# บทที่ 7
# วงจรย่อยและสายป้อนไฟฟ้า
# แสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า

## 7.1 บทนำ

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการต่างๆ นั้น วิศวกรไฟฟ้าจะต้องออกแบบระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า ( **Electrical Distribution System** ) เพื่อให้สามารถจ่ายกระแส ไฟฟ้าให้แก่บริภัณฑ์ต่างๆ อย่าง เพียงพอและเชื่อถือได้ ขนาดของระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นหาได้จาก รายการโหลด ( **Load Schedule** ) และ รายการสายป้อน ( **Feeder Schedule** )

## 7.2 โหลดไฟฟ้า

### *ชนิดของโหลด*

โหลดไฟฟ้ามีการใช้งานต่างกัน บางชนิดก็ใช้ต่อเนื่องกันเป็นเวลาหลายชั่วโมง บางชนิดก็ใช้เพียงไม่กี่นาทีก็หยุดดังนั้นในการคำนวณหาโหลดรวมจึงได้แบ่งโหลดออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. โหลดต่อเนื่อง ( **Continuous Load** )
2. โหลดไม่ต่อเนื่อง ( **Noncontinuous Load** )

### *โหลดต่อเนื่อง*

คือโหลดไฟฟ้าที่ใช้ติดต่อกันตั้งแต่ 3 ชั่วโมงขึ้นไป เช่น โหลดดวงโคมในสำนักงาน , เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความปลอดภัยและเชื่อถือได้สูง บริภัณฑ์ไฟฟ้าสำคัญๆ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ , สาย ไฟฟ้า , หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น จะเผื่อพิกัดอีก 25% สำหรับโหลดต่อเนื่อง

### *โหลดไม่ต่อเนื่อง*

คือโหลดไฟฟ้าที่ใช้ติดต่อกันไม่ถึง 3 ชั่วโมง เช่น เตาไฟฟ้า เป็นต้น

## คำนิยามเกี่ยวที่ใช้เกี่ยวกับโหลด

### 1. Total Connected Load

คือผลรวมทั้งหมดของโหลดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ของสถานประกอบการ คิดเป็น kVA หรือ MVA

### 2. Maximum Demand

คือโหลดไฟฟ้าที่ใช้พร้อมกันสูงสุดในเวลาที่กำหนด ให้ คิดเป็น kVA หรือ MVA

### 3. Demand Factor ( D.F. )

คืออัตราส่วนของ Maximum Demand ต่อ Total Connected Load

$$D.F. = \frac{\text{Maximum Demand}}{\text{Total Connected Load}} \times 100\%$$

### 4. Diversity Factor

คืออัตราส่วนของผลรวมโหลดไฟฟ้าสูงสุดของการใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่มย่อยของระบบต่อ Maximum Demand ของทั้งระบบ

Diversity Factor จะมีค่ามากกว่า 1.00 เสมอ

### 5. Peak Load ( P )

คือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่ กำหนดให้

เช่น ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือความ ต้องการพลังไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยในเวลา 15 นาทีสูงสุด

### 6. Load Factor ( L. F. )

คืออัตราส่วนของ Average Load ในช่วงเวลาหนึ่งต่อ Peak Load ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น

$$L.F. = \frac{E}{(P \times T)} \times 100\%$$

โดย E = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) (คิดในรอบเดือน)

P = ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ( Peak Load )

T = จำนวนชั่วโมงในรอบเดือน

### Load Profile

คือเส้นกราฟแสดงค่า Demand Load อาจเป็นของแต่ละวัน เดือน หรือปี

**ตัวอย่างที่ 7.1** สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีโหลดไฟฟ้าต่ออยู่ในระบบทั้งหมด ( Total Connected Load ) รวม ทั้งสิ้น 1200 kVA แต่มีความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงของวันดังตาราง

| เวลา | ความต้องการพลังไฟฟ้า (kW) |
|---|---|
| 0.00-6.00 น. | 250 |
| 6.00-12.00 น. | 500 |
| 12.00-18.00 น. | 750 |
| 18.00-24.00 น. | 250 |

- หมายเหตุ ในช่วง Peak Load วัดค่า P.F. ได้ประมาณ 0.8 จงหา
  - Load Profile - Load Factor - Demand Factor

**วิธีทำ**

จากตารางสามารถแสดง Load Profile ได้ดังนี้

$E = (250 \times 6) + (500 \times 6) + (750 \times 6) + (250 \times 6)$

$= 10500$ kWh

$P = 750$ kW

$T = 24$ ช.ม.

$$L.F. = \frac{10500}{750 \times 24} \times 100\% = 58\ \%$$

$$\text{Maximum Demand} = \frac{750}{0.8} = 937.5 \text{ kVA}$$

$$\therefore D.F. = \frac{937.5}{1200} \times 100\% = 78\ \%$$

## *การคำนวณโหลด*

ขนาดของโหลดของบริภัณฑ์ไฟฟ้ากระแสสลับอาจคิด เป็น

- กระแส ( A )
- โวลต์แอมแปร์ ( VA )
- กิโลโวลต์แอมแปร์ ( kVA )
- การทำรายการโหลดและรายการสายป้อนส่วนมากคิดโหลดเป็น VA หรือ kVA ในที่นี้จึงจะคิดโหลดเป็น VA หรือ kVA

*โหลดของบริภัณฑ์ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้*

1. ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

$$\text{โหลด ( VA )} = V \times I$$

2. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

$$\text{โหลด ( VA )} = \sqrt{3} \times V_L \times I$$

โดย $V$ = แรงดันระหว่างสายเฟสกับนิวทรัล (V)

$V_L$ = แรงดันระหว่างสายเฟสกับเฟส (V)

$I$ = กระแส (A)

**ตัวอย่างที่ 7.2** หลอด PL ขนาด 11W , 220V มีกระแสผ่านหลอด 0.155A ให้หาโหลด

**วิธีทำ**

โหลด ( VA ) = $V \times I$ VA

= $220 \times 0.155$ VA

= 34.1 VA

**ตัวอย่างที่ 7.3** มอเตอร์ 3 เฟส 380 V , 75 kW , $I_n$ = 138A ให้หาโหลด

**วิธีทำ**

โหลด ( VA ) = $\sqrt{3} \times V_L \times I$ VA

= $\sqrt{3} \times 380 \times 138$ VA

= 90,829 VA

หรือ = 90.8 kVA

คิดต่อเฟสได้ = 90.8/3 kVA/Phase

= 30.3 kVA/Phase

## 7.3 โหลดไฟฟ้าของสถานประกอบการ

บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานประกอบการแบ่งเป็นกลุ่ม ใหญ่ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ไฟฟ้าแสงสว่าง
2. เต้ารับ
3. มอเตอร์
4. เครื่องปรับอากาศ
5. ระบบขนส่งแนวดิ่ง

เป็นต้น

### *ไฟฟ้าแสงสว่าง*

โหลดไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับอาคารที่มีระบบปรับอากาศจะมีค่าประมาณ 20-50% ของโหลดทั้งหมด และถ้าหากคิดต่อพื้นที่จะประมาณ 20-100 VA ต่อตารางเมตร โหลดไฟฟ้าแสงสว่างอาจคิดแยกเป็นจุดๆ ได้ โดยจะคิดตามชนิดและขนาดของหลอดไฟฟ้าได้ดังนี้

## 1.หลอดไส้ ( Incandescent Lamp )

หลอดไส้เป็นโหลดไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลัง ( Power Factor , PF ) 100%

∴ โหลด ( VA ) = W

เช่น ดวงโคมไฟฟ้าใช้หลอดไส้ 100 W

มีโหลด = 100 VA

## 2.หลอดฟลูออเรสเซนต์ ( Fluorescent Lamp )

หลอดฟลูออเรสเซนต์ ( FL ) เป็นหลอดไฟฟ้าที่มีใช้แพร่หลายมากที่สุด ขนาดที่ใช้กันมากคือ 18W ( 20W ) และ 36W ( 40W ) หลอด FL จะต้องใช้ร่วมกับบัลลาสต์ ดังนั้น เวลาคิดโหลดต้องคิดกำลังไฟฟ้าของหลอดรวมกับ กำลังสูญเสียของบัลลาสต์ และต้องคำนึงถึงตัวประกอบกำลังด้วย หรือคิดตามกระแสที่ไหลผ่านดวงโคม

ตัวอย่างที่ 7.4 หลอด FL 36W , 220V แบบ

LPF ( Low Power Factor ) บัลลาสต์พิกัดกระแส = 0.43A

HPF ( High Power Factor ) บัลลาสต์พิกัดกระแส = 0.25A

ให้หาโหลด

วิธีทำ

FL , LPF โหลด = 220 x 0.43 = 94.6 VA

FL , HPF โหลด = 220 x 0.25 = 55 VA

ค่าโหลดที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบ ( Recommended Design Load ) คือค่าที่เผื่อได้เล็กน้อยและสะดวกในการรวมโหลด เช่น

หลอด FL , 36W LPF = 100 VA

หลอด FL 36W HPF = 60 VA

ค่าโหลดของหลอด FL และหลอดประหยัดไฟมีแสดงในตารางที่ 7.1 และ 7.2

ตารางที่ 7.1 ค่าโหลดของหลอด FL

| กำลังไฟฟ้า ( W ) | โหลด ( VA ) | |
|---|---|---|
| | LPF บัลลาสต์ | HPF บัลลาสต์ |
| 18 ( 20 ) | 90 | 40 |
| 36 ( 40 ) | 100 | 60 |

ตารางที่ 7.2 ค่าโหลดของหลอดประหยัดไฟ

| กำลังไฟฟ้าของโหลด ( W ) | โหลด ( VA ) |
|---|---|
| 9 | 15 |
| 11 | 20 |
| 15 | 25 |
| 20 | 35 |
| หลอด PL | |
| 5 , 7 , 11 | 40 |

## *หลอดก๊าซแรงดันไอสูง ( High Intensity Discharge ,HID Lamp )*

*หลอด HID ที่ใช้กันแพร่หลายในขณะนี้ได้แก่*

1. หลอดแสงจันทร์ ( High Pressure Mercury )
2. หลอดโซเดียมความดันไอสูง ( High Pressure Sodium )
3. หลอดเมทัลฮาไลด์ ( Metal Halide )

หลอด HID ต้องใช้ร่วมกับบัลลาสต์เหมือนหลอด FL โดยบัลลาสต์อาจเป็นแบบ LPF หรือ HPF ก็ได้ โหลดโดยประมาณของหลอด HID มีแสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ค่าโหลดของหลอด HID

| กำลังไฟฟ้าของหลอด ( W ) | โหลด ( VA ) | |
|---|---|---|
| | LPF บัลลาสต์ | HPF บัลลาสต์ |
| 80 | 180 | 100 |
| 125 | 260 | 160 |
| 250 | 500 | 300 |
| 400 | 750 | 500 |
| 700 | 1250 | 850 |
| 1000 | 1900 | 1200 |

## *เต้ารับ*

เต้ารับเป็นบริภัณฑ์ซึ่งติดตั้งไว้ เพื่อความสะดวก ในการใช้กับบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนย้ายได้ ( Portable ) หรือบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่อยู่กับที่ ( Fixed ) ที่นำมาใช้ภายหลัง ดังนั้นโหลดไฟฟ้าจึงไม่แน่นอน

เต้ารับที่ใช้แต่ละชุดมีทั้งแบบเต้ารับเดี่ยว , คู่ และเต้ารับ 3 หัวจ่าย แต่ในการคิดโหลดให้คิดต่อชุด

โหลดของเต้ารับ = 180 VA / ชุด

เพื่อเป็นการเผื่อและสะดวกในการรวมโหลดของ เต้ารับอาจให้เป็น 200 VA / ชุด

## มอเตอร์

บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนมีอยู่มากมาย โหลดมอเตอร์โดยทั่วไปถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่องซึ่งมีทั้งแบบใช้ไฟฟ้า 1 เฟส 230V หรือ 3 เฟส 400V ขนาดของโหลดมอเตอร์ดูได้ที่ ตาราง 8.1 และ 8.2 แสดงพิกัดกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 3 เฟส และพิกัดกระแสมอเตอร์กระแสตรง ตามลำดับ

ดูในบทที่ 8 ต่อไป

## ระบบปรับอากาศ

โหลดของระบบปรับอากาศประกอบด้วยโหลดมอเตอร์ เป็นส่วนใหญ่ ระบบปรับอากาศประกอบด้วยบริภัณฑ์ต่อไปนี้

1. คอมเพรสเซอร์ ( Compressor )
2. ปั๊มน้ำเย็น ( Chilled Water Pump )
3. ปั๊มคอนเดนเซท ( Condensate Pump )
4. หอผึ่งเย็น ( Cooling Tower )
5. พัดลมเย็น ( Air Distribution Fan )
6. แดมเปอร์หรือวาล์วแบบใช้มอเตอร์ ( Motorized Damper and Valve )
7. วงจรควบคุม ( Control Circuit )

ในการประมาณโหลดของระบบปรับอากาศพบว่า มอเตอร์ขนาด 1 Hp ( 0.75 kW ) จะขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นขนาดประมาณ 1 ตันความเย็น หรือ ประมาณ 1 kVA คอมเพรสเซอร์โดยทั่วไปจะเป็นโหลดประมาณ 55-70% ของโหลดทั้งระบบ ดังนั้นจะได้ว่า

**โหลดของระบบปรับอากาศ = ( 1.5 - 1.8 ) x ตันความเย็น**

เช่น ระบบปรับอากาศขนาด 100 ตันความเย็น จะเป็นโหลดไฟฟ้าประมาณ 150 - 180 kVA

โหลดของเครื่องปรับอากาศแบบต่างๆ มีแสดงในตารางที่ 7.4 - 7.7

ตารางที่ 7.4 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ( Split Type ) 1 เฟส 230V

| ความจุ ( Capacity ) | | โหลด ( kVA ) |
|---|---|---|
| ตันความเย็น ( TR ) | BTUH | |
| 1 | 12,000 | 1.50 |
| 1.5 | 18,000 | 1.70 |
| 2 | 24,000 | 2.60 |
| 3 | 36,000 | 4.20 |

## ตารางที่ 7.5 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ( Split Type ) 3 เฟส 400V

| ความจุ ( Capacity ) | | โหลด ( kVA ) |
|---|---|---|
| ตันความเย็น ( TR ) | BTUH | |
| 4 | 48,000 | 6.12 |
| 5 | 60,000 | 7.83 |
| 6 | 72,000 | 9.74 |
| 7 | 84,000 | 12.18 |
| 8 | 96,000 | 12.97 |
| 9 | 108,000 | 14.02 |

## ตารางที่ 7.6 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศ Package ( Air Cooled ) 3 เฟส , 400V

| ความจุ ( Capacity ) | | โหลด ( kVA ) |
|---|---|---|
| ตันความเย็น ( TR ) | BTUH | |
| 7.5 | 90,000 | 10.40 |
| 9 | 108,000 | 14.48 |
| 11 | 132,000 | 17.44 |
| 13 | 156,000 | 22.18 |
| 16 | 192,000 | 25.34 |
| 18 | 216,000 | 26.39 |

## ตารางที่ 7.7 ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศ Package ( Water Cooled ) 3 เฟส , 400V

| ความจุ ( Capacity ) | | โหลด ( kVA) |
|---|---|---|
| ตันความเย็น ( TR ) | BTUH | |
| 5 | 60,000 | 7.90 |
| 7.5 | 90,000 | 8.42 |
| 10 | 120,000 | 11.65 |
| 15 | 180,000 | 17.51 |
| 20 | 240,000 | 23.56 |
| 25 | 300,000 | 32.91 |

## *ระบบขนส่งในแนวดิ่ง*

เครื่องจักรสำหรับขนส่งหรือเคลื่อนย้ายของต่างๆ ในอาคาร ได้แก่ ลิฟต์ บันไดเลื่อน ปั้นจั่น เป็นต้น โหลดเหล่านี้เป็นโหลดมอเตอร์ ขนาดมอเตอร์ขึ้นอยู่กับน้ำหนักและความเร็ว

โหลดของลิฟต์ แสดงในตารางที่ 7.9

โหลดของบันไดเลื่อน แสดงในตารางที่ 7.10

โหลดของปั้นจั่น แสดงในตารางที่ 7.11

สำหรับอาคารที่มีลิฟต์หลายตัว และกลุ่มของลิฟต์ทำงานแบบ Group Control โหลดทั้งหมดของลิฟต์อาจใช้ค่า D.F. ได้ ดังตารางที่ 7.8

## ตารางที่ 7.8 ค่า D.F. สำหรับโหลดของลิฟต์หลายตัว

| จำนวนลิฟต์ | ค่า D.F. |
|---|---|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 0.95 |
| 3 | 0.90 |
| 4 | 0.85 |
| 5 | 0.82 |
| 6 | 0.79 |
| 7 | 0.77 |
| 8 | 0.75 |
| 9 | 0.73 |
| 10 หรือมากกว่า | 0.72 |

**ตัวอย่างที่ 7.5** อาคารแห่งหนึ่งติดตั้งลิฟต์ จำนวน 6 ตัว ภายใต้เครื่องควบคุมกลุ่ม ลิฟต์ ถ้าลิฟต์แต่ละตัวมีความจุ 15 คน ( 1000 kg ) และความเร็ว 2 m/s จงหาโหลดของระบบลิฟต์นี้

**วิธีทำ**

โหลดของลิฟต์แต่ละตัว ( 1000 kg , 2 m/s ) = 20 kVA

ลิฟต์ 6 ตัว ใช้ค่า D.F. = 0.79

โหลดของระบบลิฟต์ = D.F. x จำนวนลิฟต์ x โหลดของลิฟต์แต่ละตัว

= 0.79 x 6 x 20

= 94.8 kVA

## ตารางที่ 7.9 ค่าโหลดของลิฟต์ 3 เฟส 400V

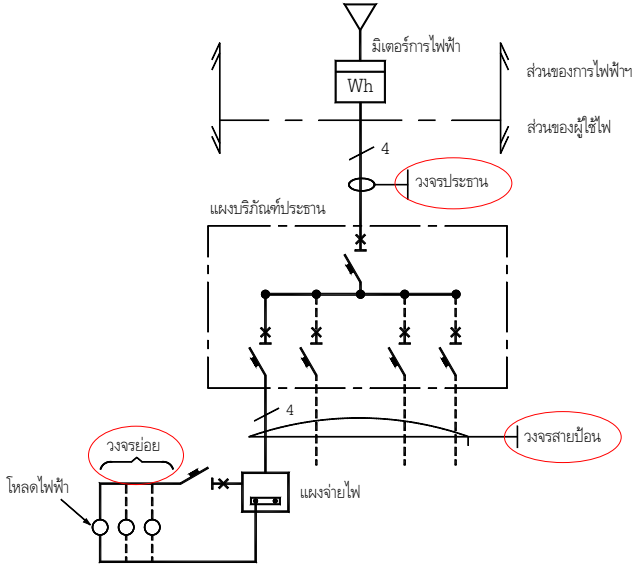
| ขนาด น้ำหนัก ( kg ) ( จำนวนคน ) | ความเร็ว m/min | โหลด ( kVA ) |
|---|---|---|
| 600 ( 9 ) | 45 | 5 |
| | 60 | 6 |
| | 90 | 7 |
| | 105 | 7 |
| 750 ( 11 ) | 45 | 6 |
| | 60 | 7 |
| | 90 | 8 |
| | 105 | 8 |

## ตารางที่ 7.10 ค่าโหลดของบันไดเลื่อน 3 เฟส 400V

| ความกว้าง ( mm ) | ระยะขึ้น ( mm ) | โหลด ( kVA ) |
|---|---|---|
| 800 | 3000 | 11 |
| | 4000 | |
| | 4500 | 15 |
| | 5000 | |
| | 5500 | |
| | 6000 | |

## ตารางที่ 7.11 ค่าโหลดของปั้นจั่น 3 เฟส 400V

| ขนาดการยกน้ำหนัก ( Ton ) | โหลด ( kVA ) |
|---|---|
| 0.5 | 2.3 |
| 1 | 2.6 |
| 2 | 4 |
| 3.2 | 9 |
| 5 | 13 |
| 8 | 19 |
| 10 | 19 |
| 12.5 | 28 |




รูปที่ 7.1 ส่วนของวงจรในระบบแรงดันต่ำ

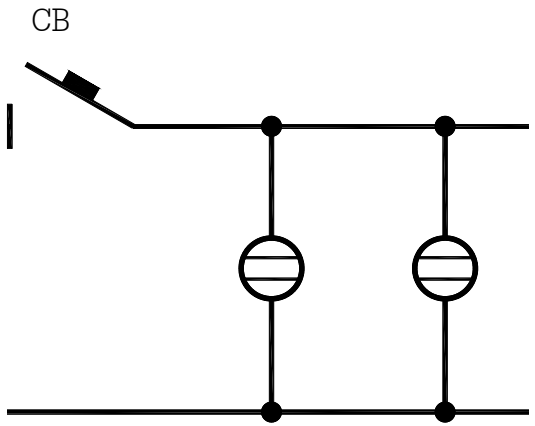
# 7.4 การแบ่งวงจรย่อย

ระบบไฟฟ้าในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าเช่น

- อาคารที่อยู่อาศัย
- อาคารพาณิชย์
- โรงงานอุตสาหกรรม

จะประกอบไปด้วยวงจรไฟฟ้าต่างๆ มากมายหลายวงจร เพื่อให้สะดวกต่อการออกแบบ และติดตั้ง จึงได้แบ่งวงจรไฟฟ้าเหล่านี้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. วงจรย่อย ( Branch Circuit )
2. วงจรสายป้อน ( Feeder Circuit )
3. วงจรประธาน ( Main Circuit )



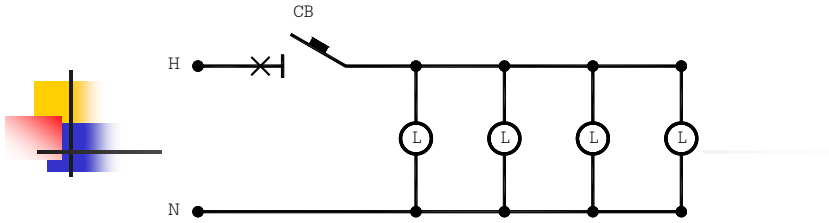

รูปที่ 7.2 ส่วนของวงจรในระบบแรงสูง

## 7.5 วงจรย่อย ( Branch Circuit )

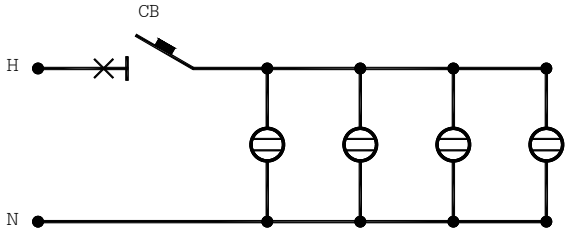
วงจรย่อย คือ ส่วนของวงจรไฟฟ้า ที่ต่อมาจาก บริภัณฑ์ป้องกันตัวสุดท้ายกับจุดต่อโหลด โดยที่บริภัณฑ์ป้องกันนี้จะมีหน้าที่ป้องกันสายวงจรย่อย นั้นเท่านั้น

วงจรย่อยอาจแบ่งตามลักษณะการจ่ายโหลดได้คือ

1. วงจรย่อยแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( Lighting or Appliance Branch Circuit )
2. วงจรย่อยมอเตอร์ ( Motor Branch Circuit )




รูปที่ 7.3 วงจรย่อยแสงสว่าง




รูปที่ 7.4 วงจรย่อยเต้ารับ

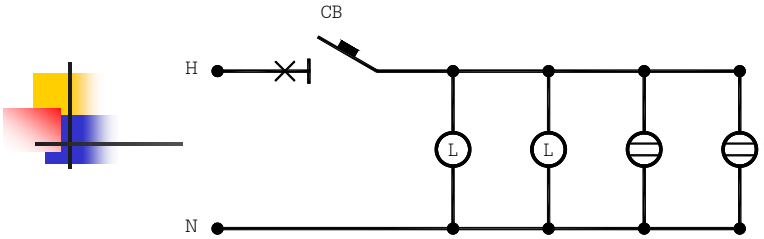


## วงจรย่อยแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า

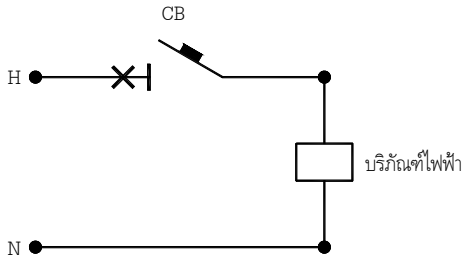
## ( Lighting or Appliance Branch Circuit )

วงจรย่อยแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า ( Lighting or Appliance Branch Circuit ) อาจแบ่งเป็น 4 แบบคือ

1. วงจรย่อยแสงสว่าง ( Lighting Branch Circuit )
2. วงจรเต้ารับ ( Receptacle Branch Circuit )
3. วงจรย่อยแสงสว่างและเต้ารับ( Lighting and Receptacle Branch Circuit )
4. วงจรย่อยเฉพาะ ( Individual Branch Circuit )




รูปที่ 7.5 วงจรย่อยแสงสว่างและเต้ารับ




รูปที่ 7.6 วงจรย่อยเฉพาะ

## *การคำนวณโหลดวงจรย่อย*

วงจรย่อยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่

$\therefore L_{BC} = \sum L$

โดยที่

$L_{BC}$ = โหลดวงจรย่อย ( A , VA )

$\sum L$ = ผลรวมของโหลด ( A , VA )

**ตัวอย่างที่ 7.6** วงจรย่อยแสงสว่าง 230 V 1 เฟส จ่ายโหลดหลอด HID 250 W HPF 8 ชุด ให้หาโหลด

**วิธีทำ**

หลอด HID 250 W HPF โหลด 300 VA

$L_{BC} = L$

$= \sum 8 \times 300$

$= 2{,}400$ VA

**ตัวอย่างที่ 7.7** วงจรย่อยเฉพาะจ่ายโหลดให้เครื่อง Xerox ซึ่งมีป้ายบอกพิกัด ( Name Plate ) 230 V , 8.5 A

ให้หาโหลดวงจรย่อย

**วิธีทำ**

โหลดวงจรย่อยคิดเป็นกระแส = 8.5 A

โหลดวงจรย่อยคิดเป็นกำลังไฟฟ้า = 230 x 8.5

= 1,955 VA

## *ขนาดตัวนำวงจรย่อย*

ตัวนำของวงจรย่อย ต้องมีขนาด กระแสไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ และต้องไม่น้อยกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาดไม่เล็กกว่า 2.5 $mm^2$

$I_{BC} \geq L_{max} \geq I_{CB}$

โดยที่

$I_{BC}$ = พิกัดตัวนำวงจรย่อย ( A )

$L_{max}$ = โหลดสูงสุดของวงจรย่อย ( A )

$I_{CB}$ = พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ( A )

## การป้องกันกระแสเกิน

- วงจรย่อยต้องมีการป้องกันกระแสเกิน และขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องสอดคล้องกับโหลดสูงสุดที่คำนวณได้
- เครื่องป้องกันกระแสเกินที่นิยมใช้ขณะนี้ คือ
  - เซอร์กิตเบรกเกอร์ ( Circuit Breaker , CB ) ซึ่งต้องได้ตามมาตรฐาน IEC 60898 หรือ IEC 60947-2
  - CB ตาม IEC 60898 เหมาะสำหรับใช้กับบ้านอยู่อาศัย และ CB ตาม 60947-2 เหมาะสำหรับใช้ในอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรม

ขนาดพิกัดของ CB ที่นิยมใช้คือ 10 A, 16 A, 20 A , 25 A , 32 A , 40 A , 50 A และ 63 A

## ขนาดพิกัดวงจรย่อย

ขนาดพิกัดวงจรย่อยให้เรียกตามขนาดพิกัด ของเครื่องป้องกันกระแสเกิน เช่น ถ้าวงจรย่อยมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 20 A ก็เรียกว่า BC 20 A เป็นต้น

วงจรย่อยขนาดมาตรฐานที่นิยมใช้ คือ BC 10 A, BC 16 A, BC 20 A , BC 25 A , BC 32 A , BC 40 A, BC 50 A และ BC 63 A

ตัวอย่างที่ 7.8 วงจรย่อยแสงสว่าง 230 V , 1 เฟส จ่ายไฟให้ดวงโคม 12 ชุด ดวงโคมแต่ละชุดมีโหลด 200 VA

ให้คำนวณหา

1) โหลดของวงจรย่อย
2) ขนาด CB , ขนาด BC
3) ขนาดสายตัวนำ

วิธีทำ

1) โหลดคิดเป็นกำลังไฟฟ้า = 12 x 200

= 2,400 VA

$I_L = \frac{2400}{230}$

= 10.4 A

ตัวอย่างที่ 7.8 (ต่อ)

2) CB ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าโหลด

∴ ใช้ CB 16 A

∴ ใช้ BC 16 A

3) ขนาดตัวนำสายไฟฟ้าตารางที่ 4 ( THW ) ในท่อร้อยสายโลหะ

2 x 2.5 $mm^2$ ( 18 A )

ในการออกแบบวงจรย่อยที่ดี ( Good Design ) นั้นจะต้องไม่ใช้เต็มพิกัดวงจรย่อย โดยจะต้องเผื่อสำหรับ

- โหลดที่ใช้ต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ
- การขยายโหลดในอนาคต

โดยทั่วไปจะใช้เพียง 60 – 80% ของพิกัดวงจรย่อย

## ตารางที่ 7.12 ขนาดตัวนำและเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย

| เครื่องป้องกันกระแสเกิน ( A ) | ขนาดสายตัวนำเดินในท่อโลหะ ( $mm^2$ ) ( พิกัดตัวนำ ) |
|---|---|
| 15 | 2.5 ( 18 A ) |
| 20 | 4 ( 24 A ) |
| 25 | 6 ( 31 A ) |
| 30 | 6 ( 31 A ) |
| 40 | 10 ( 43 A ) |
| 50 | 16 ( 56 A ) |

**ตัวอย่างที่ 7.9** วงจรย่อยแสงสว่าง 230 V , 1 เฟส 20 A ถ้าต้องใช้ไม่เกิน 70% ของ BC กับดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ 2 x 36 W LPF จะใช้ดวงโคมได้กี่จุดต่อวงจรย่อย

**วิธีทำ**

โหลดดวงโคม FL 2 x 36 W LPF = 2 x 100 = 200 VA

70 % BC 20 A = 230 x 20 x 0.7 = 3,220 VA

$\therefore$ ใช้ดวงโคมได้ = $\frac{3220}{200}$

= 16.1

= 16 ชุด

## *แรงดันตกของวงจรย่อย*

แรงดันตกในวงจรย่อยจะต้องรักษาไว้ให้น้อยที่สุด เท่าที่จะทำได้ เพื่อให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าสามารถทำงานได้ อย่าง มีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปจะต้องออกแบบให้ แรงดันตกในวงจรย่อยไม่เกิน 1 - 2% ของแรงดันพิกัด

ค่าแรงดันตกสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$VD = 2 I \ell ( R \cos \Phi + X \sin \Phi )$$

**ตัวอย่างที่ 7.10** วงจรเฉพาะจ่ายไฟให้โหลดขนาด 220 V , 10 A , P.F. 100%

ถ้าต้องการให้แรงดันตกไม่เกิน 2% จะต้องใช้วงจรย่อยขนาดเท่าใด และจะสามารถติดตั้งแผงจ่ายไฟได้ไกลที่สุดจากโหลดเท่าไร

**วิธีทำ**

วงจรย่อย 15 A สายวงจรย่อย 2 x 2.5 $mm^2$

P.F โหลด 100% $\cos \Phi = 1.00$ , $\sin \Phi = 0$

$VD = 2 I \ell R$

สาย 2.5 $mm^2$ R = 8.87 โอห์ม/กิโลเมตร

ตัวอย่างที่ 7.10 (ต่อ)

$$\therefore \quad \ell = \frac{VD}{2 \times I \times R}$$

$$= \frac{220 \times 0.02 \times 1000}{2 \times 10 \times 8.87}$$

$$= 24.8 \text{ m.}$$

ถ้าใช้สายวงจรย่อย 2 x 4 $mm^2$

สาย 4 $mm^2$ R = 5.52 โอห์ม/กิโลเมตร

$$\ell = \frac{220 \times 0.02 \times 1000}{2 \times 10 \times 5.52}$$

$$= 40 \text{ m.}$$

$\therefore$ ต้องใช้วงจรย่อย 15A ขนาดสาย 2 x 4 $mm^2$ จะเห็นว่าเมื่อใช้สายวงจรย่อยขนาดใหญ่ขึ้น จะสามารถติดตั้งแผงย่อยไกลจากโหลดได้ยิ่งขึ้น โดยที่แรงดันตกยังมีค่าเท่าเดิม

ตัวอย่างที่ 7.11 วงจรย่อย 15 A , 220 V จ่ายไฟให้ดวงโคม FL 2 x36 W 10 ชุด ต้องการแรงดันตกไม่เกิน 2% ดวงโคมชุดสุดท้ายจะต้องห่างจากแผงจ่ายเท่าใด

วิธีทำ

FL 2 x 36 W LPF ( PF 50% )

โหลด = 200 x 10 = 2000 VA

P.F. 50% Cos $\Phi$ = 0.50 , Sin $\Phi$ = 0.87

สาย 2.5 $mm^2$ R = 8.87 โอห์ม/กิโลเมตร

X = 0.12 โอห์ม/กิโลเมตร

ตัวอย่างที่ 7.11 (ต่อ)

$$I = \frac{2000}{220} = 9.1 \text{ A}$$

$$VD = 2 I \ell ( R \cos \Phi + X \sin \Phi )$$

$$2\% = 220 \times 0.02 = 4.4$$

$$\ell = \frac{4400}{2 \times 9.1 (8.87 \times 0.5 + 0.12 \times 0.87)}$$

$$= 53 \text{ m}$$

FL 2 x 36 W HPF ( PF 90% )

โหลด = 120 x 10 = 1200 VA

P.F. 90% Cos $\Phi$ = 0.90 , Sin $\Phi$ = 0.44

$$I = \frac{1200}{220} = 5.45 \text{ A}$$

$$\ell = \frac{4400}{2 \times 5.45 (8.87 \times 0.9 + 0.12 \times 0.44)}$$

$$= 50 \text{ m}$$

## การออกแบบวงจรย่อยแสงสว่าง

เนื่องจากโหลดไฟฟ้าแสงสว่างถือว่าเป็นโหลดไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ดังนั้นต้องใช้งานไม่เกิน 80% ของวงจรย่อย (BC ) สำหรับการออกแบบที่ดีควรใช้งานประมาณ 50 - 70% ของวงจรย่อย ซึ่งเป็นการเผื่อโหลดไว้ประมาณ 10 - 30%

**ตัวอย่างที่ 7.12** การออกแบบวงจรย่อยแสงสว่างซึ่งใช้ดวงโคมหลอด FL 2 x 36 W

**วิธีทำ**

โหลดของไฟฟ้าแสงสว่างโดยทั่วไปถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง

โหลด FL 2 x 36 W , LPF = 2 x 10 = 200 VA

HPF = 2 x 60 = 120 VA

**ตัวอย่างที่ 7.12 (ต่อ)**

**วงจรย่อย 15 A**

ถ้าเลือกใช้งาน 60% ของวงจรย่อย ซึ่งเป็นการเผื่อโหลดเพิ่มเติมสำหรับอนาคตอีก 20%

$\therefore$ I = 15 x 0.6 = 9 A

หรือ VA = 220 x 9 = 1980 VA

$\therefore$ จำนวนชุดดวงโคมแบบ LPF ต่อวงจรย่อย $= \frac{1980}{120}$

$= 9.9$ = 10 ชุด

$\therefore$ จำนวนชุดดวงโคมแบบ HPF ต่อวงจรย่อย $= \frac{1980}{200}$

$= 16.5$ =16 ชุด

**ตัวอย่างที่ 7.12 (ต่อ)**

**วงจรย่อย 20A**

ถ้าเลือกใช้งาน 60% ของวงจรย่อย

$\therefore$ I = 20 x 0.6 = 12 A

หรือ VA = 220 x 12 = 2640 VA

$\therefore$ จำนวนชุดดวงโคมแบบ LPF ต่อวงจรย่อย $= \frac{2640}{200}$

$= 13.2$

= 13 ชุด

$\therefore$ จำนวนชุดดวงโคมแบบ HPF ต่อวงจรย่อย $= \frac{2640}{120}$

= 22 ชุด

อาจสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ 7.13

**ตารางที่ 7.13 ดวงโคม FL 2 x 36 W ใช้งาน 60 % ของวงจรย่อย**

| วงจรย่อย | จำนวนชุดดวงโคม | |
|---|---|---|
| | LPF | HPF |
| 15 A | 10 | 16 |
| 20 A | 13 | 22 |

**การออกแบบที่ดีควรใช้ไม่เกิน 10 ชุด ดวงโคมต่อวงจรย่อย**

**ตัวอย่างที่ 7.13** การออกแบบวงจรย่อยแสงสว่างซึ่งใช้ดวงโคม หลอด HID 400 W

**วิธีทำ**

โหลดไฟฟ้าแสงสว่างโดยทั่วไปถือว่าเป็นแบบต่อเนื่อง

โหลด HID 400W , LPF = 750 VA

HPF = 500 VA

โดยทั่วไปแล้วหลอด HID เป็นโหลดขนาดใหญ่จึงใช้วงจรย่อย 20 A ขึ้นไป

**ตัวอย่างที่ 7.13 (ต่อ)**

**วงจรย่อย 20A**

เลือกใช้งาน 70% ของวงจรย่อย เนื่องจากโหลด HID เป็นโหลดขนาดใหญ่ โอกาสที่จะเพิ่มโหลดในอนาคตน้อยกว่าโหลด FL

$\therefore$ I = 20 x 0.7 = 14 A

หรือ VA = 220 x 14 = 3,080 VA

**ตัวอย่างที่ 7.13 (ต่อ)**

$\therefore$ จำนวนชุดดวงโคม LPF ต่อวงจรย่อย $= \frac{3080}{750}$

$= 4.1 = 4$ ชุด

จำนวนชุดดวงโคม HPF ต่อวงจรย่อย $= \frac{3080}{500}$

$= 6.2 = 6$ ชุด

ในทำนองเดียวกัน หลอด HID ขนาดอื่นๆ ก็สามารถคำนวณได้ดังแสดงค่าในตารางที่ 7.14

**ตารางที่ 7.14 ดวงโคม HID ใช้งาน 70% ของวงจรย่อย**

| วงจรย่อย | จำนวนชุดดวงโคม | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250W. | | 400W. | | 700W. | | 1000W. | |
| | LPF | HPF | LPF | HPF | LPF | HPF | LPF | HPF |
| 20 A | 6 | 10 | 4 | 6 | 2 | 3 | - | - |
| 30 A | - | - | 6 | 9 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| 40 A | - | - | 8 | 12 | 5 | 7 | 3 | 5 |

หมายเหตุ - เลือกใช้งาน 70% ของวงจรย่อย

- ในการคำนวณ จำนวนชุดดวงโคม

ถ้าจุดทศนิยมเกิน 0.8 ให้ปัดขึ้น

ถ้าจุดทศนิยมน้อยกว่า 0.8 ให้ปัดลง

## *การออกแบบวงจรย่อยเต้ารับ*

โหลดเต้ารับทั่วไปที่ไม่ทราบแน่นอนให้คิดเป็น 180 VA ทั้งแบบ **Single , Duplex** และ **Triplex** แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณอาจใช้ **200 VA** ก็ได้

เต้ารับที่ใช้จะต้องเป็นแบบที่มีขั้วสายดิน และต้องต่อลงดิน

**ตัวอย่างที่ 7.14** การออกแบบวงจรย่อยเต้ารับ 15 A และ 20 A

**วิธีทำ**

**วงจรย่อย 15 A**

โหลดเต้ารับคิดโหลดเป็น 200 VA

ถ้าใช้ 60% ของวงจรย่อย

$I = 0.6 \times 15 = 9\ A$

$VA = 9 \times 220 = 1{,}980\ VA$

จำนวนเต้ารับต่อวงจรย่อย $= \frac{1980}{200}$

$= 10$ ชุด

**ตัวอย่างที่ 7.14(ต่อ)**

**วงจรย่อย 20 A**

โหลดเต้ารับคิดโหลดเป็น 200 VA

ถ้าใช้ 60% ของ BC

$I = 0.6 \times 20 = 12\ A$

$VA = 12 \times 220 = 2640\ VA$

จำนวนเต้ารับต่อวงจรย่อย $= \frac{2640}{200}$

$= 13$ ชุด

ในการออกแบบที่ดีควรใช้ไม่เกิน 10 เต้ารับ/วงจรย่อย แต่เนื่องจากโหลดเต้ารับไม่แน่นอนเพื่อเป็นการเผื่อโหลด ไว้ควรใช้ CB ขนาด 20 A

## *การออกแบบวงจรย่อยเฉพาะ*

ในการออกแบบวงจรย่อยเฉพาะ ควรใช้โหลดไม่เกิน 80%

**ตัวอย่างที่ 7.15** จงหาขนาดวงจรย่อย และ ขนาดสายไฟของหม้อต้มน้ำไฟฟ้า ขนาด 3000 W 220 V

**วิธีทำ**

หม้อต้มน้ำไฟฟ้าถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่อง

$I_L = \frac{3000}{220} = 13.6\ A$

พิกัดกระแสของสายไฟ

$I_{BC}$ $1.25 \times 13.6 = 17\ A$

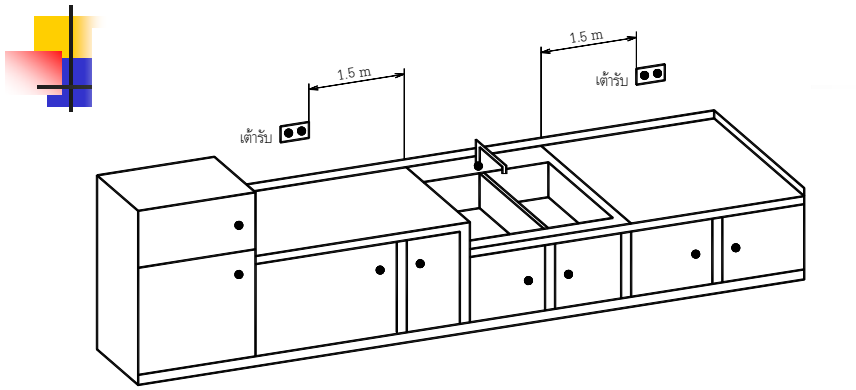
ขนาดสายไฟ $2 \times 4\ mm^2$

บริภัณฑ์ป้องกัน CB $\geq$ $= 20\ AT$

## การป้องกันไฟฟ้าดูดโดยใช้เครื่องตัดไฟรั่วในที่อยู่อาศัย

1. ต้องมีการป้องกันวงจรไฟฟ้าหรือเต้ารับโดยใช้เครื่องตัดไฟรั่วในบริเวณดังต่อไปนี้
   - บริเวณห้องน้ำ
   - บริเวณห้องใต้ดิน
   - บริเวณห้องครัว
   - บริเวณเคาน์เตอร์ใกล้อ่าง ห่างไม่เกิน 1.5 m
   - บริเวณภายนอกอาคาร

2. เครื่องใช้ไฟฟ้าดังต่อไปนี้ต้องติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่ว
   - เครื่องทำน้ำอุ่น
   - เครื่องทำน้ำร้อน
   - อ่างน้ำวน

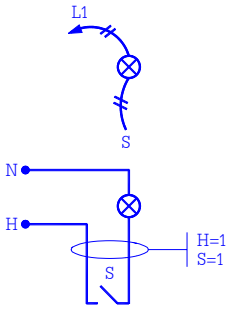



รูปที่ 7.7 บริเวณที่ต้องติดตั้งที่ป้องกันไฟรั่วของเต้ารับที่อยู่ใกล้อ่างล้างจานไม่เกิน 1.5 m

## การเขียนแบบวงจรย่อย

วงจรย่อยที่ได้รับการออกแบบแล้ว สามารถเขียนแบบแสดงการต่อวงจรได้ ดังนี้

1. สวิตช์ 1 ตัว ดวงโคม 1 ชุด



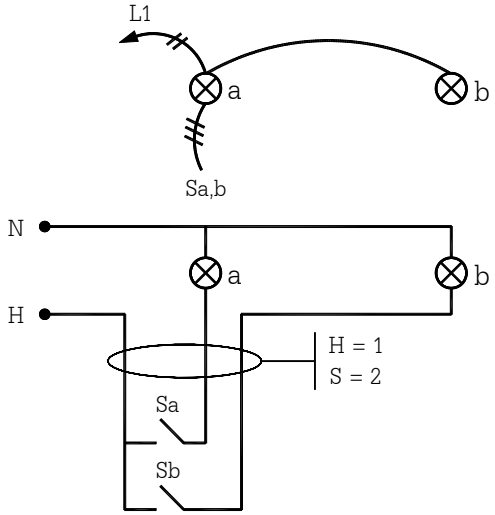

รูปที่ 7.8

สาย H คือ สายที่มีไฟ ( Hot )

สาย N คือ สายนิวทรัล ( Neutral )

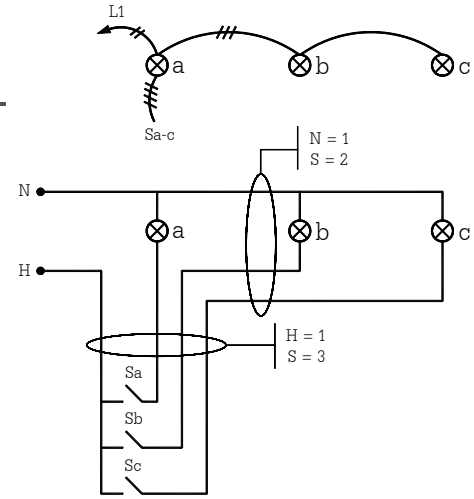
สำหรับจำนวนสายไฟฟ้า 2 เส้นที่เขียนนั้น ถ้าไม่ได้แสดงจำนวนเส้นแสดงว่าเป็นสาย 2 เส้น

**2. สวิตช์ 2 ตัว ดวงโคม 2 ชุด**



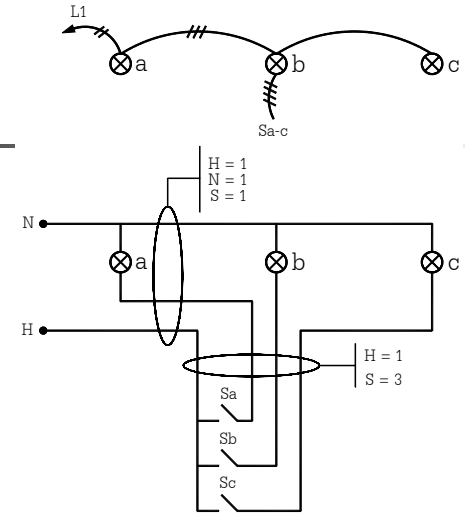

**รูปที่ 7.9**

**3. สวิตช์ 3 ตัว ดวงโคม 3 ชุด**



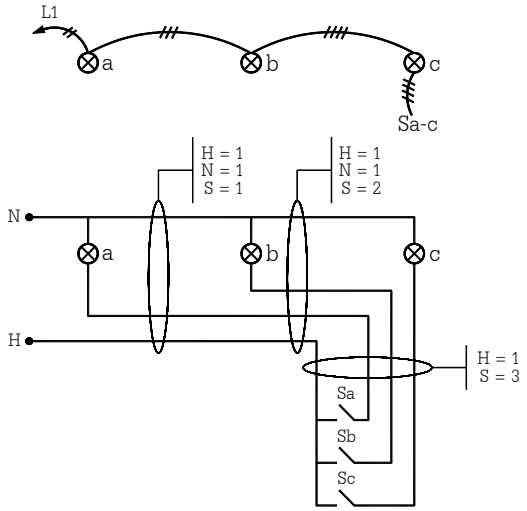

**รูปที่ 7.10**



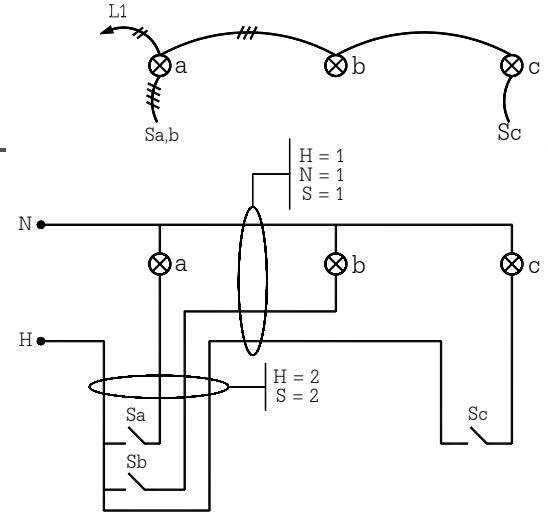



**รูปที่ 7.11**





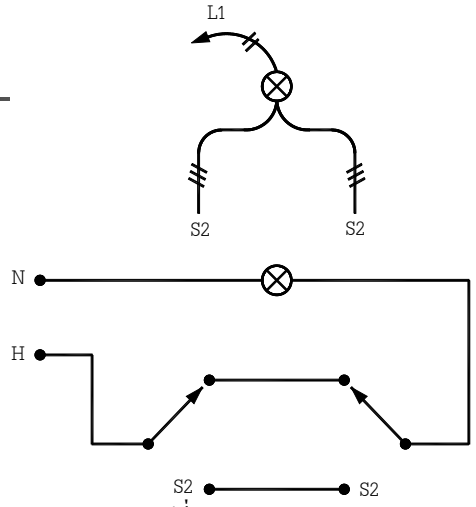

**รูปที่ 7.12**




รูปที่ 7.13



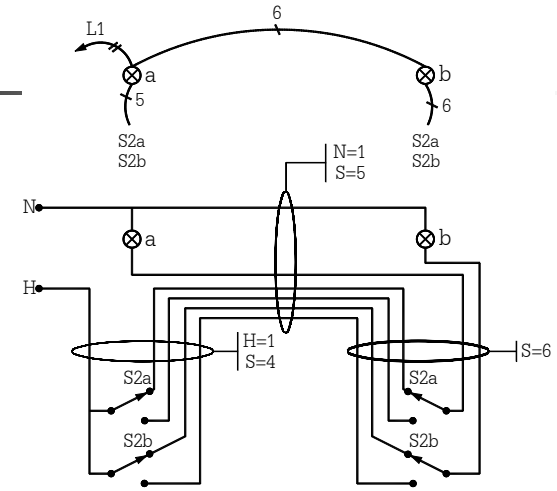
## 4. สวิตช์ 2 ทาง ดวงโคม 1 ชุด




รูปที่ 7.14



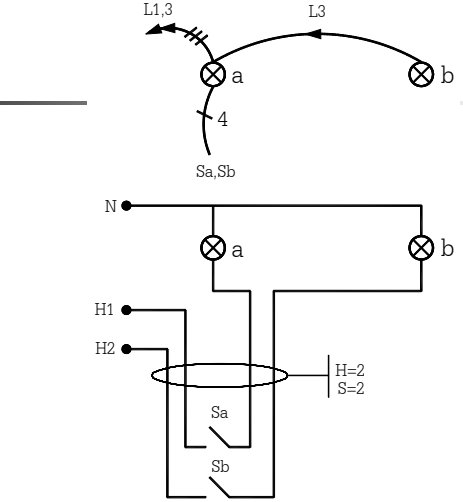
## 5. สวิตช์ 2 ทาง ดวงโคม 2 ชุด




รูปที่ 7.15

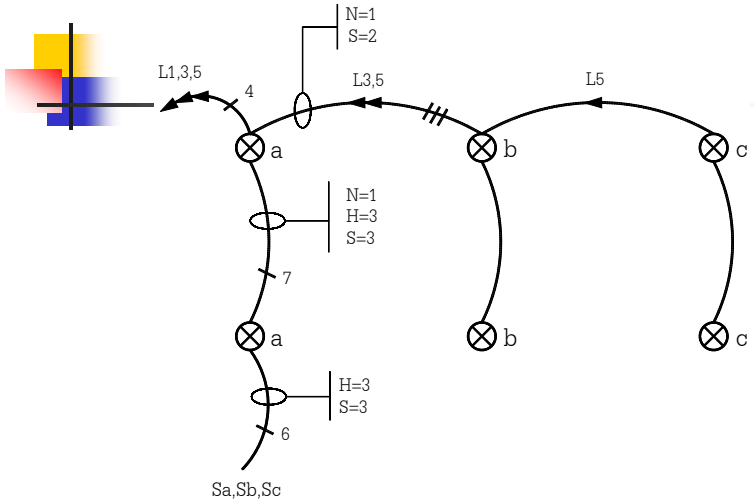


## 6. สวิตช์ 2 ตัว ดวงโคม 2 ชุดๆ ละ 1 เฟส



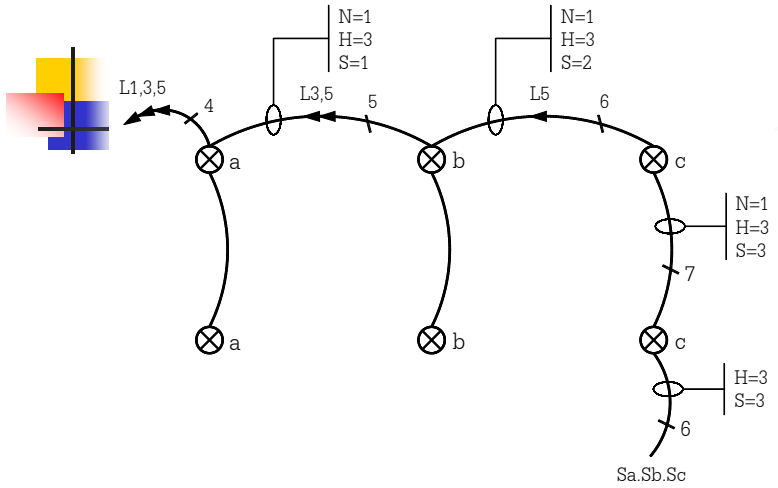

รูปที่ 7.16

## 7. สวิตช์ 3 ตัว ดวงโคม 3 ชุดๆ ละ 1 เฟส




**รูปที่ 7.17**

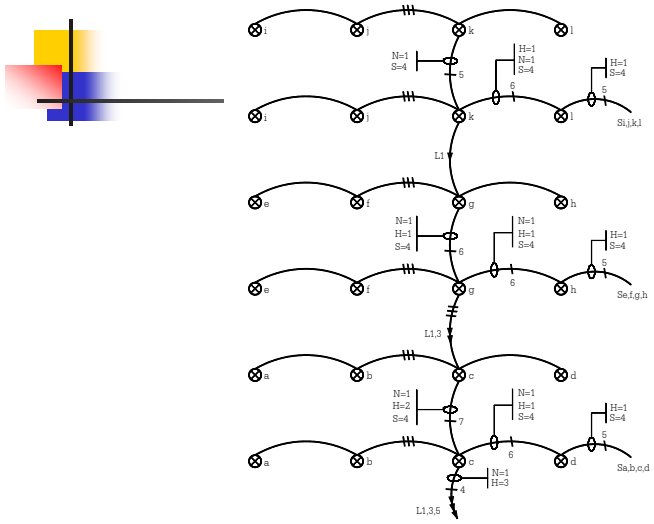





**รูปที่ 7.18**



## 8. สวิตช์หลายตัว ดวงโคมหลายชุด 3 เฟส



**รูปที่ 7.19**



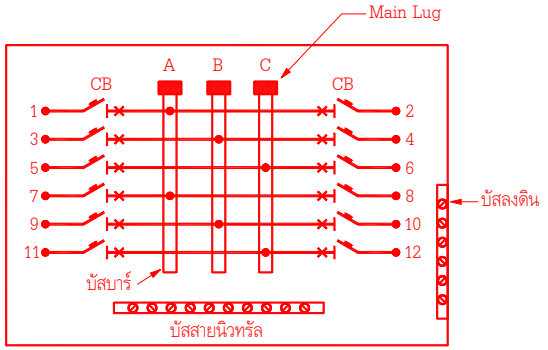
# BREAK

## แผงย่อยกับวงจรย่อย ( Panelboard )

- เป็นจุดเริ่มต้นของวงจรย่อย โดยจะมีบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกินติดตั้งอยู่ภายในบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกินที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในแผงย่อย คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ( CB )
- การเลือกใช้แผงย่อยต้องพิจารณาจากจำนวนวงจรที่ต้องการใช้ โดยในกรณีไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย จะมีจำนวนวงจรเป็นมาตรฐานคือ 12 , 18 , 24 , 30 , 36 และ 42 วงจร จากนั้นจึงเลือกบัสบาร์
- ต้องเลือกขนาดบัสบาร์ให้มีพิกัดเพียงพอกับความต้องการไฟฟ้า ของวงจรย่อยทุกวงจรรวมกัน
- พิกัดของบัสบาร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในแผงย่อยต้องมีค่าไม่น้อยไปกว่า ขนาดพิกัดของสายป้อน ที่จะจ่ายไฟมายังแผงย่อยนั้น โดยทั่วไป บัสบาร์จะมีขนาดพิกัด 100 A และ 200 A

## การให้ชื่อของวงจรย่อยจะเรียงตาม

- ลำดับเฟส
- เลขลำดับวงจรจากซ้ายไปขวา
- จากบนลงล่าง ดังแสดงในรูป 7.20




รูปที่ 7.20 แผงย่อยขนาด12 วงจร

## หลักทั่วไปในการเลือกใช้ และออกแบบแผงย่อยมีดังนี้

1. แผงย่อยหนึ่ง ๆ จะมีวงจรย่อยได้ไม่เกิน 42 วงจร
2. ระยะทางของวงจรย่อยจากแผงย่อย ไปจนถึงจุดจ่ายไฟจุดสุดท้าย ควรยาวไม่เกิน 50 m
3. แผงย่อยจะต้องติดตั้งในบริเวณที่สามารถเข้าถึงได้โดยง่าย โดยติดตั้งสูงไม่เกิน 1.8 m และไม่มีอะไรมาขวาง สามารถเข้าไปทำงานได้ง่าย
4. แผงย่อย ควรจะติดตั้งในบริเวณศูนย์กลางของการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้า ไปยังจุดต่างๆ โดยมีแรงดันตกน้อยที่สุด
5. แผงย่อย ควรจะติดตั้งให้อยู่ในแนวของสายป้อน เพื่อให้สายป้อนมีระยะสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และให้มีการโค้งงอน้อยที่สุด
6. ค่าพิกัดของแผงย่อย จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าพิกัดของสายป้อน
7. ในแต่ละชั้นของอาคารควรจะมีแผงย่อย อย่างน้อย 1 แผง
8. แผงย่อย จะต้องมีบริภัณฑ์ป้องกันหลัก ( Main Protection )

## จำนวนวงจรย่อยที่ใช้ในแผงย่อย

จำนวนวงจรย่อยที่มีในแผงย่อย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผงย่อยสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 400/230V หรือ 380/220V นั้น โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตจะทำให้มีจำนวนวงจรย่อยเป็นมาตรฐาน คือ 12 , 18 , 24 , 30 , 36 และ 42 วงจร

## *วงจรย่อยที่ใช้ในแผงย่อย แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ*

1. วงจรย่อยใช้งาน ( Active Branch Circuit ) คือ วงจรย่อยที่จ่ายโหลดจริงๆ จึงมีทั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสายวงจรย่อย
2. วงจรย่อยสำรอง ( Spare Branch Circuit ) คือ วงจรย่อยที่คาดว่าจะใช้ในอนาคตจะมีเฉพาะ เซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่ไม่มีสายวงจรย่อย
3. วงจรย่อยว่าง ( Space Branch Circuit ) คือ ช่องว่างที่จะใส่เซอร์กิตเบรกเกอร์ในอนาคต

ในการออกแบบนั้น ควรใช้วงจรย่อยปริมาณหนึ่งเป็นวงจรใช้งาน ส่วนที่เหลือนั้นใช้เป็นวงจรย่อยสำรอง และ วงจรย่อยว่าง เพื่อเผื่อโหลดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยทั่วไปจะใช้วงจรย่อยดังต่อไปนี้

Active Branch Circuit 60-80% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

Spare Branch Circuit 10-20% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

Space Branch Circuit 10-20% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

ตัวอย่างที่ 7.16 แผงย่อย 30 วงจร ควรใช้เป็น Active , Spare และ Space อย่างละกี่วงจร

วิธีทำ

แผงย่อย 30 วงจร

กรณีที่ 1 ให้ใช้

| | | |
|---|---|---|
| Active Circuit | 60% | ของวงจรย่อยในแผงย่อย |
| Spare Circuit | 20% | ของวงจรย่อยในแผงย่อย |
| Space Circuit | 20% | ของวงจรย่อยในแผงย่อย |

จะได้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Active Circuit | 0.6 x 30 | = | 18 | วงจร |
| Spare Circuit | 0.2 x 30 | = | 6 | วงจร |
| Space Circuit | 0.2 x 30 | = | 6 | วงจร |
| รวม | | | 30 | วงจร |

กรณีที่ 2 ให้ใช้

Active Circuit 70% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

Spare Circuit 15% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

Space Circuit 15% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

จะได้

Active Circuit 0.7 x 30 = 21 วงจร

Spare Circuit 0.15 x 30 = 5 วงจร

Space Circuit = 4 วงจร

รวม 30 วงจร

กรณีที่ 3 ให้ใช้

Active Circuit 80% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

Spare Circuit 10% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

Space Circuit 10% ของวงจรย่อยในแผงย่อย

จะได้

Active Circuit 0.8 x 30 = 24 วงจร

Spare Circuit 0.1 x 30 = 3 วงจร

Space Circuit 0.1 x 30 = 3 วงจร

รวม 30 วงจร

ตารางที่ 7.15 จำนวนวงจรย่อยที่ใช้ในแผงย่อย

| แผงย่อย | 60% | | | 70% | | | 80% | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ( วงจร ) | Active | Spare | Space | Active | Spare | Space | Active | Spare | Space |
| 12 | 7 | 3 | 2 | 8 | 2 | 2 | 9 | 2 | 1 |
| 18 | 10 | 4 | 4 | 12 | 3 | 3 | 14 | 2 | 2 |
| 24 | 14 | 5 | 5 | 16 | 4 | 4 | 19 | 3 | 2 |
| 30 | 18 | 6 | 6 | 21 | 5 | 4 | 24 | 3 | 3 |
| 36 | 21 | 8 | 7 | 25 | 6 | 5 | 28 | 4 | 4 |
| 42 | 25 | 9 | 8 | 29 | 7 | 6 | 33 | 5 | 4 |

ตารางที่ 7.16 สรุปจำนวนวงจรย่อยที่แนะนำให้ใช้ในแผงย่อย

| แผงย่อย ( วงจร ) | Active | Spare | Space |
|---|---|---|---|
| 12 | 7-9 | 2-3 | 1-2 |
| 18 | 10-14 | 2-4 | 2-4 |
| 24 | 14-19 | 3-5 | 2-5 |
| 30 | 18-24 | 3-6 | 3-6 |
| 36 | 21-28 | 4-8 | 4-7 |
| 42 | 25-33 | 5-9 | 4-8 |

## ข้อแนะนำในการออกแบบวงจรย่อย

คำแนะนำต่อไปนี้สามารถใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการออกแบบวงจรย่อย แม้ว่าในบางกรณีอาจจะต้องดัดแปลงแก้ไขบ้าง ตามความเหมาะสม หลักในการออกแบบวงจรย่อย มีดังนี้

1. การจัดวงจรย่อย เพื่อจ่ายโหลดชนิดต่างๆ นั้น ควรให้วงจรย่อยจ่ายโหลดประเภทต่างๆ แยกกัน เช่น วงจรย่อยจ่ายโหลดแสงสว่าง , วงจรย่อยบริภัณฑ์ไฟฟ้าอยู่กับที่ และวงจรย่อยเต้ารับ โดยวงจรย่อยบริภัณฑ์ไฟฟ้าอยู่กับที่ ควรจัดเป็นวงจรย่อยเฉพาะ

2. การออกแบบที่ดีนั้น ควรจะมีการเผื่อโหลดในอนาคต ดังนั้น สำหรับวงจรย่อยแสงสว่าง และวงจรย่อยเต้ารับทั่วไป เพื่อเป็นการเผื่อโหลด ควรจะให้โหลดวงจรย่อยไม่เกิน 60% ในกรณีโหลดต่อเนื่อง ซึ่งจะมีการเผื่อโหลดไว้ 20% เช่น

ขนาดวงจรย่อย 20 A จ่ายโหลด 0.6 x 20 = 12 A

หรือ 12 x 220 = 2640 VA

แต่สำหรับวงจรย่อยเฉพาะอาจมีการเผื่อไว้น้อยกว่านี้ เนื่องจากการต่อโหลดเพิ่มสำหรับวงจรประเภทนี้มีน้อย

3. การพิจารณาโหลดเป็นชนิดต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่อง บางครั้งไม่สามารถทราบได้ ดังนั้นเมื่อไม่มีข้อมูลเพียงพอ การออกแบบที่ดีควรถือโหลดเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นการเผื่อโหลดในอนาคตด้วย

4. การไฟฟ้าฯ กำหนดให้สายไฟ 2.5 $mm^2$ เป็นขนาดเล็กที่สุด ซึ่งมีพิกัดกระแส 18 A ซึ่งจะใช้ได้กับวงจรย่อยขนาด 5 A , 10 A และ 15 A แต่เพื่อเป็นการจ่ายโหลดได้มากและคุ้มค่า ควรจะใช้วงจรย่อยขนาด 15 A

5. โหลดเต้ารับทั่วไปคิดเป็น 180 VA เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และเป็นการเผื่อโหลด อาจใช้เป็น 200 VA

6. ในวงจรย่อยหนึ่งๆ ควรมีจำนวนจุดต่อไฟที่พอเหมาะ เนื่องจากถ้าน้อยเกินไปจะเป็นการไม่ประหยัด แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้ความเชื่อถือได้ลดลง วงจรย่อยหนึ่งควรมีจุดต่อไฟประมาณ 10 จุด

7. การจ่ายไฟให้โหลดควรคำนึงถึงขนาดแรงดันตกที่โหลดด้วย ดังนั้นระยะห่างจากแผงย่อยถึงจุดต่อไฟจุดสุดท้าย ไม่ควรเกิน 50 m เพื่อแรงดันตกไม่เกิน 2% สำหรับระยะทางไกลกว่านี้ ควรพิจารณาเพิ่มขนาดสาย ไฟให้ใหญ่ขึ้น

## 7.6 สายป้อน

- หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสายประธานไปจนถึงบริภัณฑ์ป้องกันวงจรย่อย แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. สายป้อนแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า
2. สายป้อนมอเตอร์
3. สายป้อนผสม

ในบทนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะ สายป้อนแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า

### สายป้อนแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า

คือสายป้อนที่จ่ายโหลดให้วงจรย่อยแสงสว่าง , เต้ารับและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

### *การคำนวณโหลดสายป้อน*

สายป้อนต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับจ่ายโหลด และต้องไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดในวงจรย่อยเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์

$$LF = \left(\sum L_{BC}\right) \times D.F.$$

โดยที่

$LF$ = โหลดของสายป้อน ( A , VA , kVA )

$L_{BC}$ = ผลรวมของโหลดวงจรย่อย ( A , VA , kVA )

$\sum D.F.$ = ดีมานด์แฟกเตอร์ ( % )

**ตัวอย่างที่ 7.17** สายป้อนชุดหนึ่งจ่ายไฟให้แผงจ่ายไฟ ซึ่งมีวงจรอยู่ 12 วงจร โดยมีรายละเอียดดังนี้

วงจร 1 - 6 โหลดวงจรละ 2,000 VA

วงจร 1 – 12 โหลดวงจรละ 3,000 VA

ถ้าให้ D.F. รวมเป็น 80%

ให้หาโหลดของสายป้อน

**วิธีทำ**

$$LF = \left(\sum L_{BC}\right) \times D.F.$$

$$\sum L_{BC} = 2{,}000 \times 6 + 3{,}000 \times 6$$

$$= 30{,}000 \text{ VA}$$

$$\therefore LF = 30{,}000 \times 0.8$$

$$= 24{,}000 \text{ VA} = 24 \text{ kVA}$$

### *ขนาดตัวนำสายป้อน*

ตัวนำสายป้อนต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุด และไม่น้อยกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน ขนาดตัวนำสายป้อนต้องไม่เล็กกว่า 4 $mm^2$

$$I_F \geq I_{Lmax} \geq I_{CB}$$

โดยที่

$I_F$ = พิกัดกระแสตัวนำสายป้อน ( A )

$I_{Lmax}$ = โหลดสูงสุด ( A )

$I_{CB}$ = พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ( A )

## *การป้องกันกระแสเกิน*

สายป้อนต้องมีการป้องกันกระแสเกิน ขนาดพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องสอดคล้องกับโหลดสูงสุดที่คำนวณได้

**ตัวอย่างที่ 7.18** สายป้อนชุดหนึ่งใช้ไฟ 3 เฟส 4 สาย 400 V คำนวณโหลดสูงสุดได้ 120 kVA ให้หา

1) ตัวนำสายป้อนตามตารางที่ 4 เดินในท่อร้อยสายโลหะ

2) พิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกิน

**วิธีทำ**

$$I_F = \frac{120 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 173 \text{ A}$$

ขนาดสายตัวนำ ตารางที่ 4

เดินในท่อร้อยสายโลหะ 95 $mm^2$ ( 187 A )

ใช้ CB 175 A

**ตัวอย่างที่ 7.19** โหลด 1000 VA 3 เฟส 4 สาย 380/220 V และ 400/230 V จงหากระแสโหลดสายป้อนที่ต้อง ใช้โดยพิจารณาเป็นโหลดต่อเนื่อง

**วิธีทำ**

**กรณี 1** 380/220 V

กระแสโหลด $I_L = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 380} = 1.52$ A

สำหรับโหลด 1000 VA ( 1 kVA ) , 380 V นั้นคิดเป็นกระแสได้ 1.52 A

ถ้าเป็นโหลดต่อเนื่อง

พิกัดกระแสสายป้อน $I_F \geq 1.25 \times 1.52 = 1.90$ A

**ตัวอย่างที่ 7.19 (ต่อ)**

**กรณี 2** 400/230 V

กระแสโหลด $I_L = \geq = 1.44$ A

$\therefore$ สำหรับโหลด 1000VA ( 1 kVA ) 400 V นั้นคิดเป็นกระแสได้ 1.44 A

ถ้าเป็นโหลดต่อเนื่อง

พิกัดกระแสสายป้อน $I_F$ 1.25 x 1.44 = 1.80 A

**หมายเหตุ** ในการคำนวณต่อไป เพื่อความสะดวกรวดเร็ว

เราสามารถใช้ค่ากระแสโหลด 1.52 A ( 380/220 V )

และ 1.44 A ( 400/230 V ) สำหรับโหลดขนาด 1000 VA ( 1 kVA )

## สายนิวทรัล (Neutral)

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ซึ่งจ่ายให้กับโหลดชนิด 1 เฟส ขนาดสายนิวทรัลจะต้องมี ขนาดเพียงพอที่จะนำ กระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดได้ และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า การคำนวณหาขนาดสาย นิวทรัลสามารถทำได้ดังนี้

## ขนาดสายนิวทรัล

1. กรณีโหลดมีกระแสไม่เกิน 200 A

$I_N = I_P$ คือ ใช้ขนาดสายนิวทรัลเท่ากับสายเฟส ( Full Neutral )

2. กรณีโหลดมีกระแสเฟสมากกว่า 200 A

- โหลดชนิดไม่มีกระแส Harmonic

$$I_N = 200 + 0.7 ( I_P - 200 )$$

- กรณีโหลดชนิด Electric Discharge , Data Processing หรือ โหลดอื่นที่มีกระแส Harmonic ในสายนิวทรัล

$I_N = I_P$ คือ ใช้ขนาดสายนิวทรัลเท่ากับสายเฟส ( Full Neutral )

ตัวอย่าง 7.20 จงหาขนาดสายนิวทรัลของสายป้อนที่จ่ายไฟให้กับแผงย่อย โดยที่แผงย่อยมีโหลดเป็นหลอดไส้ ( Incandescent ) ขนาด 100 kVA 380/220 V

วิธีทำ

กระแสโหลด $I_L = 1.52 \times 100 = 152$ A

เนื่องจาก $I_L < 200$ A

จึงใช้ $I_N = 152$ A

คือสายนิวทรัลเท่ากับสายเฟส 4 x 95 $mm^2$

**ตัวอย่างที่ 7.21** จากตัวอย่าง 7.20 แต่โหลดมีขนาด 330 kVA , 380/220 V

**วิธีทำ**

กระแสโหลด $I_L = 1.52 \times 330 = 500$ A

เนื่องจาก $I_L > 200$ A

ดังนั้น $I_N \geq 200 + 0.7 ( 500 - 200 )$

$\geq 410$ A

ใช้สายเฟส $3 \times 500$ mm$^2$

สายนิวทรัล $1 \times 400$ mm$^2$

**ตัวอย่างที่ 7.22** จงหาขนาดสายนิวทรัลในระบบ 3 เฟส 4 สาย เมื่อจ่ายโหลดต่างๆ ดังนี้

1) หลอดไส้ 1 เฟส มีกระแสโหลด 1000 A
2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 เฟส มีกระแสโหลด 1000 A
3) หลอดไส้ 1 เฟส มีกระแสโหลด 500 A และ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 เฟส มีกระแสโหลด 500 A

**ตัวอย่างที่ 7.22 (ต่อ)**

**วิธีทำ**

กรณี 1 หลอดไส้ กระแสโหลด 1000 A

หลอดไส้เป็นโหลดชนิดไม่มี Harmonic โดยมีกระแสโหลดมากกว่า 200 A ดังนั้น

$$I_N \geq 200 + 0.7 (I_{LN} - 200 )$$

$$\geq 200 + 0.7 ( 1000 - 200 )$$

$$\geq 760 \text{ A}$$

$\therefore$ ใช้สายเฟสและนิวทรัลขนาด $3 \begin{pmatrix} 3\times240 \text{ mm}^2 \\ 1\times185 \text{ mm}^2 \end{pmatrix}$

**ตัวอย่างที่ 7.22 (ต่อ)**

กรณี 2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ กระแสโหลด 1000 A

หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดชนิด Electric Discharge ดังนั้น

$$I_N = I_{LN}$$

$$= 1000 \text{ A}$$

$\therefore$ ใช้สายเฟสและนิวทรัล ขนาด $3 ( 4 \times 240 \text{ mm}^2 )$

**ตัวอย่างที่ 7.22 (ต่อ)**

กรณี 3 หลอดไส้ และ หลอดฟลูออเรสเซนต์

การหาขนาดสายนิวทรัลจะต้องคิดรวมจากหลอดไส้ และ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้น

$$I_N \geq 200 + 0.7\,(500 - 200) + 500$$

$$\geq 910\ A$$

$\therefore$ ใช้สายเฟสและนิวทรัล ขนาด $3(4 \times 240\ mm^2)$

## *แรงดันตก*

แรงดันตกสำหรับสายป้อนนั้น ไม่ควรเกิน 2% โดยค่าแรงดันตกนี้อาจหาได้จากตารางหรือคำนวณตามสูตรค่าแรงดันตกสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายต่อไปนี้

$$VD = \sqrt{3} I \ell (R \cos\Phi + X \sin\Phi)$$

**ตัวอย่างที่ 7.23** ตู้ MDB ใช้ไฟ 380 V 3 เฟส ห่างจากตู้ ป้อนไฟย่อย ( DB ) 120 m และจ่ายโหลดให้ตู้ DB ที่ค่าโหลด 170 A ค่า PF = 0.8 lagging จะต้องเลือกใช้สายขนาดเท่าใด เมื่อต้องการแรงดันตกไม่เกิน 2%

**วิธีทำ**

ตู้ DB ( PF =0.8 lagging )

ต้องการแรงดันตกไม่เกิน 2%

2% ของ 380 V = 380 x 2% = 7.6 V

P.F. = 0.8 lagging $\cos\Phi = 0.8$ , $\sin\Phi = 0.6$

$VD = \sqrt{3} I \ell (R \cos\Phi + X \sin\Phi)$

ตู้ DB จ่ายโหลด 170 A

**ตัวอย่างที่ 7.23 (ต่อ)**

ถ้าเลือกสาย 95 $mm^2$ ( 187 A )

R = 0.2309 โอห์ม/กิโลเมตร X = 0.1128 โอห์ม/กิโลเมตร

$VD = \sqrt{3} \times 170 \times 0.12\,(0.2309 \times 0.8 + 0.1128 \times 0.6)$

= 8.92 V

ซึ่งมีค่าแรงดันตกมากกว่า 7.6 V ( 2% )

เลือกใช้สายขนาดถัดไป สาย 120 $mm^2$ ( 214 A )

R = 0.1840 โอห์ม/กิโลเมตร X = 0.1099 โอห์ม/กิโลเมตร

$VD = \sqrt{3} \times 170 \times 0.12\,(0.1840 \times 0.8 + 0.1099 \times 0.6)$

= 7.53 V

ดังนั้น ต้องเลือกใช้สาย 3 x 120 $mm^2$

# 7.7 การจัดทำรายการโหลด (Load Schedule)

ในการจัดทำรายการโหลด ( **Load Schedule** ) ของระบบไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไปแล้วนั้นสามารถแบ่งออกได้

- เป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย 220 V
- ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380/220 V

เนื่องจากในการจัดทำรายการโหลดนั้นส่วนใหญ่จะเป็นแบบระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ดังนั้นในที่นี้จึงจะขอกล่าวเฉพาะ วิธีการจัดทำรายการโหลดของ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ซึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการคำนวณหาโหลดของวงจรย่อยต่าง ๆ โดยเริ่มจากวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง, วงจรย่อยเต้ารับ , วงจรย่อยโหลดเฉพาะ , วงจรย่อยเครื่องปรับอากาศ , และวงจรย่อยมอเตอร์
2. ทำการจัดวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง โดยให้ใช้หมายเลขวงจรย่อยตามลำดับ คือ 1 ( A ) , 3 ( B ) , 5 ( C ) ตามด้วย 2 ( A ) , 4 ( B ), 6 ( C ) และ 7 ( A ), 9 ( B ), 11 ( C ) และต่อไปเรื่อย ๆ ทำจนครบวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง การที่ให้หมายเลขวงจรย่อยเป็นไปตามลำดับข้างต้นก็เพื่อที่จะเป็นการทำโหลดไฟฟ้าแสงสว่างเกิดความสมดุลระหว่างเฟส

3. ทำการจัดวงจรย่อยเต้ารับโดยให้หมายเลขวงจรย่อยต่อ จากหมายเลขวงจรย่อยไฟฟ้า แสงสว่าง และพยายามจัด ให้เกิดความสมดุลกันเองเท่าที่จะทำได้
4. ทำการจัดวงจรย่อยของโหลดเฉพาะ ถ้ามีโหลดเฉพาะหลายชุดก็ให้พยายามจัดโหลดให้เกิด ความสมดุลกัน
5. ทำการจัดวงจรย่อยของเครื่องปรับอากาศให้เกิดความสมดุล
6. ทำการจัดวงจรย่อยของมอเตอร์ ได้แก่ วงจรบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับ ได้แก่ ปั๊ม เป็นต้น

7. หลังจากที่ได้ทำการจัดวงจรย่อยของโหลดต่างๆ จนครบแล้ว ก็จะต้องจัดให้มีวงจรย่อยสำรอง ( **Spare Branch Circuit** ) และ วงจรย่อยว่าง ( **Space Branch Circuit** ) โดยวงจรย่อยสำรองเป็นวงจรย่อยที่มี CB ติดตั้งอยู่ แต่จะไม่มีการจ่ายโหลด จึงไม่ต้องติดตั้งสายไฟฟ้า ส่วนวงจรย่อยว่างจะไม่มี CB ติดตั้งอยู่ มีแต่ช่องว่างเท่านั้น โดยในการออกแบบควรให้มีวงจรย่อยสำรองและวงจรย่อยว่าง ประมาณ 20-30% ของวงจรทั้งหมด ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงขนาดของแผงย่อยด้วย ซึ่งแผงย่อยจะมีจำนวนวงจรมาตรฐานเป็น 12 , 18 , 24 , 30 , 36 และ 42 วงจร

8. ทำการรวมโหลดของแต่ละเฟสแล้วตรวจดูว่าโหลดของแต่ละ เฟสสมดุลหรือไม่ โดยการสมดุลที่ดีคือมีความแตกต่างกันไม่เกิน 20% ถ้าโหลดยังไม่สมดุลให้ทำการจัดสลับหมายเลขวงจรเพื่อให้ โหลดแต่ละเฟสมีความสมดุลกันดีขึ้นจากนั้นก็รวมโหลดแต่ละเฟส เข้าด้วยกันได้เป็นโหลดติดตั้งทั้งหมด ( Total Connected Load )

9. จากโหลดติดตั้งทั้งหมดที่ได้ สามารถนำไปคำนวณหาขนาดของสายป้อน และขนาดของ CB ที่ป้องกันสายป้อนนั้นต่อไป

## การคำนวณขนาดสายป้อนและบริภัณฑ์ป้องกัน

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380/220 V

สมมุติให้ Total Connected Load = L kVA

$$I_L \geq \frac{Lx1000}{\sqrt{3}x380}$$

$$= 1.52\ L$$

พิกัดกระแสสายป้อนอาจพิจารณาตามโหลดลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) โหลดทั้งหมดเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง

$I_F = 1 \times 1.52 \times L = 1.52\ L$

2) โหลดทั้งหมดเป็นแบบต่อเนื่อง

$I_F = 1.25 \times 1.52 \times L = 1.90\ L$

เนื่องจากโหลดรวมจากรายการโหลดจะประกอบไปด้วยโหลดหลายชนิด ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ดังที่กล่าวไปแล้วเพื่อเป็นการเผื่อโหลดในอนาคต จะถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่องทั้งหมด

$I_F = 1.90\ L$

$I_F$ = กระแสของสายป้อน

### บริภัณฑ์ป้องกัน

CB = ใช้ขนาดสูงขึ้นถัดไปของ CB

ในกรณีที่ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าต้องการเผื่อโหลดสำหรับอนาคตมากกว่านี้ ก็สามารถทำได้ดังนี้

$I_F = 2.00\ L$

### ข้อเสนอแนะ

การให้ $I_F = 2.00\ L$ นั้นนอกจากจะเป็นการเผื่อโหลดสำหรับอนาคตแล้ว ยังทำให้การคำนวณสะดวกยิ่งขึ้น

**ตัวอย่างที่ 7.24** แผงย่อยแผงหนึ่งมีรายการโหลดดังนี้

1) วงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง 9 วงจร วงจรละ 1500 VA

2) วงจรย่อยเต้ารับ 6 วงจร วงจรละ 1200 VA

จงหาขนาดสายป้อนและบริภัณฑ์ป้องกัน และทำตารางรายการโหลด

**วิธีทำ**

จากโจทย์มีวงจรใช้งาน ( Active Circuit ) 9 + 6 = 15 วงจร

เลือกจำนวนวงจรย่อยสำรอง = 3 วงจร

เลือกจำนวนวงจรย่อยว่าง = 3 วงจร

ดังนั้นวงจรย่อยทั้งหมด = 24 วงจร

จึงเลือกใช้วงจรย่อยตามจำนวนวงจรย่อยมาตรฐานคือ 24 วงจร

**ตัวอย่างที่ 7.24 (ต่อ)**

วงจรย่อยแสงสว่าง วงจรละ 1500 VA

$I_L$ = 1500/220 = 6.82 A

วงจรย่อย 15 A โดยใช้ 60% ของ BC

$I_{BC}$ = 15 x 0.6 = 9 A

เนื่องจากมีวงจรย่อยแสงสว่าง 9 วงจร เพื่อให้เกิดความสมดุล จึงแบ่งเฟสละ 3 วงจร

วงจรย่อยเต้ารับ วงจรละ 1200 VA

สามารถใช้วงจรย่อย 15 A ได้ แต่เนื่องจากวงจรย่อยเต้ารับนั้นอาจต้องจ่ายโหลดขนาดใหญ่ ดังนั้นในที่นี้จึงเลือกใช้วงจรย่อย 20 A

**ตัวอย่างที่ 7.24 (ต่อ)**

วงจรย่อยเต้ารับ 6 วงจร จึงแบ่งเฟสละ 2 วงจร

วงจรย่อยสำรอง ( Spare ) ให้โหลดวงจรละ 1000 VA , รวม 3 วงจร

เลือกใช้วงจรย่อย 20 A

สามารถรวมโหลดได้ดังนี้

เฟส A = 7900 VA เฟส B = 7900 VA

เฟส C = 7900 VA

Total Connected Load = 23700 VA

= 23.7 kVA

**ตัวอย่างที่ 7.24 (ต่อ)**

เมื่อต้องการเผื่อโหลดสำหรับอนาคต 10 %

พิกัดสายป้อน

ให้ $I_F$ = 2.0 L

$I_F \geq$ 2.0 x 23.7

= 47.4 A

บริภัณฑ์ป้องกัน

CB $\geq$ 47.4 A

= 50 AT

ตัวอย่างที่ 7.22 (ต่อ)

## ขนาดสายป้อน

เพื่อให้ CB ป้องกันสายได้ สายป้อนจะต้องมีพิกัด กระแสมากกว่า 50 A ( มากกว่าขนาดบริภัณฑ์ป้องกัน )

สาย 16 $mm^2$ ( 56 A )

ดังนั้นเลือกใช้สาย T-4 ขนาด 4 x 16 $mm^2$

ขนาดสายดิน 6 $mm^2$ ( ดูในเรื่องสายดิน )

ถ้าใช้ท่อโลหะ IMC จากตารางท่อ จะได้ขนาดท่อ 32 mm ( 1 1/4" ) IMC ( ดูในเรื่องท่อร้อยสาย )

สามารถนำมาจัดลงตารางรายการโหลด ( Load Schedule ) ได้ดังแสดง



PANELBOARD LOAD SCHEDULE

PANEL LP1 LOCATION 1st FL.
CAPACITY 24 CKT. MOUNTING SURFACE
CONNECTED TO F1 FROM MDB

| Ckt. No. | DESCRIPTION | CONNECTED LOAD (VA) ϕA | ϕB | ϕC | BRANCH CB POLE | AT | AF | WIRE SIZE | TYPE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | LIGHTING | 1500 | | | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 3 | LIGHTING | | 1500 | | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 5 | LIGHTING | | | 1500 | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 2 | LIGHTING | 1500 | | | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 4 | LIGHTING | | 1500 | | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 6 | LIGHTING | | | 1500 | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 7 | LIGHTING | 1500 | | | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 9 | LIGHTING | | 1500 | | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 11 | LIGHTING | | | 1500 | 1 | 15 | 50 | 2.5 | T-4 |
| 8 | RECEPTACLE | 1200 | | | 1 | 20 | 50 | 4.0 | T-4 |
| 10 | RECEPTACLE | | 1200 | | 1 | 20 | 50 | 4.0 | T-4 |
| 12 | RECEPTACLE | | | 1200 | 1 | 20 | 50 | 4.0 | T-4 |
| 13 | RECEPTACLE | 1200 | | | 1 | 20 | 50 | 4.0 | T-4 |
| 15 | RECEPTACLE | | 1200 | | 1 | 20 | 50 | 4.0 | T-4 |
| 17 | RECEPTACLE | | | 1200 | 1 | 20 | 50 | 4.0 | T-4 |
| 14 | SPARE | 1000 | | | 1 | 20 | 50 | | |
| 16 | SPARE | | 1000 | | 1 | 20 | 50 | | |
| 18 | SPARE | | | 1000 | 1 | 20 | 50 | | |
| 19 | SPACE | - | | | | | | | |
| 21 | SPACE | | - | | | | | | |
| 23 | SPACE | | | - | | | | | |
| 20 | SPACE | - | | | | | | | |
| 22 | SPACE | | - | | | | | | |
| 24 | SPACE | | | - | | | | | |
| | | 7900 | 7900 | 7900 | | | | 4x16 | T-4 |
| TOTAL CONNECTED LOAD (VA) | | 23700 | | | MAIN CB 3P 50AT/100AF | | | G-6 CONDUIT 32 mm 1 1/4" IMC | |



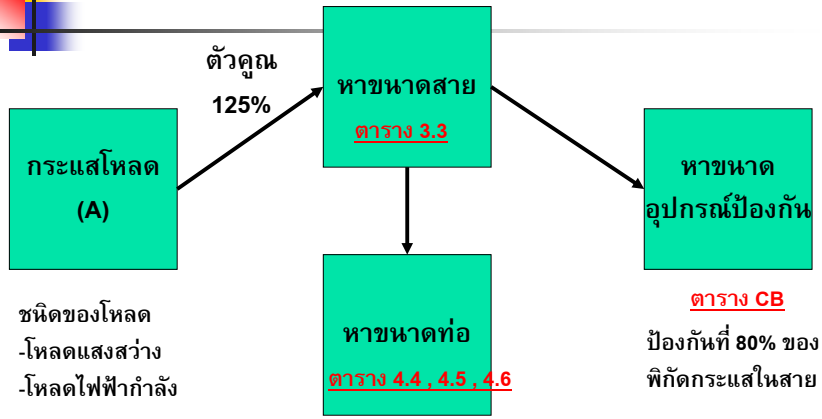
PANEL BOARD LOAD SCHEDULE

PANEL NAME : LP1 LOCATION : FLOOR1
CONNECTED TO : MDB CAPACITY : 24 ckt

| CCT NO. | DESCRIPTION | LOAD (VA) PHASE A | PHASE B | PHASE C | CB P | AT | CABLE | TYPE. | COND. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | LIGHTING | 500 | | | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 3 | LIGHTING | | 500 | | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 5 | LIGHTING | | | 500 | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 7 | LIGHTING | 500 | | | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 9 | LIGHTING | | 500 | | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 11 | LIGHTING | | | 500 | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 13 | AIR 12,000BTU 1P | 1,500 | | | 1 | 20 | 2x4/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 15 | SPARE | | 2,500 | | 1 | 15 | | | |
| 17 | SPARE | | | 2,500 | 1 | 15 | | | |
| 19 | SPARE | 2,500 | | | 1 | 15 | | | |
| 21 | SPARE | | 2,500 | | 1 | 15 | | | |
| 23 | SPARE | | | 2,500 | 1 | 15 | | | |
| 2 | LIGHTING | 500 | | | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 4 | LIGHTING | | 500 | | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 6 | LIGHTING | | | 500 | 1 | 15 | 2x2.5/1.5G | THW | 1/2"EMT |
| 8 | LIGHTING | 1,300 | | | 1 | 15 | 2x2.5 | THW | 1/2"EMT |
| 10 | LIGHTING | | 1,600 | | 1 | 15 | 2x2.5 | THW | 1/2"EMT |
| 12 | LIGHTING | | | 800 | 1 | 15 | 2x2.5 | THW | 1/2"EMT |
| 14 | RECEPTACLE | 1,800 | | | 1 | 20 | 2x4/2.5G | THW | 1/2" EMT |
| 16 | RECEPTACLE | | 2,000 | | 1 | 20 | 2x4/2.5G | THW | 1/2" EMT |
| 18 | RECEPTACLE | | | 800 | 1 | 20 | 2x4/2.5G | THW | 1/2" EMT |
| 20 | SPACE | | | | | | | | |
| 22 | SPACE | | | | | | | | |
| 24 | SPACE | | | | | | | | |
| | VA / PHASE | 8,400 | 10,100 | 8,100 | MAIN CB | | MAIN CABLE | | |
| | TOTAL | | 26,600 | VA. | AT | AF | CABLE | TYPE. | COND. |
| | DEMAND LOAD /PHASE | 8,400 | 10,100 | 8,100 | 50 | 100 | 4x25/4G | THW | 2" IMC |
| | TOTAL LOAD | | 26,600 | VA. | BRANCH CIRCUIT BREAKER IC 10 KA AT 240 V | | | | |
| | AMP. / PHASE | 35.13 | 45.91 | 36.32 | | | | | |



## ขั้นตอนในการหาขนาดสาย , ขนาดท่อ และ ขนาดอุปกรณ์ป้องกัน




ชนิดของโหลด
-โหลดแสงสว่าง
-โหลดไฟฟ้ากำลัง

ป้องกันที่ 80% ของพิกัดกระแสในสาย

พิกัดกระแสตัดวงจรของตัดตอนอัตโนมัติเปลือกหุ้มมิดชิด(molded case circuit breaker) ที่พิกัดฉนวน 600 V เป็นกิโลแอมป์(kA) SYM. r.m.s.

| พิกัดกระแสโครง (ampere frame) (AF) | พิกัดกระแสตัด (ampere trip) (AT) | อัตราพิกัดกระแสตัดวงจรที่แรงดันพิกัด | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 240 V | 380/415 V | 480 V |
| 50 | 5,6,10,15,20,25, 30,35,40,50 | 2.5-10 (85) | 2.5-7.5 (30) | 2.5-5 (22) |
| 100 | 15,20,25,30,35, 40,50,60,70,80, 90,100, | 7.5-35 (85) | 5-30 (45) | 5-25 (42) |
| 225 | 125,150,175,200, 225 | 15-42 (85) | 10-30 (50) | 10-25 (42) |
| 400 | 125,150,175,200, 225,250,300,350, 400 | 30-50 (85) | 17-36 (50) | 15-30 (42) |
| 600 | 450,500,600 | 30-50 (85) | 22-45 (60) | 20-30 (42) |
| 800 | 600,700,800 | 50-85 (130) | 30-60 (100) | 30-42 (85) |
| 1000 | 800,900,1000 | 60-85 (130) | 30-65 (100) | 30-50 (85) |
| 1200 | 800,1000,1200 | 70-85 (130) | 35-65 (100) | 35-50 (85) |
| 1600 | 1000,1200,1600 | 70-130 | 40-100 | 34-85 |
| 2000 | 1200,1600,2000 | 70-130 | 40-100 | 34-85 |

ในวงเล็บ ( ) เป็นตัดตอนอัตโนมัติชนิดพิกัดกระแสตัดวงจรสูง



THE END