มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545

บทที่ 6

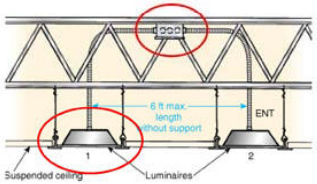
บริภัณฑ์ไฟฟ้า

บริภัณฑ์ไฟฟ้า

- โคมไฟฟ้า สวิทซ์ เต้ารับ และเต้าเสียบ
- มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และเครื่องควบคุม
- หม้อแปลง ห้องหม้อแปลง และลานหม้อแปลง
- คาปาซิเตอร์

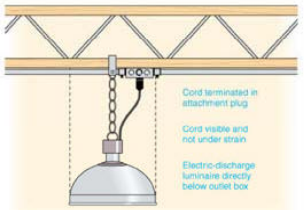
6.1 โคมไฟฟ้า และเครื่องประกอบการติดตั้ง

โคมไฟฟ้า และเครื่องประกอบการติดตั้ง



- โคมไฟฟ้าและเครื่องประกอบการติดตั้ง ต้องไม่มีส่วนที่เปิดโล่งให้สัมผัสได้
- ต้องเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง เช่นในสถานที่เปียกหรือชื้น หรืออยู่ภายนอกอาคาร ต้องเป็นชนิดกันน้ำได้
- ควงโคมที่อยู่ใกล้วัสดุติดไฟ ต้องมีการป้องกัน หรือกั้นไม่ให้ วัสดุติดไฟได้รับความร้อน เกิน 90 °C

โคมไฟฟ้า และเครื่องประกอบการติดตั้ง



- ต้องมีการจับยึดอย่างแข็งแรง ถ้าน้ำหนักเกิน 2.5 kg หรือใหญ่กว่า 400 mm. ห้ามใช้ขั้วหลอดรับน้ำหนักโคม
- ขนาดสายต้องไม่เล็กกว่า 0.5 $mm.^2$
- ขั้วรับหลอดชนิดเกลียว ส่วนเกลียวโลหะต้องต่อเข้ากับสายตัวนำ นิวทรัล เท่านั้น
- ต้องติดตั้งให้สามารถตรวจสอบจุดต่อสายดวงโคมกับสายวงจรย่อยได้โดยสะดวก

โคมไฟฟ้า และเครื่องประกอบการติดตั้ง

- ฉนวนต้องเหมาะสมกับกระแส แรงดันและอุณหภูมิ
- ในสถานที่เปียกชื้นหรือมีการผุกร่อนต้องใช้สายให้เหมาะสม
- จุดต่อหรือจุดต่อแยกต้องไม่อยู่ในก้านดวงโคม
- การต่อหรือต่อแยกต้องทำเท่าที่จำเป็น
- สายไฟในตู้แสดงสินค้าต้องเดินในท่อสาย
- กล่องต่อสายไฟฟ้าเข้าดวงโคมต้องมีฝาครอบ

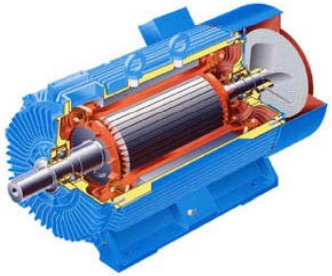
6.2 สวิทซ์ เต้ารับ และเต้าเสียบ

- ต้องมีพิกัดกระแส , แรงดัน , และประเภทเหมาะสมกับสภาพใช้งาน
- สวิทซ์ และเต้ารับที่ใช้กลางแจ้งหรือสถานที่เปียกชื้น ต้องระบุค่า IP
  - ป้องกันน้ำสาด IP X 4
  - ป้องกันน้ำฉีด IP X 5

6.2 สวิทซ์ เต้ารับ และเต้าเสียบ

- เต้ารับแบบติดตั้งกับพื้นหรือฝังพื้น ในการติดตั้งต้องป้องกันและหลีกเลี่ยงความเสียหายทางกายภาพ
- สวิทซ์และเต้ารับ ต้องติดตั้งเหนือระดับน้ำที่อาจท่วมขังได้
- ขนาดสายสำหรับเต้ารับต้องไม่เล็กกว่า 1.5 ตร.มม.
- เต้ารับต้องมีขั้วสายดินและต้องต่อลงดิน (3.1.7 หน้า 3-3)

6.3 มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และ เครื่องควบคุม



6.3 มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และ เครื่องควบคุม

- มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลและเป็นส่วนประกอบสำคัญในเครื่องจักรอุตสาหกรรม สามารถแบ่งชนิดตามหลักการทำงานได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)
2. มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

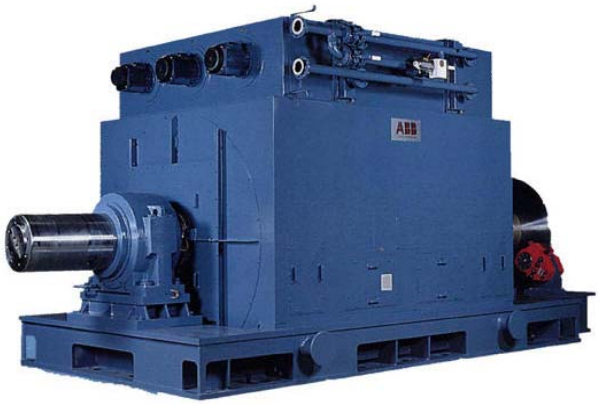
- เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด
- ทนทาน ราคาถูก และไม่ต้องการบำรุงรักษามาก
- แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของโรเตอร์ คือ
  - โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor)
  - โรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)

Slip-ring Motor (Wound Rotor)

มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)

- เป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส
- จะหมุนที่ความเร็วจำกัดค่าหนึ่งเรียกว่าความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed)
- มอเตอร์ประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ และ ขดลวดสนาม
- จ่ายไฟ AC ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุน
- จ่ายไฟ DC เข้ากับขดลวดสนามเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กตัดกับสนามแม่เหล็กหมุน ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

Synchronous Machine



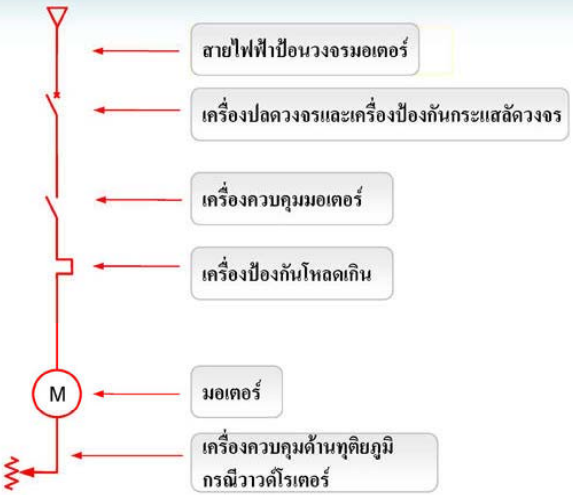
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor)

- ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง
- สามารถควบคุมความเร็วได้ดี แรงบิดตอนเริ่มเดินเครื่องเครื่องสูง
- มีขดลวดสนามอยู่บนสเตเตอร์และขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่บนโรเตอร์
- สามารถแบ่งแรงดันออกตามระดับแรงดัน เป็น
    1. มอเตอร์แรงดันต่ำ (LV Motor)
    2. มอเตอร์แรงดันสูง (HV Motor)

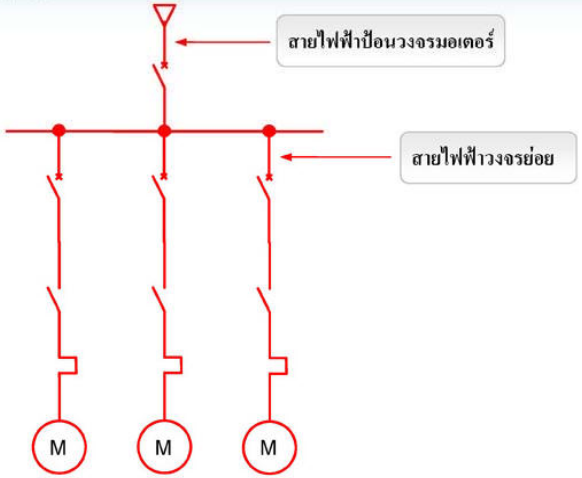
ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์

1. สายไฟฟ้าวงจรมอเตอร์
2. เครื่องปลดวงจร
3. เครื่องป้องกันการลัดวงจร
4. เครื่องป้องกันโหลดเกิน
5. เครื่องควบคุมมอเตอร์และวงจรควบคุมมอเตอร์

วงจรมอเตอร์



วงจรมอเตอร์หลายตัว



การเลือกที่ตั้งมอเตอร์

- อยู่ในที่ระบายอากาศได้สะดวก เข้าทำการบำรุงรักษาได้ง่าย
  ยกเว้น มอเตอร์ที่เป็นส่วนประกอบสำเร็จมากับบริภัณฑ์
- มอเตอร์แบบเปิด มีแปรงถ่าน ต้องป้องกันไม่ให้ประกายไฟกระเด็นไปถูกวัตถุติดไฟได้
- ในสถานที่มีฝุ่นละออง ที่จะเข้าไปในตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งจะทำให้ระบายอากาศไม่สะดวก ต้องใช้มอเตอร์ชนิดปิด
- การพิจารณาว่ามอเตอร์ตัวใด เป็นมอเตอร์ใหญ่ที่สุดให้ดูจาก พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

พิกัดกระแสของมอเตอร์

- **ตามมาตรฐาน IEC พิกัดกระแสมอเตอร์เป็น kW , MW**
  - ส่วนมาตรฐานเดิมเป็น HP(แรงม้า)
  - พิกัดมาตรฐานเป็น kW (A , 3ph , 400 V)

  0.37 (0.98) , 0.55 (1.5) , 0.75 (1.9) ,
  1.10 (2.5) , 1.50 (3.4) , 2.20 (4.8) ,
  3.00 (6.3), 3.70 (7.7) , 4.00 (8.1) ,
  5.50 (11) , 7.50 (14.8) , 9.00 (18.1)
  11 (21) , 15 (29) , 18.5 (35) , 22 (42)
  30 (57) , 37 (69) , 45 (81) , 55 (100)
  75 (131), 90 (162) , 110 (195) , 132 (233)

สายสำหรับวงจรมอเตอร์

1. วงจรที่มีมอเตอร์ตัวเดียว
2. วงจรที่มีมอเตอร์หลายตัว
3. วงจรที่มีมอเตอร์รวมกับโหลดอื่นๆ
4. วงจรมอเตอร์ที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย

สายสำหรับมอเตอร์ตัวเดียว

- **มอเตอร์ตัวเดียว ใช้งานต่อเนื่อง**

สายวงจรย่อยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 125% ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ และขนาดต้องไม่เล็กกว่า ***1.5 ตร.มม.***

กำหนดให้ $I_C \geq 1.25 \times I_M$

I_C = พิกัดกระแสสายตัวนำ (A)

I_M = พิกัดกระแสมอเตอร์ (A)

(พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ ดูจากแผ่นป้ายประจำเครื่อง)

สายสำหรับมอเตอร์ตัวเดียว (ต่อ)

- ยกเว้น มอเตอร์ชนิดความเร็วหลายค่า ใช้งานระยะสั้น ใช้งานเป็นระยะ ใช้งานเป็นคาบ และใช้งานที่เปลี่ยนแปลง
  - ให้คิดแบบมอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง โดยสายตัวนำต้องมีขนาดกระแส เป็นไปตามตารางที่ 6-1 (วสท. หน้า 6-4)
  - สายของวงจรย่อยต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า *1.5 ตร.มม.*

$$I_C \geq K_1 \times I_{FL}$$

กำหนดให้ I_C = พิกัดกระแสสายตัวนำ (A)

K_1 = ค่าคงที่ตามตารางที่ 6-1

I_{FL} = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

สายสำหรับมอเตอร์ตัวเดียว (ต่อ)

- **มอเตอร์ตัวเดียว กรณีเป็นชนิดวาวด์โรเตอร์ (ใช้งานต่อเนื่อง)**
  - สายด้าน (Primary) หาเหมือนมอเตอร์ทั่วไป
  - สายด้าน ทุติยภูมิ (Secondary) ขนาดไม่น้อยกว่า 125% ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ด้านทุติยภูมิของมอเตอร์

$$I_{C,SEC} \geq 1.25 \times I_{SEC}$$

กำหนดให้ $I_{C,SEC}$ = พิกัดกระแสสายตัวนำ (A)

I_{SEC} = พิกัดกระแสด้านทุติยภูมิ (A)

สายสำหรับมอเตอร์ตัวเดียว (ต่อ)

- **มอเตอร์วาวด์โรเตอร์ ที่มีตัวต้านทานอยู่แยกจากเครื่องควบคุม**
  - ขนาดกระแสของสายระหว่างเครื่องควบคุมและตัวต้านทาน ขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานของตัวต้านทาน ตามตารางที่ 6-2 (หน้า 6-5)

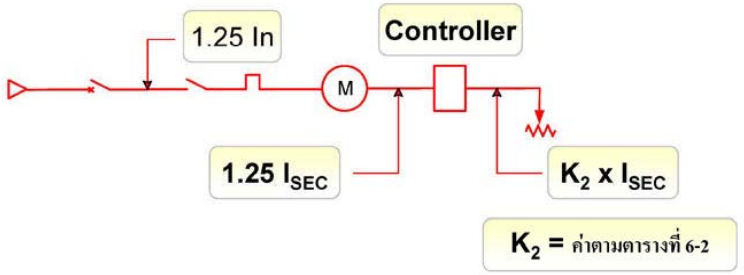
$$I_{CR} \geq K_2 \times I_{SEC}$$

กำหนดให้ I_{CR} = พิกัดกระแสสายตัวนำตัวต้านทาน (A)

I_{SEC} = พิกัดกระแสด้านทุติยภูมิ (A)

K_2 = ค่าตามตารางที่ 6-2 (หน้า 6-5)

มอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ (Wound-Rotor)



มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

- **สำหรับมอเตอร์ทั่วไป**
  - ขนาดกระแสสายตัวนำต้องไม่ต่ำกว่ากระแสพิกัดของมอเตอร์ คูณกับค่าใน
  - ตารางที่ 6-1 (วสท.หน้า 6-4) $I_C \geq K_1 \times I_{FL}$
- **สำหรับชนิดวาวด์โรเตอร์**
  - ด้านปฐมภูมิ เหมือนกับมอเตอร์ทั่วไป (แบบไม่ต่อเนื่อง)
  - ด้านทุติยภูมิ $I_{C,SEC} \geq K_1 \times I_{SEC}$
  - K_1 = ค่าคงที่ตามตารางที่ 6-1 (วสท. หน้า 6-4)

ตัวอย่างที่ 6.1

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 55 kW 380 V (104A) 3 ph จงหาขนาดสายไฟป้อน กำหนดให้ใช้สาย มอก. 11-2531 ตารางที่ 4 วิธีเดินดังนี้
   - เดินในท่อโลหะในอากาศ
   - เดินลอยบนลูกถ้วย (Rack)

ตัวอย่างที่ 6.1 (ต่อ)

วิธีทำ พิจารณาจากโจทย์เป็นมอเตอร์ใช้งานทั่วไป และไม่ทราบลักษณะการทำงานแน่ชัด ให้พิจารณาเป็นโหลดต่อเนื่อง

$$IC \geq 1.25 \times I_M$$

$$IC \geq 1.25 \times 104 = \underline{\mathbf{130\ A}}$$

กรณีที่1 เดินในท่อโลหะในอากาศ จากตารางที่ 5-11 (วสท.หน้า 5-43)
ได้สาย THW ขนาด 3 x 70 mm.^{2} (148 A)

กรณีที่2 เดินลอยบนลูกถ้วย จากตารางที่ 5-11 (วสท.หน้า 5-43)
ได้สาย THW ขนาด 3 x 35 mm.^{2} (137 A)

ตัวอย่างที่ 6.2

- มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ ขนาด 75 kW 380 V 1,460 รอบ/นาที มีพิกัดกระแสวงจรด้านปฐมภูมิ 142 A และมีพิกัดกระแสวงจรด้านทุติยภูมิ 106 A โดยชุดต้านทาน (Resistor Bank) ติดตั้งแยกจากเครื่องควบคุม

จงหา

ขนาดสายไฟป้อน กำหนดให้ใช้สาย มอก. 11-2531 ตารางที่ 4 โดยวิธี เดินในท่อโลหะลอยในอากาศ

1. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านปฐมภูมิ
2. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ
3. ขนาดสายวงจรมอเตอร์จากเครื่องควบคุมไปยังชุดความต้านทาน

ตัวอย่างที่ 6.2 (ต่อ)

วิธีทำ

1. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านปฐมภูมิ

$I_C \geq 1.25 \times I_M = 1.25 \times 142 =$ **177.5 A**

จากตารางที่ 5-11 ใช้สายขนาด 3 x 95 mm.^{2} (187 A)

2. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ

$I_{C,sec} \geq 1.25 \times I_{sec} = 1.25 \times 106 =$ **132.5 A**

จากตารางที่ 5-11 ใช้สายขนาด 3 x 70 mm.^{2} (148 A)

3. ขนาดสายจากเครื่องควบคุมไปยังชุดความต้านทาน

$I_{CR} \geq 1.10 \times I_{sec} = 1.10 \times 106 =$ **116.6 A**

จากตารางที่ 5-11 ใช้สายขนาด 3 x 50 mm.^{2} (119 A)

ตัวอย่างที่ 6.3

- มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำขนาด 37 kW 380 V (70 A) ใช้หมุนลูกกลิ้งบดแป้ง พิกัดใช้งาน 15 นาที

จงหา ขนาดสายไฟป้อน กำหนดให้ใช้สาย มอก. 11-2531 ตารางที่ 4 โดยวิธี เดินในท่อโลหะลอยในอากาศ

วิธีทำ

จากตารางที่ 6-1 ได้ค่าคงที่ K1 = 90 %

$$I_C \geq K_1 \times I_{FL} = 0.9 \times 70 = \underline{\mathbf{63\ A}}$$

จากตารางที่ 5-11 ใช้สายขนาด 3 x 25 mm.^{2} (77 A)

ตารางที่ 6-1 ขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

ประเภทการใช้งาน	ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง			
	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 5 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 15 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 30 และ 60 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งานต่อเนื่อง
ใช้งานระยะสั้น เช่นมอเตอร์หมุนเปิด-ปิดวาล์ว ฯลฯ	110	120	150	-
ใช้งานเป็นระยะ เช่นมอเตอร์ลิฟต์ มอเตอร์ปิด-เปิดสะพาน ฯลฯ	85	85	90	140
ใช้งานเป็นคาบ เช่นมอเตอร์หมุนลูกกลิ้ง ฯลฯ	85	90	95	140
ใช้งานเปลี่ยนแปลง	110	120	150	200

ตารางที่ 6-2 ขนาดสายระหว่างเครื่องควบคุมมอเตอร์ และตัวต้านทานในวงจรทุติยภูมิของมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์

ประเภทการใช้งานของตัวต้านทาน	ขนาดกระแสของสายคิดเป็นร้อยละของกระแสด้านทุติยภูมิที่โหลดเต็มที่
เริ่มเดินอย่างเบา	35
เริ่มเดินอย่างหนัก	45
เริ่มเดินอย่างหนักมาก	55
ใช้งานเป็นระยะห่างมาก	65
ใช้งานเป็นระยะห่างปานกลาง	75
ใช้งานเป็นระยะถี่	85
ใช้งานต่อเนื่องกัน	110

สายสำหรับวงจรมอเตอร์หลายตัว

- **ขนาดกระแสของสายไฟป้อนต้องไม่ต่ำกว่า**

  125 % ของกระแสโหลดเต็มที่ (Full Load Current) ของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด + กระแสโหลดเต็มที่ (Full Load Current) ของมอเตอร์ที่เหลือทุกตัว
- **มอเตอร์ตัวใหญ่ที่สุด** คือ มอเตอร์ที่มีขนาดกระแสพิกัดสูงสุด
- กรณีที่มีมอเตอร์ตัวใหญ่สุด มากกว่า 1 ตัว ให้คิด 125 % ตัวแรกเพียงตัวเดียวเท่านั้น ตัวที่เหลือคิด 100 %

ขนาดกระแสของสายป้อนสำหรับวงจรมอเตอร์หลายตัว

$$I_F \geq (1.25 \times I_{M,MAX}) + (I_{M2} + \ldots\ldots I_{MN})$$

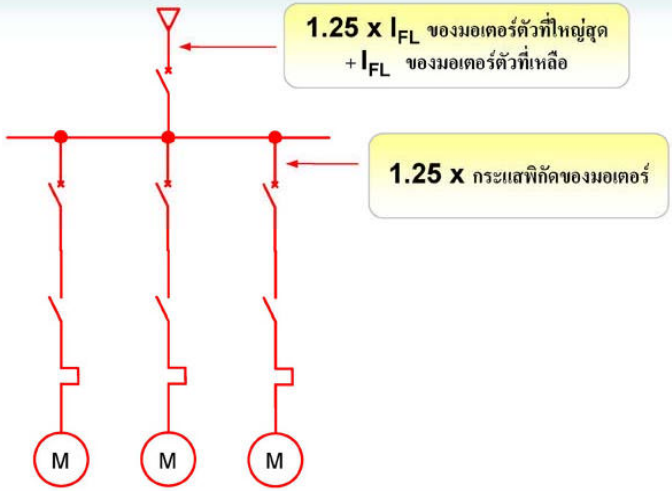
I_F = พิกัดกระแสของสายป้อน กลุ่มมอเตอร์ (A)

$I_{M,MAX}$ = พิกัดกระแสเต็มที่ของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่สุดในวงจร (A)

$I_{M2\ldots MN}$ = พิกัดกระแสเต็มที่มอเตอร์ที่เหลือทุกตัว (A)

สายสำหรับมอเตอร์หลายตัว

- **กรณีที่มีมอเตอร์แบบไม่ต่อเนื่องปนอยู่ด้วย มีขั้นตอนดังนี้**
  - มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง ให้หาตามเงื่อนไขใน ตารางที่ 6-1
  - มอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง ให้คิดที่กระแสพิกัดโหลดเต็มที่ (100%) เท่านั้น
  - เปรียบเทียบค่าจาก 2 ขั้นตอน เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย
  - เมื่อพบว่ากระแสของตัวใดสูงสุดให้คูณด้วย 1.25 (เพียงตัวเดียว)
  - แล้วบวกด้วยค่ากระแสของสายสำหรับมอเตอร์ตัวที่เหลือ ในขั้นตอนที่1 และ2 ทั้งหมด



ตัวอย่างที่ 6.4

Motor Control Center (MCC) จ่ายไฟให้มอเตอร์ดังนี้

มอเตอร์	5.5 kW,400 V พิกัดกระแส	11 A	จำนวน 1 ตัว
มอเตอร์	15 kW, 400 V พิกัดกระแส	28 A	จำนวน 1 ตัว
มอเตอร์	22 kW, 400 V พิกัดกระแส	44 A	จำนวน 2 ตัว

จงหาขนาดสายป้อนกำหนดให้ใช้สาย มอก. 11-2531 ตารางที่ 4
โดยวิธี เดินในท่อโลหะลอยในอากาศ

ตัวอย่างที่ 6.4 (ต่อ)

วิธีทำ

$$I_F \geq (1.25 \times I_{M,MAX}) + (I_{M2} + \ldots\ldots I_{MN})$$

$$I_F \geq (1.25 \times 44) + (44 + 28 + 11)$$

$$I_F \geq \underline{\mathbf{138\ A}}$$

ใช้สาย THW ขนาด 3 x 70 $mm.^2$ (148 A)
ในท่อร้อยโลหะ Ø 50 mm. (2")

สายสำหรับวงจรมอเตอร์ต่อร่วมกับโหลดอื่น

ขนาดกระแสสายไฟฟ้าต้องมีขนาดกระแสไม่ต่ำกว่าที่คำนวณตาม 6.3.5 หรือ 6.3.7 บวกกับกระแสความต้องการสำหรับโหลดอื่นๆที่กำหนดไว้

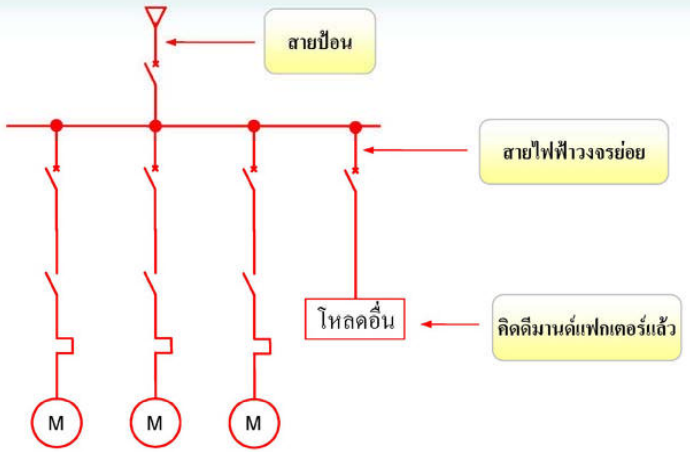
$$I_F = I_{FM} + I_L$$

โดยที่

I_F = กระแสรวมของวงจร (A)

I_{FM} = กระแสสายป้อนมอเตอร์ (A)

I_L = กระแสโหลดอื่นที่คิดดีมานด์แฟกเตอร์แล้ว (A)



ตัวอย่างที่ 6.5 โหลดมอเตอร์ร่วมกับโหลดอื่น

1.อินดัคชั่นมอเตอร์ 45 kW , 400 V กระแส 81 A

2.อินดัคชั่นมอเตอร์ 30 kW , 400 V กระแส 57 A

3.ซิงโครนัสมอเตอร์ 18.5 kW , 400 V กระแส 35 A

4.โหลดแสงสว่าง 25,000 VA (3 Ø 380 V) คิดดีมานแฟกเตอร์แล้ว

จงหา ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว ขนาดกระแสของวงจรแสงสว่าง และขนาดกระแสสายป้อนกำหนดให้ใช้สาย มอก. 11-2531 ตารางที่ 4 โดยวิธีเดินในท่อโลหะลอยในอากาศ

ตัวอย่างที่ 6.5 (ต่อ)

ขั้นตอนที่ 1 หาขนาดกระแสของสายมอเตอร์แต่ละตัว

1.อินดัคชั่นมอเตอร์ 45 kW , 400 V กระแส *81 A*

จากสมการ $I_C \geq 1.25 \times I_M$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $= 1.25 \times 81 =$ ***101.25 A***

2.อินดัคชั่นมอเตอร์ 30 kW , 400 V กระแส *57 A*

จากสมการ $I_C \geq 1.25 \times I_M$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $= 1.25 \times 57 =$ ***71.25 A***

3.ซิงโครนัสมอเตอร์ 18.5 kW , 400 V กระแส *35 A*

จากสมการ $I_C \geq 1.25 \times I_M$

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า $= 1.25 \times 35 =$ ***43.75 A***

ตัวอย่างที่ 6.5 (ต่อ)

ขั้นตอนที่ 2 หาขนาดกระแสของสายป้อนกลุ่มมอเตอร์

จากสมการ $I_C \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + I_{M2} + \ldots . I_{MN}$

ขนาดกระแสของสายป้อน $= (1.25 \times 81) + (57 + 35) =$ **193.25 A**

ขั้นตอนที่ 3 หาขนาดกระแสของสายวงจรแสงสว่าง (ใช้วงจร 3 เฟส)

โหลดแสงสว่าง $= (25{,}000) / (\sqrt{3} \times 380) =$ **37.98 A**

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดกระแสของสายป้อน

จากสมการ $I_F > I_{FM} + I_L$

ขนาดกระแสของสายป้อน $= 193.25 + 37.98 =$ **231.23 A**

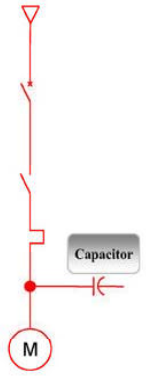
6.3.9 ดีมานด์แฟกเตอร์ของสายป้อน

- **วงจรสายป้อนมอเตอร์สามารถใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ได้ ถ้า.....มอเตอร์ใช้งานไม่พร้อมกัน**
  - ดูจากสภาพการทำงาน
  - กำลังการผลิต
  - เครื่องจักร

มอเตอร์ที่มีคาปาซิเตอร์ต่อร่วมอยู่ด้วย

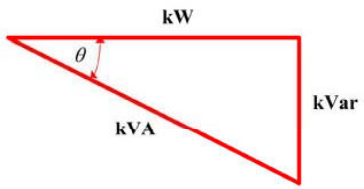
- **วงจรที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย การคิดขนาดกระแสของสายไฟฟ้าให้พิจารณาผลของกระแส ที่เปลี่ยนไปจากการใช้คาปาซิเตอร์ด้วย**
- **ให้ดูข้อ 6.5 (วสท. หน้า 6-35) ประกอบกัน**

ตัวอย่างที่ 6.6 มอเตอร์มีคาปาซิเตอร์ต่อร่วมอยู่ด้วย



- **มอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 40 HP 380 V กระแส 57 A 0.85 P.F. ใช้งานวันละ 5 ชั่วโมง ติดตั้ง Capacitor ขนาด 10 kVar**

จงหาขนาดกระแสของมอเตอร์ ทั้งก่อนติดตั้งและหลังติดตั้ง Capacitor ?



ตัวอย่างที่ 6.6 (ต่อ)

วิธีทำ กระแสของมอเตอร์เท่ากับ 57 A เมื่อยังไม่ต่อ Capacitor ในวงจรจะได้

kVA = $1.732 \times 380 \times 57 \times 10^{-3}$ = 37.52 kVA

kW = 37.52×0.85 = 31.89 kW (kVA cos θ)

kVar = $\sqrt{(kVA^2 - kW^2)}$

= $\sqrt{(37.52^2 - 31.89^2)}$ = 19.77 kVar

เมื่อต่อ Capacitor ในวงจรแล้วจะได้

kW = 37.52×0.85 = **31.89 kW** (เหมือนเดิม)

kVar = 19.77 – 10 = **9.77 kVar**

kVA = $\sqrt{(kW^2 + kVar^2)}$

= $\sqrt{(31.89^2 + 9.77^2)}$ = **33.35 kVA**

ตัวอย่างที่ 6.6 (ต่อ)

- **กระแสของมอเตอร์เมื่อต่อ Capacitor ในวงจรจะได้**

$$I = \frac{33.35 \times 1{,}000}{1.732 \times 380} = \mathbf{50.67\ A}$$

- **ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า ได้ดังนี้**

เมื่อยังไม่ต่อ C ขนาดกระแส = 1.25×57 = **71.25 A**

เมื่อต่อ C แล้ว ขนาดกระแส = 1.25×50.67 = **63.34 A**

* กระแสตัวนี้ มีผลในการตั้งค่า Over load relay ด้วย *

การต่อแยกจากสายป้อน

สายที่ต่อแยกจากสายป้อนต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน และเป็นไปตามข้อกำหนด ข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อ ดังนี้

1) สายตัวนำต้องเดินในท่อสายยาวไม่เกิน 3 เมตร
2) ขนาดกระแสไม่น้อยกว่า 1/3 กระแสสายป้อนและมีการป้องกันความเสียหายทางกายภาพ ความยาวไม่เกิน 7.5 เมตร
3) มีขนาดกระแสเท่ากับสายป้อน

การป้องกันการใช้งานเกินกำลัง (Overload Relay)

- ใช้เพื่อป้องกันวงจรมอเตอร์ และอุปกรณ์ เนื่องจากการใช้งานเกินกำลัง หรือเริ่มเดินไม่สำเร็จ
- ไม่ครอบคลุมถึงมอเตอร์เครื่องสูบน้ำดับเพลิง
- แบ่งเป็น
  - Thermal Overload Relay
  - เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน (Temperature Sensor)

การป้องกันการใช้งานเกินกำลังมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง...ขนาดเกิน 1 แรงม้า

– Overload Relay ต้องติดตั้งแยกต่างหากจากตัวมอเตอร์

การป้องกันการใช้งานเกินกำลังมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง...ขนาดเกิน 1 H.P.

- ขนาดปรับตั้ง Thermal Overload Relay
  - Service Factor ไม่น้อยกว่า 1.15
    = 125% (140%)
  - ชนิดที่ระบุอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 40°C
    = 125% (140%)
  - มอเตอร์อื่นๆ
    = 115% (130%)

(ค่าในวงเล็บคือค่าปรับตั้งสูงสุด ในกรณีที่กระแสเริ่มเดินสูงกว่าปกติ)

การป้องกันการใช้งานเกินกำลังมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง...ขนาดเกิน 1 H.P.

- เครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน ต้องตัดกระแสที่
  - มอเตอร์ที่มี กระแสโหลดเต็มที่ไม่เกิน 9 แอมแปร์
    = 170%
  - มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดตั้งแต่ 9.1 ถึง 20 แอมแปร์
    = 156%
  - มอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ เกินกว่า 20 แอมแปร์
    = 140%
- มอเตอร์ขนาดเกิน 1,500 H.P. ต้องติดตั้งเครื่องจับอุณหภูมิสูง ไว้ในตัวมอเตอร์ด้วย

การป้องกันการใช้งานเกินกำลัง มอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง...ขนาดไม่เกิน 1 H.P.

- **เริ่มเดินไม่อัตโนมัติ**
  - ให้ใช้เครื่องป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อย ขนาดไม่เกิน 20 A. ใช้แทน Overload ได้
  - ไม่ติดตั้งถาวร
  - อยู่ในที่ซึ่งมองเห็นได้จากเครื่องควบคุมมอเตอร์
  - ห่างจากเครื่องควบคุมไม่เกิน 15 m

การป้องกันการใช้งานเกินกำลัง มอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง...ขนาดไม่เกิน 1 H.P.

- **เริ่มเดินอัตโนมัติ**

  เลือกใช้วิธีใด วิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

  - ติดตั้ง Overload แยกจากมอเตอร์ และทำงานสัมพันธ์กับกระแสของมอเตอร์
  - ติดตั้งเครื่องป้องกันอุณหภูมิสูงเกินที่ตัวมอเตอร์
  - ให้ถือว่ามอเตอร์มีการป้องกันแล้ว ถ้ามอเตอร์ประกอบอยู่กับบริภัณฑ์ซึ่งได้ออกแบบให้ในสภาพปกติ ไม่ปล่อยให้มอเตอร์ใช้งานเกินกำลัง
  - ด้าน Secondary ของ Wound Rotor รวมทั้งสายไฟเครื่องควบคุมตัวต้านทาน ใช้ Overload ด้าน Primary เป็นตัวป้องกันได้

มอเตอร์ใช้งานเป็นระยะและที่คล้ายกัน

- **มอเตอร์ที่ใช้งาน**
  - ใช้งานระยะสั้น
  - ใช้งานเป็นระยะ
  - ใช้งานเป็นคาบ หรือใช้งานเปลี่ยนแปลง

ใช้เครื่องป้องกันการลัดวงจร ขนาดหรือพิกัดปรับตั้งไม่เกินค่าใน

ตารางที่ 6-3 แทน เครื่องใช้งานเกินกำลัง (Overload)

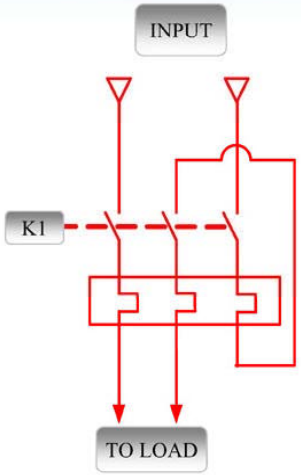
การเลือก (Overload Relay)

- รีเลย์โหลดเกินที่เลือกแล้วไม่เพียงพอสำหรับการเริ่มเดินเครื่อง อนุญาตให้ปรับค่าสูงขึ้นได้ แต่ต้องไม่เกิน

- มอเตอร์ที่ระบุตัวประกอบการใช้งาน (Service Factor) ไม่น้อยกว่า 1.15	1.40 I_n (140 %)
- มอเตอร์ที่ระบุอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 40 °C	1.40 I_n (140 %)
- มอเตอร์อื่นๆ	1.30 I_n (130 %)

- **การใช้ Fuse เป็นเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลัง**
  - ต้องใส่ทุกเส้น ห้ามใส่ในสายนิวทรัล
- **จำนวนสายที่ตัดโดย Overload**
  - กรณีที่ไม่ใช่ Fuse จำนวนสายที่ปลดอย่างน้อย ดังนี้
    - 1 เฟส ปลด 1 เส้น
    - 3 เฟส ปลด 2 เส้น
- **สายที่ปลดออก จะต้องปลดพร้อมกัน**
- **Thermal Cutout and Overload Relay**
  - ซึ่งไม่สามารถตัดกระแสลัดวงจร (Shot Circuit) ได้ ต้องติดตั้ง Fuse หรือ CB

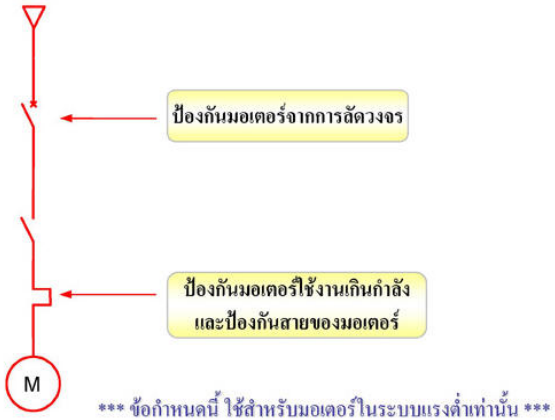
การนำ Thermal O/L 3 เฟส ใช้กับมอเตอร์ 1 เฟส



มอเตอร์ที่ใช้ในวงจรย่อยใช้งานทั่วไป

- มอเตอร์ขนาดไม่เกิน 1 HP.
  - ไม่ต้องมีเครื่องป้องกันโหลดเกิน ก็ได้
- มอเตอร์ขนาดเกิน 1 HP.
  - ต้องมีเครื่องป้องกันโหลดเกิน แยกเฉพาะ
  - ต้องเป็นไปตามข้อ 6.3.22 (วสท.หน้า 6-15)

การป้องกันกระแสลัดวงจรและกระแสรั่วลงดิน



*** ข้อกำหนดนี้ ใช้สำหรับมอเตอร์ในระบบแรงต่ำเท่านั้น ***

กระแสสตาร์ทของมอเตอร์

วิธี	กระแสตอนสตาร์ท
โดยตรง	4-8
แยกส่วนของขดลวด	2-4
สตาร์ – เดลต้า	1.3-2.6
ต่อตัวต้านทาน	4.5
หม้อแปลงออโต้	1.7-4
อิเล็คทรอนิค	2-5 ปรับได้
ต่อตัวต้านทานที่โรเตอร์	ไม่เกิน 2.5

ขนาดปรับตั้งสำหรับวงจรที่มีมอเตอร์ตัวเดียว

- เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรต้องทนกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ได้
- มีขนาดปรับตั้งไม่เกินค่าที่กำหนดใน ตารางที่ 6-3
- ถ้าค่าไม่ตรงมาตรฐานให้ใช้ขนาดถัดขึ้นไปได้

ขนาดปรับตั้งสำหรับวงจรที่มีมอเตอร์ตัวเดียว

- ในสภาพใช้งานปกติ ถ้ายังเริ่มเดินไม่ได้ให้เปลี่ยนขนาดได้ดังนี้

1) Fuse ไม่หน่วงเวลาไม่เกิน 600 A

ให้เปลี่ยนสูงขึ้นได้ แต่ต้องไม่เกิน $4\ I_n$ **(400%)**

2) Fuse ชนิดหน่วงเวลา

ให้เปลี่ยนสูงขึ้นได้แต่ต้องไม่เกิน $2.25\ I_n$ **(225%)**

3) วงจรย่อยของ Torque Motor

ให้ใช้ขนาดสูงถัดไป

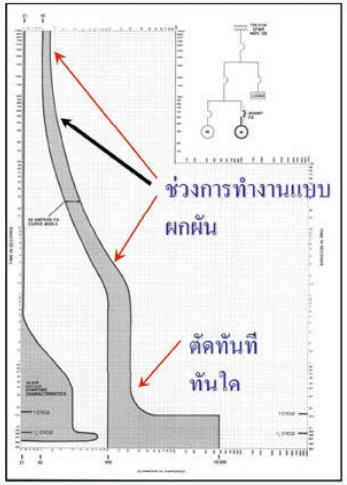
4) เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน

- ขนาดไม่เกิน 100 A ใช้ $4\ I_n$ **(400%)**
- ถ้าขนาดเกิน 100 A ใช้ $3\ I_n$ **(300%)**

5) Fuse ขนาดเกิน 600 A

ให้ใช้ขนาดถัดสูงขึ้น แต่ต้องไม่เกิน $3\ I_n$ **(300%)**

กราฟแสดงคุณสมบัติเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบเวลาผกผัน



ตารางที่ 6-3 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและการป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	Fuse ทำงานไว	Fuse หน่วงเวลา	CB ปลดทันที	CB เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ทั้งหมดและมอเตอร์ 3 เฟส แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดยรับ แรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดินผ่านตัวต้านทานหรือรีแอกเตอร์				
■ ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
■ รหัสอักษร F ถึง V	300	175	700	250
■ รหัสอักษร B ถึง E	250	175	700	200
■ รหัสอักษร A	150	150	700	150

ตารางที่ 6-3 (ต่อ) พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและการป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	Fuse ทำงานไว	Fuse หน่วงเวลา	CB ปลดทันที	CB เวลาผกผัน
มอเตอร์กระแสสลับทั้งหมด แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดยผ่านหม้อแปลงออโต				
กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
■ ไม่มีรหัสอักษร	250	175	700	200
กระแสเกิน 30 แอมแปร์				
■ ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
■ รหัสอักษร F ถึง V	250	175	700	200
■ รหัสอักษร B ถึง E	200	175	700	200
■ รหัสอักษร A	150	150	700	150

ตารางที่ 6-3 (ต่อ) พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและการป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	Fuse ทำงานไว	Fuse หน่วงเวลา	CB ปลดทันที	CBเวลาผกผัน
มอเตอร์ แบบกรงกระรอก				
กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์				
ไม่มีรหัสอักษร	250	175	700	250
กระแสเกิน 30 แอมแปร์				
ไม่มีรหัสอักษร	200	175	700	200
มอเตอร์ แบบวาวด์โรเตอร์				
ไม่มีรหัสอักษร	150	150	700	150
มอเตอร์ กระแสตรง (แรงดันคงที่)				
ขนาดไม่เกิน 50 แรงม้า				
ไม่มีรหัสอักษร	150	150	250	150
ขนาดเกิน 50 แรงม้า				
ไม่มีรหัสอักษร	150	150	175	150

ตารางที่ 6-4 รหัสอักษรแสดงการล็อกโรเตอร์

รหัสอักษร	เควีเอต่อแรงม้า ขณะล็อกโรเตอร์
A	0 – 3.14
B	3.15 – 3.54
C	3.55 – 3.99
D	4.0 – 4.49
E	4.5 – 4.99
F	5.0 – 5.59
G	5.6 – 6.29
H	6.3 – 7.09
J	7.1 – 7.99
K	8.0 – 8.99
L	9.0 – 9.99

ตารางที่ 6-4 (ต่อ) รหัสอักษรแสดงการล็อกโรเตอร์

รหัสอักษร	เควีเอต่อแรงม้า ขณะล็อกโรเตอร์
M	10.0 – 11.19
N	11.2 – 12.49
P	12.5 – 13.99
R	14.0 – 15.99
S	16.0 – 17.99
T	18.0 – 19.99
U	20.0 – 22.39
V	ตั้งแต่ 22.4 ขึ้นไป

หมายเหตุ รหัสอักษรของมอเตอร์ เป็นตัวแสดงค่ากระแส Start ของมอเตอร์ตามมาตรฐาน NEMA

ตัวอย่างที่ 6.7 การหาค่ารหัสอักษร

- มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ ขนาด 5 HP กระแส 8 A 380 V มีกระแสล๊อคโรเตอร์ 25 แอมแปร์ ไม่ระบุรหัสอักษร จงหาขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร เมื่อกำหนดให้ใช้ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน

<u>วิธีทำ</u>

1. **หารหัสอักษรคือ kVA/HP**

kVA = ($\sqrt{3}$ x 25 x 380)/1,000 = 16.45 kVA

kVA/HP = 16.45/5 = <u>3.29</u>

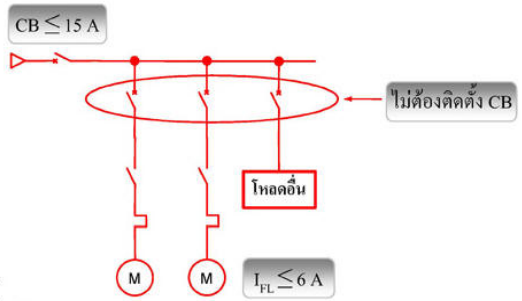
เทียบจาก ตารางที่ 6-4 ได้รหัสอักษร B

2. หาขนาด CB จาก ตารางที่ 6-3 ได้ค่า K = 200 %

I_{CB} = 2 x 8 = <u>16 A</u>

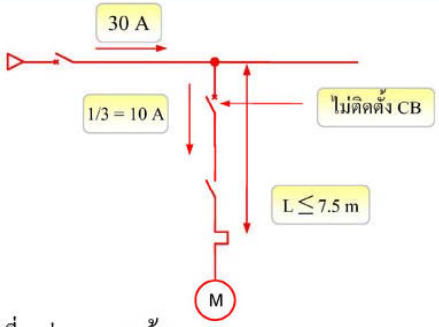
วงจรย่อยที่มีมอเตอร์หลายตัว หรือมีโหลดอื่น

- **วงจรย่อยไม่เกิน 15 A ไม่ต้องมี CB ถ้า**



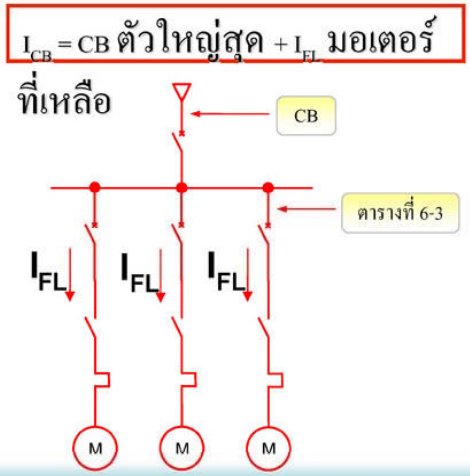
  - มอเตอร์ไม่เกิน 1 HP.
  - วงจรย่อยขนาดไม่เกิน 15 A
  - กระแสพิกัด (I_{FL}) แต่ละเครื่องไม่เกิน 6 A
  - ขนาด O/L ของเครื่องควบคุม ต้องไม่เกิน CB วงจรย่อย

การต่อแยกเข้ามอเตอร์ตัวเดียว



- การต่อแยกเข้ามอเตอร์ ต้องมี CB ที่จุดต่อแยก <u>ยกเว้น</u>
  - ขนาดกระแสในวงจรต่อแยกไม่ต่ำกว่า 1/3 ของ กระแสวงจรย่อย
  - ระยะจากจุดต่อแยกถึง O/L ไม่เกิน 7.5 m.

การป้องกันกระแสลัดวงจรและป้องกันการรั่วลงดิน ของสายป้อนสำหรับมอเตอร์ต่อร่วมกับโหลดอื่น



ตัวอย่างที่ 6.8 การหา CB ของสายป้อน

- **มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก จำนวน 3 ตัว ประกอบด้วย**
  1 มอเตอร์ขนาด 5 HP ,380 V 8 แอมแปร์ กระแสล็อคโรเตอร์ 25 A ไม่ระบุรหัสอักษร
  2 มอเตอร์ขนาด 50 HP ,380 V 69 แอมแปร์ รหัสอักษร C
  3 มอเตอร์ขนาด 40 HP ,380 V 57 แอมแปร์ รหัสอักษร A

  – จงหาขนาดเครื่องป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัว และขนาดเครื่องป้องกันของสายป้อนของกลุ่มมอเตอร์
  – กำหนดให้ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน
  – หาขนาดกระแสของสายป้อนของกลุ่มมอเตอร์ กำหนดใช้สาย มอก. 11-2531 ตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะลอย

ตัวอย่างที่ 6.8 (ต่อ)

วิธีทำ

1. มอเตอร์ ตัวที่ 1 หารหัสอักษรคือ kVA/HP

$$kVA = (\sqrt{3} \times 25 \times 380)/1{,}000 = 16.45\ kVA$$

$$kVA/HP = 16.45/5 = \underline{3.29}$$

เทียบจาก ตารางที่ 6-4 ได้รหัสอักษร B

หาขนาด CB จาก ตารางที่ 6-3 ได้ค่า K = 200 %

$$I_{CB,M1} = 2 \times 8 = \underline{16\ A}$$

เลือกใช้ CB ขนาด **20 A**

ตัวอย่างที่ 6.8 (ต่อ)

วิธีทำ

2. มอเตอร์ ตัวที่ 2 หาค่า K รหัสอักษร C ตารางที่ 6-3 ได้ค่า 200%

หาขนาด CB จาก ได้ค่า K = 200 %

$$I_{CB,M2} = 2 \times 69 = \underline{138\ A}$$

เลือกใช้ CB ขนาด **150 A**

3. มอเตอร์ ตัวที่ 3 หาค่า K รหัสอักษร A ตารางที่ 6-3 ได้ค่า 150%

หาขนาด CB จาก ได้ค่า K = 150 %

$$I_{CB,M3} = 1.5 \times 57 = \underline{85.5\ A}$$

เลือกใช้ CB ขนาด **100 A**

ตัวอย่างที่ 6.8 (ต่อ)

วิธีทำ

4. หาเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อน

$$I_{CB} = \text{CB ตัวใหญ่สุด} + I_{FL} \text{ มอเตอร์ที่เหลือ}$$

$$I_{CB} = 150 + 8 + 57 = \underline{215\ A}$$

เลือกใช้ CB ขนาด **200 A** หรือ **225 A**

5. หาขนาดกระแสของสายป้อน

$$I_F \geq (1.25 \times I_{M,MAX}) + (I_{M1} + \ldots I_{MN})$$

$$I_F = (1.25 \times 69) + (8+57) = \underline{151.25\ A}$$

จากตารางที่ 5-11 ใช้สายขนาด 3 x 95 $mm.^2$ (187 A)

วงจรควบคุมมอเตอร์

- ***<u>การป้องกันกระแสเกิน</u>***

  วงจรควบคุมมอเตอร์ที่ต่อแยกจาก ด้านโหลดรวมทั้งหม้อแปลงสำหรับวงจรควบคุมต้องมีการป้องกระแสเกิน

- ***<u>ยกเว้น</u>***

  วงจรควบคุมที่ประกอบสำเร็จ อยู่ภายในกล่องเครื่องควบคุมมอเตอร์

วงจรควบคุมมอเตอร์ (ต่อ)

<u>การปลดวงจร</u>

1) ต้องจัดวงจรควบคุมมอเตอร์ในลักษณะที่ เมื่อเครื่องปลดวงจรอยู่ในตำแหน่ง " ปลด " วงจรควบคุมจะถูกปลด ออกจากตัวนำจ่ายไฟฟ้า

2) ในกรณีที่มีหม้อแปลงเพื่อลดแรงดัน สำหรับใช้ในวงจรควบคุม และติดตั้งอยู่ภายในเครื่องควบคุมหม้อแปลง หรืออุปกรณ์ดังกล่าว ต้องต่อทางด้านโหลดของเครื่องปลดวงจรของวงจรควบคุมมอเตอร์

เครื่องควบคุมมอเตอร์

การออกแบบเครื่องควบคุมมอเตอร์

- ต้องสามารถเริ่มเดินหรือหยุดมอเตอร์ได้ และต้องตัดกระแสเมื่อมอเตอร์หมุนไม่ไหวได้ด้วย
- เครื่องเริ่มเดินแบบ Auto Transformer ต้องมีตำแหน่งหยุดเดิน และเริ่มเดิน

พิกัด

- เครื่องควบคุมต้องมีพิกัด (HP OR kW)ไม่น้อยกว่าของมอเตอร์

ยกเว้น

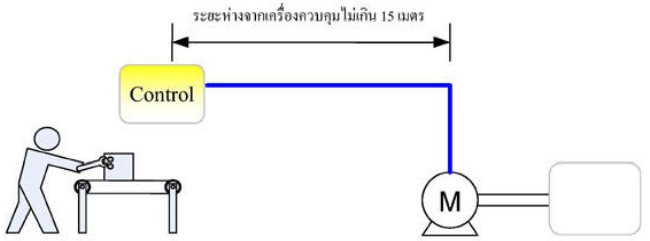
1) มอเตอร์พิกัดไม่เกิน 2 HP แรงดันไม่เกิน 416 V ให้ใช้สวิทช์แบบใช้งานทั่วไปได้ แต่พิกัดไม่น้อยกว่า $2I_n$

2) เครื่องควบคุม (Torque Motor) กระแสพิกัดไม่น้อยกว่า I_n

เครื่องควบคุมมอเตอร์ (ต่อ)

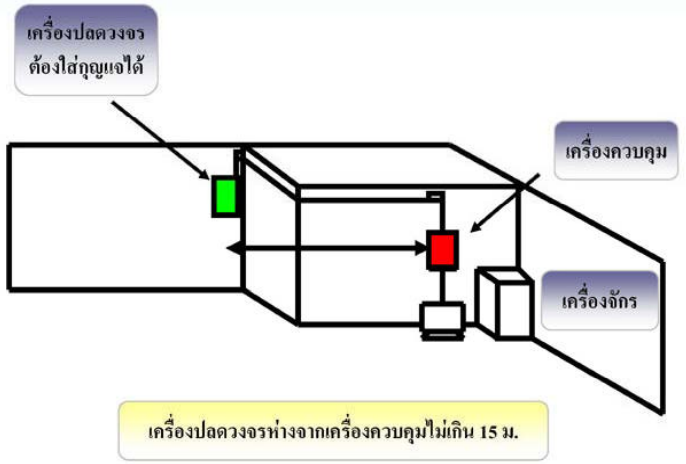
<u>ที่ตั้ง</u> - ในตำแหน่งที่มองเห็นได้

- ไม่เกิน 15 m



การติดตั้งเครื่องควบคุมมอเตอร์

ที่ตั้ง



เครื่องควบคุมมอเตอร์ (ต่อ)

<u>การใช้สวิทซ์และฟิวส์เป็นเครื่องควบคุม</u>

- สวิทซ์และฟิวส์ ใช้เป็นเครื่องควบคุมวงจรมอเตอร์ได้ ถ้าเป็นไปตามข้อกำหนดในตอน ค. (วสท. หน้า 6-6) เรื่องการป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์ แต่ถ้าเป็นฟิวส์ชนิดทำงานช้า อาจลดขนาดลงมาได้ตามความเหมาะสม

Magnetic Contactor

- ***<u>การเลือกใช้</u>***
  - พิกัดแรงดัน
  - พิกัดกำลังไฟฟ้า
  - คุณสมบัติของโหลด
  - ลักษณะการใช้งาน (Making & Breaking)

Making & Breaking Capacity

- **Making Capacity** คือ พิกัดหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าขณะที่เริ่มเดินมอเตอร์
- **Breaking Capacity** คือ พิกัดหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้าขณะที่หยุดเดินมอเตอร์

การเลือกใช้ Contactors (IEC 947-4)

ภาคผนวก ฎ

AC-2	Slip-ring motors : starting ,switching off
	สำหรับมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ ซึ่งขณะปิด และเปิด จะมีกระแส 2-5 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์
AC-3	Squirrel-cage motors : starting ,switching off motors during running
	สำหรับมอเตอร์แบบกรงกระรอก ซึ่งขณะเดินเครื่องจะมีกระแส 5-7 เท่า ของกระแสพิกัด ส่วนในขณะหยุดเครื่องจะมีกระแสเท่ากับกระแสพิกัดมอเตอร์
AC-4	Squirrel-cage motors : starting ,plugging ,inching
	สำหรับมอเตอร์ที่มีการใช้งานเป็นช่วงสั้นๆ ติดต่อกัน มีการเดิน และหยุดเครื่องบ่อยครั้ง

เครื่องปลดวงจร

- ต้องปลดมอเตอร์และเครื่องควบคุมพร้อมกันได้อย่างปลอดภัย
- ต้องปลดทุกสายได้พร้อมกัน
- มีเครื่องหมายอย่างชัดเจน ว่าอยู่ในตำแหน่งปลดหรือสับ
- มองเห็นได้จากตำแหน่งเครื่องจักร และห่างจากเครื่องควบคุมไม่เกิน 15 เมตร
- สำหรับมอเตอร์แรงสูง ห่างจากเครื่องควบคุมเกิน 15 เมตร ได้ถ้าที่เครื่องควบคุมติดป้ายเตือน และสามารถใส่กุญแจได้ในตำแหน่งปลด

พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร

- เครื่องปลดวงจรของมอเตอร์ระบบแรงต่ำ ต้องมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 115 % ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์

$$I_{DS} \geq 1.15 \times I_M$$

โดยที่

I_{DS} = พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร (A)

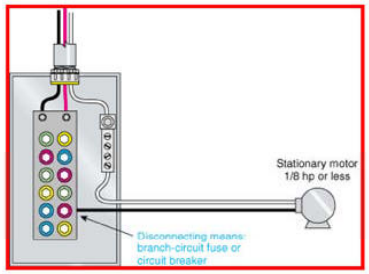
I_M = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (A)

ชนิดของเครื่องปลดวงจร

- เครื่องปลดวงจรของระบบแรงต่ำเป็น ต้องเป็นสวิทซ์ ที่ใช้กับ Inductive Load หรือเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์
- ข้อยกเว้น

ข้อยกเว้น 1

มอเตอร์ติดตั้งประจำที่ขนาดไม่เกิน 1/8 HP อนุญาตให้ใช้CB ของวงจรย่อยเป็นเครื่องปลดวงจรได้

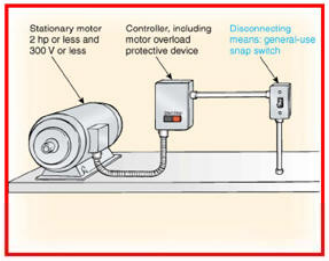


ชนิดของเครื่องปลดวงจร (ต่อ)

ข้อยกเว้น 2

สำหรับมอเตอร์ติดตั้งประจำที่ขนาดไม่เกิน 2 HP แรงดันไม่เกิน 416 V อนุญาตให้ใช้สวิตช์ใช้งานทั่วไปที่มีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 2 เท่าของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เป็นเครื่องปลดวงจรได้

$$I_S \geq 2 \times I_M$$



ชนิดของเครื่องปลดวงจร (ต่อ)

ข้อยกเว้น 3

มอเตอร์ขนาด 2-100 HP เครื่องปลดวงจรสำหรับมอเตอร์ ซึ่งใช้เครื่องควบคุมแบบหม้อแปลงออโต้ (Auto Transformer Type Controller) อนุญาตให้ใช้สวิตช์ใช้งานทั่วไป เป็นเครื่องปลดวงจรได้ ถ้ามีสภาพดังต่อไปนี้ทุกประการ

3.1) เป็นมอเตอร์ที่หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังทางด้านโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

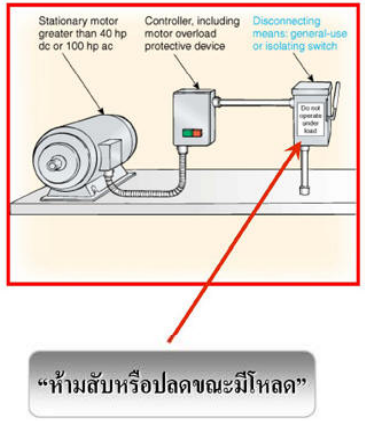
3.2) เครื่องควบคุมมอเตอร์สามารถตัดกระแสล็อคโรเตอร์ได้ มีเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังที่มีพิกัดหรือขนาดปรับตั้งไม่เกินร้อยละ 125 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ และต้องเป็นชนิดที่ปลดวงจรออกเมื่อไม่มีไฟ (No-Voltage Release)

3.3) Fuse ที่แยกเป็นส่วนต่างหากหรือ CB แบบเวลาผกผันที่มีขนาดหรือการปรับตั้งไม่เกินร้อยละ 150 ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เป็นเครื่องป้องกันวงจรย่อยมอเตอร์

ชนิดของเครื่องปลดวงจร (ต่อ)

ข้อยกเว้น 4

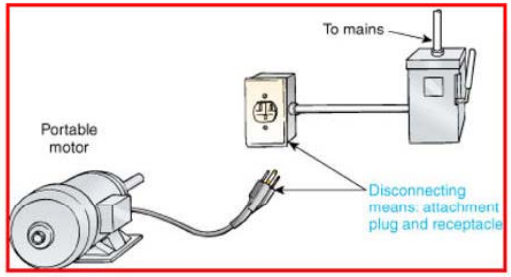
มอเตอร์ D.C. ติดตั้งประจำที่ขนาดเกิน 40 HP หรือมอเตอร์ A.C.ติดตั้งประจำที่ขนาดเกิน 100 HP อนุญาตให้ใช้สวิตช์ใช้งานทั่วไปเป็นเครื่องปลดวงจรได้ ถ้ามีป้ายเตือนว่า " **ห้ามสับ หรือปลดขณะมีโหลด** " และมีอุปกรณ์ป้องกันการปลดสับโดยพลั้งเผลอ เช่น กุญแจ



ชนิดของเครื่องปลดวงจร (ต่อ)

ข้อยกเว้น 5

มอเตอร์แบบต่อด้วยสายและเต้าเสียบ อนุญาตให้ใช้เต้าเสียบเป็นเครื่องปลดวงจรได้



การใช้สวิทซ์ หรือ CB เป็นทั้งเครื่องควบคุมและเครื่องปลดวงจร

อนุญาตให้ใช้ได้ ถ้า

1) ขนาดสอดคล้องกับขนาดมอเตอร์

2) สามารถปลดตัวนำเส้นไฟได้หมด

3) มีเครื่องป้องกันกระแสเกิน

ต้องเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งดังนี้

1) เป็น Air-Break Switch ชนิดปลดสับด้วยมือที่ก้านโดยตรง

2) Inverse Time CB

3) Oil Switch ไม่เกิน 100 A

เครื่องปลดวงจรประจำแต่ละตัว

- **มอเตอร์แต่ละตัวต้องมีเครื่องปลดวงจรประจำตัว**

ยกเว้น

เครื่องปลดวงจร ชุดเดียวใช้กับกลุ่มมอเตอร์ได้ตาม

1) มอเตอร์เหล่านั้นอยู่ในเครื่องจักรเดียวกัน

2) มอเตอร์เหล่านั้นใช้เครื่องป้องกันกระแสเกินเดียวกัน

3) มอเตอร์เหล่านั้นอยู่ในห้องเดียวกัน และสามารถมองเห็นได้จากจุดที่ติดตั้ง และห่างไม่เกิน 15 m จาก เครื่องควบคุม

มอเตอร์แรงสูง

มอเตอร์สำหรับระบบแรงสูง

เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับมอเตอร์แรงสูง

- ***การระบุเครื่องหมายของเครื่องควบคุม***
  - เครื่องควบคุมต้องระบุแรงดันไฟฟ้าสำหรับวงจรควบคุม
- ***ท่อร้อยสายเข้ามอเตอร์***
  - ท่อโลหะอ่อนต้องยาวไม่เกิน ***1.80 m***
- ***การป้องกันกระแสเกินของวงจรมอเตอร์***
  - ต้องมีการป้องกันการใช้งานเกินกำลังและมีการป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์และสายวงจร

มอเตอร์สำหรับระบบแรงสูง (ต่อ)

1) การป้องกันการใช้งานเกินกำลัง

- ต้องมีการป้องกันความร้อนสูง
- วงจร Secondary ของ Wound Rotor ถือว่าได้รับการป้องกันจากทางด้าน Primary
- เครื่องป้องกันการใช้งานเกิน ต้องปลดทุกเส้นไฟได้พร้อมกัน
- เครื่องตรวจจับต้องไม่สามารถ Reset เองได้ ยกเว้นปรับให้ทำได้โดยอัตโนมัติ

มอเตอร์สำหรับระบบแรงสูง (ต่อ)

2) การป้องกันกระแสลัดวงจร

- ใช้ Fuse หรือ CB แบบที่เหมาะสม
- เครื่องตัดกระแสลัดวงจรต้องไม่สามารถต่อวงจรได้เองโดยอัตโนมัติ
- เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังและเครื่องป้องกันลัดวงจรอาจเป็นเครื่องเดียวกันได้

มอเตอร์สำหรับระบบแรงสูง (ต่อ)

พิกัดของเครื่องควบคุมมอเตอร์

- พิกัดกระแสไม่น้อยกว่าค่ากระแสของเครื่องป้องกันใช้งานเกินกำลัง

เครื่องปลดวงจร

- ต้องสามารถใส่กุญแจในตำแหน่งปลดได้

การป้องกันส่วนที่มีไฟฟ้า

ข้อกำหนดนี้ ใช้ได้ทั้งระบบแรงต่ำและแรงสูง

ที่ซึ่งต้องมีการป้องกัน

ส่วนที่มีไฟฟ้าของมอเตอร์และเครื่องควบคุม

- ระบบแรงดันตั้งแต่ 50 V ขึ้นไป
- มีโอกาสสัมผัสได้

ต้องมีการป้องกันโดย

1) มีเครื่องห่อหุ้ม
2) ติดตั้งในสถานที่เหมาะสมดังนี้
   - อยู่ในห้องหรือที่ล้อม เข้าถึงได้เฉพาะคนที่เกี่ยวข้อง
   - ติดตั้งยกพื้น หรือโครงสร้างที่ยกสูง
   - สูงจากพื้น ไม่น้อยกว่า 2.50 m

การป้องกันส่วนที่มีไฟฟ้า (ต่อ)

การป้องกันสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง

- ต้องปูพื้นด้วยฉนวน หรือยกพื้นเป็นฉนวนที่เหมาะสม
- ไม่อาจสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าโดยง่าย

การต่อลงดิน

- *จุดประสงค์*
  - เพื่อไม่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าดินเมื่อเกิดไฟรั่วลงที่โครงมอเตอร์
- โครงมอเตอร์ที่ใช้แรงดันเกิน 50 V ต้องต่อลงดิน

ยกเว้น ไม่ต้องต่อลงดิน เมื่อ

- ใช้แรงดันไม่เกิน 50 V
- รับไฟจากหม้อแปลงลดแรงดัน และเป็นหม้อแปลงนิรภัย
- เป็นมอเตอร์ชนิดมีฉนวนสองชั้น

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์) วิธีการเดินสาย (หมายเหตุ 2) ≥0.5D ≥D						
	ก	ข	ค		ง		จ
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	599	455	562
500	818	-	541	469	684	516	623

มอก. 11-2531 ตารางที่	ชนิดของสาย	ชื่อเรียก	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด(โวลต์)	ลักษณะการติดตั้ง
4	สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนแกนเดียว	THW	750	• เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน • เดินในช่องเดินสายในสถานที่แห้ง • ห้ามฝังดินโดยตรง • เดินร้อยท่อฝังดินได้แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าภายในท่อและป้องกันไม่ให้สายมีไอกาสแช่น้ำ
5	สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกแกนเดียวและสายแบน 2 แกน	VVF VVF-S	750	**สายกลม** • เดินลอย • เดินเกาะผนัง • เดินซ่อน (Conceal) ในผนัง • เดินในช่องเดินสาย • เดินร้อยท่อฝังดินได้แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าภายในท่อและป้องกันไม่ให้สายมีไอกาสแช่น้ำ **สายแบน** • เดินเกาะผนัง • เดินซ่อน (Conceal) ในผนัง • ห้ามเดินในช่องเดินสาย ***ยกเว้น*** *รางเดินสาย* • ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
6	สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนมีเปลือกนอกแกนเดียว	NYY	750	• ใช้งานทั่วไป • เดินร้อยท่อฝังดิน • ฝังดินโดยตรง

6.4 หม้อแปลง ห้องหม้อแปลง และลานหม้อแปลง

บริภัณฑ์ไฟฟ้า

- โคมไฟฟ้า สวิทซ์ เต้ารับ และเต้าเสียบ
- มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และเครื่องควบคุม
- ***หม้อแปลง ห้องหม้อแปลง และลานหม้อแปลง***
- คาปาซิเตอร์

6.4 หม้อแปลง ห้องหม้อแปลง และลานหม้อแปลง

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

- ชนิดแห้ง (Dry Type Transformer)
- ชนิดฉนวนของเหลวติดไฟได้ (Flammable Liquid-Insulated Transformer)
- ชนิดฉนวนของเหลวติดไฟยาก (Less-Flammable Liquid-Insulated Transformer)
- ชนิดฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ (Nonflammable Liquid-Insulated Transformer)

สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อน และลักษณะการระบายความร้อน

ตัวกลางระบายความร้อน	สัญลักษณ์
น้ำมัน	O
ก๊าซ	G
น้ำ	W
อากาศ	A

วิธีการหมุนเวียนของตัวระบายความร้อน	สัญลักษณ์
โดยวิธีธรรมชาติ (Natural)	N
โดยวิธีอัดหรือขับ (Forced)	F

การระบายความร้อน

- สัญลักษณ์แสดงการระบายความร้อนจะเขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัว หรือ 4 ตัว

การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า

$$kVA_{TR} = (1.732 \times V \times I_{LOAD}) / 1,000$$

โดย

kVA_{TR} = ขนาดหม้อแปลง เป็น เควีเอ

V = แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกของหม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด เป็น โวลท์

I_{LOAD} = กระแสโหลดที่คำนวณได้เมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ เป็น แอมแปร์

การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (ต่อ)

- กรณีต้องการออกแบบให้หม้อแปลงจ่ายโหลด 80% จะได้

$$kVA_{TR} = (1.25 \times 1.732 \times V \times I_{LOAD}) / 1,000$$

โดย

kVA_{TR} = ขนาดหม้อแปลง เป็น เควีเอ

V = แรงดันไฟฟ้าด้านไฟออกของหม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด เป็น โวลท์

I_{LOAD} = กระแสโหลดที่คำนวณได้เมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์ เป็น แอมแปร์

การกำหนดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า (ต่อ)

- **ค่า VA ของโหลด กับ ค่า VA ของหม้อแปลง มีความหมายต่างกัน**

VA (Load) = คิดที่แรงดัน 380 V
VA (Trans) = คิดที่แรงดัน No Load ของหม้อแปลง

ตัวอย่างที่ 1

โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลดการใช้งาน 500 kVA 3 Ph 380 V

- กระแสโหลด

  I = (500 x 1,000) / (1.732 x 380) = 760 A

- กระแสหม้อแปลง

  I = (500 x 1,000) / (1.732 x 416) = 694 A

ตัวอย่างที่ 2

- หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,250 kVA ด้าน Secondary เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย จงหาพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของหม้อแปลง ดังนี้
  - ระบบแรงดันไฟฟ้า ของการไฟฟ้านครหลวง
    - กฟน. 416/240 Volt
  - ระบบแรงดันไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
    - กฟภ. 400/230 Volt

ตัวอย่างที่ 2 (ต่อ)

วิธีทำ

1. กระแสตามระดับแรงดัน การไฟฟ้านครหลวง (416/240 V)

กระแส $\dfrac{1{,}250 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 416}$ = **1,735 A**

2. กระแสตามระดับแรงดัน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (400/230 V)

กระแส $\dfrac{1{,}250 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400}$ = **1,804 A**

ตัวอย่างที่ 3

- **จงหาขนาดหม้อแปลงของโรงงานแห่งหนึ่ง ตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งมีโหลด ดังนี้**
  - ไฟฟ้าแสงสว่าง คิด D.F. แล้ว 60 kVA
  - เต้ารับ คิด D.F. แล้ว 40 kVA
  - ระบบปรับอากาศ คิด D.F. แล้ว 100 kVA
  - เครื่องจักรอุตสาหกรรม คิด D.F. แล้ว 300 kVA

ตัวอย่างที่ 3 (ต่อ)

วิธีทำ

โหลดรวม = 60+40+100+300 = 500 kVA

กระแสโหลด = $\frac{500 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 380} = 759.67 \text{ A}$

ดังนั้น ขนาดหม้อแปลง = $(1.25 \times 1.732 \times V \times I_{LOAD})/1,000$

$= (1.25 \times 1.732 \times 416 \times 759.67)/1,000$

$= 684.189 \text{ kVA}$

กรณีที่ 1 เลือกหม้อแปลงขนาด 630 kVA (874.35 A ทำงานที่ 87%)

กรณีที่ 2 เลือกหม้อแปลงขนาด 800 kVA (1110.28 A ทำงานที่ 68%)

** ในทางปฏิบัติ การเลือกขนาดหม้อแปลง ต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่นอนาคตอาจมีการขยายงานอีกก็เลือกตัวใหญ่เผื่อไว้ หรือขึ้นอยู่กับงบประมาณปัจจุบันที่มีอยู่ เพียงพอหรือไม่ **

ขนาดพิกัดมาตรฐานของหม้อแปลง

- **ที่นิยมใช้ (Preferred Rating) ตาม IEC มีดังต่อไป นี้**
  - 50 kVA 100 kVA 125 kVA 160 kVA
  - 200 kVA 250 kVA 315 kVA 400 kVA
  - 500 kVA 630 kVA 800 kVA 1000 kVA
  - 1250 kVA 1600 kVA 2000 kVA 2500 kVA
  - 3150 kVA

ที่ตั้ง

- **อยู่ในสถานที่ ซึ่งบุคคลที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง สามารถเข้าไปทำการตรวจและบำรุงรักษา ได้สะดวก**
- **มีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ**
- **การติดตั้งภายนอกอาคาร**
  - บนนั่งร้านหม้อแปลง
  - บนลานหม้อแปลง
  - ในเครื่องห่อหุ้ม (Pad Mounted)
- **การติดตั้งภายในอาคาร**
  - ในเครื่องห่อหุ้ม
  - ในห้องหม้อแปลง

การป้องกันกระแสเกิน

- ต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งด้านไฟเข้า และไฟออก ขนาดปรับตั้งไม่เกินค่าตาม ตารางที่ 6-5 (วสท. หน้า 6-27)
- ถ้าขนาดไม่ตรงตามมาตรฐานของผู้ผลิต ให้ใช้ขนาดสูงถัดไปได้
- หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer) ที่ติดตั้งในอาคาร ต้องอยู่ในเครื่องห่อหุ้ม และมีการป้องกันกระแสเกินด้านไฟเข้า
- หากเครื่องปลดวงจรไม่ใช่สวิทซ์สำหรับตัดโหลด ติดตั้งอยู่ด้านไฟเข้าของหม้อแปลง ต้องมีป้ายเตือน

" ปลดสวิทซ์แรงต่ำก่อน ปลดวงจรด้านไฟเข้า"

ตารางที่ 6-5 ขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับหม้อแปลงระบบแรงสูง

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

ตัวอย่างที่ 4

- หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,600 kVA 24 kV/(416/240) V , Zk = 6%

จงคำนวณหา

Fuses ทางด้าน HV

CB ทางด้าน LV

วิธีทำ

กระแสทางด้าน HV $= \frac{1600}{\sqrt{3} \times 24} =$ **38.50 A**

กระแสทางด้าน LV $= \frac{1600 \times 1000}{\sqrt{3} \times 416} =$ **2221 A**

ตัวอย่างที่ 4 (ต่อ)

- **Fuses ทางด้าน HV**

Fuse $\leq$ 3 x 38.50 = **115.50 A**

พิกัด Fuse ตามมาตรฐาน IEC คือ

40 ,50 ,63 ,80 ,100 ,125 ,160 A

เลือกใช้พิกัด Fuse = 100 A

- **CB ทางด้าน LV**

$I_{CB} \leq$ 1.25 x 2221 = **2776.25 A**

เลือกใช้ CB ขนาด 3000AT / 3000 AF

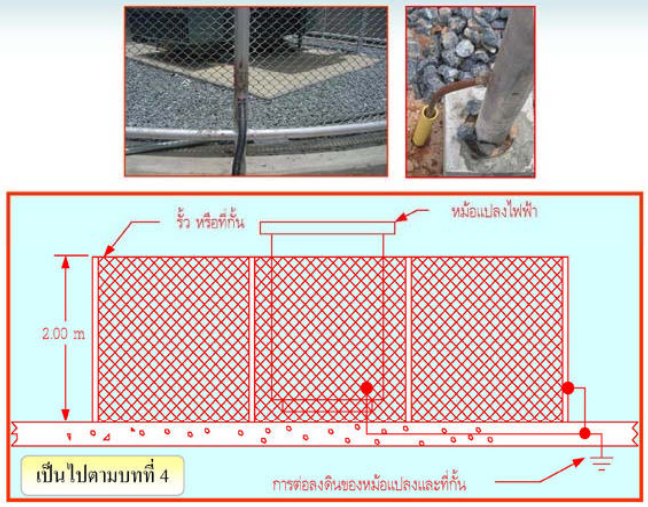
การต่อขนานหม้อแปลง

- ต้องมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหมือนกัน
- แต่ละลูกต้องมีการป้องกันกระแสเกินทั้งแรงสูงและแรงต่ำ
- ทุกลูกต้องมีสวิทช์ที่สามารถสับ-ปลดหม้อแปลงได้พร้อมกัน

การต่อลงดิน

- ตัวถังหม้อแปลง เครื่องห่อหุ้ม รั้ว ที่กั้นต้องต่อลงดิน **ตามบทที่ 4**

การต่อลงดิน



ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ

6.4.7 หม้อแปลงชนิดแห้งติดตั้งภายในอาคาร (Indoor)

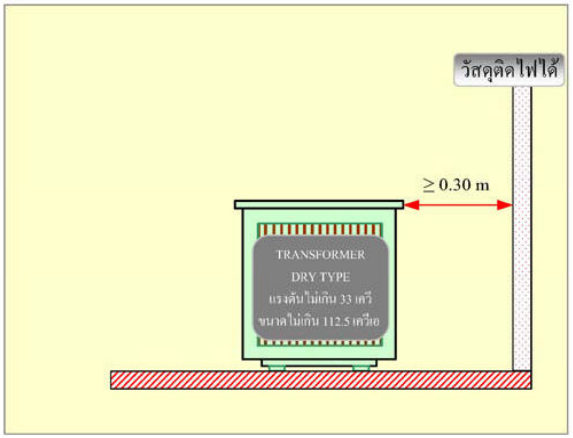
- แรงดันไม่เกิน 33 kV
- ขนาด **ไม่เกิน** 112.5 kVA

ต้องติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟ **ไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร**

ยกเว้น

- มีการกั้นด้วยแผ่นกั้นความร้อน
- ส่วนที่มีไฟฟ้า อยู่ในเครื่องห่อหุ้มมิดชิด

ระยะห่างระหว่างหม้อแปลง กับวัสดุติดไฟ



ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

6.4.8 หม้อแปลงชนิดแห้งติดตั้งภายในอาคาร (Indoor)

- ขนาด **เกิน** 112.5 kVA

ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง

ยกเว้น

- มีระบบอุณหภูมิฉนวนไม่ต่ำกว่า 150 ^{O}C และกั้นด้วยแผ่นกั้นความร้อน
- ห่างจากวัสดุติดไฟ ในแนวระดับ **1.80 เมตร** ในแนวดิ่ง **3.60 เมตร**
- ส่วนที่มีไฟฟ้า อยู่ในเครื่องห่อหุ้มมิดชิด

ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

- **หม้อแปลงชนิดแห้งติดตั้งภายนอกอาคาร (Outdoor)**
  - ต้องมี เครื่องห่อหุ้มที่ทนต่อสภาพอากาศ
  - ขนาดเกิน **112.5 kVA** ต้องติดตั้งห่างจากวัสดุติดไฟ ไม่น้อยกว่า **0.30 เมตร**

ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

- **หม้อแปลงฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ**

  (Nonflammable Fluid-Insulated Transformer)
  - ติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร
  - ถ้าติดตั้งภายในอาคารต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง

ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

- **หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้**
  - ติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร
  - กรณีติดตั้ง **ภายในอาคาร** ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง

ยกเว้น

หม้อแปลงสำหรับเตาหลอมขนาดไม่เกิน 75 kVA

หากไม่อยู่ในห้องหม้อแปลง ต้องมีรั้วล้อมรอบ

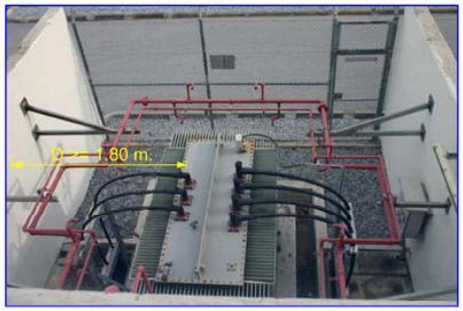
ระยะห่างจากหม้อแปลงถึงรั้วไม่น้อยกว่า **1.00 เมตร**

ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

- **หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้ กรณีติดตั้ง <u>ภายนอกอาคาร</u>**
  - ต้องมีการปิดกั้นเพื่อป้องกันไฟที่เกิดจากของเหลวจากหม้อแปลง ลุกลามไปติดอาคาร เมื่อ.....
    - อยู่ใกล้อาคาร หรือวัสดุที่ติดไฟได้
    - อยู่ใกล้ทางหนีไฟ ประตู หรือหน้าต่าง

ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

- **หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้ กรณีติดตั้งภายนอกอาคาร**
  - ส่วนที่มีไฟฟ้าด้านแรงสูงต้องอยู่ห่างจากโครงสร้างไม่น้อยกว่า **1.80 เมตร**



ข้อกำหนดจำเพาะของหม้อแปลงชนิดต่างๆ (ต่อ)

- **หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟยาก**

  (Less-flammable Liquid-Insulated Transformer)
  - ติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร
  - บรรจุด้วยฉนวนของเหลวที่มี จุดติดไฟ (fire point)ไม่ต่ำกว่า 300 ^{o}C
  - ฉนวนของเหลว ต้องไม่เป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม (Non-toxic)

หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟยาก...ติดตั้งภายในอาคาร...

- **ในบริเวณพื้นที่ติดไฟได้**
  - ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง..หรือ..
  - มีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ และมีที่กั้นเก็บของเหลว
- **ในบริเวณพื้นที่ไม่ติดไฟ ตาม NFPA 220-1985 (Type-1 and Type2)**
  - ต้องติดตั้งในห้องหม้อแปลง..หรือ..
  - มีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ และต้องมีที่กั้นเก็บของเหลว..หรือ..
  - ไม่ต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ แต่ต้องมีที่กั้นเก็บของเหลวถ้าหม้อแปลงเป็นไปตาม UL หรือ FM (Factory Manual)

ห้องหม้อแปลง

- สำหรับฉนวนของเหลวติดไฟได้และติดไฟยาก
- สำหรับฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ
- สำหรับชนิดแห้ง

ห้องหม้อแปลง (ต่อ)

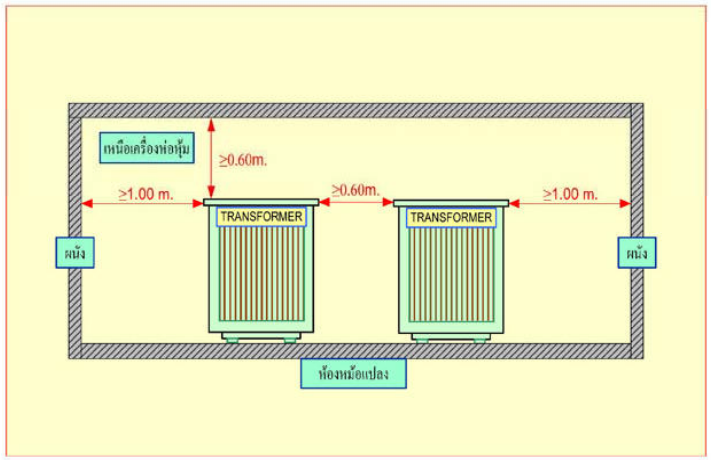
- **ฉนวนของเหลวติดไฟได้ และติดไฟยาก**
  - ต้องอยู่ในสถานที่ ที่สามารถขนย้ายหม้อแปลงเข้า-ออก ได้ทั้งลูก
  - สามารถระบายอากาศสู่อากาศภายนอกได้
  - หากใช้ท่อลม ต้องเป็นชนิดทนไฟ
  - ต้องเข้าตรวจสอบ และบำรุงรักษาได้สะดวก

ห้องหม้อแปลง (ต่อ)

6.4.12.2 ฉนวนของเหลวติดไฟได้ และติดไฟยาก (ระยะห่าง)

– ระหว่างหม้อแปลงถึงผนังหรือประตู	1.00 เมตร
– ระหว่างหม้อแปลงถึงหม้อแปลง	0.60 เมตร
– ที่ว่างเหนือหม้อแปลง	0.60 เมตร

ระยะห่างห้องหม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟได้ และติดไฟยาก



ห้องหม้อแปลง (ต่อ)

- **การระบายอากาศ**
  - **ช่องระบายอากาศ ควร...**
    - ห่างจากประตู หน้าต่าง ทางหนีไฟ และวัสดุติดไฟมากที่สุดเท่าที่จะทำได้
    - อุณหภูมิในห้องต้องไม่เกิน 40 ^{o}C

การระบายอากาศ

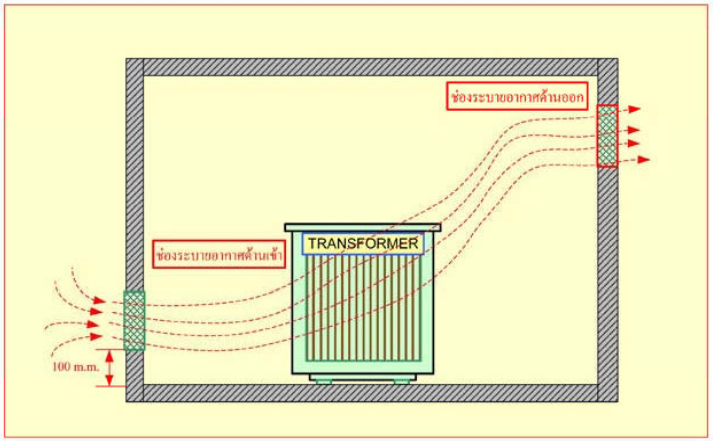
- **ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ**
  - มีช่องระบายอากาศ ทั้งด้านเข้าและด้านออก
  - พื้นที่ของช่องระบายอากาศ แต่ละด้านต้อง

    ไม่น้อยกว่า 1 m.^{2} / 1,000 kVA

$$C_{VENT} \geq 0.001 \times kVA_{TRANF} \text{ (ตร.ม)}$$

การระบายอากาศ

- **ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศตามธรรมชาติ (ต่อ)**
  - ช่องระบายอากาศด้านเข้าต้องอยู่ใกล้พื้นห้อง แต่ต้องสูงไม่น้อยกว่า 100 มม.
  - ช่องระบายอากาศด้านออกต้องอยู่ใกล้เพดานหรือหลังคา
  - ช่องระบายอากาศทั้งด้านเข้าและด้านออกห้ามอยู่ผนังเดียวกัน
  - ช่องระบายอากาศต้องปิดด้วยลวดหรือตาข่าย



การระบายอากาศ

- **ระบายความร้อนด้วยพัดลม**
  - ช่องระบายอากาศด้านเข้า เหมือนกับระบายด้วยอากาศธรรมชาติ
  - ช่องระบายอากาศ ด้านออกต้องติดตั้งพัดลมดูดอากาศ...ขนาด

    ไม่น้อยกว่า 8.40 $m.^3$ / min / kW_{LOSS}

$$C_{FAN} \geq 8.40 \times kW_{LOSS}$$ *(ลบ.ม ต่อนาที)*

  - **kW_{LOSS} = No Load Loss + Load Loss**

การระบายอากาศ

- **ระบายความร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศ**
  - เครื่องปรับอากาศต้องมี...ขนาด

    ไม่น้อยกว่า 3,412 BTU / hr / kW_{LOSS}

$$C_{AIR} \geq 3{,}412 \times kW_{LOSS}$$ *(บีทียูต่อชั่วโมง)*

โครงสร้างของห้องหม้อแปลง

- **ผนังและหลังคา**
  - คอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 125 มม.
  - อิฐ คอนกรีต คอนกรีตบล็อก หนาไม่น้อยกว่า 200 มม.
- **พื้น**
  - คอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 125 มม.
  - มีความลาดเอียง เพื่อให้ฉนวนของเหลวลงบ่อพัก
- **ประตูห้องหม้อแปลง**
  - ทำด้วยเหลึกแผ่นหนา อย่างน้อย **1.6 มม.**
  - ประตูแบบ **เปิดออกภายนอก**

โครงสร้างของห้องหม้อแปลง (ต่อ)

- **บ่อพัก (Sump)**
  - ขนาดบรรจุได้ 3 เท่า ของปริมาตรน้ำมันหม้อแปลงลูกใหญ่ที่สุด
  - ใส่หินเบอร์ 2 จนเต็มบ่อ
  - ถ้าบ่อพักอยู่ภายนอกห้อง ต้องมีท่อขนาด ϕ 50 มม.เพื่อระบายของเหลวไปลงบ่อพัก

$$C_{SUMP} \geq 3 \times V_{FLUID} \quad (ลิตร)$$

ตัวอย่างที่ 5

- หม้อแปลงน้ำมัน 1,000 kVA บรรจุน้ำมัน 760 ลิตร มีกำลังสูญเสียดังนี้

  No Load Loss 1,600 W , Load Loss 13,500 W

ต้องการระบายความร้อนโดยใช้

1 พัดลมระบายอากาศ

2 เครื่องปรับอากาศ

จงคำนวนหา ขนาด

1 ช่องระบายอากาศ

2 บ่อพัก (Sump)

3 พัดลมระบายอากาศ

4 เครื่องปรับอากาศ

ตัวอย่างที่ 5 (ต่อ)

วิธีทำ

1) หา Loss ทั้งหมด = No Load Loss + Load Loss

= 1,600 + 13,500 = **15,100 W**

2) ช่องระบายอากาศ = 1 ตร.ม / 1,000 kVA (10 ตร.ซม./kVA)

= 0.001 x 1,000 = **1 ตร.ม**

3) ขนาด Sump = $3 \times V_{FLUID}$

= 3 x 760 = **2,280 ลิตร**

ตัวอย่างที่ 5 (ต่อ)

วิธีทำ (ต่อ)

4) พัดลมระบายอากาศ = 8.4 x kW_{LOSS}

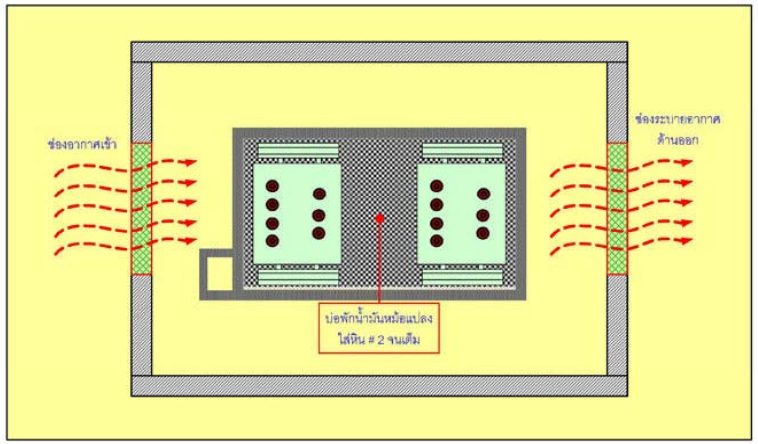
= 8.4 x 15.1 = **126.84 m3/min**

5) เครื่องปรับอากาศ = 3,412 x kW_{LOSS}

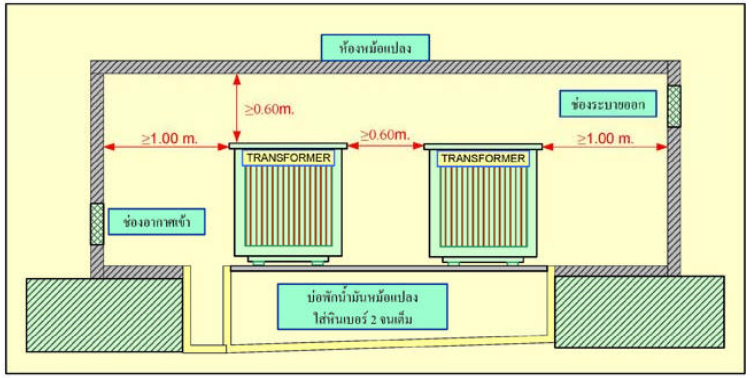
= 3,412 x 15.1 = **51,521.2 BTU/hr**

= 51521.2 / 12000 = **4.59 ตันความเย็น**

ตัวอย่างห้องหม้อแปลง

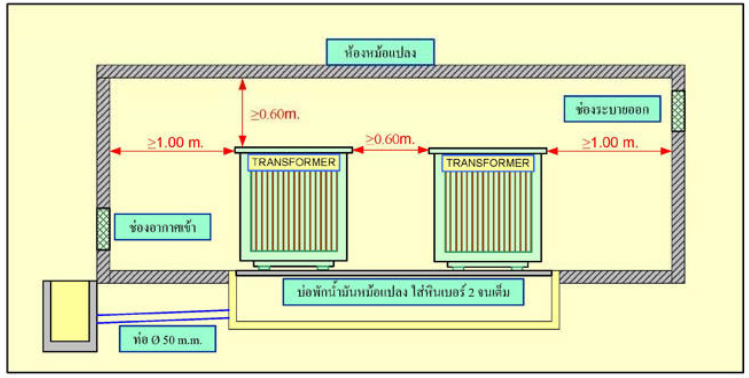


ตัวอย่างห้องหม้อแปลง



ตัวอย่างห้องหม้อแปลง

กรณีบ่อพักอยู่ภายนอก



ห้องหม้อแปลง (ต่อ)

- เครื่องปลดวงจร ในห้องหม้อแปลง ต้องเป็นชนิดสำหรับตัดโหลด (Load Break) เท่านั้น
- **ตัวนำต่อหลักดิน ต้องเป็นทองแดง ขนาดไม่เล็กกว่า 35 mm.^{2}**
- มีแสงสว่างเพียงพอ
  - หลอดฟลูออเรสเซนต์ ไม่น้อยกว่า **8 W/m.^{2}**
  - หลอดไส้ ไม่น้อยกว่า 30 W/m.^{2}
- มีคู่มือการปฐมพยาบาล โดยวิธีผายปอด แบบเป่าปาก

ห้องหม้อแปลง (ต่อ)

- ห้ามระบบท่ออื่นที่ไม่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้า เดินผ่านห้องหม้อแปลง
  - ยกเว้น ท่อดับเพลิง หรือระบบระบายความร้อนของหม้อแปลง
- ห้ามเก็บวัสดุที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานทางไฟฟ้า และวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิง
- ต้องมีเครื่องดับเพลิง สำหรับไฟที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Class C)
  - ขนาดบรรจุไม่น้อยกว่า 6.5 ก.ก.
  - ติดไว้ด้านนอกห้อง สูงไม่เกิน 1.50 เมตร
- มีป้ายเตือน **" อันตรายไฟฟ้าแรงสูง"** และ **" เฉพาะเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น"**

ห้องหม้อแปลง (ต่อ)

- **สำหรับฉนวนของเหลวไม่ติดไฟ**
  - เหมือนห้องหม้อแปลงทั่วไป

ยกเว้น...

- ไม่ต้องมี บ่อพักน้ำมัน แต่ต้องระบายของเหลวออกนอกห้องได้
- ความหนาของผนัง ลดลงได้...
  - คอนกรีตเสริมเหล็ก หนาไม่น้อยกว่า 65 มม.
  - อิฐทนไฟ คอนกรีต บล๊อก หนาไม่น้อยกว่า 65 มม.

ลานหม้อแปลง (Transformer Yard)

- **ลานหม้อแปลงอยู่ภายนอกอาคาร (Outdoor Yard)**
  - ต้องอยู่ในที่ล้อม อาจเป็นกำแพงหรือรั้วที่ใส่กุญแจได้
  - ส่วนที่มีไฟฟ้าแรงสูง ต้องอยู่สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.75 เมตร

<u>ระยะห่าง</u>

- ระหว่างรั้ว กับ หม้อแปลง ไม่น้อยกว่า **1.00** เมตร
- ระหว่างรั้ว กับ ส่วนที่มีไฟ ไม่น้อยกว่า **1.20** เมตร
- ระหว่างหม้อแปลง กับ หม้อแปลง **0.60** เมตร
- ความสูงของรั้ว ไม่น้อยกว่า **2.00** เมตร
- พื้นลานหม้อแปลงใส่หินเบอร์ 2 หนา **100** มิลลิเมตร

ลานหม้อแปลง

ลานหม้อแปลง (Transformer Yard)

- **ลานหม้อแปลงอยู่บนดาดฟ้า**
  - มีข้อกำหนดเหมือนกับหม้อแปลงวางอยู่บนพื้นดิน

<u>เพิ่มเติม</u>

- พื้นดาดฟ้าและโครงสร้างอาคาร ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ
- มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้
  - สายดินอากาศ (Over Head Ground Wire)
  - ใช้วิธีมุมป้องกัน ไม่เกิน 45 องศา วัดจากแนวดิ่ง
- หม้อแปลงฉนวนของเหลวติดไฟ ต้องมีบ่อพักเพื่อระบายของเหลว

6.5 คาปาซิเตอร์

บริภัณฑ์ไฟฟ้า

- โคมไฟฟ้า สวิทซ์ เต้ารับ และเต้าเสียบ
- มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และเครื่องควบคุม
- หม้อแปลง ห้องหม้อแปลง และลานหม้อแปลง
- ***คาปาซิเตอร์***

คาปาซิเตอร์

- ขนาดของคาปาซิเตอร์
  - ในวงจร 1 เฟส

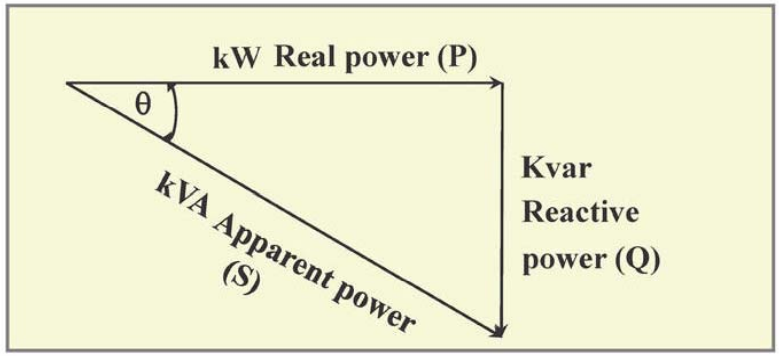
$$\text{Kvar } 1\,\emptyset = 2\,\P\,f\,CV^2 \times 10^{-9}$$

  - ในวงจร 3 เฟส

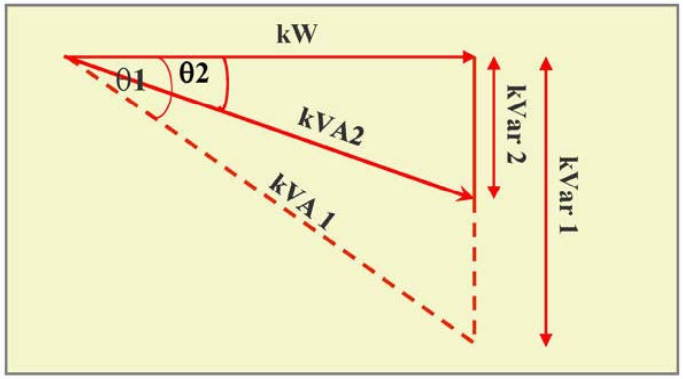
$$\text{Kvar } 3\,\emptyset = 6\,\P\,f\,CV^2 \times 10^{-9}$$

เขียนในรูปเวกเตอร์

$P = S \times \cos\theta$ $Q = S \times \sin\theta$ $PF = kW / kVA$



เขียนในรูปเวกเตอร์



$CKvar = kW (\tan\theta 1 - \tan\theta 2)$

เครื่องห่อหุ้มและการกั้น

- **คาปาซิเตอร์ที่บรรจุด้วยของเหลวติดไฟ**
  มีปริมาณรวมกันมากกว่า 11 ลิตร ต้องติดตั้งในห้องเฉพาะ หรือ..
  ภายนอกอาคาร ต้องมีรั้วล้อมรอบหรือติดตั้งบนเสา
- **ส่วนที่มีไฟฟ้า**
  ต้องมีการป้องกันบุคคลมาสัมผัสโดยบังเอิญ

คาปาซิเตอร์แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์

- **การคายประจุ**
  - ช่วงเวลาคายประจุ
    - ต้องคายประจุให้แรงดันลดลงเหลือไม่เกิน
      75 โวลต์ ภายในเวลา 3 นาที
  - มาตรการในการคายประจุ เมื่อมีการปลด C ออกจากแหล่งจ่าย
    - มีวงจรคายประจุต่ออย่างถาวร หรือ...
    - มีอุปกรณ์ต่อเข้ากับขั้ว C โดยอัตโนมัติ
  - **ห้าม** คายประจุด้วยวงจรที่ทำงานด้วยมือ

คาปาซิเตอร์แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์

- **ขนาดกระแสตัวนำ**
  - ขนาดกระแสของสายต้องไม่ต่ำกว่า

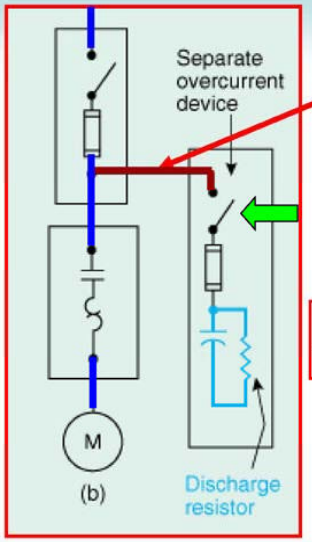
$$I_C = 1.35 \times In,cap$$

โดยที่

I_C = ขนาดกระแสของสายตัวนำ (A)

In,cap = พิกัดกระแสของคาปาซิเตอร์ (A)

  - เมื่อต่อกับวงจรมอเตอร์ ขนาดกระแสของสาย C ต้องไม่ต่ำกว่า 1/3 ของขนาดกระแสสายมอเตอร์



พิกัดกระแสสายตัวนำ

Cap. ≥ 1/3 เท่าของ

พิกัดตัวนำวงจรมอเตอร์

และ

$$I_{cable,cap} = 1.35 I_{n,cap}$$

ตัวอย่างที่ 1

- จงหาขนาดกระแสของสายตัวนำของคาปาซิเตอร์ 50 kVar ,400V ,3 เฟส

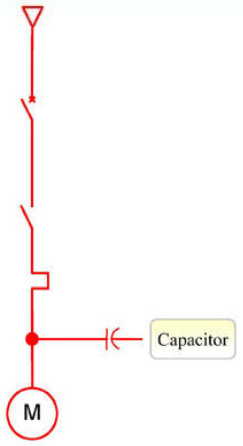
วิธีทำ

$$I_C = 1.35 \times In,cap$$

$$In = \frac{50 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 380} = 75.97 \text{ A}$$

$$I_C = 1.35 \times 75.97 = \underline{\textit{102.56 A}}$$

คาปาซิเตอร์แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์



- **การป้องกันกระแสเกิน**
  - คาปาซิเตอร์ทุกชุด ต้องมีการป้องกันกระแสเกินทุกสายเส้นไฟ

ยกเว้น

  - เมื่อต่อกับด้านโหลด ของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังของวงจรมอเตอร์ (หลัง Overload)
  - พิกัดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องให้ต่ำที่สุด

คาปาซิเตอร์แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์

- **ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกิน**
  - เป็นขนาดที่แนะนำ ไม่ได้ระบุในมาตรฐาน
    ต้องปรับให้ต่ำที่สุด แต่คาปาซิเตอร์ยังต้องต่อใช้งานได้
  - HRCFuse

    $I_{FUSE} = 1.65 \times In,cap$
  - Circuit Breaker

    $I_{CB} = 1.50 \times In,cap$

คาปาซิเตอร์แรงดันไม่เกิน 1,000 โวลต์

- **เครื่องปลดวงจร**
  - คาปาซิเตอร์แต่ละชุดต้องมีเครื่องปลดวงจร ทุกสายเส้นไฟ

    ยกเว้น ต่อด้านหลัง Overload ของมอเตอร์
  - ในสภาพการใช้งานปกติ ต้องปลดวงจรได้โดยไม่เสียหาย และต้องปลดทุกเส้นได้พร้อมกัน
  - พิกัดกระแส ต้องไม่น้อยกว่า

$$I_{DISC} = 1.35 \times In,cap$$

ตัวอย่างที่ 2

- คาปาซิเตอร์ชุดละ 25 kVar จงคำนวณหาขนาด CB ,เครื่องปลดวงจรและสายไฟ

วิธีทำ

$$In,cap = \frac{25 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 380} = 40 \text{ A}$$

$I_{CB} = 1.5 \times In,cap = 1.5 \times 40 =$ ***60 A***

$I_{DISC} = 1.35 \times In,cap = 1.35 \times 40 =$ ***54 A***

$I_{C} = 1.35 \times In,cap = 1.35 \times 40 =$ ***54 A***

คาปาซิเตอร์เมื่อใช้ในวงจรมอเตอร์

- **เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์ (Overload Relay)**
  - พิกัดขนาดปรับตั้งและการกำหนดขนาดตัวนำ ให้คำนวณจากกระแสที่ปรับค่าตัวประกอบกำลังแล้ว
- **หน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactors)**
  - การกำหนดขนาด ต้องดู Utilization Categories (ภาคผนวก ฎ)
  - คาปาซิเตอร์ ควรใช้ AC-6b

คาปาซิเตอร์สำหรับวงจรมอเตอร์ (ต่อ)

- เนื่องจาก P.F. ของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามโหลด การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์จึงนิยมกำหนดให้มีกระแสประมาณ 80%-90% ของกระแสเมื่อไม่มีโหลด (No Load Current)

$$CkVar = \frac{0.90 \times 1.732 \times I_N}{1{,}000}$$

CkVar = ขนาดของคาปาซิเตอร์ (kVar)

V = ค่าแรงดันระหว่างสายไฟฟ้า (V)

I_N = กระแสมอเตอร์เมื่อไม่มีโหลด (A)

การหาค่าขนาด kVar

$$\frac{kVar_{NEW}}{kVar_{OLD}} = \frac{V^2{}_{NEW}}{V^2{}_{OLD}}$$

คาปาซิเตอร์เมื่อใช้ในวงจรมอเตอร์ (ต่อ)

- **การปรับค่า (Overload Relay)**

$$OL_{NEW} = \frac{OL_{OLD} \times P.F._{OLD}}{P.F._{NEW}}$$

OL_{NEW} = พิกัดปรับตั้ง Overload หลังจากใส่คาปาซิเตอร์

OL_{OLD} = ค่าปรับ Overload ก่อนที่จะใส่คาปาซิเตอร์

P.F. = ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ตัวอย่างที่ 3

- คาปาซิเตอร์ขนาด 50 kVar 3 เฟส 416 V 50 Hz ถ้าใช้กับแรงดัน 380 V จะมีค่าขนาดกี่ กิโลวาร์

วิธีทำ kVar 3 เฟส = 6 x ¶ x f x Cx V^2 x 10^{-9}

หาค่า C ที่ 416 V C = (50 x 10^9) / (6 x 3.1416 x 50 x 416^2)

C = 306.56 µF

หาค่า kVar ที่ 380 V kVar = (6 x 3.1416 x 50 x 306.56 x 380^2) / (10^9)

จะได้ขนาดคาปาซิเตอร์ = **41.7 kVar**

ตัวอย่างที่ 3 (ต่อ)

- คาปาซิเตอร์ขนาด 50 kVar 3 เฟส 416 V 50 Hz ถ้าใช้กับแรงดัน 380 V จะมีค่าขนาดกี่ กิโลวาร์ (โจทย์เดิม)

วิธีทำ

$$\frac{kVar_{NEW}}{kVar_{OLD}} = \frac{V^2{}_{NEW}}{V^2{}_{OLD}}$$

ขนาด $kVar_{new}$ $= (380/416)^2 \times 50$

$= \mathit{41.72\ kVar}$

คาปาซิเตอร์แรงดัน เกิน 1,000 โวลต์

- **การคายประจุ**
  - ช่วงเวลาคายประจุ
    - ต้องคายประจุให้แรงดันลดลงเหลือไม่เกิน 75 โวลต์ ภายในเวลา 10 นาที
  - มาตรการในการคายประจุ เมื่อมีการปลด C ออกจากแหล่งจ่าย
    - มีวงจรคายประจุต่ออย่างถาวร หรือ...
    - มีอุปกรณ์ต่อเข้ากับขั้ว C โดยอัตโนมัติ
  - คายประจุผ่านอุปกรณ์ก็ได้ เช่น มอเตอร์ หม้อแปลง

ตัวอย่างที่ 4

- โรงงานแห่งหนึ่ง มีโหลดรวม 400 kVA $\cos\phi = 0.70$ ต้องการปรับปรุงค่า P.F. ให้เป็น $\cos\phi = 0.85$ จะต้องใช้คาปาซิเตอร์ขนาดเท่าใด

วิธีทำ $kW = kVA \cos\phi$

$kW = 400 \times 0.70 = \underline{\mathit{280\ kW}}$

$\phi 1 = \cos^{-1} 0.70 = 45.573$, $\tan\phi 1 = 1.02$

$\phi 2 = \cos^{-1} 0.85 = 31.788$, $\tan\phi 2 = 0.62$

ตัวอย่างที่ 4 (ต่อ)

วิธีทำ (ต่อ)

ขนาด C $kVar = kW \times (\tan\phi 1 - \tan\phi 2)$

$= 280 \times (1.02 - 0.62)$

จะต้องใส่คาปาซิเตอร์ $= \underline{\mathit{112\ kVar}}$

คาปาซิเตอร์แรงดัน เกิน 1,000 โวลต์

- **การป้องกันกระแสเกิน**
  - คาปาซิเตอร์แต่ละตัว หรือกลุ่ม ต้องมีการตรวจจับและตัดกระแสลัดวงจรที่ทำให้เกิดแรงดันภายในตัวถังเกิน
  - เครื่องป้องกันเป็นชนิด 1 เฟส ได้
  - พิกัดปรับตั้งต่ำสุดเท่าที่คาปาซิเตอร์ ยังสามารถทำงานโดยไม่เสียหาย

คาปาซิเตอร์แรงดัน เกิน 1,000 โวลต์

- **การสับและปลด (Switching)**
  - ใช้สวิทซ์ที่ทำงานพร้อมกันทุกเฟส (Group-Operated Switch)
  - เป็นชนิดตัดกระแสโหลดได้
  - สามารถทน Inrust Current และกระแสลัดวงจรได้
  - พิกัดกระแส ไม่น้อยกว่า

$$I_{DISC} = 1.35 \times In,cap$$

คาปาซิเตอร์แรงดัน เกิน 1,000 โวลต์

- **การแยกวงจร**
  - ต้องมีสวิทซ์แยกวงจร
  - ถ้าใช้สวิทซ์ที่ไม่สามารถตัดโหลดได้ ต้องมี Interlock กับเครื่องปลดโหลด (Load-Interrupting Device)
  - หรือ...ทำเครื่องหมาย ป้ายเตือน ให้สับหรือปลดโหลดก่อน

Thank You