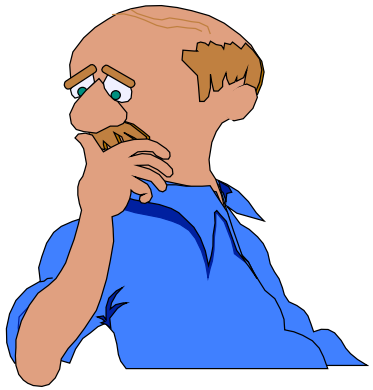
บทที่ 8
วงจรย่อยและสายป้อนมอเตอร์



สนับสนุนโดย ABB

กดปุ่ม Esc หากต้องการกลับไปที่หน้าสารบัญ

8.1 บทนำ

มอเตอร์เป็นโหลดที่สำคัญในระบบไฟฟ้า โหลดไฟฟ้าส่วนใหญ่ จะมีมอเตอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น เครื่องจักรในโรงงาน ปั๊มน้ำ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น มอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมีตั้งแต่ขนาดเล็กพิกัดไม่กี่วัตต์ ไปจนถึงขนาดใหญ่มีพิกัดเป็นเมกกะวัตต์ และ จะมีทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการออกแบบวงจรมอเตอร์ เพื่อให้การใช้งานมอเตอร์ เป็นไปอย่างปลอดภัย และ เชื่อถือได้ จึงได้มีมาตรฐานที่ควบคุมการออกแบบ และติดตั้งวงจรมอเตอร์ เช่น

- NEC Article 430 “ Motors, Motor Circuits , and Controllers ”
- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

  ว.ส.ท. “ มอเตอร์ วงจรมอเตอร์ และ เครื่องควบคุม ”

8.2 ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์

1. สายไฟฟ้าวงจรย่อยมอเตอร์

   (Motor Branch Circuit Conductors)

2. การป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยมอเตอร์

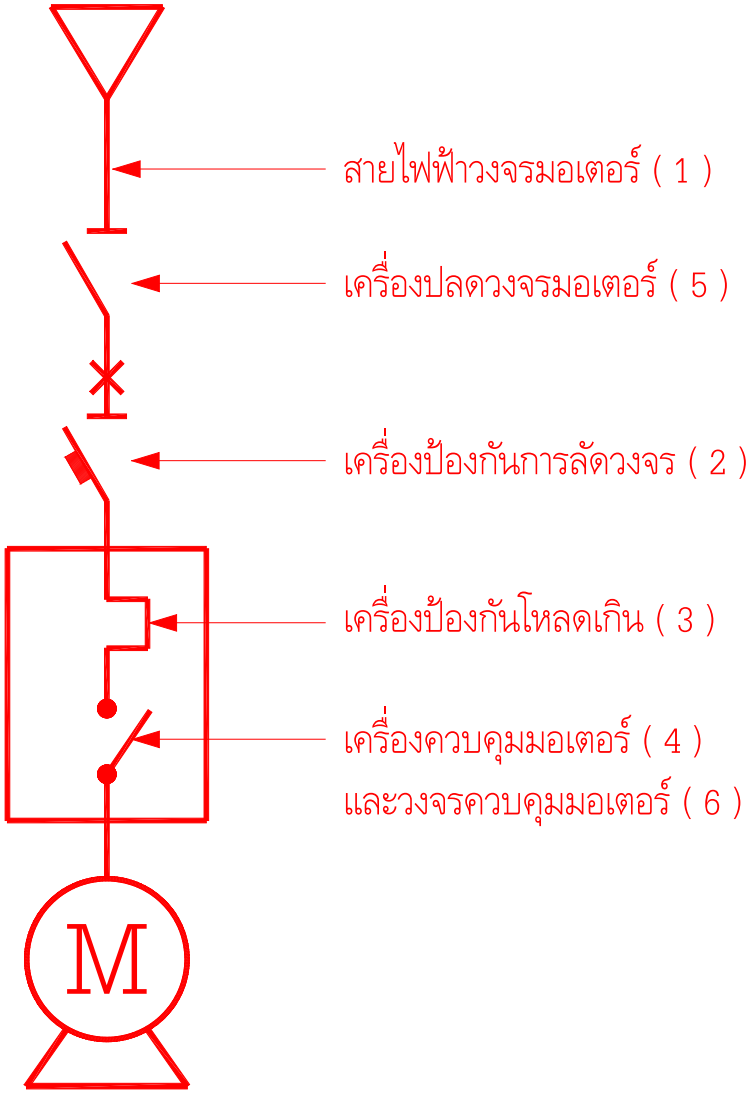
   (Motor Branch Circuit Short Circuit Protection)

3. การป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection)

4. เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller)

5. เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ (Motor Disconnect)

6. วงจรควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Circuits)



รูปที่ 8.1 ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์

8.3 ชนิดของมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน สามารถแบ่งตามหลักการทำงาน ได้เป็น 3 ชนิด ด้วยกันคือ

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

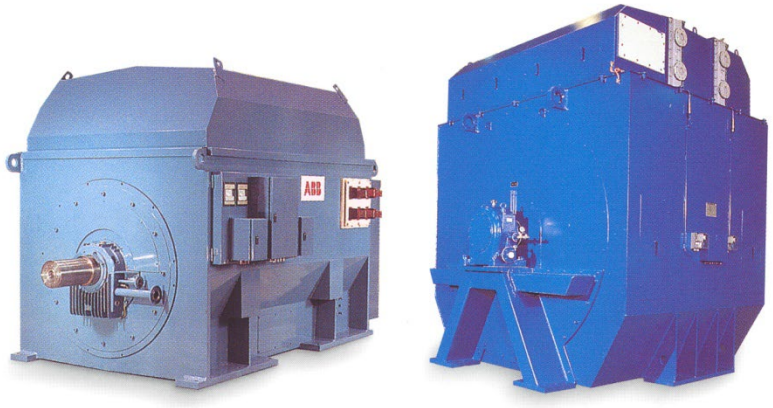
มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีความทนทาน ราคาถูก และไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก มอเตอร์เหนี่ยวนำ มีทั้งชนิด 1 เฟส และชนิด 3 เฟส และยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะของโรเตอร์ คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) และโรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor)



มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)

เป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส โดยจะหมุนที่ความเร็วจำกัดค่าหนึ่งเรียกว่าความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ตัวมอเตอร์ประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ และ ขดลวดสนาม โดยจะต้องจ่ายไฟ AC ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน ส่วนขดลวดสนามจะต้องจ่ายไฟ DC เพื่อสร้าง สนามแม่เหล็กตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนทำให้เกิดแรงบิดขึ้น



มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะมี ขดลวดสนามที่อยู่บน สเตเตอร์และขดลวดอาร์เมเจอร์ ที่อยู่บนโรเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีที่สามารถควบคุมความ เร็วได้ดี และแรงบิดเริ่มเดินเครื่องสูง

นอกจากนี้มอเตอร์ชนิดต่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้ว ยังสามารถแบ่งแรงดันออกตามระดับแรงดันเป็น

- มอเตอร์แรงดันต่ำ (LV Motor)
- มอเตอร์แรงดันสูง (HV Motor)

8.4 พิกัดกระแสของมอเตอร์

ในการออกแบบหาขนาดสายวงจรมอเตอร์ หรือ หาขนาด บริภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์จำเป็นจะต้องทราบ พิกัดกระแสของมอเตอร์ สำหรับในประเทศไทยขนาดของ มอเตอร์ควรจะใช้เป็น kW มากกว่า HP (แรงม้า) เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่มาจากประเทศทางยุโรป หรือ แถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ซึ่งจะใช้ขนาดเป็น kW ส่วน HP เป็นขนาดมอเตอร์ ของประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

ในตารางที่ 8.1 แสดงพิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส ส่วนในตาราง 8.2 แสดงพิกัดกระแสมอเตอร์ ไฟฟ้า กระแสตรง

ตารางที่ 8.1 พิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส

มอเตอร์ 1 เฟส				มอเตอร์ 3 เฟส 4 ขั้ว , 50 Hz				
kW	HP	220V A	240V A	kW	HP	230V A	380V A	400V A
0.37	0.5	3.9	3.6	0.37	0.5	2	1.0	0.98
0.55	0.75	5.2	4.8	0.55	0.75	2.8	1.6	1.5
0.75	1	6.6	6.1	0.75	1	3.6	2	1.9
1.1	1.5	9.6	8.8	1.1	1.5	5.2	2.6	2.5
1.52	12.7	11.7	1.5	2	6.8	3.5	3.4	

ตารางที่ 8.2 พิกัดกระแสมอเตอร์กระแสตรง

kW (HP)	พิกัดกระแส (A)					
	90 V	120 V	180 V	240 V	500 V	550 V
0.19 (1/4)	4.0	3.1	2.0	1.6	-	-
0.25 (1/3)	5.2	4.1	2.6	2.0	-	-
0.37 (1/2)	6.8	5.4	3.4	2.7	-	-
0.55 (3/4)	9.6	7.6	4.8	3.8	-	-
0.75 (1)	12.2	9.5	6.1	4.7	-	-
1.1 (1 1/2)	-	13.2	8.3	6.6	-	-

8.5 วงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit)

ขนาดของสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมี ขนาดพิกัดเพียงพอที่จะจ่ายโหลดมอเตอร์ได้ โดยที่ขนาดสายเล็กที่สุดคือ 1.5 mm^2 เนื่องจากโหลดมอเตอร์มีการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนั้น พิกัดกระแสของสายไฟจึงต้องเลือกใช้ที่เหมาะสม กับลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ด้วย ซึ่งได้แบ่งเป็นกรณีดังนี้

มอเตอร์ใช้งานทั่วไป

โดยทั่วไปโหลดมอเตอร์ จะถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้นสายวงจรมอเตอร์จะต้องมีขนาดไม่น้อย 125% ของพิกัดกระแสมอเตอร์

$$I_C \geq 1.25 \times I_n$$

โดยที่

I_C = พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ (A)

I_n = พิกัดกระแสของมอเตอร์ (A)

มอเตอร์หลายความเร็ว(Multispeed Motor)

สำหรับมอเตอร์หลายความเร็ว แต่ละความเร็วจะมีพิกัดกระแสต่างกัน ให้ใช้ค่าพิกัดกระแสสูงสุด

มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

สำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานเป็นระยะ ใช้งานเป็นคาบ ในลักษณะต่าง ๆ พิกัดกระแสวงจรย่อยต้องไม่ต่ำกว่าค่า เปอร์เซนต์ตามลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ในตารางที่ 8.3 คูณพิกัดกระแสมอเตอร์

$$I_c \geq K_1 I_n$$

โดยที่

I_c = พิกัดกระแสวงจรย่อยมอเตอร์ (A)

I_n = พิกัดกระแสของมอเตอร์ (A)

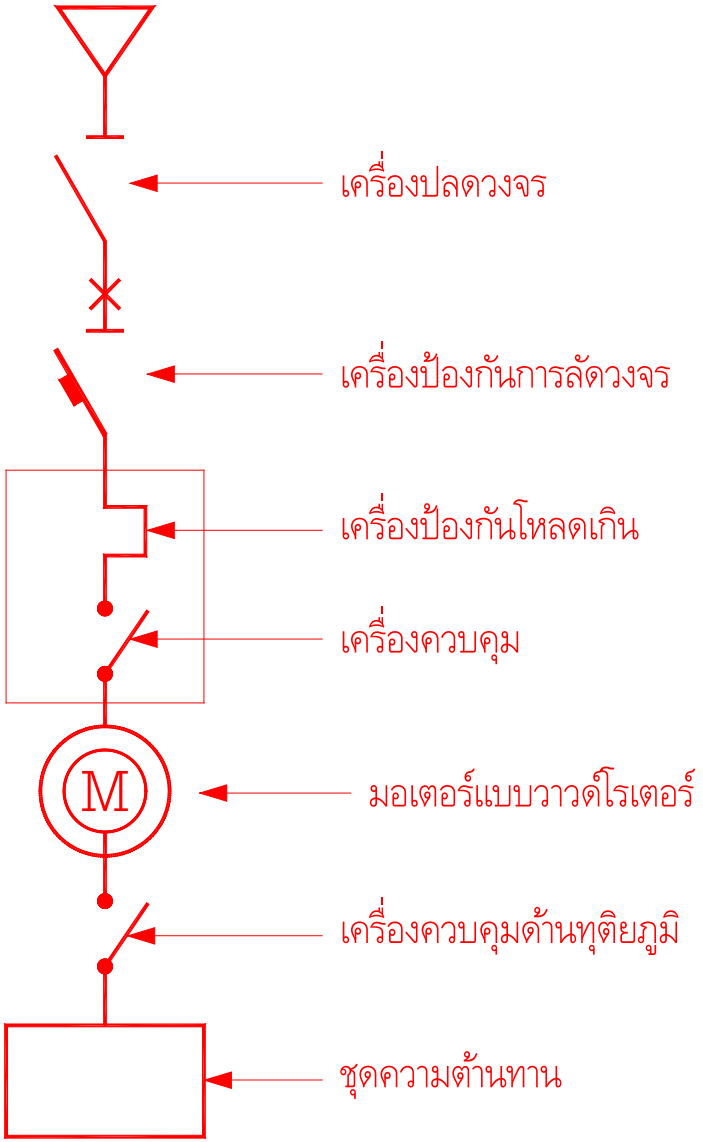
K_1 = ค่าเปอร์เซนต์ตามตารางที่ 8.3 (%)

ตารางที่ 8.3 ขนาดกระแสของสายสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

ประเภทการใช้งาน	ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง (K_1)			
	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 5 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 15 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งาน 30 และ 60 นาที	มอเตอร์พิกัดใช้งานต่อเนื่อง
ใช้งานระยะสั้น เช่น มอเตอร์หมุนปิด-เปิดวาล์ว ฯลฯ	110	120	150	-
ใช้งานเป็นระยะ เช่น มอเตอร์เครื่องลิฟต์ มอเตอร์ปิด-เปิดสะพาน ฯลฯ	85	85	90	140
ใช้งานเป็นคาบ เช่น มอเตอร์หมุนลูกกลิ้ง ฯลฯ	85	90	95	140
ใช้งานที่เปลี่ยนแปลง	110	120	150	200

สายด้านทุติยภูมิของมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์

เนื่องจากมอเตอร์แบบวาวล์โรเตอร์จะมีวงจรทางด้าน ทุติยภูมิ ซึ่งจะต่อระหว่างโรเตอร์ของมอเตอร์กับเครื่องควบคุม ด้านทุติยภูมิ เครื่องควบคุมด้านทุติยภูมินี้จะปรับขนาดความ ต้านทาน เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เมื่อความต้านทาน มีค่ามากจะทำให้มอเตอร์หมุนช้า และเมื่อความต้านทานมีค่าน้อย จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น ความต้านทานที่ใช้อาจเป็นชุดความ ต้านทาน (Resistor Bank) ที่ต่อแยกมากจากเครื่องควบคุมก็ได้



รูปที่ 8.2 วงจรมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์

สายที่ต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องควบคุม

- มอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง

$$I_{c,sec} \geq 1.25\, I_{n,sec}$$

- มอเตอร์ใช้งานไม่ต่อเนื่อง

$$I_{c,sec} \geq K_1\, I_{n,sec}$$

โดยที่

$I_{c,sec}$ = พิกัดกระแสวงจรด้านทุติยภูมิ (A)

$I_{n,sec}$ = พิกัดกระแสมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ (A)

K_1 = ค่าเปอร์เซนต์ตามตารางที่ 8.3 (%)

สายที่ต่อระหว่างเครื่องควบคุม และ ตัวต้านทาน

ทั้งมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง พิกัดกระแสของสายไฟจะต้องไม่ต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ในตาราง 8.4 คูณพิกัดกระแสมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ

$$I_{c,sec} \geq K_2 I_{n,sec}$$

โดยที่

$I_{c,sec}$ = พิกัดกระแสวงจรด้านทุติยภูมิ (A)

$I_{n,sec}$ = พิกัดกระแสมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ (A)

K_2 = ค่าเปอร์เซนต์ตามตารางที่ 8.4 (%)

ตารางที่ 8.4 ขนาดสายระหว่างเครื่องควบคุมมอเตอร์และตัวต้านทาน ในวงจรทุติยภูมิของมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์

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

ตัวอย่างที่ 8.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 55 kW 380 V 3 เฟส (104 A)

จงหาขนาดสายไฟตารางที่ 4 โดยมีวิธีการเดินสายดังนี้

- ในท่อโลหะในอากาศ
- เดินลอยบน Rack

วิธีทำ

มอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป หรือ มอเตอร์ที่ไม่ทราบลักษณะใช้งานแน่ชัด ควรจะพิจารณาเป็นโหลดต่อเนื่อง

$$I_c \geq 1.25 I_n$$

$$\geq 1.25 \times 104 = 130 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 8.1(ต่อ)

กรณีเดินในท่อโลหะในอากาศ

จากตารางสายไฟฟ้า ใช้สาย ~~T-4~~ THW

ขนาด 3 x 70 mm^2 (148 A)

ไม่มี N

กรณีเดินลอยบน Rack

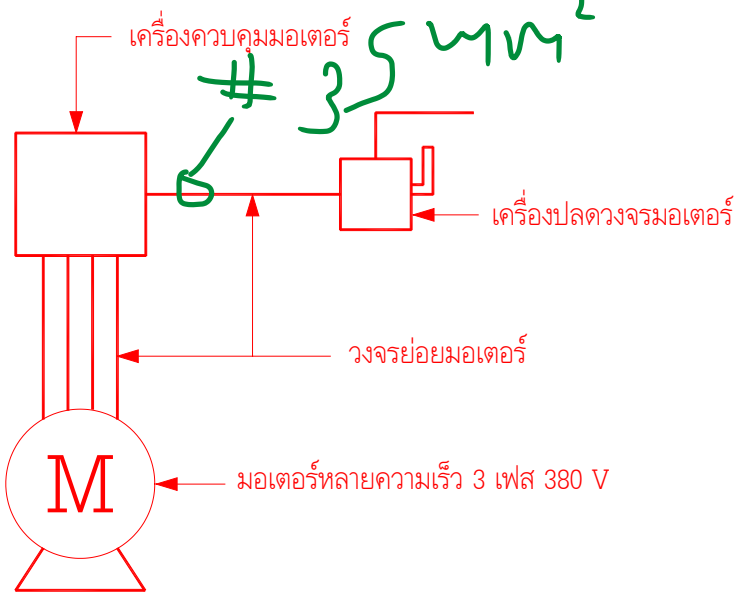
จากตารางสายไฟฟ้า เดินสายแบบ ก

ใช้สายขนาด 3 x 35 mm^2 (137 A)

ตัวอย่างที่ 8.2 มอเตอร์หลายความเร็ว 3 เฟส 380 V มีค่าพิกัดกระแสที่ความเร็วต่าง ๆ ดังนี้

- ความเร็ว 750 รอบ/นาที พิกัดกระแส 75 A
- ความเร็ว 1000 รอบ/นาที พิกัดกระแส 35 A
- ความเร็ว 1500 รอบ/นาที พิกัดกระแส 21
- ความเร็ว 3000 รอบ/นาที พิกัดกระแส 10 A

จงหาขนาดสายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะที่จ่ายมอเตอร์ ดังนี้



ตัวอย่างที่ 8.2 (ต่อ)

วิธีทำ

เนื่องจากมีความเร็ว 4 ระดับ ดังนั้น จะต้องมีสายไฟจากตัวควบคุม ถึงมอเตอร์ทั้งหมด 4 ชุด ชุดละ 3 เส้น และจะสามารถหาพิกัดกระแสสายไฟ และ ขนาดสายไฟที่ใช้จากตารางสายไฟของการไฟฟ้า ดังนี้

ความเร็ว 750 รอบ/นาที $I_c \geq 1.25 \times 75 = 93.8$ A

$\therefore$ ใช้สายขนาด 3 x 35 mm^2

ความเร็ว 1000 รอบ/นาที $I_c \geq 1.25 \times 35 = 43.8$ A

$\therefore$ ใช้สายขนาด 3 x 10 mm^2

ความเร็ว 1500 รอบ/นาที $I_c \geq 1.25 \times 21 = 26.3$ A

$\therefore$ ใช้สายขนาด 3 x 6 mm^2

ความเร็ว 3000 รอบ/นาที $I_c \geq 1.25 \times 10 = 12.5$ A

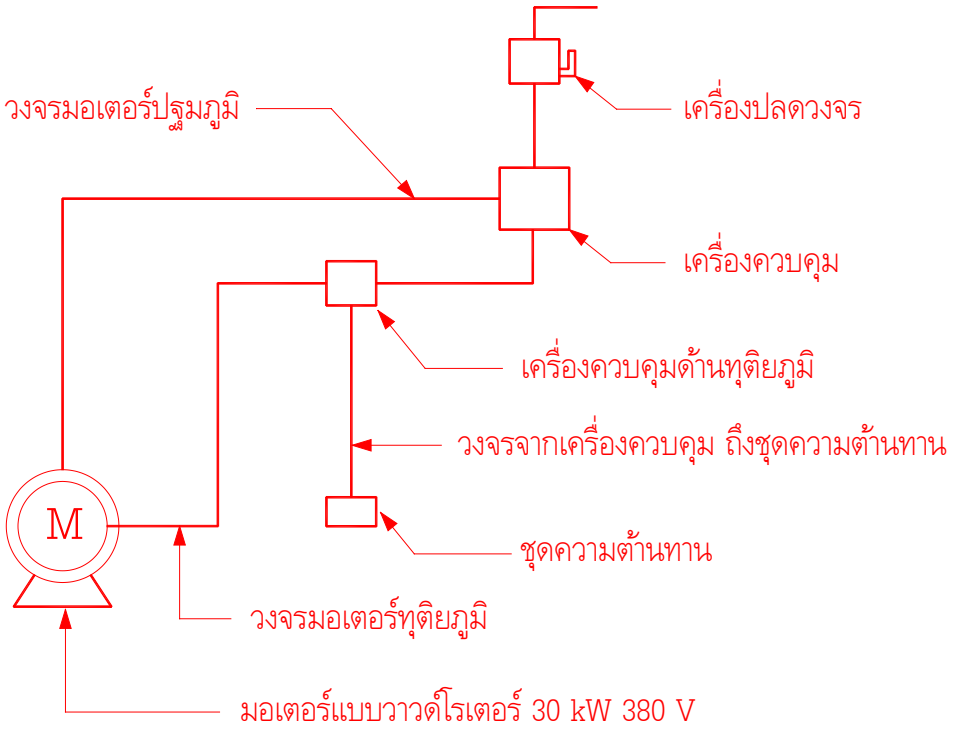
$\therefore$ ใช้สายขนาด 3 x 2.5 mm^2

สำหรับสายไฟที่ต่อจากเครื่องปลดวงจรถึงเครื่องควบคุม จะต้องใช้พิกัดกระแสสูงสุด

$\therefore$ ใช้สายขนาด 3 x 35 mm^2

ตัวอย่างที่ 8.3 มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ขนาด 30 kW 380 V มีพิกัดกระแสวงจรด้านปฐมภูมิ 59 A และ มีพิกัดกระแสวงจร ด้านทุติยภูมิ 43 A โดยชุดตัวต้านทาน (Resistor Bank) ติดตั้ง แยกจากเครื่องควบคุม

ดังรูป



จงหา

1. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านปฐมภูมิ
2. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ
3. ขนาดสายวงจรมอเตอร์จากเครื่องควบคุมไปยังชุดความต้านทาน

ตัวอย่างที่ 8.3 (ต่อ)

วิธีทำ

1. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านปฐมภูมิ

$$I_c \geq 1.25 \times I_n = 1.25 \times 59 = 73.8 \text{ A}$$

จากตารางสายไฟฟ้า ใช้สาย T-4 ขนาด 3 x 25 mm^2 (77 A)

2. ขนาดสายวงจรมอเตอร์ด้านทุติยภูมิ

$$I_{c,sec} \geq 1.25 \times I_{n,sec} = 1.25 \times 43 = 53.8 \text{ A}$$

จากตารางสายไฟฟ้า ใช้สาย T-4 ขนาด 3 x 16 mm^2 (56 A)

3. ขนาดสายวงจรมอเตอร์จากตัวควบคุมไปยังชุดความต้านทาน

$$I_{c,sec} \geq 1.10 \times I_{n,sec} = 1.10 \times 43 = 47.3 \text{ A}$$

จากตารางสายไฟฟ้า ใช้สาย T-4 ขนาด 3 x 16 mm^2 (56 A)

8.6 การป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection)

วงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีการป้องกันการลัดวงจรสำหรับสายไฟฟ้า บริภัณฑ์ควบคุมและตัวมอเตอร์เอง บริภัณฑ์สำหรับการป้องกันการลัดวงจรของวงจรย่อยนี้จะต้องสามารถนำกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ได้ โดยไม่เปิดวงจร บริภัณฑ์ป้องกันการลัดวงจรที่นิยมใช้กันมี 2 ชนิด คือ ฟิวส์ (Fuse) และ เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

ฟิวส์

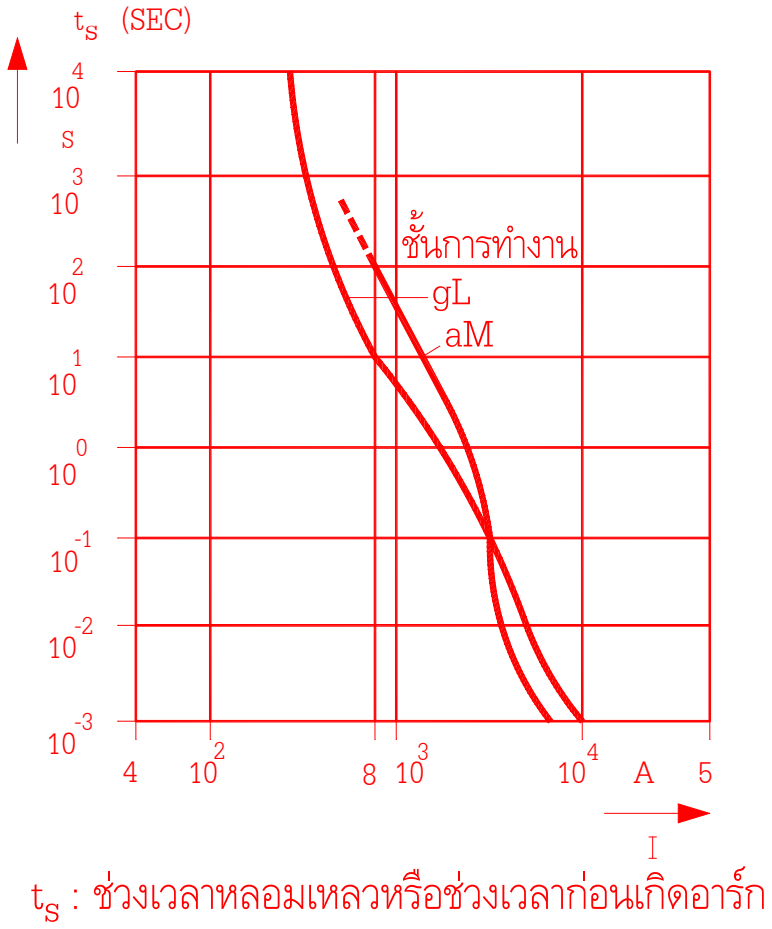
ฟิวส์ที่ใช้ในการป้องกันการลัดวงจรของวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ

1. ฟิวส์ทำงานไว (Non time-Delay Fuse)
2. ฟิวส์หน่วงเวลา (Time-Delay Fuse)

ฟิวส์ทำงานไว คือ ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรจำหน่าย ทั่วไป เช่น GL Fuse ฟิวส์แบบนี้สามารถใช้กับวงจรมอเตอร์ได้

ฟิวส์หน่วงเวลา คือ ฟิวส์ที่ออกแบบไว้เพื่อใช้งานกับวงจรมอเตอร์โดยเฉพาะ เช่น AM Fuse ฟิวส์แบบนี้จะให้การป้องกันดีกว่าแบบแรก

ลักษณะสมบัติของฟิวส์ทำงานไว และ ฟิวส์หน่วงเวลา แสดงใน รูปที่ 8.3



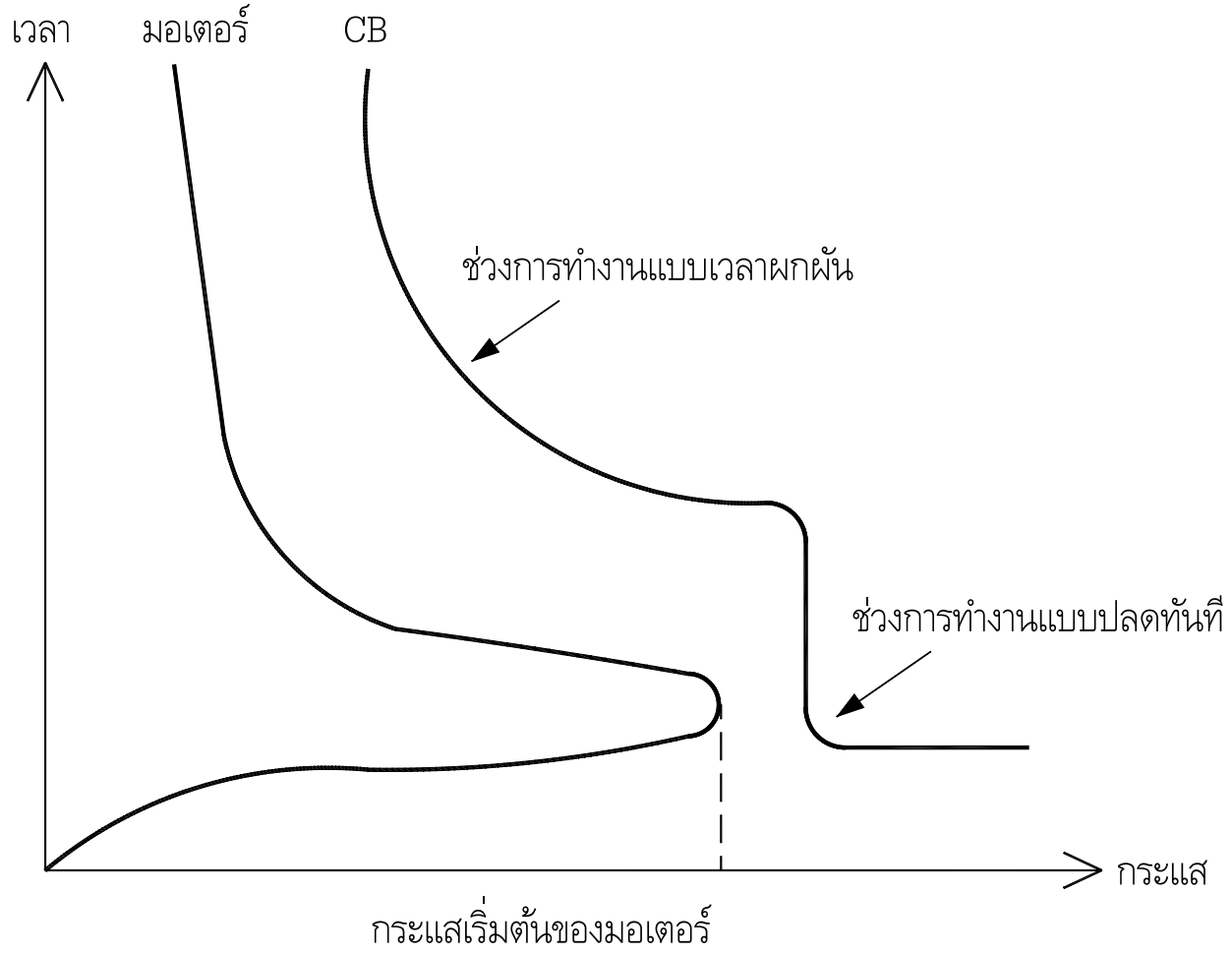
รูปที่ 8.3 ลักษณะสมบัติฟิวส์ทำงานไวและฟิวส์หน่วงเวลา

เซอร์กิตเบรกเกอร์

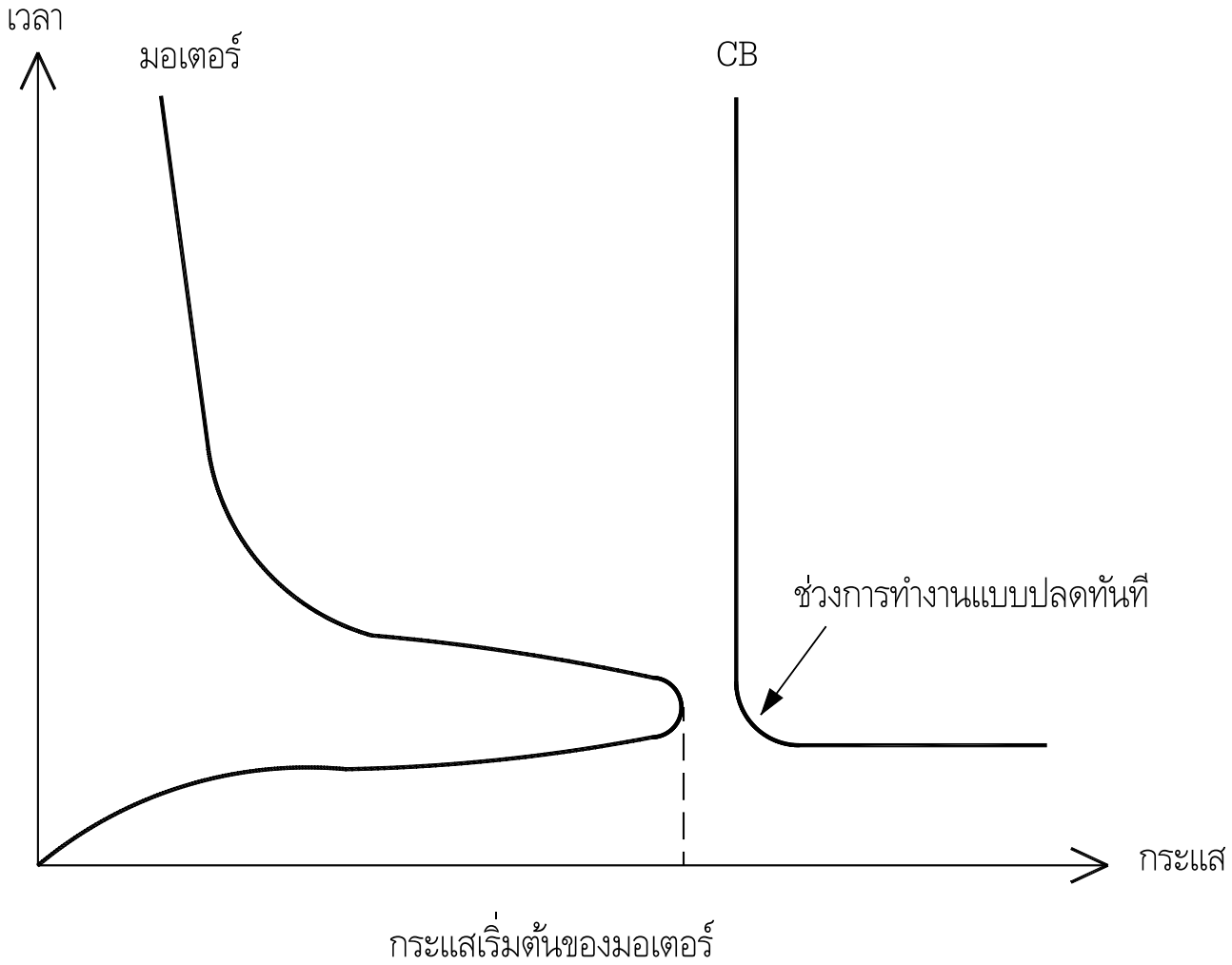
เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์มี 2 ประเภท คือ

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน (Inverse Time CB)
2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที (Instantaneous CB)

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ทั่วไปในวงจรจำหน่าย เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้มีเส้นโค้งลักษณะสมบัติ 2 ช่วง คือ ช่วงกระแสเกินโหลดเป็นแบบเวลาผกผัน (Inverse Time) และช่วงกระแสปลดวงจรทันที (Instantaneous Trip) เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะต้องปรับตั้งช่วงกระแสปลดวงจรทันทีให้มากกว่ากระแสเริ่มต้นของมอเตอร์



รูปที่ 8.4 ลักษณะสมบัติเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน



รูปที่ 8.5 ลักษณะสมบัติเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที

ในการเลือกใช้ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมกับมอเตอร์ โดยการไฟฟ้าได้ให้พิกัดหรือขนาดปรับตั้งตัวสูงไว้ดังใน ตารางที่ 8.5 โดยจะเป็นกรณีมอเตอร์ไม่มีรหัสอักษร เท่านั้น เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็น มาตรฐาน IEC ซึ่งไม่มีรหัสอักษร แต่มอเตอร์ที่มีรหัส อักษรจะเป็นมอเตอร์ในมาตรฐาน NEMA ของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

ตาราง 8.5 พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสาย

ชนิดของมอเตอร์	ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่			
	ฟิวส์ ทำงานไว	ฟิวส์ หน่วงเวลา	เซอร์กิตเบรกเกอร์ ปลดทันที	เซอร์กิตเบรกเกอร์ เวลาผกผัน
มอเตอร์ 1 เฟส ไม่มีรหัสอักษร	300	175	700	250
มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ทั้งหมด และมอเตอร์ 3 เฟส แบบกรงกระรอก และแบบซิงโครนัส ซึ่งเริ่มเดินโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดินผ่านตัวต้านทานหรือรีแอ็กเตอร์				
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

ค่าพิกัดของฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ให้ไว้ตามตารางเป็นค่าสูงสุด ค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งทางบริษัท ผู้ผลิตฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ได้ให้ไว้สำหรับ มอเตอร์ขนาดต่าง ๆ จะต่ำกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง ซึ่งจะทำให้การป้องกันดีขึ้น อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้นี้จะ ต้องไม่ทำให้เปิดวงจรขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินเครื่อง

การเลือกขนาดพิกัดของฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องคำนึงถึงกระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้งด้วย โดยที่ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จะใช้ในการป้องกัน วงจรนั้นจะต้องมีค่ากระแสขณะตัดวงจร (Interrupting Current, IC) ไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ จุดติดตั้งนี้ด้วย

ตารางที่ 8.6 รหัสอักษรแสดงการล็อคโรเตอร์

รหัสอักษร	เควีเอต่อแรงม้า ขณะล็อคโรเตอร์
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

ตัวอย่างที่ 8.4 จงหาขนาดของฟิวส์ที่ใช้ป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์แบบ สไควเรลเคจ 22 kW 380 V

วิธีทำ

มอเตอร์ 22 kW 380 V มีพิกัดกระแส 44 A

สำหรับฟิวส์ทำงานไวจะได้

$$I_{FUSE} \leq 3.00 \times 44 = 132 \text{ A}$$

สำหรับฟิวส์หน่วงเวลาจะได้

$$I_{FUSE} \leq 1.75 \times 44 = 77 \text{ A}$$

ฟิวส์ขนาดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC มีดังนี้

6 A , 10 A , 16 A , 20 A , 25 A , 32 A , 40 A , 50 A , 63 A , 80 A , 100 A , 125 A , 160 A , 200 A , 250 A , 315 A , 400 A

ตัวอย่างที่ 8.4 (ต่อ)

ฟิวส์ทำงานไว

ตามกฎการเดินสายยอมให้ใช้ขนาดถัดขึ้นไป คือใช้ขนาด 160 A แต่เพื่อให้การป้องกันดีขึ้นควรเลือกใช้ขนาด เล็กลง เช่น 125 A, 100 A หรือ 80 A ทั้งนี้ฟิวส์จะต้องไม่ขาดขณะเริ่มเดินเครื่อง

ฟิวส์หน่วงเวลา

ด้วยเหตุผลเดียวกัน อาจเลือกขนาดถัดขึ้นไปได้ คือ 80 A หรือถัดลงมาคือ 63 A หรือ 50 A

ตัวอย่างที่ 8.5 จงหาขนาดปรับตั้งของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ป้องกันการ ลัดวงจรของมอเตอร์แบบสไควเรลเคจ 75 kW 380 V

วิธีทำ

จากตารางพิกัดกระแสมอเตอร์ มอเตอร์ 75 kW 380 V มีพิกัดกระแส 138 A.

สำหรับ CB แบบปลดทันทีจะได้	7 x 138	=	966 A
ขนาดปรับตั้ง CB แบบเวลาผกผัน	2.5 x 138	=	345 A

ตัวอย่างที่ 8.5 (ต่อ)

CB แบบปลดทันที

ถ้าใช้ CB นี้ เป็นตัวปลดวงจรด้วย จะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 115% ของกระแสพิกัดมอเตอร์

$CB \geq 1.15I_n = 1.15 \times 138 = 158.7\ A$

$\therefore$ CB ขนาด 160 A. หรือ 200 A

และปรับตั้งค่าปลดวงจรไว้ที่ 900 A

CB แบบเวลาผกผัน

อาจเลือกใช้ขนาดถัดขึ้นไปคือ 350 A แต่เพื่อให้การป้องกันดีขึ้นควรเลือกขนาดเล็กลง คือ 300 A หรือ 225 A ทั้งนี้ CB จะต้องไม่เปิดวงจรขณะเริ่มเดินเครื่อง

สายดินวงจรย่อยมอเตอร์

ขนาดสายดินให้คิดตามพิกัดของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์ พิกัดของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลัง ให้คิดไม่เกิน 115% พิกัดกระแสของมอเตอร์

$$I_{OL} = 1.15 I_n$$

ตัวอย่างที่ 8.6 มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 7.5 kW 380 V (15.5 A)

จงหา 1. ขนาดวงจรย่อย โดยใช้สาย T-4 ในท่อโลหะในอากาศ

2. ขนาดปรับตั้ง CB

3. ขนาดสายดิน

วิธีทำ

$I_C \geq 1.25 I_n = 1.25 \times 15.5 = 19.4$ A

ใช้สายขนาด 3 x 4 mm^2

ขนาดปรับตั้ง CB $2.5 \times 15.5 = 38.8$ A

ใช้ CB 30 AT

$I_{OL} = 1.15 \times 15.5 = 17.8$ A

จากตาราง ใช้สายดิน 2.5 mm^2

∴สายวงจรมอเตอร์ 3 x 4 mm^2

G-2.5 mm^2

8.7 การป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection)

ในการใช้งานมอเตอร์นั้น บ่อยครั้งที่มีการใช้งานเกินขนาด จนทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูง ซึ่งจะทำความเสียหายต่อ มอเตอร์ และบริภัณฑ์ที่ต่ออยู่ได้ เนื่องจากบริภัณฑ์ป้องกัน ซึ่งได้แก่ฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ใช้ในการป้องกันการ ลัดวงจรนั้นจะต้องเลือกปรับค่าที่สูงเพื่อว่าให้มีค่าเพียงพอ สำหรับการเริ่มเดินเครื่อง ดังนั้นเมื่อมีการใช้โหลดเกินบริภัณฑ์ ป้องกันเหล่านี้จึงไม่สามารถที่จะให้การป้องกันได้ทำให้ต้องมีการติดตั้งบริภัณฑ์เพิ่มเติมเพื่อทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ในกรณีที่มี การใช้โหลดเกิน บริภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันโหลดเกิน คือ รีเลย์โหลดเกิน (Overload Relay) ซึ่งมีใช้ 3 แบบ คือ

1. แบบโลหะคู่ (Bimetal Thermal Overload Relay)

แบบนี้ทำง่ายและราคาถูกสามารถจำลองพฤติกรรมทางความ ร้อนของมอเตอร์โดยประมาณเท่านั้น รีเลย์แบบนี้จะป้องกันมอเตอร์ที่ทำงานต่อเนื่องได้ดี แต่สำหรับ มอเตอร์ที่ต้องเริ่มเดินเครื่องบ่อย ๆ จะใช้ไม่ได้ผล

2. แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Overload Relay)

แบบนี้จะสามารถจำลองพฤติกรรมทางความร้อนของมอเตอร์ได้ดี โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์ จึงสามารถ ปรับแต่งให้ใช้กับมอเตอร์ได้ทุกชนิด

3.แบบเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor Protective Relay)

ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิฝังอยู่ในขดลวดอาร์เมเจอร์ ตรวจวัดอุณหภูมิของขดลวดตลอดเวลา ระบบนี้สามารถป้องกันความร้อนเกินได้อย่างถูกต้อง และใช้กับมอเตอร์ทั้งที่ใช้งานต่อเนื่อง และ เป็นช่วงๆ ได้ดี

รีเลย์โหลดเกินที่ใช้นี้ จะสามารถปรับตั้งค่ากระแสได้ โดยจะปรับให้มีค่าใกล้เคียง กับกระแสพิกัดของมอเตอร์โดยมาตรฐาน แนะนำให้ปรับไว้ไม่เกิน 115% กระแสพิกัดมอเตอร์รีเลย์ โหลดเกิน จะต้องสามารถปรับตั้งใหม่ (Reset) ได้เพื่อว่าหลังจากที่ได้แก้ไข ปัญหาโหลดเกินเรียบร้อยแล้ว จะสามารถเริ่มทำงานต่อไปได้ รีเลย์โหลดเกินจะต้องมีการชดเชยผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิโดยรอบ เพื่อทำให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องในช่วง อุณหภูมิที่กำหนด ในการติดตั้งรีเลย์โหลดเกิน จะต้องติดตั้งอนุกรม เข้ากับสายไฟฟ้าที่ต่อเข้าขั้วของมอเตอร์ โดยที่รีเลย์โหลดเกินจะต่อกับ คอนแทกเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตัดวงจรจ่ายไฟของมอเตอร์

สำหรับในกรณีของมอเตอร์ 3 เฟสนั้น ควรจะใช้รีเลย์โหลดเกิน ซึ่งสามารถป้องกันการเหลือเฟสเดียว (Single Phasing) ได้ด้วย

8.8 เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller)

เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller) คือ ชุดบริภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการเริ่ม หรือ หยุดเดินเครื่อง มอเตอร์ ในบางกรณีเครื่องควบคุมมอเตอร์ก็สามารถ ใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ด้วย แต่ส่วนมากมักจะใช้ในการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกตัวควบคุมมอเตอร์ว่า ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ (Motor Starter)

ชนิดของเครื่องควบคุมมอเตอร์

ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ใช้กันโดยทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ใช้โดยการต่อไฟเข้าโดยตรง (Direct on Line Starter หรือ DOL)
2. ตัวเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ แบบลดแรงดัน (Reduced Voltage Starter)

พิกัดของเครื่องควบคุมมอเตอร์

ขนาดพิกัดของคอนแทกเตอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องควบคุมมอเตอร์จะต้องสามารถทนกำลังความร้อนที่ เกิดขึ้นโดยหน้าสัมผัสไม่เชื่อมติดกัน ดังนั้นขนาดพิกัด กำลังของคอนแทกเตอร์จะต้องไม่น้อยกว่าขนาดกำลังมอเตอร์ คือ

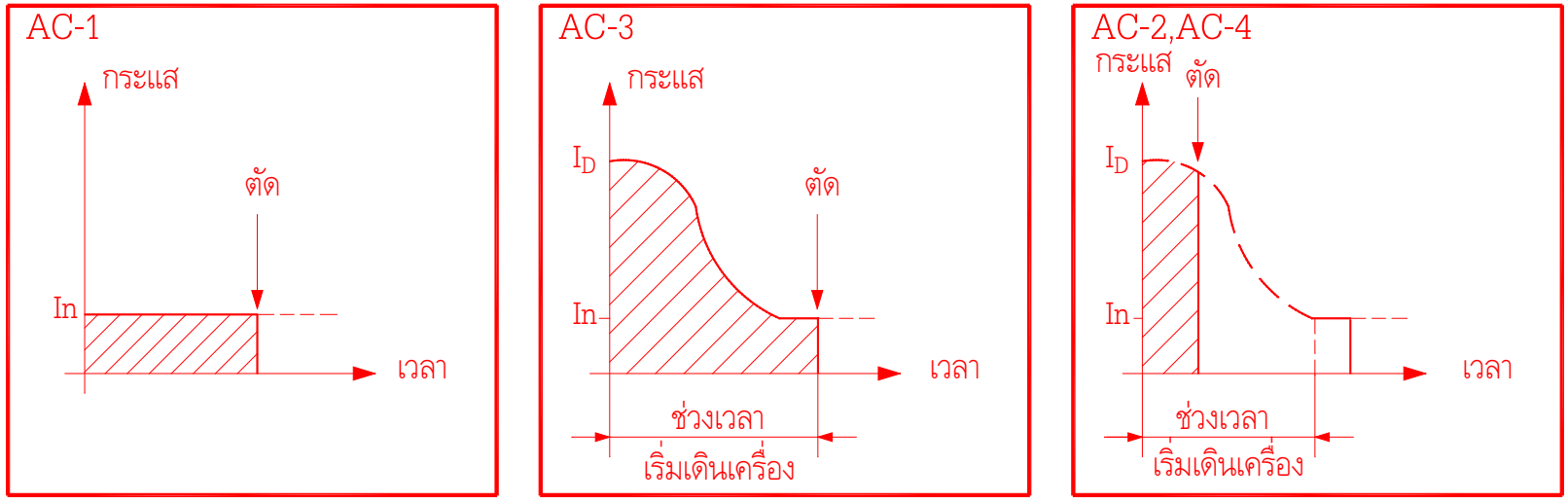
$$kW\ (Contactor) \geq kW\ (Motor)$$

IEC ได้กำหนดชั้นการใช้งาน (Utilization Category) ของคอนแทกเตอร์ไว้ใน IEC 60947-4 (Contactors and Motor-starters) ดังนี้

AC2 - สำหรับขดลวดแบบวาวด์โรเตอร์ ซึ่งขณะปิด และเปิด จะมีกระแส 2-5 เท่า ของกระแสพิกัดมอเตอร์

AC3 - สำหรับมอเตอร์แบบกรงกระรอก ซึ่งขณะเดินเครื่องจะมีกระแส 5-7 เท่า ของกระแสพิกัด ส่วนในขณะหยุดเครื่องจะมีกระแสเท่ากับกระแสพิกัดมอเตอร์

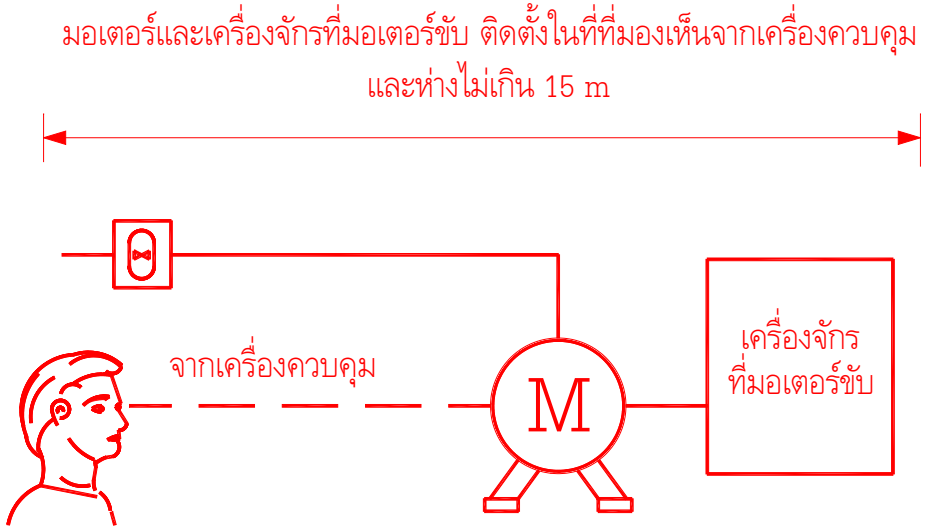
AC4 - สำหรับมอเตอร์ที่มีการใช้งานเป็นช่วงสั้นๆ ติดต่อกัน มีการเดิน และ หยุดเครื่องบ่อยครั้ง



รูปที่ 8.6 ชั้นการใช้งาน

การติดตั้ง

เครื่องควบคุมมอเตอร์จะต้องติดตั้งในที่ที่มองเห็นได้ (Within Sight) จากมอเตอร์ และอยู่ห่างกันไม่เกิน 15 m เพื่อความปลอดภัยขณะทำการบำรุงรักษา หรือ ซ่อมแซมมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 การติดตั้งเครื่องควบคุมมอเตอร์

8.9 เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ (Disconnecting Means)

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ ใช้ปลดวงจรมอเตอร์ในกรณีฉุกเฉินหรือทำการซ่อมแซมบำรุงรักษามอเตอร์ ซึ่งจะต้องมีลักษณะดังนี้

1. สามารถตัดวงจรขณะมีโหลดได้
2. เป็นชนิดใช้กับโหลดตัวเหนี่ยวนำ เนื่องจากโหลดมอเตอร์เป็นโหลดประเภทตัวเหนี่ยวนำจะมีกระแสสูง
3. สามารถทนกระแสลัดวงจรสูงสุด ณ จุดติดตั้งได้

โดยทั่วไปนิยมใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ สวิตช์ตัดตอนขณะมีโหลด เป็นเครื่องปลดวงจรมอเตอร์

พิกัดเครื่องปลดวงจรมอเตอร์

พิกัดกระแสเครื่องปลดวงจรมอเตอร์ไม่ต่ำกว่า 115% ของพิกัดกระแสมอเตอร์ คือ

$$I_{DM} \geq 1.15 I_n$$

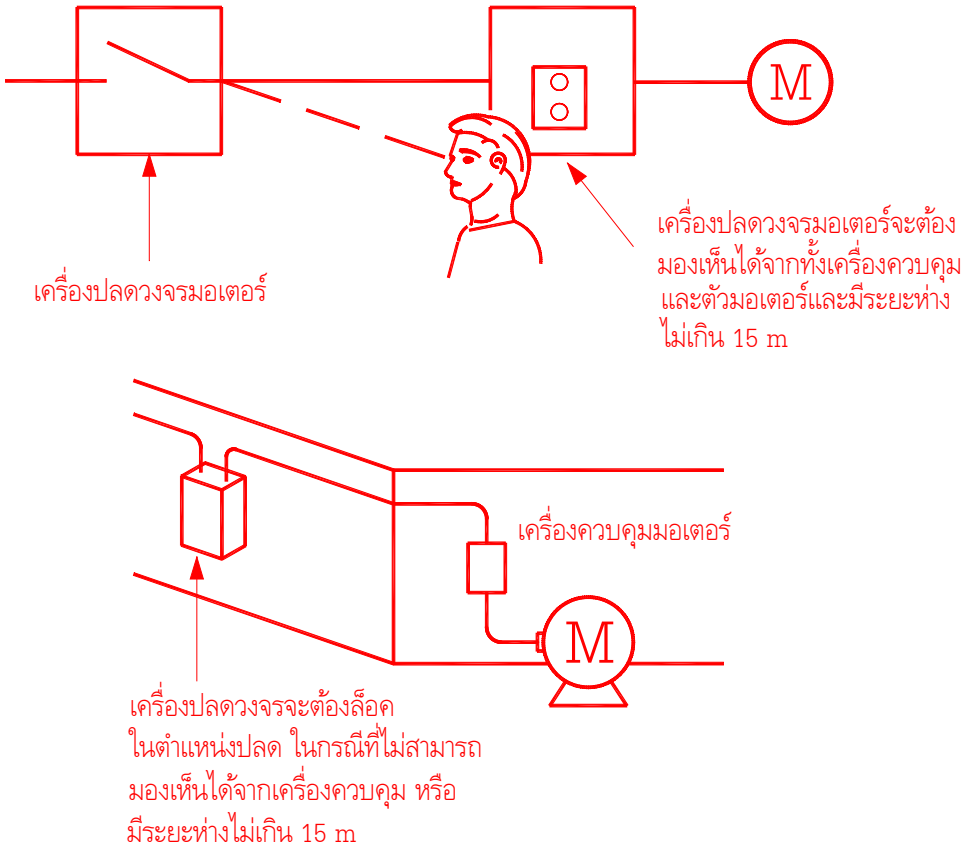
โดยที่

I_{DM} = พิกัดกระแสเครื่องปลดวงจร (A)

I_n = พิกัดกระแสมอเตอร์ (A)

การติดตั้ง

เครื่องปลดวงจรจะต้องติดตั้งในที่ที่สามารถมองเห็นได้ (Within Sight) และ ระยะห่างไม่เกิน 15 เมตร ทั้งจากเครื่องควบคุมมอเตอร์และตัวมอเตอร์ หรือเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับ แต่ถ้าติดตั้งในที่ที่ไม่ สามารถมองเห็นได้ หรือ ระยะเกิน 15 เมตร จะต้องล็อคเครื่องปลดวงจรในตำแหน่งปลดด้วย



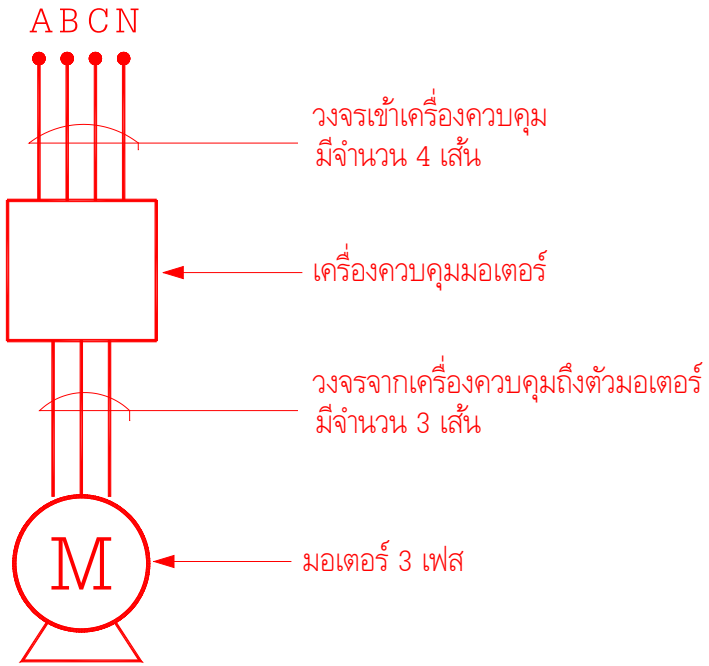
รูปที่ 8.8 การติดตั้งเครื่องปลดวงจร

8.10 วงจรควบคุมมอเตอร์

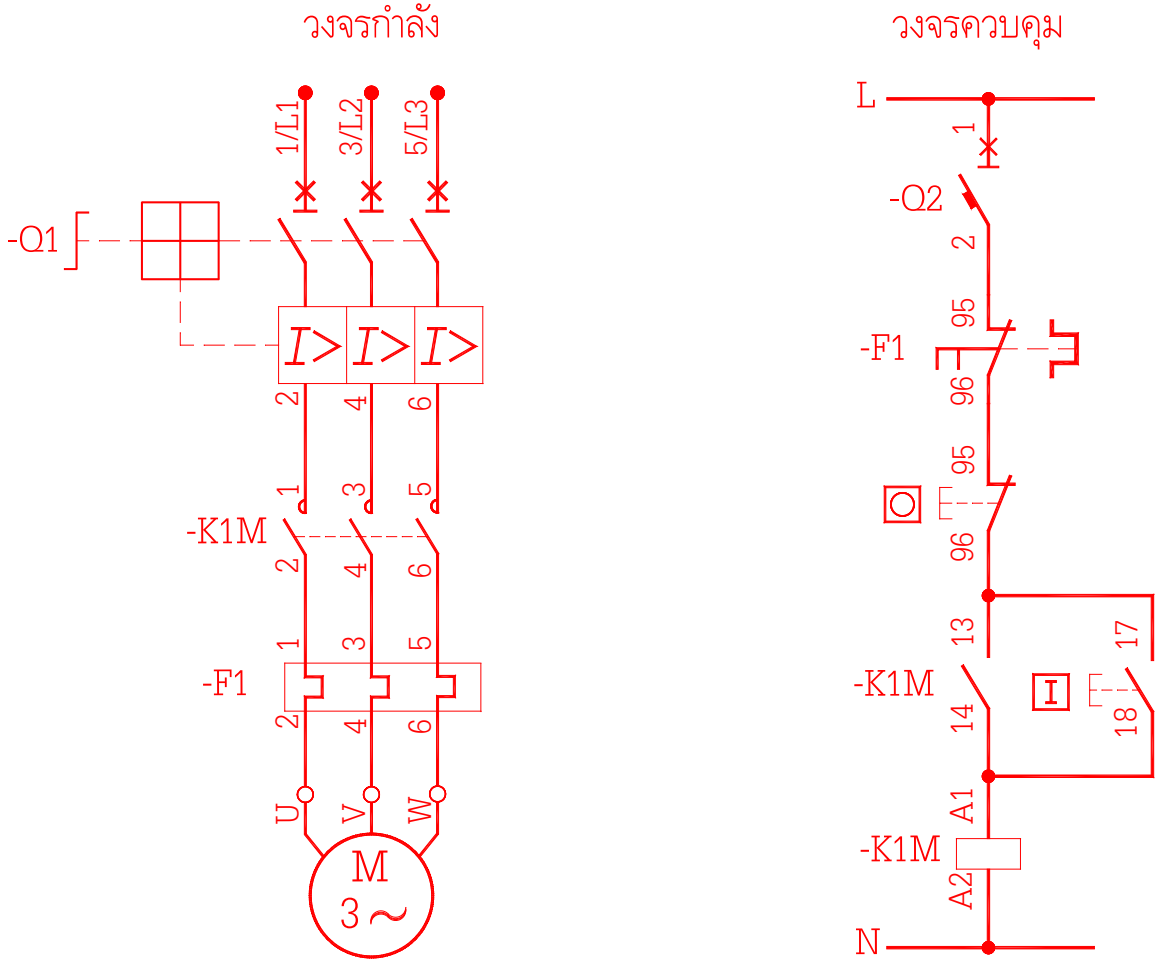
โดยทั่วไปวงจรมอเตอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. วงจรกำลัง (Power Circuit)

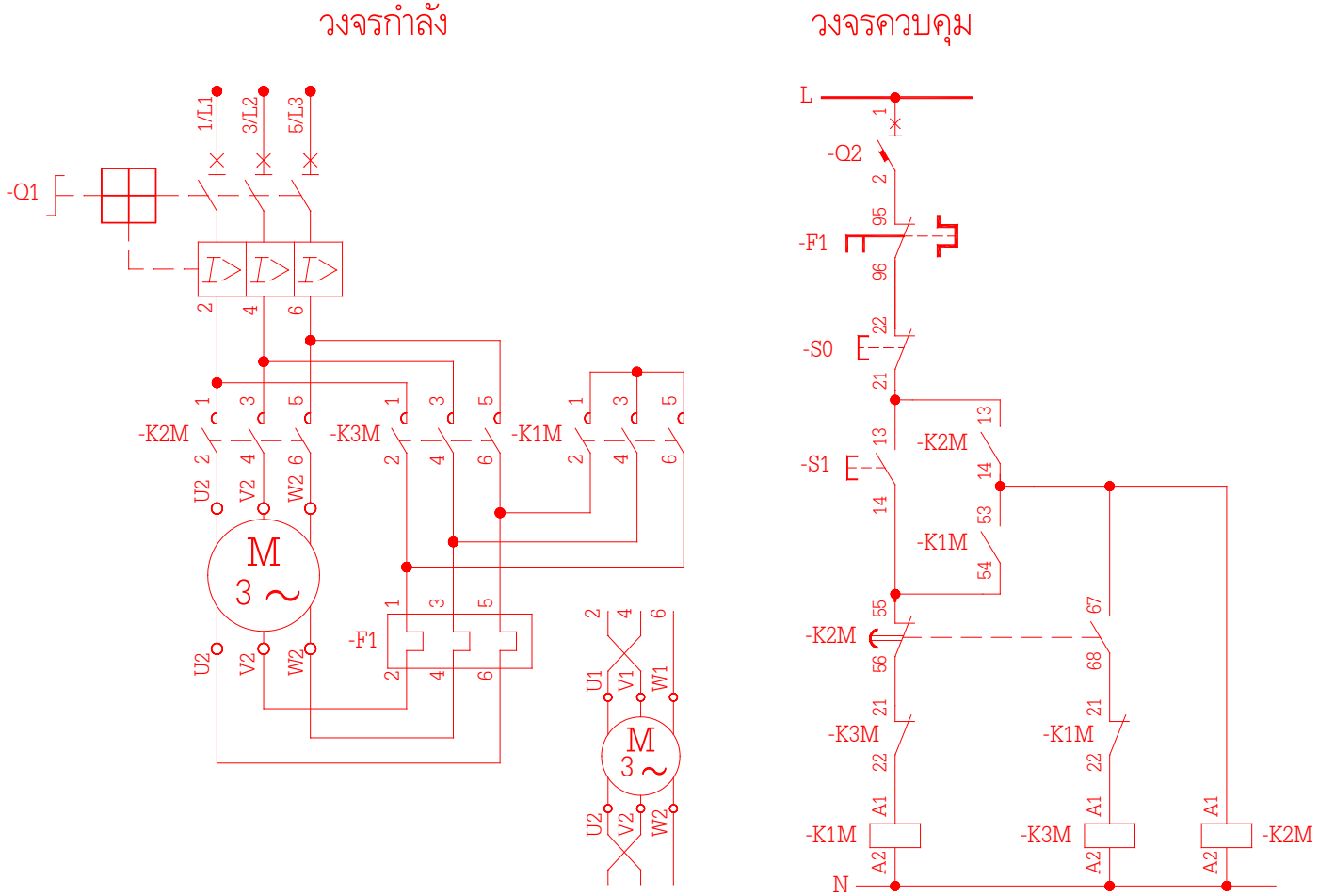
2. วงจรควบคุม (Control Circuit)



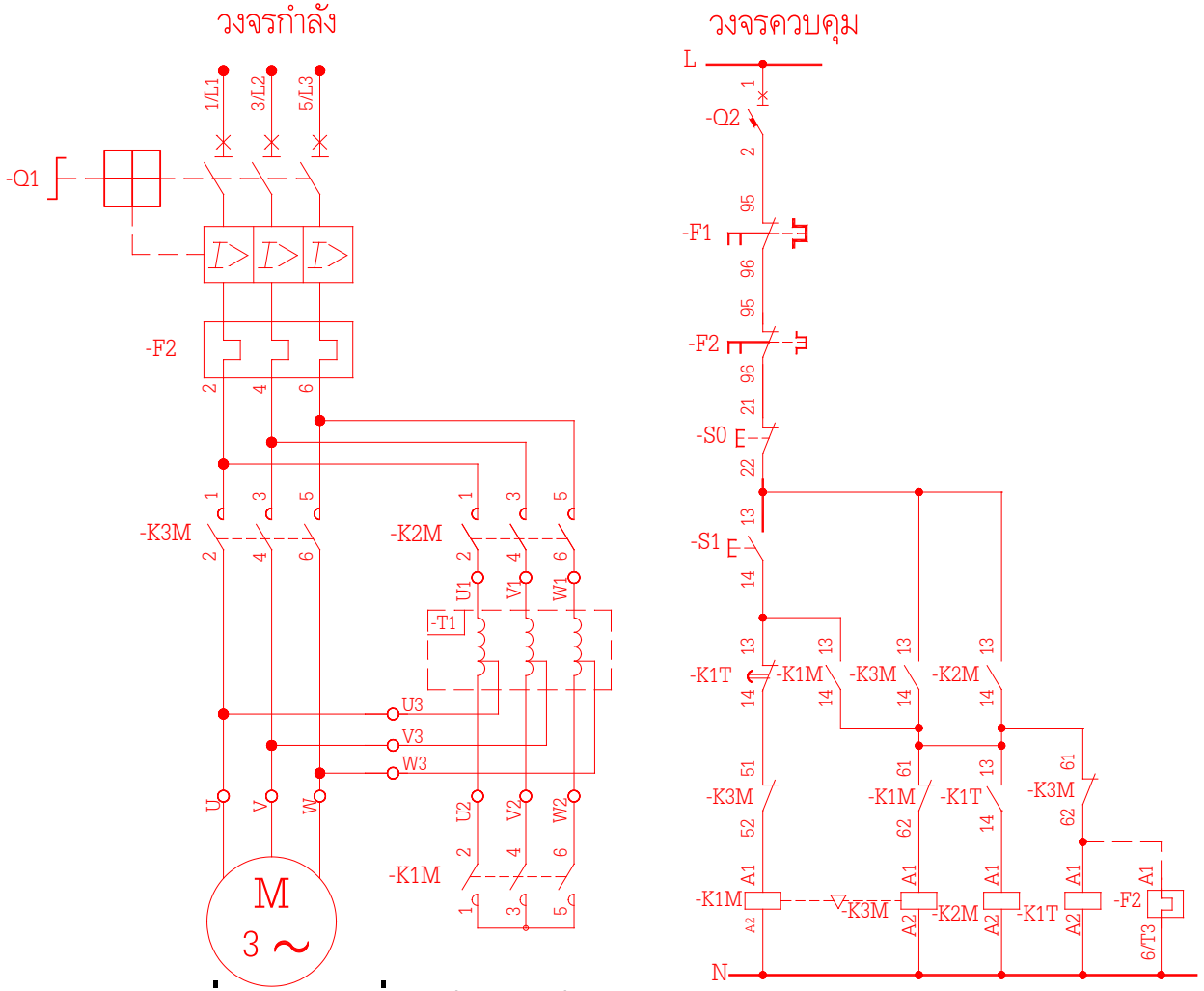
รูปที่ 8.9 วงจรมอเตอร์ 3 เฟส ในกรณีวงจรควบคุม 1 เฟส



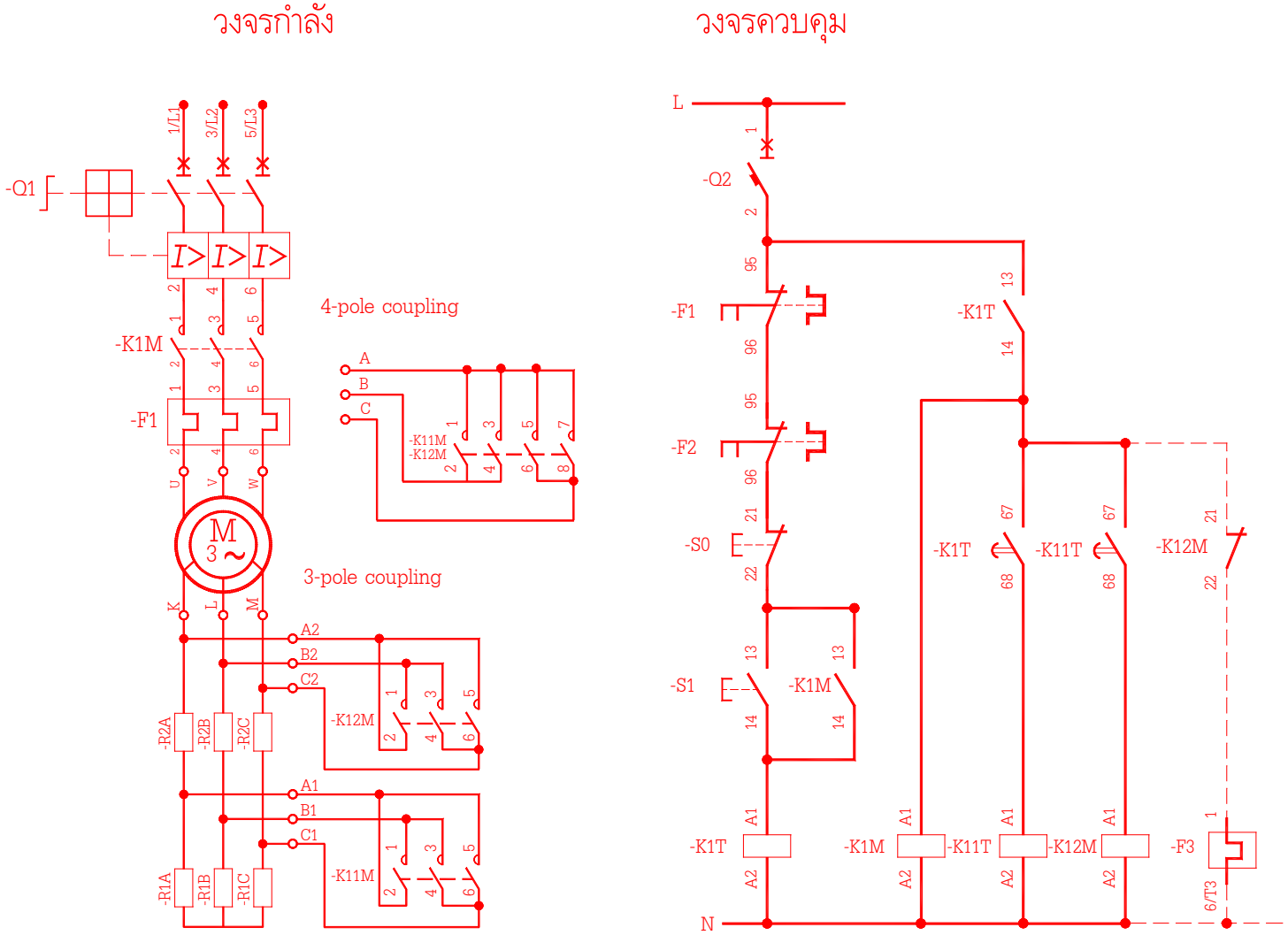
รูปที่ 8.10 **การเริ่มเดินเครื่องแบบ** DOL (Direct On Line Starting)



รูปที่ 8.11 การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตา(Star-Delta Starting)



รูปที่ 8.12 **การเริ่มเดินเครื่องด้วยหม้อแปลงออโต** (Auto-Transformer Starting)



รูปที่ 8.13 การเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์วงแหวนลื่น (Resistance Starting)

จากรูปที่ 8.11 จะเห็นว่าการเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลต้า นั้น จะต้องเดินสายไฟจากสตาร์ทเตอร์ไปยังตัวมอเตอร์ จำนวน 6 เส้น และกระแสของสายแต่ละเส้นเท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ หรือ 0.58 ของกระแสพิกัด เนื่องจากต่อแบบเดลต้า ดั้งนั้นพิกัดของสายไฟหาได้ดังนี้

$$I_c \geq 1.25I_n \times 0.85$$

$$\geq 0.725I_n$$

โดย

I_c = พิกัดกระแสวงจรมอเตอร์จากสตาร์ทเตอร์ไปยังมอเตอร์ (A)

I_n = พิกัดกระแสมอเตอร์ (A)

ตัวอย่างที่ 8.7 มอเตอร์ขนาด 37 kW 380 V (72 A) สตาร์ทเตอร์เป็นแบบสตาร์-เดลต้า จงหาขนาดสายไฟตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะในอากาศ จากสตาร์ทเตอร์ไปยังมอเตอร์

วิธีทำ เนื่องจากมอเตอร์เปณนแบบสตาร์-เดลต้า ดังนั้น

พิกัดกระแสวงจรมอเตอร์ $I_c \geq 1.25 I_n \times 0.58$

$\geq 1.25 \times 72 \times 0.58 = 52.2$ A

มีจำนวนสายทั้งหมด 6 เส้นจึงต้องใช้ Derating Factor 0.82 ดังนั้น

$$I_c \geq \frac{52.2}{0.82} = 63.7 \text{ A}$$

จากตารางจะได้ขนาดสายวงจรย่อยมอเตอร์ดังนี้

6 x 25 mm^2 (77 A)

G - 10 mm^2

8.11 วงจรย่อยจ่ายไฟให้มอเตอร์มากกว่าหนึ่งตัว

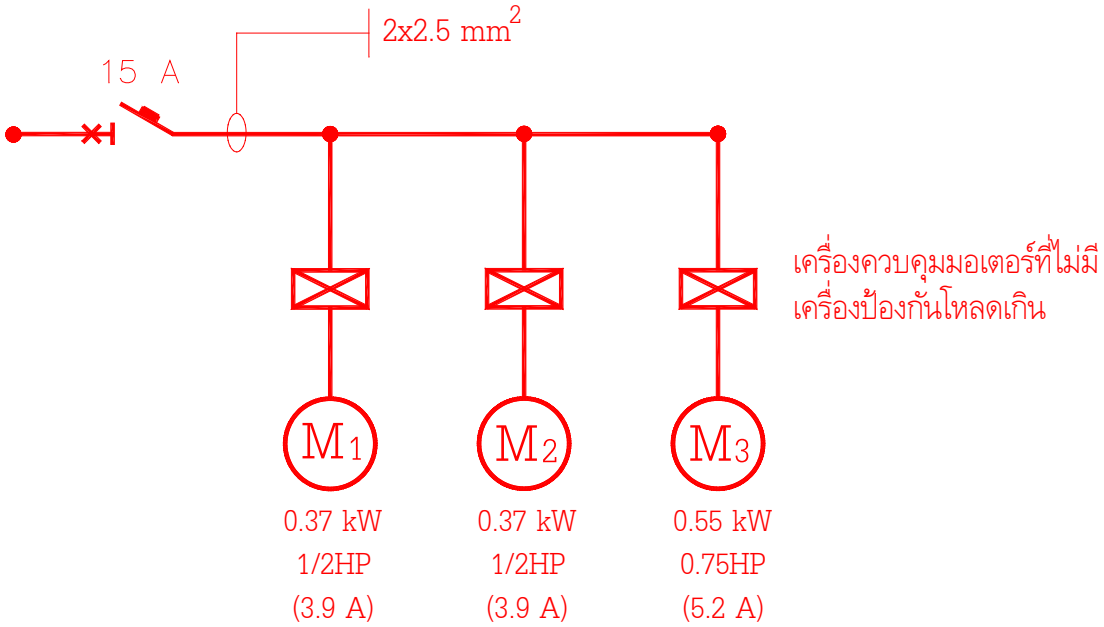
วงจรย่อยหนึ่งวงจรสามารถจ่ายให้ 2 ตัว หรือ มากกว่าได้ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

มอเตอร์ขนาดไม่เกิน 0.75 kW (1 HP)

มอเตอร์ที่มีพิกัดไม่เกิน 1 HP และ มีพิกัดกระแสไม่เกิน 6 A สามารถติดตั้งโดยไม่มีเครื่องป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection Devices) ได้ โดยมอเตอร์เหล่านี้จะต้องเป็นดังนี้

1. สามารถเคลื่อนย้ายได้
2. เริ่มเดินเครื่องด้วยมือ
3. ติดตั้งในตำแหน่งที่มองเห็นได้ (Within Sight) ระยะไม่เกิน 15 m และวงจรย่อยจะต้องมีขนาดไม่เกิน 15 A

ตัวอย่างที่ 8.8 จงหาขนาดวงจรย่อยจ่ายมอเตอร์ 1 เฟส 3 ตัว ดังรูป



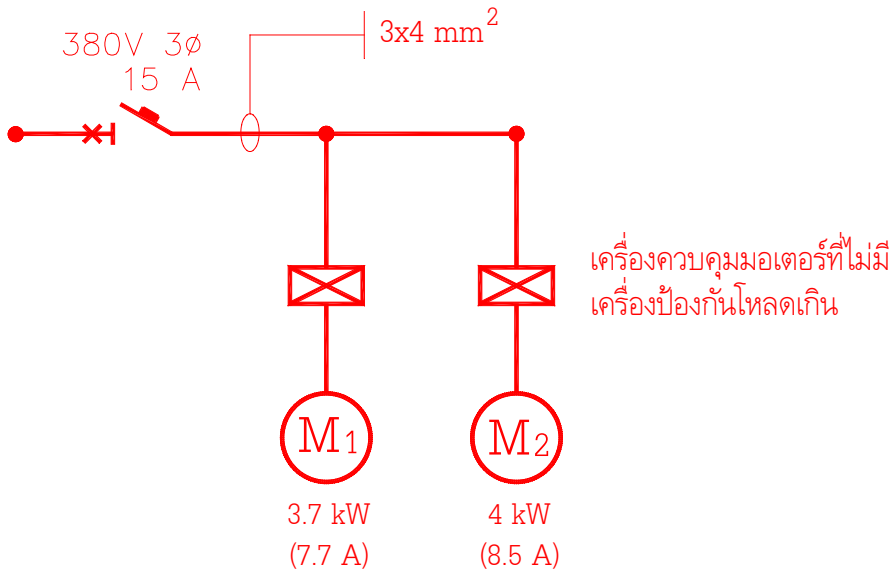
วิธีทำ

ขนาดวงจรย่อย $I_{BC} = 1.25 \times 5.2 + 3.9 + 3.9 = 14.3$ A

ใช้วงจรย่อยขนาด = 15 A

$\therefore$ สายไฟฟ้า 2.5 x mm^2 (18A)

ตัวอย่างที่ 8.9 จงหาวงจรย่อยเพื่อจ่ายไฟให้มอเตอร์ ดังรูป



วิธีทำ

CB จะต้องสามารถป้องกันมอเตอร์ตัวเล็กสุดได้

$$CB \leq 2.5 \times 7.7 = 19.3 \text{ A}$$

CB ขนาดสูงถัดไป 20 A

กระแสโหลดทั้งหมด $1.25 \times 8.5 + 7.7 = 18.4$ A

ตัวอย่างที่ 8.9 (ต่อ)

$\therefore$ CB 20 A ใช้ได้

ขนาดสายไฟ I_{BC} = 1.25 x 8.5 + 7.7 = 18.4 A

$\therefore$ วงจรย่อย 3 เฟส, 380 V, 20 A

ขนาดสาย 3 x 4 mm^2 (24A)

และจะต้องติดตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกินสำหรับมอเตอร์ แต่ละตัวด้วย

8.12 ตารางขนาดสายไฟฟ้า ท่อร้อยสาย และบริภัณฑ์ป้องกันมอเตอร์

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วสำหรับผู้ออกแบบจึงได้จัดทำตารางแสดงขนาดสายวงจรย่อย ขนาดฟิวส์ และขนาด CB สำหรับมอเตอร์ขนาดต่าง ๆ ในตารางที่ 8.7 สำหรับมอเตอร์ 3 เฟส, 400 V และตารางที่ 8.9 สำหรับมอเตอร์ 1 เฟส, 230 V

ตารางที่ 8.7 ขนาดสาย และบริภัณฑ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด	กำลังไฟฟ้า	ขนาดของสายไฟฟ้า					บริภัณฑ์ป้องกัน	
				ในอากาศ	ในท่อโลหะ		ในท่อฝังใต้ดิน			
kW	Hp	I_n (A) (1.15 I_n)	(kVA)	ขนาดสาย T-4	ขนาดสาย T-4	ขนาดท่อ IMC	ขนาดสาย T-6	ขนาดท่อ IMC	ฟิวส์ (A)	CB (AT)
0.37	0.5	1.0 (1.15)	0.66	3x2.5, G-1.5	3x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	3x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	4	15
0.55	0.75	1.6 (1.8)	1.05	3x2.5, G-1.5	3x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	3x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	4	15
0.75	1.0	2.0 (2.3)	1.32	3x2.5, G-1.5	3x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	3x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	4	15
1.1	1.5	2.6 (3.0)	1.71	3x2.5, G-1.5	3x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	3x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	6	15
1.5	2.0	3.5 (4.0)	2.30	3x2.5, G-1.5	3x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	3x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	10	15

ตารางที่ 8.7 ขนาดสาย และบริภัณฑ์ป้องกันสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

พิกัดมอเตอร์		กระแสพิกัด	กำลังไฟฟ้า	ขนาดของสายไฟฟ้า					บริภัณฑ์ป้องกัน	
				ในอากาศ	ในท่อโลหะ		ในท่อฝังใต้ดิน			
KW	Hp	I_n (A) (1.15 I_n)	(kVA)	ขนาดสาย T-4	ขนาดสาย T-4	ขนาดท่อ IMC	ขนาดสาย T-6	ขนาดท่อ IMC	ฟิวส์ (A)	CB (AT)
0.37	0.5	3.9 (4.5)	0.86	2x2.5, G-1.5	2x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	2x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	10	15
0.55	0.75	5.2 (6.0)	1.14	2x2.5, G-1.5	2x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	2x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	16	15
0.75	1.0	6.6 (7.6)	1.45	2x2.5, G-1.5	2x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	2x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	16	15
1.10	1.5	9.6 (11.0)	2.11	2x2.5, G-1.5	2x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	2x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	20	20
1.50	2.0	12.7 (14.6)	2.79	2x2.5, G-1.5	2x2.5, G-1.5	15 mm 1/2"	2x2.5, G-1.5	32 mm 1 1/4"	25	30
2.2	3.0	18.6 (21.4)	4.09	2x4, G-4	2x4, G-4	15 mm 1/2"	2x2.5, G-4	32 mm 1 1/4"	35	40
3.0	4.0	24.3 (27.9)	5.35	2x4, G-4	2x6, G-4	20 mm 3/4"	2x4, G-4	32 mm 1 1/4"	50	50

8.13 วงจรสายป้อนมอเตอร์

การออกแบบวงจรสานป้อนที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์หลายตัว หรือ มอเตอร์รวมกับโหลดชนิดอื่น เช่นไฟฟ้า แสงสว่าง โหลดเต้ารับ จะต้องคำนึงถึงเรื่องต่อไปนี้

1. ขนาดสายป้อน
2. การป้องกันสายป้อน
3. แรงดันตก

ขนาดพิกัดสายป้อน และ การป้องกันสายป้อน

การหาขนาดสายป้อน และขนาดบริภัณฑ์ป้องกันสายป้อนของวงจร มอเตอร์ แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีมอเตอร์หลายตัว

พิกัดกระแสสายป้อน $\geq$ 1.25 พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตสุด + ผลรวมพิกัดกระแดสมอเตอร์ตัวที่เหลือ

$$I_F \geq 1.25I_{n,MAX} + \sum I_R$$

ขนาดบริภัณฑ์ป้องกัน $\leq$ พิกัดบริภัณฑ์ป้องกันตัวโตสุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์

$$CB_F \leq CB_{MAX} + \sum I_R$$

กรณีมอเตอร์กับโหลดอื่น

- โหลดอื่นชนิดต่อเนื่อง

พิกัดกระแสสายป้อน $\geq$ 1.25 พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตสุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ + 1.25 พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

$$I_F \geq 1.25\, I_{n,MAX} + \sum I_R + 1.25\, I_{L1}$$

ขนาดบริภัณฑ์ป้องกัน พิกัดบริภัณฑ์ตัวโตสุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ตัวที่เหลือ + 1.25 พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

$$CB_F \leq CB_{MAX} + \sum I_R + 1.25\, I_{L1}$$

- โหลดอื่นชนิดไม่ต่อเนื่อง

พิกัดกระแสสายป้อน $\geq$ พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตสุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ที่เหลือ + พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

$$I_F \geq I_{n,MAX} + \sum I_R + I_{L2}$$

ขนาดบริภัณฑ์ป้องกัน $\geq$ พิกัดบริภัณฑ์ตัวโตสุด + ผลรวมพิกัดกระแสมอเตอร์ตัวที่เหลือ + พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง

$$CB_F \leq CB_{MAX} + \sum I_R + I_{L2}$$

โดยที่

I_F = พิกัดกระแสสายป้อน (A)

$I_{n,MAX}$ = พิกัดกระมอเตอร์ตัวโตสุด (A)

$\sum I_R$ = ผลรวมพิกัดกระแสโหลดมอเตอร์ที่เหลือ (A)

I_{L1} = พิกัดกระแสโหลดต่อเนื่อง (A)

I_{L2} = พิกัดกระแสโหลดไม่ต่อเนื่อง (A)

CB_F = ขนาดเครื่องป้องกันสายป้อน (A)

CB_{MAX} = ขนาดเครื่องป้องกันมอเตอร์ตัวใหญ่สุด (A)

ขนาดสายนิวทรัลและสายดิน

มอเตอร์หลายตัวส่วนมากจะรับไฟฟ้าจาก Motor Control Center (MCC) ดังนั้นที่ MCC จะมีคอนแทกเตอร์ติดตั้งอยู่มากมาย แรงดันของวงจรควบคุมของคอนแทกเตอร์เหล่านี้ จะเป็น 220-230 V ดังนั้นสายป้อนที่จ่ายไฟให้ MCC จึงต้องมีสายนิวทรัลด้วย ขนาดสายนิวทรัลที่ต้องการนั้นจะขนาดเล็ก เนื่องจากกระแสที่ใช้มีค่าน้อยมาก แต่ต้องไม่เล็กกว่าสายดิน โดยทั่วไปจะใช้สายนิวทรัลเท่ากับประมาณ 50% ของสายเฟส

สำหรับสายดินนั้นให้ใช้ตามตารางสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า ซึ่งคิดตามขนาดพิกัดของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อน

แรงดันตก

ในการการหาขนาดของสายป้อน นอกจากจะคำนึงถึงพิกัดนำกระแสแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงแรงดันตกด้วย โดยที่ แรงดัน ตกที่ยอมรับได้นั้นจะมีค่าต่างกันไป เนื่องจากสภาพการใช้งาน และ การจัดเรียงโหลดมอเตอร์

สำหรับแรงดันตกที่ยอมรับได้นั้น จะต้องมีค่าไม่เกิน 5% โดยจากแหล่งจ่ายไฟไปถึงศูนย์กลางการควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center) จะมีแรงดันตกได้ไม่เกิน 3% ส่วนจากศูนย์กลาง การควบคุมมอเตอร์ไปจนถึงตัวมอเตอร์ จะมีแรงดันตกไม่เกิน 2%

ตัวอย่างที่ 8.10 Motor Control Center (MCC)จ่ายไฟให้มอเตอร์ดังนี้

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V จำนวน 5 ตัว START แบบ DOL

มอเตอร์ 11 kW 380 V จำนวน 3 ตัว START แบบ STAR - DELTA

มอเตอร์ 22 kW 380 V จำนวน 1 ตัว START แบบ STAR - DELTA

จงหาขนาดสายวงจรย่อย , สายป้อนและขนาดบริภัณฑ์ป้องกันการลัดวงจร โดยใช้สายตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะในอากาศที่ 8.10

ตัวอย่างที่ 8.10 (ต่อ)

วิธีทำจากตารางพิกัดกระแสมอเตอร์ จะได้พิกัดกระแสมอเตอร์ ดังนี้

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V พิกัดกระแส 7.7 A

มอเตอร์ 11 kW 380 V พิกัดกระแส 22 A

มอเตอร์ 22 kW 380 V พิกัดกระแส 44 A

ด้วยหลักการเช่นเดียวกับตัวอย่างตอนต้นจะสามารถหาขนาดวงจรย่อย และขนาดบริภัณฑ์ป้องกันการลัดวงจรได้ดังนี้

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V

สายวงจรย่อย ขนาดสาย T-4 3 x 2.5 mm^2 (18 A)

G - 1.5 mm^2

ขนาดท่อ IMC Φ15 mm (1/2”)

บริภัณฑ์ป้องกัน CB 20 AT

ตัวอย่างที่ 8.10 (ต่อ)

มอเตอร์ 11 kW 380 V

START แบบ STAR - DELTA

$$I_C = \frac{1.25 \times 0.58 \times 22}{0.82} = 19.5 \text{ A.}$$

สายวงจรย่อย ขนาดสาย T-4 6 x 6 mm^2 (31 A)

G - 4 mm^2

ขนาดท่อ IMC Φ 25 mm (1”)

บริภัณฑ์ป้องกัน CB 50 AT

ตัวอย่างที่ 8.10 (ต่อ)

มอเตอร์ 22 kW 380 V

START แบบ STAR - DELTA

$$I_C = \frac{1.25 \times 0.58 \times 44}{0.82} = 38.9 \text{ A}$$

สายวงจรย่อย ขนาดสาย T-4 6 x 10 mm^2 (43 A)

G - 6 mm^2

ขนาดท่อ IMC Φ 32 mm (1 1/4”)

บริภัณฑ์ป้องกัน CB 80 AT

ตัวอย่างที่ 8.10 (ต่อ)

ขนาดสายป้อน $I_F \geq 1.25I_{n,MAX} + \sum I_R$

$\geq 1.25 \times 44 + (3 \times 22 + 5 \times 7.7)$

≥ 159.5 A.

ใช้สายขนาด 3×95 mm^2 (187 A)

1×50 mm^2

ขนาดบริภัณฑ์ป้องกัน $CB_F \leq CB_{MAX} + \sum I_R$

$\leq 80 + (3 \times 22 + 5 \times 7.7)$

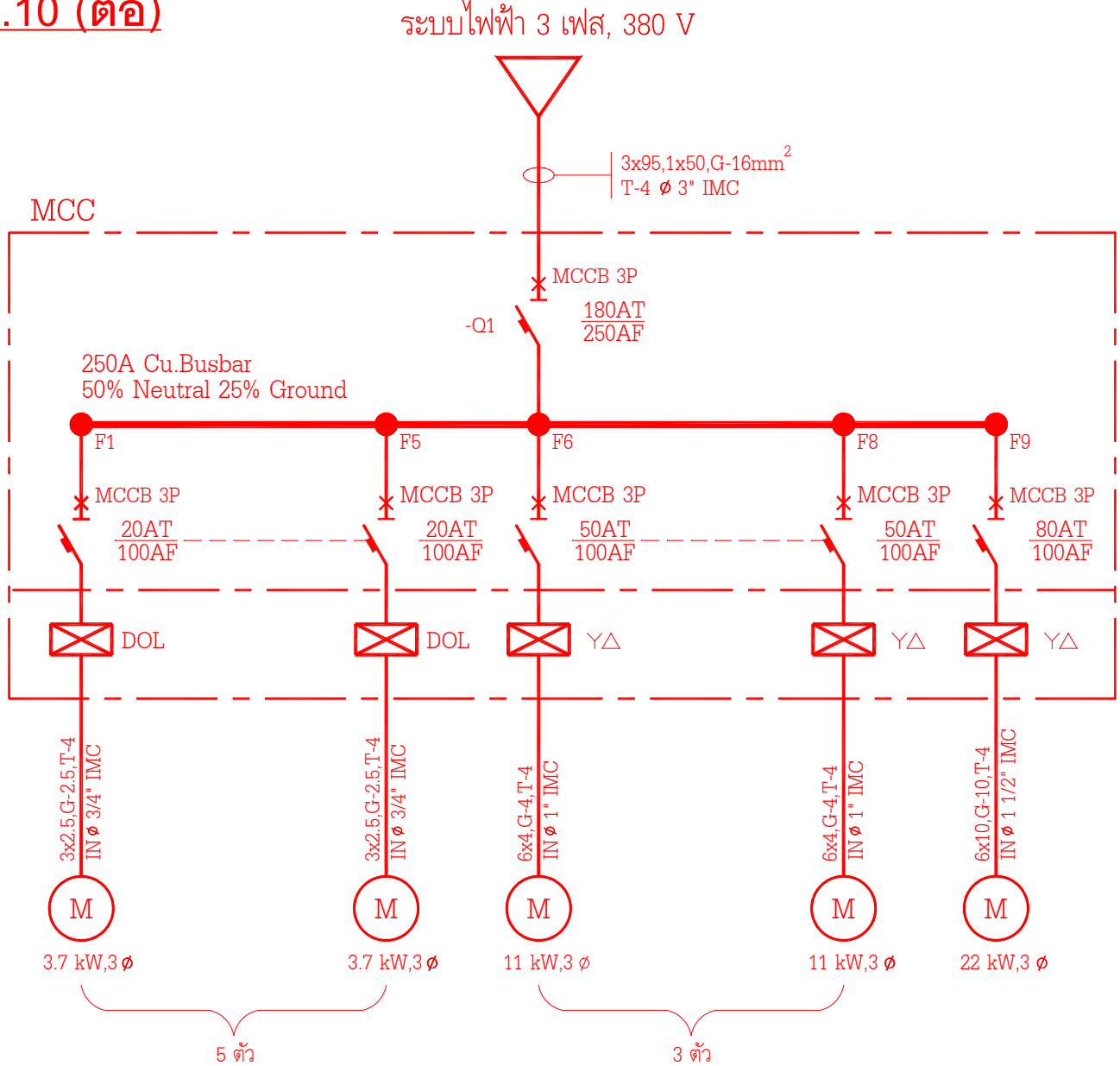
≤ 184.5 A.

ใช้บริภัณฑ์ป้องกัน CB 180 AT

จากตารางสายดิน ใช้สายดินขนาด G - 16 mm^2

ขนาดท่อ IMC Φ 65 mm (2 1/2”)

ตัวอย่างที่ 8.10 (ต่อ)



ตัวอย่างที่ 8.11 แผงสวิตช์บอร์ด จ่ายไฟให้โหลดดังนี้

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V 1 ตัว START แบบ DOL

มอเตอร์ 11 kW 380 V 1 ตัว START แบบ YΔ

มอเตอร์ 22 kW 380 V 1 ตัว START แบบ YΔ

แผงย่อยโหลดต่อเนื่อง 60 kVA , 380 V , 3 เฟส 4 สาย

จงหาขนาดสายวงจรย่อย , สายป้อน และ ขนาดบริภัณฑ์ป้องกันการลัดวงจร โดยใช้สายตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะในอากาศ

ตัวอย่างที่ 8.11 (ต่อ)

วิธีทำ

จากตัวอย่างที่แล้วได้ จะได้ขนาดวงจรย่อย และบริภัณฑ์ป้องกัน ดังนี้

โหลดมอเตอร์

มอเตอร์ 3.7 kW 380 V

บริภัณฑ์ป้องกัน	CB 20 AT
สายวงจรย่อย ขนาดสาย	T-4 3 x 2.5 mm^2
	G - 1.5 mm^2
ขนาดท่อ IMC	Φ 15 mm (1/2”)

ตัวอย่างที่ 8.11 (ต่อ)

มอเตอร์ 11 kW 380 V

บริภัณฑ์ป้องกัน	CB 50 AT
สายวงจรย่อย ขนาดสาย T-4	6 x 4 mm^2
	G – 4 mm^2
ขนาดท่อ IMC	Φ 25 mm (1”)

มอเตอร์ 22 kW 380 V

บริภัณฑ์ป้องกัน	CB 80 AT
สายวงจรย่อย ขนาดสาย T-4	6 10 mm^2
	G – 6 mm^2
ขนาดท่อ IMC	Φ 32 mm (1 1/4”)

โหลดแผงย่อย

$$I_L = \frac{1.25 \times 60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380} = 114 \text{ A}$$

บริภัณฑ์ป้องกัน CB 120 AT

สายป้อน ขนาดสาย T-4 4 x 50 mm^2

G - 16 mm^2

ขนาดท่อ IMC Φ 50 mm (2”)

ตัวอย่างที่ 8.11 (ต่อ)

สายป้อนรวม

I_F = สายป้อนมอเตอร์ + สายป้อนแผงจ่ายไฟ

= (1.25 x 44 + 22 + 7.7) + (1.25 x 1.52 x 60)

= 84.7 + 114 = 198.7 A

พิกัดกระแสสายนิวทรัลคิดเฉพาะโหลดเฟสเดียว ซึ่งในที่นี้คือโหลดของแผงจ่ายไฟพิกัดกระแสสายนิวทรัล 114 A

CB_F = (80 + 22 + 7.7) + (1.25 x 1.52 x 60)

= 223.7 A = 225 A

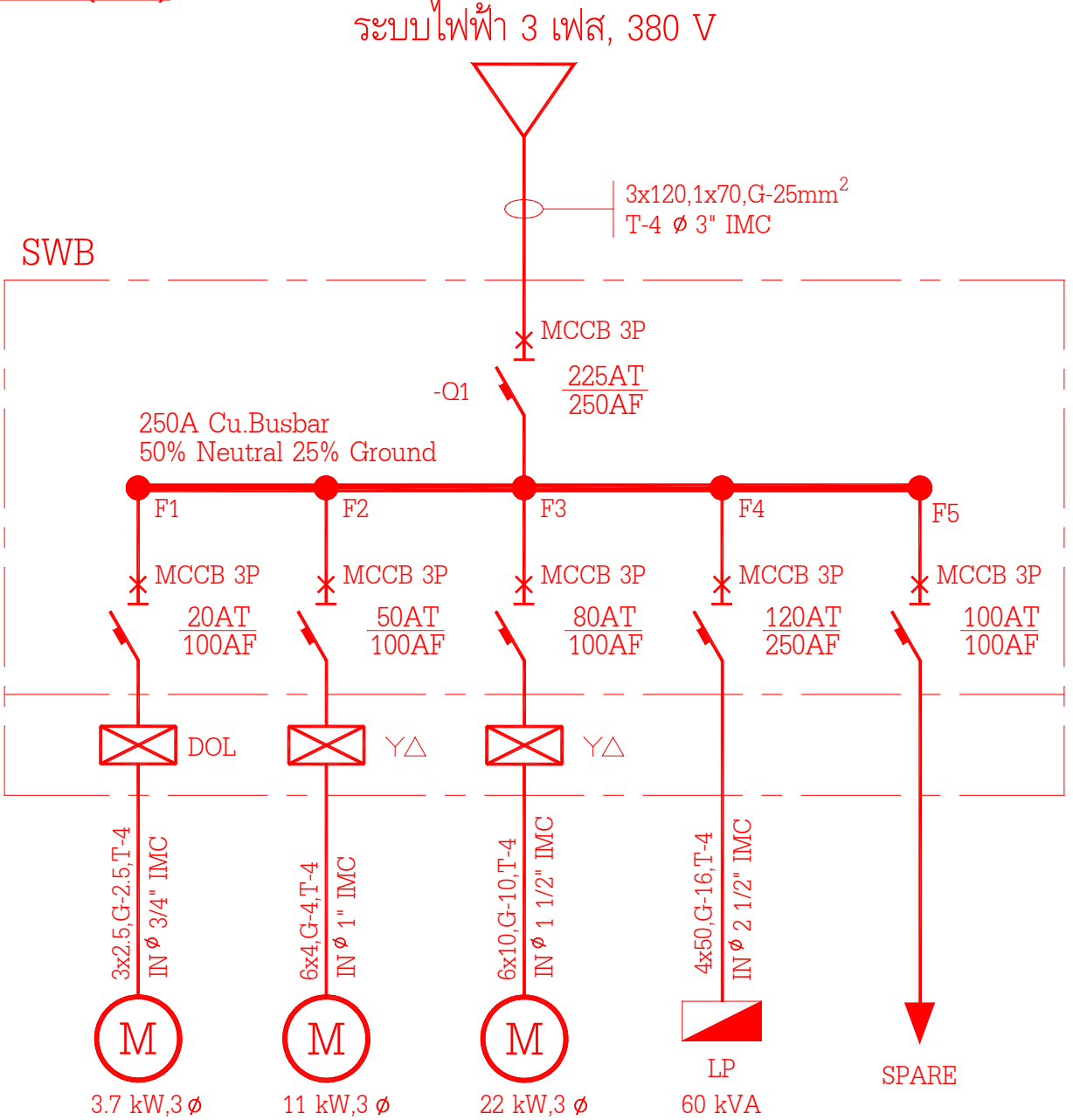
สายป้อน 3 x 120 mm^2

1 x 70 mm^2

G - 25 mm^2

ขนาดท่อ IMC Φ 65 mm (2 1/2”)

ตัวอย่างที่ 8.11 (ต่อ)



8.14 วงจรย่อยและสายป้อนสำหรับมอเตอร์ – คอมเพรสเซอร์แบบปิดผนึก (Hermetically Sealed Motor Compressor)

มอเตอร์แบบปิดผนึกส่วนมากใช้ในเครื่องปรับอากาศ , ตู้เย็น , ตู้แช่ เป็นต้น การออกแบบวงจรย่อยและสายป้อนของมอเตอร์แบบนี้มี กล่าวถึงใน NEC Article 440 “ Air Condition and Refrigerating Equipment ” ข้อกำหนดส่วนมากจะเหมือนกับกฎการออกแบบวงจร มอเตอร์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยกเว้นการหาขนาดของ บริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกิน

วงจรย่อย

ขนาดพิกัดของบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกิน

$$CB \leq 1.75\ I_n$$

แต่ถ้าไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้อนุญาตให้เพิ่มขนาดได้ถึง 225 %

วงจรสายป้อน

$$CB_F \leq 1.75\ I_{n,MAX} + \sum I_R$$

โดยที่

CB_F = ขนาดเครื่องป้องกันสายป้อน (A)

$I_{n,MAX}$ = พิกัดกระแสมอเตอร์ตัวโตที่สุด (A)

$\sum I_R$ = ผลรวมพิกัดกระแสโหลดมอเตอร์ที่เหลือ (A)

ตัวอย่างที่ 8.12 จงหาขนาดบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกินและขนาดเครื่องปลดวงจรของ มอเตอร์แบบปิดผนึก

I_n = 42 A , 380 V

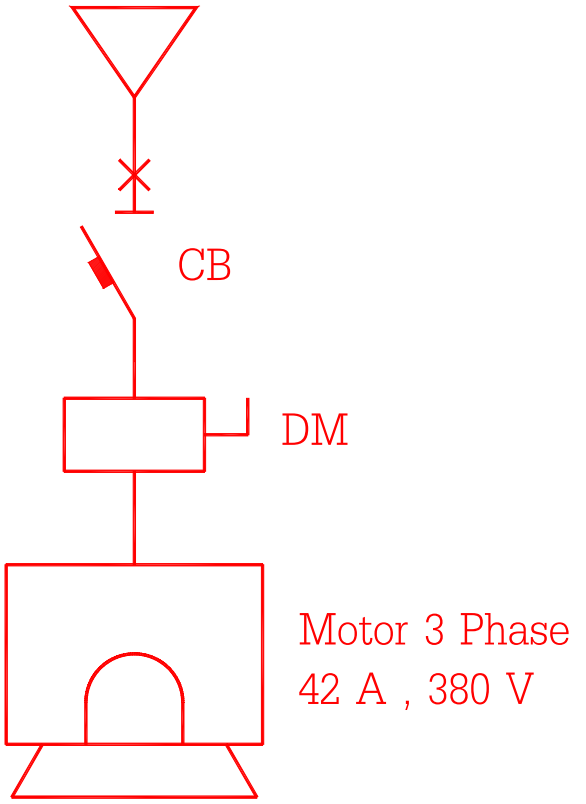
CB $\leq$ 1.75 x 42 = 73.5 A

เลือกบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกิน 70 AT

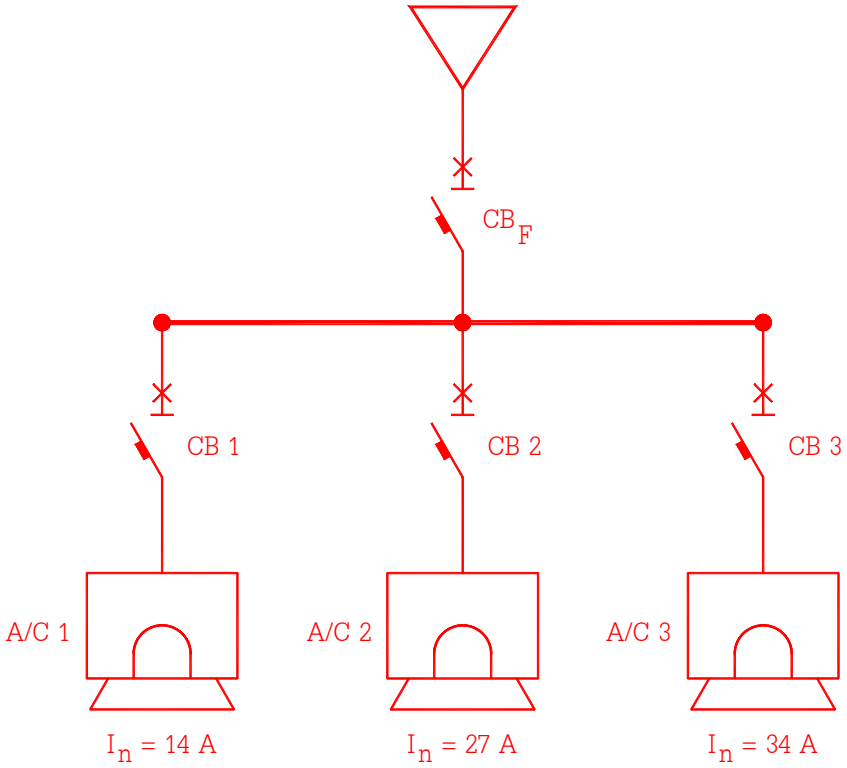
DM $\geq$ 1.15 I_n = 1.15 x 42

= 48.3 A

เลือกเครื่องปลดวงจรขนาด 50 A



ตัวอย่างที่ 8.13 จงหาขนาดบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกินของเครื่องปรับอากาศ ทั้ง 3 ชุด



ตัวอย่างที่ 8.13 (ต่อ)

บริภัณฑ์ป้องกันวงจรย่อย

CB1 $\leq$ 1.75 x 14 = 24.5 A

เลือก CB1 30 AT

CB2 $\leq$ 1.75 x 27 = 47.25 A

เลือก CB2 50 AT

CB3 $\leq$ 1.75 x 34 = 59.5 A

เลือก CB3 60 AT

บริภัณฑ์ป้องกันสายป้อน

$$CB_F \leq 1.75\ I_{n,MAX} + \sum I_R$$

$$= 1.75 \times 34 + 27 + 14$$

$$= 100.5\ A$$

เลือก CB_F 100 AT

8.15 ตัวอย่างการออกแบบวงจรย่อยและสายป้อน (แสงสว่าง + อุปกรณ์ไฟฟ้า + เครื่องปรับอากาศ)

ห้องสำนักงานแห่งหนึ่งมีขนาด

W x L x H = 14.4 x 16.8 x 3.50 m.

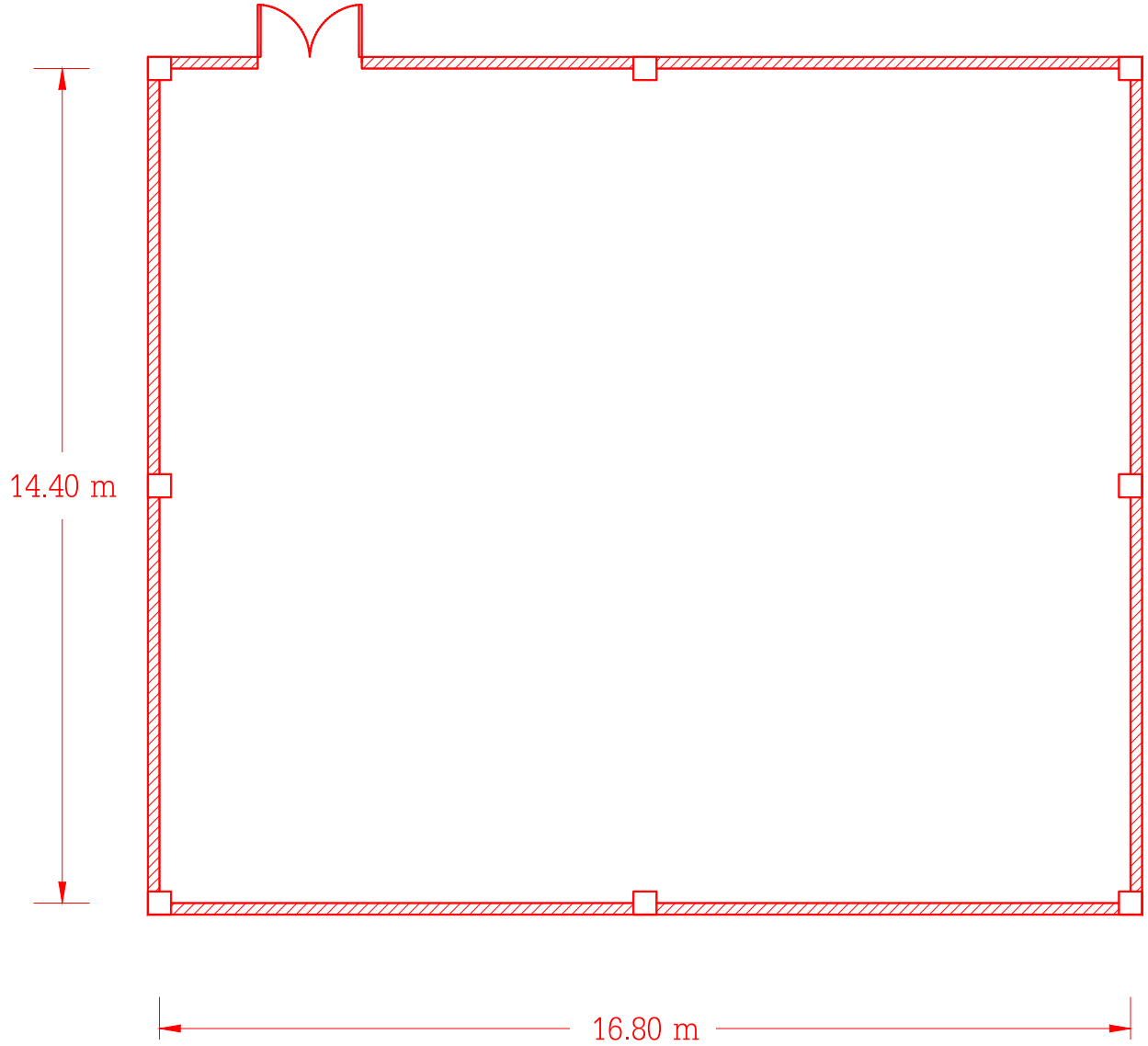
ต้องการความสว่าง 500 lx โดยมีอุปกรณ์สำนักงานขนาดใหญ่ ดังนี้

เครื่องถ่ายเอกสาร ขนด 2000 VA , 220 V

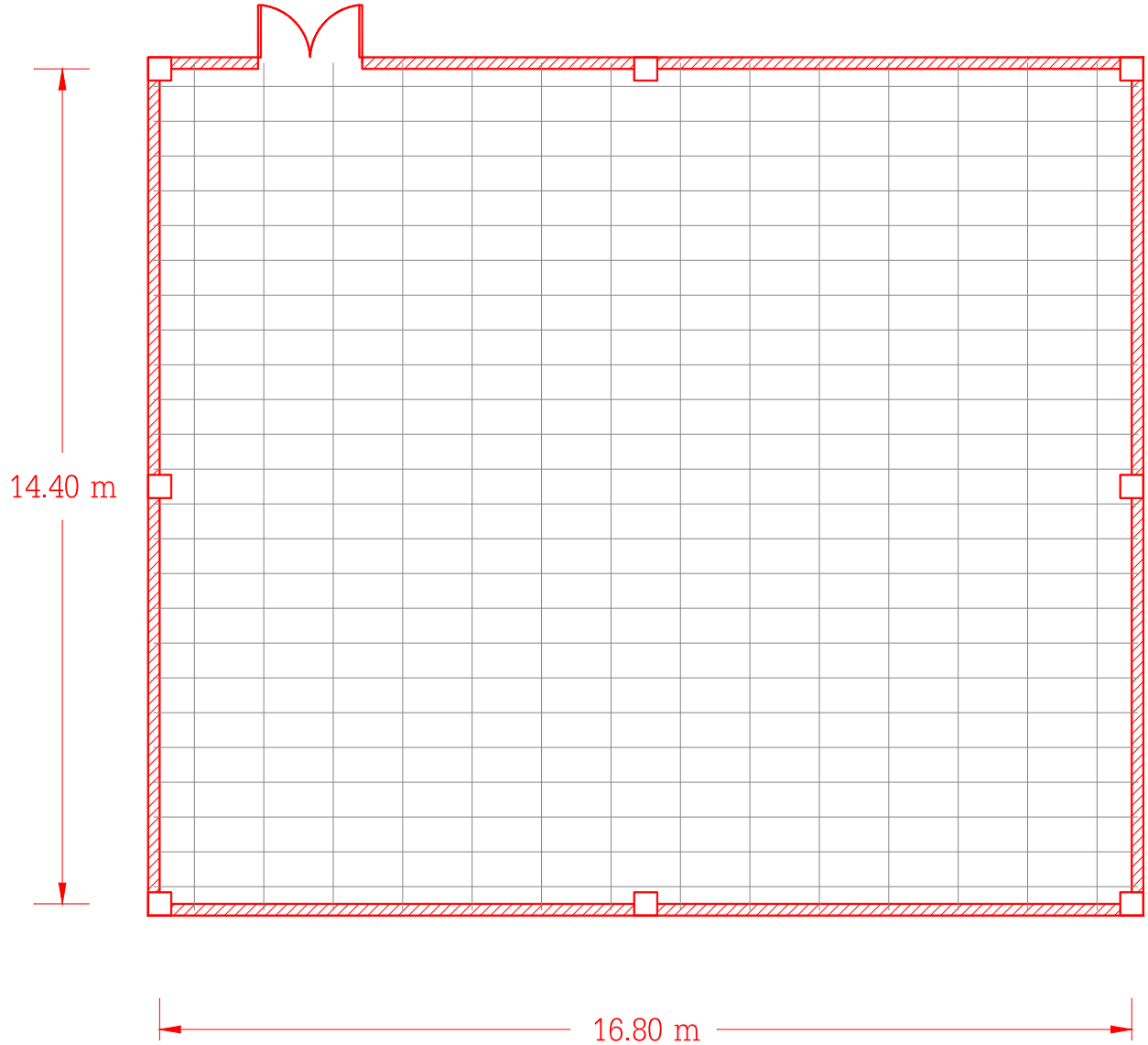
เครื่อง UPS ขนด 2000 VA , 220 V

ระบบปรับอากาศใช้เครื่องปรับอากาศ 2 ชุด ชุดละ 7 ตันความเย็น

(10.56 kVA, 16 A, 380 V, 3 เฟส)

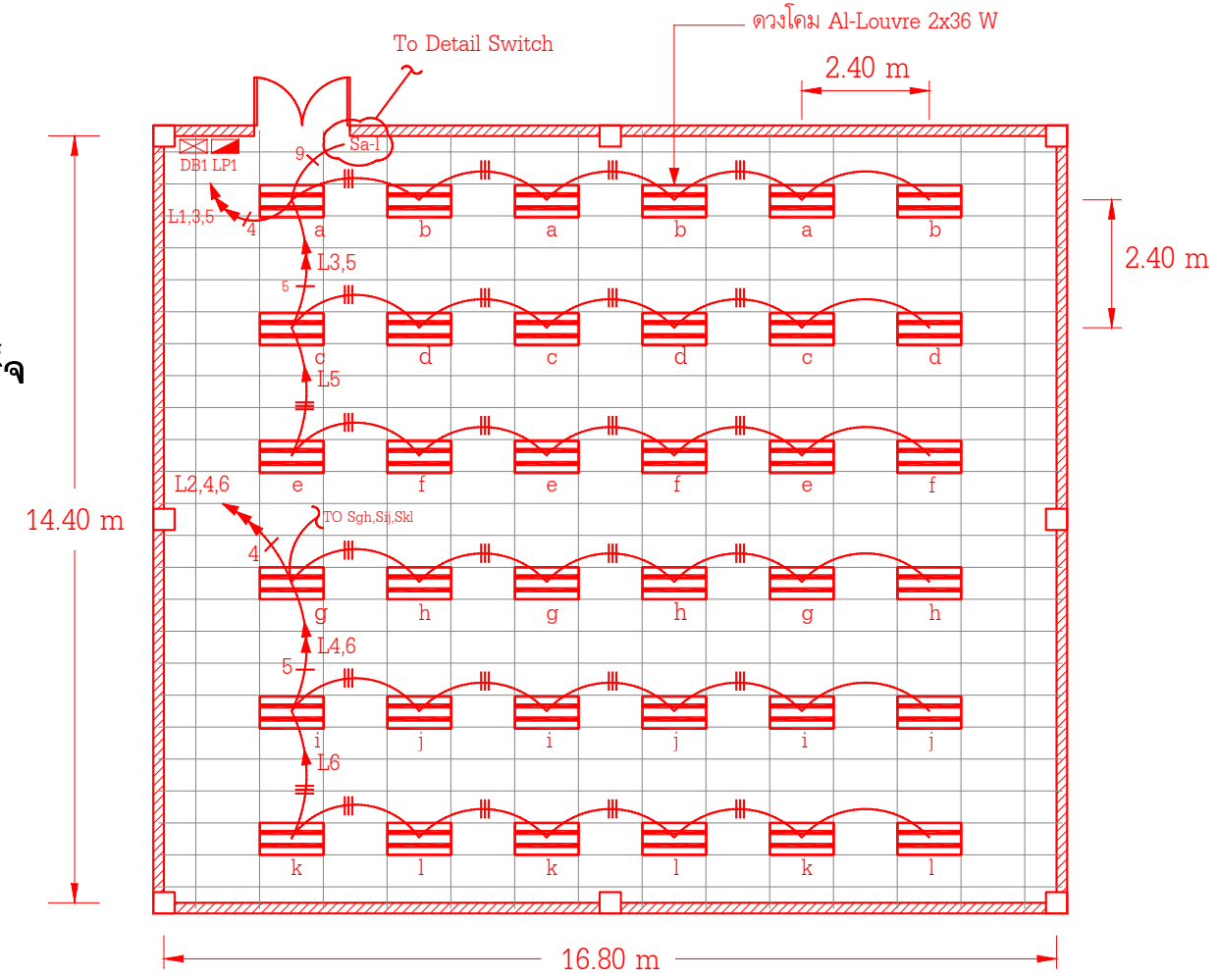


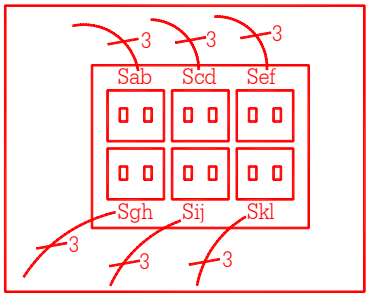
แบบสถาปัตยกรรมของห้องสำนักงาน



แบบแสดงฝ้าแบบ T-BAR

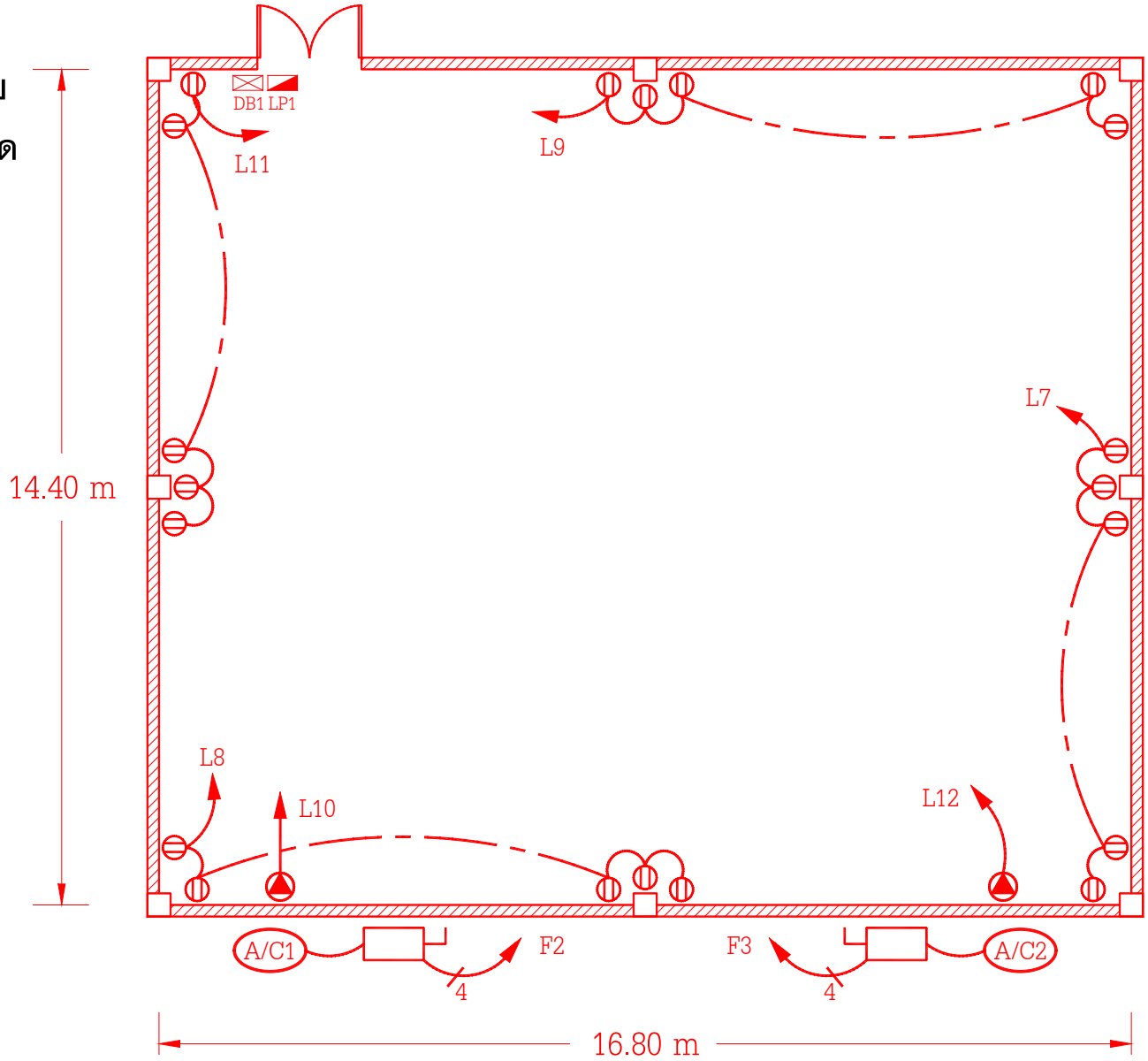
ออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยใช้ดวงโคมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Al-Louvre 2x36 W ฝังในฝ้า เมื่อออกแบบและจัดวางดวงโคมเสร็จแล้ว ก็ทำการโยงวงจรและสวิตช์ให้สามารถเปิด-ปิด ได้ครึ่งหนึ่ง





แบบวงจรแสงสว่าง

จากนั้นออกแบบติดตั้งเต้ารับตามเสา และติดตั้งเครื่องปลดวงจรของเครื่องปรับอากาศที่ด้านนอกอาคาร จากนั้นโยงวงจร เต้ารับและเครื่อง ปรับอากาศ



วงจรเต้ารับ และ วงจรเครื่องปรับอากาศ

จากแบบวงจรแสงสว่างและวงจรเต้ารับ ซึ่งโยงวงจรไปที่แผง LP1 สามารถคำนวณโหลดของแต่ละวงจรได้ดังนี้

- วงจรแสงสว่าง มี 6 วงจร แต่ละวงจรมีโหลด

  = 2 x 100 x 6 = 1200 VA ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 15 AT สายไฟฟ้าตารางที่ 4 ขนาด 2.5 mm^2

- วงจรเต้ารับมี 4 วงจร แต่ละวงจรมีโหลด

  = 5 x 200 = 1000 VA แต่เนื่องจากวงจรเต้ารับทั่วไปเราไม่ทราบโหลดแน่นอน จึงเผื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 20 AT สายไฟฟ้าตารางที่ 4 ขนาด 4 mm^2

- วงจรเต้ารับเฉพาะ (เครื่องถ่ายเอกสาร, UPS) มี 2 วงจร แต่ละวงจรมีโหลด = 2000 VA ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 20 AT สายไฟฟ้าตารางที่ 4 ขนาด 4 mm^2

สรุปวงจรใช้งานมี 12 วงจร เผื่อ Spare 3 วงจร และ Space 3 วงจร

สรุปใช้แผงจ่ายไฟขนาด 18 วงจร

รวมโหลดที่ต่ออยู่ทั้งหมดเท่ากับ 18200 VA = 18.2 kVA

เมื่อต้องการเผื่อโหลดในอนาคต อีก 10%

พิกัดสายป้อน $I_F \geq 2.0 \times 18.2$

$= 36.4$ A

บริภัณฑ์ป้องกัน

$CB \geq 36.4$ A

$= 40$ AT

ขนาดสายป้อน

ใช้สาย T-4 **ขนาด** 4 x 10 mm^2 (43 A)

ขนาดสายดิน 4 mm^2 **(ดูในเรื่องสายดิน)**

ใช้ท่อ IMC 25 mm (1”) **(ดูในเรื่องท่อร้อยสาย)**

PANELBOARD LOAD SCHEDULE

PANEL	LP1		LOCATION	1st FL
CAPACITY	18	CKT	MOUNTING	SURFACE
CONNECTED TO	F1		FROM	DB1

Ck. No.	DESCRIPTION	CONNECTED LOAD (VA)			BRANCH CB			WIRE	
		ϕA	ϕB	ϕC	POLE	AT	AF	SIZE	TYPE
1	LIGHTING	1200			1	15	50	2.5	T-4
3	LIGHTING		1200		1	15	50	2.5	T-4
5	LIGHTING			1200	1	15	50	2.5	T-4
2	LIGHTING	1200			1	15	50	2.5	T-4
4	LIGHTING		1200		1	15	50	2.5	T-4
6	LIGHTING			1200	1	15	50	2.5	T-4
7	RECEPTACLE	1000			1	20	50	4.0	T-4
9	RECEPTACLE		1000		1	20	50	4.0	T-4
11	RECEPTACLE			1000	1	20	50	4.0	T-4
8	RECEPTACLE	1000			1	20	50	4.0	T-4
10	XEROX		2000		1	20	50	4.0	T-4
12	UPS			2000	1	20	50	4.0	T-4
13	SPARE	1000			1	20	50	-	-
15	SPARE		1000		1	20	50	-	-
17	SPARE			1000	1	20	50	-	-
14	SPACE	-			-	-	-	-	-
16	SPACE		-		-	-	-	-	-
18	SPACE			-	-	-	-	-	-
		5400	6400	6400				4x10	T-4
TOTAL CONNECTED LOAD (VA)		18200			MAIN CB 3P 40AT/100AF			G-4	
								CONDUIT 25 mm (1″) IMC	

วงจรเครื่องปรับอากาศขนาด 7 ตันความเย็น (10.56 kVA, 16 A, 380 V)
ใช้ 2 สายป้อน

CB = 1.75 x 16 = 28 A

เลือกใช้ CB **ขนาด** 30 AT

DM $\geq$ 1.15 x 16 = 18.4 A

$\geq$ 1.25 x 16 = 20 A

ใช้สาย T-4 **ขนาด** 4 x 4 mm^2

G – 2.5 mm^2

Φ 20 mm (3/4”) IMC

จากสายป้อนทั้งหมด ได้โหลดที่ต่ออยู่ทั้งหมด

= 18.20 + 10.56 + 10.56 + 9 (Spare)

= 48.32 kVA

ให้ Demand Factor = 1.00

Demand Load = 48.32 x 1 kVA

= 48.32 kVA

= 48.35 x 1.52 A

= 73.4 A

I_F = 1.25 x 73.4 = 92 A

ใช้สาย T-4 ขนาด 3 x 35 mm^2

1 x 25 mm^2

G – 10 mm^2

Φ 50 mm (2”) IMC

$CB_F = 1.75_{In,MAX} + \sum I_R$

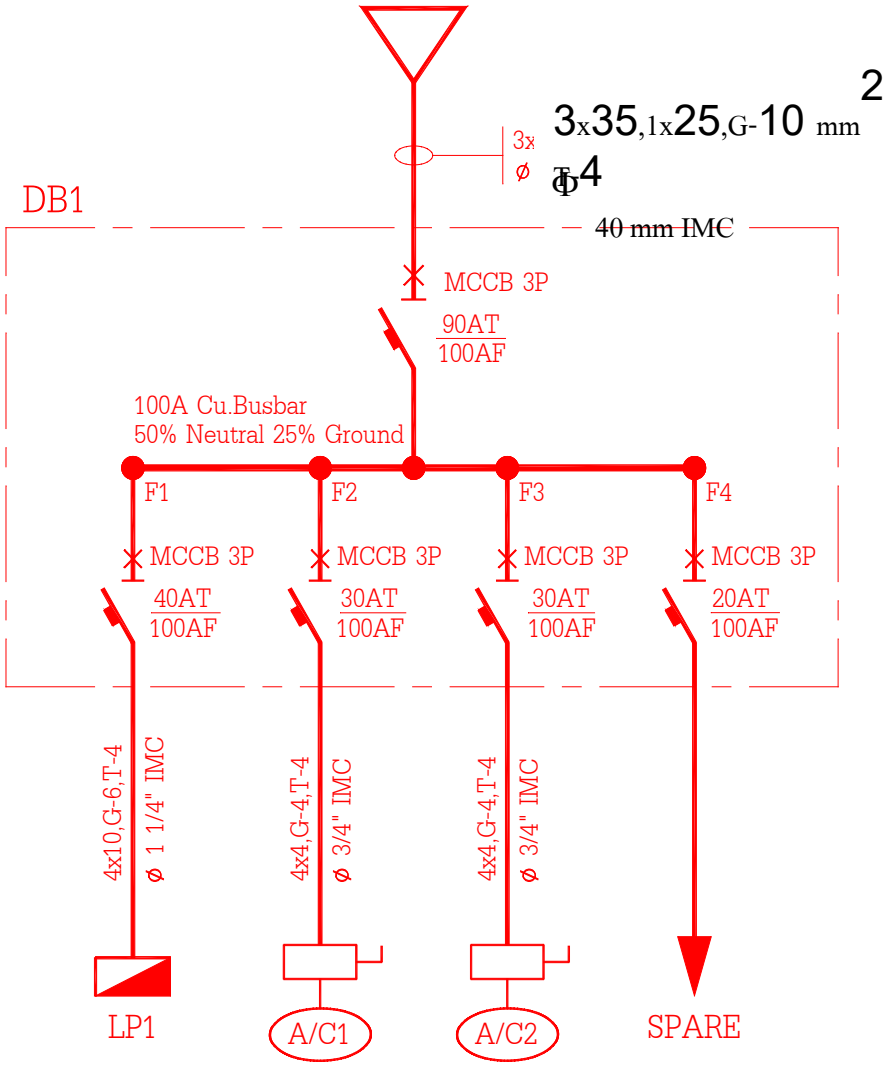
= 1.75 x 16 + 16 + 18.2 x 1.52 + 9.0 x 1.52

= 85.3 A

เลือกใช้ CB ขนาด 90 AT

FEEDER	FROM	TO	CONNECTED LOAD (kVA)				CIRCUIT	WIRE		RACEWAYS		REMARKS
			ϕ_A	ϕ_B	ϕ_C	TOTAL	BREAKER	SIZE	TYPE	SIZE	TYPE	
F1	DB1	LP1	5.40	6.40	6.40	18.20	MCCB 3P 40AT/100AF	4x10, G-4	T-4	25 mm (1")	IMC	Lighting Panel
F2	DB1	A/C1	3.52	3.52	3.52	10.56	MCCB 3P 30AT/100AF	4x4, G-4	T-4	20 mm (3/4")	IMC	Air Condition
F3	DB1	A/C2	3.52	3.52	3.52	10.56	MCCB 3P 30AT/100AF	4x4, G-4	T-4	20 mm (3/4")	IMC	Air Condition
F4	DB1	SPARE	3.00	3.00	3.00	9.00	MCCB 3P 20AT/100AF	-	-	-	-	-
TOTAL CONNECTED LOAD (kVA)			15.44	16.44	16.44	48.32	MCCB 3P 90AT/100AF	3x35,1x25, G-10	T-4	40 mm (1 1/2")	IMC	
DEMAND FACTOR						1.00						
DEMAND LOAD						48.32						

จากตารางรายการสายป้อน สามารถแสดงเป็น Single Line Diagram ได้ดังนี้



Single Line Diagram

THE END