

Directional Earth Fault Protection
and
Earth Fault Protection on Unground System.

จัดทำโดย
ชาญวิทย์ กรูแก้ว
มนตรี ศรีสุภา

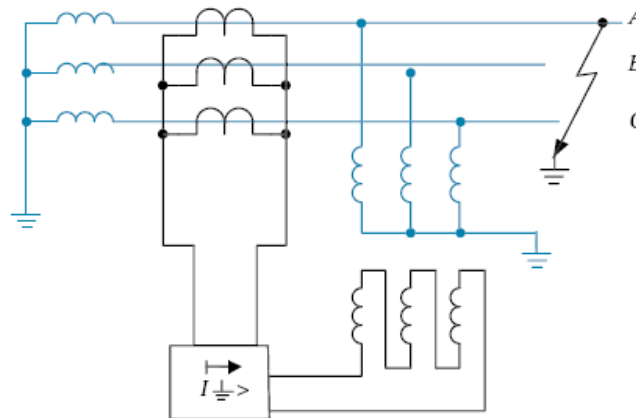
Directional Earth Fault Protection.

Directional Earth Fault Relay มักจะถูกนำมาใช้ในงานที่มีลักษณะดังนี้

1. ใช้งานร่วมกับ Directional Over Current Relay
2. ใช้ในระบบ Ungrounded
3. ใช้ในระบบที่มีการต่อ Reactor Grounding
4. ใช้ในงานที่ Earth Fault Relay มีความไวไม่เพียงพอ โดยที่ Directional Earth Fault Relay อาจจะสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่า

Relay Connections.

โดยทั่วไปแล้ว Directional Earth Fault Relay จะใช้สัญญาณ input เพียง 2 สัญญาณในการตรวจจับ earth fault สัญญาณเหล่านั้นคือ residual voltage และ residual current



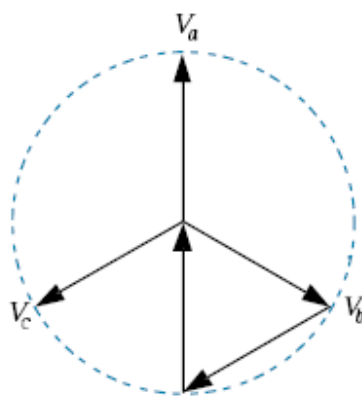
รูปที่ 1 Relay Connections

Residual Voltage และ Residual Current

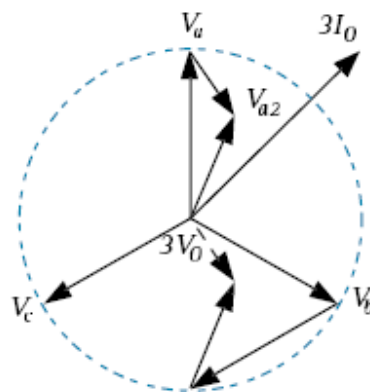
Residual voltage เป็นสัญญาณตัวหนึ่งที่ Directional Earth Fault Relay นำมาใช้ตรวจจับ earth fault ซึ่งเราสามารถวัดได้จากการต่อ voltage transformer ดังรูปที่ 1 ด้าน primary ของ voltage transformer ต่อแบบ Y ลง ground ส่วนด้าน secondary จะต่อแบบ broken delta โดยแรงดันที่วัดตก

คร่อมที่ terminal จะมีค่าเท่ากับผลรวมทางเวกเตอร์ของแรงดันเฟสทั้ง 3 เฟส ซึ่งเราเรียกว่า residual voltage

ขณะที่แรงดันทั้ง 3 เฟส สมดุล residual voltage จะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ในขณะที่ระบบเกิด earth fault, residual voltage จะมีค่าเท่ากับแรงดันเฟสที่ลดลงของเฟสที่เกิด earth fault โดยสามารถอธิบายได้ตาม phasor diagram ในรูปที่ 2



(a) Balanced System
(zero residual volts)

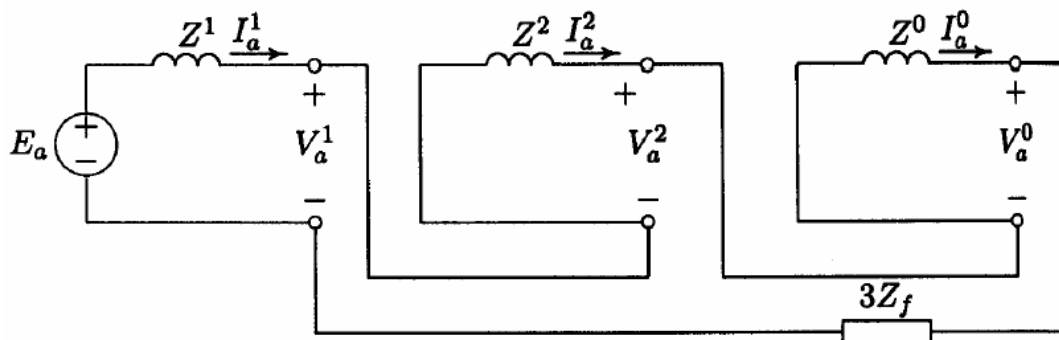


(b) Unbalance System phase A to ground fault
($3V_0$ residual volts)

รูปที่ 2 residual voltage phasor diagram

สัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งที่ใช้ในการตรวจจับ earth fault คือ residual current โดยที่ residual current คือผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแสในแต่ละเฟส สามารถวัดได้จากการต่อ current transformer ทั้ง 3 เฟส แล้วนำมาขนานกันดังรูปที่ 1

เราสามารถเขียนวงจรสมมูลในระบบ sequence network ขณะเกิด single line to ground fault ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรสมมูลในระบบ sequence network ขณะเกิด single line to ground fault
จากระบบ sequence network เราได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_a \\ \vec{V}_b \\ \vec{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_0 \\ \vec{V}_1 \\ \vec{V}_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

และ

$$\begin{bmatrix} \vec{I}_a \\ \vec{I}_b \\ \vec{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{I}_0 \\ \vec{I}_1 \\ \vec{I}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยที่ $a = 1 \angle 120^\circ$ เราได้ว่า residual voltage คือผลรวมของแรงดันทั้ง 3 เฟส ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$\text{Residual voltage} = \vec{V}_a + \vec{V}_b + \vec{V}_c \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &= \vec{V}_0 + \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \\ &\quad \vec{V}_0 + a^2 \vec{V}_1 + a \vec{V}_2 + \\ &\quad \vec{V}_0 + a \vec{V}_1 + a^2 \vec{V}_2 \end{aligned}$$

$$\text{Residual voltage} = 3\vec{V}_0 \quad (4)$$

ในทำนองเดียวกัน เราจะได้ว่า

$$\text{Residual current} = 3\vec{I}_0 \quad (5)$$

จากรูปที่ 3 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของ zero sequence voltage และ zero sequence current ได้
ดังนี้

$$\vec{V}_0 = \vec{I}_0 Z_0 \quad (6)$$

หากเรานำสมการที่ 6 มาคูณด้วย 3 ทั้ง 2 ข้างของสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของ Residual Voltage และ Residual Current ได้ดังนี้

$$\text{Residual voltage} = \text{Residual current} \times Z_0 \quad (7)$$

จากสมการที่ 7 ทำให้เราทราบว่า Residual Voltage และ Residual Current จะมีมุมเฟส shift กันอยู่ โดยจะขึ้นอยู่กับ zero sequence impedance ซึ่งโดยทั่วไป residual current จะล่าหลัง residual voltage ด้วยเหตุนี้เองจึงต้องมีการตั้งค่า Relay Characteristic Angle (RCA) ดังนี้

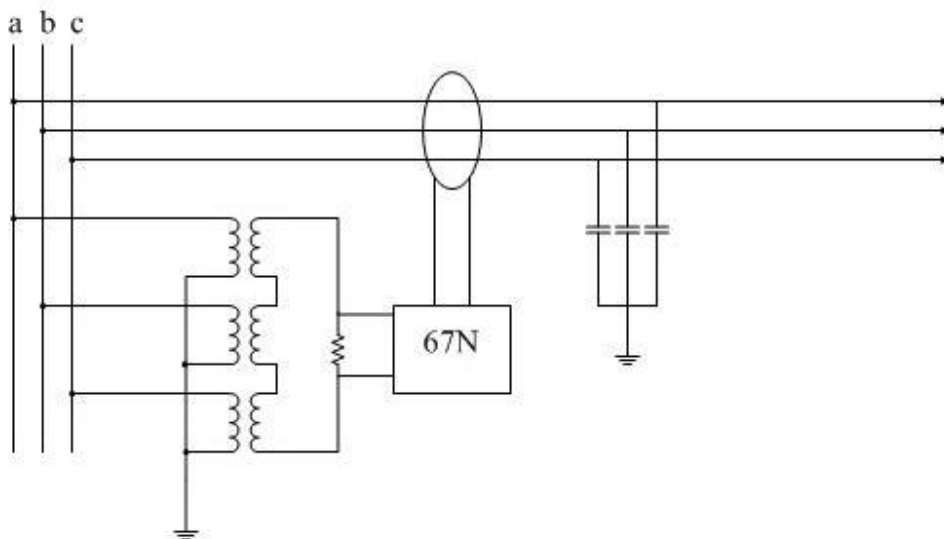
1. Resistive earthed system : 0° RCA
2. Distribution System , solidly earthed : -45° RCA
3. Transmission System , solidly earthed : -60° RCA

เหตุผลที่มีการตั้งค่า RCA ต่างกันในแต่ละระบบจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอัตราส่วน resistive impedance และ inductive impedance (R / X) ที่พบในแต่ละระบบ

Earth Fault Protection on Unground System.

ในบางครั้งเราอาจจะพบกับระบบ Unground ซึ่งข้อดีของระบบ Unground คือเมื่อเกิด single line to ground fault ในระบบ จะไม่มีกระแส fault ไหลหรือมีเพียงเล็กน้อย (จากวงจรการต่อ voltage transformer และ stray capacitance ของสายส่ง) ทำให้ส่วนที่เหลือในระบบยังคงสามารถทำงานต่อไปได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบก็ต้องถูกออกแบบเพื่อให้สามารถทนต่อ Over Voltage ที่เกิดขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้โดยทั่วไปเราจึงใช้ระบบ Unground กับระบบ low voltage และ medium voltage เท่านั้น

Relay Connections



รูปที่ 4 Relay Connections

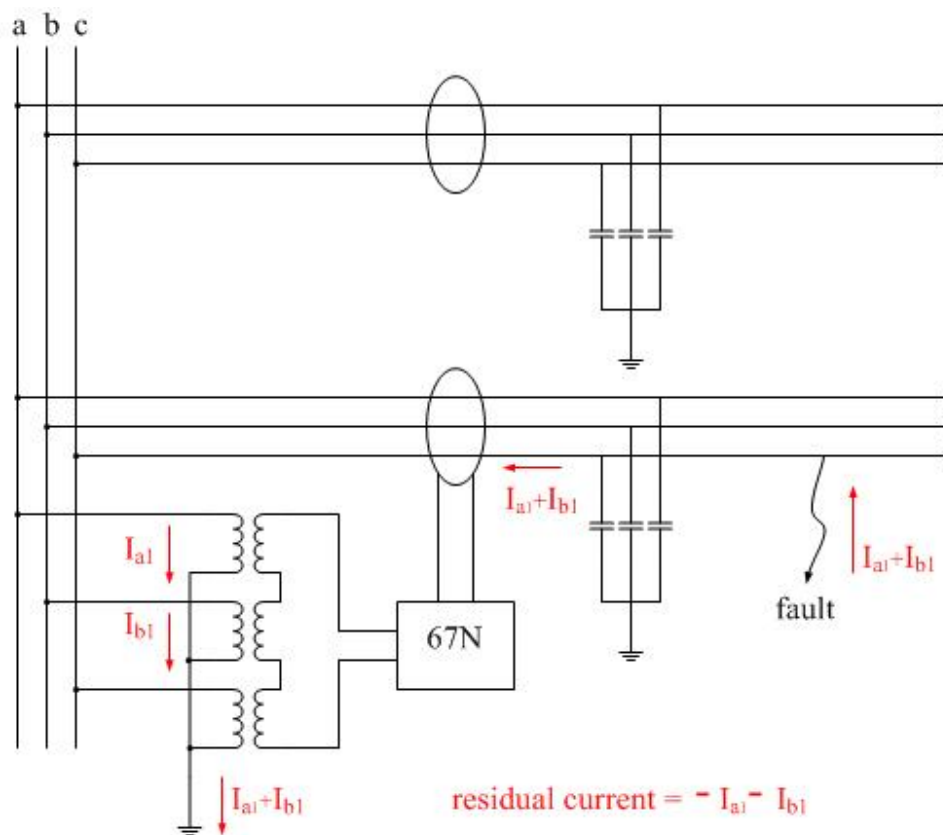
รูปที่ 4 แสดงวงจรการต่อรีเลย์ ประกอบด้วย voltage transformer , current transformer และ Directional Earth Fault Relay ลักษณะของการต่อ voltage transformer จะต่อเหมือนกับในรูปที่ 1 แล้วนำ residual voltage ไปเป็น input ให้กับ Directional Earth Fault Relay โดย resistor ที่ต่ออยู่ทางด้าน secondary ของ voltage transformer ทำหน้าที่ป้องกันการเกิด Ferro resonance โดยค่า resistor จะเลือกตาม voltage ratio ตามตารางที่ 1 ส่วน input อีกตัวหนึ่งของ Directional Earth Fault Relay คือ residual current ได้จากการต่อ current transformer ตามรูป

Voltage Transformer Ratio	Resistor in ohms
2400/120	250
4200/120	125
7200/120	90
14400/120	60

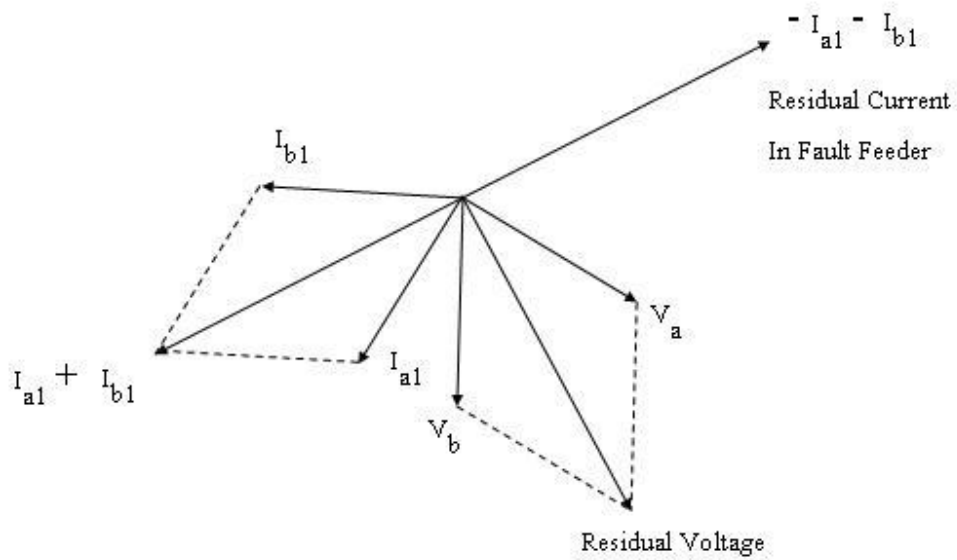
ตารางที่ 1 แสดงการเลือกค่าความต้านทานตามขนาดของ Voltage Transformer Ratio

จากวงจรการต่อ Directional Earth Fault Relay หากระบบเกิด single line to ground fault กระแส Fault ที่เกิดขึ้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 ส่วน ดังนี้

1. กระแส fault ที่มาจาก voltage transformer

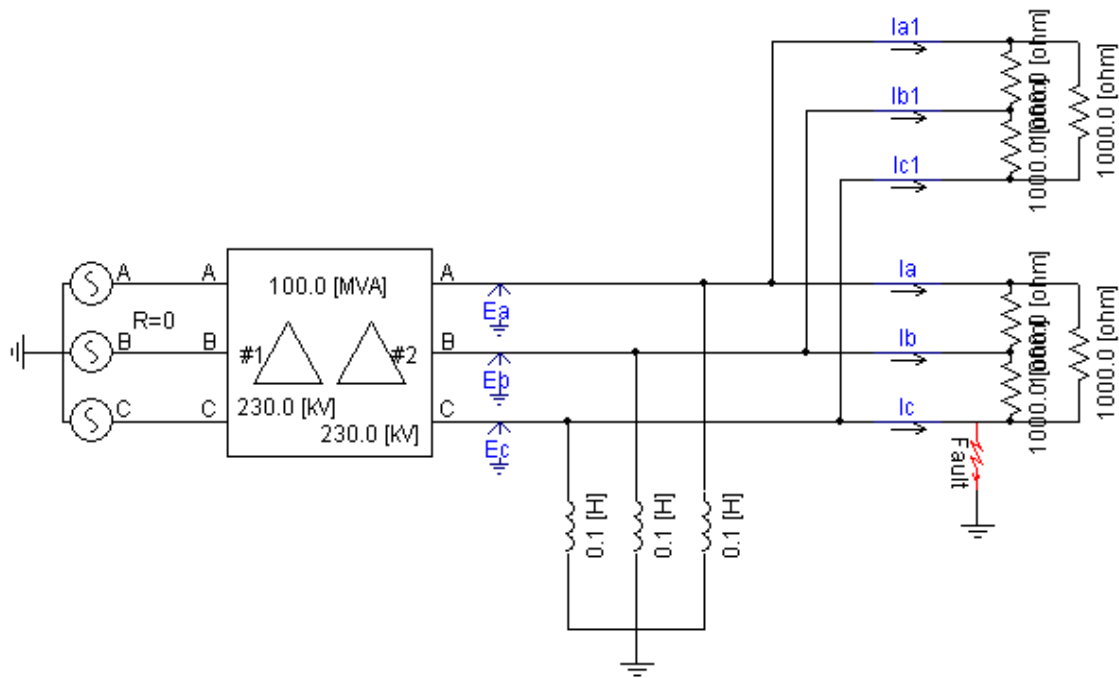


รูปที่ 5 ทิศทางการไหลของกระแส Fault



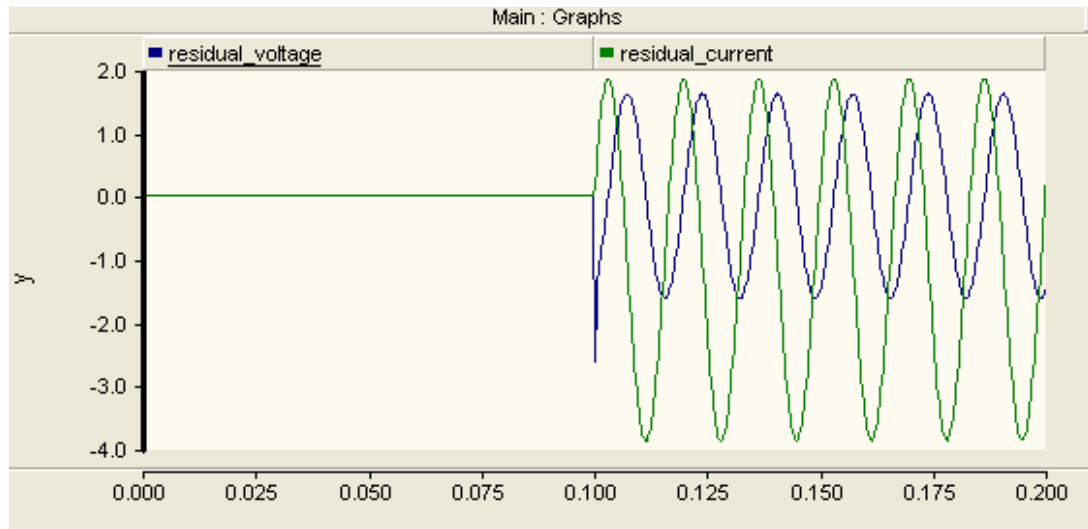
รูปที่ 6 Phasor Diagram

รูปที่ 5 แสดงทิศทางการไหลของกระแส fault ที่มาจาก voltage transformer ขณะเกิด phase C to ground fault และนำมาเขียน Phasor Diagram ได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งเราพบว่า residual current มี phase นำหน้า residual voltage อยู่ 90 องศา



รูปที่ 7 Simulation Circuit using PSCAD/EMTDC

ในรูปที่ 7 แสดงวงจรที่ใช้จำลองการเกิด phase C to ground fault โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อดูความสัมพันธ์ของ residual voltage และ residual current โดยพิจารณากระแส fault ที่มาจาก voltage transformer เพียงอย่างเดียว ซึ่งผลลัพธ์ก็คือใน Feeder ที่เกิด fault จะมี residual current นำหน้า residual voltage อยู่ 90 องศา ส่วนใน Healthy Feeder จะมี residual current เท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

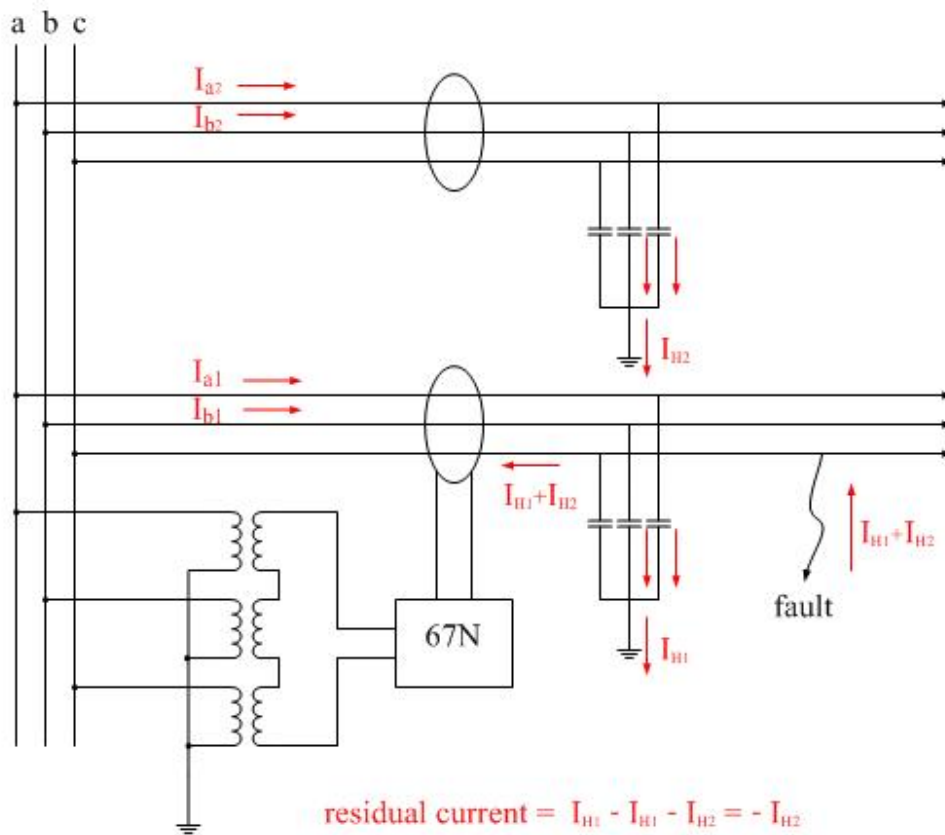


รูปที่ 8 residual voltage และ residual current on Fault Feeder

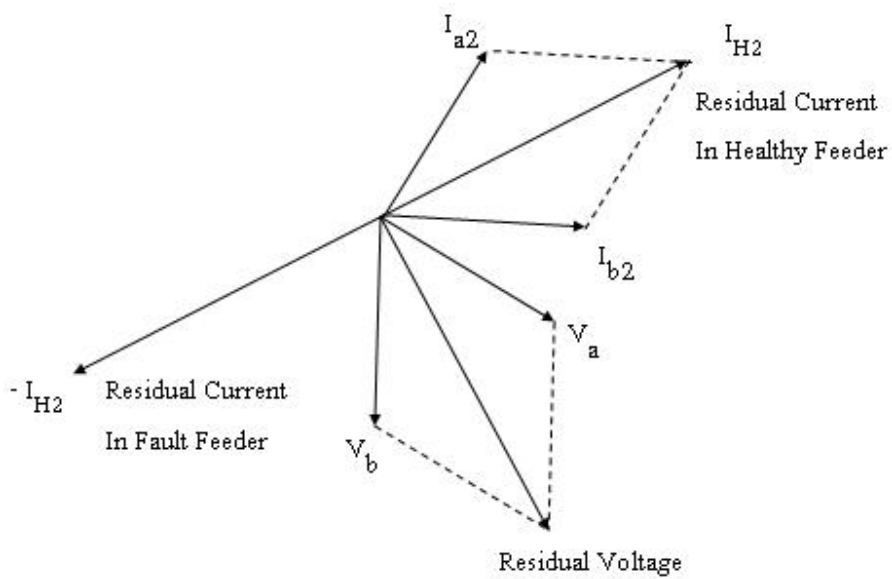


รูปที่ 9 residual voltage และ residual current on Healthy Feeder

2. กระแส fault ที่เกิดจาก stray capacitance

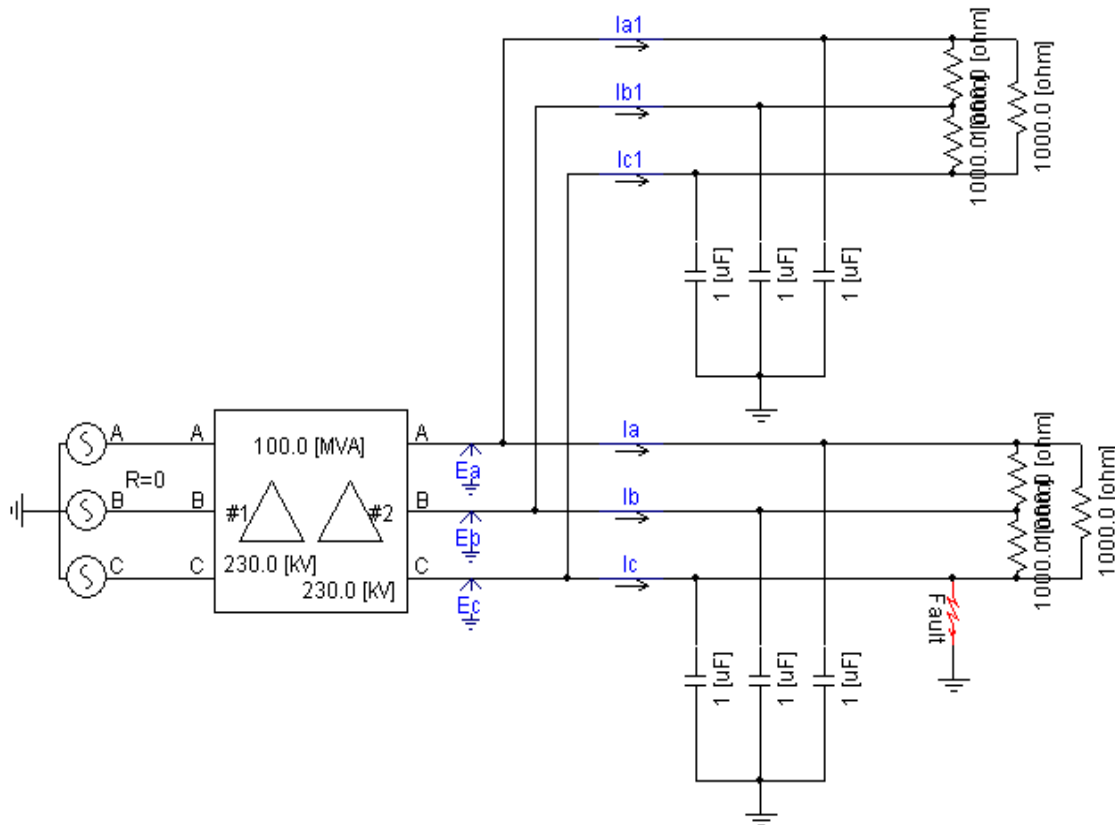


รูปที่ 10 ทิศทางการไหลของกระแส fault



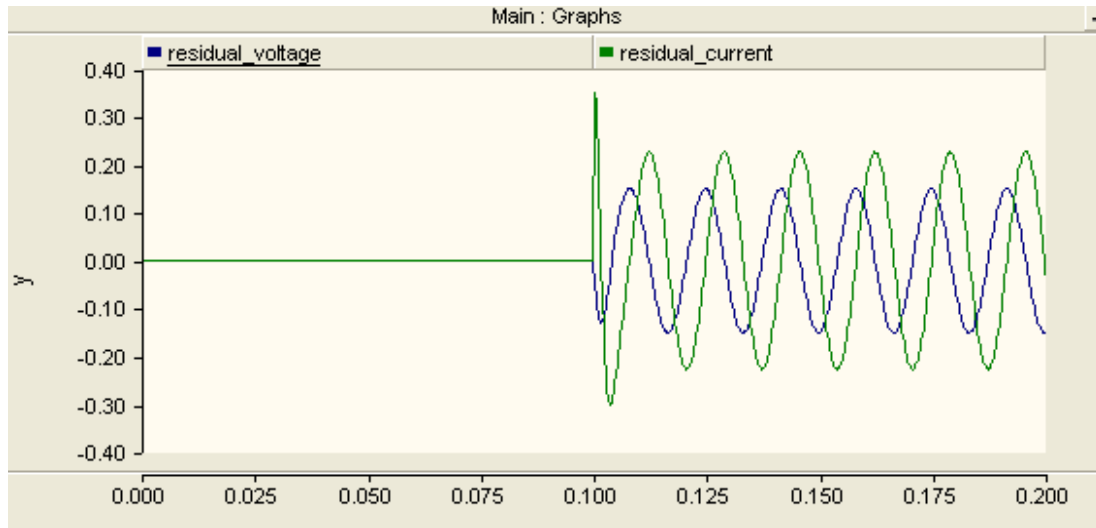
รูปที่ 11 Phasor Diagram

รูปที่ 10 แสดงทิศทางการไหลของกระแส fault ที่เกิดจาก stray capacitance ขณะเกิด phase C to ground fault และนำมาเขียน Phasor Diagram ได้ดังรูปที่ 11 ซึ่งเราพบว่า residual current มี phase ด้าหลัง residual voltage อยู่ 90 องศา

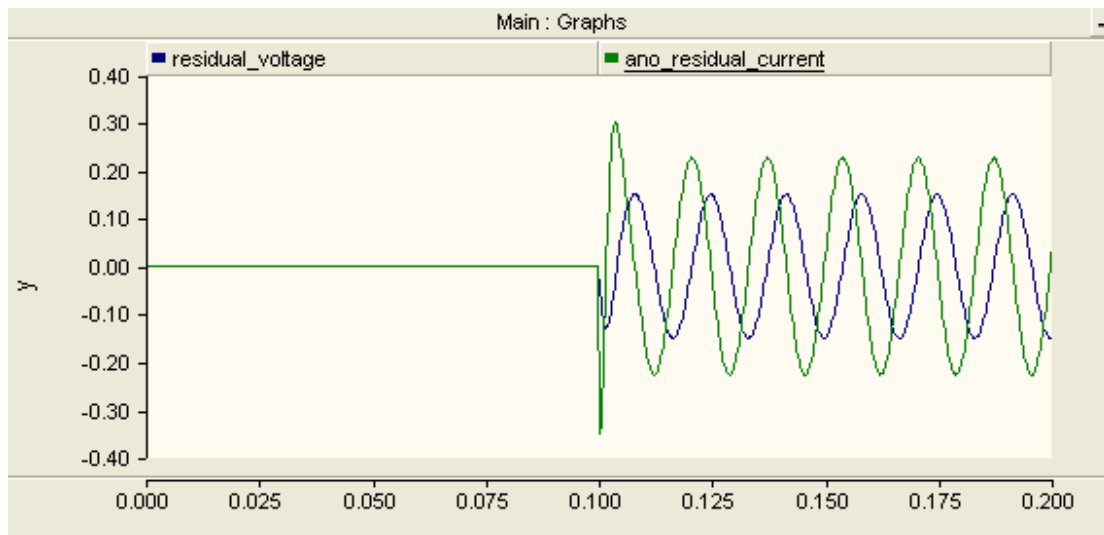


รูปที่ 12 Simulation Circuit using PSCAD/EMTDC

ในรูปที่ 12 แสดงวงจรที่ใช้จำลองการเกิด phase C to ground fault โดยใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC เพื่อดูความสัมพันธ์ของ residual voltage และ residual current โดยพิจารณากระแส fault ที่เกิดจาก stray capacitance เพียงอย่างเดียว ซึ่งผลลัพธ์ก็คือใน Feeder ที่เกิด fault จะมี residual current ด้าหลัง residual voltage อยู่ 90 องศา ส่วนใน Healthy Feeder จะมี residual current นำหน้า residual voltage อยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ



รูปที่ 13 residual voltage และ residual current on Fault Feeder

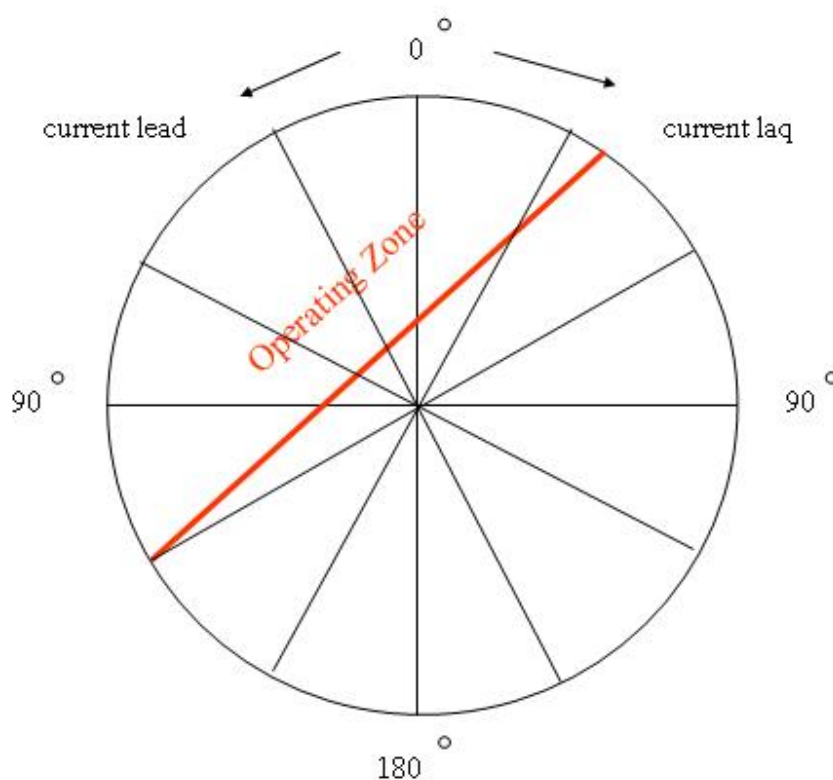


รูปที่ 14 residual voltage และ residual current on Healthy Feeder

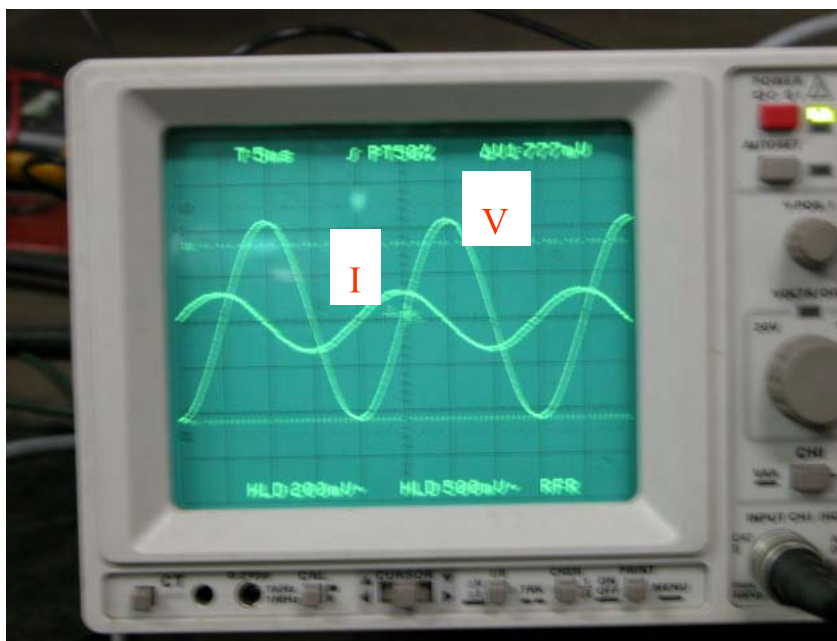
เราพบว่าการตั้งค่า RCA ของ Directional Earth Fault Relay ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแส fault ที่มาจาก 2 ส่วนนี้ ถ้าเราใช้ Directional Earth Fault Relay ในการป้องกันระบบที่ใช้สาย Feeder เป็นสาย cable สั้นๆ เราอาจจะตั้งค่า RCA เท่ากับ 90 องศาหรือใช้ Directional Earth Fault ที่มี Characteristic ดังรูปที่ 15 ได้ แต่ถ้าสาย Feeder เป็นสาย cable ยาวๆ มีค่า stray capacitance มากๆ อาจจะทำให้กระแส fault ที่มาจาก stray capacitance มีค่ามากกว่า กระแส fault ที่มาจาก voltage transformer ซึ่งทำให้ residual current ขณะเกิด single line to ground ล้าหลัง residual voltage ส่งผลให้ Directional Earth Fault Relay ที่ตั้งค่า RCA เท่ากับ 90 องศาหรือ Directional Earth Fault Relay ที่มี Characteristic ดังรูปที่ 15 ไม่ทำงาน และอาจทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าของเราเกิดความเสียหายได้

นอกจากนี้แล้วหากบน Healthy Feeder มี stray capacitance มากๆ ยังทำให้ residual current บน Healthy Feeder ขณะเกิด single line to ground นำหน้า residual voltage อีกด้วย ซึ่งอาจทำให้ Directional Earth Fault Relay บน Healthy Feeder ส่งสัญญาณ trip ได้

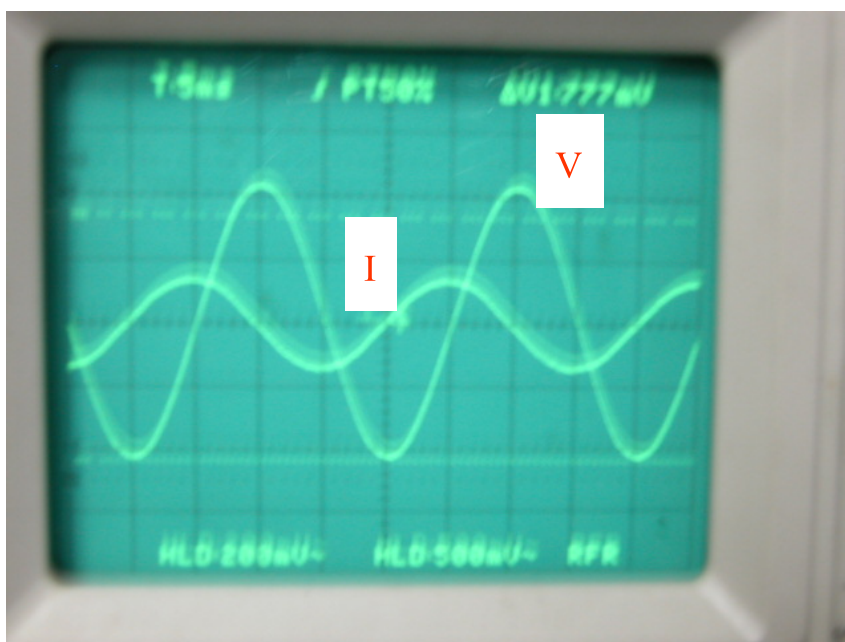
ดังนั้นเพื่อพิสูจน์ว่า residual current นำหน้าหรือล้าหลัง residual voltage จึงควรทำการทดสอบจริงที่ไซต์งานหรือทำการวัดค่า stray capacitance ของทุกๆ สาย Feeder



รูปที่ 15 Directional Earth Fault Relay Characteristic ,Toshiba Type IDG5D.



รูปที่ 16 แสดงสัญญาณของ residual voltage และ residual current บน fault feeder



รูปที่ 17 แสดงสัญญาณของ residual voltage และ residual current บน healthy feeder

รูปที่ 16, 17 แสดงสัญญาณของ residual voltage และ residual current ที่วัดได้ที่โรงงานน้ำตาล ประจวบ
จังหวัด กาญจนบุรี

Reference.

1. Areva Relays Manual.
2. Mitsubishi Type CWG-2B-D, CWG-2B-R Directional Ground Relay Manual
3. Power System Analysis, second edition. Hadi Saadat.
4. Toshiba Instructions for Directional Ground Relay Type 1DG5D.
5. Yearly Maintenance Tested Report, Prajuab Sugar Factory.