บทที่ 5

ข้อกำหนดพิเศษของอุปกรณ์ป้องกัน

5.1 พิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน

หน้าที่หลักของอุปกรณ์ป้องกัน คือป้องกันวงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้าจากสภาวะที่ผิดปรกติ ดังนั้นการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน จะต้องกำหนดจากกระแสโหลดสูงสุด และกับกระแสลัดวงจรสูงสุด

วิธีที่สะดวกในการเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันวิธีหนึ่งทำได้โดยพิจารณาจากหัวข้อดังต่อไปนี้

1) สภาวะการใช้งาน
2) การป้องกันขั้นต่ำ
3) ความคงทนของอุปกรณ์

โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงการป้องกันอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบไฟฟ้า ได้แก่ มอเตอร์, หม้อแปลง และสายเคเบิล

5.2 สภาวะการใช้งาน [5]

อุปกรณ์ป้องกันจะต้องไม่ทำงานที่ กระแสโหลดเต็มที่, กระแสโหลดเกินที่ยอมให้มีได้ และกระแสตอนสตาร์ท (Inrush current)

ข้อมูลเหล่านี้ สามารถหาได้จากผู้ผลิตหรือจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

ก) มอเตอร์

พิจารณาจากความสัมพันธ์

$$kVA = \frac{kW}{(Powerfactor \times Efficiency)}$$

กระแสเต็มพิกัด (Full load) = kVA / (1.732*kV) ; สำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

กระแสเต็มพิกัด (Full load) = kVA / kV ; สำหรับมอเตอร์ 1 เฟส

โดยที่ kV คือ แรงดันพิกัดที่ป้ายบอกพิกัดของอุปกรณ์ (Nameplate)

Power factor คือ ตัวประกอบกำลัง

Efficiency คือ ประสิทธิภาพของเครื่องจักร

แต่ถ้าไม่ทราบค่าตัวประกอบกำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องจักร จะสามารถหาค่า kVA โดยประมาณได้โดยกำหนดให้

Power factor = 0.8

Efficiency = 0.9

ดังนั้น kVA = kW / 0.72

กระแสโหลดเกินที่ยอมได้จะขึ้นกับ Service factor และอุณหภูมิ เช่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ Service factor = 1 กระแสโหลดเกินที่ยอมได้ (Overload capability) = กระแส Full Load แต่ถ้าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยที่ Service factor = 1.15 จะได้ Overload capability มีค่าเท่ากับ 1.15 เท่าของกระแส Full load

ส่วนกระแส Inrush ของมอเตอร์จะเท่ากับหรือมากกว่า กระแสที่มีการยึดโรเตอร์ (Locked rotor current) ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าสตาร์ทมอเตอร์ตอนแรงดันเป็นเท่าไร เช่นถ้าแรงดันอยู่ที่จุดสูงสุด กระแส Inrush = กระแส Locked rotor กระแส Inrush สูงสุดจะเกิดที่แรงดันเท่ากับศูนย์ หรือเท่ากับ 1.65 เท่าของกระแส Locked rotor ในช่วงเวลาไม่เกิน 0.1 วินาที สำหรับมอเตอร์แรงดันต่ำ

สำหรับกระแส Locked rotor [5] หาได้ดังนี้

1) มอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์ซิงโครนัสที่มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1

กระแส Locked rotor = 6 เท่าของกระแส Full load

2) มอเตอร์ซิงโครนัสที่มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 และขับโหลดที่มีความเฉื่อยสูง (High inertia load)

กระแส Locked rotor = 9 เท่าของกระแส Full load

3) มอเตอร์แบบ Wound rotor

กระแส Locked rotor = 4 เท่าของกระแส Full load

ช่วงเวลาของกระแส Locked rotor จะยาวนานตั้งแต่ 5 ถึง 30 วินาที โดยขึ้นอยู่กับความเฉื่อยของโหลด (Load inertia)

ถ้าเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะสามารถใช้ กระแส Locked rotor เท่ากับ 7 เท่าของกระแส Full load และกระแส Inrush จะเท่ากับ 2 เท่าของกระแส Locked rotor

ข) หม้อแปลง

กระแส Full load = kVA / (1.732 * KV)

Overload capability ขึ้นอยู่กับ ชนิดของการระบายอากาศ และอุณหภูมิเพิ่ม เช่น หม้อแปลงแบบ ONAN (Oil natural air natural), ONAF (Oil natural air forced) และ OFAF (Oil forced air forced) เป็นต้น [5]

ดังนั้น Overload capability = กระแส Full load * Cooling factor * Temperature rising factor

โดยที่ Cooling factor และ Temperature rising factor สามารถหาดูได้จากผู้ผลิต

ส่วนกระแส Inrush ของหม้อแปลง สามารถหาได้ดังนี้

1) หม้อแปลงแบบ Pad-type units

กระแส Inrush = 12 * กระแส Full load

2) หม้อแปลงแบบ Load center type units

กระแส Inrush = 8 * กระแส Full load

3) หม้อแปลงแบบ Dry-type units

กระแส Inrush = 5 ถึง 25 เท่าของกระแส Full load

โดยช่วงเวลาที่เกิดกระแส Inrush ทั้ง 3 แบบ จะเท่ากับ 0.1 วินาที

ค) สายเคเบิล

- กระแส Full load เท่ากับกระแสพิกัดของสาย
- Overload capability ขึ้นอยู่กับ ชนิดของฉนวน และ Loading factor

5.3 การป้องกันขั้นต่ำ [5]

พิจารณาได้จากข้อกำหนด หรือจากมาตรฐานที่ตั้งไว้ เช่น การป้องกันกระแสเกินสำหรับมอเตอร์ที่ใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์แบบผกผันกับเวลา ก็ให้ตั้งพิกัดการตัดวงจรตัวนั้นที่ 250 % ของกระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ หรือน้อยกว่านั้น แต่จะเกินพิกัดขนาดนี้ไม่ได้

ก) มอเตอร์

สำหรับมอเตอร์ที่แรงดันไม่เกิน 600 โวลท์ ตาม NEC Article 430, Part C (1987) จะถูกกำหนดการป้องกันการลัดวงจร และการป้องกันโหลดเกินไว้ดังนี้

1) การป้องกันการลัดวงจร

ในการเลือกใช้ฟิวส์และเซอร์กิตเบรคเกอร์ จะต้องเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมกับมอเตอร์ โดยการไฟฟ้าได้ให้พิกัด หรือขนาดปรับตั้งตัวสูงไว้ในตารางที่ 5.1 และใช้ในกรณีที่มอเตอร์ไม่มีรหัสอักษรเท่านั้น เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นมาตรฐาน IEC ซึ่งไม่มีรหัส แต่มอเตอร์ที่มีรหัสอักษรจะเป็นมอเตอร์ในมาตรฐาน NEMA ของสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 5.1 พิกัดของอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ทำงานไว	ฟิวส์หน่วงเวลา	CB แบบปลดทันที	CB แบบผกผันกับเวลา
- มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส - มอเตอร์ 3 เฟสแบบสไควเรลเคจ และแบบซิงโครนัส	300	175	700	250
- มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์	150	150	700	150

ค่าพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของฟิวส์ และเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ให้ไว้ตามตารางเป็นค่าสูงสุด แต่ค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตได้ให้ไว้สำหรับมอเตอร์ขนาดต่างๆ จะต่ำกว่าค่าที่แสดงไว้ในตารางซึ่งจะทำให้การป้องกันดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้นี้จะต้องไม่ทำให้เปิดวงจรขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินเครื่อง และเพื่อความสะดวกในการออกแบบปรับตั้งขนาดพิกัดการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ และฟิวส์ที่ใช้ป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์ พิจารณาได้จากตาราง ก.1 และ ก.2 ในภาคผนวก ก. ซึ่งได้รวบรวมขนาดพิกัดของอุปกรณ์ตัดวงจรที่ขนาดของมอเตอร์ต่างๆกันไว้เรียบร้อยแล้ว

การเลือกขนาดพิกัดของฟิวส์ และเซอร์กิตเบรคเกอร์ จะต้องคำนึงถึงกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งด้วย โดยที่ฟิวส์และเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่จะใช้ในการป้องกันวงจรนั้น จะต้องมีค่าความคงทนต่อกระแสลัดวงจร (Interrupting capacity) ไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งด้วย นอกจากนั้นยังต้องปรับตั้งค่าพิกัดการตัดวงจรตามขนาดพิกัดที่มีอยู่จริงด้วย เช่น ฟิวส์ขนาดต่างๆ ตามมาตรฐาน IEC ที่จะมีให้เลือกได้ คือ 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315 และ 400 A.

นอกจากอุปกรณ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์แต่ละตัวแล้ว ผู้ออกแบบยังต้องคำนึงถึงการคำนวณตั้งค่าพิกัดการทำงานให้กับอุปกรณ์ป้องกันสำหรับวงจรสายป้อนที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์หลายตัว หรือมอเตอร์ที่รวมกับโหลดชนิดอื่นๆ เช่น ไฟฟ้าแสงสว่าง, โหลดเต้ารับ ฯลฯ โดยหลักเกณฑ์การออกแบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1.1) กรณีที่กลุ่มของโหลดมีเฉพาะมอเตอร์

ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน = พิกัดอุปกรณ์ป้องกันตัวโตที่สุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ

$$CB_F = CB_{\max} + \Sigma I_R$$

1.2) กรณีที่กลุ่มของโหลดมีทั้งมอเตอร์ และโหลดชนิดอื่น

- โหลดชนิดอื่นเป็นแบบต่อเนื่อง

ขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน = พิกัดอุปกรณ์ป้องกันตัวโตที่สุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ + 1.25(พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง)

$$CB_F = CB_{\max} + \Sigma I_R + 1.25(I_{L1})$$

- โหลดชนิดอื่นเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง

ขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน = พิกัดอุปกรณ์ป้องกันตัวโตที่สุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ + พิกัดกระแสโหลดไม่ต่อเนื่อง

$$CB_F = CB_{\max} + \Sigma I_R + I_{L2}$$

โดยที่ ΣI_R = ผลรวมพิกัดกระแสโหลดของมอเตอร์ที่เหลือ

I_{L1} = พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

I_{L2} = พิกัดกระแสโหลดไม่ต่อเนื่อง

CB_F = ขนาดของเครื่องป้องกันสายป้อน

CB_{max} = ขนาดของเครื่องป้องกันมอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด

2) การป้องกันโหลดเกิน

ในการใช้งานมอเตอร์นั้น บ่อยครั้งที่มีการใช้งานเกินขนาดจนทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูงซึ่งจะทำความเสียหายต่อมอเตอร์และอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันซึ่งได้แก่ ฟิวส์

หรือเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้ในการป้องกันการล็อควงจรนั้นจะต้องเลือกปรับค่าที่สูงเพื่อว่าให้มีค่าเพียงพอสำหรับการเริ่มเดินเครื่อง ดังนั้นเมื่อมีการใช้โหลดเกิน อุปกรณ์ป้องกันเหล่านี้จึงไม่สามารถที่จะให้การป้องกันได้ ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ในกรณีที่มีการใช้โหลดเกินด้วย

อุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินในแต่ละเฟสต้อง ตั้งไว้ไม่เกินค่าต่างๆ ดังนี้

- มอเตอร์ที่มี Service factor มากกว่าหรือเท่ากับ 1.15 $125\%I_{fl}$
- มอเตอร์ที่อุณหภูมิเพิ่มไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส $125\%I_{fl}$
- มอเตอร์อื่นๆ $115\%I_{fl}$

ข) หม้อแปลง

การตั้งพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน ให้ดูจากตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 **พิกัดของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของหม้อแปลง**

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน					
	ด้านปฐมภูมิ		ด้านทุติยภูมิ		
	มากกว่า 600 โวลต์		มากกว่า 600 โวลต์		น้อยกว่า 600 โวลต์
อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง	เซอร์กิตเบรคเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรคเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรคเกอร์และฟิวส์
ไม่เกิน 6%	600 %	300 %	300 %	150 %	250 %
มากกว่า 6%	400 %	200 %	250 %	125 %	250 %

5.4 ความคงทนของอุปกรณ์ [5]

นอกจาก 2 หัวข้อข้างต้นที่จะต้องพิจารณาแล้วยังต้องดูด้วยว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้สามารถทนต่อสภาวะผิดปรกติที่เกิดขึ้นได้นานเพียงไร โดยที่อุปกรณ์เหล่านั้นไม่เสียหาย

ก) มอเตอร์

ความคงทนของมอเตอร์จะหมายถึง ช่วงเวลาที่มอเตอร์สามารถจะทำงานต่อไปได้ในขณะที่เกิด Stalled rotor current ก่อนที่มอเตอร์จะเสียหาย (Maximum allowable stalled time) โดยช่วงเวลาที่กล่าวถึงนี้จะถูกระบุเป็นวินาที เช่นพิจารณาในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ดังนี้

1) มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กจนถึงขนาดปานกลาง

- Standard design 20 วินาที
- High-efficiency design 30 วินาที

2) มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่

โดยเฉลี่ยแล้ว 15 วินาที

ข) หม้อแปลง

ความคงทนของหม้อแปลงสามารถแสดงได้ด้วย ความสามารถในการทนกระแสลัดวงจร (Short-circuit capability) ซึ่งหม้อแปลงจะไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความเครียดทางกลและความเครียดทางความร้อน (Mechanical and thermal stress) ซึ่งช่วงเวลาที่หม้อแปลงจะสามารถทนต่อกระแสที่เกินพิกัดนี้ดูได้จากตารางที่ 5.3 [5]

ตารางที่ 5.3 ความคงทนของหม้อแปลงที่ถูกระบุเป็นวินาที

ค่ากระแสสมมาตร (Rms)	ช่วงเวลา (วินาที)
25 เท่าของกระแสในภาวะปกติ	2
20 เท่าของกระแสในภาวะปกติ	3
16.6 เท่าของกระแสในภาวะปกติ	4
14.3 เท่าของกระแสในภาวะปกติ	5

ความสามารถในการทนกระแสลัดวงจร หรือ ANSI point ยังขึ้นกับการต่อหม้อแปลง [5,8-9 ,11,33] ด้วยว่าต่อแบบ เดลต้า-เดลต้า (Δ-Δ) หรือ เดลต้า-วาย (Δ-Y) เช่น ถ้าเป็นการต่อแบบเดลต้า-เดลต้า (Δ-Δ) จะต้องเอา 0.866 คูณกระแสที่คำนวณได้ แต่ถ้าเป็นการต่อแบบ วาย-วาย (Y-Y) จะต้องเอา 0.577 คูณกระแสที่คำนวณได้ เพื่อปรับค่ากระแสที่หม้อแปลงจะได้รับจริงๆ