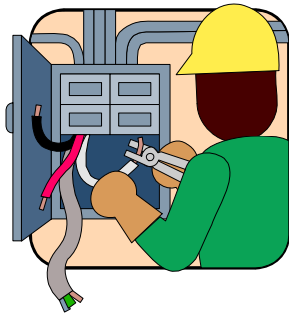
บทที่ 5
บริภัณฑ์ไฟฟ้า



5.1 บทนำ

ในการออกแบบระบบไฟฟ้านั้น

- ผู้ออกแบบจะต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของบริภัณฑ์ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเลือกบริภัณฑ์เหล่านั้นได้ถูกต้อง

บริภัณฑ์ไฟฟ้าแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าได้เป็น

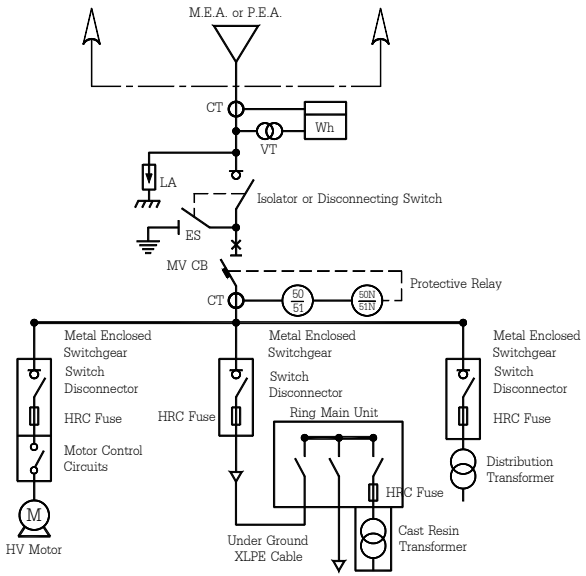
1. บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันสูง (HV Equipment) แรงดันสูงกว่า 36 kV
2. บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (MV Equipment) แรงดัน 1 kV ถึง 36 kV
3. บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ (LV Equipment) แรงดันน้อยกว่า 1 kV

5.2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง

บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลางที่สำคัญได้แก่

1. กับดักฟ้าผ่า (Lightning Arresters)
2. สวิตช์ปลดวงจร (Disconnectors หรือ Disconnecting Switches)
3. สวิตช์ต่อลงดิน (Earthing Switches)
4. ฟิวส์แรงดันสูง (High Voltage High Rupturing Capacity Fuses)
5. สวิตช์สำหรับตัดโหลด (Switch Disconnectors หรือ Load Break Switches)
6. หม้อแปลงบริภัณฑ์ (Instrument Transformers)
7. รีเลย์ป้องกัน (Protective Relays)

8. เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breakers)
9. คอนแทกเตอร์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Contactors)
10. สวิตช์เกียร์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Switchgears)
11. ริงเมนยูนิต (Ring Main Units)
12. หม้อแปลง (Transformers)



รูปที่ 5.1 Single Line Diagram ของ ระบบ MV

5.3 กับดักฟ้าผ่า (Lightning Arresters : LA)

Lightning Arresters (LA)

- **เป็นบริภัณฑ์สำหรับป้องกันแรงดันเกิน (Overvoltage) ซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่า (Lightning) หรือการปิดเปิดวงจร (Switching Surge)**
- **ที่แรงดันปกติ LA จะมีอิมพีแดนซ์สูงมาก ดังนั้นกระแสรั่วไหล (Leakage Current) จึงมีค่าน้อย**
- **เมื่อเกิดแรงดันเกินอิมพีแดนซ์ของ LA จะมีค่าต่ำกระแสฟ้าผ่า (Lightning Current) ไหลลงดิน**

∴ บริภัณฑ์ที่ต่ออยู่หลัง LA จะไม่ได้รับอันตราย

LA ที่มีใช้อยู่อาจแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. Spark Gap Arrester

LA ประกอบด้วยตัวต้านทานที่ขึ้นกับแรงดันแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Varistor) ต่ออนุกรมกับ Spark Gap โดยปกติแล้ว Varistor มักทำจากสารซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) LA เรียกว่า SiC-Arrester และ เนื่องจาก LA แบบนี้เป็นแบบเก่าจึงนิยมใช้น้อยลง

2. Arrester Without Spark Gap

LA ประกอบด้วยชั้นของตัวต้านทานโลหะออกไซด์ที่มีลักษณะขึ้นกับแรงดันแบบไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก (Strongly Non-linear Voltage-dependent) วัสดุโลหะออกไซด์ที่ใช้โดยทั่วไปคือออกไซด์ของสังกะสี (Zinc Oxide ; ZnO) LA แบบนี้จึงนิยมเรียกว่า MO-Arrester หรือ ZnO Arrester โดย LA แบบนี้เป็นแบบใหม่ และกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น

การเลือกใช้งาน

โดยพิจารณาค่า

1. ระดับแรงดันและลักษณะการต่อลงดิน
2. พิกัดกระแส Discharge

สำหรับระบบไฟฟ้าในประเทศไทยการต่อลงดินโดยตรง (Solidly Ground) เลือกพิกัดดังข้อมูลด้านล่าง

- แรงดันระบบ 11-12 kV ใช้พิกัดแรงดันของ LA 9 kV
- แรงดันระบบ 22-24 kV ใช้พิกัดแรงดันของ LA 21 kV
- แรงดันระบบ 33 kV ใช้พิกัดแรงดันของ LA 30 kV
- แรงดันระบบ 69 kV ใช้พิกัดแรงดันของ LA 60 kV

พิกัดกระแส Discharge ของ LA ทั่วไปมี 2 แบบ คือ

1. LA ที่ใช้กับระบบจำหน่ายทั่วไป (Distribution Type) ใช้พิกัด 5 kA
2. LA ที่ใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation Type) ใช้พิกัด 10 kA

5.4 สวิตช์ปลดวงจร (Disconnectors or Disconnecting Switches : DS)

- Disconnectors หรือ Disconnecting Switches (DS) คือ บริภัณฑ์ที่ใช้ในการตัดวงจรไฟแรงสูงขณะไม่มีโหลด
  1. เปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้าแรงสูง ขณะที่กระแสไฟมีค่าน้อยมาก กระแสดังกล่าวอาจเป็นกระแสของหม้อแปลงกระแส (CT) หรือ กระแสคาปาซิตีฟ (Capacitive Current) ของบุสชิ่งบัสบาร์ (Bushing Busbar) เป็นต้น
  2. เมื่อเปิดวงจรแล้วจะทำให้เกิดระยะห่าง (Isolating Distance) ระหว่างแต่ละขั้ว ซึ่งให้ความปลอดภัยสำหรับป้องกันบุคคลและบริภัณฑ์ต่าง ๆ

DS มีกลไกการทำงาน (Operating Mechanism) ได้หลายแบบ คือ

1. ใช้มือหมุน (Manually Operated)
2. ใช้มอเตอร์ (Motor Operated)
3. ใช้ลม (Pneumatic Drive)

เพื่อความปลอดภัยและป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน DS จะต้องมี Interlock กับบริภัณฑ์อื่นๆ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตช์ต่อลงดิน เป็นต้น

การเลือกใช้งาน

ในการเลือก DS จะต้องคำนึงถึงพิกัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. พิกัดแรงดัน (Rated Voltage)
2. ค่า BIL (Basic Impulse Insulation Level)
3. พิกัดกระแส (Rated Normal Current)
4. พิกัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Current)

5.5 สวิตช์ต่อลงดิน (Earthing Switches : ES)

Earthing Switches (ES) เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงสูง

- สำหรับต่อส่วนโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้าลงดิน เพื่อความปลอดภัยในการบำรุงรักษา
- ES สามารถทนกระแสขณะเกิดลัดวงจรได้
- โดยจะทำงานร่วมกับ DS และมี Interlock ระหว่างกัน

การเลือกใช้งาน

พิกัดที่ต้องคำนึงถึงในการเลือก ES ได้แก่

1. พิกัดแรงดัน (Rated Voltage)
2. ค่า BIL (Basic Impulse Level)
3. พิกัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Current)

5.6 ฟิวส์แรงดันสูง (High Voltage High Rupturing Capacity Fuses : HV HRC Fuses)

- สำหรับป้องกันบริภัณฑ์และระบบไฟฟ้า
- ใช้ป้องกันบริภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น
  - หม้อแปลงไฟฟ้า
  - คาปาซิเตอร์
  - มอเตอร์
  - หม้อแปลงแรงดัน
  - สายเคเบิล

- HV HRC Fuses ประกอบด้วย
  - ฟิวส์ลิงค์หลายเส้นต่อขนานกันภายในสารที่ใช้ดับอาร์ก
  - ภายนอกทำด้วย Porcelain
  - ฟิวส์บางรุ่นจะมี Striker Pin
  - Striker Pin เป็นกลไกนี้สามารถใช้ขับเคลื่อนทำให้ฟิวส์ทำงานหรือไปทำให้สวิตช์สำหรับตัดโหลด (Switch Disconnector) เปิดวงจรโดยอัตโนมัติได้

รูปที่ 5.2 รูปลักษณะของ HV HRC Fuses

การเลือกใช้งาน

พิกัดที่สำคัญสำหรับเลือก HV HRC Fuses ก็คือ

1.พิกัดแรงดันใช้งานสูงสุด (Maximum Operating Voltage Rating)

2. พิกัดกระแสต่อเนื่อง (Continuous Current Rating)

3. พิกัดกระแสลัดวงจร (Short Circuit Current Rating)

4. การทำงานประสานกัน (Selectivity)

5. กระแสเริ่มเดินเครื่อง (Starting Current , Starting Time) ในกรณีใช้กับมอเตอร์

ขนาดของฟิวส์ตามพิกัดกระแสมีดังนี้

แรงดันพิกัด 22 - 24 kV

กระแสพิกัด 6 , 10 , 16 , 20 , 25 , 32 , 40 , 50 , 63 , 80 , 100 , 125 , 160A ฟิวส์ขนาด 442 mm

กระแสพิกัด 100 , 125 , 160 , 200 A ฟิวส์ขนาด 537 mm

พิกัดกระแสลัดวงจร 31.5 kA

5.7 สวิตช์สำหรับตัดโหลด (Switch Disconnectors or Load Break Switches : SD)

- Switch Disconnectors (SD) เป็น On Load Switches คือเป็นบริภัณฑ์ซึ่งสามารถตัดกระแสโหลดได้และสามารถทำให้เกิดระยะห่าง (Isolating Distance) ในขณะเปิดวงจรได้

SD สามารถนำไปใช้งานในการตัดต่อวงจรต่อไปนี้

ขณะปกติ

1. ตัดต่อกระแสโหลดจนถึงกระแสพิกัดได้ (ตัวประกอบกำลัง 0.7)
2. ตัดต่อหม้อแปลงขณะมีโหลดเต็มที่ หรือ ไม่มีโหลด
3. ตัดต่อคาปาซิเตอร์
4. ตัดต่อสายส่งขณะมีโหลดและไม่มีโหลด
5. ตัดต่อวงจรมอเตอร์

ขณะเกิดลัดวงจร

1.สามารถปิดวงจรขณะลัดวงจร

2. สามารถตัดวงจรเมื่อเกิดการผิดพร่องลงดิน (Earthing Fault) ได้

3. สามารถตัดวงจรออกได้หลังจากที่ HV HRC Fuses ทำงาน

โครงสร้าง

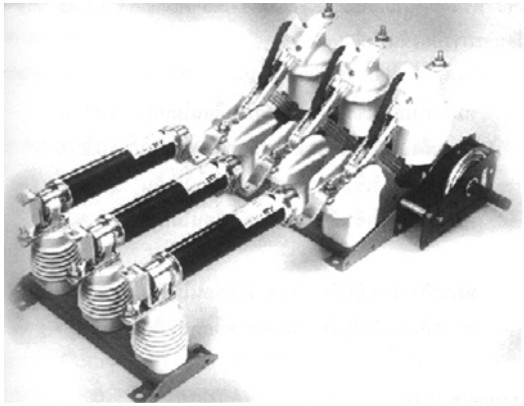
SD จะต้องมีวิธีการดับอาร์ก เพราะต้องตัดกระแสสูง การดับอาร์กอาจทำงานได้โดยมีตัวกลางหลายแบบ เช่น

1. อากาศ (Air)
2. สูญญากาศ (Vacuum)
3. ก๊าซ (SF6)

การเลือกใช้งาน

การเลือก SD ต้องคำนึงถึงพิกัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การฉนวน โดยดูจากค่า BIL และการทนแรงดันที่ความถี่กำหนด
2. พิกัดแรงดัน
3. พิกัดกระแสใช้งานต่อเนื่อง (Rated Operating Current)
4. พิกัดกระแสตัดวงจร (Rated Breaking Current)
5. พิกัดกระแสลัดวงจรตอนปิดวงจร (Rated Short Circuit Making Current)



รูปที่ 5.3 Switch Disconnectors or Load Break Switches

5.8 หม้อแปลงเครื่องวัด (Instrument Transformers)

เครื่องวัดที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันสูง หรือกระแสสูง ให้เป็นค่ามาตรฐานของแรงดันต่ำและกระแสต่ำเพื่อใช้ใน การวัดและการป้องกัน

หม้อแปลงเครื่องวัด (Instrument Transformers) มี 2 แบบ

1. หม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformers)
2. หม้อแปลงกระแส (Current Transformers

Voltage Transformers (VT)

เป็นหม้อแปลงซึ่งแปลงแรงดันสูงเป็นแรงดันต่ำ เพื่อใช้ในการวัดและการป้องกัน

การเลือกใช้งาน

พิกัดที่ต้องพิจารณามีดังนี้

1. พิกัดกำลังไฟฟ้า หรือ Burden คิดเป็น VA (10 , 15 , 25 , 50 , 75 , 100 , 150 , 200 VA)
2. พิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ (Primary) (ใช้ตามพิกัดแรงดันของระบบ)
3. พิกัดแรงดันทางด้านทุติยภูมิ (Secondary) (100 , 110 , 120 หรือ $\frac{100}{\sqrt{3}}$, $\frac{110}{\sqrt{3}}$, $\frac{120}{\sqrt{3}}$ V)
4. Permissible Voltage Stress VT จะสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่แรงดัน 1.2 V_n V_n คือแรงดันด้านปฐมภูมิ (Primary)
5. Limit of Error ค่านี้จะขึ้นกับ Accuracy Class โดย Accuracy Class ของ VT แบ่งเป็น Class สำหรับการวัดและการป้องกันดังนี้

VT สำหรับการวัด

1. Class 0.1 หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 %
2. Class 0.2 หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 %
3. Class 0.5 หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 %
4. Class 1 หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 %

VT สำหรับการป้องกัน

1. Class 3P หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 %
2. Class 6P หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 6 %

Current Transformers (CT) มี 2 แบบ

1. Bar Type ด้านปฐมภูมิ (Primary) จะมีขดลวดผ่านเพียง 1 รอบ
2. Wound Type ด้านปฐมภูมิ (Primary) จะมีขดลวดจำนวนหลายรอบ

Measuring Core

- ค่าแฟคเตอร์การอิ่มตัว (Saturation Factor) น้อย ๆ (n<5 หรือ n<10) เพื่อป้องกันบริภัณฑ์
- Class ต่าง ๆ ซึ่งบอกถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน โดยจะแบ่งเป็น Class 0.1 , 0.2 , 0.5 , 1 , 3

Protection Core

- มี Saturation Factor (n) มากกว่า 5 หรือมากกว่า 10 กระแสทางด้านทุติยภูมิ
- จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกับกระแสทางด้านปฐมภูมิ และจะถูกจำกัดเมื่อเกิดกระแสเกินมีค่ามากเท่านั้น
- Protection Core นิยมระบุเป็น Class ต่าง ๆ ซึ่งบอกถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน โดยจะแบ่งเป็น Class 5P , 10P

Class 5P10 จะหมายถึงว่าที่ค่ากระแส 10 เท่าของค่ากระแสพิกัด ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจะไม่เกิน 5 %

$\pm$

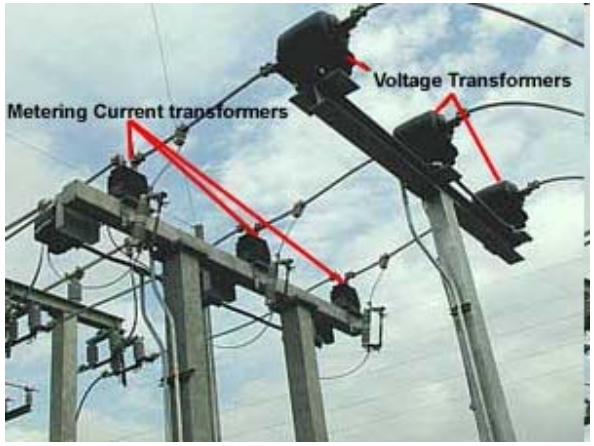
การเลือกใช้งาน

พิกัดที่ต้องพิจารณามีดังนี้

1. พิกัดกำลังไฟฟ้า หรือ Burden คิดเป็น VA (2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 15 , 30 , 40 , 60 VA)
2. พิกัดกระแสทางด้านปฐมภูมิ (100 , 150 , 200 , 250 , 300 , 400 , 500 , 600 , 800 , 1,000 , 1,500, 2,000 , 2,500 , 4,000 , 5,000 , 6,000 A)
3. พิกัดกระแสทางด้านทุติยภูมิ (1 A หรือ 5 A)
4. พิกัดกระแสลัดวงจร

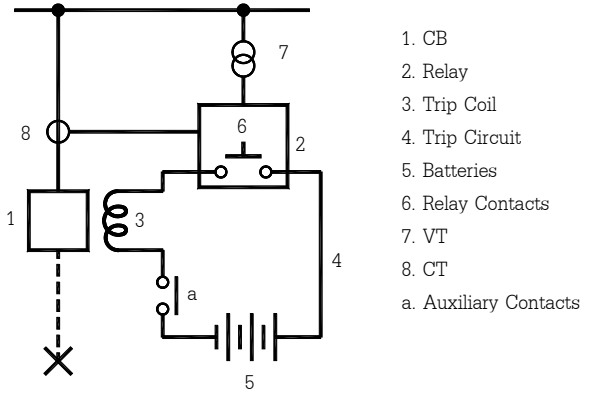
   Thermal Short Time Current I_{th} = (40 - 60) I_n

   Dynamic Current I_{dyn} = 2.5 I_{th}
5. พิกัดแรงดัน



5.9 รีเลย์ป้องกัน (Protective Relays)

- **Protective Relays** เป็นบริภัณฑ์ป้องกันของระบบแรงดันปานกลางและ ระบบแรงดันสูง
- **Protective Relays** จะทำหน้าที่ตรวจสอบสภาวะต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า เมื่อพบว่าเกิดการผิดพร่องขึ้น มันจะให้ สัญญาณแก่เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อตัดวงจรส่วนนั้นออก
- รีเลย์จะทำงานที่ระดับกระแสและแรงดันต่ำ
- อาศัย CT และ VT ในการแปลงระดับกระแสและแรงดัน



รูปที่ 5.4 ระบบป้องกันที่ใช้ Protective Relays

Relay ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็น

1.Electromechanical Relays รีเลย์ที่อาศัยกระแสไฟฟ้าสร้างแรงดึงดูดหรือแรงบิดทาง แม่เหล็ก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทางกลของหน้าสัมผัส รีเลย์แบบนี้เป็นแบบเก่าแต่ยังคงมีใช้อยู่

2. Solid State Relays

รีเลย์แบบใหม่ที่นำบริภัณฑ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาใช้สร้างวงจรจำลองการทำงานของ Electromechanical Relays ทำให้ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงได้ชื่อว่า Static Relays รีเลย์ชนิดนี้มีความเชื่อถือได้สูง

3.Digital Relays

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา Microprocessor มาใช้ในการทำงานของรีเลย์ เรียกว่า Digital Relays รีเลย์แบบใหม่นี้ทำงานได้หลายแบบ เช่น ป้องกัน ตรวจวัด ควบคุม ติดต่อสื่อสาร และบันทึก

Relays ที่นิยมใช้กันมาก

1. รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay , Device No. 50 , 51)
2. รีเลย์ป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน (Ground Fault Relay , Device No. 50N , 51N)
3. รีเลย์กระแสเกินแบบมีทิศทาง (Directional Overcurrent Relay , Device No. 67)
4. รีเลย์ป้องกันกระแสผิดพร่องลงดินแบบมีทิศทาง (Directional Ground Fault Relay , Device No. 67N)
5. รีเลย์กำลังแบบมีทิศทาง (Directional Power Relay , Device No. 32)
6. รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay , Device No. 21)
7. รีเลย์ผลต่าง (Differential Relay , Device No. 87)
8. รีเลย์แรงดันต่ำ (Under Voltage Relay , Device No. 27

5.10 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breakers : MVCB)

- ใช้สำหรับการต่อ นำ และ ตัดกระแสไฟฟ้าในการทำงานตามปกติ และสามารถตัดกระแสไฟฟ้าในสภาพไม่ปกติ เช่น เมื่อเกิดลัดวงจร
- MVCB ทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากผู้ปฏิบัติงาน หรือจากรีเลย์ป้องกันผ่านหม้อแปลงเครื่องวัด เช่น CT หรือ VT

MVCB ที่ใช้ในปัจจุบัน

- ไม่ใช้น้ำมัน (Oil Free Type)
- Vacuum
- ก๊าซ SF6

Vacuum CB

- หน้าสัมผัสอยู่ใน Vacuum Interrupter ซึ่งมีความดันต่ำมาก
- ระยะเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (Moving Contact) น้อยมาก

Vacuum CB มีข้อดีหลายประการคือ

1. หน้าสัมผัสสึกกร่อนช้า ทำให้อายุใช้งานยาว
2. มีขนาดเล็ก
3. สามารถติดตั้งได้ทุกตำแหน่ง

ข้อเสียคือ

- Vacuum CB ตัดกระแสด้วยเวลาสั้นมาก
- ทำให้เกิด Switching Overvoltage ที่สูง
- ดังนั้นในการใช้งาน Vacuum CB บริษัทผู้ผลิตจะแนะนำให้ติด Surge Absorber ซึ่งเป็นวงจร R-C เข้าช่วยด้วย

SF6 CB

- ก๊าซ SF6 ได้ถูกนำมาใช้เป็นฉนวนและตัวดับอาร์กใน
- ใช้ใน HV CB อย่างได้ผลมานานแล้ว และขณะนี้ได้มีการนำมาใช้ในระดับแรงดัน MV ใน MVCB
- CB แบบนี้ การตัดกระแสทำใน Chamber ซึ่งบรรจุก๊าซ SF6 การตัดกระแสจะเป็นแบบ Soft Switching ทำให้ได้ Overvoltage ต่ำมาก จึงเหมาะสำหรับการตัดต่อวงจรมอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น

การเลือกใช้งาน

- MVCB ต้องใช้ร่วมกับรีเลย์ป้องกัน
- ให้การป้องกันได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับ Relay ที่ใช้ ไม่เหมือน HV HRC Fuses ซึ่งป้องกันได้อย่างเดียวคือ กระแสเกิน (Overcurrent) และลัดวงจร (Short Circuit) เท่านั้น
- ราคาแพง
- ใช้กับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น อาคารขนาดใหญ่ โรงงานอุตสาหกรรม และสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) เป็นต้น

พิกัดที่ต้องพิจารณามีดังต่อไปนี้

1. พิกัดแรงดัน
2. ค่า BIL
3. พิกัดกระแสปกติ
4. พิกัดกระแสลัดวงจร

รูปที่ 5.5 Medium Voltage Circuit Breaker

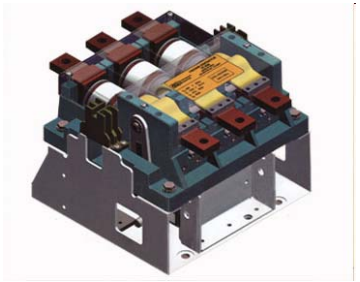
5.11 คอนแทกเตอร์แรงดันปานกลาง

(Medium Voltage Contactors)

- บริภัณฑ์ตัดต่อไฟฟ้าแรงดันปานกลางซึ่งเหมาะสำหรับงาน ที่มีการตัดต่อบ่อย ๆ เช่น เป็นสวิตช์ตัดตอนสำหรับ มอเตอร์แรงดันปานกลาง ตัดต่อเตาไฟฟ้า ตัดต่อมอเตอร์ และ ตัดต่อคาปาซิเตอร์ เป็นต้น

คอนแทกเตอร์แรงดันปานกลาง ในปัจจุบันมี 2 แบบ

- แบบ SF6
- Vacuum



5.12 สวิตช์เกียร์แรงดันปานกลาง

(Medium Voltage Switchgears)

- เป็นบริภัณฑ์ซึ่งทำหน้าที่รับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่แรงดันสูง โดยจะรับไฟจากแหล่งจ่ายไฟ เพื่อนำไปจ่ายโหลดต่าง ๆ ตามต้องการ
- ประกอบไปด้วย
  - บริภัณฑ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรับและจ่ายไฟฟ้า
  - บริภัณฑ์วัด
  - บริภัณฑ์ป้องกัน

  จัดไว้ภายในกล่องโลหะอย่างมิดชิด

โครงสร้าง

สวิตช์เกียร์แรงดันปานกลางโดยทั่ว ๆ ไป จะประกอบด้วย

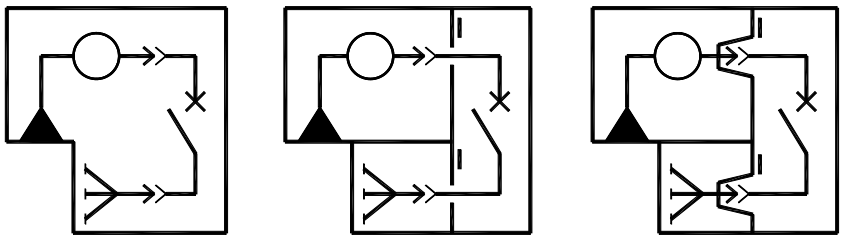
1. กล่องห่อหุ้ม (Enclosure) เป็นกล่องโลหะใช้ป้องกันแรงกระแทกจากภายนอกและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากประกายไฟหากเกิดการลัดวงจรภายในกล่องห่อหุ้ม กล่องห่อหุ้มส่วนที่เป็นโลหะจะต้องมีการต่อลงดิน
2. บัสบาร์ (Busbar) เป็นแท่งโลหะ โดยทั่วไปเป็นทองแดง ทำหน้าที่นำกระแสภายในกล่องห่อหุ้มเพื่อจ่ายกระแสให้กับวงจรต่าง ๆ บัสบาร์ต้องมีการติดตั้งอย่างมั่นคง เนื่องจากในสภาวะที่เกิดลัด วงจรจะเกิดแรงกระชากขนาดมหาศาลขึ้นที่ตัวบัสบาร์นี้
3. บริภัณฑ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการป้องกัน ซึ่งขึ้นกับระดับการป้องกันที่ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าต้องการ
4. บริภัณฑ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการวัด เช่น CT , VT , Ammeter , Voltmeter ฯลฯ

ชนิดของ Medium Voltage Switchgear

ตามมาตรฐาน IEC 60298 “ Switchgear in Metal Enclosure ” ได้แบ่งตู้สวิตช์เกียร์แรงดันปานกลางออกเป็น 3 แบบ คือ

1. Cubicle Switchgear
2. Compartmented Switchgear
3. Metal – Clad Switchgear

โดยการแบ่งเช่นนี้ แบ่งตามระดับความปลอดภัยเมื่อเกิดการผิดพร่องภายใน Switchgear ดังแสดงในรูปที่ 5.6



Cubicle Switchgear Compartmented Switchgear Metal-Clad Switchgear

รูปที่ 5.6 MV Switchgears

Cubicle Switchgear

Cubicle Switchgear มีรูปแบบโดยทั่วไปดังข้อกำหนดต่อไปนี้คือ

1. มีน้อยกว่า 3 Compartments
2. ถ้ามี Partition อาจเป็นโลหะ (Metallic) หรือฉนวน (Insulated)
3. Switching Device อาจเป็นแบบติดถาวร (Fixed) หรือถอดออกได้ (Withdrawable)

Compartmented Switchgear

สวิตช์เกียร์แรงสูงแบบนี้มีข้อกำหนดคือ

1. มี 3 Compartment สำหรับ Switching Device , Busbar , Connectors และ CTS
2. Partition และ Shutters ระหว่าง Compartment โดยทั่วไปจะ Insulated
3. ไม่มี Insulated Bushing สำหรับผ่านจาก Compartment หนึ่ง ไปยังอีก Compartment หนึ่ง

Metal – Clad Switchgear

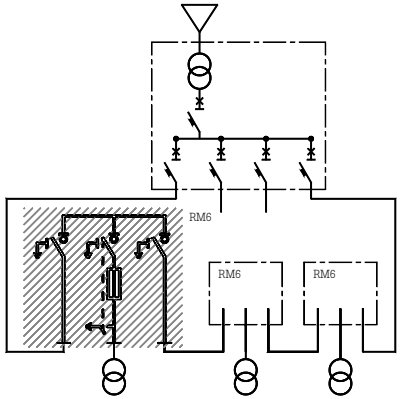
สวิตช์เกียร์แบบนี้มีข้อกำหนดคือ

1. มีอย่างน้อย 3 Compartments สำหรับ Switching Device , Busbar , Connectors และ CTS
2. Partition ระหว่าง Compartment จะต้องเป็นโลหะ
3. ช่องผ่านจาก Compartment หนึ่ง ไปยังอีก Compartment หนึ่ง จะต้องมี Insulated Bushing

รูปที่ 5.7 Metal-Clad Switchgear

5.13 ริงเมนยูนิต (Ring Main Units : RMU)

- เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลางสำหรับใช้จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ Open Ring

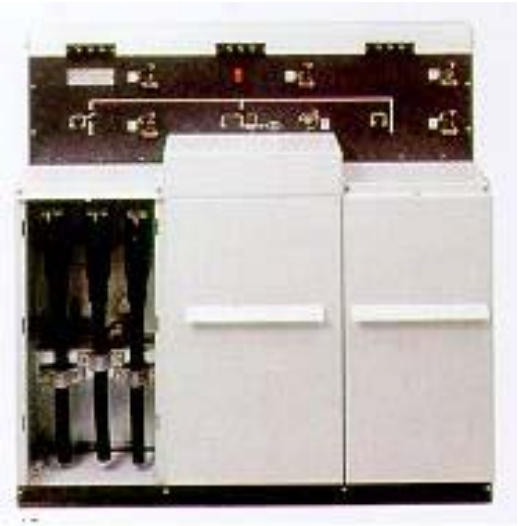


รูปที่ 5.8 RMU

RMU โดยทั่วไปประกอบด้วย

1. Switch Disconnector 400 A หรือ 630 A แรงดัน 24 kV
2. Fuse สำหรับป้องกันหม้อแปลง
3. CB พิกัดถึง 200 A พร้อม Protective Relay
4. Earthing Switch

สวิตช์เกียร์และ Busbar บรรจุอยู่ภายใน Housing ซึ่งบรรจุ SF6 และปิดผนึกเพื่อใช้ตลอดอายุการใช้งาน (Sealed For Life)



รูปที่ 5.9 3-Function RMU

การเลือกใช้งาน

การเลือก RMU นั้น จะต้องพิจารณาดังนี้

1. จำนวนช่องบริภัณฑ์ (Bays) ซึ่ง RMU ตามปกติจะมี 3 ช่อง
2. พิกัดแรงดัน 24 kV , BIL 125 kV
3. พิกัดกระแส

Switch 200 A , 400 A , 630 A

CB 200 A

4. พิกัดกระแสลัดวงจร 16 kA หรือ 24 kA ที่ 24 kV

5.14 หม้อแปลง (Transformers)

หม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เรียกว่า หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformers)

- ซึ่งจะแปลงแรงดันไฟฟ้า จากระบบแรงดันปานกลาง (MV) ไปเป็นระบบแรงดันต่ำ (LV)
- หม้อแปลงชนิดนี้จะมีพิกัดถึง 2000 kVA แต่ในบางกรณีอาจมีพิกัดสูงถึง 3150 kVA

ชนิดของหม้อแปลง

หม้อแปลงจำหน่ายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มี 2 แบบ คือ

1. หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid-immersed Transformers)
2. หม้อแปลงแห้ง (Dry-Type Transformers)

หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว

(Liquid-immersed Transformers)

1) น้ำมันหม้อแปลง (Mineral Oil)

2) ของเหลวที่ติดไฟยาก (Less Flammable Liquid)

หม้อแปลงแห้ง (Dry-type Transformers)

- ฉนวนเป็นของแข็ง
- ทั่วไปนิยมใช้สารเรซิน (Resin)
- เรียกว่า Cast Resin Transformers สารเรซินมีจุดติดไฟที่ 350 °C มีความแข็งแรงทนทาน
- นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคารในปัจจุบัน หม้อแปลงที่นิยมใช้กันมาก คือ หม้อแปลงน้ำมัน และ หม้อแปลง Cast Resin จึงจะกล่าวถึงโดยละเอียดต่อไป

หม้อแปลงน้ำมัน (Oil-type Transformers)

- มีการใช้กันมากที่สุด
- ใช้งานได้ดี และ มีราคาถูก
- เหมาะสำหรับการติดตั้งนอกอาคาร

การทำหม้อแปลงที่มีตัวถังปิดผนึก (Hermetically Sealed Tank)

- ตัวถังปิดผนึก
- ไม่มีถังพัก
- ไม่ต้องมี Silica Gel
- ไม่ต้องการการบำรุงรักษา
- กำลังได้รับการนิยมใช้มากขึ้น

หม้อแปลงปิดผนึกมี 2 แบบคือ

1. หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงแบบนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีที่ว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน
2. หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated) หม้อแปลงแบบนี้ออกแบบให้ผนังสามารถระบายความร้อน ด้วยลอนคลื่น ขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้ เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมัน

หม้อแปลง Cast Resin (Cast Resin Transformers)

- นิยมใช้หม้อแปลงแห้ง ติดตั้งภายในอาคาร ถ้าใช้หม้อแปลงน้ำมัน มีปัญหาไฟไหม้ได้

รูปที่ 5.10 ส่วนประกอบหม้อแปลง Cast Resin

การป้องกันความร้อน

ระบบป้องกันความร้อนประกอบด้วย

- ตัวรับสัญญาณ (Sensors)
- รีเลย์ความร้อน (Temperature Relay)

ตัวรับสัญญาณ (Sensors)

- ทำด้วย PTC (Positive Temperature Coefficient)
- อาจมี 2 หรือ 3 ตัวต่อเฟส โดยแต่ละตัวมีหน้าที่ดังนี้

ตัวรับสัญญาณตัวที่หนึ่ง	สำหรับ	พัดลม (Fan)
ตัวรับสัญญาณตัวที่สอง	สำหรับ	เตือน (Alarm)
ตัวรับสัญญาณตัวที่สาม	สำหรับ	ตัดวงจร (Trip)

รีเลย์ความร้อน (Temperature Relay)

ทำให้

- การเตือน (Alarm)
- ตัดวงจร (Trip)

อุณหภูมิที่ปรับตั้งของตัวรับสัญญาณ มีดังนี้

พัดลมทำงาน	อุณหภูมิ	90-110°C
เตือน	อุณหภูมิ	130-140°C
ตัดวงจร	อุณหภูมิ	150°C

เครื่องห่อหุ้ม (Protective Enclosure)

- ส่วนที่เป็น Resin ของหม้อแปลง Cast Resin จะแตะต้องไม่ได้ ทำให้เกิดไฟช๊อตจากแรงดันเหนี่ยวนำ
- ดังนั้นหม้อแปลงชนิดนี้จึงสมควรติดตั้งไว้ในเครื่องห่อหุ้ม
- เครื่องห่อหุ้มที่ใช้มีระดับการป้องกันอย่างน้อย IP 21
- สำหรับเครื่องห่อหุ้มที่ใช้ภายนอกอาคารนั้น ต้องมีค่าระดับการป้องกันอย่างน้อย IP 33

การเพิ่มพิกัดของหม้อแปลง Cast Resin ด้วยการใช้พัดลม

- การติดตั้งพัดลมช่วยในการระบายความร้อน ทำให้จ่ายโหลดเพิ่มขึ้น 30 - 40%

พัดลมระบายความร้อนที่ใช้นี้ อาจติดตั้งเป็น 2 แบบคือ

1. ติดตั้งไว้ด้านบน (Cover Mounted Fan , CMF)
2. ติดตั้งไว้ด้านล่าง (Cross Flow Fan , CFF)

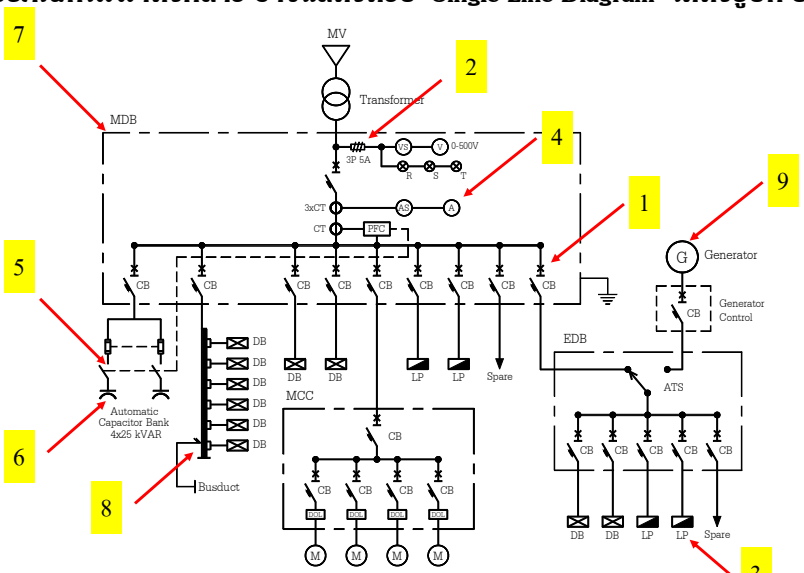
THE END

5.15 บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ

บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำที่สำคัญได้แก่

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breakers)
2. ฟิวส์แรงดันต่ำ (LV Fuses)
3. แผงจ่ายไฟ (Panelboards)
4. บริภัณฑ์เครื่องวัด (Measuring Instruments)
5. คอนแทกเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้า และ สตาร์ทเตอร์ (Magnetic Contactors And Starters)
6. คาปาซิเตอร์ (Capacitors)
7. แผงสวิตซ์ (Switchboards)
8. บัสเวย์ (Busway)
9. ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Standby Generator Set)

บริภัณฑ์ไฟฟ้าดังกล่าว อาจแสดงด้วย Single Line Diagram ได้ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 Single Line Diagram ของบริภัณฑ์แรงดันต่ำ

5.16 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ

(Low Voltage Circuit Breakers)

- เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับเปิดปิดวงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำในภาวะปกติและจะเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้นอันเนื่องมาจากการใช้กำลังเกิน (Overload) หรือการลัดวงจร (Short Circuit) หลังจากทำการแก้ไขสิ่งผิดปกติบกพร่องเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถสับไฟเข้าให้ใช้งานต่ออีกได้
- มาตรฐานของ CB ที่สำคัญคือ
  - IEC 60947-2 “ Part 2 Circuit Breaker ”
  - IEC 60898 “ Circuit Breakers for Overcurrent Protection for Household and Similar Installations ”

พิกัดที่สำคัญ

พิกัดที่สำคัญตามมาตรฐาน IEC 60947-2 มีดังต่อไปนี้

พิกัดกระแสต่อเนื่อง

- ค่ากระแส RMS ที่ CB สามารถทนได้ที่อุณหภูมิไม่เพิ่มเกินค่าที่กำหนดให้ของอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) ค่าหนึ่ง
- บริษัทผู้ผลิตส่วนมากจะทำ CB ที่มีขนาดโครงเป็นช่วงกว้าง ๆ แล้วปรับตั้งกระแสพิกัดในระหว่างช่วงให้ละเอียดขึ้น ดังนั้นจึงเกิดมีคำว่า Ampere Frame (AF) และ Ampere Trip (AT) ขึ้น

1. Ampere Frame (AF) คือ ขนาดพิกัดกระแสสูงสุดที่สามารถใช้ได้กับขนาดโครงของ CB
2. Ampere Trip (AT) คือ ขนาดพิกัดกระแสที่ปรับตั้งให้ CB ใช้งาน

พิกัดการตัดกระแสลัดวงจร

- (Interrupting Capacity = IC , Breaking Capacity) คือ กระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB สามารถตัดได้โดยที่ตัว CB ไม่ได้รับ ความเสียหาย
- ค่า IC ของ CB ได้จากการทดสอบ และขึ้นกับตัวแปรหลายตัว เช่น แรงดัน ตัวประกอบกำลัง เป็นต้น ดังนั้น CB ที่สามารถใช้ได้กับหลายแรงดัน จะต้องมีค่า IC ที่แต่ละแรงดันด้วย
- ค่า IC ของ CB เป็นพิกัดที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง ในการเลือก CB เพื่อใช้สำหรับงานหนึ่งงานใดนั้นจะต้องให้มี IC เท่ากับหรือมากกว่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้ง

IEC 60947-2 ได้ให้นิยามพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรไว้ดังนี้

Icu = Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity (Switching Sequence O-t-CO)

Ics = Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity(Switching Sequence O-t-CO-t-CO)

Icw = Rated Short-time Current Withstand

IEC 60947-2 ยังแบ่ง CB ตามลักษณะการใช้งาน (Utilization Category) คือ

Utilization Category A

- ไม่เหมาะที่จะทำ Coordination (Selectivity) เนื่องจากไม่มี Icw

Utilization Category B

- CB เหมาะที่จะทำ Coordination และ มี Icw

ค่า AF ขนาดมาตรฐานและ AT

มาตรฐาน IEC ได้กำหนด AF ไว้ดังนี้คือ

63, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200 , 4000, 5000, 6300 บริษัทบางแห่งอาจจะไม่ผลิตค่า AF บางค่าได้

ค่า AT ที่บริษัทต่าง ๆ จะผลิตออกมานั้นมีหลายค่า แล้วแต่ความต้องการของบริษัทนั้น ๆ เช่น บริษัทผลิต CB

ที่ AF = 250 A อาจตั้ง AT ไว้ ดังนี้คือ 100 , 125, 150 , 175 , 200 , 225 A และ 250 A

ที่ AF = 1600 A มี AT ค่าต่าง ๆ คือ 800 , 1000 , 1250 , 1600 A

ประเภทของ CB

CB แบ่งตามลักษณะภายนอก และ การใช้งานได้เป็น 2 ชนิด คือ

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

MCCB

- บริภัณฑ์ตรวจจับและบริภัณฑ์ตัดต่ออยู่ภายในวัสดุฉนวนซึ่งทำด้วยสารประเภทพลาสติกแข็ง
- มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ใช้สำหรับป้องกันระบบไฟฟ้าตั้งแต่วงจรย่อย สายป้อนถึงสายประธาน และบริภัณฑ์ไฟฟ้าด้วย
- โครงกรอบของ MCCB ส่วนมากทำด้วยโพลีเอสเตอร์พลาสติก (Polyester Plastic) วัสดุชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการป้องกันอาร์กความร้อนและแก๊สได้เป็นฉนวนและเป็นที่กั้นภายในระหว่างขั้วไฟฟ้ามีความแข็งแรงทางกล

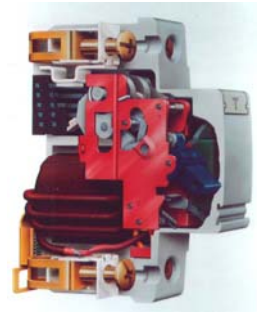
MCCB ขนาดเล็ก (Miniature Circuit Breaker : MCB)

- ใช้สำหรับติดตั้งในแผงจ่ายไฟ (Panelboard)
- แผงจ่ายไฟของที่อยู่อาศัย (Consumer Unit) เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าของบ้าน สำนักงาน หรืออุตสาหกรรม
- สำหรับมาตรฐานที่ใช้ส่วนมากสำหรับ MCB จะเป็นมาตรฐาน IEC 60898

คุณสมบัติของ MCB มีดังนี้

1. มีทั้ง 1 , 2 หรือ 3 ขั้ว
2. มี AF คือ 40 AF, 63 AF และ 100 AF
3. มี Ic ตั้งแต่ 3 kA ถึง 10 kA

MCB ที่มีการป้องกันการลัดวงจรลงดิน (Ground Fault) เรียกว่า



- Residual Current Circuit Breaker (RCCB)
- หรือ Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) มีความไว 10 mA , 30 mA สำหรับป้องกันไฟดูดคน

MCCB ขนาดมาตรฐาน (Standard CB)

- ขนาดตั้งแต่ 125 AF ถึง 1600 AF
- มี IC ให้เลือกใช้อยู่หลายระดับเป็น MCCB ที่มี IC ไม่สูงนัก เช่น 16 kA , 25 kA และ 35 kA เหมาะสำหรับงานระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

MCCB แบบ IC สูง (High Interrupting Capacity Circuit Breaker)

- มี IC สูงกว่า Standard CB มีขนาดของ IC หลายระดับ
- ได้แก่ 25 kA , 35 kA , 50 kA , 65 kA และ 100 kA MCCB แบบนี้ใช้ในที่ซึ่งมีกระแสลัดวงจรสูงเกินกว่าที่จะใช้ CB แบบมาตรฐานได้

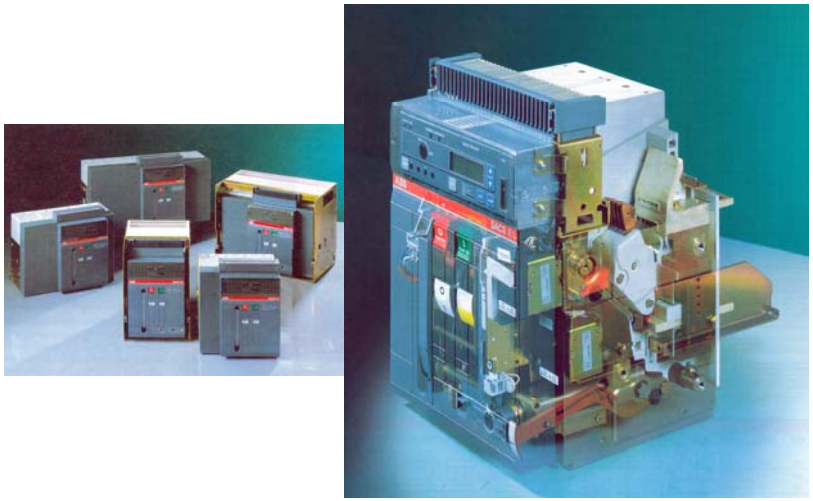
MCCB แบบจำกัดกระแสลัดวงจร (Current Limiting Circuit Breaker : CLCB)

- มี IC สูงมาก คือ 100 kA ถึง 200 kA ที่ 400/415 V
- สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้เร็วมาก คือ ภายในเวลา 5 ms
- สามารถใช้ CB ขนาดเล็กที่มี IC ต่ำในวงจรไฟฟ้าซึ่งมีกระแสลัดวงจรสูงกว่า IC ของ CB ได้ โดยมี CLCB คุมอยู่ต้นทาง (Upstream)
- เรียกว่า Cascade Protection หรือ Back Up Protection

รูปที่ 5.12 Circuit Breaker ชนิด MCCB

ACB

- เรียกว่า Air Circuit Breaker
- เป็น CB ขนาดใหญ่ มีพิกัดกระแสต่อเนื่องสูง คืออาจมีตั้งแต่ 800 A ถึง 6300 A
- เป็นแบบเปิดโล่ง (Open Frame) กล่าวคือมีบริภัณฑ์และกลไกอยู่เป็นจำนวนมาก และติดตั้งอย่างเปิดโล่งเห็นได้ชัดเจน ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 Circuit Breaker ชนิด ACB

ACB สามารถแบ่งชนิดตามการติดตั้งได้ 2 ชนิด คือ

1) แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Type)

ติดตั้งให้ติดกับ Main Circuit โดยยึดติดด้วยสกรูอย่างแข็งแรง เวลาถอดออกเพื่อซ่อมบำรุงจะต้องดับไฟและใช้เวลามาก

2) แบบดึงออกได้ (Drawout Type)

ติดตั้งบนโครงล้อเลื่อนที่สามารถเลื่อนไปตามรางที่เตรียมไว้ ส่วนสัมผัสของ ACB กับ Main Circuit จะต้องเป็นแบบพิเศษเพื่อให้การสัมผัสที่แนบแน่น ซึ่งจะทำให้กระแสสามารถไหลผ่านได้สะดวก การซ่อมบำรุง ACB แบบนี้ ทำได้สะดวกรวดเร็วและสามารถลดเวลาการดับไฟฟ้าได้

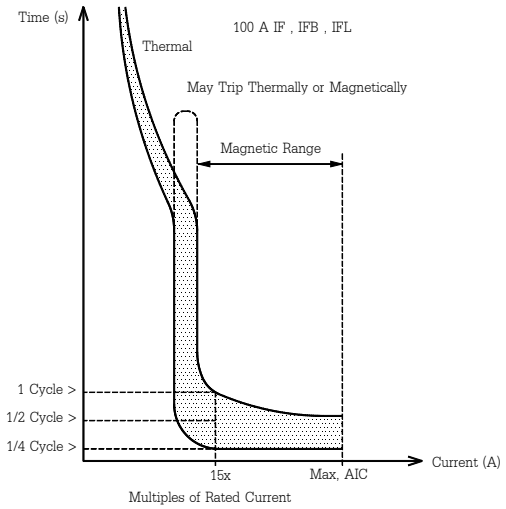
หน่วยการทริพ (Tripping Unit)

มี 2 แบบคือ

1. Thermal – Magnetic

เมื่อ Overload มีค่าน้อย (ประมาณ 125 %) จะใช้ Bimetal Device เป็นตัว Trip แต่ถ้า Overload มีค่ามาก (ประมาณ 10 เท่าของกระแสพิกัด) จะใช้ Electromagnetic Device เป็นตัว Trip หน่วยการ Trip แบบ Thermal – Magnetic มีเส้นโค้งความสัมพันธ์กระแสและเวลาเป็น 2 ส่วน คือ

- Long Time Delay
- Instantaneous



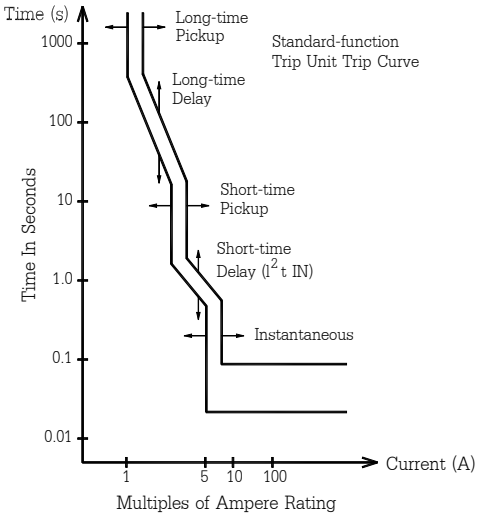
รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาของ Themo – Magnetic

2. Solid State Trip

- ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยโดยจะใช้หม้อแปลงกระแสและวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสในวงจรกับค่าที่ตั้งไว้เมื่อกระแสในวงจรมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ก็จะเกิดการตัดวงจรขึ้น หน่วยการทริพแบบนี้จะให้ความแม่นยำและความเชื่อถือได้สูงกว่าหน่วยทริพแบบอื่น ๆมาก ดังรูปที่ 5.15

ข้อดีบางอย่างของหน่วยการทริพแบบนี้คือ สามารถเลือกใช้งานได้หลากหลายรูปแบบกว่า เช่น

- Long Time Trip
- Short Time Trip
- Ground Fault Trip
- Instantaneous Trip



รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาของ Solid State Trip

5.17 ฟิวส์แรงดันต่ำ (Low Voltage Fuses)

ตามมาตรฐาน IEC ฟิวส์แรงต่ำ มี 3 แบบคือ

1. D-fuse Link (Diazed)
2. Do-fuse Link (Neozed)
3. NH (HRC) Fuse

Fuses แบบ D และ DO ออกแบบให้ใช้ทั้งในอาคารและอุตสาหกรรม และมีขนาดให้เลือก มาก ส่วน HRC Fuses ออกแบบไว้สำหรับใช้งานในอุตสาหกรรม

Fuses แบบ DIAZED และ NEOZED

ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- Base
- Cover
- Adaptor
- Fuse Link แ
- Screen Cap

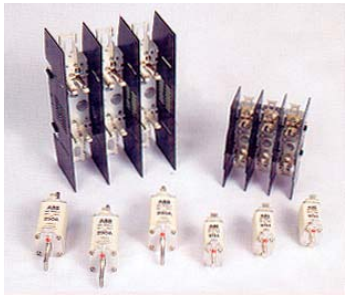
HRC มีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. Base เป็นมาตรฐานไว้สำหรับสวมตัว Fuse Link เข้าไป
2. Fuse Link เป็นตัว Fuse ซึ่งจะมีขั้วเสียบกับ Fuse
3. Fuse Puller ใช้สำหรับถอดเปลี่ยน Fuse Link

LV HRC Fuses

1. HRC Fuses มีใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม
2. มีหลายขนาด

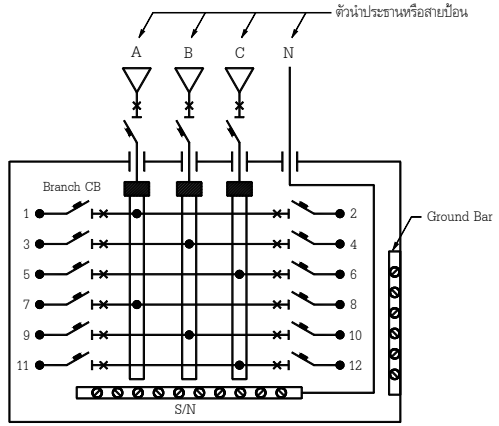
Size	ขนาด
0	6A - 100A
1	80A - 250A
2	125A - 400A
3	315A - 630A
4	500A - 1250A



3. พิกัดกระแส 6 A - 1250 A
4. ขีดความสามารถในการตัดวงจรสูงถึง 100 kA
5. ระดับแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 500 V หรือ 1000 V

5.18 แผงย่อย (Panelboards)

- บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่รับไฟจากสายป้อนหรือสายประธาน แล้วจัดการแยกไฟฟ้าที่ได้รับออกเป็นวงจรย่อยหลายวงจรย่อย เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้โหลดต่อไป



รูปที่ 5.16 โครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผงย่อยแบบ Main Lugs

ส่วนประกอบ

1) เครื่องห่อหุ้ม (Enclosures)

2) บัสบาร์ (Busbars)

3) เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breakers)

แผงย่อยสำหรับที่อยู่อาศัย (Consumer Units)

- ใช้กับไฟ 1 เฟส 2 สาย
- มีขนาด 7, 10, 14, 16, 20 วงจรย่อย
- ค่า IC ของ Main CB จะมีค่า 10 kA

แผงย่อยที่ใช้สำหรับงานทั่ว ๆ ไป (Panelboards)

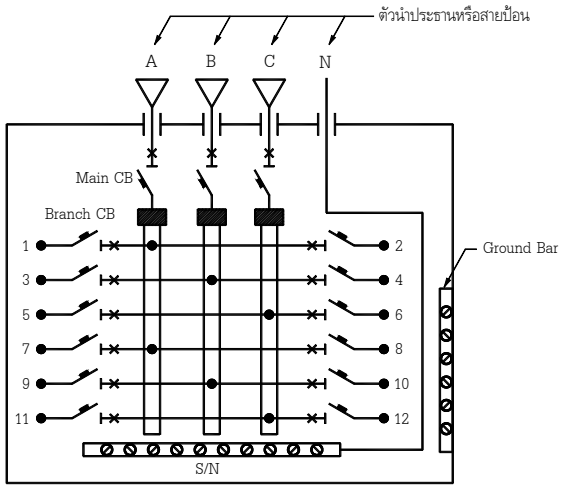
- นิยมเรียกว่า Load Centers

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบ Main Lugs
   - มีแต่เฉพาะขั้วต่อสาย
   - ไม่มี Main CB อยู่ด้วยภายในเครื่องห่อหุ้ม
   - ต้องต่อ Main CB ไว้ภายนอกเครื่องห่อหุ้ม

2. แบบ Main Circuit Breaker

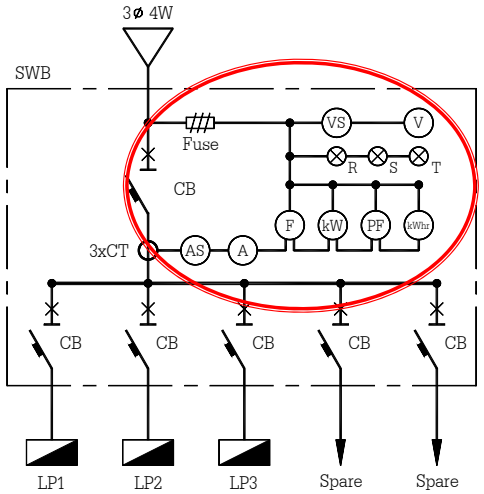
- มี Main CB อยู่ภายในเครื่องห่อหุ้ม การเลือกแผงย่อยชนิดนี้จะต้องดูพิกัดของ Main CB คือ AT และ AF สำหรับ AT มีค่าต่าง ๆ คือ 10 A, 16 A , 20 A , 25 A, 32 A , 40 A , 50 A , 63 A , 70 A , 80 A , 100 A , 125 A , 150 A , 175 A , 200 A , 250 A และมี AF ที่ใช้งานทั่วไป คือ 125 A และ 250 A
- บัสบาร์ 200 และ 250 A
- ค่า IC ของ Main CB มีให้เลือกใช้หลายค่า เช่น 16 kA , 25 kA , 35 kA, 50kA และ 65 kA
- จำนวนวงจรย่อยของ Load Center จะมีให้เลือกใช้ตั้งแต่ 12 , 24 , 36 จนถึง 42 วงจร ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 Load Center แบบ Main Circuit Breaker

5.19 บริภัณฑ์เครื่องวัด (Measuring Instruments)

ค่าต่าง ๆทางไฟฟ้าจะทำให้เราทราบสภาพการทำงานของระบบไฟฟ้า เป็นต้องมีบริภัณฑ์เครื่องวัดส่วนใหญ่มักติดตั้งที่แผงสวิตช์ วัดค่าทางไฟฟ้าสำคัญต่าง ๆ เช่น กระแส (A), แรงดัน (V), กำลังทางไฟฟ้า (W) , ตัวประกอบกำลัง (P.F.) เป็นต้น สำหรับเครื่องวัดที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.18 มีดังนี้



รูปที่ 5.18 เครื่องวัดทางไฟฟ้าต่าง ๆ

Ammeter (A)

โดยทั่วไป Ammeter จะทนกระแสได้ 5 A ถ้าต้องการวัดกระแสสูงขึ้นกว่านี้ต้องมีหม้อแปลงกระแส (CT) เพื่อแปลงเป็นค่าไม่เกิน 5 A เช่น จาก 1000/5 A เป็นต้น มีขนาดมาตรฐาน 96x96 mm^2 Class $\pm$ 1.5% จำนวนหม้อแปลงกระแสขึ้นอยู่กับสายไฟที่เราจะวัด เช่น ระบบ 3 เฟส 4 สาย มี CT 3 ตัว ถ้าเราวัดทีละครั้งจะแปลงกระแสได้โดยใช้ Ammeter Selector มาช่วย

Voltmeter (V)

ทนแรงดันได้ไม่เกิน 500 V ต่อโดยตรงผ่าน Voltage Selector เลือกจัดค่าแรงดันระหว่างสายกับนิวทรัลหรือสายกับสาย มีขนาดเต็มสเกล 500 V Class 1.5% ขนาดมาตรฐาน 96x96 mm2

Frequency Meter (F)

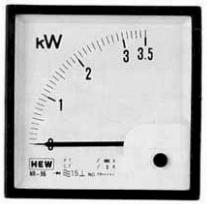
ใช้วัดความถี่ทางไฟฟ้า ซึ่งในประเทศไทยใช้ความถี่ 50 Hz สเกลช่วงความถี่ 45 - 55 Hz Class $\pm$ 0.5% ขนาดมาตรฐาน 96x96 mm^2

Power Factor Meter (P. F.)

วัดตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้า สเกลมีช่วงระหว่าง 0.5 Leading ถึง 0.5 Lagging Class $\pm$ 1.5% ของ 90 องศาทางไฟฟ้า ขนาดมาตรฐาน 96x96 mm^2

Kilo Wattmeter (kW)

ใช้วัดกำลังไฟฟ้า มีให้ใช้งานได้ทั้ง 1 เฟส 2 สาย และ 3 เฟส 4 สาย ขนาดมาตรฐาน 96x96 mm^2 Class $\pm$ 1.5%

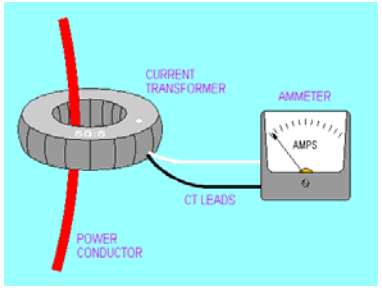


Kilowatt-hour (kWhr)

ใช้วัดค่าพลังงานไฟฟ้ามีทั้งวัด 1 เฟส 2 สาย และ 3 เฟส 4 สาย ขนาดมาตรฐาน 96x96 mm^2 Class $\pm$ 1.5%

Current Transformers (CT)

หม้อแปลงที่ใช้แปลงกระแสให้มีค่าต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับการวัดและการทำงานของบริภัณฑ์ป้องกัน Current Transformers จะสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับบริภัณฑ์วัดและบริภัณฑ์ควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากการเกิด Overcurrent ได้ดีในการใช้งาน Current Transformers จะต้องไม่ให้เกิดการเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ เพราะจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงมากจนอาจทำให้เกิดความเสียหาย



Universal Measuring Device

- ใช้ Microprocessor
- วัดค่าทาง ไฟฟ้าได้ทั้งหมด เช่น Voltage (V) , Current (A) , Apparent Power (kVA) , Real Power (kW) , Frequency (Hz) และ Total Harmonic Distortion (THD) เป็นต้น

5.20 คอนแทกเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Contactors)

- เป็นบริภัณฑ์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าควบคุมด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
- ใช้กับงานที่มีการตัดต่อบ่อย ๆ
- มาตรฐาน IEC 60947-4

ค่าพิกัดที่สำคัญของ Magnetic Contactor มีดังต่อไป

ชั้นการใช้งาน (Utilization Category)

ชั้นการใช้งานกระแสสลับแบ่งได้ดังนี้

AC1 สำหรับโหลดกระแสสลับทุกชนิด

AC2 สำหรับการเริ่มเดินเครื่อง Plugging หรือ Inching มอเตอร์วงแหวนลื่น (Slip Ring Motor) ในการปิดกระแสเริ่มต้นจะมีค่าเป็น 2.5 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์และในการเปิดคอนแทกเตอร์จะตัดกระแสเป็น 2.5 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์

AC3 สำหรับมอเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage) ซึ่งจะหยุดขณะเดินเครื่องปกติในการปิดกระแสเริ่มต้นจะมีค่าเป็น 5-7 เท่าและในการเปิดคอนแทกเตอร์จะตัดกระแสเท่ากับกระแสพิกัดมอเตอร์

AC4 สำหรับการเริ่มเดินเครื่อง Plugging หรือ Inching มอเตอร์กรงกระรอก

คอนแทกเตอร์ปิดกระแสเป็น 5-7 เท่าของกระแสพิกัดมอเตอร์และในการเปิดคอนแทกเตอร์จะตัดกระแสเป็น 5-7 เท่าของกระแสพิกัดของมอเตอร์เช่นเดียวกัน

Motor Starters

1. Direct-on-line Motor Starter (DOL)

   สตาร์ทมอเตอร์โดยการต่อสเตเตอร์โดยตรงกับแรงดันแหล่งจ่ายไฟ

2. Star-Delta Motor Starter (YΔ)

   เริ่มสตาร์ทมอเตอร์โดยการต่อสเตเตอร์โดยตรงกับแรงดันแหล่งจ่ายไฟ

3. Auto transformer Motor Starter (Auto)

   จะใช้หม้อแปลงออโตลดแรงดันที่จะเข้ามอเตอร์นิยมปรับเป็นค่า 50% , 65 % และ 80% เมื่อสิ้นสุดการสตาร์ท เครื่องจะปลดหม้อแปลงนี้ออกจากวงจร

4. Resistance Motor Starter

   ตอนเริ่มสตาร์ทจะต่อความต้านทานอนุกรมกับขดลวดสเตเตอร์ ในเวลาต่อมาจึงทำการลัดวงจรความต้านทานตัวนี้

5.21 คาปาซิเตอร์ (Capacitors)

- ตัวเก็บประจุ
- ใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น

พิกัดของ Capacitor

1. พิกัดกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kVAR มีขนาดที่นิยมใช้ คือ 10 , 20 , 30 , 40 , 50 , 60 , 75 , 100 kVAR เป็นต้น
2. พิกัดแรงดัน 400 V , 525 V เป็นต้น
3. พิกัดกระแส กระแสที่ใช้สามารถคำนวณจากพิกัดกำลังไฟฟ้าและพิกัดแรงดัน ของคาปาซิเตอร์ได้

การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

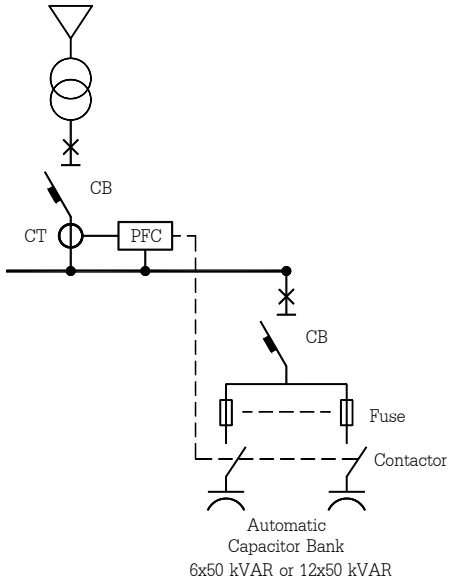
การใช้คาปาซิเตอร์ในการปรับปรุง P. F. ทำได้ 4 แบบ คือ

1. Individual Power Factor Compensation
2. Group Power Factor Compensation
3. Central Compensation
4. Mixed Compensation

การควบคุมคาปาซิเตอร์แบบอัตโนมัติ

- การนำ PFC (Power Facter Controller) มาใช้งานในการตัดต่อคาปาซิเตอร์เองโดยอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการควบคุมตัวประกอบกำลัง
- โดย PFC ได้รับสัญญาณผ่านระบบไฟฟ้าแล้วทำการคำนวณค่ากำลังรีแอกตีฟแล้วเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังที่ต้องการ
- ถ้าไม่พอหรือเกินจะส่งสัญญาณให้คอนแทกเตอร์ตัดหรือ ต่อคาปาซิเตอร์จนได้ค่าตัวประกอบกำลังที่ต้องการจึงหยุด

วงจรเป็นดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 การควบคุมคาปาซิเตอร์แบบอัตโนมัติ

5.22 แผงสวิตช์ (Switchboards)

- แผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ที่รับไฟจากการไฟฟ้าหรือจากด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงเพื่อไปจ่ายโหลดต่าง ๆ เช่น
- แผงย่อย (Panelboard) MCC เป็นต้น บางทีเรียกว่า
  - Main Distribution Board (MDB)
  - Main Distribution Panel (MDP)

รูปที่ 5.20 ลักษณะภายในและภายนอกของแผงสวิต

ส่วนประกอบ

- โครงห่อหุ้ม (Enclosure)
- บัสบาร์และการฉนวน
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker : CB)
- บริภัณฑ์ตรวจวัดและบริภัณฑ์ป้องกันอื่น ๆ

มาตรฐานของแผงสวิตช์

มาตรฐานของแผงสวิตช์ที่สำคัญคือมาตรฐาน IEC 60439-1 “ Low Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies ” ซึ่งมีการ

ทดสอบที่สำคัญ 2 แบบ คือ

1. การทดสอบประจำ (Routine Test)
2. การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)

การทดสอบประจำ (Routine Test)

เป็นการทดสอบที่ต้องทำกับแผงสวิตช์ทุกตัว เมื่อผลิตเรียบร้อยแล้วเพื่อแน่ใจว่าแผงสวิตช์นี้ไม่ชำรุดเสีย หาย และสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งมีการทดสอบ 4 อย่างคือ

1. การตรวจพินิจพิจารณา Wiring และ Electrical Operation (Inspection)
2. การทดสอบไดอิเล็กตริก (Dieletric Test)
3. ตรวจสอบความต่อเนื่องของวงจรป้องกัน Protective Circuit
4. ทดสอบค่าความต้านทานฉนวน (Verification of the Insulator Resistance)

การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)

ตามมาตรฐาน IEC 60439-1 มีการทดสอบ 7 อย่าง คือ

1. การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature Rise)
2. การทดสอบคุณสมบัติทางไดอิเล็กทริก (Dielectric Property)
3. การทดสอบความทนทานต่อกระแสลัดวงจร (Short Circuit Withstand)
4. การทดสอบประสิทธิภาพของวงจรป้องกัน (Protective Circuit)
5. การทดสอบระยะ (Clearance & Creepage)
6. การทดสอบการทำงานทางกล (Mechanic Operation)
7. การทดสอบ Degree of Protection (Degree of Protection)

การเลือกใช้แผงสวิตช์

1. พิกัดแรงดันของแผงสวิตช์
2. พิกัดกระแสของแผงสวิตช์
3. พิกัดกระแสลัดวงจร

สำหรับแผงสวิตช์ที่สำคัญ เช่น ตู้ MDB , MCC ควรใช้แบบที่มีการทดสอบ Type Test

5.23 บัสเวย์ (Busways)

- คือบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการนำพลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก ๆ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
- บัสเวย์ประกอบด้วยตัวนำบัสบาร์บรรจุภายในกล่องหุ้มพร้อมบริภัณฑ์ช่วยอีกหลายอย่าง
- เพื่อให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังจุดที่ต้องการได
- บัสเวย์ทำหน้าที่คล้ายสายไฟฟ้าแต่มันจะมีความคล่องตัวสูงกว่า เพราะสามารถต่อแยก (Tap) ออกไปใช้งานได้ตลอด ความยาวของ

บัสเวย์อาจแบ่งตามลักษณะของกล่องหุ้มได้ 2 แบบ คือ

1. แบบมีธูระบายความร้อน (Ventilated Type)
2. แบบปิดมิดชิด (Totally Enclosed Type)

แบบมีธูระบายความร้อน (Ventilated Type)

- มีธูระบายความร้อน
- บัสเวย์แบบนี้ต้องติดตั้งตามลักษณะที่ผู้ผลิตกำหนดให้

แบบปิดมิดชิด (Totally Enclosed Type)

- สามารถติดตั้งได้ทุกลักษณะ
- วัสดุแปลกปลอมต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง น้ำและแมลงไม่อาจเล็ดลอดเข้าไปภายในกล่องหุ้มได้
- มีขนาดเล็ก
- มีอิมพีแดนซ์ต่ำเนื่องจากตัวนำบัสบาร์อยู่มิดชิดกันมาก

บัสเวย์ตามการใช้งานก็อาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

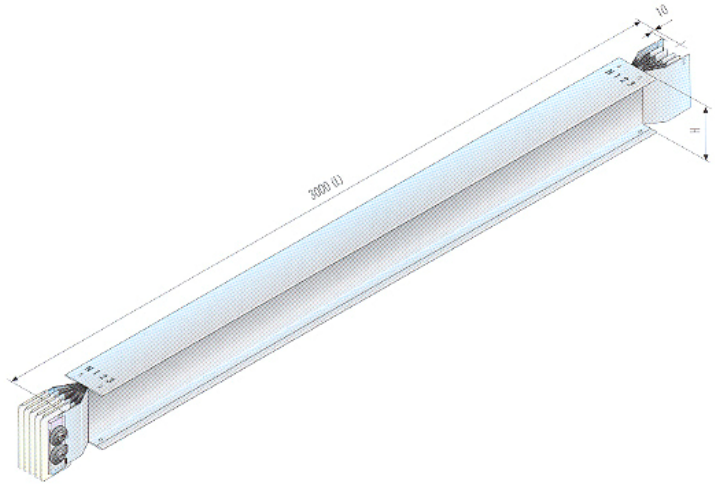
1. Feeder Busway
2. Plug-in Busway

Feeder Busway

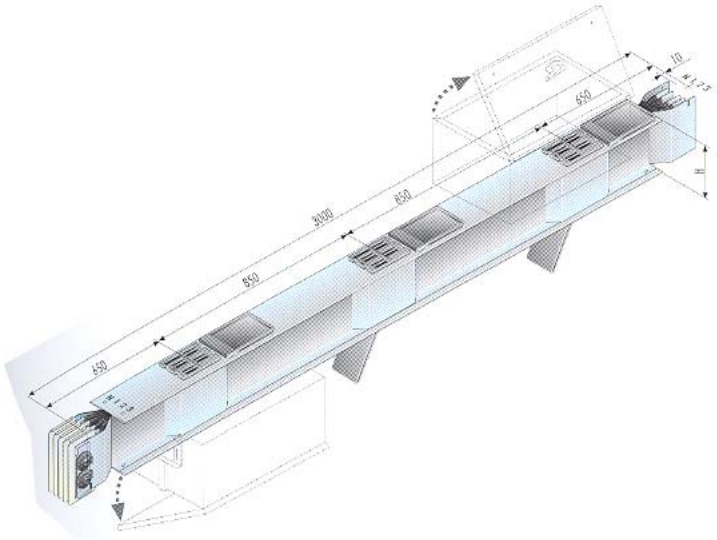
- ใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก ๆ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยระหว่างทางวิ่งจะไม่มีการต่อแยกไฟไปใช้ บัสเวย์แบบนี้อิมพีแดนซ์ต่ำและสมดุลเพื่อควบคุมแรงดันที่จุด ใช้ไฟฟ้า

Plug-in Busway

- ใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก ๆเหมือน Feeder Busway ต่างกันที่มีจุดแยกตลอดความยาวสามารถต่อไปยังโหลดได้ มันจึงดูคล้ายแผงจ่ายไฟที่ยาวออกไป Feeder Busway และ Plug-in Busway มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 5.21 และรูปที่ 5.22 ตามลำดับ



รูปที่ 5.21 Feeder Busway



รูปที่ 5.22 Plug-in Busway

การเลือกแบบและพิกัดบัสเวย์

ในการเลือกใช้บัสเวย์ของแต่ละงานต้องพิจารณาความต้องการต่อไปนี้

1. ใช้ภายในหรือภายนอกอาคาร
2. พิกัดกระแส
3. แรงดันตก
4. พิกัดกระแสลัดวงจร

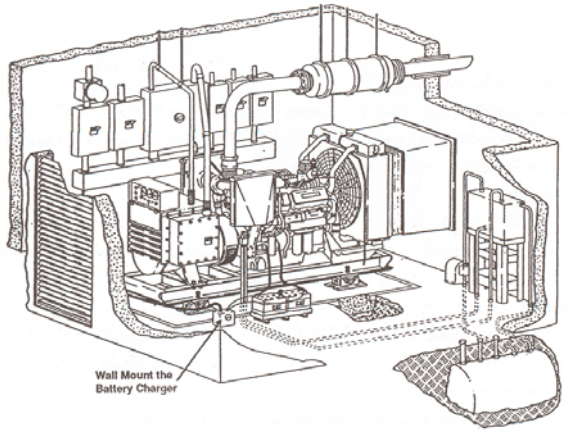
5.24 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Standby Generator)

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Standby Generator Set)

- คือบริภัณฑ์ทางด้านเครื่องกล – ไฟฟ้า ที่แปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อจ่าย พลังงานไฟฟ้าให้โหลดเมื่อระบบไฟฟ้าของทางการไฟฟ้าเกิดขัดข้อง หรือต่อขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดร่วมกันกับระบบของการไฟฟ้าฯ

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. เครื่องต้นกำลัง (Engine Prime Mover)
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator)
3. แผงควบคุม (Control Panel)
4. สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch)



รูปที่ 5.23 ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและบริภัณฑ์ประกอบ

1.เครื่องต้นกำลัง (Engine Prime Mover)

- คือ เครื่องยนต์ที่ผลิตพลังงานกลเพื่อนำไปฉุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังโหลดที่ต้องการได้

เครื่องต้นกำลังที่ใช้ในชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองมีอยู่หลายชนิด เช่น

- เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine)
- เครื่องกังหันแก๊ส (Gas Turbine)
- เครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)
- เครื่องกังหันน้ำ (Water Turbine)

เครื่องยนต์ดีเซล

- เป็นเครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine)
- ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีทั้งระบบ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ (2 , 4 Cycle)
- จำนวนลูกสูบขึ้นอยู่กับพิกัดขนาดของเครื่องยนต์ แบบที่ใช้กันมากคือแบบ 4 สูบ แต่ถ้าเครื่องยนต์มีพิกัดสูงมาก ก็อาจใช้เป็น 6 สูบ หรือ 12 สูบก็ได้
- ลูกสูบอาจจัดเรียงตามแนวเส้น (In Line) หรือเป็นรูปตัว V ก็ได้

เครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ มีข้อดีกว่าเครื่องยนต์ 2 จังหวะ เช่น

1. ประสิทธิภาพดีกว่า
2. วาล์ว (Valve) , ลูกสูบ และ แหวน จะมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น เพราะมันสามารถกระจายความร้อนได้ดีขึ้น

กัฟเวินเนอร์ (Governor)

- ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (หมายถึงความถี่ไฟฟ้าด้วย) โดยจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้ ของเครื่องยนต์

กัฟเวินเนอร์ที่ใช้มีหลายแบบ เช่น

1. กัฟเวินเนอร์ทางกล (Mechanical Governor)
2. กัฟเวินเนอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Governor)
3. กัฟเวินเนอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Governor)
4. กัฟเวินเนอร์แบบผสม

2.เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator)

- ที่ใช้ทั่วไปเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Generator or Alternator) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ
  - ส่วนที่หมุน (Rotor)
  - ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)
  - ส่วน Brushless Rotating Exciter with a Rotating Rectifier
  - ส่วนควบคุมแรงดัน (Voltage Regulator)

A.C. Exciter

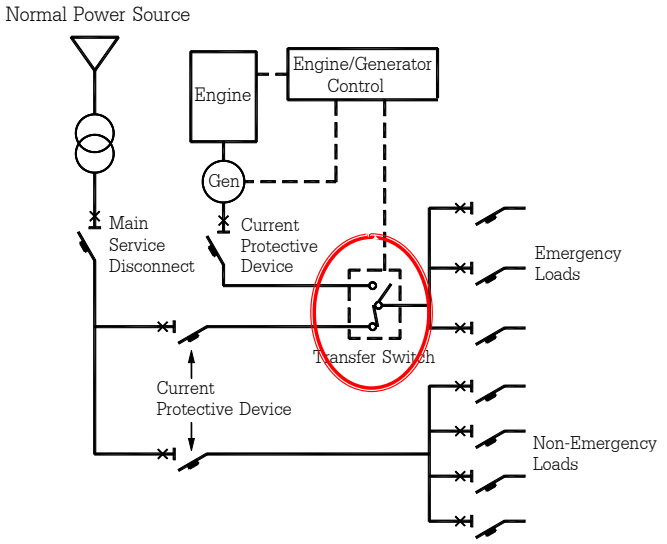
- คือชุดสร้างสนามแม่เหล็กกระตุ้นเพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า A.C. ตัวเล็ก ๆ มีขดลวดอาร์เมเจอร์ติดตั้ง บนเพลาเดียวกับโรเตอร์ และขดลวดสนามบนสเตเตอร์บนขาออกของขดลวดอาร์เมเจอร์ยังมีชุดตัวเรียงกระแสเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) ติดอยู่ ดังนั้นไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาร์เมเจอร์จะถูกเรียงกระแสและจ่ายเข้าขดลวดสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องมีแปรงถ่านหรือสลิปริง (Slip Ring) *จึงเรียกว่า Brushless*

Automatic Voltage Regulator (AVR)

- คือชุดควบคุมแรงดันขาออกโดยอัตโนมัติ โดยจะทำการปรับค่ากระแสสนามเพื่อให้ได้ค่าแรงดันคงที่ที่โหลดต่าง ๆ

3. สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch)

- สวิตช์สับเปลี่ยนใช้สำหรับการสับเปลี่ยนโหลดจากแหล่งจ่ายไฟปกติ (Normal Source) ไปยังชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือกลับกัน สวิตช์สับเปลี่ยนอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ
  - สวิตช์สับเปลี่ยนไม่อัตโนมัติ (Non-Automatic Transfer Switch)
  - สวิตช์สับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Automatic Transfer Switch , ATS)



รูปที่ 5.24 Single Line Diagram แสดงสวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch)

ขนาดพิกัดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

- คิดเป็น kW ที่ตัวประกอบกำลัง (Power Factor : P.F.) เท่ากับ 80% Lagging เสมอ เช่น ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 kW , 380 V , P.F. 80%

  คิดเป็น kVA ได้ = $\frac{100}{0.8}$ = 125 kVA

พิกัดชุดเครื่องกำเนิดแบ่งเป็น Prime Rating และ Standby Rating

Prime Rating คือ พิกัดที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง (Continuous Duty)

Standby Rating คือพิกัดที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานเกินโหลดในช่วงเวลาหนึ่ง โดยทั่วไป Standby Rating จะคิดที่ 110% ของ Prime Rating ในเวลา 1 ชั่วโมง ของทุก ๆ 8 ชั่วโมง

THE END