

## บทที่ 12

# การป้องกันระบบไฟฟ้าและการจัดลำดับ การทำงานของบริษัทป้องกัน



1

### 12.1 บทนำ

ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้ามีหน้าที่

- จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าอย่างเพียงพอและเชื่อถือได้
- ระบบไฟฟ้าบ่อยครั้งจะมีความผิดปกติ ( Fault ) เกิดขึ้น
- จึงจำเป็นต้องมี ระบบป้องกันไฟฟ้า เพื่อตัดส่วนของวงจรไฟฟ้าที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบไฟฟ้าที่เหลือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อไปได้

2

## ระบบป้องกัน

- ระบบป้องกันจะมี  
    **บริภัณฑ์ป้องกัน ( Protective Devices )**  
    ต่ออนุกรมกันอยู่หลายชุด ระบบป้องกันเหล่านี้จะ  
    ต้องทำงานประสานกัน ( **Coordinate** ) อย่างดี  
    เพื่อให้ระบบป้องกันสามารถทำงานได้  
    อย่างมีประสิทธิภาพ

3

## การทำงานประสานกัน ( Coordination )

- เป็นการจัดและตั้งค่าบริภัณฑ์ป้องกันอย่างมีระบบ  
    โดยอาศัยการจัดกราฟสมบัติของเวลากับกระแส  
    ของบริภัณฑ์ป้องกันอย่างเหมาะสม

4

## 12.2 การแบ่งระบบป้องกันไฟฟ้าแรงดันต่ำ

แบ่งการตัดวงจรของบริภัณฑ์ป้องกันได้ 3 ประเภท คือ

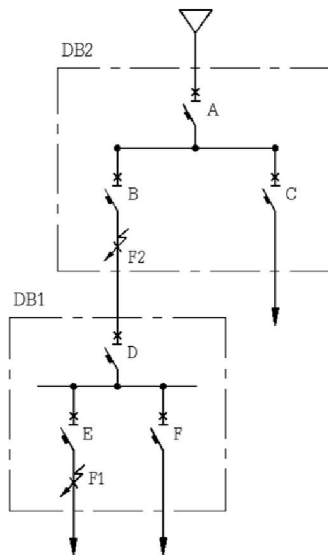
1. **Fully Rated Protective System**
2. **Selective Protective System**
3. **Cascade Protective System**  
**or Back up Protective System**

5

### 12.2.1 Fully Rated Protective System

- CB ทุกตัวจะ ต้องมีพิกัด  
การตัดกระแสลัดวงจร ( Interrupting Capacity )  
เพียงพอสำหรับกระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้  
( Maximum Available Fault Current ) ณ จุดติดตั้ง
- CB ตาม มาตรฐาน IEC 60947-2  
กระแสที่ใช้ คือ  
 $I_{cu}$  ( Ultimate Short Circuit Breaking Current )

6



รูปที่ 12.1 ตัวอย่าง Single-Line Diagram ของระบบไฟฟ้าอย่างง่าย

7

### สมมติว่า

- กระแสลัดวงจร ( Short Circuit Current )  
ที่ตำแหน่ง F2 ใน DB2 = 30 kA
- กระแสลัดวงจร ( Short Circuit Current )  
ที่ตำแหน่ง F1 ใน DB1 = 10 kA
- เมื่อพิจารณาค่ากระแสลัดวงจร  
ที่ตำแหน่ง F1 และ F2 แล้ว จะได้ว่า  
CBs A , B , C ต้องมี  $I_{cu}$  ไม่ต่ำกว่า 30 kA  
CBs D , E , F ต้องมี  $I_{cu}$  ไม่ต่ำกว่า 10 kA

8

### 12.2.2 Selective Protective System

- CB ทุกตัวจะต้องมี  $I_{cu}$  เพียงพอสำหรับ  
กระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้  
( Maximum Available Fault Current ) ณ จุดติดตั้ง
- เส้นโค้งลักษณะการตัดวงจร  
( Tripping Characteristic Curve ) ของ CB ทุกตัวจะ  
ต้องเลือกโดย ไม่ให้มีการวางซ้อนทับกัน ( Overlap )

9

### Selective Protective System ( ต่อ )

- CB ที่อยู่ตรงสายล่างของวงจร  
( Downstream Circuit Breaker ) จะ ตัดตัววงจร  
ก่อน CB ที่อยู่ตรงสายบนของวงจร  
( Upstream Circuit Breaker )

10

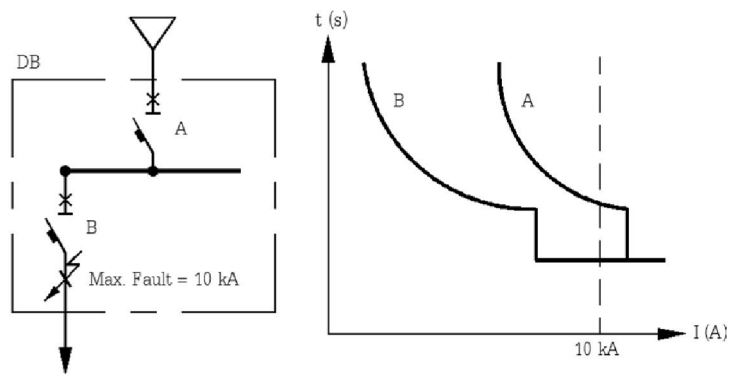
## 1. Fully Selective Protective System

จัดลำดับ ( Selectivity ) ในการตัดวงจรของบริภัณฑ์ป้องกัน

ถึงค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีได้

( Maximum Available Fault Current ) ณ จุดติดตั้ง

11



รูปที่ 12.2 ลักษณะของ Fully Selective Protective System

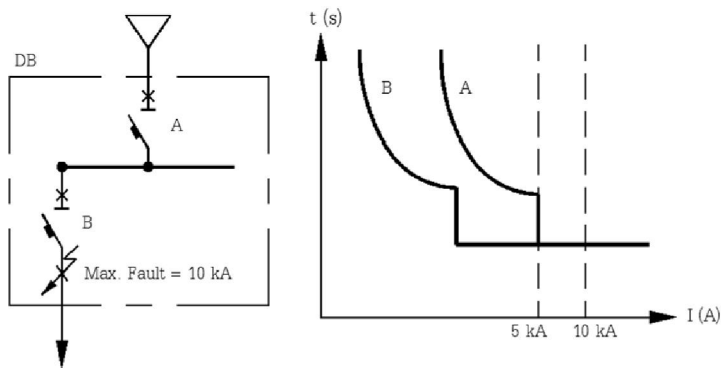
จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะเกิดการลัดวงจรที่จุดใด ๆ CB ( B )  
จะต้องตัดวงจรก่อน CB ( A ) เสมอ

12

## 2. Partially Selective Protective System

มีการจัดลำดับ ( Selectivity ) ใน  
การตัดวงจรของอุปกรณ์ที่ป้องกัน  
ไม่ตลอดทุกค่า กระแสลัดวงจร  
ที่มีได้ ณ จุดติดตั้ง

13



รูปที่ 12.3 ลักษณะของ Partially Selective Protective System

จากกราฟลักษณะสมบัติจะเห็นได้ว่าระบบนี้จะมีการ  
จัดลำดับ ( Selectivity ) ถึงแค่  $5 \text{ kA}$  เท่านั้น  
ถ้ามีกระแสลัดวงจรที่สูงกว่านี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ A  
อาจตัดวงจรก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ B ก็ได้

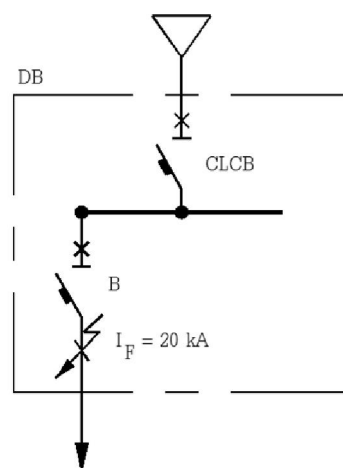
14

### 12.2.3 Cascade Protective System

#### or Back up Protective System

- เซอร์กิตเบรกเกอร์ประธาน ( Main Circuit Breaker )  
เท่านั้นที่มีฟังก์ชันการตัดกระแสลัดวงจรเพียงพอ
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใกล้จุดผิดปกติ  
ไม่จำเป็นที่จะต้องมียกฟังก์ชันการตัดกระแสลัดวงจรเพียงพอ
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ประธานช่วยในกรณีที่  
เกิดกระแสลัดวงจรที่มีค่าสูง ๆ  
ต้องเป็น **Current Limiting Circuit Breaker**

15



รูปที่ 12.4 ตัวอย่างของ Single Line Diagram  
ในกรณีของ Cascade Protective System

16



### จากรูปที่ 12.4

ถ้าคำนวณกระแสลัดวงจรได้ 20 kA

CB B อาจมี IC 10 kA Main CB เป็น Current Limiting

CB มี IC 100 kA ตัดกระแสลัดวงจร

ภายใน 1 / 4 คาบเวลา ( 5 ms )

CB ที่อยู่ด้าน Downstream ยังไม่ทำงาน

### การเลือกใช้บริภัณฑ์ป้องกันระบบนี้

บริษัทผู้ผลิตจะให้ตารางการทำงานรวมกัน

ของ Main CB และ CB ตัวอื่น ๆ

17

## 12.3 การทำงานประสานกัน ( Coordination )

### 12.3.1 ความรู้เบื้องต้นในการทำ Coordination

การศึกษา Coordination จำเป็นต้องมี

ความรู้พื้นฐานดังต่อไปนี้

1. ระบบที่จะทำการ Coordination
2. ช่วงเวลาในการทำ Coordination  
( Coordination Time Intervals )
3. ขอบเขตการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
4. คุณสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกัน

18

## 1. ระบบที่จะทำการ Coordination

- **Single-Line Diagram** ของระบบที่จะทำการ **Coordination**
- ชนิด และ/หรือ พิกัด รวมทั้งค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดที่เกี่ยวข้อง และ บริภัณฑ์จ่ายกำลัง
- กระแสลัดวงจร ทั้งค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และต่ำสุดภายใต้ สภาวะการทำงาน ( **Operating Condition** ) ที่จุดต่าง ๆ ของระบบ

19

## 2. ช่วงเวลาการทำ Coordination ของบริภัณฑ์ป้องกัน

ช่วงเวลาในการทำ **Coordination** พิจารณาได้จาก

- ขนาดของกระแสผิดพลาด
- ความไวของบริภัณฑ์ป้องกันต่อกระแสผิดพลาด
- ช่วงเวลาที่บริภัณฑ์ป้องกันทำงาน
- หน้าที่ของบริภัณฑ์ป้องกัน

20

### 3. ขอบเขตการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

- สามารถหาได้โดยพิจารณาลักษณะสมบัติของบริภัณฑ์ไฟฟ้า แต่ ละชนิด ได้แก่
    - หม้อแปลงไฟฟ้า
    - มอเตอร์ไฟฟ้า
    - เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
    - สายไฟฟ้า สายบัส
- โดยอาศัยมาตรฐานต่าง ๆ ที่มีอยู่  
เช่น IEC , NEC , ANSI เป็นตัวกำหนด  
พิภคของบริภัณฑ์ป้องกัน

21

### 4. คุณสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกัน

- ทั่วไปจะมีลักษณะสมบัติคือ  
ช่วงเวลาที่บริภัณฑ์ป้องกันเริ่มทำงานขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหล ผ่าน
- ถ้ากระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อย  
ช่วงเวลาที่เริ่มทำงานจะนาน  
และจะเร็วขึ้นอย่างมากเมื่อกระแสมีค่ามากขึ้น

22

#### 4. คุณสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกัน ( ต่อ )

- บริภัณฑ์ป้องกันส่วนใหญ่ที่พบได้แก่  
ฟิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ รีเลย์ป้องกัน เป็นต้น
- คุณสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกันจะ  
แสดงในรูปกราฟ กระแสกับเวลาบนกราฟ Log-Log

23

#### 12.3.2 ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการทำ Coordination

1. ข้อมูลเกี่ยวกับโหลด
2. หม้อแปลง
3. มอเตอร์
4. แหล่งจ่ายพลังงาน
5. กระแสลัดวงจร
6. กราฟ เวลากับกระแสของบริภัณฑ์ป้องกัน  
ทุกตัวที่จะทำการ Coordination

24

### ข้อมูลที่ต้องใช้ในการทำ Coordination ( ต่อ )

7. เซอร์กิตเบรกเกอร์
8. รีเลย์กระแสเกิน
9. ฟิวส์
10. สายไฟฟ้า
11. สายบัส ( Busways )
12. แผงย่อย ( Panel Boards ) และ  
แผงสวิตช์ ( Switchboards )

25

### 12.3.3 ช่วงเวลาในการทำงาน Coordination ( Coordination Time )

#### ระดับแรงดันปานกลาง

บริบทที่ในการจัดลำดับการทำงาน คือ รีเลย์ป้องกันมีหลัก  
ในการเผื่อเวลาเพื่อการ Coordination ดังนี้

- เวลาในการทำงานของ CB = 0.10 s
- เวลาความผิดพลาด CT = 0.10 s
- เวลาเพื่อความปลอดภัย = 0.10 s

26

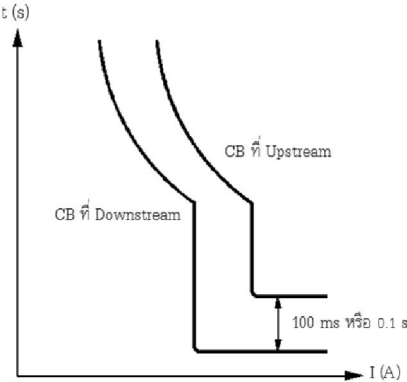
$$\begin{aligned} \text{เวลารวมทั้งหมด} &= 0.10 + 0.10 + 0.10 \\ &= 0.3 \text{ s} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติการปรับตั้งรีเลย์จะ

เผื่อเวลาไว้ประมาณ 0.3 s - 0.5 s

ระดับแรงดันต่ำ

- เผื่อเวลาให้บริภัณฑ์ต้นทางหน่วงไว้อย่างต่ำ  
ประมาณ 5 Cycles หรือประมาณ 100 ms



รูปที่ 12.5 แสดงการเผื่อ Coordination Time ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

## 12.4 ขอบเขตการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

- การเลือกขอบเขตการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า  
กำหนดได้จากกระแสไหลสูงสุด  
กับกระแสลัดวงจรสูงสุด
- วิธีการเลือกขอบเขตการป้องกันของบริภัณฑ์ไฟฟ้า  
พิจารณาจาก
  1. ลักษณะสมบัติของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
  2. การป้องกันอย่างต่ำ
  3. ความคงทนของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

29

### ลักษณะสมบัติของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

#### มอเตอร์

#### 1. กระแสพิกัดไหล ( $I_n$ )

กระแสพิกัดไหลได้จากตารางและ **Catalog** ของผู้ผลิต  
แต่ถ้าไม่สามารถคำนวณค่า  $I_n$  ได้ดังนี้

$$I_n = S / (\sqrt{3} \times V_L) \quad \text{สำหรับมอเตอร์ 3 เฟส}$$

$$I_n = S / V_n \quad \text{สำหรับมอเตอร์ 1 เฟส}$$

30

หากไม่ทราบค่าพิกัดกำลัง ( kVA ) อาจหาได้จากพิกัดมอเตอร์ ( kW ) ได้ดังนี้

$$S = P / ( P.F. \times \eta )$$

โดยที่

$$P = \text{พิกัดมอเตอร์ ( kW )}$$

$$P.F. = \text{ตัวประกอบกำลัง}$$

$$\eta = \text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์}$$

31

## 2. กระแส Locked Rotor

- มอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์ซิงโครนัสที่มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 100 %

$$I_{LR} = 6 I_n$$

- มอเตอร์ซิงโครนัสที่มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 และซิป High Inertia Load

$$I_{LR} = 9 I_n$$

- มอเตอร์แบบ Wound Rotor

$$I_{LR} = 4 I_n$$

- ช่วงเวลาของกระแส Locked Rotor ตั้งแต่ 5 ถึง 30 s โดยขึ้นอยู่กับ Load Inertia

32



### 3. กระแสพุ่งเข้าชั่วคราว ( Transient Inrush Current )

$$I_{inrush} = \text{Offset} \times \text{Safety Factor} \times I_{LR}$$

ปกติจะให้ค่า

$$\text{Offset ของมอเตอร์} = 1.5$$

$$\text{Safety Factor} = 1.1$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$I_{inrush} = 1.5 \times 1.1 \times I_{LR}$$

$$= 1.65 I_{LR}$$

ในช่วงเวลาไม่เกิน 0.1 s

33

### การเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์

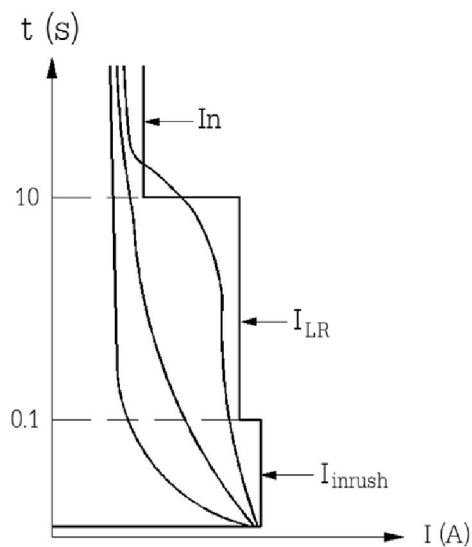
- จะวิ่งจากศูนย์จนถึงค่ากระแสพุ่งเข้าชั่วคราว ( $I_{inrush}$ )  
ในช่วง **Transient** แล้วค่อย ๆ ลดลงจนคงที่  
ในภาวะ **Steady State** ที่กระแสปกติ ( $I_n$ )
- เป็นลักษณะสมบัติของมอเตอร์ ( **Motor Profile** )

34

### การเริ่มต้นเครื่องของมอเตอร์ (ต่อ)

- ขึ้นกับชนิดและลักษณะของมอเตอร์ในแต่ละประเภท
- แต่ในทางปฏิบัติหากไม่มีข้อมูลดังกล่าว  
เราอาจใช้กระแสพิกัด ( $I_n$ ) , กระแส Lock Rotor ( $I_{LR}$ )  
และ กระแสพุ่งเข้าชั่วคราว ( $I_{inrush}$ ) แทน Motor Profile

35



รูปที่ 12.6 แสดงลักษณะสมบัติของมอเตอร์ ( Motor Profile )

36

## หม้อแปลง

### 1. กระแสพิกัดโหลด ( $I_n$ )

จะมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$I_n = S / (\sqrt{3} \times V_L) \text{ สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส}$$

### 2. กระแสโหลดเกิน ( Overload Capability )

ของหม้อแปลงขึ้นอยู่กับ

- การระบายอากาศ
- อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม

37

## หม้อแปลง ( ต่อ )

### 3. กระแสพุ่งเข้า ( Inrush Current )

- หม้อแปลงแบบ Pad- type Units

$$\text{กระแสพุ่งเข้า} = 12 I_n$$

- หม้อแปลงแบบ Load Center Type Units

$$\text{กระแสพุ่งเข้า} = 8 I_n$$

- หม้อแปลงแบบ Dry-type Units

$$\text{กระแสพุ่งเข้า} = ( 5-25 I_n )$$

ช่วงเวลาที่เกิดกระแสพุ่งเข้าทั้ง 3 แบบ

เท่ากับ 0.1 s

38

## สายไฟฟ้า

- พิกัดกระแสสายไฟฟ้าสามารถหาได้จาก ตารางพิกัด กระแสของการไฟฟ้าหรือ มาตรฐานของ วสท.
- ส่วน **Overload Capability** ขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวน

39

## การป้องกันขั้นต่ำ

### มอเตอร์

#### 1. การป้องกันโหลดเกิน

บริษัทที่ป้องกันโหลดเกินในแต่ละเฟสต้องตั้งไว้ไม่เกินค่าต่าง ๆ ดังนี้

- |                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| - มอเตอร์ที่อุณหภูมิเพิ่มไม่เกิน 40°C | 125% $I_n$ |
| - มอเตอร์อื่น ๆ                       | 115% $I_n$ |

40

## 2. การป้องกันกระแสเกิน

ปริมาณที่ป้องกันกระแสเกินต้องตั้งให้ตัดวงจร  
ไม่เกินค่าต่าง ๆ ดังนี้

- Inverse Time Breaker                 **250% I<sub>n</sub>**
- Instantaneous Trip Breaker           **700% I<sub>n</sub>**
- Nontime Delay Fuses                  **300% I<sub>n</sub>**
- Dual Element Time Delay Fuses      **175% I<sub>n</sub>**

## หม้อแปลง

ขนาดอิมพีแดนซ์ ของหม้อแปลง	ด้านไฟเข้า		ด้านไฟออก		
	แรงดัน มากกว่า 750 V		แรงดัน มากกว่า 750 V		แรงดัน ไม่เกิน 750 V
	เซอร์กิต เบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิต เบรกเกอร์	ฟิวส์	เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือฟิวส์
ไม่เกิน 6%	600%	300%	300%	250%	125%
มากกว่า 6% แต่ ไม่เกิน 10%	400%	300%	250%	225%	125%

## สายไฟฟ้า

ต้องมีการป้องกันกระแสเกิน

ไม่ให้เกินกระแสพิกัดของสายไฟ

43

### 12.4.3 ความคงทนของบริภัณฑ์

#### มอเตอร์

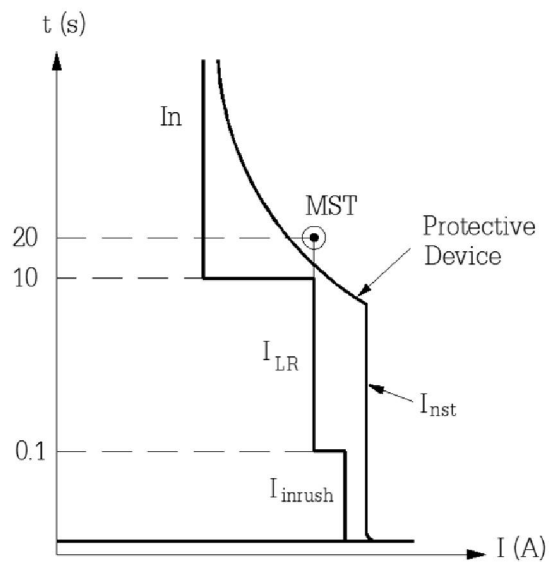
- ใช้ค่า **Maximum Stall Time ( MST )** คือ ช่วงเวลาที่มอเตอร์สามารถทนได้ขณะที่เกิด Rotor ถูกล็อก
- ในช่วงเวลานี้กระแสเพิ่มขึ้นจำนวนมาก เรียกว่า **Stalled Rotor Current**

44

### มอเตอร์ ( ต่อ )

- ค่า **Maximum Stall Time**  
ตามชนิดและขนาดของมอเตอร์ ดังนี้
- มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กจนถึงขนาดปานกลาง
- **Standard Design 20 s**
- **Hi - Efficiency Design 30 s**
- มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ โดยเฉลี่ยแล้ว **15 s**

45



รูปที่ 12.7 แสดงค่า **Maximum Allowable Stall Point**

46

**หม้อแปลง**

- ความคงทนของหม้อแปลงต่อการลัดวงจร

ตามมาตรฐาน ANSI / IEEE สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$t = \frac{1250}{I^2}$$

โดยที่

t = เวลาที่หม้อแปลงสามารถทนการลัดวงจรได้ ( s )

I = จำนวนเท่ากระแสฟัด ( A )

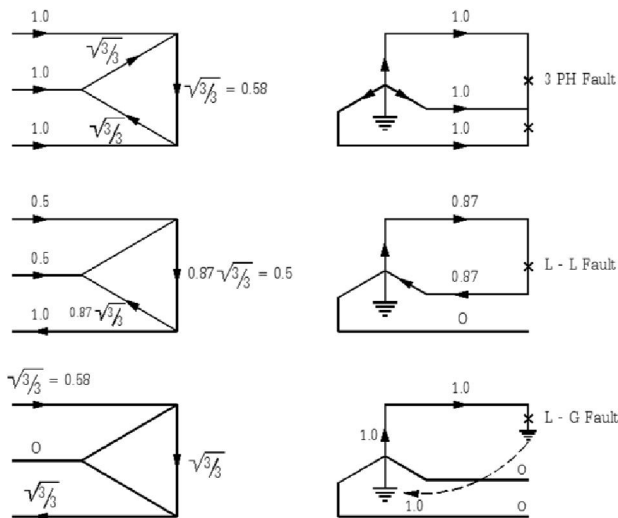
- สมการนี้สามารถเขียนเป็น Curve ได้ เรียกว่า

**Transformer Damage Curve หรือ ANSI S/C Withstand Curve**

- สำหรับหม้อแปลงที่ต่อแบบ  $\Delta Y$  เมื่อเกิดการลัดวงจร

ทางด้านทุติยภูมิ กระแสทางด้านปฐมภูมิจะมีค่าตามรูป

Delta - WYE Connected Transformer



รูปที่ 12.8 กระแสลัดวงจรหม้อแปลง Delta-Wye



### จากรูป

- เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ L-N หรือ L-G
- กระแสทางด้านฟุตินจะเท่ากับ 1 pu ( 3 Ph Fault )  
กระแสทางด้านปฐมภูมิจะเท่ากับ 0.58 pu
- ดังนั้นเพื่อให้สามารถป้องกันหม้อแปลง  
ต่อการลัดวงจรได้ Transformer Damage Curve  
จะต้องขยับด้วยตัวคูณ 0.58
- การปรับตั้งบริภัณฑ์จะต้องให้อยู่ได้ Curve นี้เสมอ  
เพื่อให้หม้อแปลงได้รับการป้องกัน

49

ตัวอย่างที่ 12.1 ให้เขียน Transformer Damage Curve สำหรับ  
หม้อแปลง 1000 kVA 22kV/400 V %  $U_k = 6$

### วิธีทำ

$$I_n (HV) = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 22} = 26.2 \text{ A}$$

$$I_n (LV) = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0.4} = 1443 \text{ A}$$

50

ถ้าคิดวาระบบไฟฟ้าทางด้าน HV เป็น Infinite Bus  
สามารถคำนวณกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสสมมูลได้

$$I_{sc} (HV) = \frac{100}{U_k} \times I_n = \frac{100}{6} \times 26.2 = 437 \text{ A}$$

$$I_{sc} (LV) = \frac{100}{6} \times 1443 = 24050 \text{ A} = 24.1 \text{ kA}$$

ถ้า  $I = \frac{100}{6}$  จะได้

$$t = \frac{1250}{I^2} = \frac{1250}{\left(\frac{100}{6}\right)^2} = 4.5 \text{ s}$$

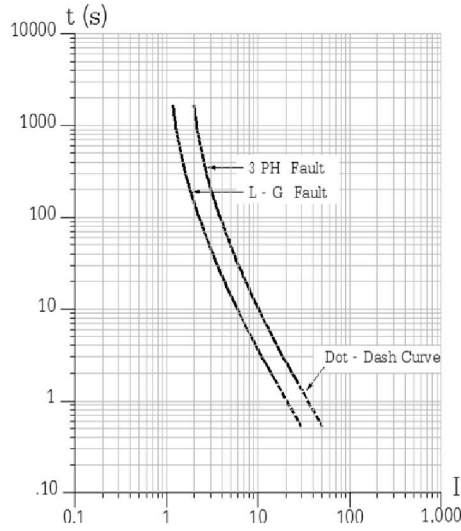
51

ค่าอื่น ๆ ดังแสดงในตาราง

I	I (HV) (A)	T (S)
16.67	437	4.5
15	394	5.6
12.5	328	8
10	262	12.5
7.5	197	22.2
5	131	50
3	79	139
2	52.4	313

52

ค่าที่ตารางสามารถเขียนเป็น Curve ได้

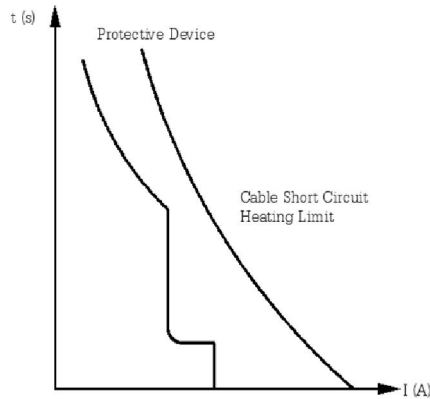


รูปที่ 12.9 กราฟความคงทนของหม้อแปลง

53

**สายไฟฟ้า**

ความคงทนของสายไฟฟ้าสามารถใช้ค่า Cable Short Time Heating Limit ของสายไฟฟ้า



รูปที่ 12.10 กราฟแสดงควมคงทนของสายไฟฟ้า

54

## 12.5 ลักษณะสมบัติของบริภัณฑ์ป้องกัน

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

### 1. ระดับแรงต่ำ ( Low Voltage )

- ฟิวส์แรงดันต่ำ ( LV Fuses )
- สวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ ( Circuit Breakers )

### 2. ระดับแรงปานกลาง ( Medium Voltage )

- ฟิวส์แรงดันสูง ( HV HRC Fuses )
- สวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ ( Circuit Breakers )
- รีเลย์ป้องกัน ( Protective Relays )

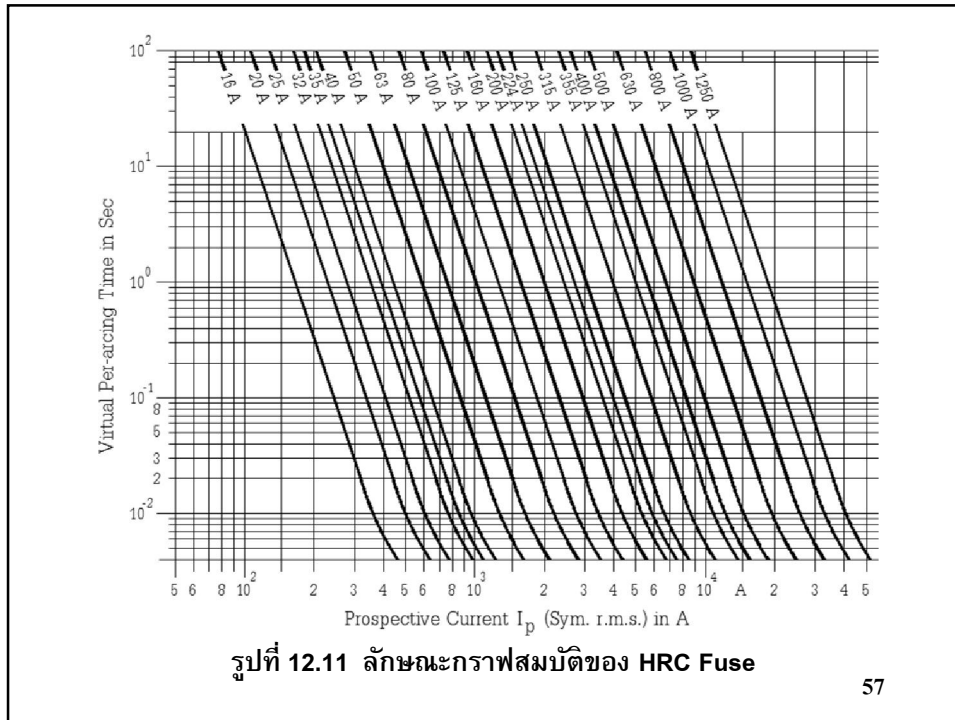
55

### ระดับแรงดันต่ำ

#### 1. ฟิวส์แรงดันต่ำ ( LV Fuse )

- เป็นบริภัณฑ์ป้องกันบริภัณฑ์ไฟฟ้า
- เมื่อมีกระแสเกินพิกัดหรือเกิดการลัดวงจร  
ฟิวส์จะขาดและตัดวงจรออกเนื่องจากความร้อน  
ที่เกิดขึ้น
- ฟิวส์แรงดันต่ำนิยมใช้กันคือ  
**HRC Fuse ( High Rupturing Capacity Fuse )**  
ซึ่งมีลักษณะสมบัติระหว่างกระแส – เวลา ดังนี้

56



57

## 2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ ( Low-voltage Circuit Breaker )

- ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ใช้สำหรับเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้า  
ในภาวะปกติและจะเปิดวงจรไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเมื่อ  
เกิดภาวะผิดปกติขึ้น
- โดยในระบบไฟฟ้าภาวะผิดปกตินี้อาจเป็น  
การใช้กำลังเกิน ( Overload )  
การลัดวงจร ( Short Circuit )

58

### ชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์

แบ่งตามลักษณะภายนอกและการใช้งานออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **Molded Case Circuit Breaker ( MCCB )**
2. **Air Circuit Breaker ( ACB )**

59

### หน่วยการทริป ( Tripping Unit )

- ส่วนของ **CB** ซึ่งจะส่งสัญญาณให้ **CB** ทำหน้าที่ตัดวงจร เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น มี 2 แบบคือ

- 1 ) **Thermal Magnetic**
- 2 ) **Solid State**

60

## หน่วยการทริป ( Tripping Unit )

### 1. Thermal-Magnetic

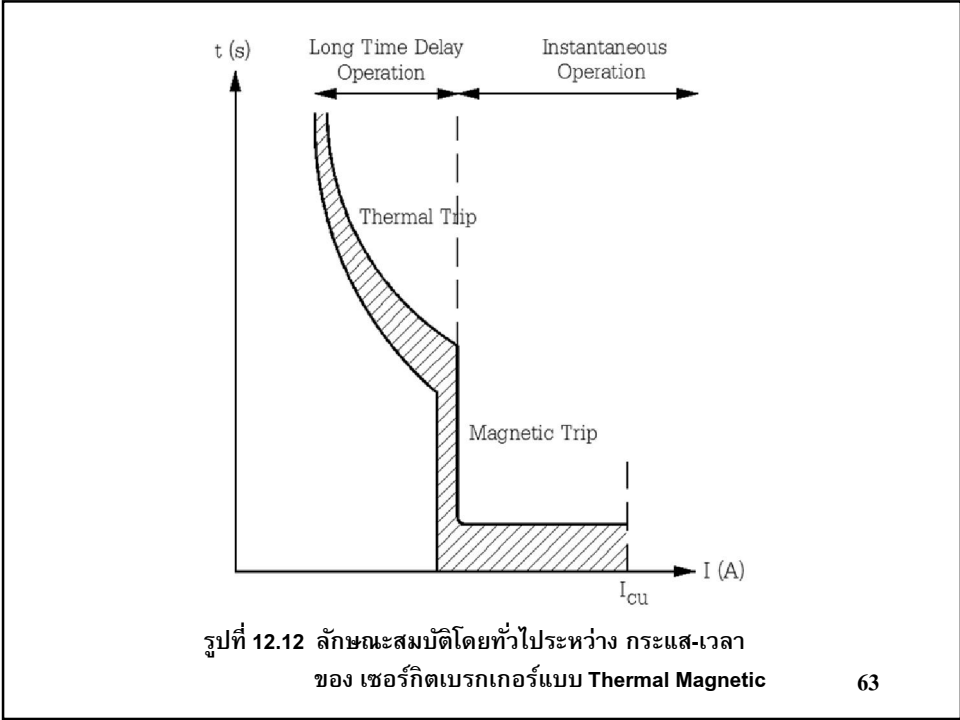
- จะใช้การวัดอุณหภูมิ โดยใช้บริกัทท์โลหะคู่ **Bimetal** เป็นตัวตัดวงจร เมื่อเกิด **Overload** น้อย ๆ
- ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า ( **Magnetic** ) โดยใช้ **Electromagnetic Device** เป็นตัวตัดวงจร เมื่อกระแสสูง ๆ คือเกิดการลัดวงจร

61

### 1. Thermal-Magnetic ( ต่อ )

- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาดังรูปที่ 12.12
- เส้นกราฟแสดงลักษณะมี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ
  - **Long Time Delay ( Overload )**
  - **Instantaneous ( Short - Circuit )**

62

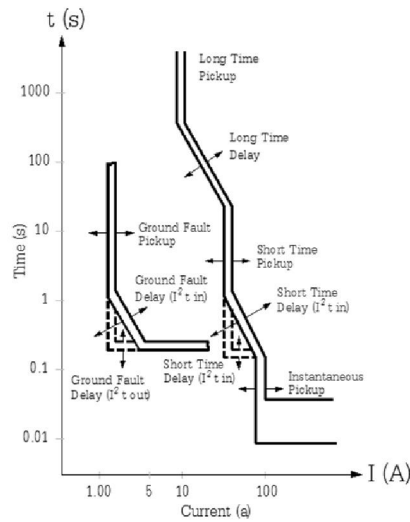


**2. Solid-state ( Electronics )**

สามารถปรับค่ากระแสและเวลาต่างๆได้อย่างละเอียดเพื่อใช้ในการทำ Coordination ได้ดังนี้

- (1) Long Time Trip - Pick Up  
- Time Delay
- (2) Short Time - Pick Up  
- Time Delay -  $I^2t$  IN  
-  $I^2t$  OUT
- (3) Instantaneous Trip - Pick Up
- (4) Ground Fault Trip - Pick Up  
- Time Delay





รูปที่ 12.13 ลักษณะสมบัติโดยทั่วไประหว่าง กระแส-เวลา  
ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ Solid-state Trip

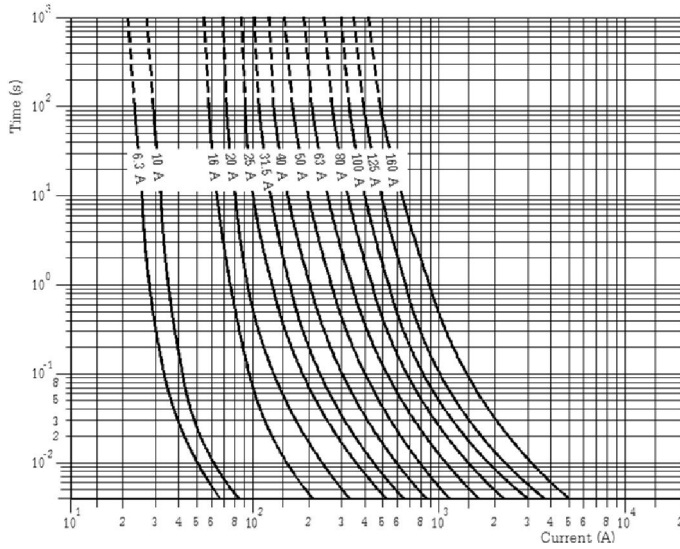
65

## ระดับแรงดันปานกลาง ( Medium Voltage )

### 1.HV HRC Fuse ( High Voltage High Rupturing Capacity Fuse )

- เป็นบริภัณฑ์ที่ใช้ตัดวงจรโดยการหลอมละลาย ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนภายในที่เกิดขึ้น เมื่อกระแสที่ไหล ผ่านมีปริมาณเกินค่าที่กำหนดไว้ ภายในช่วงระยะเวลาจำกัด ค่าหนึ่ง
- ใช้สำหรับป้องกันบริภัณฑ์และระบบไฟฟ้าอันเกิด จากกระแส ลัดวงจรหรือกระแสเกิน
- ซึ่งมีลักษณะสมบัติระหว่างกระแส-เวลา ดังรูปที่ 12.14

66



รูปที่ 12.14 ลักษณะสมบัติโดยทั่วไประหว่างกระแส-เวลา ของ HV HRC Fuse

67

**2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง**

**( Medium-voltage Circuit Breaker )**

**นิยมใช้**

- แบบ Vacuum
- แบบ SF<sub>6</sub>

**ใช้งานร่วมกับ Protective Relays**

68

### 3. รีเลย์ป้องกัน ( Protective Relays )

รีเลย์ป้องกันที่นิยมใช้มากที่สุดคือ

รีเลย์กระแสเกิน ( Overcurrent Relay ) รีเลย์ชนิดนี้ส่วนมากใช้ป้องกันสายป้อนและสามารถแบ่งออกเป็น

#### 1. Phase Overcurrent Relay ( 50 , 51 )

ใช้ป้องกันเมื่อเกิดกระแสเกินหรือลัดวงจรในเฟส ( Phase Faults )

No 50 เป็นแบบทำงานทันที ( Instantaneous )

No 51 เป็นแบบทำงานหน่วงเวลา ( Time Delayed )

#### 2. Ground Overcurrent Relays ( 50N , 51N , 50G , 51G )

ใช้ป้องกันเมื่อเกิดกระแสเกิน หรือลัดวงจรลงดิน ( Ground Faults )

69

### 12.6 การป้องกันกระแสผิดพ่วงลงดิน ( Ground Fault Protection : GFP )

การป้องกันการลัดวงจรลงดิน อาจทำได้ 3 ระดับตามความสำคัญของสถานประกอบการ คือ

1. มี Ground Fault Protection ที่ วงจรประธาน ( Main Circuit ) อย่างเดียว
2. มี Ground Fault Protection ที่ วงจรประธาน และวงจรสายป้อน
3. มี Ground Fault Protection ที่ วงจรประธาน วงจรสายป้อน และ วงจรย่อย ( Branch Circuit )

70

### การปรับตั้งการป้องกันการลัดวงจรลงดินได้ดังนี้

- วงจรย่อย จะปรับตั้งกระแสได้ที่ขนาด 5 – 15 A  
เวลา ( Instantaneous ) ทำงานทันที
- วงจรสายป้อน จะปรับตั้งกระแสได้ที่ขนาด 200 – 800 A  
เวลา จะต้องปรับตั้งให้ Coordinate กับ Ground Fault Protection ของวงจรย่อย หรือ 0.1 – 0.2 s
- วงจรประธาน จะปรับตั้งกระแสได้ที่ขนาด 400 – 1200 A  
เวลา จะต้องปรับตั้งให้ Coordinate กับ Ground Fault Protection ของวงจรสายป้อน หรือ 0.2 – 0.5 s

71

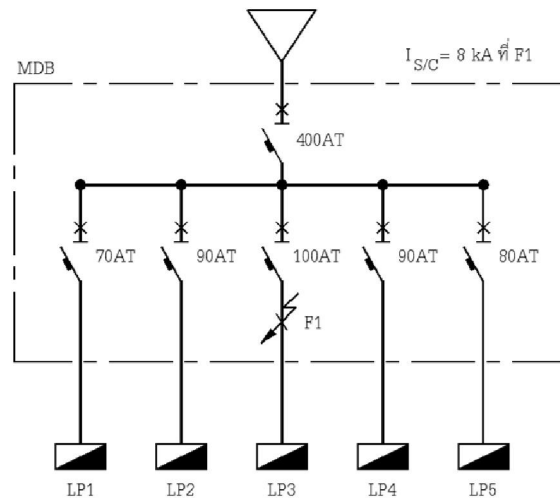
## 12.7 ตัวอย่างการป้องกัน

### ตัวอย่างที่ 12.2

ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งจ่ายไฟให้กับแผงจ่ายไฟ ซึ่งมี CB ขนาด 400 AT ป้องกันสายประธาน สายประธานดังกล่าวจ่ายไฟให้กับสายป้อนในตู้ MDB โดยมี CB ขนาด 70 AT , 90 AT , 100 AT , 90 AT และ 80 AT ตามลำดับที่แรงดัน 400 V  
ดัง รูปที่ 11  
จงทำการ Coordination อุปกรณ์ป้องกันในระบบ

72

### ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )



รูปที่ 12.15 Single Line Diagram ของระบบไฟฟ้าที่จ่ายโหลดทั่วไป

73

### ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )

#### ขั้นตอนการทำ Coordination มีดังต่อไปนี้

1. เขียนข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ลงบน Single Line Diagram
2. กำหนดหากระแสลัดวงจรที่จุดต่าง ๆ  
ที่สำคัญจากข้อมูลในข้อ 1
3. หาขนาดและพิกัดของบริภัณฑ์ป้องกันเบื้องต้น  
และจากมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนด แล้วเขียน  
ลงบน Single Line Diagram
4. ทำการปรับตั้งบริภัณฑ์ให้มี Selective กันอย่างเหมาะสม

74

### ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )

จาก Single Line Diagram รูปที่ 12.18 สามารถหาข้อมูลต่าง ๆ ได้ดังนี้

- กำหนดหากระแสลัดวงจรที่แผงจ่ายไฟ MDB สมมุติว่าในตัวอย่างนี้กำหนดได้ขนาดเท่ากับ 8 kA ที่ตำแหน่ง F1

75

### ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )

- ทำ Coordination ระหว่าง  
CB ภาระ 400 A ( Upstream )  
กับ CB สายป้อนขนาดใหญ่สุด ในที่นี้คือ  
ขนาด 100 A ( Downstream )
- เนื่องจากหาก CB 400 A มี Selective กับ CB 100 A แล้ว  
CB ที่เหลือที่มีขนาดเล็กกว่าย่อมมี Selective  
กับ CB 400 A ด้วยเสมอ

76

### ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )

กรณีที่ 1 เมื่อ CB ทุกตัว เป็นแบบ Thermal - Magnetic

- เนื่องจาก CB 100 A ซึ่งเป็นแบบ Thermal – Magnetic ปรับตั้งค่าของ Magnetic Release

ได้สูงสุดประมาณ 10 เท่าของกระแสพิกัด CB

- ดังนั้น CB 100 A จะมีค่า Instantaneous = 1000 A ส่วน CB 400 A จะมีค่า Instantaneous = 4000 A
- เมื่อนำมา Plot ลงบนกระดาษ

กราฟ Log-Log กระแสกับเวลา

จะได้ดังรูปที่ 12.19

77

### ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )

#### กรณีที่ 1 (ต่อ)

- จากรูปจะเห็นว่า CB 100 A ทำงานก่อน CB 400 A ถึง 4 kA เท่านั้น
- กระแสมากกว่า 4 kA ( ดังเช่นในตัวอย่างนี้มีค่ากระแส ผิดพร้อม 8 kA )

CB 400 A อาจจะทำงานก่อน CB 100 A ได้

เนื่องจากกราฟในส่วน Instantaneous ของกราฟทั้งสอง ซ้อนทับกัน ซึ่งเรียกว่าเป็นระบบ

แบบ Partial Selective

78

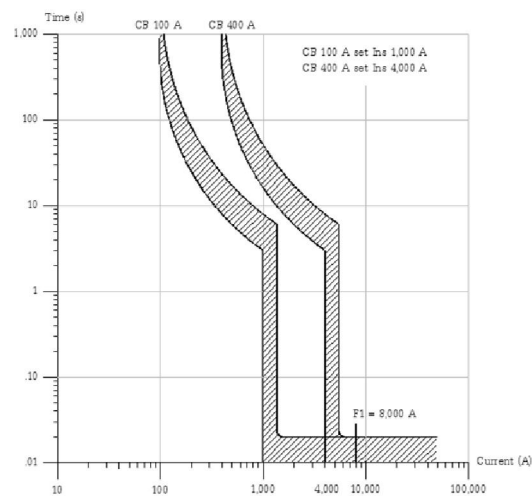
## ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )

### กรณีที่ 1 (ต่อ)

- ถ้าต้องการให้ระบบเป็นแบบ **Fully Selective**
- สามารถทำได้โดยเลือก **CB** ประเภทแบบ **Class B**  
ขนาด **400 A** มี **Trip Unit** เป็นแบบ **Solid State**  
ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าต่าง ๆ ได้มากขึ้น  
ดังในกรณี ที่ 2

79

## ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )



รูปที่ 12.16 ลักษณะกราฟเมื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 400 AT แบบ Thermal-Magnetic

80



**ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )****กรณีที่ 2 เลือก CB ประเภทขนาด 400 A เป็น Class B**

มีหน่วยการทริปเป็น แบบ Solid State และมี  $I_{cw}$   
( เพื่อให้ CB 400 A ทนกระแสได้ขณะ

รอหนึ่ง เวลาให้ CB ด้านล่างทำงานก่อน )

ส่วน CB ขนาด 100 A ยังคงเป็นแบบ

**Thermal - Magnetic**

- เนื่องจากค่ากระแสผิดพลาดสูงสุด = 8 kA

- ดังนั้นเลือก CB 400 A ให้มี

ค่า  $I_{cw}$  ไม่ต่ำกว่า 8 kA

ในที่นี้เลือกค่า  $I_{cw} = 10 \text{ kA}$  ที่เวลา 1 s

81

**ตัวอย่างที่ 12.2 ( ต่อ )****กรณีที่ 2 (ต่อ)**

- ทำการปรับตั้งค่า Instantaneous Pick Up ของ CB 400 A

ให้มี Selective กับ CB 100 A ด้านล่าง

เพื่อให้ CB 100 A ทำงานก่อน CB 400 A เสมอ

- ในที่นี้จึงปรับตั้งค่า 25 เท่า หรือมีค่าเท่ากับ

$$25 \times 400 = 10000 \text{ A} = 10 \text{ kA}$$

ทำให้ระบบเป็นแบบ Fully Selective

- ส่วนค่า Short – Time Delay ปรับตั้งค่า 0.1 s

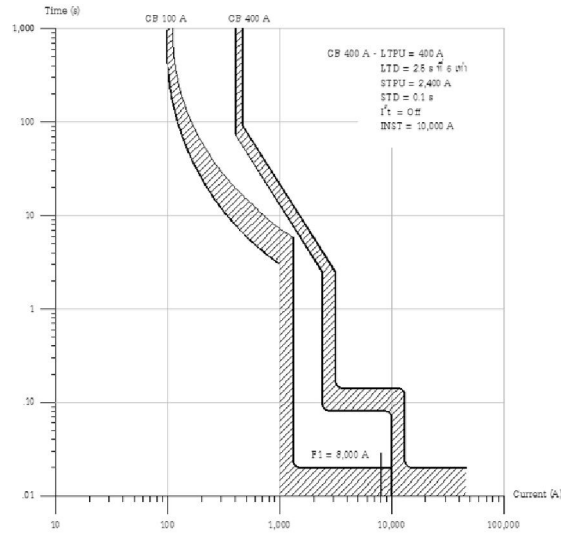
เพื่อเผื่อเวลา Coordination กับ CB100 A

อย่างต่ำ 100 ms หรือ 0.1 s

ดังรูปที่ 12.20

82

### ตัวอย่างที่ 12.2 (ต่อ)



รูปที่ 12.17 ลักษณะกราฟเมื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 400 AT แบบ Solid-State

83

### ตัวอย่างที่ 12.3 ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งจ่ายไฟให้กับโหลด

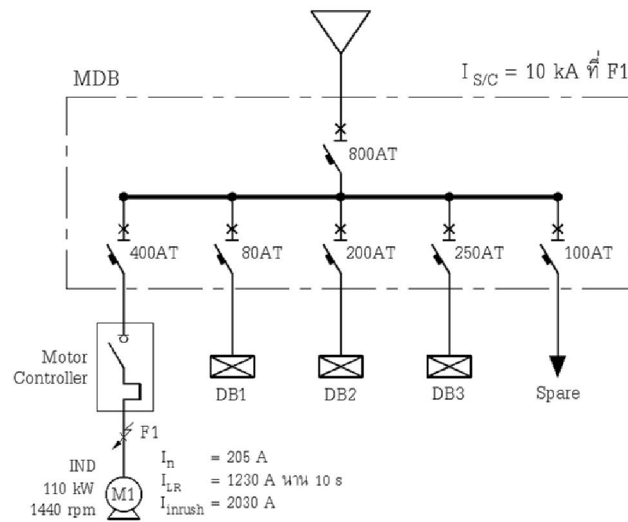
โดยมี CB ขนาด 800 AT ป้องกันสายประธาน  
ซึ่งสายประธานดังกล่าวจ่ายไฟต่อให้กับสายป้อน  
สายป้อนหนึ่งจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
ซึ่งมีขนาด 110 kW 1440 rpm ค่า  $X_d'' = 16.7\%$   
และมี CB ป้องกันขนาด 400 AT  
นอกนั้นมีสายป้อนอื่นต่อขานาน  
โดยมี CB ป้องกันขนาด 80 AT , 200 AT , 250 AT  
และ 100 AT ตามลำดับ ที่แรงดัน 400 V

#### ดังรูปที่ 12.21

จงทำการ **Coordination** บริภัณฑ์ป้องกันในระบบ

84

### ตัวอย่างที่ 12.3 ( ต่อ )



รูปที่ 12.18 Single Line Diagram ของระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งที่ย้ายให้โหลดมอเตอร์

85

### ตัวอย่างที่ 12.3 ( ต่อ )

#### วิธีทำ

1. เขียนข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ลงบน Single Line Diagram
2. หากระแสลัดวงจรที่จุดต่าง ๆ ที่สำคัญจากข้อมูลในข้อ 1
3. หาขนาดและพิกัดของบริภัณฑ์ป้องกันเบื้องต้น และจากมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนด แล้วเขียนลงบน Single Line Diagram
4. ทำการปรับตั้งบริภัณฑ์ให้มี Selective กันอย่างเหมาะสม

86

### ตัวอย่างที่ 12.3 ( ต่อ )

- เนื่องจากมอเตอร์เป็นโหลด การทำการป้องกันระบบไฟฟ้าต้องพิจารณาลักษณะสมบัติของมอเตอร์ ( **Motor Profile** )
- ลักษณะการเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์ การป้องกันที่ดีจะต้องไม่ตัด วงจรในขณะที่เริ่มเดินเครื่องปกติ บริภัณฑ์ป้องกันโดยทั่วไปจะต้องอยู่เหนือกราฟลักษณะสมบัติของ มอเตอร์เสมอ

87

### ตัวอย่างที่ 12.3 ( ต่อ )

- จากข้อมูลต่าง ๆ ใน **Single Line Diagram** สามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้
  - ลักษณะสมบัติของมอเตอร์ ( **Motor Profile** )
  - ปกติหาข้อมูลได้จากผู้ผลิตมอเตอร์
- แต่หากไม่มีเราอาจหาได้คร่าว ๆ จากค่าดังต่อไปนี้
- กระแสฟัด ( $I_n$ ) = 205 A
- กระแสลือกโรเตอร์ ( $I_{LR}$ ) = 6  $I_n$  = 1230 A , 10 s
- กระแสพุ่งเข้าชั่วคราว ( $I_{Inrush}$ ) = 1.65  $I_{LR}$  = 2030 A

88

- จากข้อมูลทั้งสามเราสามารถหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์ได้ดังรูปที่ 12.19
- ค่า **Maximum Stall Time ( MST )** คือค่าเวลาสูงสุดที่มอเตอร์จะทนได้ เมื่อทำการล็อกโรเตอร์ไว้ในที่นี้ให้มีค่า **20 s**
- ค่าพิกัดกระแสผัดพร้อม สมมุติว่ามีค่า **10 kA**

89

- การป้องกันกระแสเกินตามมาตรฐาน วสท.  
ได้กำหนดไว้ให้ตั้งค่าไม่เกิน 250% ของกระแสพิกัด  
 $\text{Overcurrent Limit} = 2.5 I_n = 513 \text{ A}$
- การป้องกันโหลดเกินตามมาตรฐาน วสท.  
ตั้งค่าไม่เกิน 115% ของกระแสพิกัด  
จะได้ว่า  $\text{Overload Limit} = 1.15 I_n = 236 \text{ A}$

90

- ทำการปรับตั้ง **Motor Starter Overload Trip**

กราฟจะต้องตัดก่อนถึง **Overload Limit** และค่า **MST**

เพื่อป้องกันมอเตอร์เสียหาย แต่ต้องอยู่เหนือลักษณะ

ของ สมบัติของมอเตอร์ เลือกปรับตั้งที่ **225 A**

จะได้กราฟดังรูปที่ 12.19

91

- ทำการเลือก **CB**

ปกติจะใช้ขนาดประมาณ **175%** ของกระแสฟักัด

$$1.75 \times I_n = 1.75 \times 205 = 359 \text{ A}$$

ในที่นี้จึงเลือกขนาด **400 A** แบบ **Thermal – Magnetic**

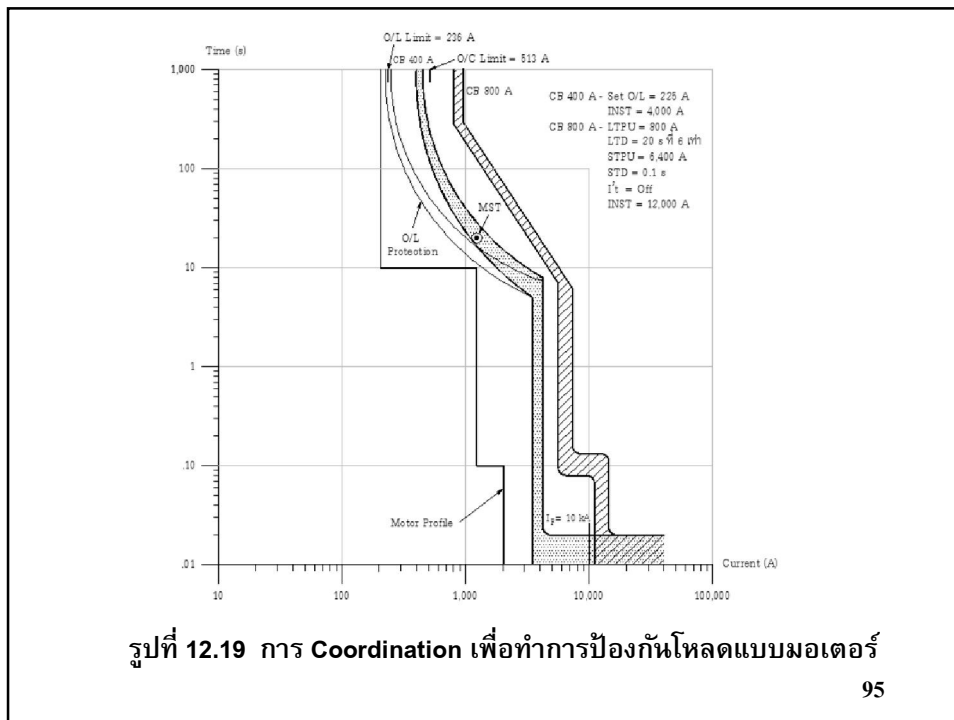
92

- นำกราฟของ **CB 400 A** มา Plot  
 ลงบนกระดาษกราฟ **Log-Log** กระแสกับเวลา  
 โดยจะต้องให้กราฟมี **Selective** กับลักษณะสมบัติมอเตอร์  
 แต่จะต้องตัดก่อนที่จะถึงค่า **Overcurrent Limit**
- และสามารถตรวจจับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ ( **10 kA** )

93

- ทำการปรับตั้ง **CB**ขนาด **800 A** ซึ่งเป็นแบบ **Solid-State**
- จะต้องอยู่เหนือลักษณะสมบัติของมอเตอร์  
 เพื่อไม่ให้ตัดวงจรขณะ เริ่มเดินเครื่องมอเตอร์
- ในขณะที่เดียวกันก็ต้องมี **Selective** กับ **CB** ขนาด **400 A**  
 โดยจะต้องไม่ตัดวงจรก่อนที่ **CB 400 A** ทำงาน  
 เมื่อเกิดกระแสผิดพลาดขึ้น
- ดังนั้นค่า **Instantaneous**  
 ปรับค่าที่ 15 เท่า =  $15 \times 800 = 12000$  หรือ **12 kA**  
 ดังรูปที่ 12.19

94



95

#### ตัวอย่างที่ 12.4 ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งจ่ายไฟให้สายประธาน

ผ่านหม้อแปลงขนาด 2000 kVA 22 kV/400-230 V

ต่อแบบ Delta-Wye ,  $\%U_k = 6$

ในระบบนี้การป้องกันหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิสามารถ

เลือกใช้ฟิวส์ หรือใช้รีเลย์ป้องกันกับ CB ก็ได้

ส่วนทางด้านทุติยภูมิใช้ CB ประธานป้องกัน

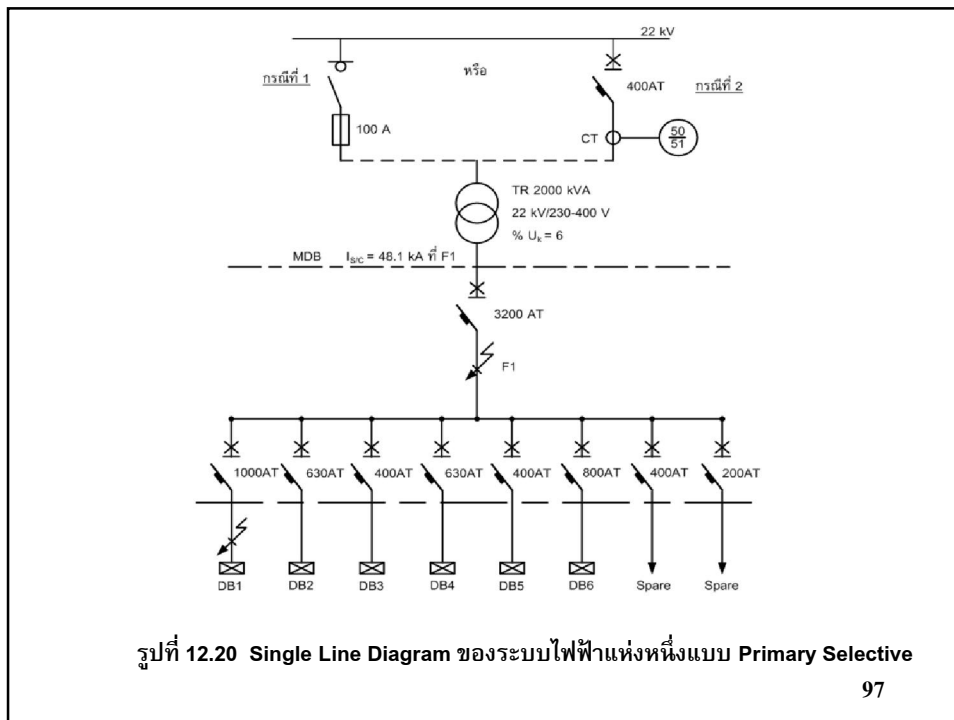
สายป้อน มี CB ขนาด 1000 A , 630 A , 400 A , 630 A ,

400 A และ 800A

ดังรูปที่ 12.20 จงทำการ Coordination ของระบบป้องกันนี้

96





97

1. เขียนข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ลงบน Single-Line Diagram
2. กำหนดกระแสลัดวงจรที่จุดต่าง ๆ ลงบน Single-Line Diagram
3. หาขนาดและพิกัดของบริภัณฑ์ป้องกันเบื้องต้นที่เลือกไว้ จากข้อมูลในข้อ 1 และข้อ 2 และจากมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้
4. ทำการปรับตั้งบริภัณฑ์ให้มี Selective กันอย่างเหมาะสม จาก Single Line Diagram ทำการ Coordination ได้ดังนี้

98

จาก Single Line Diagram ทำการ Coordination ได้ดังนี้

- ค่ากระแสพิกัดหม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำ

$$I_n (LV) = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 0.4} = 2886 \text{ A}$$

- ค่ากระแสพิกัดหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูง

$$I_n (HV) = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 22} = 52.5 \text{ A}$$

99

- ค่ากระแสพุ่งเข้าหม้อแปลง มีค่า =  $10 I_n$  จะได้

$$I_{inrush} = 10 \times 2886 = 28860 \text{ A ในเวลา } 0.1 \text{ s}$$

- ค่ากระแสลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ( F2 ) สมมุติว่าเป็น Infinite Bus จะได้ว่า

$$\begin{aligned} I_{sc} (LV) &= \frac{100}{\%U_k} I_n = \frac{100}{6} \times 2886 \\ &= 48100 \text{ A} = 48.1 \text{ kA} \end{aligned}$$

100

- ค่า Short Circuit Withstand Point มีค่า
  - =  $\frac{100}{6} I_n$
  - =  $100/6 \times 2886$
  - = **48.1 kA**
- แต่เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ Delta – Wye ต้องปรับค่าดังนี้
  - ค่า Short Circuit Withstand Point
  - =  $0.577 \times 48.1$
  - = **27.6 kA ที่เวลา 4 s**
- Transformer Limit ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้มีค่าไม่เกิน  $1.25 \times I_n = 3608 \text{ A}$

101

### กรณีที่ 1 ใช้ฟิวส์เป็นบริภัณฑ์ป้องกัน

ทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง

- เลือกขนาดและพิกัดของบริภัณฑ์เบื้องต้นทางด้านแรงดันต่ำ
  - เลือก CB ประธาน ควรมีขนาดไม่เกิน  $1.25 I_n$
  - =  $3608 \text{ A}$  ดังนั้นในที่นี้ จึงเลือก CB ขนาด **3200 AT**
- ทางด้านแรงดันสูง เลือกฟิวส์ ควรมีขนาดไม่เกิน 300 %
  - ในที่นี้ใช้ค่า  $1.5 \times I_n = 79 \text{ A}$
  - เลือกฟิวส์ ขนาด **80 A**

102

**กรณีที่ 1 (ต่อ)**

- ทำการปรับตั้ง CB สายป้อน ขนาด 1000 A  
( เนื่องจากมีขนาดใหญ่มาก ) ลงบนกราฟ Log – Log
- โดยจะต้องปรับตั้งค่าให้รับโหลดของสายป้อนได้  
และต้องตรวจจับกระแสผิดพ่วงที่สายป้อนได้  
( ซึ่งมีขนาดประมาณ = F1 )

103

- การปรับตั้งค่าเซอร์กิตเบรกเกอร์สายป้อน 1000A  
ซึ่งเลือกเป็นแบบ Solid State ดังนี้

Long – Time Pick Up	ปรับค่า 1 เท่าของกระแสพิกัด = $1 \times 1000 = 1000 \text{ A}$
Long – Time Delay	เลือกปรับค่าที่เวลา 2.5 s ที่กระแส 6 เท่า
Short – Time Pick Up	ปรับค่า 4 เท่าของกระแสพิกัด = $4 \times 1000 = 4000 \text{ A}$
Short – Time Delay	เลือกปรับค่าที่เวลา 0.1 s
I <sup>2</sup> t	OFF
Instantaneous	ปรับค่า 12 เท่าของกระแสพิกัด = $12 \times 1000 = 12000 \text{ A}$

104

- ทำการปรับตั้ง **CB** ประเภท ขนาด **3200 AT**  
ลงบนกราฟกระแส – เวลา
- โดยจะต้องปรับกราฟให้ตัดก่อนถึงค่า **Transformer Limit**  
ตามมาตรฐาน วสท. และต้องป้องกัน  
กระแสผิดพลาดทางด้านทุติยภูมิได้  
โดยเวลาที่ต้องเผื่อไว้ระหว่าง **CB** ทั้งสอง  
ปกติควรตั้งไว้อย่างต่ำ **100 ms** หรือ **0.1 s**

105

- ทำการปรับตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภท  
ขนาด **3200 A** ได้ดังนี้

**Long – Time Pick Up**   ปรับค่า 1 เท่าของกระแสพิกัด =  $1 \times 3200$   
= **3200 A**

**Long – Time Delay**   เลือกปรับค่าที่เวลา **2.5 s** ที่กระแส 6 เท่า

**Short – Time Pick Up**   ปรับค่า 4 เท่าของกระแสพิกัด =  $4 \times 3200$   
= **12800 A**

**Short – Time Delay**   เลือกปรับค่าที่เวลา **0.2 s**

**I<sup>2</sup>t**                           **OFF**

**Instantaneous**         ปรับค่า 15 เท่าของกระแสพิกัด  
=  $15 \times 3200 = 48000 \text{ A} = 48 \text{ kA}$

จะได้ดังรูปที่ 12.21

106

- เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ **Delta – Wye** หากเกิดกระแสผิดพ่วงทางด้าน  
 ทฤษฎีชนิด

**3 Ph Fault** กระแสทางด้านปฐมภูมิ และ ทฤษฎี  
 จะเห็นเป็นสัดส่วนเดียวกัน

**L-L Fault** กระแสทางด้านทฤษฎีปกติมีขนาด **0.866 ( 3 Ph Fault )**

กระแสทางด้านปฐมภูมิเส้นหนึ่งจะเห็นค่ากระแส

ขนาด = **3 Ph Fault**

ดังนั้น ในกรณีนี้บริภัณฑ์ป้องกัน

ทางด้านปฐมภูมิ เมื่อเห็น **3 Ph Fault** ก็อาจทำงาน

ในขณะที่บริภัณฑ์ทางด้าน ทฤษฎีเห็น

กระแส **0.866 ( 3 Ph Fault )** เท่านั้น จะยังไม่ทำงาน

107

- การ **Coordination** ที่ดี บริภัณฑ์ป้องกันทางด้านปฐมภูมิ  
 จะต้องไม่ทำงานก่อนบริภัณฑ์ทางด้านทฤษฎี  
 ดังนั้นจึงต้องมีการเผื่อกระแสไว้เล็กน้อย

$1 / 0.866 = 1.15$  เท่าของกระแสทางด้านทฤษฎี

ดังรูปที่ 12.24

108

- เลือกฟิวส์ขนาด 80 A เพื่อป้องกันด้านแรงสูง  
เลือกให้กราฟอยู่เหนือค่ากระแสพุ่งเข้า  
ในขณะเดียวกันก็ไม่ควรให้กราฟเกินจุด  
ค่า Short Circuit Withstand Point และควรมี  
Selective กับ CB ภาระงาน แต่เนื่องจากฟิวส์ขนาด 80 A  
ไม่ Selective กับ CB ด้านล่าง ( Downstream )  
ดังนั้นจึงต้องเลือกฟิวส์ขนาดใหญ่ขึ้นไปอีก ขนาด 100 A

ดังรูปที่ 12.21

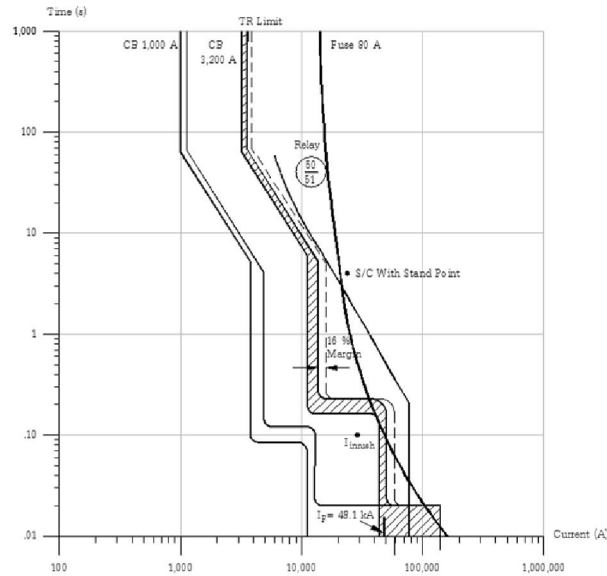
109

## กรณีที่ 2 ใช้รีเลย์และ CB ในการป้องกัน

ทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง

- CB ทางด้านแรงดันสูง สำหรับหม้อแปลง  $U_k = 6\%$   
เลือกขนาด CB =  $6 I_n = 315 \text{ A}$
- ในที่นี้จึงเลือก CB ขนาด 400 A
- เลือกหม้อแปลงกระแส เพื่อให้รีเลย์ตรวจจับสัญญาณ  
ควรมีขนาดอย่างต่ำ =  $1.25 \times I_n = 65.6 \text{ A}$
- ในที่นี้จึงเลือกขนาดหม้อแปลงกระแส ( CT )  
ขนาด 100 / 5 หรือ อัตรา 20 / 1
- ทำการปรับตั้งรีเลย์ป้องกัน

110



รูปที่ 12.21 การ Coordination เพื่อทำการป้องกันหม้อแปลงระบบ Primary Selective

111

**ตัวอย่างที่ 12.5** ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่ง เป็นระบบ

แบบ **Secondary Selective System** โดยจ่ายไฟ

ผ่านหม้อแปลงขนาด **2000 kVA** ,

**22 kV/400-230 V** ต่อแบบ **Delta – Wye** ,

$\%U_k = 6\%$  จำนวน **2** ลูก

ในระบบนี้การป้องกันหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูง

สามารถเลือกใช้ฟิวส์ป้องกัน หรือใช้รีเลย์กับ **CB** ป้องกันก็ได้

ส่วนด้านแรงดันต่ำใช้ **CB** ปรระธานป้องกัน

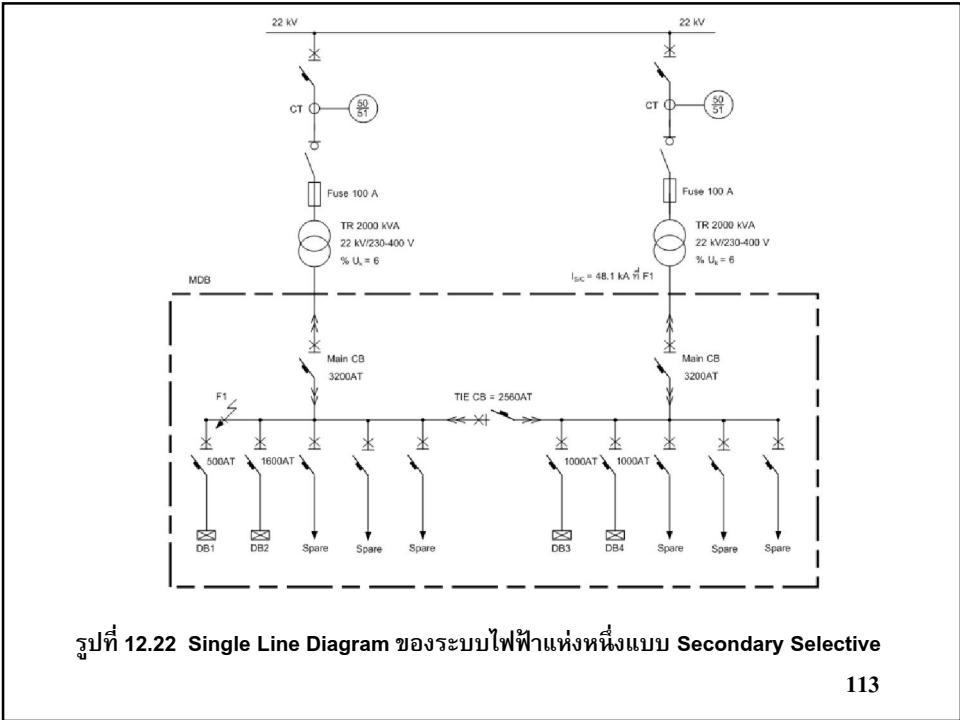
สายป้อนจะมี **CB** ขนาด **500 AT** , **1600 AT** , **1000 AT**

และ **1000 AT** ป้องกันตามลำดับ

ดังรูปที่ **12.22**

112





1. เขียนข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ลงบน Single-Line Diagram
2. กำหนดกระแสลัดวงจรที่จุดต่าง ๆ  
ลงบน Single-Line Diagram
3. หาขนาดและพิกัดของบริภัณฑ์ป้องกันเบื้องต้น  
ที่เราเลือกไว้ จากข้อมูลในข้อ 1 และข้อ 2 และ  
จาก มาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้
4. ทำการปรับตั้งบริภัณฑ์ให้มี Selective กันอย่างเหมาะสม

- จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าในตัวอย่างนี้  
มีลักษณะคล้ายกับตัวอย่างที่แล้ว
- เพียงแต่ในระบบนี้มีการจ่ายไฟแบบ **Secondary Selective**  
จึงต้องมีการติดตั้ง **CB ( Tie CB )** เพิ่มขึ้นมา
- เนื่องจากหากการจ่ายไฟด้านใดด้านหนึ่งของระบบ  
ไม่ทำงาน ก็จะสามารถจ่ายไฟผ่านอีกด้านหนึ่ง  
ของระบบ โดยทำการ **ON Tie CB**  
เพื่อให้ระบบยังคงจ่ายไฟต่อไปได้ ทำให้เพิ่ม  
ความเชื่อถือได้ของระบบได้กว่า  
แบบ **Primary Selective ( ดังตัวอย่างที่แล้ว )**

115

- ค่ากระแสพิกัดหม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำ  
$$I_n ( LV ) = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 0.4} = 2886 \text{ A}$$
- ค่ากระแสพิกัดหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูง  
$$I_n ( HV ) = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 22} = 52.5 \text{ A ที่แรงดัน } 22 \text{ kV}$$
- ค่ากระแสพุ่งเข้าหม้อแปลง มีค่า =  $10 I_n$  จะได้  
$$I_{inrush} = 10 \times 2886 = 28860 \text{ A ในเวลา } 0.1 \text{ s}$$

116

- ค่ากระแสลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ( F1 ) สมมติว่าเป็น Infinite Bus จะได้ว่า

$$I_{sc} (LV) = 48.1 \text{ kA}$$

- ค่า Short Circuit Withstand Point

$$\begin{aligned} \text{มีค่า} &= \frac{100}{6} I_n \\ &= 48.1 \text{ kA} \end{aligned}$$

แต่เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ Delta – Wye ต้องปรับค่าดังนี้

$$\text{ค่า Short Circuit Withstand Point} = 0.577 \times 48.1$$

$$= 27.8 \text{ kA ที่เวลา 4 s}$$

- Transformer Limit ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้มีค่าไม่เกิน

$$1.25 I_n = 3608 \text{ A}$$

117

กรณีที่ 1 ใช้ฟิวส์เป็นบริภัณฑ์ป้องกัน

ทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง

- เลือกขนาดและพิกัดของบริภัณฑ์เบื้องต้น  
ในทำนองเดียวกับตัวอย่างที่แล้ว
- ดังนั้นจะได้ว่าทางด้านแรงดันต่ำ  
เลือก CB ประธาน = 3200 AT

118

### กรณีที่ 1 ใช้ฟิวส์เป็นบริภัณฑ์ป้องกัน

ทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง

- ทางด้านแรงดันสูง เลือกฟิวส์ = 80 A
- ปรับตั้ง CB สายป้อน ขนาด 1600 A  
( เนื่องจากมีขนาดใหญ่สุด ) ลงบนกราฟ Log – Log
- ต้องปรับตั้งค่าให้รับโหลดของสายป้อนได้
- และต้องตรวจจับกระแสผิดพลาดที่สายป้อนได้ ( F1 )  
ในที่นี้สมมุติให้หาได้ขนาดประมาณ 20 kA

119

- ดังนั้นทำการปรับตั้งค่า CB สายป้อน 1600 A  
ซึ่งเลือกเป็นแบบ Solid State ดังนี้

Long – Time Pick Up = 1 x 1600 = 1600 A

Long – Time Delay เลือกปรับค่าที่เวลา 2.5 s  
ที่กระแส 6 เท่า

Short – Time Pick Up = 4 x 1600 = 6400 A

Short – Time Delay เลือกปรับค่าที่เวลา 0.1 s

I<sup>2</sup>t OFF

Instantaneous = 10 x 1600 = 16000 A

120

- ในการเลือก Tie CB และ CB ประธาน โดยปกติควรเลือกให้มีขนาด Ampere Frame ( AF ) เท่ากัน เพื่อให้สามารถทำงานแทนกันได้ในกรณีที่มีบริภัณฑ์ตัวใดตัวหนึ่งเสีย
- แต่จะต้องปรับตั้งให้ Tie CB ทำงานก่อน CB ประธาน ( โดยปกติจะตั้งค่าประมาณ 60–80% ของ AT )  
ในขณะเดียวกันก็ต้องมี Selective กับ CB  
สายป้อนด้านล่าง ด้วย

121

- การปรับตั้งดังนี้

Long – Time Pick Up	=	0.8 x 3200 = 2560 A
Long – Time Delay		เลือกปรับค่าที่เวลา 2.5 s ที่กระแส 6 เท่า
Short – Time Pick Up	=	3 x 3200 = 9600 A
Short – Time Delay		เลือกปรับค่าที่เวลา 0.2 s
I <sup>2</sup> t		OFF
Instantaneous		10 x 3200 = 32000 A

122

- ทำการปรับตั้ง CB ประธาน ขนาด 3200 AT  
โดยจะต้องปรับกราฟให้ตัดก่อนถึงค่า Transformer Limit

ตามมาตรฐาน วสท. และต้องป้องกันกระแสผัดพว่อง  
ทางด้านทุติยภูมิได้โดยเวลาที่ต้องเผื่อไว้  
ระหว่าง CB ทั้งสอง ปกติควรตั้งไว้  
อย่างต่ำ 100 ms หรือ 0.1 s เช่นกัน

123

- การปรับตั้ง CB ประธาน ขนาด 3200 A ได้ดังนี้

Long – Time Pick Up	= 1 x 3200 = 3200 A
Long – Time Delay	เลือกปรับค่าที่เวลา 2.5 s ที่กระแส 6 เท่า
Short – Time Pick Up	= 4 x 3200 = 12800 A
Short – Time Delay	เลือกปรับค่าที่เวลา 0.3 s
I <sup>2</sup> t	OFF
Instantaneous	= 12 x 3200 = 38400 A

124

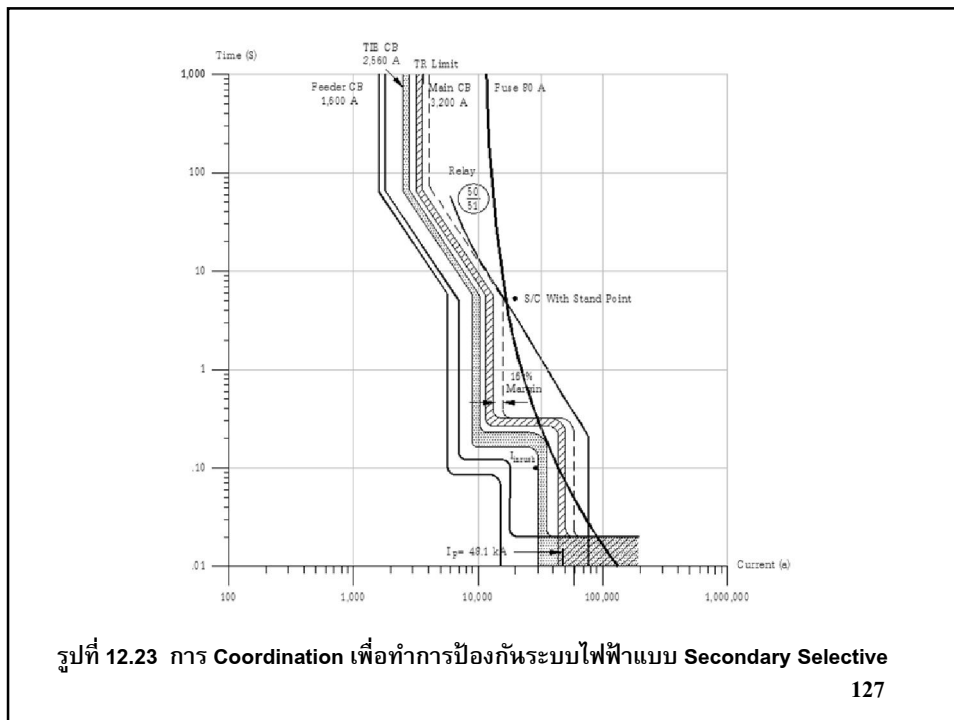
จะได้ดังรูปที่ 12.25

- ในทำนองเดียวกับตัวอย่างที่แล้ว สามารถปรับตั้งค่าฟิวส์ หรือ รีเลย์กับ CB เพื่อป้องกันหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูง
- เลือกกราฟให้อยู่เหนือกระแสพุ่งเข้า ในขณะเดียวกัน ต้องไม่ให้กราฟเกินจุด **Short Circuit Withstand Point** และควรมี **Selective** กับ CB ประธาน

125

- เลือกฟิวส์ขนาด **100 A**  
เลือก CB ขนาด **400 A**  
เลือก CT ขนาด **100 / 5**
- เลือกปรับตั้งรีเลย์

126



127

ตัวอย่างที่ 12.6 ให้ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่ง จ่ายไฟให้กับโหลดโดย

มี CB ขนาด 3000 A ป้องกันสายประธาน

ซึ่งสายประธานดังกล่าวจ่ายไฟให้กับสายป้อน

โดยมี CB ขนาด 500 A , 600 A , 1200 A , 600 A ,

และ 800 A ป้องกันสายป้อนตามลำดับ

นอกจากนี้ยังมีวงจรรย่อยต่อจากสายป้อนอีกที่

โดยมี CB ขนาดใหญ่สุด 100 AT ป้องกันวงจรรย่อย

ดังรูปที่ 12.24

จงทำการ Coordination การป้องกันลัดวงจรลงดิน

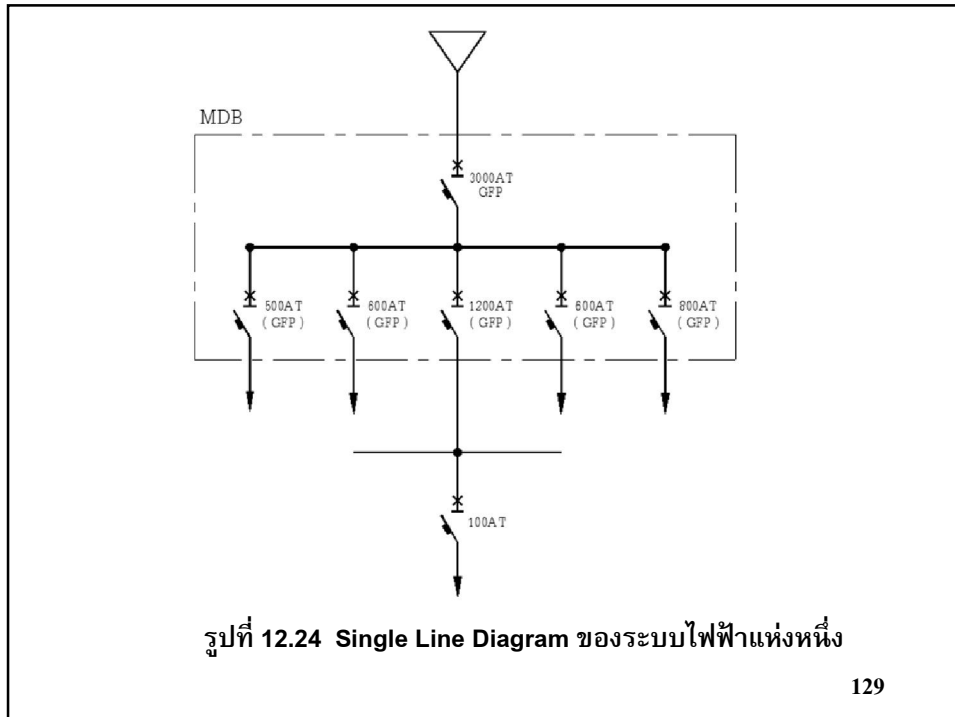
( Ground Fault Protection : GFP ) ของระบบไฟฟ้าแห่งนี้

โดย กรณีที่ 1 มี GFP ที่วงจรรประธานเท่านั้น

กรณีที่ 2 มี GFP ที่วงจรรประธานและสายป้อน

128





129

1. เขียนข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ลงบน Single Line Diagram
2. หากระแสลัดวงจรลงดินจากข้อมูลในข้อ 1
3. ทำการปรับตั้งบริภัณฑ์ให้มี Selective กันอย่างเหมาะสม

จากระบบดังกล่าวข้างต้น

- CB ประธาน 3000 A

CB สายป้อน 1200 A

และ CB สาขา 100 A เป็น CB แบบ Thermal – Magnetic

ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงาน Long Time และ Instantaneous

ป้องกันการลัดวงจรในสายเฟส

ดังรูปที่ 12.25

130

**กรณีที่ 1** มีการป้องกันการลัดวงจรลงดิน  
ที่วงจรประธานเท่านั้น

- เนื่องจาก **CB** สายป้อน ไม่มีการป้องกัน **Ground Fault**
- แต่ **CB** สายป้อนเองก็สามารถป้องกัน  
การลัดวงจรลงดินได้ หากว่า  
กระแสลัดวงจรลงดินมีค่ามากกว่า พิกัดของ **CB**

131

**กรณีที่ 1** มีการป้องกันการลัดวงจรลงดิน  
ที่วงจรประธานเท่านั้น ( ต่อ )

- จะเห็นได้ว่า ในที่นี้หาก **CB**สายป้อนขนาด **1200 A**  
( ซึ่งเป็นขนาดใหญ่สุด ) มีการเลือกขนาดและปรับตั้ง  
ดังรูปที่ 12.28
- ถ้าต้องการ **GFP** ให้ **Fully Selective** จะต้องตั้ง  
**Ground Fault Pick Up** มากกว่า **6000 A**  
ซึ่งมากกว่า **Instantaneous** ของ **CB** สายป้อน

132

### กรณีที่ 1 ( ต่อ )

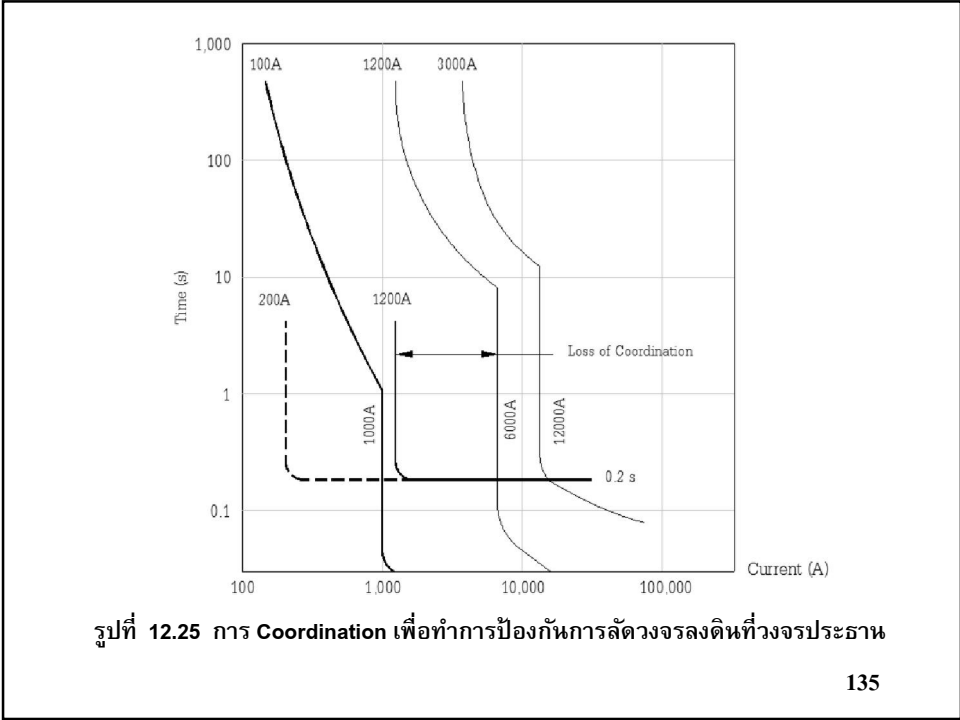
- แต่ เนื่องจากการเกิดการลัดวงจรลงดิน  
ปกติมีขนาดกระแสห้อย  
( โดยเฉพาะ Arcing Ground Fault )
- ดังนั้น การปรับตั้งการป้องกันการลัดวงจรลงดิน  
ที่กระแส สูง ๆ จึงไม่ปลอดภัย

133

### กรณีที่ 1 ( ต่อ )

- ในการปรับตั้งควรปรับตั้งที่ค่ากระแสต่ำ ๆ  
ในที่นี้จึงเลือกปรับตั้งที่ กระแส 200 A  
โดยหน่วงเวลาไว้ที่ 0.2 s  
ดังรูปที่ 12.25

134



รูปที่ 12.25 การ Coordination เพื่อทำการป้องกันการลัดวงจรลงดินที่วงจรประธาน

- จากรูป จะเห็นได้ว่าการปรับตั้งดังกล่าว แม้จะสามารถป้องกันกระแส ผิดพ่วงลงดินขนาดต่ำ ๆ ได้ดีมาก แต่ก็ทำให้เสียการ Coordination ไป กล่าวคือ หากเกิดกระแสผิดพ่วงลงดินที่ A จะเสียการ Coordination ช่วงกระแสขนาด 200 – 1000 A
- และที่ B จะเสียการ Coordination ช่วงกระแสขนาด 200 – 6000 A เช่นกัน

- ดั้งนั้น อาจทำการปรับตั้งใหม่ให้กระแสมากขึ้น  
ในที่นี้ปรับตั้งที่กระแส 1200 A หน่วงเวลา 0.2 s  
จะทำให้มีการ **Coordination** ดีขึ้น คือ  
จะเสียการ **Coordination** ช่วงกระแส 1200 – 6000 A  
แต่ **GFP** จะไม่สมบูรณ์ กล่าวคือถ้ากระแสผิดปกติพร้อม  
ลงดินน้อย กว่านี้ก็จะมีไม่ทำงาน  
ดังรูปที่ 12.25

137

- จะเห็นได้ว่า การที่มี **GFP** ที่วงจรประธานอย่างเดียว  
จะให้การป้องกัน ที่ไม่ดี  
  
เนื่องจากหากปรับตั้งต่ำไปก็จะเสียการ **Coordination**  
แต่หากปรับตั้งสูงไปก็จะไม่ทำงานเมื่อกระแสผิดปกติพร้อม  
มีค่าต่ำ ๆ

138

**กรณีที่ 2** มีการติดตั้งการป้องกันการลัดวงจรลงดิน  
ที่วงจรประธาน และสายป้อน

- ในกรณีนี้จะเป็นการป้องกันการลัดวงจรลงดินที่ดีกว่า  
ในกรณีแรก เนื่องจาก **CB** ประธาน  
สามารถ **Fully Coordination** กับ **CB** สายป้อนได้

139

**กรณีที่ 2** มีการติดตั้งการป้องกันการลัดวงจรลงดิน  
ที่วงจรประธาน และสายป้อน

- ในที่นี้ **CB** ประธาน ปรับตั้งกระแส **400 A**  
หน่วงเวลา **0.3 s**
- และ **CB** สายป้อน ปรับตั้งกระแส **200 A**  
หน่วงเวลา **0.1 s**  
ดังรูปที่ 12.26

140

**กรณีที่ 2** มีการติดตั้งการป้องกันการลัดวงจรลงดิน  
ที่ วงจรประธาน และสายป้อน

- โดยทั้ง **CB** ประธาน และ **CB** สายป้อน  
สามารถปรับตั้งค่า **Pick Up** ให้ต่ำ ๆ ได้  
ทำให้เกิดระบบ **GFP** ดีขึ้น  
สามารถป้องกัน **Arcing Ground Fault** ได้

141

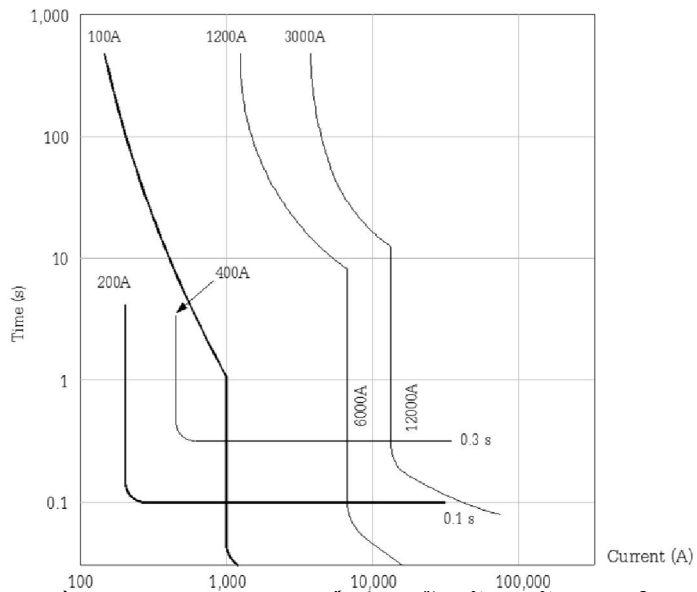
**กรณีที่ 2 ( ต่อ )**

- แต่ในระบบนี้ก็ยังคงมีการเสีย **Coordination** ที่สายป้อน  
กับวงจรย่อย
- มีการเสีย **Coordination** ในช่วงกระแส  
ขนาด **200 – 1000 A**
- กล่าวคือ **CB** สายป้อน จะตัดวงจรก่อน **CB** วงจรย่อย  
หากกระแสลัดวงจรลงดินเกิดอยู่ในช่วงดังกล่าว

142

**กรณีที่ 2 ( ต่อ )**

- ดังนั้น หากต้องการให้มี GFP ที่สมบูรณ์ จะต้องให้มี GFP ทั้งวงจรประธาน สายป้อน และ วงจรย่อย
- และค่าปรับตั้งของ GFP ที่วงจรย่อยควรตั้งค่าต่ำ ๆ เช่น อาจตั้งค่าประมาณ 5 – 15 A ที่เวลาทำงานแบบ Instantaneous เป็นต้น



รูปที่ 12.26 การ Coordination เพื่อทำการป้องกันการลัดวงจรลงดิน ที่วงจรประธานและสายป้อน



### คำถามท้ายบท

1. ระบบป้องกันไฟฟ้า แบ่งได้กี่ประเภท อะไรบ้าง  
จงอธิบายพอสังเขป
2. สิ่งที่เป็นเงื่อนไขในการทำ **Coordination** ได้แก่อะไรบ้าง
3. ในการทำ **Coordination** โหลดมอเตอร์  
ต้องคำนึงถึงอะไรบ้าง
4. จงเขียนลักษณะสมบัติของมอเตอร์ขนาด **150 kW**  
อย่างคร่าว ๆ ที่ **400 V** โดยให้  $I_{LR}$  ทนได้นาน **10 s**  
มอเตอร์มีประสิทธิภาพ **90 %**  
และมีตัวประกอบกำลัง **0.8**

145

### คำถามท้ายบท...(ต่อ)

5. ในการทำ **Coordination** ป้องกันหม้อแปลง  
สิ่งที่ต้องพิจารณาได้แก่อะไรบ้าง
6. เพราะเหตุใดในปัจจุบัน เซอร์กิตเบรกเกอร์จึงนิยม  
ใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้า แทนที่ฟิวส์
7. จงอธิบายฟังก์ชันการทำงานและการปรับตั้งของ  
เซอร์กิตเบรกเกอร์ แบบ **Solid-State** มาพอเข้าใจ  
พร้อมวาดรูป ลักษณะสมบัติกระแส-เวลา ประกอบด้วย
8. เพราะเหตุใดในปัจจุบันเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ  
**Solid-State** จึงนิยมใช้มากกว่า **Thermal – Magnetic**

146

### คำถามท้ายบท...(ต่อ)

9. จงอธิบายหลักการทำงานของรีเลย์ป้องกันกับ เซอร์คิตเบรกเกอร์ที่ระดับแรงดันสูง
10. เวลาที่ควรเผื่อในการ **Coordination** ระหว่างแรงดันสูงกับ แรงดันต่ำ แตกต่างกันอย่างไร มีค่าเท่าไร
11. การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่สายประธานอย่างเดียว มีปัญหาอย่างไร
12. การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่ดี ควรปรับตั้ง อย่างไรบ้าง