การป้องกันลัดวงจรลงดิน

Ground Fault Protection

โดย.... ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์

สารบัญ

Ground Fault Protection

1. Ground Fault คืออะไร
2. ชนิดของ Ground Fault
3. ความเสียหายที่เกิดจาก Ground Fault
4. การป้องกัน Ground Fault
5. การตรวจวัด Ground Fault
6. Ground Fault Coordination

สารบัญ

Ground Fault Protection (ต่อ)

7. ค่า Setting ที่ แนะนำ
8. อุปกรณ์สำหรับ Ground Fault Protection
9. Ground Fault Protection Application
10. Ground Fault Protection สำหรับแหล่งจ่ายเดียว
11. Ground Fault Protection สำหรับหลายแหล่งจ่าย
12. Ground Fault Protection สำหรับ Single Point Earthing
13. Ground Fault Protection สำหรับ 2 Earthing Points

สารบัญ

Ground Fault Protection (ต่อ)

14. Modified Differential GFP
15. GFP ที่ใช้ CB หรือ ATS ชนิด 4 Poles
16. ตัวอย่าง Ground Fault Protection on Mains only
17. ตัวอย่าง Ground Fault Protection On Main And Feeders
18. Single Line แสดงตำแหน่ง และวิธีการตรวจวัด GFP

1. Ground Fault คืออะไร

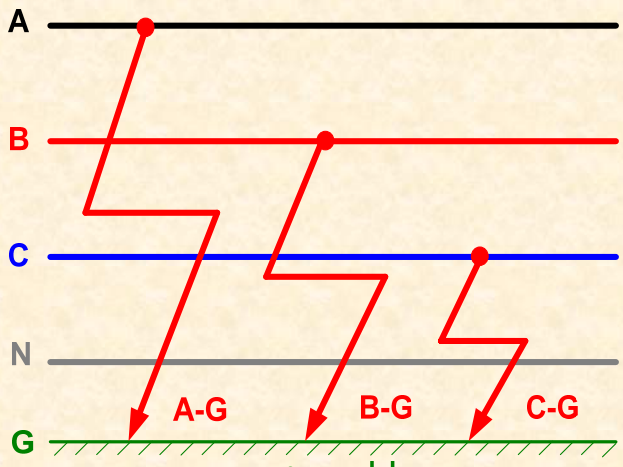
การลัดวงจร หรือ Fault ที่อาจเกิดกับ
ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำที่
ต่อลงดินโดยตรง (Solidly Grounded LV System)
อาจแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

a. Phase Faults
   - Phase to Phase Faults
   - 3 Phase Fault

b. Ground Faults
   - Phase to Ground Faults
   - Phase to Phase to Ground Faults

Faults ที่เกิดบ่อยที่สุด
สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำที่
ต่อลงดินโดยตรง (Solidly Grounded LV System)
คือ การลัดวงจรดิน Ground Fault
แบบ Phase ใด Phase หนึ่งลงดิน

Phase A to Ground
Phase B to Ground
Phase C to Ground



การลัดวงจรของสาย Phase ต่าง ๆลงดิน

2. ชนิดของ Ground Fault

Ground Fault มีขนาดตั้งแต่ กระแสน้อย ๆ
จนถึง มากกว่ากระแสลัดวงจรแบบ 3 Phase Fault

Ground Fault อาจแบ่งเป็น

- Bolted Fault
- Arcing Fault

Bolted Fault

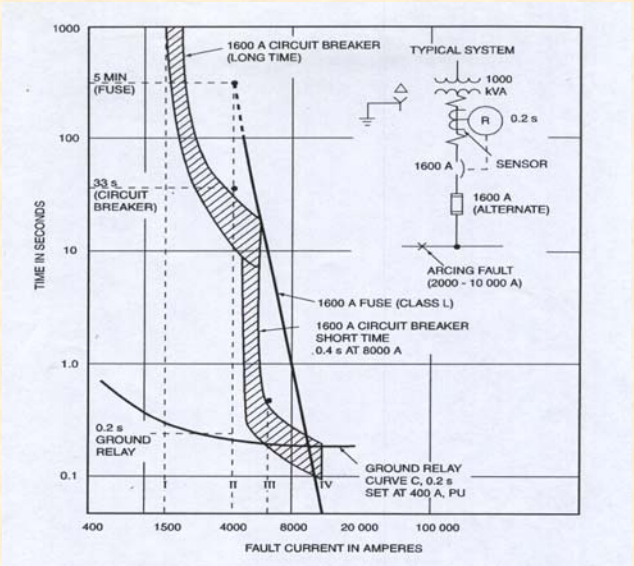
- Ground Fault ที่จุดเกิด Fault ติดแน่น
- Fault Impedance ค่าไม่เปลี่ยนและมีค่าน้อย
- Fault Current มีค่าสูง
- Ground Fault แบบนี้ ส่วนมาก จึงสามารถตรวจวัด และ ป้องกันโดย Phase O/C Device คือ CB ธรรมดา

Arcing Fault

- จุดที่เกิด Fault ต่อกันไม่สนิทจึงเกิด Arc
- Arc มี Impedance ปริมาณหนึ่ง
- Fault Energy มีปริมาณมาก
- ดังนั้น Arcing Fault จะเป็นส่วนในการทำลายอุปกรณ์
- เนื่องจาก Arcing G.F. อาจมีค่าน้อย และไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น CB ธรรมดา ซึ่งวัดด้วย ค่า RMS จึง ไม่สามารถตรวจวัด และป้องกันการลัดวงจรแบบนี้

3. ความเสียหายที่เกิดจาก Ground Fault

- ลองพิจารณาระบบไฟฟ้า ซึ่งมี Single Line Diagram ดังรูป
- Main Protection อาจเป็น FUSE หรือ CB พิกัด 1600 A



Time-current Plot showing slow protection provided by phase devices for low-magnitude arcing ground faults

เกิด Arcing G.F. ที่จุด

Point 1 G.F. 1500 A

CB , Fuse ไม่ตัดวงจร t = ∞

Point 2 G.F. 4000 A

Ground Relay t = 0.25 s

CB t = 33 s , Fuse t = 5 min

= 300 s

Point 3 G.F. 8000 A

Ground Relay t = 0.25 s

CB t = 0.4 s , Fuse t = 10 s

Arc Energy

Arc Voltage Drop = 70 - 140 V

Assume V_d = 100 V

= FLAT TOP

$$\text{Arc Energy} = \frac{Vd \times IGF \times t}{1000}$$

= kWs

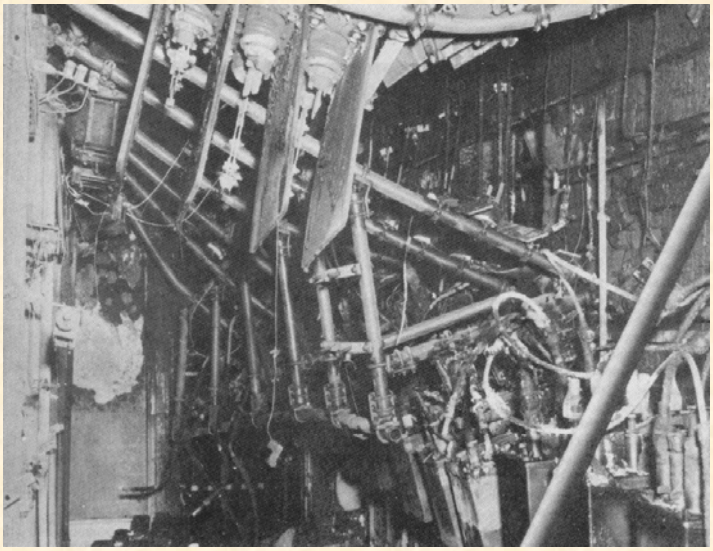
Arc Energy

Arc Fault Damage Limit

= 30 kWs - 167 kWs

(1500 kW cycle – 8333 kW cycle)

1 Cycle = 1 / 50 s



Arcing Damage

POINT	FAULT (A)	DEVICES	CLEARING TIME (Sec)	ARC ENERGY (kW s)
1	1500	RELAY	0.33	50
		CB	∞	∞
		FUSE	∞	∞
2	4000	RELAY	0.25	100
		CB	33	13,200
		FUSE	300	120,000
3	8000	RELAY	0.25	200
		CB	0.40	320
		FUSE	10	8,000
4	20000	RELAY	0.25	500
		CB	0.20	400
		FUSE	0.10	20

ให้สังเกตว่า

1) กระแส GF น้อย 1,500 A , CB , Fuse จะไม่ตัดวงจร
ทำให้ Arc Energy ที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงมาก และจะทำลาย
อุปกรณ์ต่าง ๆที่อยู่บริเวณนั้น
Ground Relay จะทำการตัดวงจรภายใน 0.33 s
ทำให้มี Arc Energy น้อย และไม่เป็นอันตราย

2) กระแส GF 4,000 A , CB , Fuse ตัดวงจรช้า
ทำให้ Arc Energy ที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงมาก และจะทำลาย
อุปกรณ์ต่าง ๆที่อยู่บริเวณนั้น
Ground Relay จะทำการตัดวงจรภายใน 0.25 s
ทำให้มี Arc Energy น้อย และไม่เป็นอันตราย

3) กระแส GF สูง 8,000 A , CB ทำงานได้เร็ว
ทำให้ Arc Energy มีปริมาณเพียงเล็กน้อย
ส่วน Fuse ยังทำงานช้า และ มี Arc Energy มาก
Ground Relay จะทำการตัดวงจรอย่างรวดเร็ว
ทำให้มี Arc Energy น้อย และไม่เป็นอันตราย

4) กระแส GF สูงมาก 20,000 A , CB , Fuse และ
Ground Relay จะทำการตัดวงจรอย่างรวดเร็ว
ทำให้ Arc Energy ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย
และไม่เป็นอันตราย

4. การป้องกัน Ground Fault

กฎข้อบังคับสำหรับ GFP

1) NEC 230-95

- สำหรับระบบประธาน

600 V, I ≥ 1000 A

Setting Maximum 1200 A

Maximum Time Delay

3000 A , t = 1 s

2) มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ปี 2545 (ฉบับปรับปรุง 2551)

ข้อ 3.5.2 เครื่องป้องกันกระแสเกินบริภัณฑ์ประธาน

บริภัณฑ์ประธาน I ≥ 1000 A

ต้องมี GFP

การป้องกัน Ground Fault

อาจแบ่งตามความไวของการ Setting ดังนี้

1. RCD (Residual Current Device)

- ความไว 30 mA ใช้ป้องกันคน จากไฟดูด
- ความไว 300 mA ใช้ป้องกันสถานที่หรืออุปกรณ์จากไฟไหม้
- ความไว 30 A ใช้ป้องกันสถานที่หรืออุปกรณ์

2. GFP (Ground Fault Protection)

- ความไว 100 – 1200 A
- ใช้ป้องกันสถานที่หรืออุปกรณ์

จาก Arcing Ground Fault

5. การตรวจวัด Ground Fault

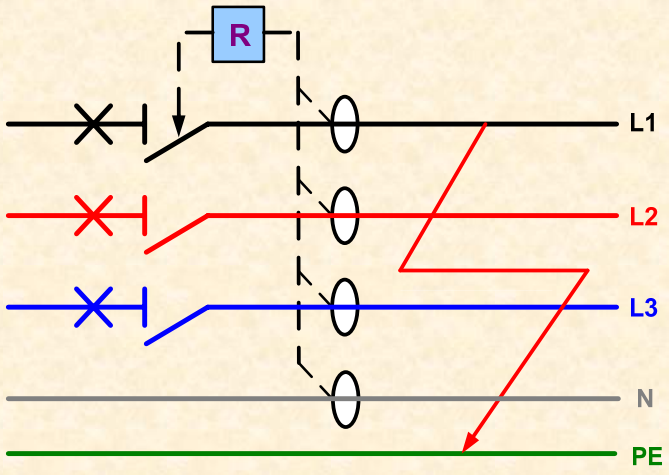
การตรวจวัดการเกิด Ground Fault

ใช้กฎของ **Kirchhoff** คือ

$$\Sigma I = 0$$

มี **3 วิธี** คือ

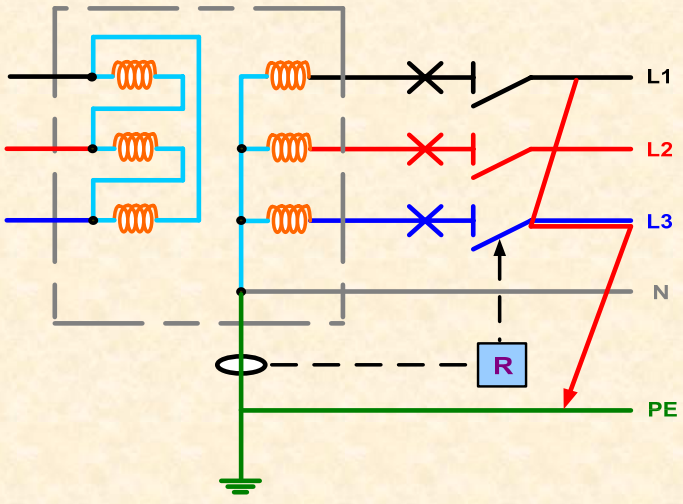
- Residual Sensing (RS)
- Source Ground Return (SGR)
- Zero Sequence (ZS)



Residual Sensing

Residual Sensing (RS)

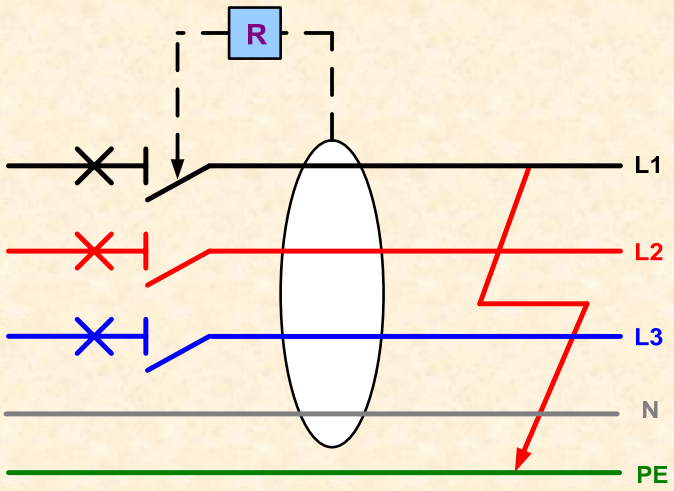
- กระแสจาก CT ของทั้งสาม Phases รวมแบบ Phasor เป็น Ip , Ia + Ib + Ic = Ip
- นำกระแส Ip มาเปรียบเทียบกับกระแสจาก CT ของสาย Neutral In
- ถ้า Ip = In แสดงว่า ระบบเป็นปกติ
- ถ้า Ip ≠ In แสดงว่า เกิด GF ผลต่างคือ กระแส Ig
- ถ้า Ig > Setting , แสดงว่าเกิด Ground Fault มากพอ CB จะตัดวงจรตามเวลาที่ตั้งไว้



Source Ground Return (SGR)

Source Ground Return (SGR)

- สาย Ground (PE) จะต่อเข้าจุด Neutral (N)
- มี ZCT ติดตั้ง ระหว่างสาย PE และจุด N
- สาย Ground จะต่อเข้ากับส่วนโลหะที่เครื่องห่อหุ้ม ที่ไม่นำกระแส
- เมื่อเกิด Ground Fault , Ig จะไหลกลับไปจุด N
- ถ้า Ig > Setting แสดงว่าเกิด Ground Fault มากพอ CB ตัดวงจรตามเวลาที่ตั้งไว้



Zero Sequence (ZS)

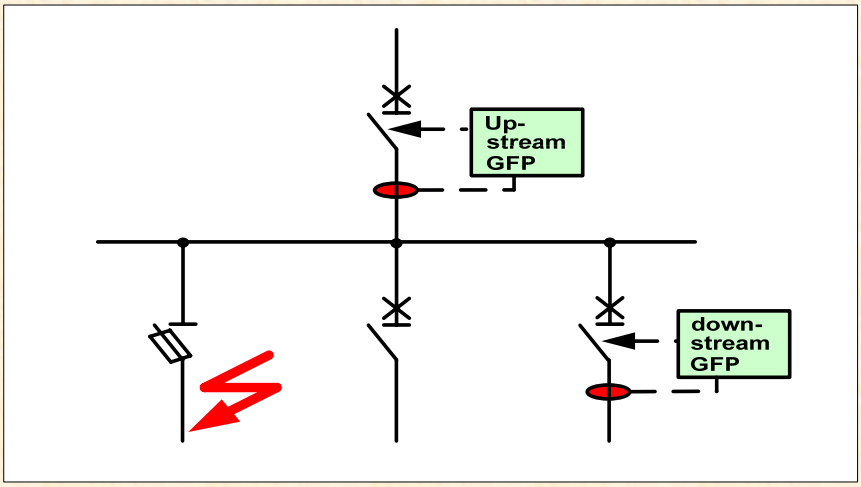
Zero Sequence (ZS)

- มี ZCT ล้อม Phases ทั้งสามพร้อมสาย Neutral (ถ้ามี)
- ระบบเป็นปกติ กระแสทั้งหมดจะหักล้างกันหมด
  ทางด้าน Secondary ของ ZCT ไม่มีกระแส
- เมื่อเกิด GF, ทางด้าน Secondary ของ ZCT
  จะมีกระแสไหลคือ Ig
- เมื่อ Ig > Setting , แสดงว่าเกิด Ground Fault มากพอ
  CB จะตัดวงจรตามเวลาที่ตั้งไว้

6. GFP Coordination

- ตามมาตรฐาน ของ วสท
  กำหนดให้มี GFP ที่ Main เพื่อป้องกันไฟไหม้
- แต่ Insulation Faults เกิดขึ้นที่ Main น้อยมาก
  ส่วนมากจะเกิดขึ้นที่ Feeders หรือ Branches
  ของระบบจ่ายไฟ

- ดังนั้น ระบบที่ดี ควรมี GFP หลายจุดต่ออนุกรมกัน
  เพื่อให้ GFP ที่ใกล้จุดนี้เกิด Fault (Downstream)
  ทำงานก่อนส่วน GFP ที่ถัดไป (Upstream)
  จะทำ หน้าที่ เป็น Back up
  การทำงานประสานกันของ GFP
  เรียกว่า GFP Coordination (Discrimination)



Discrimination between GFP Devices

ใช้ Current Sensing และ

Time Graded Type.

1) Current Sensing Discrimination

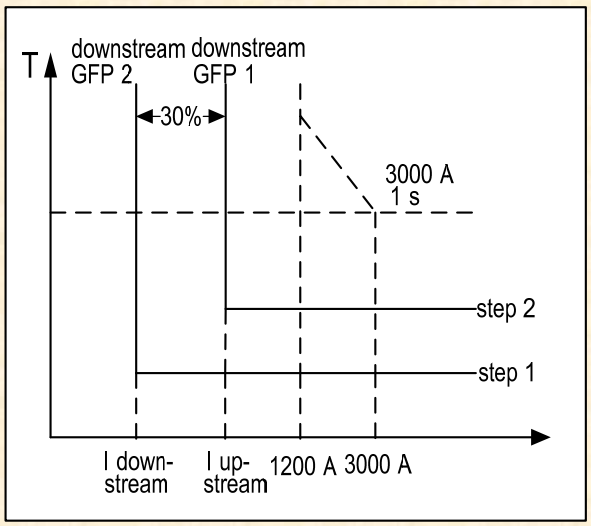
- Upstream GFP ต้องมี Threshold Setting สูงกว่า Downstream GFP
- ต่างกันประมาณ 30 %

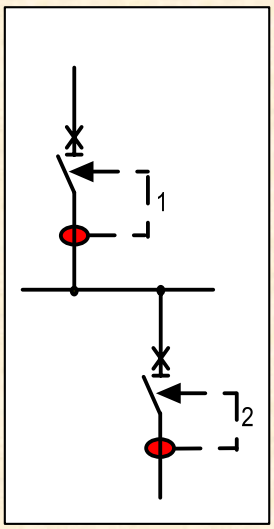
2) Time Graded Discrimination

- Time delay ของ Upstream GFP ต้องมากกว่า Opening Time ของ Downstream GFP โดยทั่วไป ไม่ต่ำกว่า 100 ms
- ตาม NEC 239 - 95

  Setting สูงสุด 1200 A

  Ground Fault 3000 A , 1s





7. ค่า Setting ที่ แนะนำ

1. Main And Bus Tie

- 400 - 1200 A
- Time To Coordinate With Feeder GFP (0.1 – 1.0 s)

2. Feeders

- 200 – 800 A
- Time To Coordinate With Branch GFP (0.1 - 0.5 s)

3. Branch Circuits

- 30 mA – 300 mA
- Instantaneous (0.02 - 0.03 s)

8. อุปกรณ์สำหรับ Ground Fault Protection

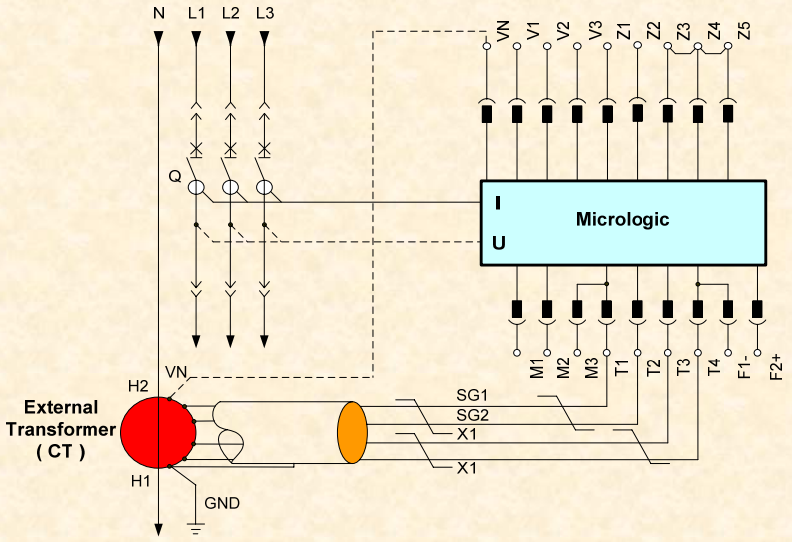
- เนื่องจาก GF เป็น Fault ที่ทำความเสียหายมากที่สุด และ มาตรฐานการติดตั้งก็บังคับให้ต้องมีสำหรับระบบประธานตั้งแต่ 1000 A ขึ้นไป
- บริษัทผู้ผลิต CB ทุกบริษัทก็ได้ทำ CB ซึ่งสามารถให้ GFP ได้ แต่จะเป็น Option วิศวกรไฟฟ้าผู้ออกแบบจะต้องกำหนดให้มี
- CB ที่มี GFP คือ ACB , MCCB

Air Circuit Breaker (ACB)

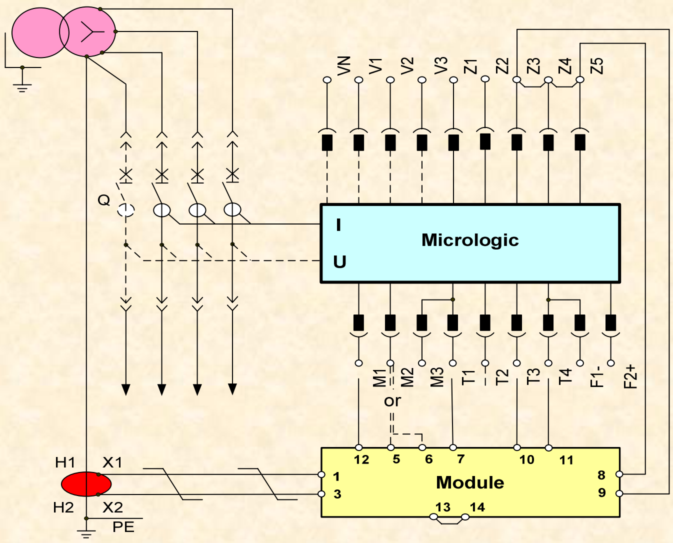
- ACB ซึ่งเป็น CB ขนาดใหญ่ 800 A – 6300 A
  ใช้ป้องกัน วงจร Main , Feeders ส่วนมากจะเป็นแบบ 3 Pole
  และมี Trip Unit เป็นแบบ µP Based
  ซึ่งมี Option สำหรับ GFP แบบ RS , SGR
  แต่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมคือ
  External Transformer (CT) สำหรับ Neutral หรือ Ground

- GFP จะมีการ Setting 2 แบบคือ
  Ground Fault Current (Ig) (0.1 – 1.0) In แต่ไม่เกิน 1200 A
  Time Delay 0.1 – 1.00 s

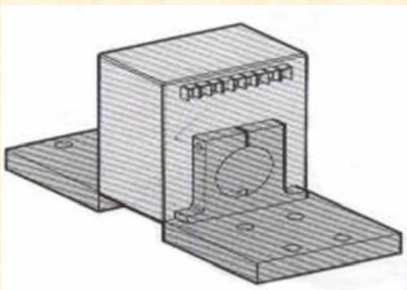
Residual Sensing (RS)



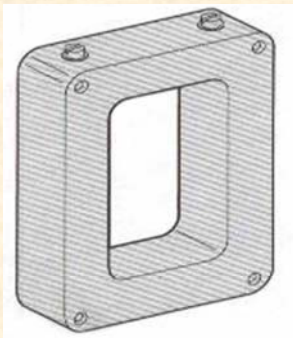
Source Ground Return (SGR)



22/03/2011 ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ 41

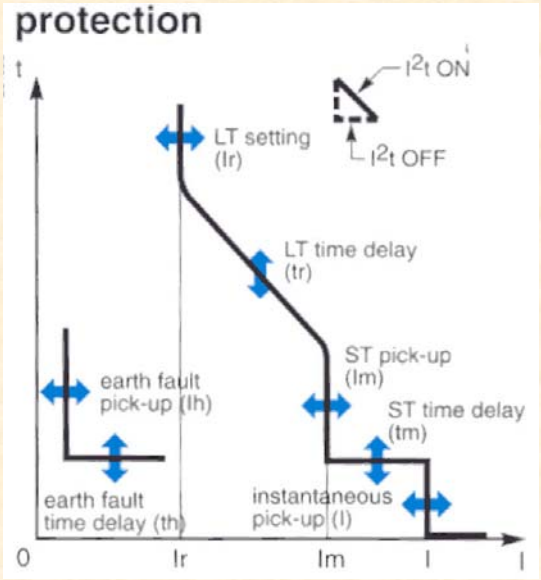


Neutral CT (NCT)



Zero Sequence CT (ZCT)

22/03/2011 ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ 42



กราฟแสดงการทำงานของ CB แบบ Electronic trip unit

Tripping Curve CB ΜP Based Electronic Trip Unit

- Phase Overcurrent Tripping Curve
- Earth Overcurrent Tripping Curve

1) Phase Overcurrent Tripping Curve

- Long Time Setting
- Long Time Delay
- Short Time Pick - up
- Short Time Delay
- Instantaneous Pick - up

Tripping Curve CB μP Based Electronic Trip Unit

- Phase Overcurrent Tripping Curve
- Earth Overcurrent Tripping Curve

2) Earth Overcurrent Tripping Curve

- Earth Fault Pick - up
- Earth Fault Time Delay

Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

- MCCB ซึ่งเป็น CB ขนาดกลาง 400 A – 1600 A
  ใช้ป้องวงจร Main ขนาดเล็ก , Feeders
  ส่วนมากจะเป็นแบบ 3 Pole และมี Trip Unit เป็นแบบ
  μP Based ซึ่งมี Option สำหรับ GFP แบบ RS
  แต่ต้องอุปกรณ์เสริมคือ
  External Transformer (CT) สำหรับ Neutral
- GFP จะมีการ Setting 2 แบบคือ
  Ground Fault Current (Ig) (0.1 – 1.0) In แต่ไม่เกิน 400 A
  Time Delay 0.1 – 0.5 s

9. GFP Applications

การติดตั้ง GFP ให้ถูกต้องและใช้งานได้

ขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้า

- ระบบไฟฟ้า แหล่งจ่ายเดียว One Source
- ระบบหลายแหล่งจ่าย Multisources

ระบบไฟฟ้าแหล่งจ่ายเดียว One Source

- Transformer 1 ลูก
- Generator 1 เครื่อง

ระบบไฟฟ้าหลายแหล่งจ่าย Multisources

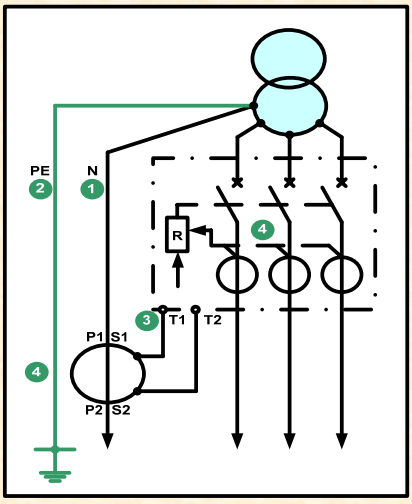
ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ 2 แหล่งจ่าย

- Transformer 2 ลูก
- Transformer + Generator

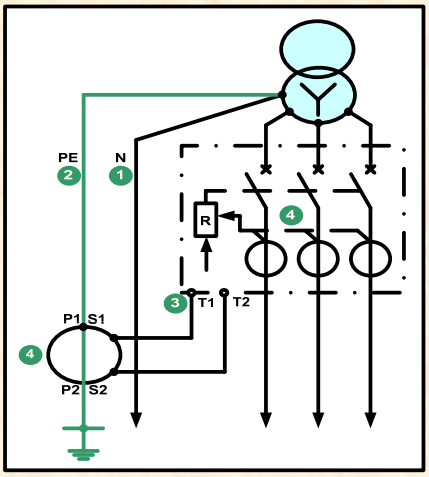
10. ระบบไฟฟ้าแหล่งจ่ายเดียว

- การป้องกัน **Ground Fault** สำหรับระบบนี้ทำได้อย่างไม่มีปัญหา การตรวจวัดทำได้อย่างถูกต้อง สำหรับ
  - **Single Phase Load , Harmonic**
  - **Fault Conditions**
- อาจใช้วิธี
  - **Residual Sensing (RS)**
  - **Source Ground Return (SGR)**

Residual Sensing (RS)



Source Ground Return (SGR)



ระบบไฟฟ้าแหล่งจ่ายเดียว

- ระบบ , TN - S

  Phase A , B , C

  Neutral N

  Ground PE

  ∴ ระบบมี 5 เส้น

  สาย N และ PE ต่อถึงกันที่เดียวเท่านั้น

  คือที่ บริภัณฑ์ประธาน ตู้ MDB เท่านั้น

- GFP แบบ RS

1) Normal Condition

Single Phase Load , Harmonics

มีกระแสไหลในสาย N

- GFP แบบ RS

  มีการตรวจวัดเฉพาะที่ สาย A , B , C และ N

- ระบบเป็นปกติ

  เมื่อกระแสรวมกันได้เท่ากับศูนย์

  $I_A + I_B + I_C + I_N = 0$

2) Fault Conditions

- เมื่อเกิด Ground Fault , Ig

  กระแส Ig จะไหลผ่านสาย PE

- ระบบ RS ตรวจวัดได้

  ถ้า Ig > Setting

  GFP จะสั่ง CB ให้ Trip ตามเวลาที่ตั้งไว้

ทั้ง 2 กรณี ระบบ GFP ตรวจวัดได้ถูกต้อง ใช้ได้ OK

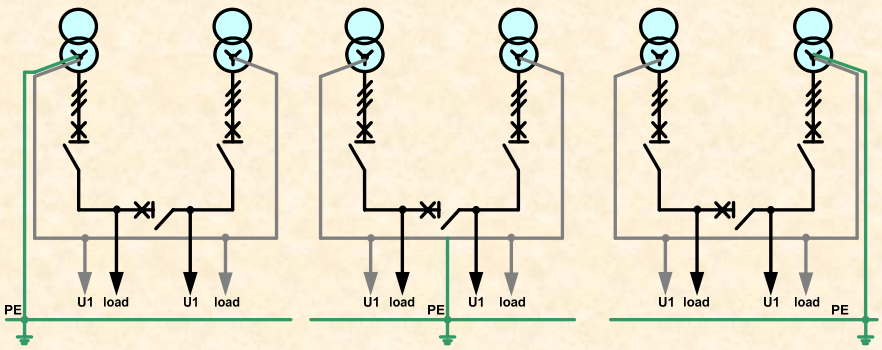
11. ระบบไฟฟ้าหลายแหล่งจ่าย

- จะกล่าวเฉพาะระบบไฟฟ้าที่มี 2 แหล่งจ่าย
- การต่อลงดินทำได้ 2 แบบคือ
  1) Single Point Earthing
  2) Two Points Earthing
- การต่อลงดินมีผลอย่างมากต่อระบบ GFP

12. Ground Fault Protection

สำหรับ Single Point Earthing

- ระบบมีการต่อลงดิน เพียงจุดเดียว
- มีเพียง 1 Path สำหรับกระแสไหลกลับไปยัง Source
  1) กระแส Neutral ผ่าน N
  2) กระแส Fault ผ่าน PE

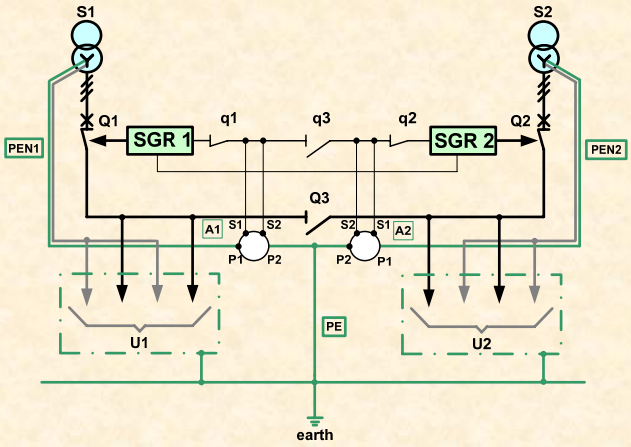


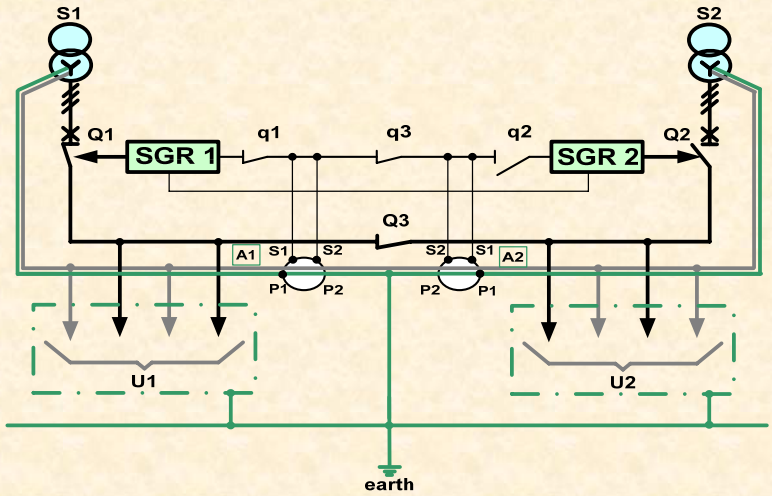
ต่อลงดิน

ด้านซ้าย ตรงกลาง ด้านขวา

GFP Single Point Earthing

ต่อลงดินที่ตรงกลาง ระบบแบบที่ 1





- ส่วนของ A1 (หรือ A2) เป็น
  - a) PE สำหรับ Normal Operation
  - b) PEN ใน R1 (หรือ R2) Operation
  - c) N สำหรับ R2 (หรือ R1) Operation
- มี CT 2 ชุด
- ด้าน Secondary ของ CT
  - ขั่ว S_1 ต่อเข้าด้วยกัน
  - ขั่ว S_2 ต่อเข้าด้วยกัน

Normal Operation

- GFP เป็นแบบ SGR

1) Single Phase Load , Harmonic

มีกระแสไหลในสาย N

- ไม่กระแสไหลผ่าน PE , A1 หรือ A2

∴ ระบบ GFP ใช้ได้ OK.

2) R2 Replacement Operation

- Q1 และ Q3 ปิด Q2 เปิด ใช้ไฟจาก Source S1
- Link A1, A2 เป็น PEN สำหรับ U2
- กระแส Neutral ไหลผ่าน Primary ของ CT ทั้ง 2 ตัว สำหรับ Load U2 แต่ทาง Secondary CT จะหักล้างกันหมด

∴ ไม่มีกระแสเข้า SGR1

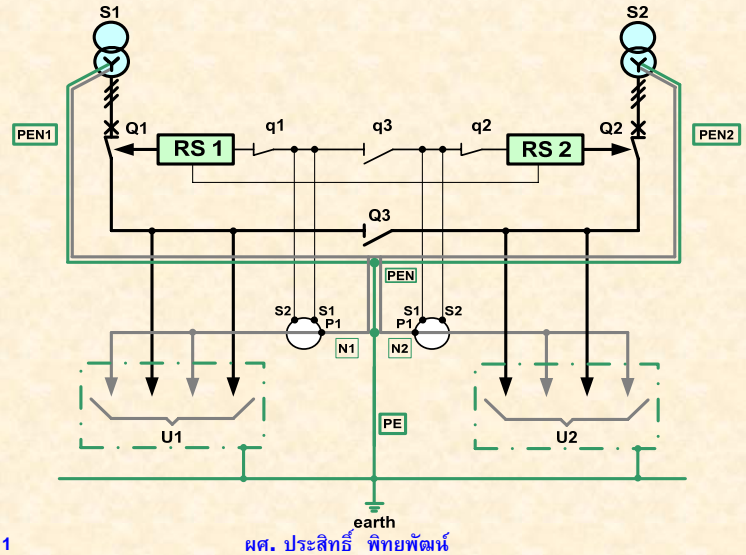
ระบบ GFP วัดได้ถูกต้อง

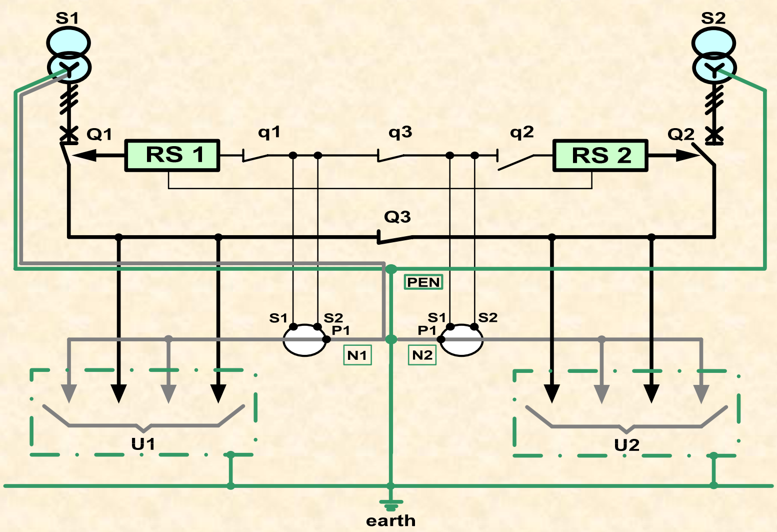
3) Fault Condition

- กระแส Fault ไหลผ่าน CT
- GFP แบบ SGR จะทำงานและสั่ง CB ให้ Trip ภายในเวลาที่ตั้งไว้

GFP Single Point Earthing

ต่อลงดินที่ตรงกลาง ระบบแบบที่ 2





ทำ Bar Neutral เพิ่มทั้ง 2 ด้าน

22/03/2011 ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ 65

<u>ระบบแบบที่ 2</u>

- ทำ Neutral เพิ่มให้แต่ละ Source
- GFP เป็นแบบ RS แยกกัน
- มี Neutral CT แยกกัน

22/03/2011 ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ 66

1) Normal Condition

Single Phase Load , Harmonic

- เนื่องจาก Neutral มี One Path
  ที่จะกลับไปยัง Source

  ∴ GFP1 (or GFP2)
  จะทำงานเหมือน Single Source System

  ∴ ระบบ GFP ตรวจวัดได้ถูกต้อง OK

2) ใน R1 (หรือ R2) Operation

- Q1 และ Q3 ปิด , Q2 เปิด ใช้ไฟจาก Source S1
- กระแส N มี 2 ชุด คือจาก U1 และ U2
  กระแส N ทาง Secondary ของ CT ทั้งสองจะรวมกัน

Note

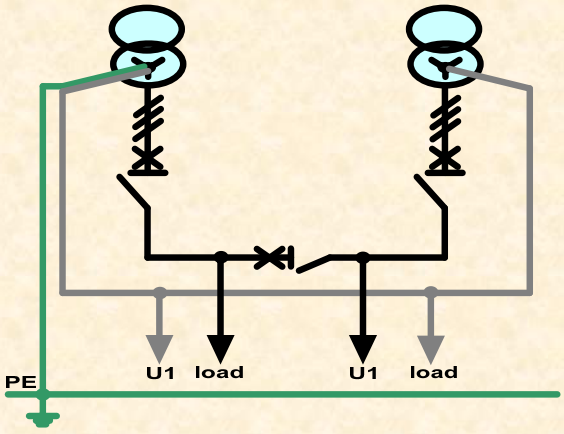
Polarity ของ CT ต้องต่อให้ถูกต้อง

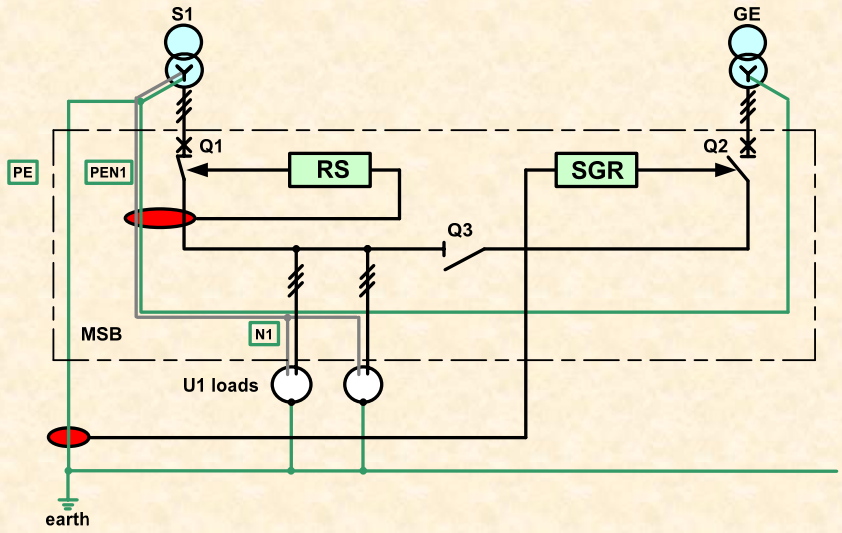
3) Fault Condition

- เมื่อเกิด Insulation Fault ทางด้าน Source ใด กระแส Fault ก็จะไหลไปยัง Source นั้น
- GFP ของ Source ที่เกิด Fault ก็จะ Trip CB ของ Source ออก
- อีก Source หนึ่งก็ยังคงใช้งานตามปกติ

GFP Single Point Earthing

ต่อลงดินที่ปลาย หนึ่งของหม้อแปลง





Source S1 เป็น Transformer , GE เป็น Generator

- Earthing ที่ Source S1

  Source GE โดยทั่วไปคือ Standby Generator

  ไม่มีการ Earthing

- ด้าน S1 GFP เป็นแบบ RS

  ด้าน GE GFP เป็นแบบ SGR

Normal Operation

- ระบบเหมือน Single Source System

  เนื่องจากสาย N และ PE แยกกัน

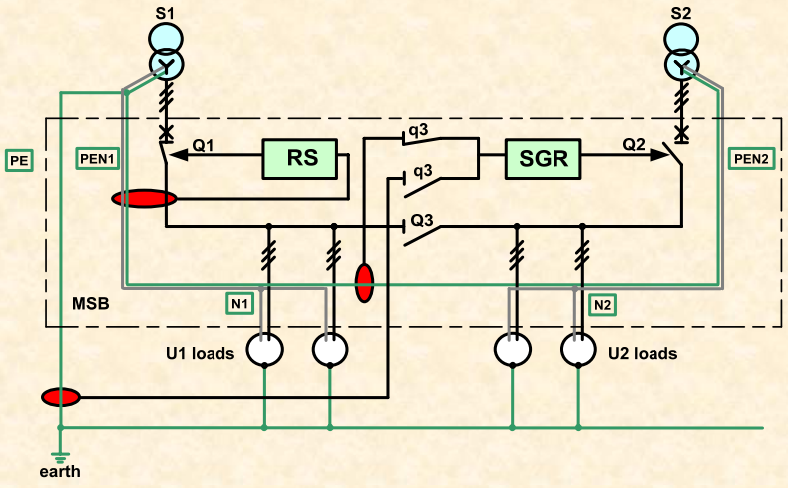
R2 Replacement Operation

- ที่ Q2 สาย N และ PE ใช้ร่วมกันเป็น PEN

∴ ต้องใช้ GFP แบบ SGR

GFP Single Point Earthing

ต่อลงดินที่ปลาย หนึ่งของหม้อแปลง ที่สมบูรณ์



Normal Operation

- สำหรับ Q1 ซึ่งที่ต่อ Earthing
  ระบบเหมือน Single Source
- สำหรับ Q2 ซึ่ง GFP เป็นแบบ SGR

Replacement Operation

Normal R1 Operation

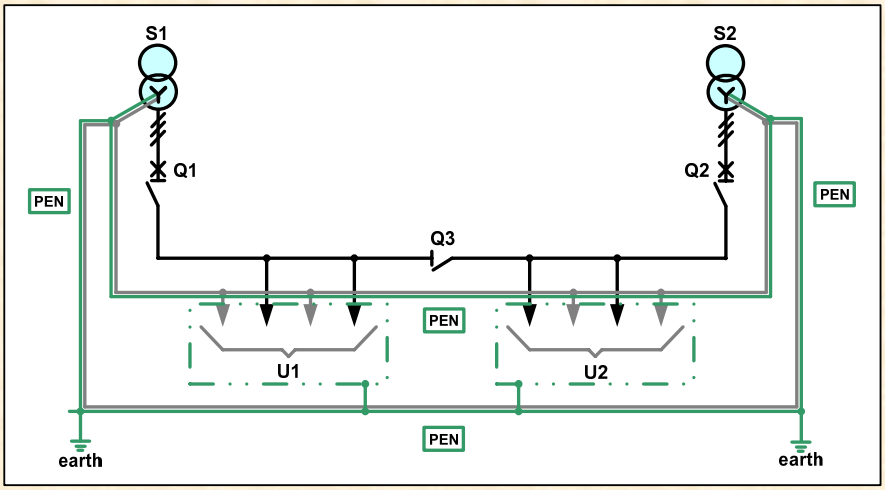
- ระบบจะเป็นเหมือน Single Source

Normal R2 Operation

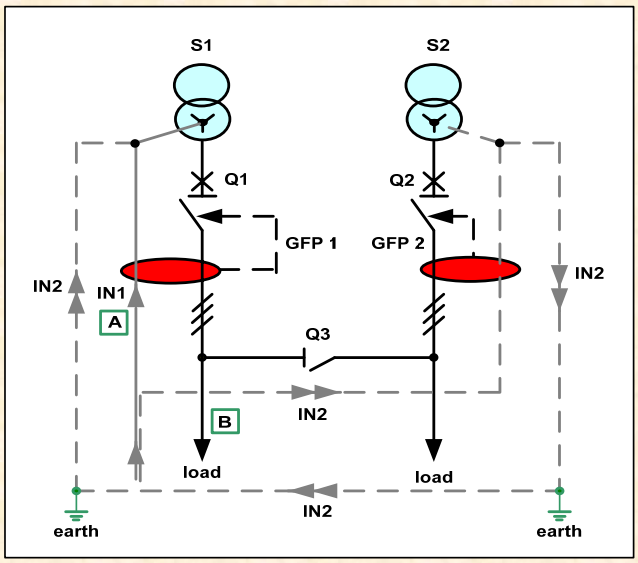
- PE 2 กลายเป็น PEN
  ต้องมี External CT ตัวที่ 2 ที่สาย PE

13. Ground Fault Protection สำหรับ 2 Points Earthing

- ตามรูปมี Transformer ทั้ง 2 ลูก
  ต่างต่อลงดินแยกกัน
  มี หลักดิน 2 ชุด
- ใช่ สาย N ร่วมกัน
  ∴ สาย N และ PE จะต่อขนานกัน
- ลองพิจารณาว่าระบบ GFP ใช้ได้หรือไม่



Source ทั้ง 2 ต่างต่อลงดินแยกกัน



จ่าย Single Phase Load ที่ Source S1

1) Normal Condition

Single Phase Load , Harmonics

มีกระแสไหลในสาย N

- เนื่องจากสาย N และ PE ต่อขนานกัน

  ∴ สำหรับ Single Phase Load

  กระแสไหลกลับที่สาย N และ PE

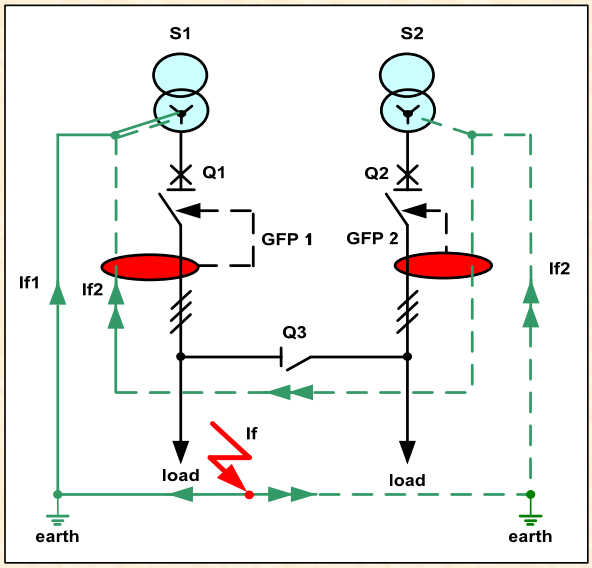
- สาย PE ซึ่งรวมถึงเครื่องห่อหุ้มโลหะทั้งหมดจะมีกระแสไหลผ่าน

- ระบบ RS ตรวจวัดได้ไม่ถูกต้อง

ถ้าค่าที่วัดได้เกิน Setting GFP จะสั่งให้

CB อาจ trip ทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เกิด Ground Fault

∴ ต่อแบบนี้ใช้ไม่ได้



เกิด Ground Fault ที่ Source S1

2) Fault Conditions

- ถ้าเกิด Ground Fault ที่ แหล่งจ่าย S1
  จากรูปจะเห็นได้ว่า
  GF Current สามารถไหลกลับได้ 2 ทาง
  ทำให้ระบบ RS ตรวจวัดได้ไม่ถูกต้อง
- ถ้า GF Current เกินค่า Setting เล็กน้อย
  ระบบ RS อาจตรวจได้น้อยกว่า Setting
  และ CB จะไม่ trip
  ไม่ถูกต้อง เมื่อมี Ground Fault ระบบ GFP จะต้องสั่ง CB ให้ trip

- ระบบ RS ของแหล่งจ่าย ที่ไม่ได้จากเกิด Fault
  อาจตรวจได้กระแส Fault เกินค่า Setting
  และสั่ง CB ให้ Trip ไม่ถูกต้อง

∴ ทั้ง 2 กรณี วงจรที่ต่อลักษณะอย่างนี้
ระบบ GFP ตรวจวัดไม่ถูกต้อง
ดังนั้นจึง ใช้ไม่ได้

การแก้ปัญหา GFP ให้ใช้ได้

สำหรับ ระบบไฟฟ้าแบบ Multisoures ที่ต่อลงดิน 2 จุด
มี 2 วิธี

1) ต่อแบบ Modified Differential GFP

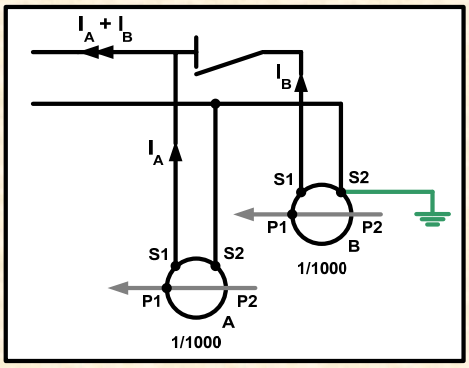
2) ใช้ CB หรือ ATS แบบ 4 Poles

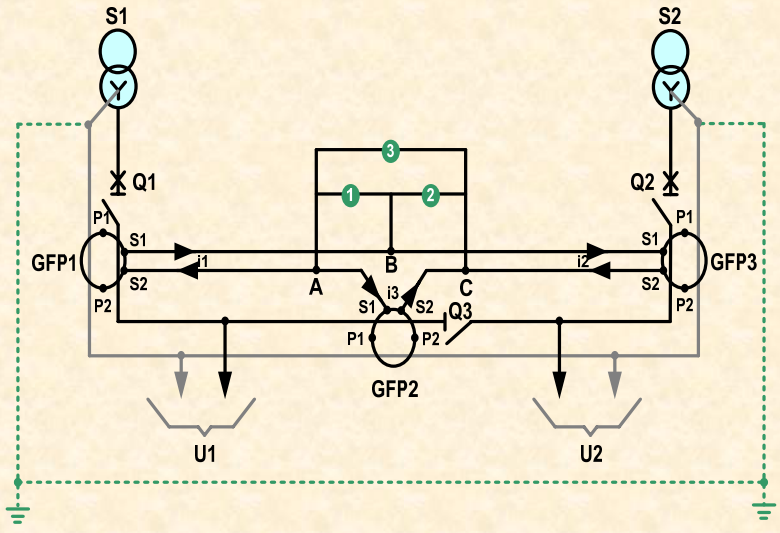
14. Modified Differential GFP

- ใช้ CB , ATS แบบ 3 poles
- มี 3 GFP devices , RS type ติดตั้งไว้กับ CB
  Sensors อยู่ที่เลข 1 , 2 , 3 ตามลำดับ
- มี Coupling of CTs

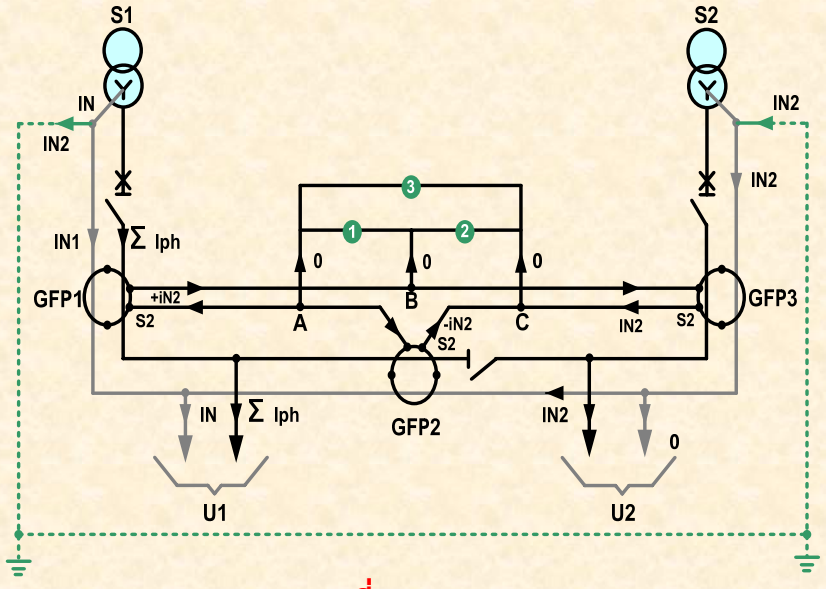
Coupling of CTs

- CT ต้องต่อ Polarity ให้ถูกต้อง
- กระแสทาง Secondary CT จะบวกหรือลบกัน ขึ้นอยู่กับทิศทางกระแสของ Primary





① ② ③ ที่ต่อกับจุด A , B , C คือ GF Sensors



Single Phase Load U1 ที่ S1

1) Normal Operation

Single Phase Load, Harmonic ,

- Load U1 ที่ Source S1

Neutral Current , Harmonic , and / or unbalance

IU1 = Σ Iph

IU1 = IN

- สมสุติให้ไม่มีโหลดที่ Source S2 , No Load U2

IU2 = 0

Neutral IU2 = 0

- ถ้าไม่มี Faults ที่ U1 and U2

Σ Iph + IN = 0

I = IN1 + 1N2

- Primary Current GFP1

$$\vec{I}1 = \vec{I}N1 + \Sigma \vec{I}ph = -\vec{I}N2$$

- Secondary Current GFP 2

$$\vec{i}1 = -\vec{i}N2$$

ในทำนองเดียวกัน

การตรวจวัดกระแสที่ GFP2 , GFP3

Secondary Current GFP2 i 2 = iN 2

Secondary Current GFP3 i 3 = iN 2

ตามการตรวจวัดที่ได้ทางด้าน Secondary

กระแส iA , iB , iC. ทำให้หากระแสที่เข้า Sensors ของ GFP ได้

iA = i 1 – i 3 = 0

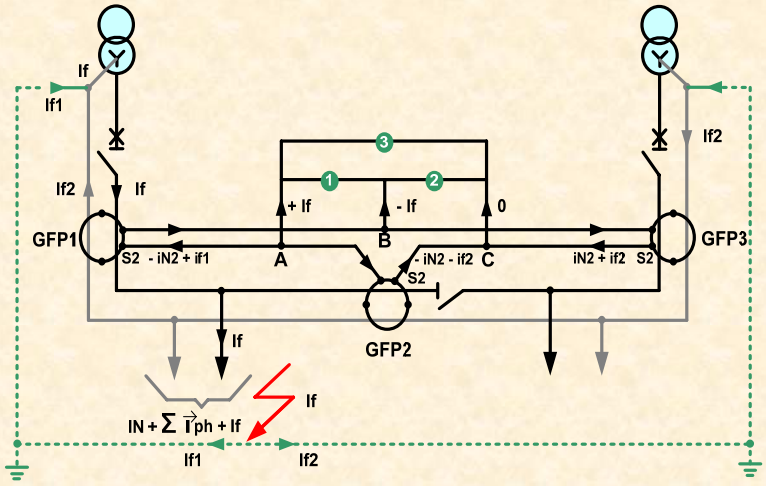
iB = i 1 – i 2 = 0

iC = i 2 + i 3 = 0

∴ No fault detection

∴ GFP System ⟶ O.K

Fault Condition



- Faults on U1 ,

  Fault Current = If = If 1 + If 2

  ∴ Σ Iph + IN + If = 0

- Primary Current GFP 1

$$\vec{I}1 = \vec{I}N2 + \vec{I} - \vec{I}f2 = -\vec{I}N2 + \vec{I}f1$$

- Secondary Current GFP 1

  i 1 = iN 2 + if 1

ในทำนองเดียวกัน

- Secondary Current GFP2

  $i_2 = iN_2 + if_2$

- Secondary Current GFP3

  $i_3 = -iN_2 - if_2$

- ดังนั้นสามารถหากระแสที่ไหลผ่าน Sensors ได้ดังนี้

  iA , iB , iC

  $iA = if$

  $iB = -if$

  $iC = 0$

  กระแส Ground Fault If จะถูกตรวจวัดที่ ① เท่านั้น

  GFP1 ตรวจวัดได้ และสั่ง CB 1 ให้ trip

  ∴ การตรวจวัดทำได้ถูกต้อง

  GFP System → OK

- ระบบป้องกัน GF ที่ต่อแบบ Modified Differential GFP ซึ่งใช้ CB หรือ ATS แบบ 3 poles สามารถใช้งานได้ ถ้าต่อถูกต้อง
- ระบบ Modified Differential GFP มีการใช้อย่างมาก ใน ประเทศ USA
- ระบบ Modified Differential GFP ราคาจะถูกกว่า ระบบที่ใช้ CB , ATS แบบ 4 poles
- ระบบนี้มีข้อเสียที่จะมี Neutral circulating current ไหลในที่ห่อหุ้ม หรือโครงสร้างโลหะ

15. ใช้ CB หรือ ATS แบบ 4 Poles

- การใช้แบบ 4 Poles คือ แยก A , B , C และ N ของทั้ง 2 แหล่งออกจากกัน
  ∴ เป็นระบบ TN - S 2 ชุด
  เป็น Single Source System 2 ชุด

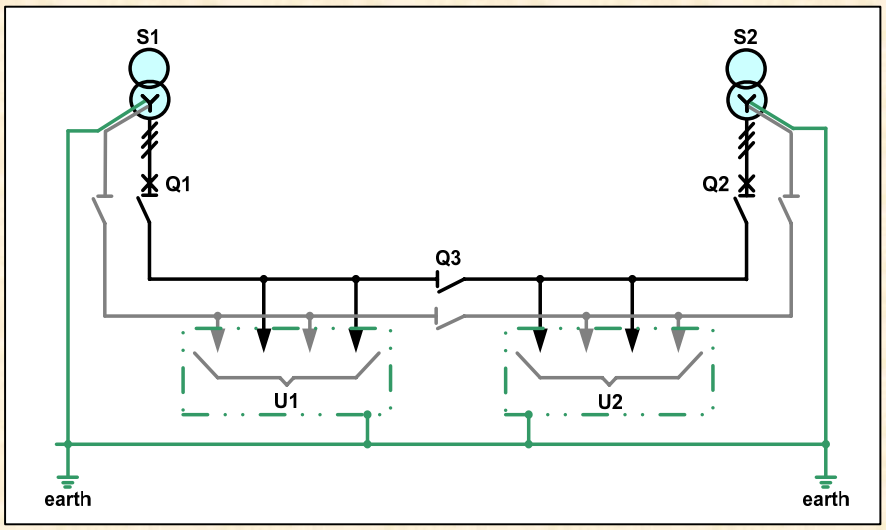
- ระบบ RS ที่ใช้ จะเป็นแหล่งจ่ายเดียว ซึ่งไม่มีปัญหาในการตรวจวัด

- นอกจากนี้การใช้ CB หรือ ATS แบบ 4 Poles

ทำให้กระแส Single Phase Loads , Harmonic Current

ไม่สามารถไหลในสาย PE ได้

จะแก้ปัญหา EM Effects ได้ด้วย



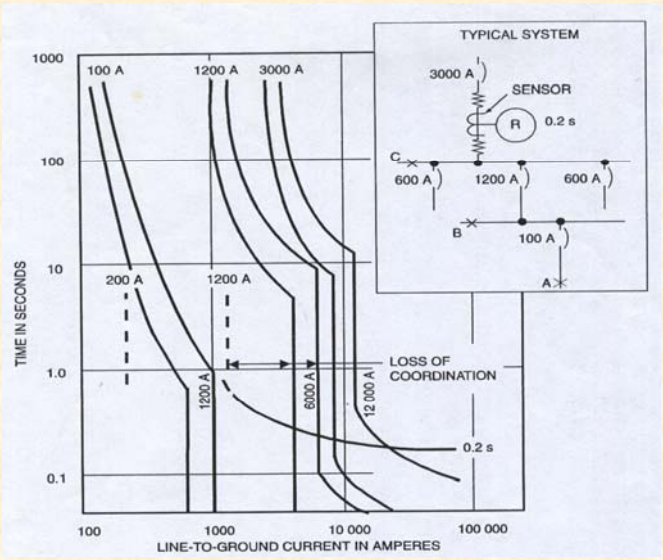
CB ที่ S1 , S2 ,และ Tie ต้องเป็นแบบ 4 Pole

16. ตัวอย่าง Ground Fault Protection on Mains only

ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ปี 2545
(ฉบับปรับปรุง 2551) ของ ว.ส.ท.
ข้อ 3.5.2 เครื่องป้องกันกระแสเกินบริภัณฑ์ประธาน
บริภัณฑ์ประธาน $I \geq 1000$ A ต้องมี GFP
การที่มีระบบ GFP ที่ Main อย่างเดียวมีข้อดีและไม่ดี ดังนี้
- ราคาถูก
- การป้อง Arcing Fault จะทำได้ไม่ดีนัก
- เกิด Loss Of Coordination

ลองพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้

- Single Line



ระบบมีหลายละเอียดดังนี้

- Main 3000 A

  มี Long-time and Short Time

  trip devices

- Feeder 1200 A

  มี Long-time และ Instantaneous trip devices

- Branch circuit , MCCB

  มี Thermal และ Instantaneous trip devices

- GFP ที่ Main ตั้งไว้ 0.2 s

สำหรับระบบที่มี GFP ที่ Main Ony

จะมี ปัญหาว่า

จะ Set GFP Pick up เท่าใด จึงจะดี

- เพื่อให้สามารถป้อง Arcing Fault ได้
- สามารถ Coordinate กับ Feeders
- และ ต้อง Set ไม่ เกิน 1200 A

ลอง Set Ground Fault Pick up ไว้ 2 ค่า

- GF 200 A , t = 0.2 s
- GF 1200 A , t = 0.2 s

GF 200 A , t = 0.2 s

GF ที่ จุด A

- GF น้อยกว่า 200 A

  GF Relay จะไม่ทำงาน ไม่มีการป้องกัน

- GF 200 – 1000 A

  GF Relay จะทำงาน และทำก่อน

  Instantaneous trip ของ Branch CB (10 x 100 = 1000 A)

  ทำให้เกิด Loss Of Coordination

GF 200 A , t = 0.2 s

GF ที่ จุด B

- GF 200 - 6000 A (Instantaneous trip CB 1200 A

ตั้งไว้ 5 x I , 1200 x 5 = 6000 A)

GF Relay จะทำงาน ก่อน Feeder CB

ทำให้เกิด Loss Of Coordination

GF 200 A , t = 0.2 s

GF ที่ จุด C

- ถ้า GF ≥ 200 A

GF Relay จะทำงาน

ทำให้ป้องกัน Arcing Fault ได้อย่างดี

GF 1200 A , t = 0.2 s

GF ที่ จุด A

- GF น้อยกว่า 1200 A

  GF Relay จะไม่ทำงาน ไม่มีการป้องกัน

  Arcing Fault จะทำความเสียหายอย่างมาก

GF 1200 A , t = 0.2 s

GF ที่ จุด B

- GF น้อยกว่า 1200 A

  GF Relay จะไม่ทำงาน ไม่มีการป้องกัน

  Arcing Fault จะทำความเสียหายอย่างมาก

GF 1200 A , t = 0.2 s

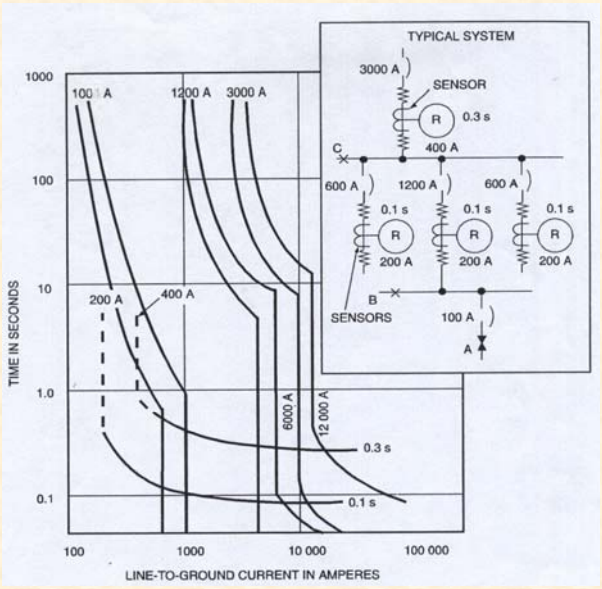
GF ที่ จุด C

- GF น้อย ๆ จนถึง 1200 A
  จะไม่ได้รับการป้องกัน
  Arcing Fault ในช่วงนี้จะทำความเสียหายอย่างมาก
- Sever Arc Fault Over 1200 A จะได้รับการป้องกัน

17. ตัวอย่าง Ground Fault Protection On Main And Feeders

- GFP ที่ Main Only
  จะป้องกันได้เฉพาะ Severe Arcing Fault เท่านั้น
- ระบบที่ป้องกัน Arcing Fault ได้ดี
  และสามารถทำ GF Coordination ได้ด้วย คือ
  ระบบที่มี
  GFP ที่ Main และ
  GFP ที่ Feeders ด้วย
- ลองพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้

- **Single Line**



ระบบไฟฟ้าเป็นดังนี้

- Main CB 3000 A
- Feeders 600 A , 1200 A , 600 A
- Branch 100 A
- มี GFP
  - ที่ Main CB Setting 400 A , 0.3 s
  - ที่ Feeders 200 A , 0.1 s

- จากตัวอย่างที่แล้ว

  GFP ที่ Main only ยังไม่ค่อยดี

- ในตัวอย่างนี้

  ที่ Main และ Feeders

  สามารถตั้ง GFP ได้

  เพื่อให้สามารถป้องกัน Arcing Fault ได้

Main CB Setting 400 A , 0.3 s

Feeders CB Setting 200 A , 0.1 s

GF ที่ จุด A

- GF น้อยกว่า 200 A

  GF Relay จะไม่ทำงาน ไม่มีการป้องกัน

- GF 200 – 1000 A

  Feeder GF Relay จะทำงาน และทำก่อน

  Instantaneous trip ของ Branch CB (10 x 100 = 1000 A)

  ทำให้เกิด Loss Of Coordination

- GF มากกว่า 1000 A

  Instantaneous trip ของ Branch CB (10 x 100 = 1000 A)

Main CB Setting 400 A , 0.3 s

Feeders CB Setting 200 A , 0.1 s

GF ที่ จุด B

- GF น้อยกว่า 200 A

  GF Relay จะไม่ทำงาน ไม่มีการป้องกัน

- GF 200 – 400 A

  Feeder GF Relay จะทำงาน

- GF 400 - 6000 A

  Feeder GF Relay จะทำงาน ถ้าเกิดขัดข้อง GF Relay ที่ Main ซึ่งเป็น Back up จะตัดวงจรภายใน 0.3 s

- GF มากกว่า 6000 A

  Instantaneous trip ของ CB 1200 A จะตัดวงจร

Main CB Setting 400 A , 0.3 s

Feeders CB Setting 200 A , 0.1 s

GF ที่ จุด C

- GF น้อยกว่า 400 A

  GF Relay จะไม่ทำงาน ไม่มีการป้องกัน

- GF มากกว่า 400A

  Main GF Relay จะทำงาน และสั่งตัดวงจร ภายใน 0.3 s

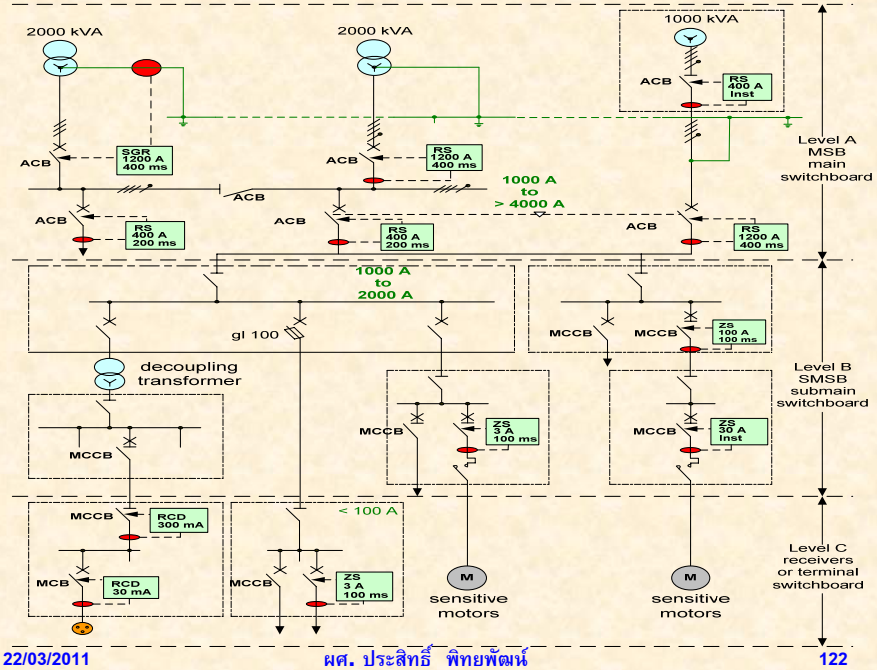
18. Single Line แสดงตำแหน่ง และวิธีการตรวจวัด GFP

การป้อง **Ground Fault**

ที่ตำแหน่ง และวิธีการตรวจวัด

ของระบบไฟฟ้า

ขอให้ดู **Single Line Diagram**



Level A MSB Main Switch Board

- ระดับกระแสสูงมาก กว่า 2000 A
- กระแส Ground Fault สูงมาก
- การป้องกันใช้ GFP แบบ

Residual Sensing (RS)

หรือ

Source Ground Return (SGR)

Level B SMSB Sub Main Switch Board

- ระดับกระแสสูง 1000 - 2000 A
- กระแส Ground Fault สูงพอควร
- การป้องกันใช้ GFP แบบ

Residual Sensing (RS)

หรือ

Zero Sequence (ZS)

Level C Receivers Or Terminal Switch Board

- ระดับ กระแสต่ำ
- กระแส Ground Fault น้อย
- การป้องกันใช้ RCD แบบ

  Zero Sequence (ZS)

ด้วยความปรารถนาดี

จาก

ผศ. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์