# บทที่ 7 หม้อแปลงไฟฟ้า

## 7.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

1. หม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type transformer) ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่คือ cast resin เป็นฉนวนชนิดไม่ติดไฟ จึงนิยมใช้ติดตั้งในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก หรืออาคารที่ต้องการความปลอดภัยสูง

2. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (flammable liquid-insulated transformer) ปกติฉนวนที่ใช้คือน้ำมัน จึงมักเรียกกันทั่วไปว่าหม้อแปลงฉนวนน้ำมัน มีราคาต่ำกว่าหม้อแปลงชนิดอื่น มีทั้งชนิดที่มีถังพักน้ำมัน (conservator tank) และชนิดปิดผนึก (sealed tank)

3. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (less-flammable liquid-insulated transformer) คือหม้อแปลงที่มีฉนวนเป็นของเหลว ฉนวนมีอุณหภูมิจุดติดไฟไม่ต่ำกว่า 300°C จึงมีความปลอดภัยด้านที่เป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้มากกว่าชนิดฉนวนน้ำมันติดไฟได้

4. หม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (non-flammable fluid-insulated transformer) เป็นหม้อแปลงชนิดฉนวนของเหลวที่มีความปลอดภัยสูงเช่นเดียวกันกับหม้อแปลงชนิดแห้ง แต่มีราคาสูงและผู้ผลิตน้อยรายจึงไม่เป็นที่นิยมใช้งาน

## 7.2 การปรับแรงดัน

เป็นการปรับแรงดันด้านไฟออกให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยปกติแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงที่มาจากการไฟฟ้าจะไม่คงที่ และแรงดันของสายป้อนไฟฟ้าที่ต้นทางกับที่ปลายทางก็ไม่เท่ากัน การที่จะให้แรงดันด้านไฟออกมีค่าได้ตามที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องมีการปรับตั้งแทปซึ่งจะปรับที่ด้านแรงสูงเนื่องจากกระแสต่ำกว่าด้านแรงต่ำ การปรับตั้งแทปเป็นการปรับจำนวนรอบของขดลวดด้าน primary ค่าแทปกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันระบุด้านไฟเข้า หม้อแปลงในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนดแทปไว้เป็น -4×2.5% ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดแทปเป็น ± 2×2.5%

## 7.3 การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้ากำหนดขนาดเป็น kVA ซึ่งต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถจ่ายโหลดได้ทั้งหมด โหลดที่นำมากำหนดขนาดหม้อแปลงจะเป็นโหลดเมื่อคำนวณโดยใช้ดีมานด์แฟกเตอร์แล้วตามวิธีการในบทที่ 5

โหลดที่คำนวณได้โดยปกติจะไม่พอดีกับขนาดหม้อแปลงตามท้องตลาด การเลือกขนาดหม้อแปลงจะเลือกตามขนาดที่มีขายตามท้องตลาดโดยเลือกขนาดที่ใหญ่ถัดขึ้นไป ขนาดหม้อแปลงที่นิยมใช้ตามท้องตลาดคือ 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000 และ 2,500 kVA แต่ขนาดที่เล็กกว่าหรือใหญ่กว่านี้ก็สามารถผลิตขายได้

**ตัวอย่างที่ 7.1** โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลดดังนี้

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง รวม 50 kVA
2. เต้ารับใช้งานทั่วไป รวม 20 kVA
3. เต้ารับอื่น สำหรับเครื่องจักรขนาดเล็ก (ทราบโหลดแน่นอน) ดังนี้
   - 3.1 ขนาด 1 kVA จำนวน 5 ตัว
   - 3.2 ขนาด 0.5 kVA จำนวน 10 ตัว
4. เครื่องจักรชนิดใช้มอเตอร์ไฟฟ้า รวม 500 kVA
5. เครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลาง ขนาด 100 kVA กำหนดดีมานด์แฟกเตอร์ 100%

**วิธีทำ**

คำนวณโหลดโดยใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ ได้ดังนี้

1. โหลดไฟฟ้าแสงสว่าง รวม 50 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ตารางที่ 5.1 = 100%

โหลดแสงสว่าง = 50 × 1 = 50 kVA

2. เต้ารับใช้งานทั่วไป รวม 20 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ตารางที่ 5.2

โหลดเต้ารับ = 10 + (10 × 0.5) = 15 kVA

3. เต้ารับอื่น สำหรับเครื่องจักรขนาดเล็ก คิดโหลดจากเต้ารับตัวแรกที่มีขนาดโหลดสูงสุด (1 kVA) บวกกับ 40% ของโหลดเต้ารับที่เหลือ

โหลดเต้ารับอื่น = 1 + (4 × 0.4) + (0.5 × 10) = 7.6 kVA

4. เครื่องจักรชนิดใช้มอเตอร์ไฟฟ้า รวม 400 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ได้จากการสำรวจการใช้งานตามกระบวนการผลิต ในกรณีนี้กำหนดให้ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ 80%

โหลดเครื่องจักร = 500 × 0.8 = 400 kVA

5. เครื่องปรับอากาศแบบส่วนกลาง ขนาด 100 kVA ดีมานด์แฟกเตอร์ 100%

โหลดเครื่องปรับอากาศ = 100 × 1 = 100 kVA

รวมโหลดของอาคาร = 50 + 15 + 7.6 + 400 + 100 = 572.6 kVA

เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 630 kVA

***หมายเหตุ*** *กรณีที่ผู้ออกแบบพิจารณาแล้วเห็นว่าเครื่องจักรมีโอกาสใช้งานพร้อมกัน จะไม่ใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ก็ได้ โหลดรวมก็จะสูงขึ้น*

## 7.4 การป้องกันแรงดันเกิน

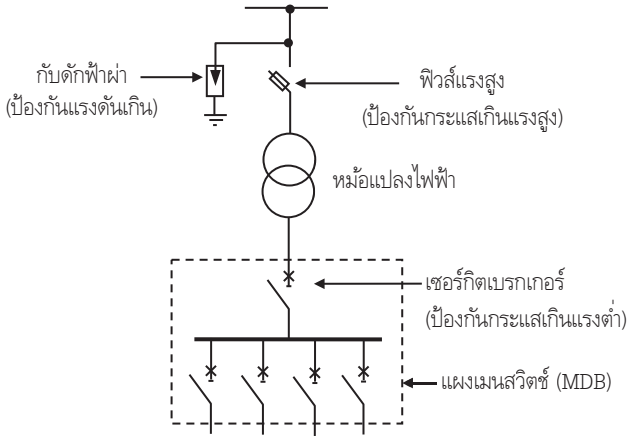
หม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีการป้องกันแรงดันเกิน แรงดันเกินที่เข้ามาที่หม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากฟ้าผ่า อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันเรียกว่ากับดักเสิร์จ (lightning arrester) หรือกับดักฟ้าผ่า พิกัดแรงดันเป็นไปตามแรงดันของระบบไฟฟ้าดังนี้

พิกัดแรงดัน 9 kV สำหรับระบบแรงดัน 12 kV (กฟน.)

พิกัดแรงดัน 21 kV สำหรับระบบแรงดัน 22 kV (กฟภ.) และ 24 kV (กฟน.)

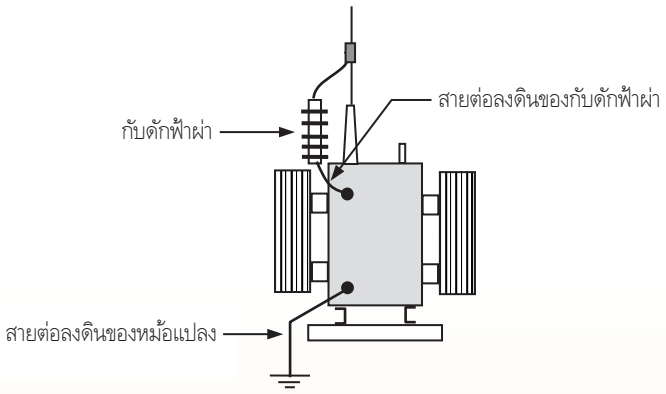
พิกัดแรงดัน 30 kV สำหรับระบบแรงดัน 33 kV (กฟภ.)

***หมายเหตุ*** *ในบางพื้นที่ของการไฟฟ้าฯ อาจใช้พิกัดแรงดันต่างจากนี้ด้วยเหตุทางด้านเทคนิค ในการติดตั้งใช้งานจริงจึงควรประสานงานกับการไฟฟ้าฯ ที่ดูแลพื้นที่ก่อน*




**รูปที่ 7.1 วงจรการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า**

กับดักฟ้าผ่าจะต่อกับสายไฟแรงสูงก่อนที่จะเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อมีแรงดันเกินเข้ามาตามสายไฟฟ้า กับดักฟ้าผ่าจะเปลี่ยนสภาพจากที่ปกติมีอิมพีแดนซ์สูงมากเป็นต่ำมาก ปล่อยให้กระแสฟ้าผ่าวิ่งลงดินโดยสะดวก และกลับสภาพเป็นมีอิมพีแดนซ์สูงมากอีกเมื่อแรงดันฟ้าผ่าลดลง เพื่อป้องกันกระแสจากแรงดันปกติไหลผ่าน




**รูปที่ 7.2 วงจรการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่หม้อแปลงไฟฟ้า**

สายต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าจะต้องต่อลงดินร่วมกับสายต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดแรงดันคร่อมระหว่างขดลวดหม้อแปลงกับตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า วิธีที่ดีคือการต่อลงตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 7.2

## 7.5 การป้องกันกระแสเกิน

หม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งด้านไฟเข้าและไฟออก ขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ตามตารางที่ 7.1

**ตารางที่ 7.1 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า**

| ขนาดอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง | ด้านไฟเข้า | | ด้านไฟออก | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | แรงดันเกิน 1,000 V | | แรงดันเกิน 1,000 V | | แรงดันไม่เกิน 750 V |
| | เซอร์กิตเบรกเกอร์ | ฟิวส์ | เซอร์กิตเบรกเกอร์ | ฟิวส์ | เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์ |
| ไม่เกิน 6% | 600% | 300% | 300% | 250% | 100% |
| มากกว่า 6% แต่ไม่เกิน 10% | 400% | 300% | 250% | 225% | 100% |

**ตัวอย่างที่ 7.2** โรงงานแห่งหนึ่งใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA แรงดัน 22 kV ด้านแรงต่ำ 230/400 V จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขนาด ต้องการกำหนดขนาดฟิวส์แรงสูงด้านไฟเข้าและขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำ

**วิธีทำ**

กำหนดขนาดฟิวส์แรงสูง หากระแสหม้อแปลงด้านไฟเข้าได้ดังนี้

$$I = \frac{1,000}{\sqrt{3}\times 22} \qquad = 26.24 \text{ A}$$

ฟิวส์ด้านแรงสูงกำหนดตามตารางที่ 7.1 ขนาดไม่เกิน 300%

ขนาดฟิวส์แรงสูง $\leq$ 3 × 26.24 $\leq$ 78.7 A

เลือกใช้ฟิวส์ตามขนาดมาตรฐานการผลิต ขนาด 50 A หรือ 65 A

กำหนดขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำ หากระแสหม้อแปลงด้านไฟออกได้ดังนี้

$$I = \frac{1{,}000 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 1443 \text{ A}$$

เซอร์กิตเบรกเกอร์กำหนดตามตารางที่ 7.1 ไม่เกิน 100%

เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐานการผลิต ขนาดปรับตั้ง 1,400 A

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับการกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินมีดังนี้

**ฟิวส์แรงสูง** ถึงแม้ในมาตรฐานกำหนดให้ขนาดฟิวส์แรงสูงใช้ได้สูงถึง 300% ในทางปฏิบัติการกำหนดขนาดฟิวส์ใหญ่เกินไปประสิทธิผลในการป้องกันจะลดลง แต่การเลือกขนาดเล็กเกินไปก็อาจเป็นปัญหาว่าฟิวส์จะขาดเมื่อสับสวิตช์แรงสูงสาเหตุจาก inrush current ของหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดของฟิวส์แรงสูงจึงไม่ควรเล็กกว่า 125% ของกระแสด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า

## 7.6 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินด้านแรงต่ำ

**ตัวอย่างที่ 7.3** โรงงานแห่งหนึ่งคำนวณโหลดได้ 850 kVA เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 1,000 kVA แรงดันด้านไฟออก 230/400 V ด้านแรงต่ำเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 1,400 A (ดูตัวอย่างที่ 7.2) ใช้สาย NYY ชนิดแกนเดียวควบ 4 เส้นต่อเฟส วางเรียงชิดติดกันบนรางเคเบิลแบบบันได ต้องการกำหนดขนาดสายไฟฟ้า (รายละเอียดวิธีคำนวณเพิ่มเติม ดูบทที่ 2)

**วิธีทำ**

1. คำนวณโหลดและกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ($I_n$)

   ได้ $I_n$ = 1,400A

2. เลือกชนิดของสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย

   เป็นสาย NYY การเดินสายกลุ่มที่ 7 (วางบนรางเคเบิล)

3. เลือกตารางขนาดกระแสของสายไฟฟ้า

   จากตารางที่ 2.10 ได้ตารางขนาดกระแส ตารางที่ 5-30

4. กำหนดตัวคูณปรับค่า ($C_a$ & $C_g$)

   $C_a$ ไม่มีการปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบไม่เปลี่ยนแปลง = 1

   $C_g$ จากหมายเหตุต่อท้ายตารางที่ 5-30 ปรับค่าด้วยตารางที่ 5-40 ได้ = 0.94

5. กำหนดขนาดสายไฟฟ้า $I_t \geq \frac{I_n}{C_a \times C_g} \geq \frac{1{,}400/4}{1 \times 0.94} \geq 372.3$ A

   จากตารางที่ 5-30 (ภาคผนวก A) ได้สายขนาด 240 ตร.มม. (441 A) เฟสละ 4 เส้น

***หมายเหตุ*** *1. 1400/4 มาจากใช้สายเฟสละ 4 เส้น*

*2. ขนาดสายไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละขนาด ดูได้จากภาคผนวก F*

## 7.7 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งได้หลายแบบโดยพิจารณาจาก ความต้องการ ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า ข้อจำกัดของพื้นที่ และประเภทของอาคาร ดังนี้

1. บนเสาไฟฟ้าหรือนั่งร้านหม้อแปลง เป็นการติดตั้งที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้พื้นที่น้อย ใช้ได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าทุกชนิด แต่จะมีข้อด้อยเรื่องขาดความสวยงามและบำรุงรักษายาก เสาไฟฟ้าและชุดนั่งร้านหม้อแปลงจะต้องสามารถรับน้ำหนักหม้อแปลงได้อย่างปลอดภัย

2. บนลานหม้อแปลง (transformer yard) เป็นการตั้งหม้อแปลงบนพื้นและมีรั้วล้อมรอบ อยู่ภายนอกอาคาร มีข้อดีที่สามารถบำรุงรักษาได้สะดวกแต่จะสิ้นเปลืองพื้นที่

3. ในห้องหม้อแปลง (transformer vault) เป็นการติดตั้งในอาคาร ห้องหม้อแปลงจะต้องออกแบบเป็นพิเศษให้เหมาะสมกับชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า ตามข้อกำหนดในมาตรฐานฯ

4. ในเครื่องห่อหุ้ม (pad mounted) วางบนพื้น เป็นการนำหม้อแปลงไปใส่ตู้เพื่อป้องกันอันตรายจากการสัมผัส แต่ต้องระวังเรื่องการระบายความร้อนของหม้อแปลงด้วย

**รูปที่ 7.3 หม้อแปลงการติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้าน**

**รูปที่ 7.4 ตัวอย่างการติดตั้งหม้อแปลงในเครื่องห่อหุ้ม**