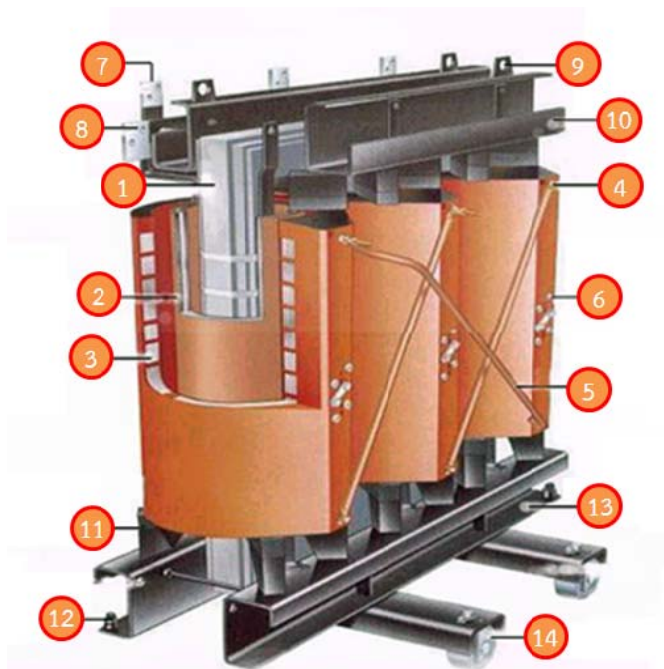
- ล่อฟ้า (Lightning Arrester) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์หรือระบบและสายส่งไม่ได้รับความเสียหายจากภาวะแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่เกิดจากฟ้าผ่าหรือการปลดสับสวิตช์



รูปแสดงล่อฟ้าแรงสูง (HV. Arrester)

3.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง

- แกนเหล็ก (Magnetic Core) แกนเหล็กของหม้อแปลงชนิดนี้จะทำด้วยแผ่น Laminations of Grain Oriented Silicon Steel นำมาตัดออกเป็นมุม 45 องศา แล้วประกอบเรียงเข้าด้วยกันอย่างพิถีพิถันเพื่อให้ได้ Core Loss ต่ำและอาบแกนเหล็กที่ประกอบขึ้นด้วย Resin และทาสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน
- ขดลวด (Winding) หม้อแปลงแห้งประกอบด้วยขดลวดหม้อแปลง 2 ชุด คือ ขดลวดแรงสูง (HV) และขดลวดแรงต่ำ (LV)
 - ขดลวดแรงสูง (HV) ตัวนำทำจากลวดกลม (Round Winding) หรือเป็นแผ่นตัวนำ (Strip Foil) และตัวนำสามารถใช้ได้ทั้งทองแดงและอลูมิเนียมตามมาตรฐานผู้ผลิต โดยจะมีฉนวนหุ้มระหว่างรอบตัวนำและจะมี Glass Fiber ขึ้นกลางเพื่อให้เกิดความแข็งแรงทางกลเพิ่มขึ้น ฉนวนที่ใช้จะเป็น Class F หรือ Class H ขดลวดที่ได้นี้จะนำไปหล่อด้วย Resin ภายใต้อุณหภูมิเพื่อให้สาร Resinแทรกไปทุกส่วนและไม่ให้มีฟองอากาศ
 - ขดลวดแรงต่ำ (LV) จะเป็นขดลวดที่จ่ายไฟให้กับโหลด ตัวนำที่ใช้ขดลวดแรงต่ำอาจใช้ทองแดงหรืออลูมิเนียมซึ่งมีรูปแบบเป็นแบบลวดกลม (Round Winding) หรือแผ่นตัวนำ (Strip Foil) คล้ายแรงสูงซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แผ่นตัวนำเพราะสามารถกระจายกระแสไฟที่ได้สม่ำเสมอ ฉนวนที่ใช้จะเป็น Class F (155°C) หรือ Class H (180°C)
 - อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ขั้วต่อสาย อุปกรณ์ปรับแท๊ป ฉนวนรองรับขดลวด ขั้วต่อสายดิน เหล็กประกบกับแกนเหล็ก ชุดล้อเลื่อน



1. Core (แกนเหล็กหม้อแปลง)
2. Low Voltage Winding (ขดลวดแรงต่ำ)
3. High Voltage Winding (ขดลวดแรงสูง)
4. High Voltage Terminal (หัวต่อสายแรงสูง)
5. High Voltage Delta Connection (บาร์ต่อวงจรเดลต้าด้านขดลวด)
6. High Voltage Tapping (อุปกรณ์ปรับแก้พิกัดไม่จ่ายไฟด้านแรงสูง)
7. Low Voltage Terminal (หัวต่อสายแรงต่ำ)
8. Neutral Terminal (หัวต่อสายนิวทรัลด้านแรงต่ำ)
9. Lifting Eyes (หูยกหม้อแปลง)
10. Upper Yoke Clamp (เหล็กประกบกับแกนเหล็กด้านบน)
11. Spacer Block (ฉนวนรองรับขดลวด)
12. Earthing Terminal (หัวต่อสายดิน)
13. Lower Yoke Clamp (เหล็กประกบกับแกนเหล็กด้านล่าง)
14. Roller Profile (ชุดล้อเลื่อน)

รูปแสดง ตัวอย่างส่วนประกอบของหม้อแปลงแห้ง

3.4 การป้องกันความร้อนหม้อแปลงแห้ง

หม้อแปลงแห้งชนิด Cast Resin จะต้องมียระบบป้องกันความร้อนเกินสำหรับขดลวด ระบบป้องกันความร้อนประกอบด้วยตัวรับสัญญาณ (Sensors) และรีเลย์ความร้อน (Temperature Relay)

- ตัวรับสัญญาณ (Sensors) ตัวรับสัญญาณทำด้วย PTC (Positive Temperature Coefficient) ซึ่งมันจะเปลี่ยนค่าความต้านทานตามอุณหภูมิ ตัวรับสัญญาณจะติดตั้งใกล้ขดลวดแรงต่ำมีจุดที่จะเกิดความร้อนสูงสุด ซึ่งตัวรับสัญญาณอาจจะจะมี 2 หรือ 3 ตัว ต่อเฟส และจะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ความร้อนให้ทำงาน เมื่ออุณหภูมิหม้อแปลงมีค่าสูงกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้โดยแต่ละตัวจะมีหน้าที่ดังนี้
 - ตัวรับสัญญาณตัวที่ 1 อุณหภูมิปรับตั้ง 90-110 °C
พัดลม (Fan) ทำงาน
 - ตัวรับสัญญาณตัวที่ 2 อุณหภูมิปรับตั้ง 130-140 °C
เตือน (Alarm) ทำงาน
 - ตัวรับสัญญาณตัวที่ 3 อุณหภูมิปรับตั้ง 150 °C
ตัดวงจร (Trip) ทำงาน

ตัวรับสัญญาณจะต่ออนุกรมกันแล้วต่อเข้ากับวงจรควบคุมของรีเลย์ความร้อน

- รีเลย์ความร้อน (Temperature Relay) รีเลย์ความร้อนจะรับสัญญาณจากตัวรับสัญญาณ เมื่ออุณหภูมิของหม้อแปลงมีค่าสูงกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้จะสั่งให้รีเลย์ทำงานซึ่งจะทำให้พัดลมทำงาน (Fan) การเตือน (Alarm) และการตัดวงจร (Trip) ตามลำดับ ตามอุณหภูมิที่ได้ปรับตั้งค่าไว้

3.5 เครื่องห่อหุ้ม (Protective Enclosure)

หม้อแปลงแห้งต้องติดตั้งไว้ในเครื่องห่อหุ้ม เนื่องจากส่วนที่เป็น Resin ของหม้อแปลง Cast Resin จะสัมผัสไม่ได้เพราะจะทำให้เกิดไฟช็อตจากแรงดันเหนี่ยวนำ สำหรับเครื่องห่อหุ้มที่ใช้ในอาคารตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยโดยของ วสท. กำหนดไว้ว่าเครื่องห่อหุ้มต้องมีค่าระดับการป้องกันไม่ต่ำกว่า IP 21 และถ้าต้องการความปลอดภัยมากขึ้นสามารถใช้ค่า IP สูงขึ้นได้ สำหรับเครื่องห่อหุ้มที่ใช้ภายนอกอาคารนั้น ต้องมีค่าระดับการป้องกันไม่น้อยกว่า IP 33



รูปแสดง เครื่องห่อหุ้ม (Protective Enclosure)

3.6 ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้ม

ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้ม คือ การกำหนดค่าความสามารถในการป้องกันวัตถุที่จะสอดเข้าไปในอุปกรณ์ไฟฟ้าและความสามารถในการป้องกันของเหลวเข้าไปในอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยกำหนดเป็นตัวเลขหลังอักษร IP

ค่า IP (Ingress Protection) กำหนดมาจากมาตรฐาน IEC 60529 หรือ มอก.513-2553 แสดงสัญลักษณ์ด้วย IP ตามด้วยตัวเลข 1 หรือ 2 ตามประเภทการป้องกัน เช่นเครื่องห่อหุ้มมีค่าระดับการป้องกัน IP33 หมายถึงของแข็งหรือวัตถุที่มีขนาดตั้งแต่ 2.5 มม. ไม่สามารถผ่านลอดเข้าไปข้างในได้และมีการป้องกันหยดน้ำ น้ำสาดในแนวทำมุม 60° กับแนวดิ่งได้ ดังรายละเอียดระดับการป้องกันตามตาราง

ตัวเลขตัวที่ 1		ตัวเลขตัวที่ 2	
ประเภทการป้องกันวัตถุจากภายนอก		ประเภทการป้องกันของเหลว	
เลข	ระดับการป้องกัน	เลข	ระดับการป้องกัน
0	ไม่มีการป้องกัน	0	ไม่มีการป้องกัน
1	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร เช่น สัมผัสด้วยมือ	1	ป้องกันหยดน้ำเฉพาะในแนวดิ่ง
2	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 12 มิลลิเมตร เช่น นิ้วมือ	2	ป้องกันหยดน้ำและน้ำสาดทำมุมไม่เกิน 15 องศา กับแนวดิ่ง
3	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตร เช่น เครื่องมือ เส้นลวด	3	ป้องกันหยดน้ำและน้ำสาดทำมุมไม่เกิน 60 องศา กับแนวดิ่ง
4	ป้องกันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร เช่น เครื่องมือเล็กๆ เส้นลวดเล็กๆ	4	ป้องกันน้ำสาดเข้าทุกทิศทาง
5	ป้องกันฝุ่น	5	ป้องกันน้ำฉีดเข้าทุกทิศทาง
6	ผนึกกันฝุ่น	6	ป้องกันน้ำฉีดอย่างแรงเข้าทุกทิศทาง
		7	ป้องกันน้ำท่วมชั่วคราว
		8	ป้องกันน้ำเมื่อใช้งานอยู่ใต้น้ำ

ตารางแสดงระดับการป้องกันตามฐาน IEC 60529 หรือมอก. 513-2553

3.7 การเพิ่มพิกัดของหม้อแปลงแห้งด้วยการใช้พัดลม

หม้อแปลงแห้งชนิด Cast Resin สามารถทำให้จ่ายโหลดได้เพิ่มประมาณ 30-40% ของพิกัดปกติของหม้อแปลงได้โดยการติดตั้งพัดลมช่วยในการระบายความร้อน เมื่อหม้อแปลงเริ่มจ่ายโหลดเกินพิกัด ตัวรับสัญญาณความร้อนที่ฝังอยู่ใกล้จุดความร้อนสูงสุดจะส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมรีเลย์ความร้อนทำงานและสั่งให้พัดลมทำงานเพื่อระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นออกไป พัดลมระบายความร้อนแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

- **แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านบน (Cover Mounted Fan ; CMF)** การติดตั้งพัดลมแบบ CMF นั้นพัดลมจะดูดลมโดยให้ผ่านตัวหม้อแปลงเพื่อทำความร้อนออกมา ดังนั้นเครื่องห่อหุ้ม (Enclosure) จะต้องออกแบบให้มีมิติเพื่อบังคับลมให้ผ่านตัวหม้อแปลง เครื่องห่อหุ้มในลักษณะนี้ใช้วิธีระบายความร้อนตามธรรมชาติ (AN) ได้ยาก ตัวหม้อแปลงจะร้อนมาก ๆ พัดลมที่ติดตั้งต้องมีขนาดใหญ่และทำงานบ่อย



รูปแสดง แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านบน

- **แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง (Cross Flow Fan ; CFF)** การติดตั้งพัดลมแบบ CFF พัดลมจะเป่าลมจากด้านล่างผ่านช่องอากาศ (Air Ducts) ระหว่างชุดลดแรงสูงและแรงต่ำและผ่านชุดลดด้านล่างนอก ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจะดีเครื่องห่อหุ้มนี้สามารถทำให้มีช่องระบายอากาศได้ หม้อแปลงจึงสามารถจ่ายโหลดแบบระบายความร้อนตามธรรมชาติ AN ได้เต็ม พักพัดลมจะทำงานในช่วงการทำงานเกินโหลดหม้อแปลงเท่านั้น พัดลมจึงมีขนาดเล็กและช่วงเวลาทำงานน้อย ในปัจจุบันการติดตั้งพัดลมแบบ CFF ได้รับความนิยมมากกว่าเพราะมีเหตุผลทางเทคนิคที่ดีกว่าแบบ CMF



รูปแสดง แบบติดตั้งพัดลมไว้ด้านล่าง

4. ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1 หม้อแปลงน้ำมัน (Hermetically Sealed) 3 เฟส แรงดัน 12 – 24 kV / 230 – 400V

หม้อ แปลง (kVA)	No- load Loss(W)	Load Loss at 75C(W)	Total Losses at 75C(w)	Impedance at 75° C (%)	ขนาด(มิติ) หม้อแปลง			Oil qty. (Litres)	Total Weight (kgs)
					H(mm)	L(mm)	W(mm)		
100	250	1550	1800	4	1140	930	635	160	585
160	360	2100	2460	4	1190	1070	680	215	845
250	500	2950	3450	4	1285	1080	735	255	1065
315	700	3900	4600	4	1310	1190	795	360	1395
400	850	4600	5450	4	1330	1245	825	390	1550
500	1000	5500	6500	4	1405	1420	855	480	1910
630	1200	6500	7700	4	1445	1490	970	565	2155
800	1300	10000	11300	6	1495	1790	1090	655	2555
1000	1600	13000	14600	6	1515	1840	1270	740	2845
1250	1800	15500	17300	6	1635	2050	1290	860	3595
1600	2100	19500	21600	6	1695	2130	1300	1010	4200
2000	2600	22500	25100	6	1845	2160	1390	1220	5200
2500	3000	26500	29500	6	2120	2310	1420	1465	6130

หมายเหตุ ข้อมูลหม้อแปลง เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละราย

4.2 หม้อแปลงน้ำมัน 1 เฟสแรงดัน 12 – 24 kV / 230V

หม้อ แปลง (kVA)	No- load Loss (W)	Load Loss at 75C(W)	Total Losses at75C (w)	Impedance at 75C (%)	ขนาด(มิติ) หม้อแปลง			Oil qty. (Litres)	Total Weight (kgs)
					H(mm)	L(mm)	W(mm)		
10	70	160	230	20	1180	550	460	45	160
20	110	330	440	20	1200	580	475	52	190
30	150	480	630	20	1230	610	490	60	220
50	190	740	930	22	1250	630	510	70	255
75	240	960	1200	22	1265	730	610	80	355

หมายเหตุ ข้อมูลหม้อแปลง เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละราย

4.3 หม้อแปลงแห้ง (Cast Resin Dry Type Transformer) 3 เฟส แรงดัน 24 kV / 230 – 400V

หม้อแปลง (kVA)	No-load Loss (W)	Load Loss at 75C (W)	Total Losses at 75C (w)	Impedance at 75C (%)	ขนาด(มิติ) หม้อแปลง			Noise Level (dB)	Total Weight (kgs)
					H(mm)	L(mm)	W(mm)		
400	1200	4850	6050	6	1460	1440	820	56	1350
500	1500	5500	6000	6	1460	1540	820	56	1550
630	1650	6900	8550	6	1500	1650	820	57	1800
800	1950	8300	10250	6	1600	1700	820	58	2200
1000	2300	9700	12000	6	1700	1700	1000	59	2643
1250	2750	11700	14450	6	1720	1760	1000	60	3650
1600	3100	14000	17100	6	1720	2050	1000	63	3650
2000	4100	17000	21200	6	2180	2060	1280	64	4750
2500	5000	20000	25000	6	2000	2220	1280	66	5604

หมายเหตุ - ข้อมูลหม้อแปลง เปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานผู้ผลิตแต่ละราย

- ขนาด ความกว้าง ยาว สูง และน้ำหนัก ยังไม่ได้รวมเครื่องห่อหุ้ม

5. นิยามที่ควรทราบ

5.1 ขนาดพิกัด (kVA) คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่หม้อแปลงสามารถจ่ายออกไปให้แก่โหลด โดยที่ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงมีอุณหภูมิไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งทดสอบได้โดยใช้ Temperature Rise Test

5.2 ค่าBIL (Basic Impulse Insulation Level) คือ ค่าที่แสดงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Impulse) ปกติจะเกิดจากฟ้าผ่า ถ้าแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิน BIL ฉนวนของหม้อแปลงจะชำรุดและใช้งานไม่ได้ หม้อแปลงจะต้องผ่านการทดสอบ BIL เพื่อทดสอบถึงความทนต่อแรงดันฟ้าผ่าก่อนที่จะนำมาใช้งาน สำหรับค่า BIL ตามมาตรฐาน IEC กำหนดค่า BIL ไว้ตามที่แสดงไว้ในตาราง

Rate Voltage (kV)	3.6	12	22-24	36
BIL (KV)	45	75	125	170

5.3 แรงดันพิกัด (Rate Voltage) คือ แรงดันที่จ่ายให้ทางด้านปฐมภูมิหรือแรงดันที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิขณะไม่มีโหลด เช่น 12KV/240-416V, 22KV/230-400V

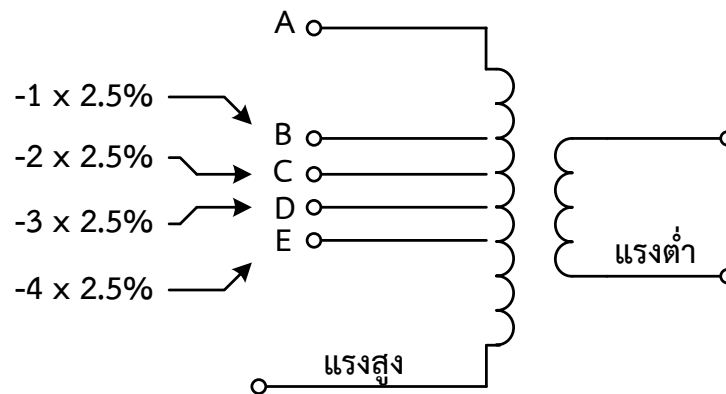
5.4 แทปเชนเจอร์ (Tap Changer) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ให้คงที่ หรือเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะงาน เช่นหม้อแปลงที่ใช้กับเตาหลอม เป็นต้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Off-Load Tap Changer และ On-Load Tap Changer

- Off-Load Tap Changer เป็นแทปที่ต้องดับไฟก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแทปใช้กับงานทั่วไป

- On-Load Tap Changer เป็นแท็ป ที่ใช้กับหม้อแปลงที่ต้องจ่ายไฟตลอดเวลา ไม่สามารถดับไฟ เพื่อปรับแท็ปได้ หรือถ้าดับไฟแล้วอาจจะส่งผลกระทบต่อธุรกิจหรือกระบวนการผลิตได้ มีราคาแพงกว่าหม้อแปลงแบบ Off-Load Tap Changer

5.5 การแท็ปแยกแรงดัน (Tappings) คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงได้ซึ่งจะคิดเป็นอัตราส่วนของแรงดันพิกัด (Rated Voltage) การปรับแท็ปแยกแรงดันนั้นต้องการให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลงสอดคล้องกับโหลดตามความต้องการการเปลี่ยนแท็ปจะเปลี่ยนทางด้านขดลวดแรงสูง ซึ่งจะง่ายกว่าการเปลี่ยนแท็ปด้านแรงต่ำ เพราะเมื่อแท็ปทางด้านแรงสูงจะมีกระแสอาร์กน้อย ค่าแท็ปกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันด้านไฟเข้า (Rate Primary Voltage) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

แท็ปแยกไว้เป็น $\pm 2 \times 2.5\%$ การไฟฟ้านครหลวงกำหนดการแท็ปแยกไว้เป็น $-4 \times 2.5\%$ ซึ่งหมายถึงเปลี่ยนได้ 4 ขั้น ขั้นละ -2.5% รวมแล้วได้ -10% เครื่องหมาย (-) หมายถึง เปลี่ยนแท็ปให้ทางด้านแรงสูงลดต่ำลง 4 ขั้น ขั้นละ 2.5% ทำให้แรงดันด้านแรงต่ำเพิ่มขึ้น 10%



รูปแสดง TAP $-4 \times 2.5\%$

มาตรฐานแท็ปของ กฟภ. $\pm 2 \times 2.5\%$

Tap No.	Pri.Volt (V)	Sec.Volt (V)	Ratio
1	23100	400	57.75
2	22550	400	56.25
3	22000	400	55
4	21450	400	53.625
5	20900	400	52.25

มาตรฐานแท็ปของ กฟน. $-4 \times 2.5\%$

Tap No.	Pri Volt (V)	Sec Volt (V)	Ratio
1	24000	416	57.69
2	23400	416	56.25
3	22800	416	54.81
4	22140	416	53.22
5	21600	416	51.92

ตัวอย่างการแท็ปแยกแรงดัน

หม้อแปลง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบ 22kV เมื่อวัดแรงดันด้านแรงต่ำได้ 390 V ต้องการแรงดันที่ 400 V และตำแหน่งแท็ปของหม้อแปลงอยู่ที่ แท็ป 3

วิธีทำ คำนวณ แรงดันด้านแรงสูง = แรงดันด้านแรงต่ำ $\times$ Ratio = $390 \times 55 = 21450$ V

คำนวณหา Ratio ที่ต้องการแรงดัน 400 V = $21450/400=53.63$

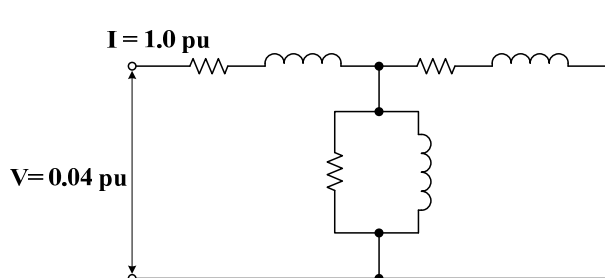
ต้องปรับตำแหน่งแท็ปไปที่แท็ป 4 (Ratio=53.625) จะได้แรงดันด้านแรงต่ำ = $21450/53.625 = 400$ V

หรือใช้วิธีเทียบ % แรงดันตก คือ % แรงดันตก = $(390-400)/400 \times 100 = -2.5\%$ ที่ตำแหน่งแท็ป 3 แท็ปแต่ละแท็ปต่างกันขึ้นละ 2.5% ดังนั้นต้องปรับจากแท็ป 3 ไปเป็นแท็ป 4 จะได้แรงดันด้านแรงต่ำที่ 400V

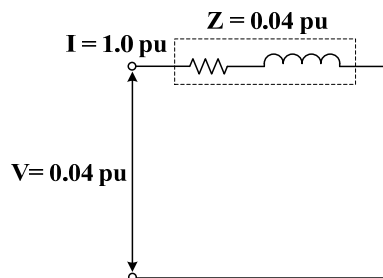
5.6 แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ (Impedance Voltage) คือ ค่าแรงดันที่ต้องการด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิที่ทำให้กระแสฟลักซ์ไหลผ่านในขณะที่ขดลวดด้านแรงต่ำหรือทุติยภูมิลัดวงจร โดยปกติจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันพิกัด (Rated Voltage) เช่น หม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ 4% ก็คือถ้าเกิดลัดวงจรด้านแรงต่ำหรือทุติยภูมิของหม้อแปลงแล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงสูงหรือปฐมภูมิ 4% ของแรงดันไฟฟ้าพิกัด (Rated Voltage) จะมีกระแสไหล 100% นั่นก็คืออิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงมีค่า 4% หรือ 0.04PU ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์รวมของขดลวดทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ

- หม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 50 KVA ถึง 630 KVA จะมี % อิมพีแดนซ์ = 4%

- หม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 800 KVA ถึง 2500 KVA จะมี % อิมพีแดนซ์ 6%

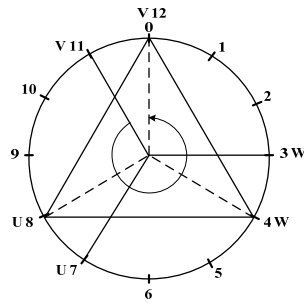


(ก) วงจรหม้อแปลงลัดวงจรด้านทุติยภูมิ

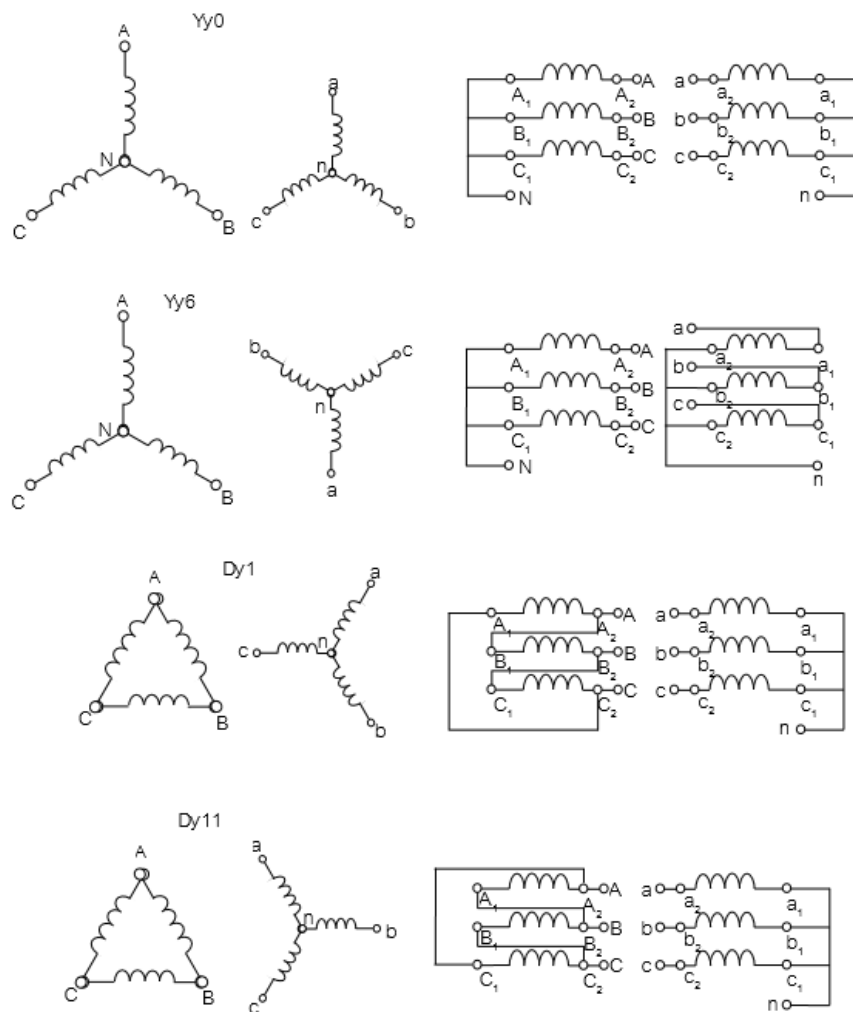


(ข) วงจรลัดรูปของรูป(ก)

วงจรสมมูลของหม้อแปลงและการลัดวงจร



Vector Group Dy11



รูปแสดงตัวอย่างการต่อขดลวดตาม Vector Group ต่างๆ

5.8 การระบายความร้อนของหม้อแปลง

ความร้อนที่เกิดจากการใช้งานและค่าสูญเสียภายในหม้อแปลงจะทำให้หม้อแปลงมีอายุการใช้งานที่สั้นลงหรือหม้อแปลงอาจจะชำรุดได้จึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากตัวหม้อแปลงและการระบายความร้อนที่ดีก็ทำให้หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้นด้วย การระบายความร้อนจากขดลวดมาที่ตัวถังจะอาศัยฉนวนหม้อแปลงเป็นตัวกลางระบาย การระบายความร้อนออกจากตัวหม้อแปลงสู่ภายนอกก็มีหลายวิธี และจะใช้สัญลักษณ์แสดงวิธีระบายความร้อนดังตาราง

การหมุนเวียนของตัวระบายความร้อน	สัญลักษณ์
โดยวิธีธรรมชาติ (Natural)	N
โดยวิธีขับหรืออัด (Forced)	F

ตัวกลางระบายความร้อน	สัญลักษณ์
น้ำมัน	O
ก๊าซ	G
น้ำ	W
อากาศ	A

การเขียนสัญลักษณ์ที่ Name Plate หม้อแปลงแสดงการระบายความร้อนจะเขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัว หรือ 4 ตัว



ตัวอย่างของการระบายความร้อน

- AF : หม้อแปลงชนิดแห้งระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ (Forced Air)
- AN : หม้อแปลงชนิดแห้งระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ (Air Cooled)
- ONAF : หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีอัดอากาศ
- ONAN : หม้อแปลงชนิดฉนวนน้ำมันระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ

5.9 กำลังสูญเสียทางไฟฟ้า (Power Loss)

หม้อแปลงมีกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วนคือ

- กำลังสูญเสียไฟฟ้าไม่มีโหลด คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Loss) เมื่อใช้งานหม้อแปลงที่แรงดันพิกัด โดยที่ขดลวดทุติยภูมิเปิดวงจรไว้ กำลังสูญเสียไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสาเหตุจาก Eddy Current Loss และ Hyteresis Loss ซึ่งค่า No Load Loss นี้มีค่าคงที่ที่แรงดันพิกัดและความถี่พิกัด
- กำลังสูญเสียไฟฟ้ามีโหลด (Load Loss) คือ กำลังสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) ของหม้อแปลงเมื่อต่อโหลดเข้ากับขดลวดทุติยภูมิ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเนื่องจากความต้านทานในขดลวด ซึ่งค่า Load Loss นี้จะแปรตาม I^2R หรือ $(kVA)^2$

ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงหลายแห่งได้ทำการออกแบบและผลิต Low Loss Transformer ทั้งการลด No Load Loss และ Load Loss เนื่องจากหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ต้องต่อกับระบบไฟฟ้าตลอดเวลาและใช้งานตลอดเวลา ดังนั้นถ้าสามารถลด Loss ของหม้อแปลงได้ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านค่าไฟฟ้าลงได้มาก

5.10 การทดสอบหม้อแปลง (Transformer Testing)

- มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ มอก., IEC, IEEE
- ประเภทการทดสอบ
 - การทดสอบประจำ (Routine Test)
 - การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)
 - การทดสอบพิเศษ (Special Test)
- **การทดสอบประจำ (Routine Test)** สำหรับหม้อแปลงน้ำมัน หม้อแปลงทุกลูกต้องผ่านการทดสอบประจำเพื่อให้แน่ใจว่าหม้อแปลงไม่มีการชำรุดเสียหาย ระหว่างการผลิตประกอบด้วย
 - การทดสอบอัตราส่วนของแรงดัน (Ratio Test) : IEC 60076-1
 - การทดสอบขั้วหรือสัญลักษณ์กลุ่มเวกเตอร์ (Polarity And Vector Group Test) : IEC 60076-1
 - การวัดความต้านทานของขดลวด (Winding Resistance Measurement) : IEC 60076-1
 - การทดสอบการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและกระแสขณะไม่มีโหลด (No Load Loss and No Load Current Test) : IEC 60076-1
 - การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเหนี่ยวนำเกิน (Induced Potential Test) : IEC 60076-3
 - การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกินจากแหล่งจ่ายตัวอื่น (Applied Potential Test) : IEC 60076-3
 - การทดสอบรอยรั่วซึมของน้ำมัน (Oil Leak Test) : IEC 60076-1
 - การทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมัน (Oil Dielectric Strength Test) : IEC 60156 or ASTM D877-02
- **การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)**
เป็นการนำหม้อแปลงต้นแบบแต่ละขนาด มาทำการทดสอบเพื่อแสดงว่าหม้อแปลงแต่ละขนาดได้มีการออกแบบที่ดี ประกอบด้วย
 - การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage Withstand Test) : IEC 60076-4
 - การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature Rise Test) : IEC 60076-2
- **การทดสอบพิเศษ (Special Test)**
เป็นการทดสอบตามความต้องการของลูกค้าหรือผู้ซื้อ ซึ่งมักจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นพอสมควร ประกอบด้วย
 - การทดสอบความทนทานต่อการลัดวงจร (Short Circuit Withstand Test) : IEC 60076-5
 - การทดสอบความดังของเสียงรบกวน (Audible Sound Level Test) : IEC 60076-10

6. การติดตั้งและการเลือกใช้หม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้า มีการติดตั้งเป็น 2 แบบ คือ

การติดตั้งภายในอาคาร แบ่งเป็น

- ติดตั้งไว้ในบริเวณที่จัดไว้สำหรับการติดตั้งหม้อแปลงโดยเฉพาะ
- ติดตั้งในห้องหม้อแปลง

การติดตั้งภายนอกอาคาร แบ่งเป็น

- บนเสาและนั่งร้านหม้อแปลง
- ลานหม้อแปลง
- เครื่องห่อหุ้ม

6.1 ข้อกำหนดเฉพาะการติดตั้งหม้อแปลงชนิดต่างๆ

หม้อแปลงและห้องหม้อแปลงจะต้องอยู่ในสถานที่ซึ่งบุคคลที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงเพื่อที่จะทำการตรวจสอบ ดูแล บำรุงรักษาหม้อแปลงได้โดยสะดวก หม้อแปลงที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดทั้งที่ติดตั้งภายในอาคาร ห้องหม้อแปลงหรือภายนอกอาคารมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของวสท. ได้มีข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการติดตั้งหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ ไว้ดังนี้

6.1.1 หม้อแปลงชนิดแห้ง

ติดตั้งในอาคาร (In Door)	ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง	ติดตั้งภายนอกอาคาร (Out Door)
- แรงดันไม่เกิน 33 kV - ขนาดไม่เกิน 112.5 kVA - ห่างจากวัสดุติดไฟไม่น้อยกว่า 0.30 ม. <u>ยกเว้น</u> - กันด้วยแผ่นกันความร้อน - อยู่ในเครื่องห่อหุ้มที่ปิดส่วนที่มีไฟฟ้าไว้มิดชิด	- แรงดันไม่เกิน 33 kV - ขนาดเกิน 112.5 kVA <u>ยกเว้น</u> - หม้อแปลงมีระบบทนอุณหภูมิฉนวน (Insulation System Temperature) ไม่ต่ำกว่า 150 C° หรือสูงกว่าและกันด้วยแผ่นกันความร้อนหรือติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟได้ไม่น้อยกว่า 1.80 ม. ในแนวนอนและ 3.60 ม. ในแนวตั้ง - หม้อแปลงมีระบบทนอุณหภูมิของฉนวนไม่ต่ำกว่า 150°C อยู่ในเครื่องห่อหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าไว้อย่างมิดชิด	- ต้องมีเครื่องห่อหุ้มที่ทนสภาพอากาศ - หม้อแปลงที่มีขนาดเกิน 112.5 kVA ต้องติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟไม่น้อยกว่า 0.30 ม.

6.1.2 หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้

ติดตั้งภายในอาคาร	ติดตั้งภายนอกอาคาร
- ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง <u>ยกเว้น</u> - หม้อแปลงใช้กับเตาหลอมไฟฟ้ามีขนาดไม่เกิน 75kVA หากไม่อยู่ในห้องหม้อแปลงต้องมีรั้วล้อมรอบและระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับรั้วต้องไม่น้อยกว่า 1.00 ม.	- หากติดตั้งหม้อแปลงใกล้กับวัสดุหรืออาคารที่ติดไฟได้หรือติดตั้งใกล้ทางหนีไฟ ประตู หรือหน้าต่าง ต้องมีการปิดกั้นเพื่อป้องกันไฟที่เกิดจากของเหลวของหม้อแปลงลุลงลามไปติดวัสดุหรือส่วนของอาคารที่ติดไฟได้ส่วนที่มีไฟฟ้าดันแรงสูงต้องอยู่ห่างจากโครงสร้างอื่นไม่น้อยกว่า 1.80 ม.

6.1.3 หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟยาก

ติดตั้งภายในอาคาร	ติดตั้งภายนอกอาคาร
- อาคารที่ติดตั้งเป็นอาคารที่ติดไฟได้หรือมีวัสดุติดไฟได้ในพื้นที่ที่ติดตั้งหม้อแปลง หม้อแปลงต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลงหรือต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติและมีการกั้นเก็บของเหลวที่ไหลออกมาโดยการทำบ่อพัก (SUMP) หรือทำที่กั้น - อาคารที่ติดตั้งเป็นอาคารไม่ติดไฟตาม TYPE I และ TYPE II ตาม NFPA 220-1985 หรือเทียบเท่าและไม่มีวัสดุที่ติดไฟได้ในพื้นที่ที่ติดตั้งหม้อแปลง ไม่ต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติแต่ต้องมีการกั้นของเหลวซึ่งอาจไหลออกมา - หม้อแปลงที่มีพิกัดแรงดันเกิน 33 KV ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง เท่านั้น	- หากติดตั้งหม้อแปลงใกล้กับวัสดุหรืออาคารที่ติดไฟได้หรือติดตั้งใกล้ทางหนีไฟ ประตู หรือหน้าต่าง ต้องมีการปิดกั้นเพื่อป้องกันไฟที่เกิดจากของเหลวของหม้อแปลง ลุกลามไปติดวัสดุหรือส่วนของอาคารที่ติดไฟได้ ส่วนที่มีไฟฟ้าดันแรงสูงต้องอยู่ห่างจากโครงสร้างอื่นไม่น้อยกว่า 1.80 ม.

6.1.4 หม้อแปลงฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และถ้าติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง โดยรายละเอียดการติดตั้งเป็นไปตามหัวข้อห้องหม้อแปลง

6.2 ห้องหม้อแปลง

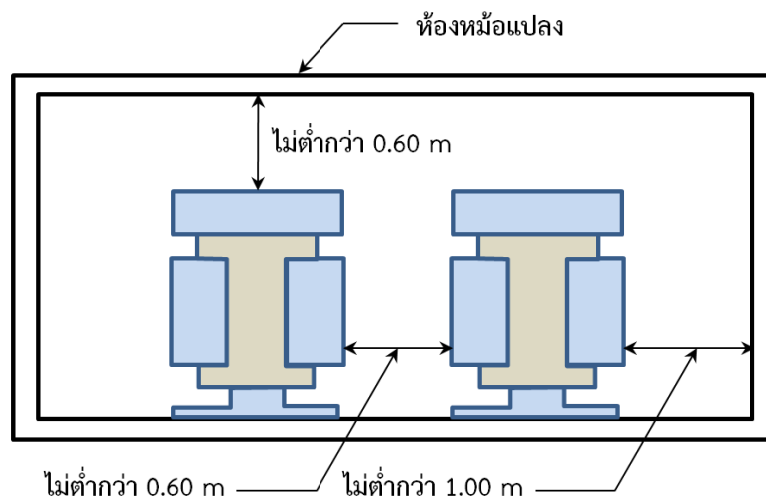
หลักในการพิจารณาในการออกแบบติดตั้งห้องหม้อแปลงของหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟและฉนวนของเหลวติดไฟยาก

6.2.1 ตำแหน่งที่ตั้ง จะต้องติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่สามารถขนย้ายหม้อแปลง เข้า – ออก ทั้งลูกได้ สามารถระบายอากาศสู่ภายนอกได้ หากใช้ท่อลมต้องเป็นชนิดทนไฟ ห้องหม้อแปลงต้องให้ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าถึงได้โดยสะดวกเพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษา

6.2.2 ระยะห่าง

ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงกับผนังหรือประตูห้องหม้อแปลง ต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 1.00 ม. ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงไม่ต่ำกว่า 0.60 ม. ที่วางเพื่อปฏิบัติงานบริเวณเหนือที่ตั้งหม้อแปลงหรือเครื่องห่อหุ้มของหม้อแปลงต้องไม่ต่ำกว่า 0.60 ม.



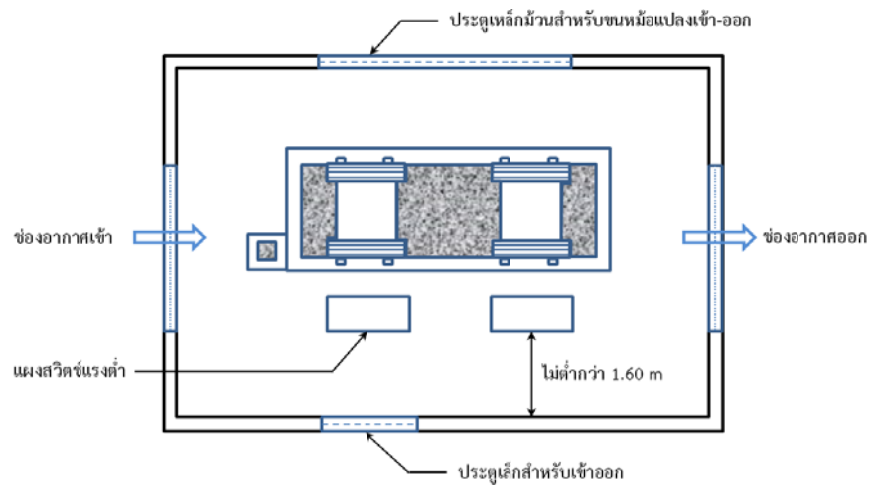
รูปแสดงระยะห่างสำหรับหม้อแปลง

6.2.3 การระบายอากาศ

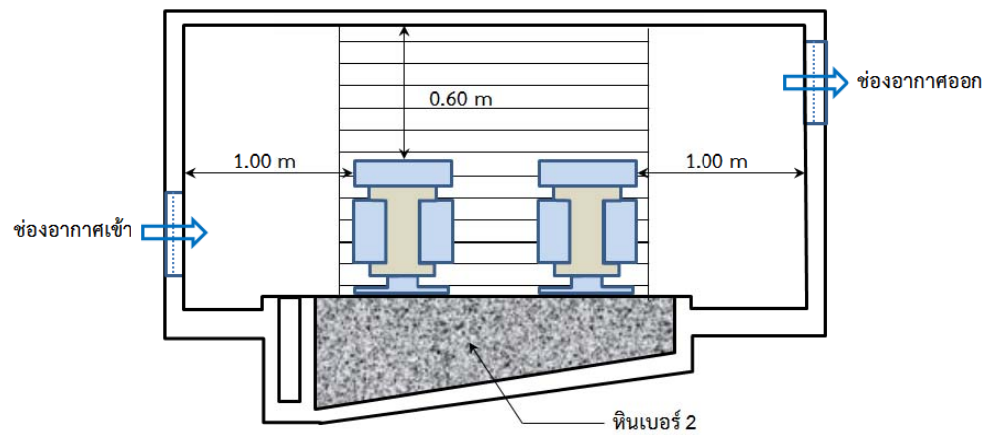
ช่องระบายอากาศควรอยู่ห่างจากประตู หน้าต่าง ทางหนีไฟและวัสดุติดไฟได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อุณหภูมิภายในห้องหม้อแปลงต้องไม่เกิน 40°C การระบายความร้อนในห้องหม้อแปลงสามารถทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศธรรมชาติ	ระบายความร้อนออกด้วยพัดลม	ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ
-ช่องระบายอากาศต้องมีทั้งทางด้านเข้าและด้านออก - พื้นที่ของช่องระบายอากาศแต่ละด้าน (เมื่อไม่ติดลวดตาข่าย) ต้องไม่น้อยกว่า 0.001 ตร.ม./kVA ของหม้อแปลงที่ใช้งาน ($\text{kVA}_{\text{TRANS}}$) และต้องไม่เล็กกว่า 0.05 ตร.ม. ปิดด้วยลวดตาข่าย <u>หมายเหตุ</u> ตำแหน่งช่องอากาศด้านเข้าต้องอยู่ใกล้พื้นห้องสูงไม่น้อยกว่า 0.10 ม. และด้านออกอยู่บนผนังด้านตรงข้ามใกล้เพดานหรือหลังคา	-ช่องระบายอากาศด้านเข้าต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 0.001 ตร.ม./kVA และไม่น้อยกว่า 0.05 ตร.ม. - ด้านอากาศออกใช้พัดลมที่สามารถดูดอากาศออก 8.40 ลบ.ม./นาท /หนึ่งกิโลวัตต์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ (kW_{LOSS})	-เครื่องปรับอากาศที่ใช้ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า $3412 \text{ BTU/หนึ่งกิโลวัตต์}$ ของค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงเมื่อมีโหลดเต็มที่ (kW_{LOSS}) -ไม่ต้องมีช่องระบายอากาศออก

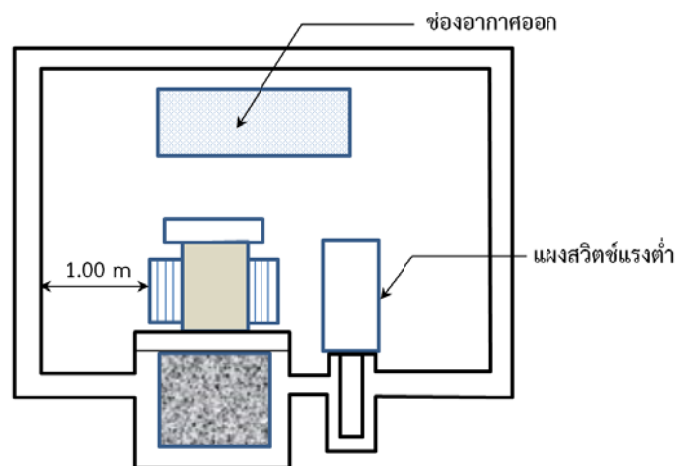
พื้นที่ช่องระบายอากาศ (C_{VENT}) $\geq 0.001 \times \text{kVA}_{\text{TRANS}}$ (ตร.ม.)	ขนาดความจุพัดลม (C_{FAN}) $\geq 8.40 \times \text{kW}_{\text{LOSS}}$ (ลบ.ม./นาท)	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (C_{AIR}) $\geq 3412 \times \text{kW}_{\text{LOSS}}$ (บีทียูต่อชั่วโมง)
---	---	---



แบบแปลน



ภาพตัด



ภาพตัด

รูปแสดง ระบบหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องหม้อแปลง

6.2.4 โครงสร้างของห้องหม้อแปลง

ผนังและหลังคาหม้อแปลง

- คอนกรีตเสริมเหล็กความหนาไม่น้อยกว่า 125 มม.
- อิฐ คอนกรีต คอนกรีตบล็อก ความหนาไม่น้อยกว่า 200 มม.

หมายเหตุ

ถ้าบริเวณที่ติดตั้งหม้อแปลงมีการติดตั้งเครื่องดับเพลิงอัตโนมัติ เช่น น้ำ ฮาลอน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ความหนาผนังสามารถลดลงได้คือคอนกรีตเสริมเหล็กความหนาไม่น้อยกว่า 65 มม. อิฐ คอนกรีต คอนกรีตบล็อก ความหนาไม่น้อยกว่า 100 มม.

พื้นห้อง

- คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 125 มม
- รับน้ำหนักหม้อแปลงและเครื่องอุปกรณ์อื่นๆ ได้อย่างปลอดภัย
- พื้นห้องต้องลาดเอียงและมีทางระบายฉนวนของเหลวของหม้อแปลงไปลงบ่อพัก (sump)

บ่อพักน้ำมัน (Sump)

- สามารถบรรจุปริมาณของเหลวของหม้อแปลงลูกที่มากที่สุด ($V_{FLUID\ MAX}$) ได้ไม่น้อยกว่า 3 เท่า
- ใส่หินเบอร์ 2 จนเต็ม
- ถ้าบ่อพักอยู่นอกห้องต้องมีท่อขนาดไม่เล็กกว่า 50 มม. ระบายของเหลวออกจากห้องหม้อแปลงไปลงบ่อพัก ปลายท่อด้านหม้อแปลงต้องปิดด้วยตะแกรง

$$\text{ปริมาตรความจุของบ่อพักน้ำมัน (C}_{SUMP}\text{)} \geq 3 \times V_{FLUID\ MAX} \text{ (ลิตร)}$$

ตัวอย่าง

หม้อแปลงน้ำมัน จำนวน 2 ลูก ขนาด 800 kVA (W1290 x L1840 x H1495 mm.) และ ขนาด 1250 kVA (W 1290 x L2050 x H1635 mm.) 22 kV ติดตั้งในห้องหม้อแปลง

จงคำนวณหา

1. ขนาดห้องหม้อแปลง
2. ขนาดช่องระบายอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนตามธรรมชาติ
3. ขนาดความจุพัดลมถ้าหม้อแปลงนี้ระบายอากาศออกด้วยพัดลม
4. ขนาดเครื่องปรับอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ
5. ขนาดบ่อพัก

วิธีทำ

1. ขนาดห้องหม้อแปลง

ตามข้อกำหนด ผนังห้องต้องอยู่ห่างจากหม้อแปลงไม่น้อยกว่า 1.00 ม. เพดานต้องสูงจากหม้อแปลงหรือเครื่องห่อหุ้มไม่น้อยกว่า 0.60 ม. และระยะห่างระหว่างหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 0.60 ม.

ขนาดห้อง กว้าง = 1,000 + 1,290 + 1,000 = 3,290 มม. หรือ 3.29 ม.

ยาว = 1,000 + 1,840 + 600 + 2,050 + 1,000 = 6,490 มม. หรือ 6.49 ม.

สูง = 1290 + 600 = 1,890 มม. หรือ 1.89 ม.

2. ขนาดช่องระบายอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยวิธีหมุนเวียนตามธรรมชาติ ขนาดช่องระบายอากาศ (C_{VENT}) $\geq 0.001 \times kVA_{TRANS}$ (ตรม.)
 $= 0.001 \times (800 + 1250)$
 $= 2.05$ ตร.ม.
3. ขนาดความจุพัดลมถ้าหม้อแปลงนี้ระบายอากาศออกด้วยพัดลม
 หม้อแปลงขนาด 800 kVA มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) $= 1300 + 10000 = 11300$ W.
 หม้อแปลงขนาด 1250 kVA มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) $= 1800 + 15500 = 17300$ W.
 รวมค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) $= 11300 + 17300 = 28600$ W หรือ $= 28.6$ kW
 ขนาดความจุพัดลม (C_{FAN}) $\geq 8.40 \times kW_{LOSS}$ (ลบ.ม./นาท.)
 $= 8.40 \times 28.6 = 240.24$ ลบ.ม./ นาท.
4. ขนาดเครื่องปรับอากาศถ้าหม้อแปลงนี้ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ
 รวมค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW_{LOSS}) $= 11300 + 17300 = 28600$ W หรือ $= 28.6$ kW
 ขนาดเครื่องปรับอากาศ (C_{AIR}) $\geq 3412 \times kW_{LOSS}$ (บีทียูต่อชั่วโมง)
 $= 3,412 \times 28.6 = 97,583$ บีทียู/ ชั่วโมง
5. ขนาดบ่อพัก
 ปริมาตรความจุของบ่อพักน้ำมัน (C_{SUMP}) $\geq 3 \times V_{FLUID MAX}$ (ลิตร)
 คิดจากหม้อแปลงที่มีปริมาตรน้ำมันมากที่สุด คือ ขนาด 1250 kVA $= 860$ ลิตร
 ขนาดบ่อพัก $= 3 \times 860 = 2580$ ลิตร หรือ $= 2.58$ ลบ.ม.

6.2.5 ส่วนประกอบอื่นๆ ของห้องหม้อแปลง

- ประตูต้องเป็นเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1.6 มม. ทนการผุกร่อนมีการจับยึดไว้อย่างแน่นหนา
- มีประตูฉุกเฉินสำรองชนิดที่เปิดออกภายนอกเป็นทางออกได้สะดวกและรวดเร็ว
- มีธรณีประตูสูงไม่ต่ำกว่า 0.10 ม. เพื่อป้องกันน้ำมันหม้อแปลงไหลออกเมื่อเกิดการระเบิด
- เครื่องปลดวงจรที่ตั้งในห้องหม้อแปลงต้องเป็นชนิดสวิตช์สำหรับปลดโหลด (Load Break)
- เครื่องห่อหุ้มส่วนที่มีไฟฟ้าทั้งหมด ต้องเป็นวัสดุไม่ติดไฟ
- ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง ตัวถังหม้อแปลง เครื่องห่อหุ้ม ต้องต่อลงดิน สายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงมีขนาดไม่ต่ำกว่า 35 มม²
- มีแสงสว่างเพียงพอไม่น้อยกว่า 200 ลักซ์
- มีเครื่องดับเพลิงชนิดที่ใช้ดับไฟจากไฟฟ้า (Class C) ขนาดไม่น้อยกว่า 6.5 กก. ติดตั้งไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง
- ห้ามมีระบบท่ออื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในห้องหรือผ่านห้องหม้อแปลง ยกเว้นท่อสำหรับระบบดับเพลิงหรือระบบระบายความร้อนของหม้อแปลง
- ควรมีป้ายเตือนแสดงข้อความ “อันตรายไฟฟ้าแรงสูง” และ “เฉพาะเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น” ให้เห็นอย่างชัดเจนติดไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง

6.2.6 ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ

ห้องหม้อแปลงนี้ใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับหม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้ แต่ไม่ต้องมีบ่อพัก แต่ต้องสามารถระบายน้ำ น้ำมันหรือฉนวนของเหลวของหม้อแปลงที่อาจรั่วไหลออกจากห้องได้ และความหนาของผนังห้องหม้อแปลงให้เป็นดังนี้

- คอนกรีตเสริมเหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 65 มม.
- อิฐทนไฟ คอนกรีต คอนกรีตบล็อก ต้องหนาไม่น้อยกว่า 100 มม.

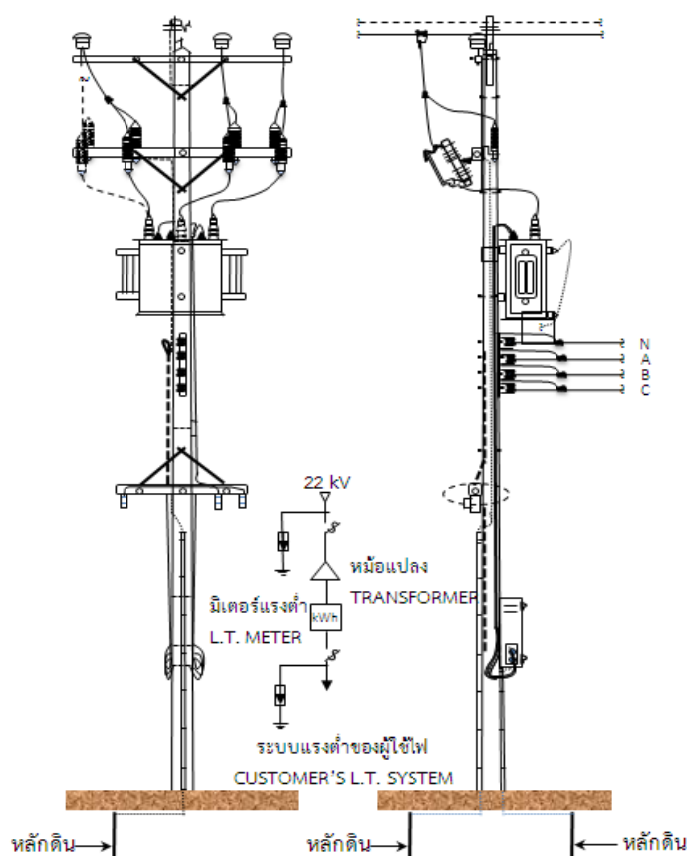
6.2.7 ห้องหม้อแปลงสำหรับหม้อแปลงชนิดแห้ง

ห้องหม้อแปลงนี้ให้ใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับหม้อแปลงฉนวนของเหลวไม่ติดไฟและไม่ต้องมีบ่อพักและท่อระบายของเหลว

6.3 การติดตั้งบนเสาและนั้งร้านหม้อแปลง

การติดตั้งหม้อแปลงของการไฟฟ้าฯ มี 3 แบบคือ

6.3.1 แบบแขวน ใช้สำหรับติดตั้งหม้อแปลง 1 เฟส และ 3 เฟส ขนาดตั้งแต่ 10-160 KVA และสูงสุดได้ถึง 250 kVA



รูปแสดงการติดตั้งหม้อแปลงแบบแขวน

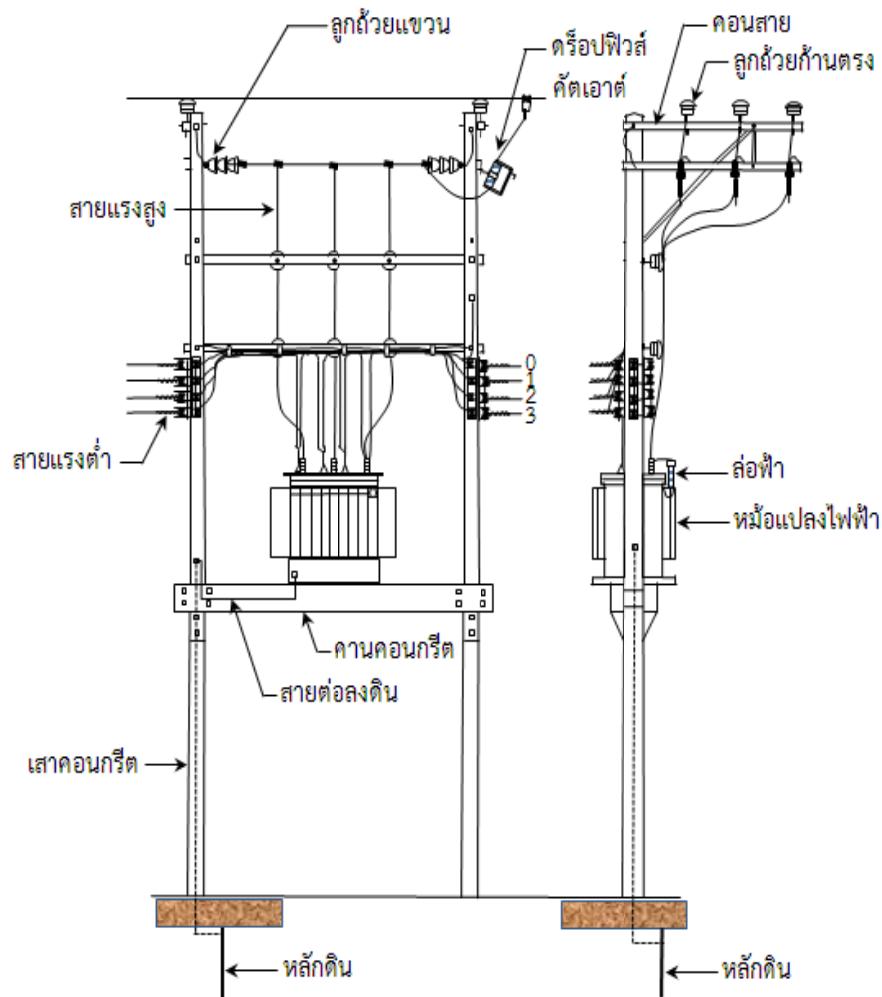
2. **แบบนั่งร้าน** ใช้สำหรับติดตั้งหม้อแปลง 3 เฟส โดยแบ่งตามความสามารถในการรับน้ำหนักได้

2 ขนาด คือ

1. ขนาดรับน้ำหนัก 4.5 ตัน

2. ขนาดรับน้ำหนัก 6.5 ตัน

ขนาดการรับน้ำหนักของนั่งร้านหม้อแปลงจะต้องสอดคล้องกันทั้งหมดทั้งชุดนั่งร้านหม้อแปลงซึ่งได้แก่เสาไฟฟ้า คานและอุปกรณ์ประกอบ และต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ รวมถึงวิศวกรในสาขาที่เกี่ยวข้องรับรองความมั่นคงแข็งแรง



รูปแสดงการติดตั้งหม้อแปลงแบบนั่งร้าน

6.4 ลานหม้อแปลง (Transformer Yard)

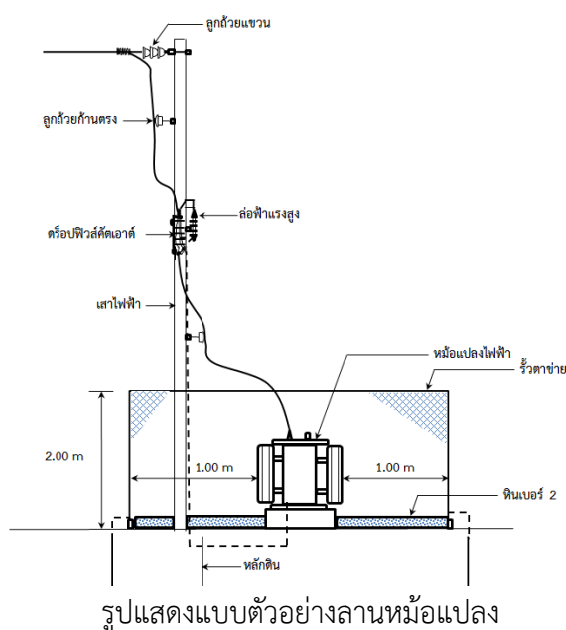
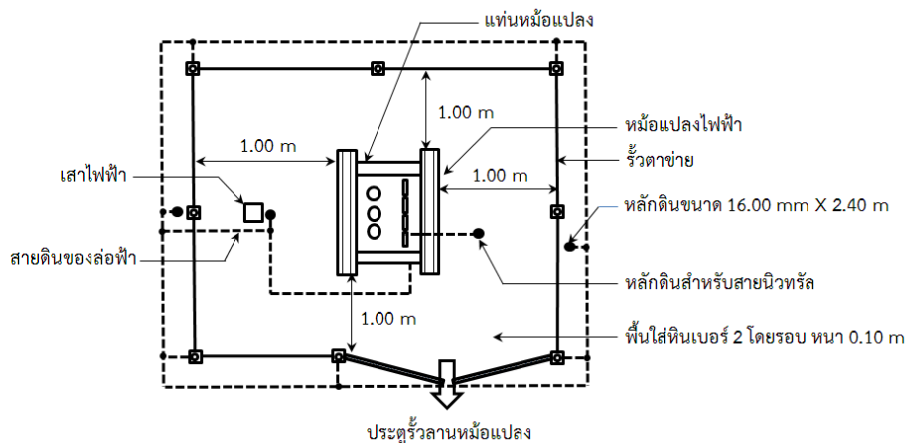
ลานหม้อแปลง เป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคารซึ่งต้องตั้งอยู่ในที่ล้อมซึ่งอาจจะเป็นกำแพงหรือรั้วที่คล้องกุญแจได้ และให้เข้าได้เพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาเฉพาะบุคคลหรือผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น

ข้อกำหนดของหม้อแปลงบนลานหม้อแปลง

ส่วนที่มีไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงสูงเหนือที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.75 เมตร หรือมีที่กั้น เพื่อป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าโดยไม่ได้ตั้งใจ

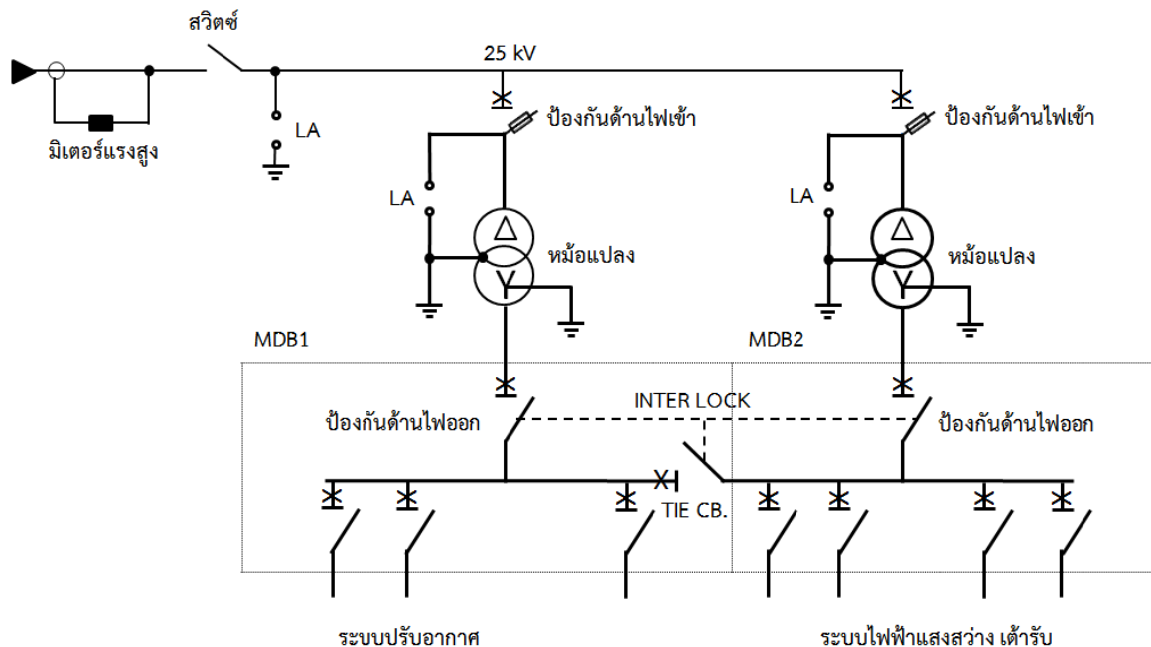
ก) ระยะห่างตามแนวระดับระหว่างรั้วหรือผนังกับส่วนที่มีไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงสูงต้องไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร สำหรับแรงดันไม่เกิน 33 เควี

ข) ระยะห่างตามแนวระดับระหว่างรูหรือผนังกับหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 1.00 เมตรระยะห่างระหว่างหม้อแปลงต้องไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร



หม้อแปลงต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งทางด้านไฟเข้า (Primary) และด้านไฟออก (Secondary) ของหม้อแปลงขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกินค่าที่กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท. สำหรับค่าที่คำนวณได้หากไม่ตรงกับขนาดหม้อแปลงตามมาตรฐานผู้ผลิตสามารถเลือกใช้ขนาดที่ใกล้เคียงที่สูงถัดขึ้นไปได้

ในกรณีที่มีการต่อขนานหม้อแปลง หม้อแปลงทุกคู่ต้องมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมือนกัน หม้อแปลงแต่ละคู่ต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ และต้องมีสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงที่สามารถปลดและสับหม้อแปลงได้พร้อมกัน



Electrical Single Line Diagram

รูปแสดงการจ่ายไฟระบบแรงสูงและการต่อขนานหม้อแปลง

6.5.1 การป้องกันกระแสเกินด้านไฟฟ้เข้า

มีไว้เพื่อป้องกันกระแสเกินอันเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรด้านแรงสูงหรือภายในตัวหม้อแปลงเองค่าปรับตั้งสูงสุดในตาราง ตามมาตรฐานถ้าใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเครื่องป้องกันกระแสเกินจะเลือกใช้ค่าสูงสุดไม่เกิน 4-6 เท่าของพิกัดกระแสด้านไฟฟ้เข้า ในกรณีเลือกใช้ฟิวส์เป็นเครื่องป้องกันกระแสเกินจะกำหนดให้ใช้ไม่เกิน 300% ของพิกัดกระแสด้านไฟฟ้เข้าของหม้อแปลง แต่ไม่ต่ำกว่า 125% ของพิกัดกระแสหม้อแปลงด้านไฟฟ้เข้า เพราะฟิวส์อาจจะขาดได้ การใช้งานจริงควรกำหนดค่าให้เหมาะสมและต้องคำนึงกระแสในขณะสับสวิตช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงตอนแรกที่มีกระแสสูงชั่วขณะ (Transformer Inrush Current) เครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟฟ้เข้าจะต้องทนค่ากระแสนี้ได้โดยไม่ขาดหรือปลดวงจรโดยทั่วไป ถ้าเลือกใช้ Fuse ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ จะใช้ขนาด 1.5 – 2.0 เท่า ของกระแสพิกัดไฟฟ้ด้านไฟฟ้เข้า

ขนาดฟิวส์แรงสูงตามมาตรฐาน IEE-NEMA คือ 1, 2, 3, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 140, 200 A

ขนาดอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง	ด้านไฟเข้า		ด้านไฟออก		
	แรงดันมากกว่า 750 V		แรงดันมากกว่า 750 V		แรงดันไม่เกิน 750 V
	เซอร์กิตเบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์
ไม่เกิน 6 %	600 %	300 %	300 %	250 %	125 %
มากกว่า 6 % แต่ไม่เกิน 10 %	400 %	300 %	250 %	225 %	125 %

ตารางแสดงขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลง

6.5.2 การป้องกันกระแสเกินด้านไฟออก

ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออก แบ่งออกเป็นแรงดันที่มากกว่า 1000 โวลต์ และแรงดันที่ไม่เกิน 1000 โวลต์ ซึ่งกำหนดให้ใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ก็ได้ และมีค่าไม่เกิน 125% ของพิกัดกระแสหม้อแปลงด้านไฟออก หากไม่ตรงกับขนาดตามมาตรฐานผู้ผลิต สามารถใช้ขนาดใกล้เคียงได้ แต่ต้องไม่เกินค่าปรับตั้งสูงสุดที่กำหนดไว้

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าจ่ายไฟให้กับอาคารหรือสถานประกอบการต่างๆ เมื่อคำนวณโหลดได้แล้ว จะต้องเลือกขนาดหม้อแปลงตามมาตรฐานที่สอดคล้องกับโหลด เช่น ขนาด 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 kVA เป็นต้น การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกของหม้อแปลงซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะกำหนดมาจากโหลดของหม้อแปลงที่คำนวณได้หรืออาจกำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินจากขนาดหม้อแปลงก็ได้โดยทั่วไปที่นิยมใช้ จะกำหนดจากเครื่องป้องกันกระแสเกินจากขนาดหม้อแปลง เพราะสะดวกกว่าและเป็นการสำรองสำหรับการเพิ่มโหลดในอนาคตด้วย แต่อย่างไรก็ตามสายไฟฟ้าเมนด้านแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงต้องสอดคล้องกับขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินด้วย

ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตามมาตรฐาน IEC ได้กำหนดค่า AF ไว้ดังนี้ คือ 63, 100, 125, 160, 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 (3200), 4000, 5000, 6300 A สำหรับค่า AT บริษัทผู้ผลิตจะผลิตออกมาหลายๆ ค่า แล้วแต่ความต้องการของบริษัทนั้นๆ

การกำหนดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกหรือแรงต่ำยังต้องคำนึงถึงค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (kA) ต้องไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ติดตั้งที่ขั้วทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดหม้อแปลง ค่า Impedance Voltage ของหม้อแปลง และความจุลัดวงจร (Short-circuit Capacity; MVA) ด้วย

ตัวอย่าง หม้อแปลงจำหน่ายขนาด 2000 kVA, 22kV/ 230-400V, %U = 6 % จงคำนวณหา Fuse ทางด้านแรงสูง (HV) Circuit Breaker ทางด้านแรงต่ำ (LV) และค่ากระแสลัดวงจรที่ขั้วแรงต่ำของหม้อแปลง

วิธีทำ

1. กำหนดขนาด Fuse ด้านแรงสูง
หากระแสโหลดเต็มที่ด้านแรงสูง

$$I = 2000/1.732 \times 22 = 52.48 \text{ A}$$

กำหนดขนาด Fuse ไม่ต่ำกว่า 125%และไม่เกิน 300 %

$$\text{ขนาด Fuse} = 125 \times 52.48 = 65.6 \text{ A}$$

เลือก Fuse ให้ตรงกับมาตรฐานการผลิตและเผื่อค่ากระแส Inrush (ทั่วไปนิยมใช้ 1.5-2.0 เท่าของกระแสไฟด้านเข้า) จะได้ขนาด 80A หรือใหญ่กว่าถัดขึ้นไป คือ 100A ก็ได้

2. กำหนดขนาด Circuit Breaker ด้านแรงต่ำ

ปรับตั้งไม่เกิน 125% ของกระแสฟัดหม้อแปลงด้านแรงต่ำ

$$I = 2000 \times 1000 / 1.732 \times 400 = 2886 \text{ A}$$

$$\text{กำหนดขนาด Circuit Breaker ที่ } 125 \% = 1.25 \times 2886 = 3607 \text{ A}$$

เลือกใช้ Circuit Breaker ขนาดสูงสุด 3600 AT- 4000 AF

3. ค่ากระแสลัดวงจรที่ชั่วแรงต่ำของหม้อแปลง

คิระบบไฟฟ้าเป็นแบบ Infinite Busและกระแสลัดวงจรแบบสมมูล

$$\text{สูตรกระแสลัดวงจร } (I_c) = 100 \times I_n / \%U$$

โดย I_n = กระแสฟัดของหม้อแปลงด้านแรงต่ำ (A)

$\% U$ = % อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

$$I_c = 100 \times 2886 / 6 = 48100 \text{ A} = 48.1 \text{ kA}$$

ในทางปฏิบัติการเลือกฟัดค่ากระแสลัดวงจรของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ควรเผื่อไว้ สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของ % อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง ค่า Motor Contribution ของกระแสลัดวงจรและค่า Safety Factor ซึ่งโดยรวมจะเผื่อไว้ประมาณ 25% ดังนั้นค่ากระแสลัดวงจร = $48.1 \times 1.25 = 60 \text{ kA}$

6.5.3 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า (Fuse) ของหม้อแปลง 3 เฟส 22 kV , 33kV

ฟัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสฟัดด้านแรงสูง 22kV (A)	กระแสฟัดด้านแรงสูง 33 kV (A)	ขนาด Fuse แรงสูง 22 kV (A)	ขนาด Fuse แรงสูง 33 kV (A)	หมายเหตุ
100	2.62	1.75	6	3	ขนาด Fuseแรงสูงที่เลือกใช้ ฟัด Fuse ประมาณ 1.5 – 2 เท่า ของกระแสฟัดด้านแรงสูงของหม้อแปลง
160	4.19	2.79	8	6	
250	6.56	4.37	10	8	
315	8.26	5.51	15	10	
400	10.49	6.99	15,20	15	
500	13.12	8.74	20,25	15	
630	16.53	11.02	25,30	20	
800	20.99	13.99	30,40	25	
1000	26.24	17.49	40,50	30	
1250	32.80	21.86	50,65	40	
1600	41.99	27.99	65,80	50	
2000	52.48	34.99	80,100	65	
2500	65.60	43.73	100,140	80	

6.5.4 ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำด้านไฟออกหม้อแปลง 3 เฟส 230/400V

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัดด้านแรงต่ำ (A)	125% กระแสพิกัดด้านแรงต่ำ	ขนาดปรับตั้ง CB	ขนาด AF ของ CB (A)	ค่าพิกัดกระแสลัดวงจร (kA)	หมายเหตุ
100	144	180	160	200	10	ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำใช้ไม่เกิน 125% ของกระแสพิกัดด้านแรงต่ำ (No Load) ของหม้อแปลง
160	231	288	250	250	10	
250	360	450	400	500	15	
315	455	568	500 - 550	630	18	
400	577	721	600 - 700	800	18	
500	722	903	800 - 900	1000	22	
630	909	1136	1000 - 1100	1250	30	
800	1155	1443	1250 - 1400	1600	25	
1000	1443	1804	1500 - 1800	2000	30	
1250	1804	2255	1900 - 2200	2500	42	
1600	2309	2886	2400 - 2800	3200	50	
2000	2886	3607	2900 - 3600	4000	65	
2500	3608	4510	3700 - 4500	5000	80	

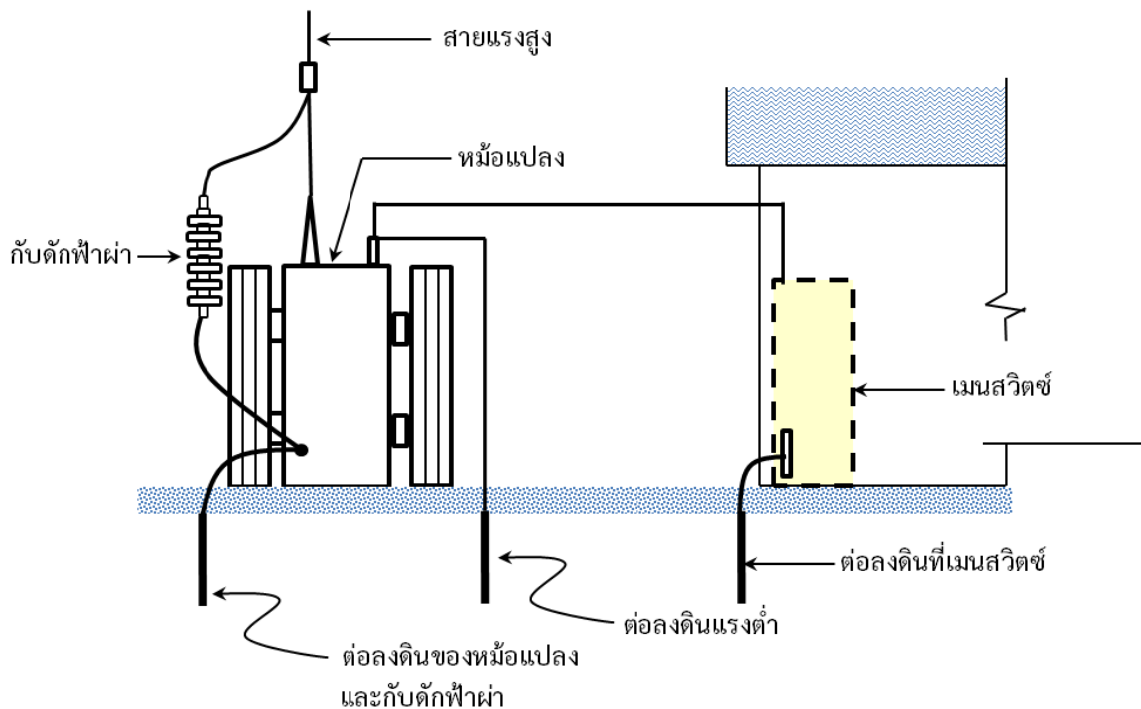
6.6 การต่อลงดินของหม้อแปลงไฟฟ้า

6.6.1 การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า

การต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือที่เรียกกันทั่วๆไปว่ากับดักฟ้าผ่ามีไว้เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบไฟฟ้าและบริเวณที่ไฟฟ้าอันเนื่องจากฟ้าผ่า โดยอาศัยหลักการลดแรงดันไฟฟ้าเกินที่คร่อมบริเวณที่ไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุด สำหรับการต่อลงดินที่หม้อแปลงจะติดตั้งที่ทางด้านแรงสูง สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าต้องต่อร่วมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงและต้องให้สั้นที่สุดเพื่อลดแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า สายต่อลงดินนี้ต้องแยกต่างหากจากสายต่อลงดินของระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำ (สายเส้นที่มีการต่อลงดินหรือสายนิวทรัล) เพื่อป้องกันแรงดันเกินนี้ไปทำให้บริเวณที่ไฟฟ้าเสียหาย

6.6.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าของหม้อแปลง

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ ซึ่งต้องมีการติดตั้งหม้อแปลง ทางด้านไฟออกแรงต่ำต้องมีการต่อลงดิน สายเส้นที่มีการต่อลงดินนี้เรียกว่าสายนิวทรัล และสายนิวทรัลนี้จะต้องเดินไปยังแผงเมนสวิตช์แรงต่ำ ไม่ว่าจะใช้งานหรือไม่ก็ตามและต้องต่อลงดินที่แผงเมนสวิตช์นี้ ในกรณีที่หม้อแปลงติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร มาตรฐานฯ กำหนดให้ต้องต่อลงดินเพิ่มอีกอย่างน้อยอีกหนึ่งจุด ทางด้านไฟออกของหม้อแปลง ณ จุดที่ติดตั้งหม้อแปลงหรือจุดอื่นที่เหมาะสมภายนอกอาคาร



รูปแสดง การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าของหม้อแปลงที่อยู่ภายนอกอาคาร

6.7 การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้านั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบโหลดหลายๆ อย่าง ซึ่งมีแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้หม้อแปลง ดังนี้

- ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงและจ่ายให้ Load เช่น ระดับแรงดัน ความถี่ จำนวนเฟส
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์และการทดสอบ เช่น มอก. IEC , IEEE
- ชนิดของหม้อแปลงที่เลือกใช้ เช่น หม้อแปลงน้ำมันหรือหม้อแปลงแห้ง
- การระบายความร้อนของหม้อแปลง เช่น ONAN, AN, AF
- ค่าใช้จ่ายของราคาหม้อแปลง เช่น การใช้งาน การบำรุงรักษา
- ค่าสูญเสียของหม้อแปลง เช่น ค่าสูญเสียในแกนเหล็ก (No Load Loss) ค่าสูญเสียในขดลวด (Load Loss)
- เวกเตอร์รูปของหม้อแปลง เช่น Dyn11,Dd0
- อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้น ไอเกลือ ผงฝุ่น
- ข้อจำกัดทางด้านขนาด น้ำหนัก
- สถานที่ติดตั้ง การใช้งาน เช่นในพื้นที่อันตราย โรงกลั่นน้ำมัน
- แรงดันไฟฟ้าอิมพีแดนซ์ ขนาดกระแสลัดวงจร และแรงดันตกที่ปลายสาย
- ลักษณะของ Tap Changer ตามพื้นที่ของแต่ละการไฟฟ้า
- ลักษณะและทิศทางของตัวนำด้านจ่ายไฟและรับไฟ
- อายุการใช้งานของหม้อแปลง
- การขนานหม้อแปลง

7. การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลง

การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ มีสภาพพร้อมใช้งานตามที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพมีความเชื่อถือได้ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน และผู้ปฏิบัติงานในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าและส่วนประกอบก็ต้องมีการตรวจสอบ ดูแลและบำรุงรักษาเช่นกันประกอบด้วย

- การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงแห้ง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาห้องหม้อแปลง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษาลานหม้อแปลง
- การตรวจสอบและบำรุงรักษานั่งร้านหม้อแปลง

7.1 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงน้ำมัน

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
1.	ลูกถ้วยแรงสูง แรงต่ำ	ตรวจสอบสภาพผิว รอยไหม้ ขำรุด รอยแตกบิ่น ผุพัง คราบสกปรกและทำความสะอาด ซ่อมรอยขำรุด รอยอาร์กหรือเปลี่ยนลูกถ้วยใหม่	
2.	ขั้วต่อสาย แรงสูง แรงต่ำ	ตรวจสอบขั้วต่อสาย ดูรอยไหม้อาร์ก เป็นสนิมหรือเกิดออกไซด์ ขำรุดและทำความสะอาดขั้วและหน้าสัมผัสต่างๆ ชันน็อต ขั้วต่อสายทุกตัวให้แน่นหรือเปลี่ยนขั้วต่อสายใหม่	ปกติอุณหภูมิขั้วต่อสายไม่ควรเกิน 70°C
3.	สภาพตัวถัง	ตรวจเช็ครอยรั่วซึมของน้ำมันตามแนวเชื่อมการเกิดสนิมหรือการกัดกร่อนของตัวถัง คราบสกปรก ผุพัง ถ้าพบรอยรั่วซึมให้แก้ไข โดยการเชื่อมหรือเปลี่ยนปะเก็นทำความสะอาดขัดทำสีเพื่อให้การระบายความร้อนได้ดี	
4.	น้ำมันรั่วซึม	ตรวจสอบครีประบายความร้อนปะเก็นหรือซีลยางต่างๆ ฝาถัง วาล์วถ่ายน้ำมัน และเปลี่ยนปะเก็นหรือซีลยางในส่วนที่มีน้ำมันรั่วซึมและขันน็อตให้แน่น	
5.	อุณหภูมิหม้อแปลง	ตรวจสอบอุณหภูมิปัจจุบันและอุณหภูมิสูงสุด ตรวจสอบการทำงานของเทอร์โมมิเตอร์ ถ้าอุณหภูมิหม้อแปลงสูงเกินปกติต้องตรวจสอบกระแสใช้งานหากเกินให้ลดปริมาณการใช้โหลดให้เหมาะสม	ระดับอุณหภูมิห้ามเกิน 100 °C

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
6.	สารดูดความชื้น (Silica Gel) (เฉพาะรุ่น Open Type) หม้อแปลงชนิด Sealed Tank จะไม่มีสารดูดความชื้น	ตรวจสอบสีของสารดูดความชื้น (ปกติสารดูดความชื้นจะมีสีม่วงน้ำเงิน เมื่อใช้งานมานานจะมีความชื้นสูงสีจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู ไม่สามารถดูดความชื้นได้อีกต่อไป ให้เปลี่ยนสารดูดความชื้น(ในปัจจุบัน Silica Gel เป็นสีส้ม จะเป็นชนิดที่ไม่มีสารโคบอลเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเมื่อเสื่อมสภาพจะกลายเป็นสีน้ำเงินอมเขียว)	ควรตรวจทุก ๆ 6-12 เดือน
7.	กั๊บกักฟ้าผ่า สายดิน และหลักดิน	ตรวจสอบสภาพทั่วไป รอยบิ่น แตก อาร์ก ตรวจสอบจุดต่อสายดินและสภาพสายดิน ว่าหลุดหลวมหรือสีกร่อนหรือไม่ วัดค่าความต้านทานหลักดิน เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดและตรวจเช็คสายดินให้อยู่ในสภาพใช้งานได้ดี แข็งแรง	ค่าความต้านทานหลักดินไม่เกิน 5 โอห์ม
8.	ความต้านทานฉนวน(Insulation Resistance)	วัดค่าความต้านทานด้วย เมกโอห์มมิเตอร์ ระหว่างขดลวดแรงสูง-แรงต่ำ ขดลวดแรงสูงกับตัวถัง (Tank) และขดลวดแรงต่ำกับตัวถัง ต้องไม่ต่ำกว่า 1000 Megaohm ที่ 20°C	ใช้เมกโอห์มมิเตอร์ 1000-2500 V.
9.	แกนล่อฟ้า (Arcing Horn)	วัดระยะบน-ล่าง ของแกนล่อฟ้าให้ได้ตามเกณฑ์	-ระบบ 11-12 KV. ระยะห่าง 85 mm -ระบบ 22-24 KV. ระยะห่าง 155mm -ระบบ 33 KV. ระยะห่าง 220 mm
10.	ค่าความเป็นฉนวนของน้ำมัน (Dielectric Strength)	ตรวจสอบค่าความเป็นฉนวนของน้ำมัน หม้อแปลงโดยใช้เครื่องทดสอบ ถ้ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานควรเปลี่ยนหรือกรองน้ำมัน	ค่าความมาตรฐาน ASTM -ค่าน้ำมัน 30 kV ใช้ได้ -ค่าน้ำมัน 25-30 kV ใช้ได้หรือกรอง -ค่าน้ำมัน 20-25kV ใช้ได้หรือกรอง -ค่าน้ำมันต่ำกว่า 20 kV ควรเปลี่ยน

7.2 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อแปลงแห้ง

ตรวจเหมือนกับหม้อแปลงน้ำมันในส่วนที่เหมือนกันและเพิ่มเติม ดังนี้

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
1.	การระบายอากาศ	ตรวจสอบช่องครีมีระบายอากาศทำความสะอาดฝุ่น คราบสกปรก	
2.	ภายในตู้	ตรวจสอบฝุ่นที่ขดลวด Insulator ช่องระบายอากาศ การเปลี่ยนสีเนื่องจากความร้อน Tracing + Carbonization Insulator แคล้ม Coil Spacer หลุดหลวมหรือไม่และทำความสะอาดจุดต่อไฟฟ้าขึ้นให้แน่น	
3.	การเกิด Partial Discharge	ตรวจด้วยเครื่องมือวัดเปรียบเทียบกับค่าจากผู้ผลิตในอดีต	

7.3 การตรวจบำรุงรักษาห้องหม้อแปลง

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
1.	สภาพห้องหม้อแปลง	ผนังพื้นห้องต้องสร้างด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงเพียงพอกับการใช้งานไม่ทรุดไม่แตก ต้องไม่มีวัสดุที่ไม่เกี่ยวข้องและเชื้อเพลิงเก็บอยู่ภายใน มีพื้นที่ว่างในการปฏิบัติงานเพียงพอ	
2.	บ่อพักน้ำมันและท่อระบาย	ตรวจสอบว่าขนาดบ่อพักอยู่ในสภาพดี ถูกต้องหรือไม่ ในบ่อพักต้องมีหินเบอร์ 2 ใส่อยู่เต็มไม่มีน้ำขัง หากมีการรั่วไหลของน้ำมันควรสูบออกให้หมด	
3.	การระบายอากาศ	ตรวจสอบสภาพช่องระบายอากาศทั้งช่องระบายอากาศเข้าและอากาศออกและไม่มีสิ่งกีดขวางวัตถุอันตรายในห้องไม่เกิน 40°C ทำความสะอาด กรณีใช้พัดลมหรือเครื่องปรับอากาศให้ตรวจสอบด้วยว่าพัดลมหรือเครื่องปรับอากาศยังทำงานได้ตลอดเวลาที่หม้อแปลงจ่ายไฟ	
4.	ระบบดับเพลิง	ตรวจสอบสภาพว่ามีเครื่องดับเพลิงชนิดที่ดับไฟที่เกิดจากไฟฟ้าได้และยังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ติดไว้ที่ผนังด้านนอกห้องหม้อแปลง	เครื่องดับเพลิงมือถือที่ใช้ดับไฟจากไฟฟ้าจะมีสัญลักษณ์ C

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
5.	การต่อลงดิน	ตรวจวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งต้องต่อลงดิน ตรวจสอบสภาพสายดินและจุดต่อสายดินไม่ หลุดหลวม ไม่ผุกร่อนให้คงสภาพใช้งาน ได้ดีตลอดเวลา	สายต่อหลักดินต้อง เป็นสายทองแดงขนาด ไม่ต่ำกว่า 35 ตร.มม. และค่าความต้านทาน การต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์ม
6.	ป้ายเตือน	ตรวจว่ามีป้ายเตือนข้อความว่า “อันตรายไฟฟ้าแรงสูง” และเฉพาะ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ติดไว้ที่ด้าน นอกห้องหม้อแปลงในตำแหน่งที่ มองเห็นได้อย่างชัดเจนและอยู่ในสภาพดี	
7.	แสงสว่าง	ตรวจสอบความสว่างในห้องหม้อแปลง วัดค่าความสว่าง ตรวจสอบหลอดไฟให้ ใช้งานได้ตลอดเวลา	ความส่องสว่างเฉลี่ยใน ห้องหม้อแปลงต้องไม่ น้อยกว่า 200 ลักซ์

7.4 การตรวจบำรุงรักษาลานหม้อแปลง

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
1.	สถานที่ตั้งลานหม้อแปลง	ตรวจสอบลานหม้อแปลงต้องอยู่ห่างจาก วัสดุที่ติดไฟง่ายและต้องมีการป้องกัน ไม่ให้เกิดการลุกลามของน้ำมันที่อาจเกิด จากหม้อแปลงระเบิดไปติดวัสดุหรือ อาคารจนทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้	
2.	รั้วและประตู	ลานหม้อแปลงต้องมีรั้วที่มีความสูงไม่ น้อยกว่า 2 เมตร เพื่อป้องกันบุคคลหรือ สัตว์ ต้องตรวจสอบสภาพทั่วไปว่ารั้ว และประตูมีสภาพแข็งแรง ไม่ผุกร่อน หรือชำรุด ประตูรั้วสามารถล็อกกุญแจ ได้และจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า ด้วย	
3.	สภาพพื้นลานหม้อแปลง	ตรวจสอบว่าพื้นหม้อแปลงต้องโรยหิน เบอร์สองจนทั่ว ยกเว้นให้เฉพาะพื้นที่จะ ใช้ตั้งอุปกรณ์ ความหนาของหินเบอร์ 2 ต้องไม่น้อยกว่า 100 มม. และลานหม้อ แปลงต้องไม่มีต้นหญ้า ต้นไม้หรือวัชพืช อื่นขึ้น ไม่มีน้ำขังและมีการป้องกัน น้ำท่วมอย่างเหมาะสม	

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
4.	การต่อลงดิน	ตรวจสอบวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งต้องต่อลงดิน ตรวจสอบสภาพสายดินและจุดต่อสายดิน ต้องไม่หลุดหลวมไม่ผุกร่อนและต้องคงสภาพการใช้งานได้ตลอดเวลา	

7.5 การตรวจสอบและบำรุงรักษาน้ำร้อนหม้อแปลง

ลำดับ	รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบและการดำเนินการ	หมายเหตุ
1.	สภาพเสาและความแข็งแรงของเสา	สภาพเสาไฟฟ้าต้องไม่มีรอยแตกร้าว เสา น้ำร้อนไม่ทรุดหรือเอียง น๊อตยึดไม่เป็นสนิมและผุกร่อน ในกรณีพบว่าน้ำร้อนเอียงหรือทรุดตัว ต้องรีบดำเนินการแก้ไข	
2.	การต่อลงดินของส่วนโลหะที่เปิดโล่ง	ส่วนที่เป็นโลหะและเปิดโล่งและปกติไม่ใช้เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าแต่อาจมีไฟฟ้าได้ เช่นตัวถังหม้อแปลง ต้องมีการต่อลงดินและสายต่อหลักดินต้องเป็นสายทองแดงขนาดไม่ต่ำกว่า 35 ตร.มม.	
3.	ค่าความต้านทานการต่อลงดิน	ตรวจวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน ด้วยเครื่องมือวัด ค่าไม่ควรเกิน 5 โอห์ม	

บรรณานุกรม

1. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556
2. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ การออกแบบระบบไฟฟ้าฉบับปรับปรุง ตามมาตรฐาน วสท. 2556
3. ลือชัย ทองนิล การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า
4. ลือชัย ทองนิล การตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้า
5. บริษัท เจริญชัยหม้อแปลงไฟฟ้า จำกัด การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าเชิงป้องกัน