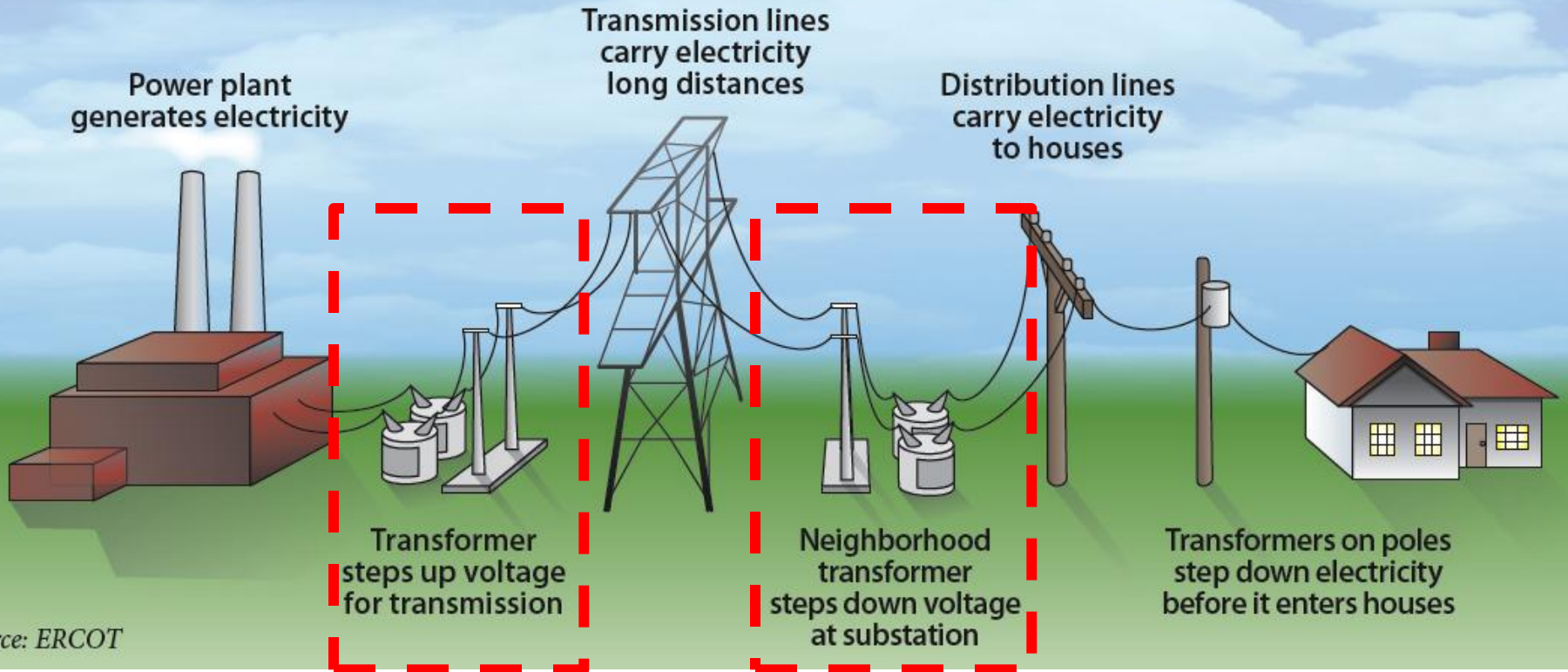


บทที่ 9

การป้องกันหม้อแปลง (Transformer Protection)

9.1 บทนำ



Source: ERCOT

การป้องกันหม้อแปลง

- ต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย
- ออกแบบระบบป้องกันให้เหมาะสมกับขนาดหม้อแปลง
- หม้อแปลงขนาดใหญ่ต้องมีระบบป้องกันที่ดีเป็นพิเศษ

มูลค่าหม้อแปลงเหมาะสมกับมูลค่าของระบบป้องกัน

9.2 ธรรมชาติและผลกระทบของความผิดปกติ ในหม้อแปลง (Nature and Effects of Transformer Faults)

ความผิดปกติในหม้อแปลงขึ้นอยู่กับ

- แหล่งจ่าย (Source)
- อิมพีแดนซ์ที่ต่อจากจุดศูนย์ลงดิน
(Neutral Earthing Impedance)
- รีแอกแตนซ์รั่วไหล (Leakage Reactance) ของหม้อแปลง
- แรงดันที่จุดลัดวงจร (Fault Voltages)
- การต่อขดลวด

พิจารณาเฉพาะ

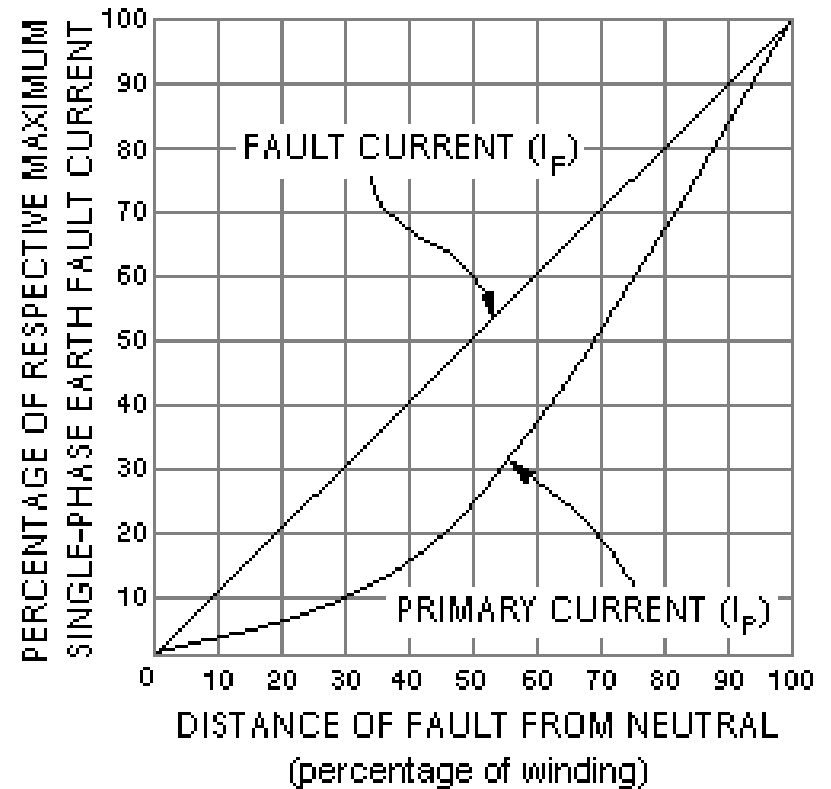
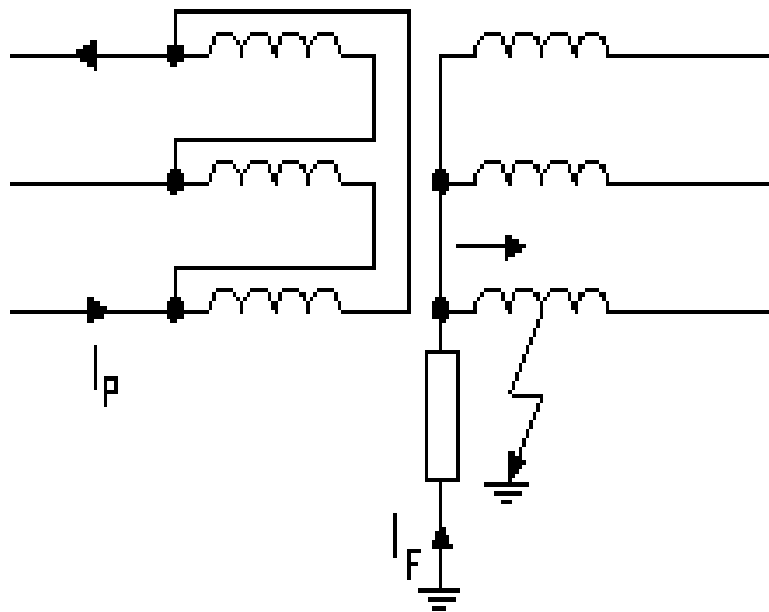
1. หม้อแปลงต่อแบบ Y และต่อจุดศูนย์ (Neutral)
ลงดินผ่านอิมพีแดนซ์
2. หม้อแปลงต่อแบบ Y และต่อจุดศูนย์ (Neutral) ลงดินโดยตรง
3. หม้อแปลงต่อแบบ D
4. การลัดวงจรระหว่างเฟส (Phase-to-Phase Faults)

พิจารณาเฉพาะ (ต่อ)

5. การลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด (Interturn Faults)
6. การลัดวงจรที่แกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Faults)
7. ความผิดปกติที่ถังของหม้อแปลง (Tank Faults)
8. จากสาเหตุภายนอก
9. กระแสพุ่งเข้า (Inrush Current)

1. หม้อแปลงต่อแบบ Y และต่อจุดศูนย์ (Neutral) ลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

- การลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรไหลผ่านอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดิน
- ค่าของกระแสขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดิน และระยะห่างของตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรกับจุดศูนย์

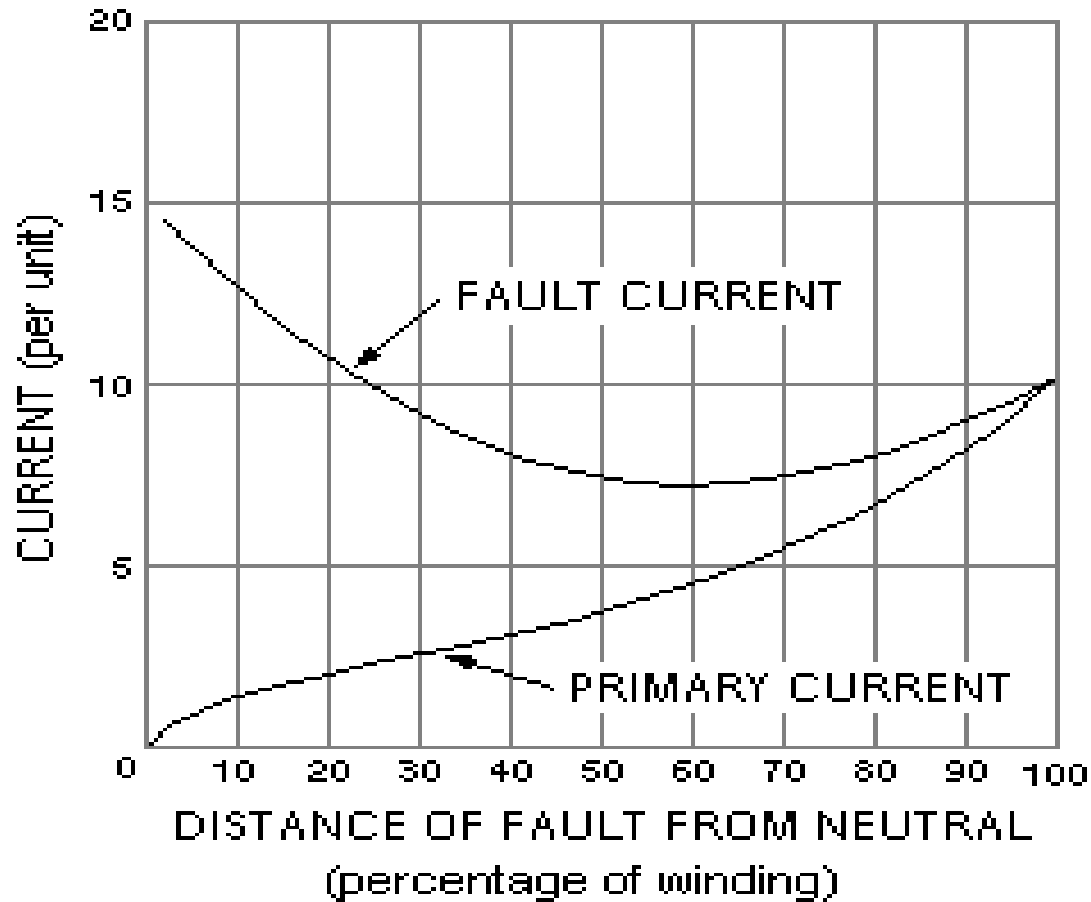


รูปที่ 9.1 หม้อแปลงต่อแบบ Y และต่อจุดศูนย์ (Neutral) ลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

2. หม้อแปลงต่อแบบ Y และต่อจุดศูนย์ (Neutral)

ลงดินโดยตรง

- กระแสลัดวงจรจะถูกกำจัดโดยรีแอกแตนซ์รั่วไหล (Leakage Reactance) ของขดลวดตัวนำโดยตรง
- ค่ารีแอกแตนซ์จะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของการเกิดลัดวงจร



รูปที่ 9.2 กระแสลัดวงจรลงดินในหม้อแปลงที่ต่อเป็น Y และต่อจุดกลาง (Neutral)ลงดินโดยตรง

3.หม้อแปลงต่อแบบ Delta

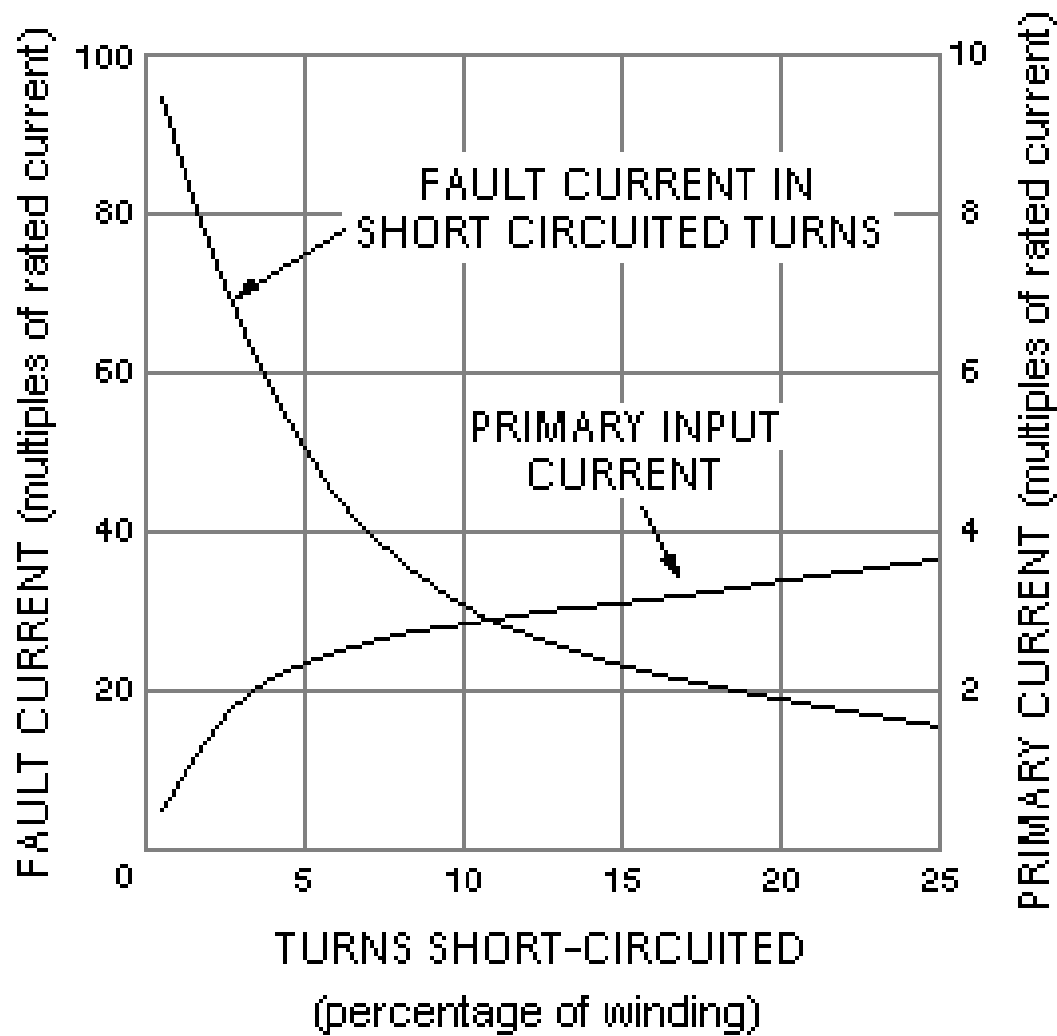
- ต่อขดลวดตัวนำของหม้อแปลงเป็นแบบ Delta
จะไม่มีตำแหน่งที่ขดลวดมีขนาดแรงดันเทียบกับดิน
(Voltage to Earth) มีค่าต่ำกว่า 50% ของแรงดันเฟส
- ความเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสลัดวงจรจึงมีไม่มาก
เหมือนกับกรณีที่ต่อเป็น Y

4.การลัดวงจรระหว่างเฟส (Phase-to-Phase Faults)

- การลัดวงจรระหว่างเฟสมักจะไม่ค่อยเกิดขึ้นในหม้อแปลง
- แต่ถ้าเกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรค่าสูงเทียบเท่ากับกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟสลงดิน

5. การลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด (Interturn Faults)

- แรงดันแบบอิมพัลส์ (Impulse Voltage) ซึ่งสูงชันมีผลมากต่อขดลวดขดต้น ๆ
- มีโอกาสเกิดลัดวงจรบางส่วนในขดลวดตัวนำ (Winding Partial Flash-Over)
- โอกาสเกิดลัดวงจรระหว่างรอบ ประมาณ 70-80%



รูปที่ 9.3 การลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด (Interturn Faults)

6. การลัดวงจรที่แกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Faults)

ถ้าฉนวนระหว่างแกนเหล็กเกิดชำรุด



กระแสไหลวน (Eddy- Current) มีค่าสูง



เกิดความร้อนสูงมากที่ตำแหน่งต่าง ๆ



กระแสไหลเข้าไม่เปลี่ยนแปลง



ไม่สามารถมองเห็น หรือทราบด้วยวิธีการป้องกันทางไฟฟ้าธรรมดา

7.ความผิดปกติที่ถังของหม้อแปลง (Tank Faults)

เมื่อเกิดการรั่วของน้ำมัน



การฉนวนของขดลวดตัวนำลดลง



ทำให้เกิดความร้อนสูง

การระบายความร้อนของหม้อแปลงแย่ลง

8. จากสาเหตุอื่นภายนอก

1) การรับโหลดเกินขนาด

ความสูญเสียในทองแดง (Copper Loss) เพิ่มขึ้น
อุณหภูมิของหม้อแปลงสูงขึ้น

2) การลัดวงจรในระบบ

ทำให้อัตราการเกิดความร้อนสูงขึ้นมาก ความสูญเสียใน
ทองแดงจะแปรตามค่า $(I_{Fpu.})^2$ ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาที่
หม้อแปลงสามารถทนต่อการลัดวงจรภายนอก

**ตารางที่ 9.1 ระยะเวลาที่หม้อแปลงทนกระแสลัดวงจรภายนอกได้
ตาม IEC 60076**

Transformer Impedance (%)	Fault Current (Multiple of Rating)	Permitted Fault Duration (Seconds)
4	25	2
5	20	2
6	16.6	2
7	14.2	2

8. จากสาเหตุอื่นภายนอก (ต่อ)

3) แรงดันเกิน (Overvoltage)

(1) Transient Surge Voltage

จากฟ้าผ่า หรือการเปิดปิดวงจร (Switching) ทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

การป้องกัน

- Rod Gap
- กั๊บดักฟ้าผ่า

3) แรงดันเกิน (Overvoltage) (ต่อ)

(2) Power Frequency Overvoltage

$$E = K_f B_m A f N \quad \dots\dots (9.1)$$

โดยที่

E = ค่า RMS ของแรงดันเหนี่ยวนำ (V)

K_f = แฟคเตอร์รูปร่าง (Form Factor) ของแรงขับเคลื่อนไฟฟ้า

B_m = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก (T)

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (m^2)

f = ความถี่ (Hz)

N = จำนวนรอบของขดลวดตัวนำ (turn)

(2) Power Frequency Overvoltage (ต่อ)

เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น B_m จะเพิ่มขึ้น จนอิ่มตัว



กำลังสูญเสียในแกนเหล็กสูงขึ้น



ทำให้ฉนวนของขดลวดชำรุด

8. จากสาเหตุอื่นภายนอก (ต่อ)

4) ความถี่ลดลง

ถ้าแรงดันสูงขึ้นความถี่ลดลงทำให้

ความหนาแน่นฟลักซ์สูงขึ้นตามปกติ

หม้อแปลงทำงานต่อไปได้ถ้า E / f มีค่าเกิน 1.1

9. กระแสพุ่งเข้า (Inrush Current)

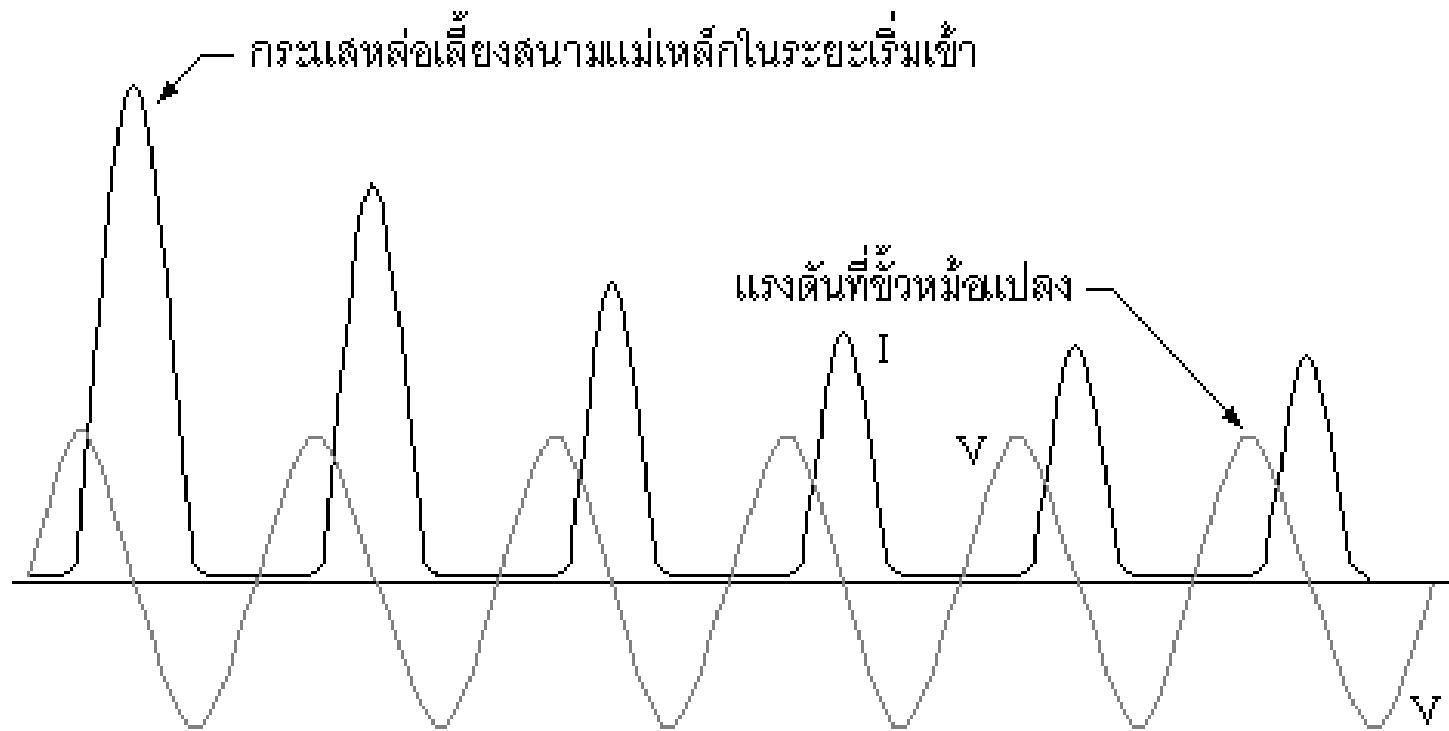
เมื่อสับสวิตช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลง มีการพุ่งเข้าของกระแสล่อเลี้ยงสนาม

ขนาดของกระแสพุ่งเข้าเป็นหลายเท่าของกระแสพิกัด
แต่มีช่วงเวลาสั้น ๆ

9. กระแสพุ่งเข้า (Inrush Current) (ต่อ)

ขนาดและช่วงเวลาที่ขึ้นอยู่กับ

- ขนาดของหม้อแปลง
- ขนาดของระบบไฟฟ้า
- ความต้านทานในวงจร
- ชนิดของสารแม่เหล็กที่ใช้ทำแกนหม้อแปลง
- ฟลักซ์ตกค้าง (Residual Flux)
- จังหวะเวลาที่สับสวิตช์อยู่ตรงจุดใดของคลื่นแรงดัน



รูปที่ 9.4 กระแสไหลต่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กพุ่งเข้า

ปริมาณฮาร์โมนิคในกระแสฟุ้งเข้า

ตารางที่ 9.2 คลื่นฮาร์โมนิคในกระแสเริ่มเข้าหม้อแปลง

ฮาร์โมนิคลำดับที่	ขนาดค่าเป็น % ของค่าความถี่ปกติ (Fundamental)
2	63.0
3	26.8
4	5.1
5	4.1
6	3.7
7	2.4

9.3 การป้องกันหม้อแปลง (Transformer Protection)

การป้องกันหม้อแปลงมีหลายแบบ ตามขนาดและ
สำคัญของหม้อแปลง

- การป้องกันความร้อนสูงเกินไป

(Overheating Protection)

- การป้องกันฟลักซ์สูงเกินไป

(Overfluxing Protection)

- การป้องกันไฟรั่วลงถังหม้อแปลง

(Leakage to Frame Protection)

9.3 การป้องกันหม้อแปลง (Transformer Protection)

- การป้องกันโดยการตรวจก๊าซ

(Gas Detection Protection)

- การป้องกันกระแสเกิน

(Overcurrent Protection)

- การป้องกันการลัดวงจรลงดิน

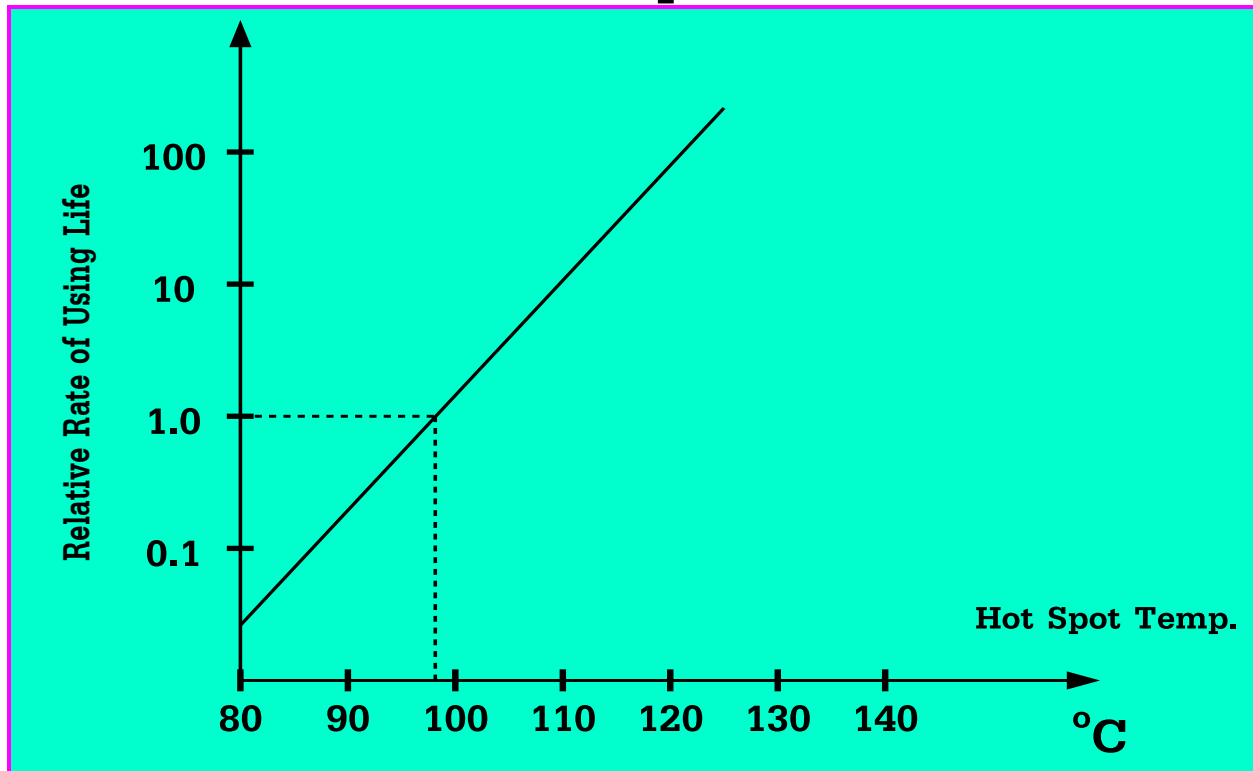
(Earth Fault Protection)

- การป้องกันแบบผลต่าง

(Differential Protection)

9.4 การป้องกันความร้อนสูงเกินไป (Overheating Protection)

ค่าอุณหภูมิความร้อนสูง (Hot Spot Temperature) ที่ 98°C เป็นการใช้
งานปกติของหม้อแปลง แสดงดังรูปที่ 9.5



รูปที่ 9.5 แสดงอัตราส่วนสัมพัทธ์ของอายุการใช้งานของหม้อแปลงเทียบกับอุณหภูมิ

การถ่ายโหลดเกิน

ทำให้อุณหภูมิของหม้อแปลงสูงขึ้น

การป้องกัน

ใช้วิธี Thermal Image Technique

การป้องกันใช้ Relay No 49

9.5 การป้องกันฟลักซ์สูงเกินไป (Overfluxing Protection)

จากสมการ $E = K_f B_m A f N$

ฟลักซ์จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน E / f ดังนี้

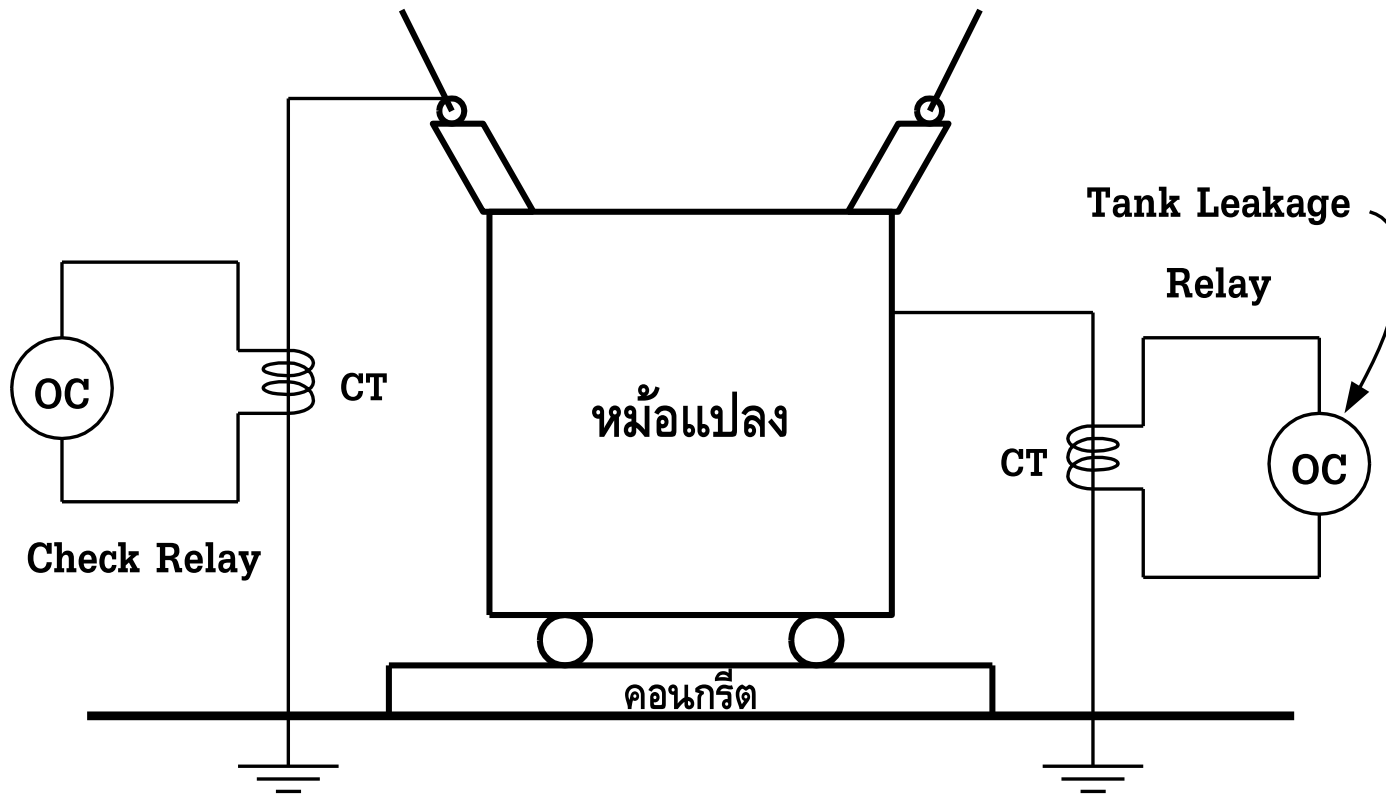
$$\Phi = K (E / f)$$

การตรวจจับ

ทำโดยการวัดแรงดัน นำมาต่อคร่อมกับความต้านทานให้ กระแสวิ่งผ่านตัวเก็บประจุแรงดันตก ขึ้นอยู่กับ E / f

Relay ที่ใช้เรียกว่า **Volt Per Hertz Relay (59 / 81)**

9.6 การป้องกันไฟรั่วลงถังหม้อแปลง (Leakage to Frame Protection)

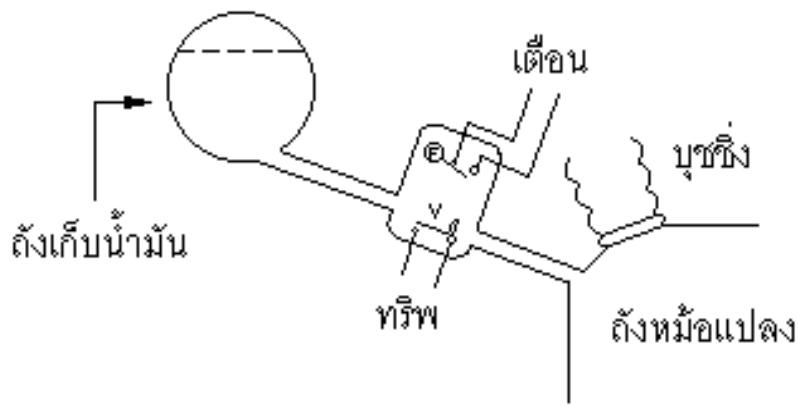


รูปที่ 9.6 การป้องกันไฟรั่วลงถังหม้อแปลง

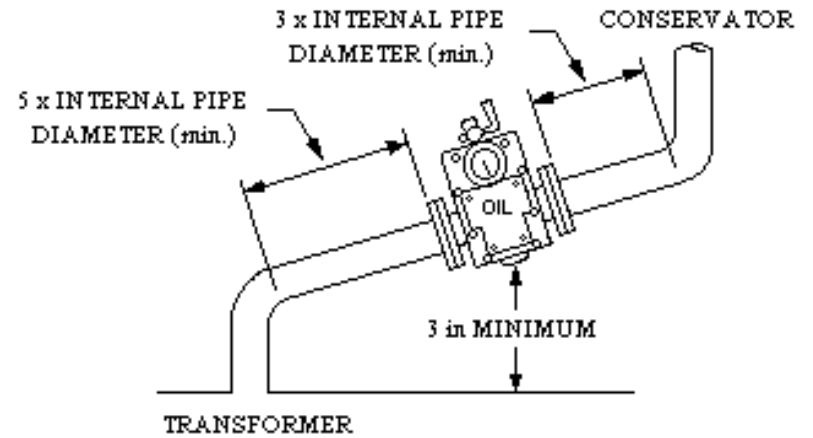
9.7 การป้องกันโดยการตรวจก๊าซ (Gas Detection Protection)

- 1) บุคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz Relays) (63)
- 2) รีเลย์แบบวัดความเปลี่ยนแปลงกระทันหัน
(Sudden Pressure Relays)

1) บุคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz Relays) (63)



(a)



(b)

รูปที่ 9.7 a) แสดงหลักการทำงานอย่างง่ายของ Buchholz Relays
b) แสดงมิติบังคับในการติดตั้ง Buchholz Relays

1) บุคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz Relays) (63)

- ใช้กับหม้อแปลงที่มีถังเก็บน้ำมัน Conservator

- Buchholz Relay ทั่วไปจะมี Contacts 2 ชุด

- ชุดที่ 1 สำหรับ Slow accumulation of gas
ให้ Alarm เมื่อมี Gas ถึงจุดที่ตั้งไว้

- ชุดที่ 2 สำหรับ Bulk displacement of oil เมื่อเกิด
Heavy internal fault
ให้ Trip CB

1) บุคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz Relays) (63)

Buchholz Relays จะให้ Alarm สำหรับ Fault conditions
แบบช้า ๆ เช่น

- a) Hot spots on the core due to short circuit of lamination insulation
- b) Core bolt insulation failure
- c) Faulty joints
- d) Interturn fault
- e) Loss of oil due to leakage

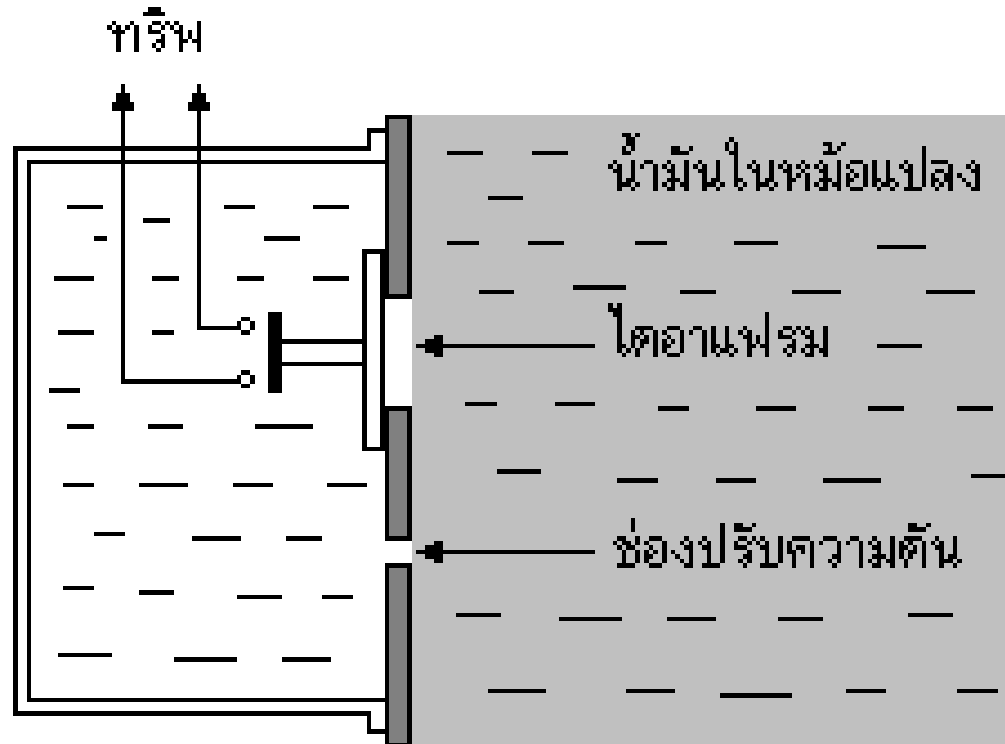
1) บุคโฮลชรีเลย์ (Buchholz Relays) (63)

Buchholz Relays จะทำให้ CB Trip สำหรับ Major winding faults that cause a surge of oil เช่น

a) All severe winding faults either to earth or interphase

b) Loss of oil if allowed to continue to a dangerous degree

2) รีเลย์แบบวัดความเปลี่ยนแปลงกะทันหัน (Sudden Pressure Relays)



รูปที่ 9.8 รีเลย์แบบทำงานด้วยความดันที่เปลี่ยนแปลงกะทันหัน

2) รีเลย์แบบวัดความเปลี่ยนแปลงกระทันหัน

(Sudden Pressure Relays)

- เมื่อเกิด Short Circuit ภายในหม้อแปลง ทำให้ Oil ขยายตัว เกิดความดันภายในอย่างมาก Pressure Relay จะสั่งให้ CB Trip โดยทันที
- ใช้มากใน **USA**
- ใช้กับหม้อแปลงที่ไม่มี Conservator

9.8 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

1) ฟิวส์

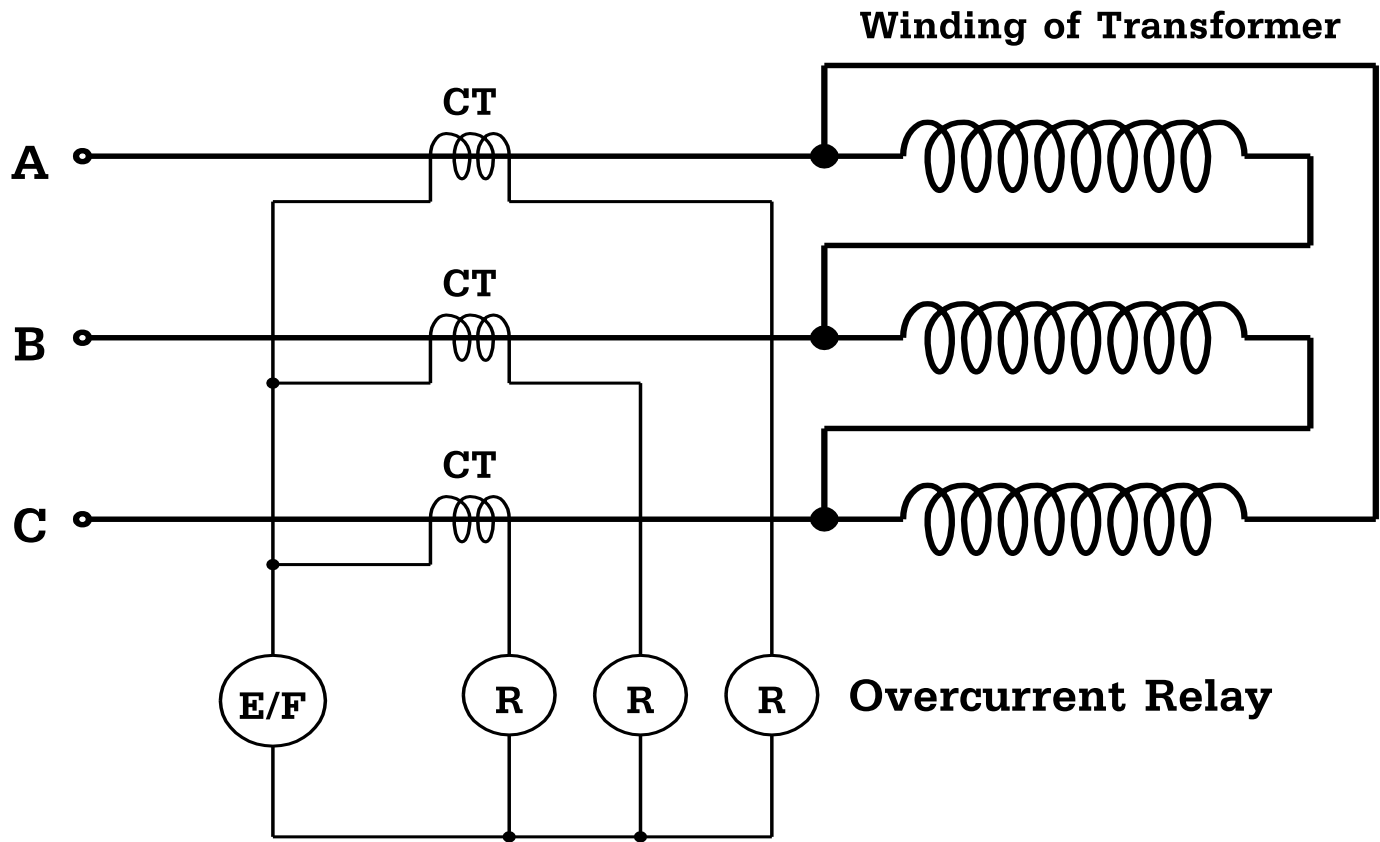
หม้อแปลงขนาดเล็ก ฟิวส์สามารถทนต่อกระแสเกินชั่วคราว
ตอนสตาร์ทมอเตอร์ (กระแสพุ่งเข้า)

2) รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relays)

สำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่ขึ้น ทำได้ดีกว่า **ฟิวส์** คือ

1. จะทำงานได้เร็วกว่าในช่วงที่กระแสลัดวงจรมีค่าต่ำ
2. สามารถป้องกันการลัดวงจรลงดิน

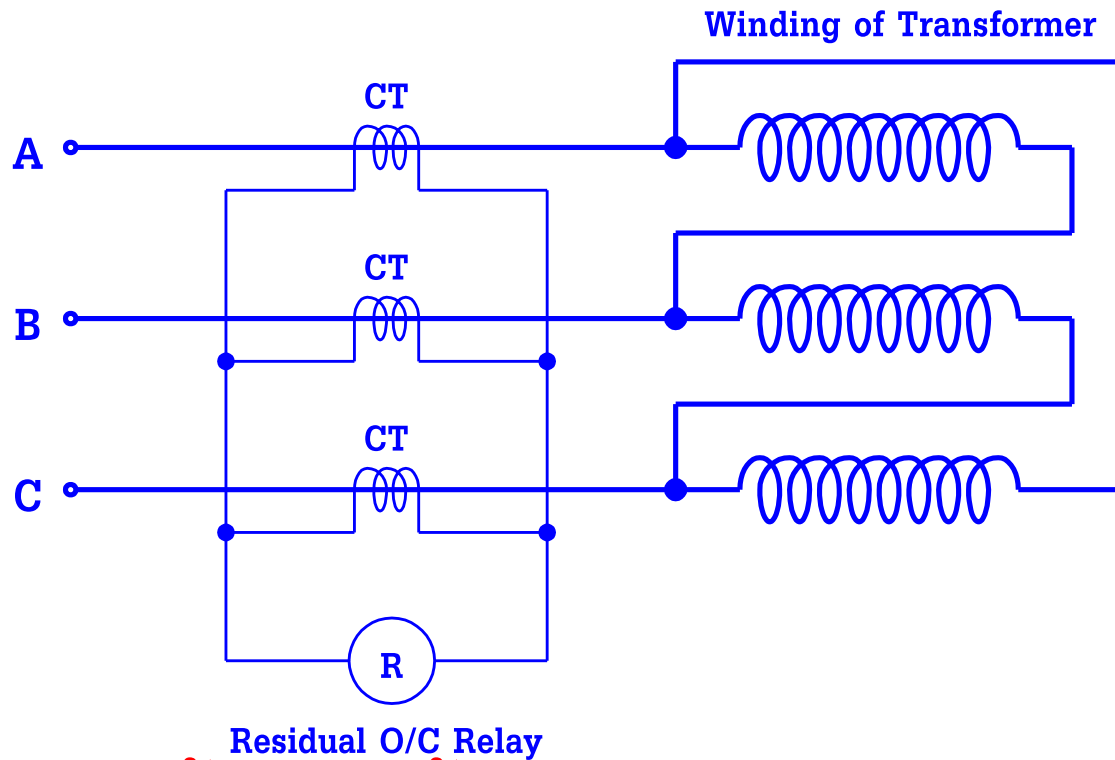
(Earth Fault Protection) ได้



รูปที่ 9.9 การป้องกันหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์กระแสเกินขนาด

9.9 การป้องกันการลัดวงจรลงดิน (Earth Fault Protection)

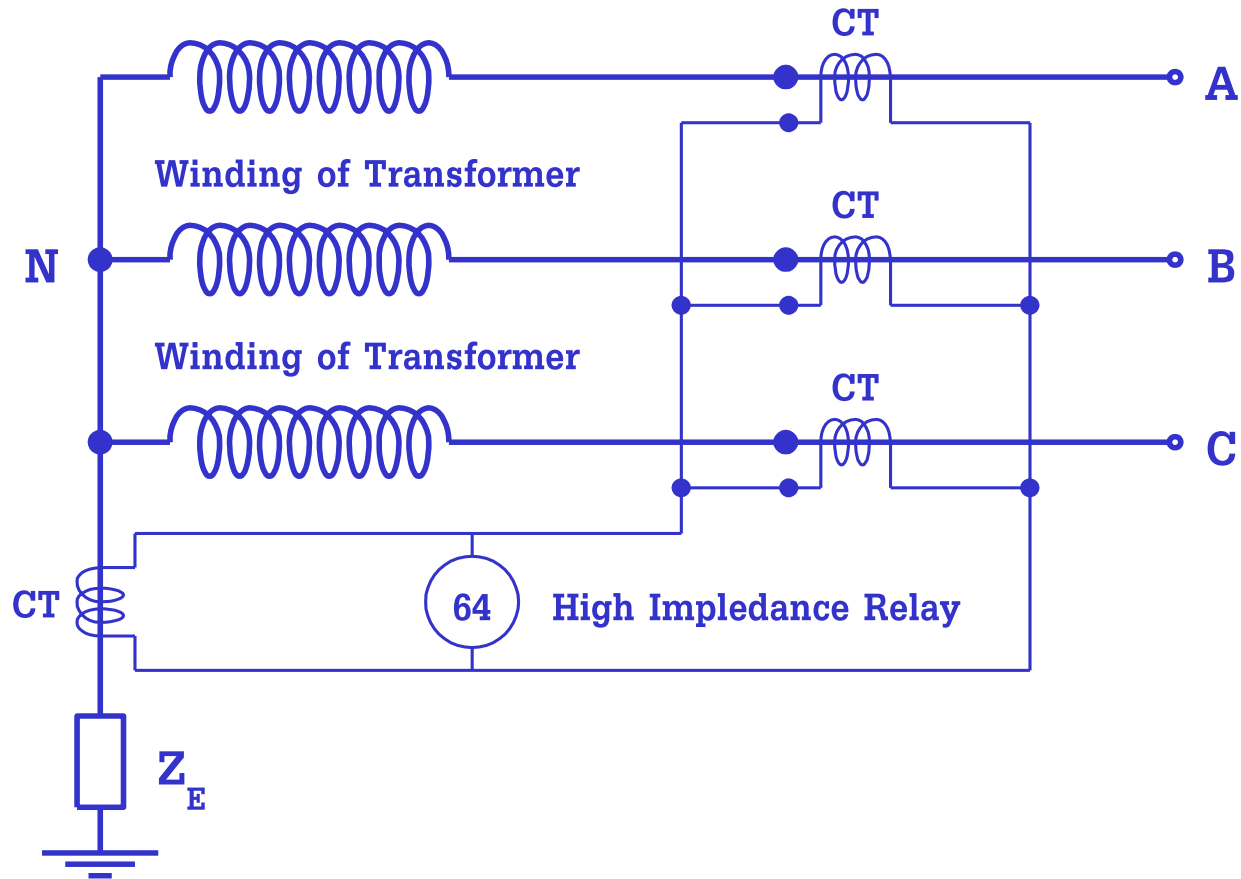
1) การป้องกันแบบทันทีทันใด (Instantaneous)



รูปที่ 9.10 การป้องกันหม้อแปลงเฉพาะการลัดวงจรลงดิน

2) การป้องกันการลัดวงจรแบบจำกัดบริเวณ

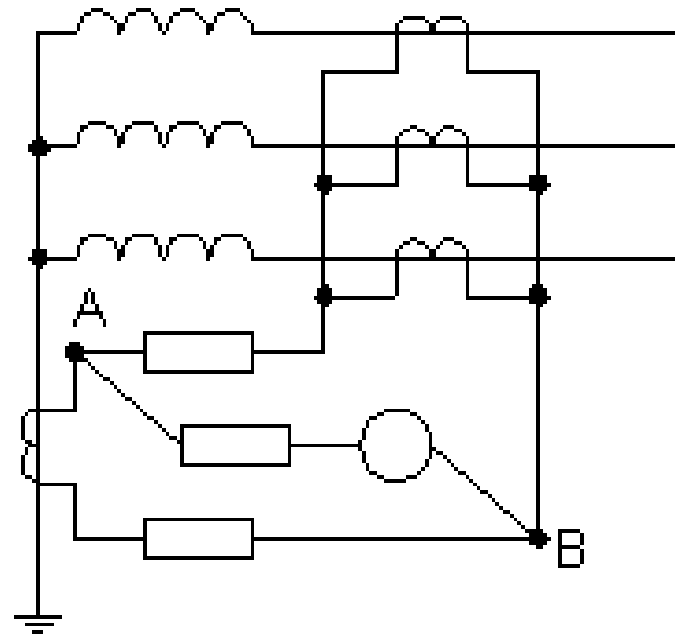
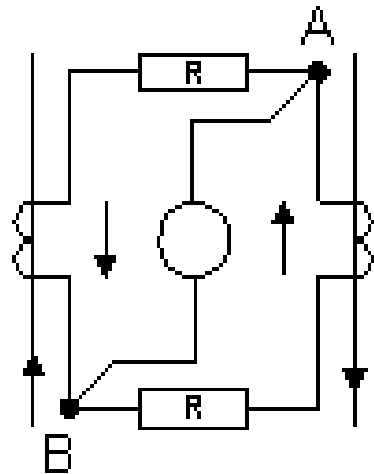
(Restricted Earth Fault Protection)



รูปที่ 9.11 การป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบจำกัดบริเวณ

(Restricted Earth Fault Protection)

A & B - Equipotential points



รูปที่ 9.12 การต่อรีเลย์แบบสามแกนจาก CT ของสายศูนย์ (Neutral)

9.10 การป้องกันผลต่าง (Differential Protection : 87)

ในการป้องกันแบบผลต่างใช้

- หม้อแปลงขนาดใหญ่ตั้งแต่ 5 MVA ขึ้นไป
- ใช้ระบบกระแสไหลวน (Circulating Current Systems)
- ใช้ป้องกัน Internal Fault ระหว่าง CT ของ Primary และ Secondary

มีข้อควรพิจารณาในเรื่อง

- 1) กระแสพุ่งเข้า
- 2) อัตราส่วนการแปลง
- 3) การเลื่อนเฟส
- 4) การเปลี่ยนแทป (Tap Changer)

9.10 การป้องกันผลต่าง (ต่อ)

1) กระแสพุ่งเข้า (Inrush Current)

กระแสพุ่งเข้า

- มีขนาดค่ายอดสูงถึง 8 เท่ากระแสปกติ

การป้องกัน

- ใช้วงจร Harmonics Restrained

การทำงาน

นำฮาร์โมนิกส์ต่าง ๆ ของกระแสพุ่งเข้า (ที่ 2 และ 5)

ใช้เป็นสัญญาณในการยับยั้งการทำงานของรีเลย์

9.10 การป้องกันผลต่าง (ต่อ)

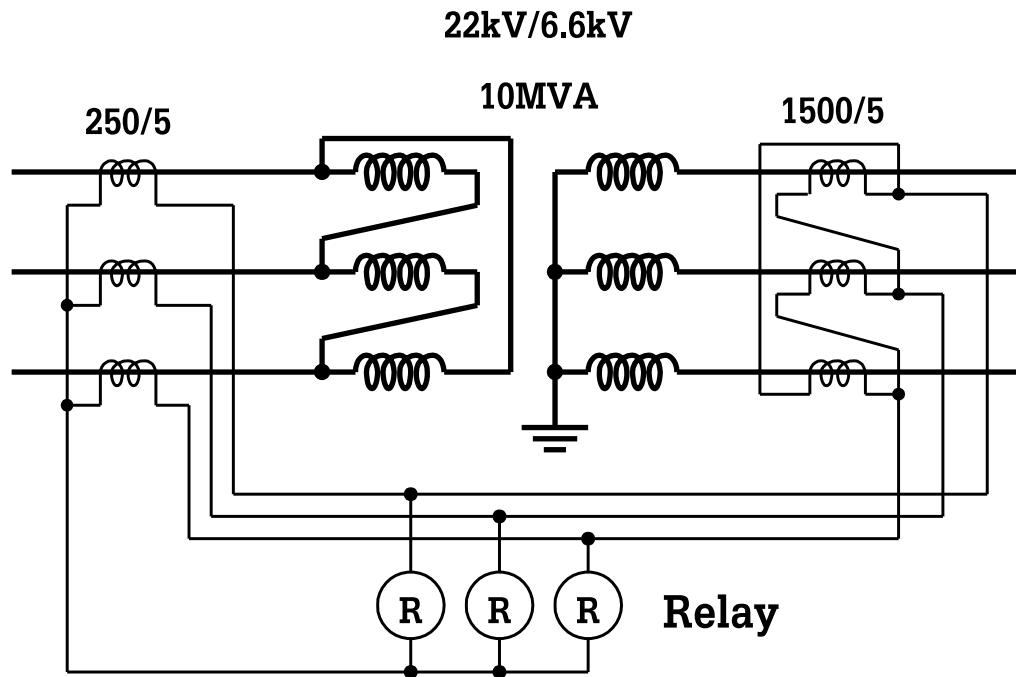
2) อัตราส่วนการแปลง

- กระแสทาง **Primary** และ กระแส **Secondary** ของหม้อแปลงมีค่าต่างกัน
- ต้องเลือกอัตราส่วนการแปลงของ **CT** ที่เหมาะสม เพื่อให้กระแสมีค่าใกล้เคียงกันก่อนเข้า **Differential Relays**
- หลังแปลงแล้วกระแสที่ได้ อาจมีค่าต่างกัน เรียกว่า **Mismatch**
- ต้องใช้ **Interposing CT** ช่วยปรับให้มีค่า **Mismatch** น้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ ก่อนเข้า **Differential Relays**

9.10 การป้องกันผลต่าง (ต่อ)

2) อัตราส่วนการแปลง (ต่อ)

กระแสทาง Primary และ กระแส Secondary ของหม้อแปลง
มีค่าต่างกัน ต้องเลือกอัตราส่วนการแปลงของ CT ที่ถูกต้อง



รูปที่ 9.13 ตัวอย่างการต่อ CT ในระบบป้องกันแบบกระแสไหลวน

จากรูป

$$I_n(P) = (10 \times 1000) / 1.732 \times 22 = 262 \text{ A}$$

$$I_n(S) = (10 \times 1000) / 1.732 \times 6.6 = 875 \text{ A}$$

Primary CT , 250 / 5 A , Wye Connection

$$I(S) = (5 \times 262) / 250 = 5.26 \text{ A}$$

Secondary CT , 1500 / 5 A , Delta Connection

$$\begin{aligned} I(S) &= (5 \times 875) / (1500) \times 1.732 \\ &= 5.05 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Mismatch } 5.26 \text{ A} - 5.05 \text{ A} = 0.21 \text{ A}$$

9.10 การป้องกันผลต่าง (ต่อ)

3) การเลื่อนเฟส

หม้อแปลงที่ขดลวดต่อ แบบ Y - D หรือ แบบ D - Y

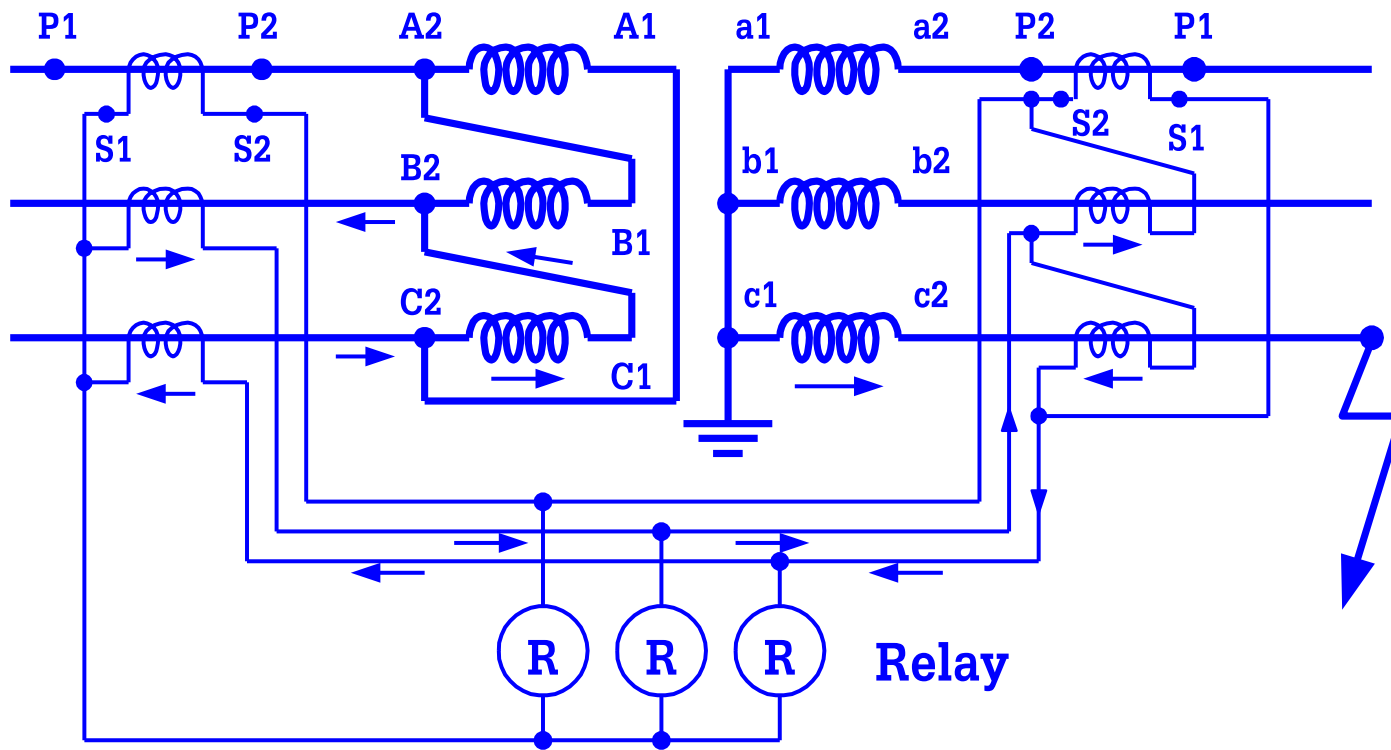
จะมีเฟส กระแสต่างกัน 30°

ต้องปรับให้เท่ากันก่อนเข้า Differential Relay

วิธีการ

ขดลวด Delta (D) CT ต่อแบบ Star (Y)

ขดลวด Star (Y) CT ต่อแบบ Delta (D)



รูปที่ 9.14 การต่อ CT เพื่อชดเชยการเลื่อนเฟส

9.10 การป้องกันผลต่าง (ต่อ)

4) การเปลี่ยนแทป (Tap Changer)

หม้อแปลงขนาดใหญ่ เวลาใช้งานจะมีการเปลี่ยน Tap เพื่อปรับแรงดันอยู่ตลอดเวลา

การป้องกัน

ใช้รีเลย์วัดค่าผลต่าง เป็นเปอร์เซ็นต์
(Percentage Differential Relay)

ตัวอย่างที่ 9.1

หม้อแปลงต่อแบบ Star - Delta

มีอัตราส่วนการแปลง 100 kV /10 kV

ด้านแรงสูงมีการเปลี่ยนแท็บได้ $\pm 15\%$

จงคำนวณหาค่า Setting ของรีเลย์วัดค่าผลต่าง

เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยสมมติว่า CT ด้านแรงต่ำ

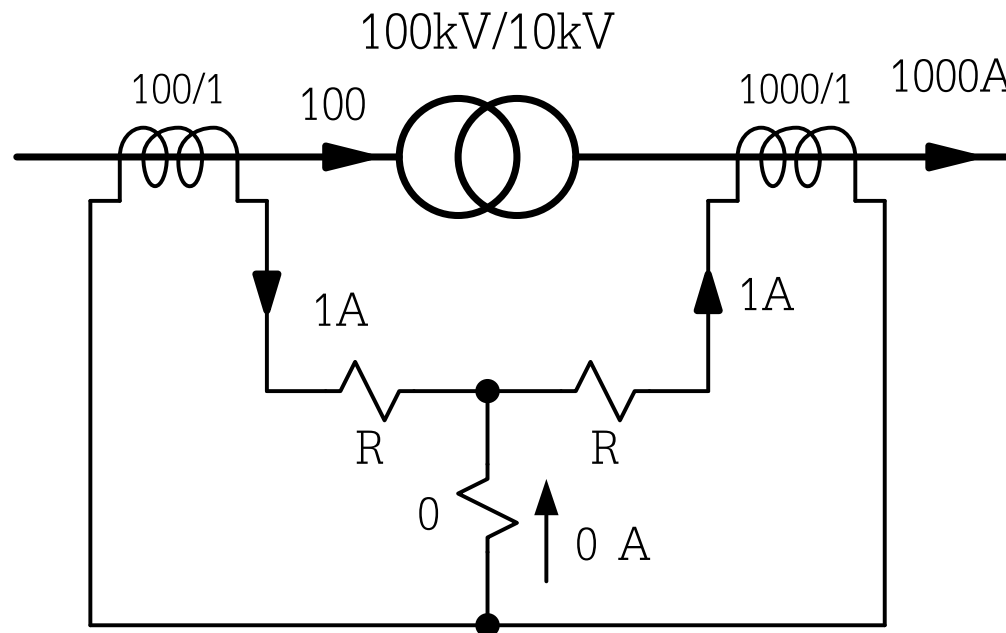
มีอัตราส่วนการแปลง 1000/1

วิธีทำ CT ด้านแรงสูงมีอัตราการแปลง

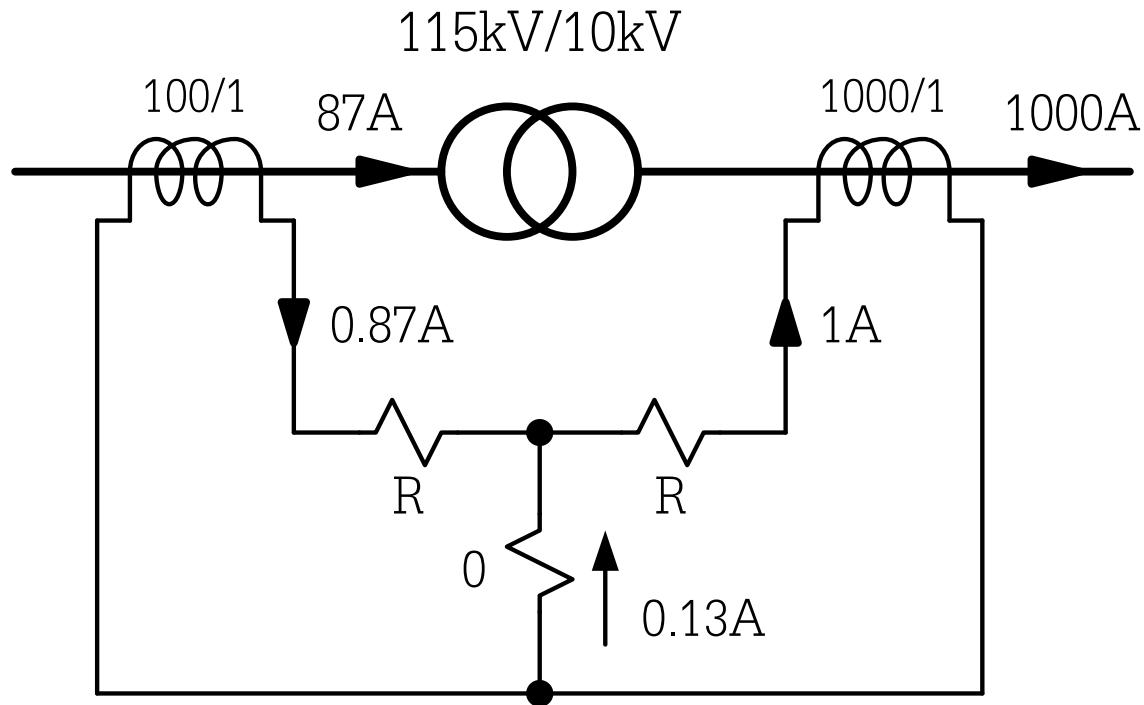
$$= (1000/1) \times (10/100) = (100/1)$$

เมื่อหม้อแปลงมีอัตราส่วน 100 kV/10 kV ตามที่ระบุ

$$I_O/I_R = 0\%$$



เมื่อแก้ปัด้านแรงสูงเป็น +15 %



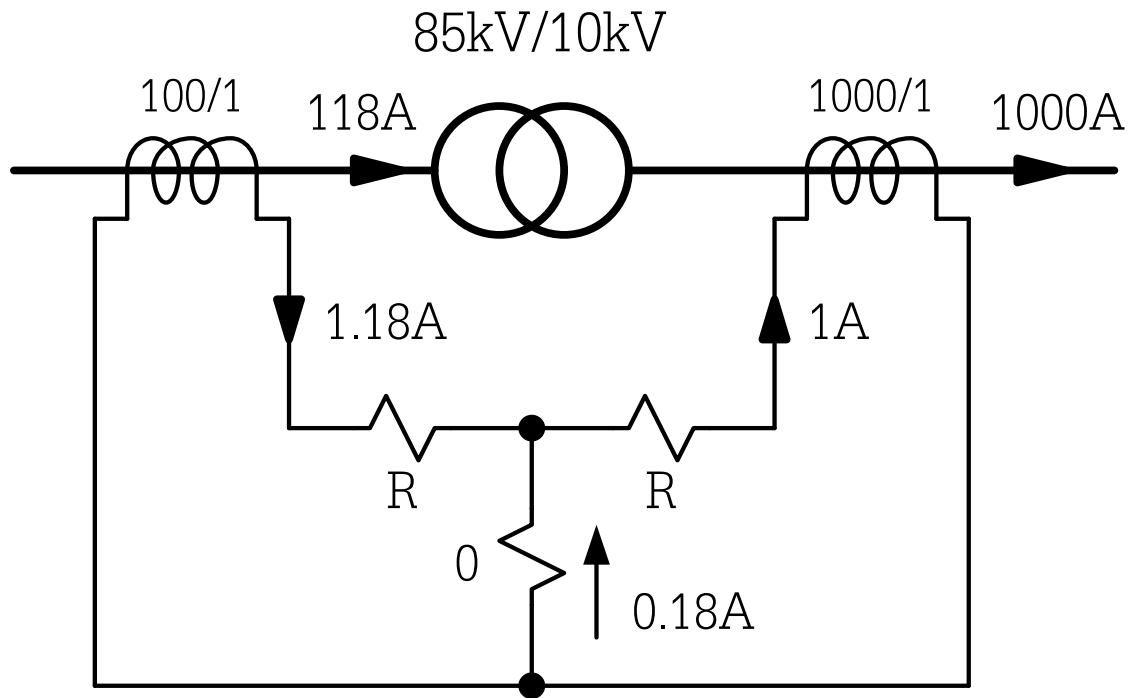
เมื่อหม้อแปลงมีแก้ที่ +15 %

$$I_o = 0.13 \text{ A}$$

$$I_R \text{ เฉลี่ย} = 0.935 \text{ A}$$

$$I_o/I_R = 14\%$$

แท็บด้านแรงสูงเป็น -15 %



เมื่อหม้อแปลงมีแท็บที่ -15 %

$$I_O = 0.18 \text{ A}$$

$$I_R \text{ เฉลี่ย} = 1.09 \text{ A}$$

$$I_O/I_R = 16.5\%$$

- รีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ ควรปรับตั้งสูงกว่า 16.5 %

แต่ในการใช้งานควรเผื่อไว้พอสมควร เลือก Setting 30 %

- ในกรณีหม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแปลงได้เป็น ± 10 %

จะใช้ Setting 20 %

- ในกรณีหม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ ± 20 %

จะใช้ Setting 40 % เวลาทำงานรีเลย์ประมาณ 0.020s ถึง 0.060s

5) Interposing Current Transformers

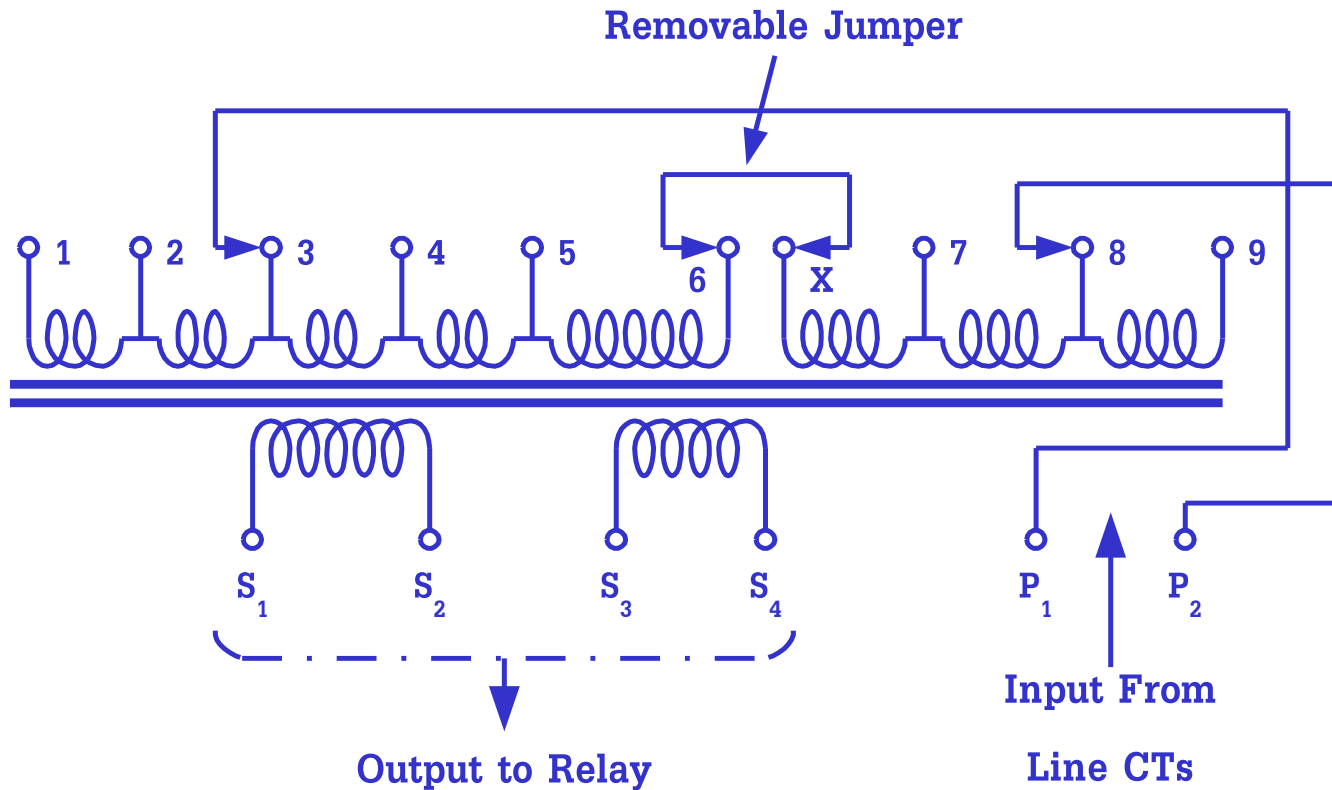
- Interposing CT เป็น CT , LV / LV ที่มี Tap มากมาย
- ใช้สำหรับปรับอัตราส่วนกระแสให้เท่ากัน
ก่อนที่จะส่งเข้า Differential Relays
บางที่เรียกว่า Auxiliary CT
เป็น หม้อแปลงแบบหนึ่ง

$$\therefore N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Interposing CT ตัวหนึ่งมีพิกัด และจำนวนรอบต่าง ๆ ดังตาราง

ตารางที่ 9.3 จำนวน Turn ด้าน Input (Primary) และ Output (Secondary) ของ Interposing CT

Primary Winding Taps	Number of Turns		
	Transformer Rating		
	0.577-1.732/1 A	2.886-8.66/1 A	2.886-8.66/5 A
1-2	5	1	1
2-3	5	1	1
3-4	5	1	1
4-5	5	1	1
5-6	125	25	25
X-7	25	5	5
7-8	25	5	5
8-9	25	5	5
S1-S2	125	125	25
S3-S4	90	90	18



ตำแหน่งขดลวดของ on Interposing Transformer

ตัวอย่าง

ถ้าต้องการแปลงกระแส 4.60 A เป็น 5.0 A โดยใช้ Interposing CT จะต้องใช้จำนวนรอบเท่าใด

อัตราส่วนกระแส $5.0 / 4.60 = 1.087$

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

ด้านที่เข้า Relay ใช้พิกัด 5 A

เลือก $S_1 - S_2 = 25$ Turns

อีกด้านหนึ่ง $= 25 \times 1.087 = 27$ Turns

ใช้ Tap 3 - 4 , 4 - 5 , 5 - 6

$$= 1 + 1 + 25 = 27 \text{ Turns}$$

ตัวอย่างที่ 9.2 Transformer 1 Φ

มีพิกัดกระแสด้าน Primary 195 A

และกระแสด้าน Secondary 780A ตามลำดับ

หม้อแปลงตัวนี้มีการป้องกันโดย

ใช้รีเลย์วัดค่ากระแสผลต่าง (Current Differential Relay)

จงหาค่า CT Ratio รวมทั้ง Interposing CT

ที่ใช้ร่วมกับรีเลย์นี้

วิธีทำ

จากพิกัดกระแสด้าน Primary $I_p = 195A$

เลือก CT Ratio ที่ใช้ด้าน Primary เป็น 200/5A

จากพิกัดกระแสด้าน Secondary $I_s = 780A$

เลือก CT Ratio ที่ใช้ด้าน Secondary เป็น 1000/5A

$$I_{CT(P)} = \frac{5 \times 195}{200} = 4.875 A$$

$$I_{CT(S)} = \frac{5 \times 780}{1000} = 3.90 A$$

พบว่ากระแสจาก CT ทั้ง 2 ไม่เท่ากัน

เรียกว่าเกิด **Mismatch**

จึงต้องใช้ Interposing CT ปรับค่ากระแส

จาก 3.90 A เป็น 4.875 A

Interposing CT

เลือกใช้จำนวนรอบขดลวดด้าน Secondary S1-S2 = 25 Turns

$$\text{Primary Turns} = \frac{25 \times 4.875}{3.90} = 31.25$$

ถ้า CT ปรับได้ 31 Turns

$$\text{Error} = \frac{31.25 - 31}{31.25} \times 100\% = 0.8\%$$

นั่นคือ กระแสที่ปรับได้เป็น I_R

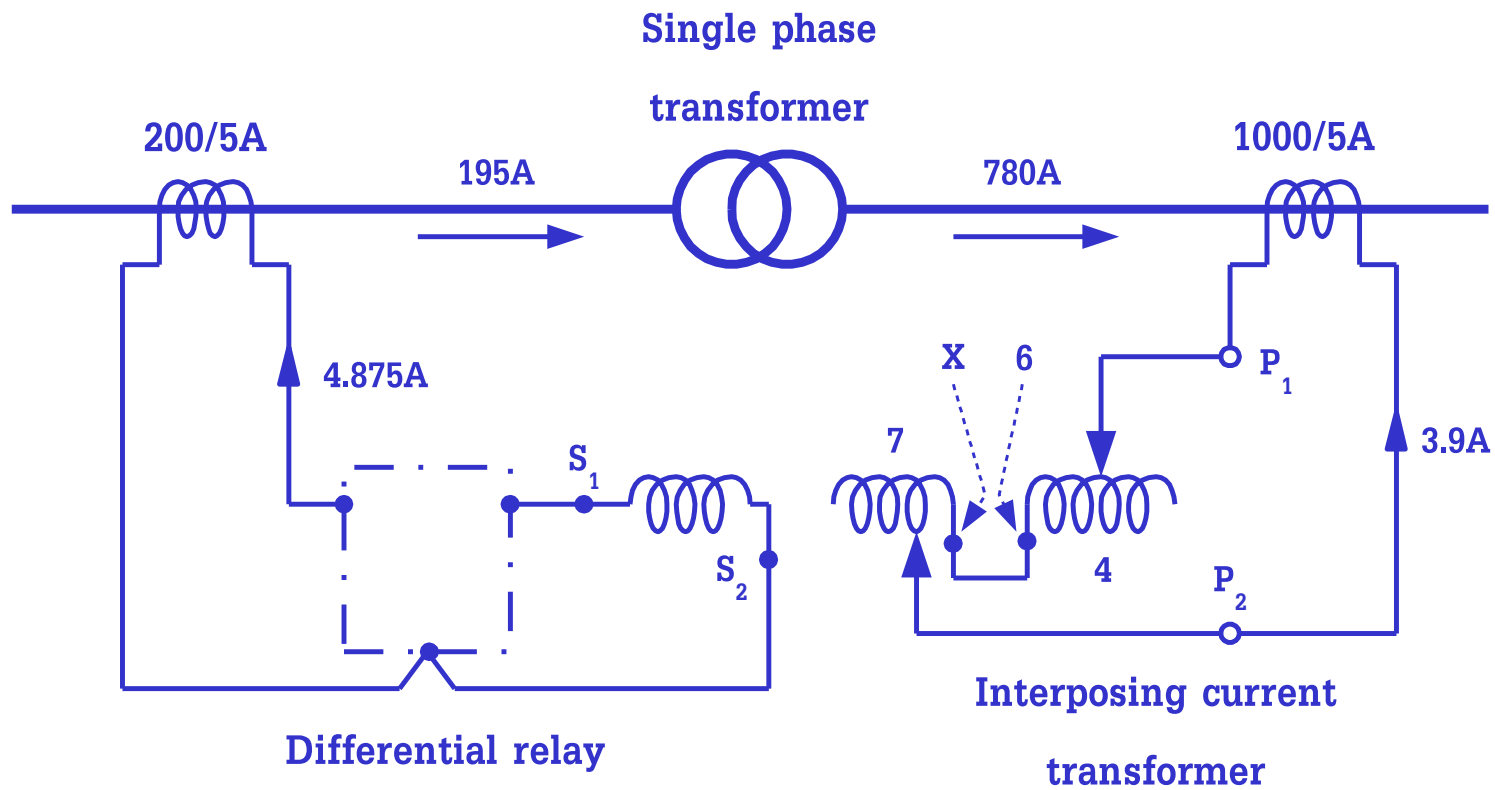
$$I_R \times 25 = 3.90 \times 31$$

$$I_R = 3.90 \times 31 / 25 = 4.836 \text{ A}$$

$$\text{Error} = \frac{4.875 - 4.836}{4.875} \times 100 \%$$

$$= 0.8 \%$$

P1- P2 => 4-5, 5-6, 6-X, X-7 = 1+25+5 = 31 turns



การป้องกันหม้อแปลง 1 เฟส ตามตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 9.3

3 Φ Transformer พิกัด 50 MVA , 345kV Y / 34.5 kV D

มีค่า Short Term Emergency 60 MVA

หม้อแปลงตัวนี้มีการป้องกันโดยใช้

รีเลย์วัดค่ากระแสผลต่าง (Current Differential Relay)

จงหาค่า CT Ratio รวมทั้ง Interposing CT ที่ใช้ร่วมกับรีเลย์นี้

วิธีทำ

หา Rated Current

$$I_{n(HV)} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 345 \times 10^3} = 100.4 \text{ A}$$

$$I_{n(MV)} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 34.5 \times 10^3} = 1004.1 \text{ A}$$

MV Side ต่อ CT แบบ Y-Connected

เลือก CT Ratio = 1000/5 A

กระแสด้าน Secondary ของ CT เท่ากับ $\frac{1004 \times 5}{1000} \approx 5.0 \text{ A}$

HV Side ต่อ CT แบบ Delta Connected

เลือกขนาด CT 200/5 A

$$\text{Secondary Current ของ CT} = \frac{5 \times 100.4}{200} = 2.51 \text{ A}$$

$$\text{Line Current ของ CT} = \sqrt{3} \times 2.51 = 4.35 \text{ A (เพราะว่าต่อแบบ } \Delta \text{)}$$

ด้าน 345 kV

ด้าน 34.5 kV

4.35 A

5.0 A

Mismatch

ใช้ Auxiliary CT หรือ Interposing CT

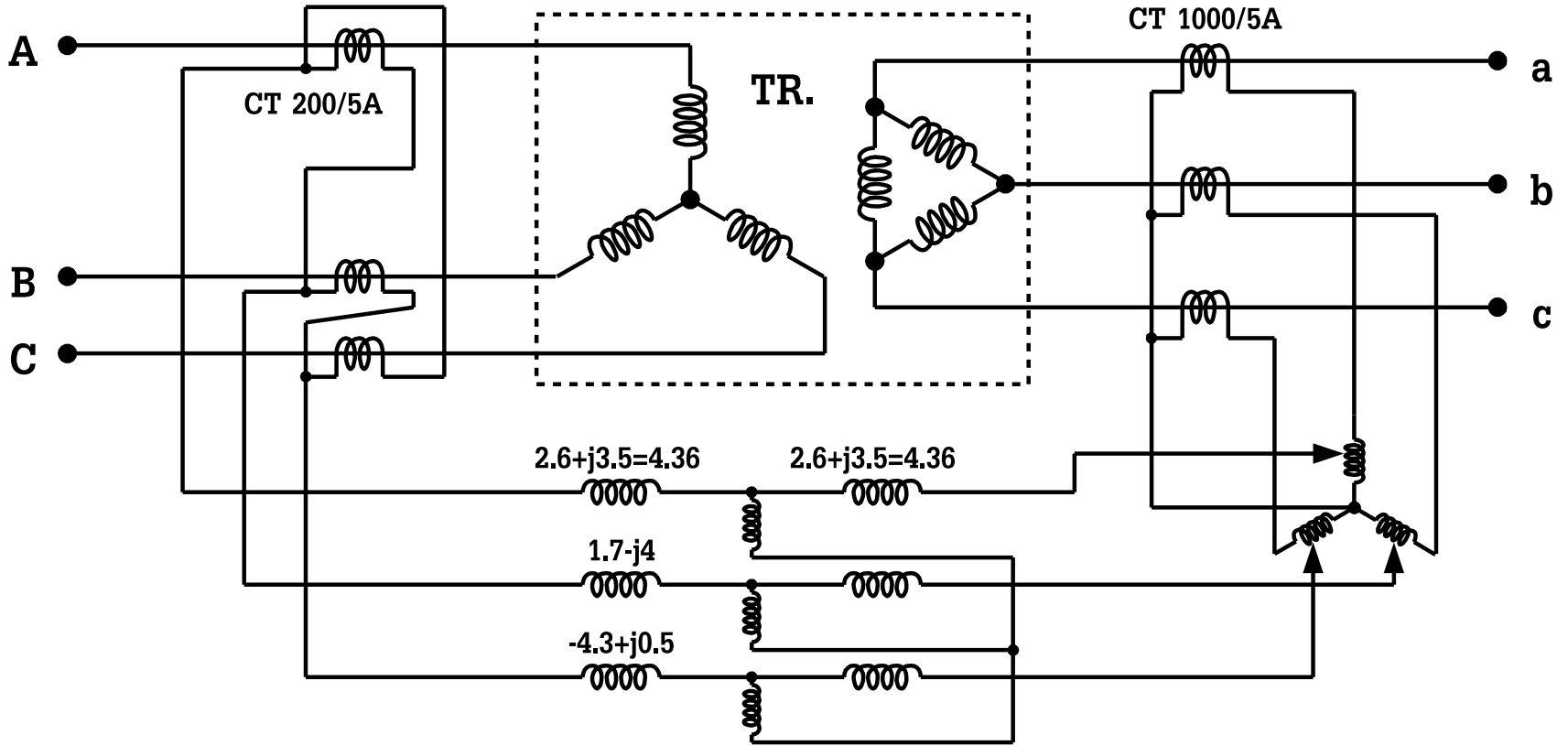
เป็นแบบ Autotransformer Y-Connected ต่อกับ

Main CT ของด้าน 34.5 kV

โดยมีจำนวนของ Turn เป็นดังนี้

$$\text{CT Turn Ratio} = 5.0 / 4.35 = 1.15$$

ต้อง tap ที่ +15 % ของ Autotransformer จึงจะ
ได้กระแสเข้ารีเลย์ 4.35 A



การป้องกันหม้อแปลง 3 เฟส ตามตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 9.4

3F Transformer พิกัด 30 MVA , 11 kV D / 66 kV Y

หม้อแปลงตัวนี้มีการป้องกันโดยใช้

รีเลย์วัดค่ากระแสผลต่าง (Current Differential Relay)

จงหาค่า CT Ratio รวมทั้ง Interposing CT ที่ใช้ร่วมกับรีเลย์นี้

วิธีทำ

ที่ 11 kV $I_n (11 \text{ kV}) = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3} = 1575 \text{ A}$

Main CT 1600/1 A ต่อแบบ Y-Connected

กระแสด้าน Secondary ของ CT = $1575/1600 = 0.984 \text{ A}$

ที่ 66 kV $I_n (66 \text{ kV}) = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 66 \times 10^3} = 262.5 \text{ A}$

Main CT 300/1 A ต่อแบบ Y-Connected

กระแสด้าน Secondary ของ CT = $262.5/300 = 0.875 \text{ A}$

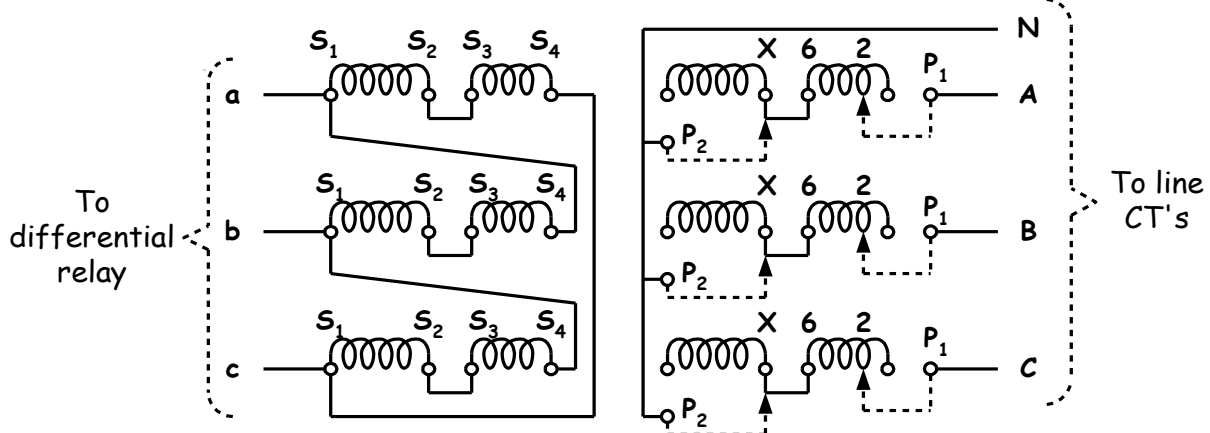
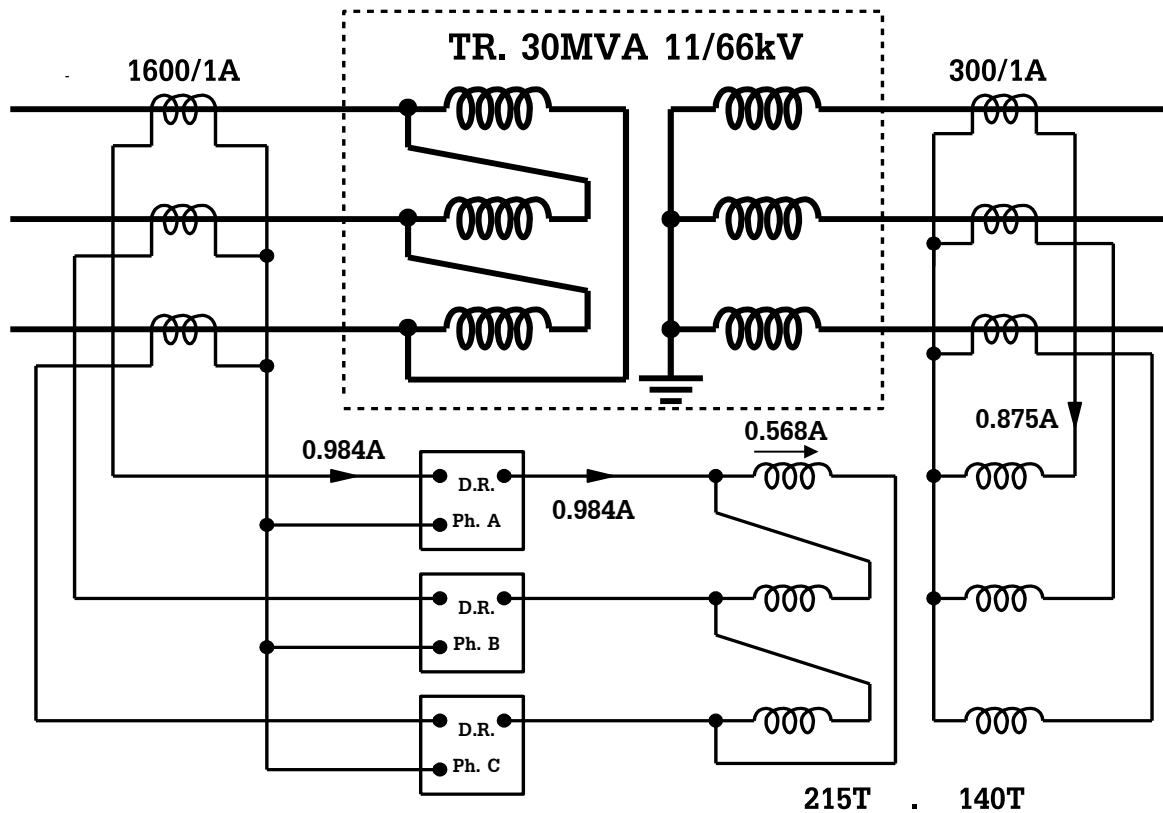
ต้องการ Ratio ของ Interposing CT = $0.875/0.984 = 0.889$

ถ้าใช้ S1-S2 ต่ออนุกรม S3-S4 = 215 Turns เข้า Relay

$$\text{Input Taps} = \frac{215 \times 0.984}{\sqrt{3} \times 0.875} = 140 \text{ Turns}$$

$$\text{ที่ Tap 2-6:} = 5 + 5 + 5 + 125 = 140 \text{ Turns}$$

โดยกำหนดลักษณะการต่อเป็นดังนี้
เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการลื่นเฟส
CTs ต่อแบบ Y-Connected ด้าน 66 kV
(Transformer ต่อแบบ Y-Connected)
และ Interposing CT ต่อกับ Main CT แบบ Y - D
เพื่อลื่นเฟสก่อนเข้ารีเลย์



หม้อแปลง 3 ขดลวด

- หม้อแปลง 3 ขดลวดมี

Primary Winding

Secondary Winding

Tertiary Winding

- หม้อแปลงที่มี 3 ขดลวดสามารถป้องกันด้วย

Differential Relay (D. R. 87) ได้

- แต่ต้องพิจารณาเรื่องแหล่งจ่ายไฟ

1) หม้อแปลง 3 ขดลวดที่มีแหล่งจ่ายไฟ เพียงแหล่งเดียว

คือจ่ายไฟเข้าที่ขด Primary

ขด Secondary และ Tertiary จ่ายไฟให้ Load

การป้องกันด้วย Differential Relay

ต้องมี 2 Sets of CT Input

2) หม้อแปลง 3 ขดลวด ที่มี แหล่งจ่ายไฟหลายแหล่ง

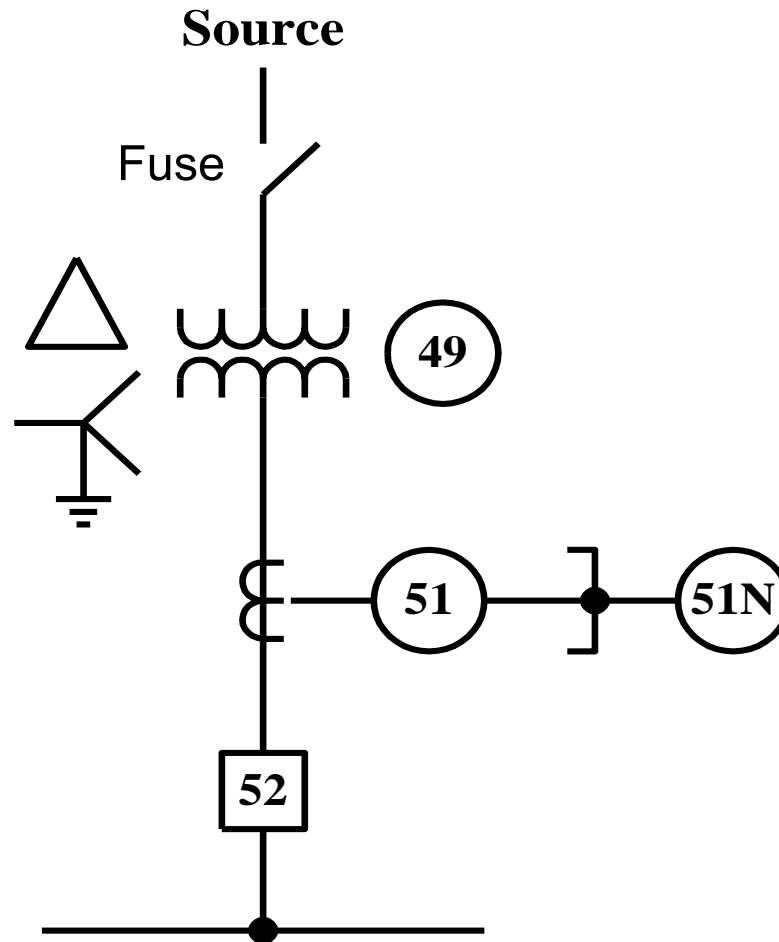
Differential Relay ต้องมี Input เข้าทุกขดลวด

9.11 ตัวอย่างการป้องกันหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ

มีขนาด

- 1) หม้อแปลงขนาดเล็ก
- 2) หม้อแปลงขนาดปานกลาง
- 3) หม้อแปลงขนาดใหญ่

1) การป้องกันหม้อแปลงขนาดเล็ก



รูปที่ 9.16 รีเลย์ป้องกันสำหรับหม้อแปลงขนาดเล็ก

1) การป้องกันหม้อแปลงขนาดเล็ก (ต่อ)

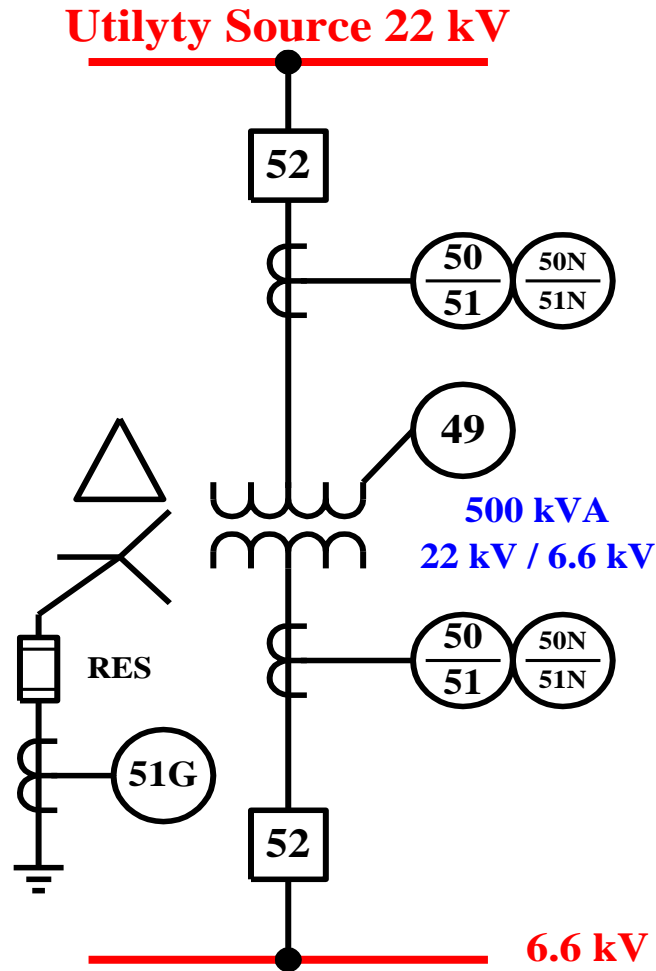
- ทางด้าน **Primary** ป้องกันด้วย **Fuse**
- ทางด้าน **Secondary** ป้องกันด้วย

1. **Time Delay Overcurrent Relay (51)**

2. **Residually Connected Ground Relay (51N)**

3. **Transformer Thermal Relay (49)**

2) การป้องกันหม้อแปลงขนาดกลาง



รูปที่ 9.17 รีเลย์ป้องกันสำหรับหม้อแปลงขนาดกลาง

2) การป้องกันหม้อแปลงขนาดกลาง (ต่อ)

- ทางด้าน **Primary** ป้องกันด้วย

Relay (52)

- ทางด้าน **Secondary** ป้องกันด้วย

1. **Instantaneous / Time Delay Overcurrent Relay**

(50, 51)

2. **Residually Connected Ground Relay (50N , 51N)**

3. **Transformer Thermal Relay (49)**

4. **Neutral Ground Relay (51G)**

3) การป้องกันหม้อแปลงขนาดใหญ่

- ทางด้าน **Primary** ป้องกันด้วย **Relay (52)**

- ทางด้าน **Secondary** ป้องกันด้วย

1. **Instantaneous / Time Delay Overcurrent Relay (50, 51)**

2. **Residually Connected Ground Relay (50N , 51N)**

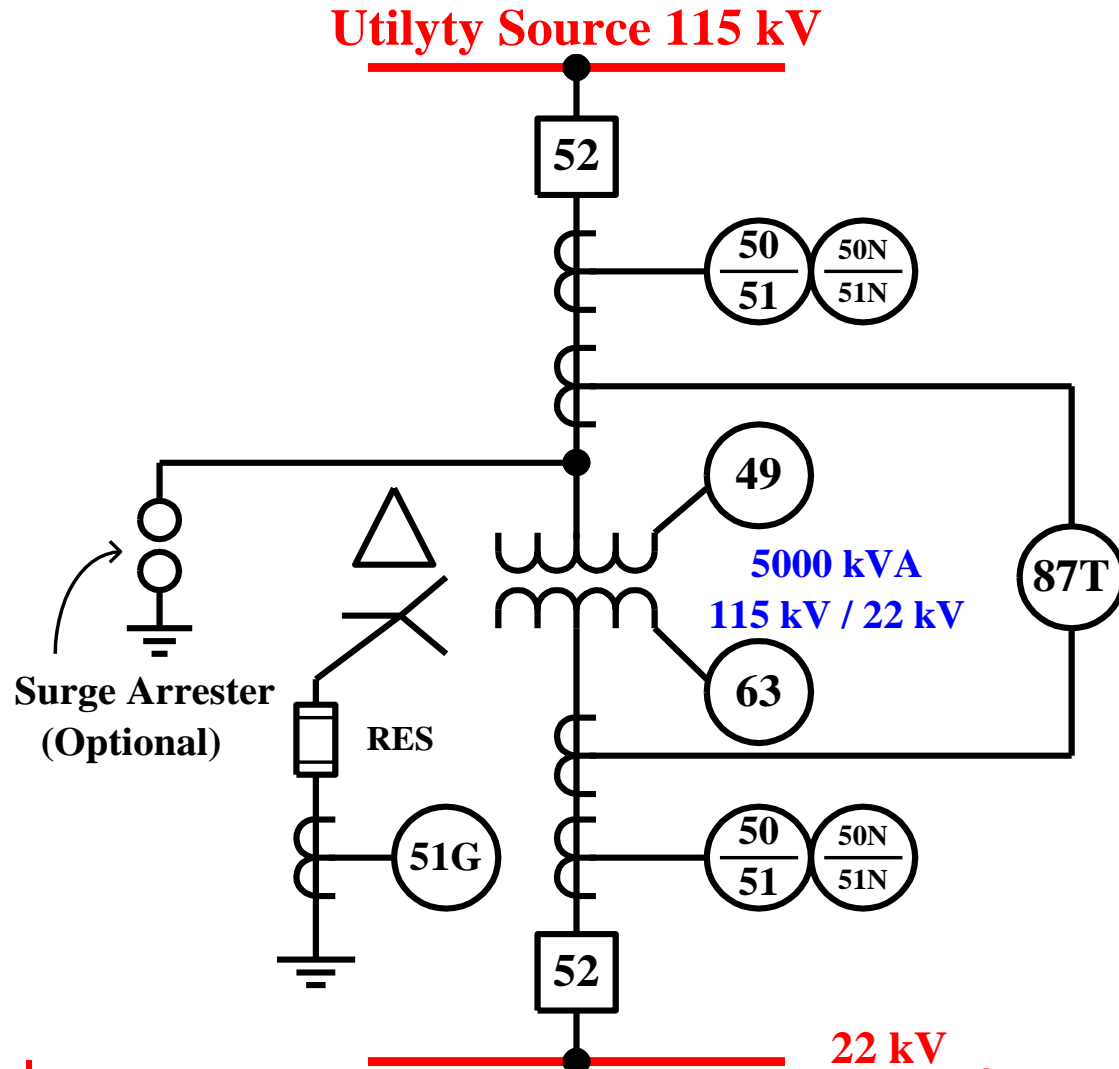
3. **Transformer Thermal Relay (49)**

4. **Neutral Ground Relay (51G)**

5. **Pressure Switch (63)**

6. **Differential Protective Relay (87T)**

3) การป้องกันหม้อแปลงขนาดใหญ่ (ต่อ)



รูปที่ 9.18 รีเลย์ป้องกันสำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่

Transformer Multifunction Relay



Application

- Small, medium & large transformers

Protection and Control

- Percent differential
- Adaptive harmonic restraint
- Multiple overcurrent elements
- Adaptive time O/C elements
- Underfrequency
- Frequency rate-of-change
- Overexcitation
- Multiple setpoint groups
- Restricted ground fault (optional)
- 1 analog transducer input (optional)
- 16 digital (logic) inputs
- 7 analog transducer outputs (optional)
- 9 control outputs

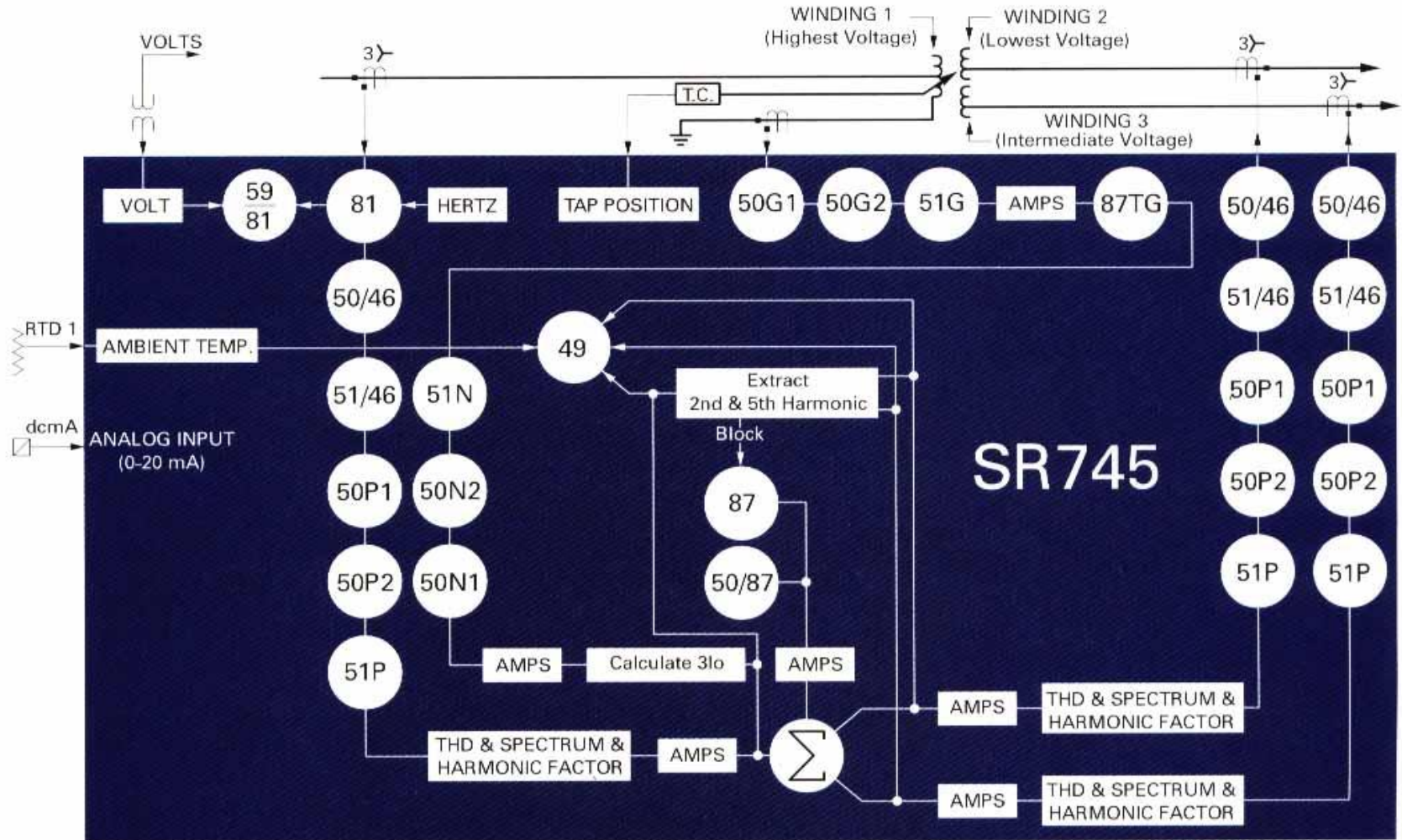
Metering and Monitoring

- All currents
- THD and harmonics
- Demand
- % rated load
- Harmonic analysis
- Tap position
- Ambient temperature
- Analog transducer input
- Waveform capture and playback
- Simulation mode

Additional Features

- FlexLogic™ (programmable logic)
- Auto-configuration (vector group compensation)
- Dynamic CT ratio mismatch correction
- RS232, RS485 and RS422 ports
- Drawout construction
- IRIG-B input

Single Line Diagram



Symbol	Common Elements
59/81	Volts-Per-Hertz
81U	Underfrequency
81O	Overfrequency
81U-R	Frequency Decay Rate
81-H5	5th Harmonic Level
87	Differential (Percent)
50/87	Instantaneous Differential
87TG	Ground Differential
AN	Analog Input Level

Symbol	Winding Elements
50/46	Negative Sequence IOC
51/46	Negative Sequence TOC
50P	Phase IOC
50N	Neutral ($3I_0$) IOC
50G	Ground IOC
51P	Phase TOC
51N	Neutral ($3I_0$) TOC
51G	Ground TOC
THD	Total Harmonic Distortion Level
AD	Current Demand

THE END

