Symmetrical Fault
3-Phase สมดุล

By

Mr.Nutthapong Sonard

Department of Electrical Engineering

Ratchathani University

Introduction

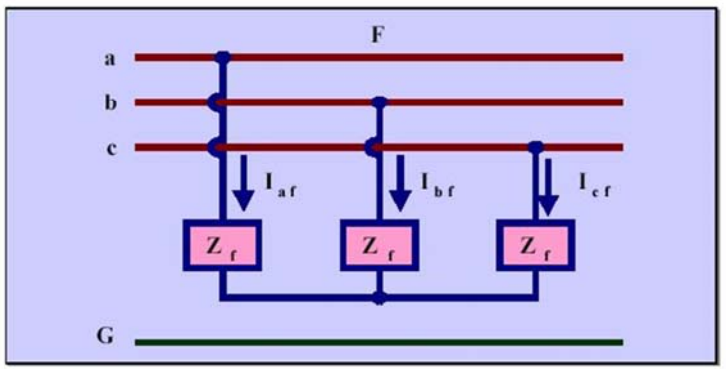
- เมื่อเกิดความผิดพร่อง (Fault) ขึ้นในระบบ
- กระแสผิดพร่องจะมีค่าสูงกว่ากระแสพิกัดหลายเท่า
- ระบบป้องกันจะต้องตัดส่วนที่เกิด Fault ออก
- การคำนวณกระแสผิดพร่องจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง
- ปริมาณกระแสผิดพร่องที่คำนวณได้ใช้เลือกพิกัดอุปกรณ์ป้องกันตั้งค่า Relays ได้อย่างเหมาะสม

การคำนวณหากระแสผิดพร่อง ทำได้ 2 วิธี

1. ด้วยเครื่องคำนวณ (คำนวณด้วยมือ)
   - ใช้กับระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน
   - ระบบ Radial
   - ระบบ Medium Voltage แบบง่าย ๆ
2. ใช้ Computer Programming
   - ใช้กับระบบขนาดใหญ่ที่ยุ่งยากซับซ้อน
   - ระบบ Network
   - ระบบ High Voltage (สายส่ง)

ประเภทของ Faults

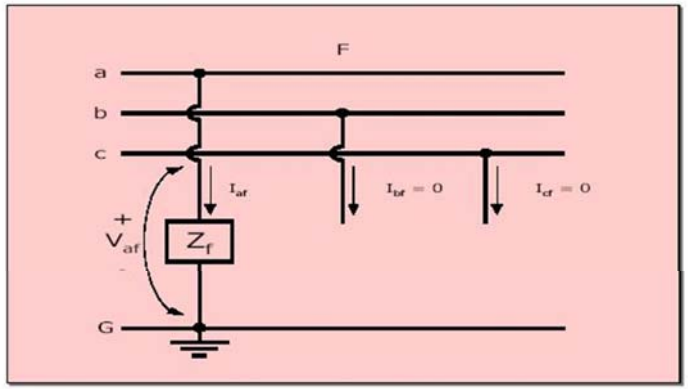
- Three Phase Fault



รูปที่ 1 แสดง Connection Diagram ของ Three Phase Fault

ประเภทของ Faults (ต่อ)

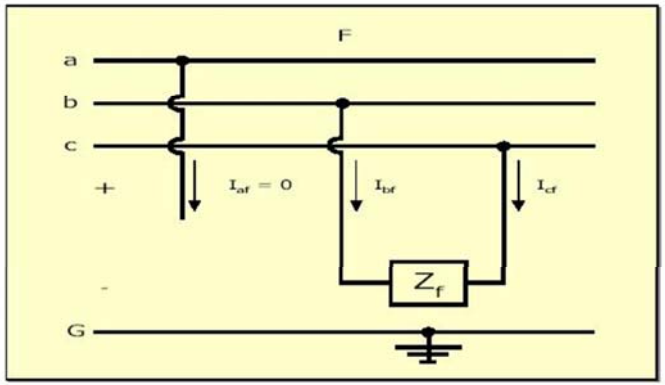
☞ Single Line-to-Ground Fault



รูปที่ 2 แสดง Connection Diagram ของ Single Line-to-Ground Fault

ประเภทของ Faults (ต่อ)

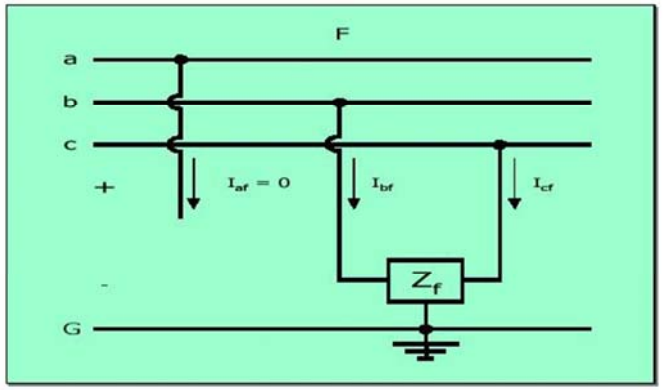
☞ Line-to-Line Fault



รูปที่ 3 แสดง Connection Diagram ของ Line-to-Line Fault

ประเภทของ Faults (ต่อ)

☞ Double Line-to-Ground Fault



รูปที่ 4 แสดง Connection Diagram ของ Double Line-to-Ground Fault

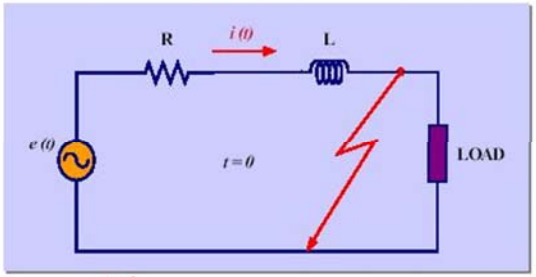
Symmetrical Fault

☞ Three Phase Fault

☞ เกิดความรุนแรงมากที่สุด

☞ ทำความเสียหายแก่ระบบไฟฟ้ามากที่สุด

☞ พิจารณาวงจร RL ดังรูป



รูปที่ 5 วงจร RL Short Circuit

Symmetrical Fault (ต่อ)

$$e(t) = \sqrt{2}V_{rms}\sin(\omega t+\alpha)$$

$$L\frac{di(t)}{dt}+Ri(t) = \sqrt{2}V_{rms}\sin(\omega t+\alpha)$$

หาคำตอบ โดยใช้ Laplace's Transformation จะได้

$$I(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{|Z|}\left[\underbrace{\sin(\omega t+\alpha-\theta)}_{\text{เทอมที่ 1}} - \underbrace{\sin(\alpha-\theta)e^{-\frac{t}{T}}}_{\text{เทอมที่ 2}}\right]$$

Symmetrical Fault (ต่อ)

$$I(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{|Z|}\left[\underbrace{\sin(\omega t+\alpha-\theta)}_{\text{เทอมที่ 1}} - \underbrace{\sin(\alpha-\theta)e^{-\frac{t}{T}}}_{\text{เทอมที่ 2}}\right]$$

โดยที่ :

$$|Z| = \sqrt{R^2+(\omega L)^2} = \sqrt{R^2+X^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = \tan^{-1}\frac{X}{R}$$

$$T = \frac{L}{R} = \frac{X}{\omega R} = \frac{X}{2\pi fR}$$

α = มุมของ Switching Voltage เมื่อเกิดการลัดวงจร

Symmetrical Fault (ต่อ)

เทอมที่ 1

- AC Component
- Symmetrical Fault Current

$$i_{ac}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{|Z|}\sin(\omega t+\alpha-\theta)$$

เทอมที่ 2

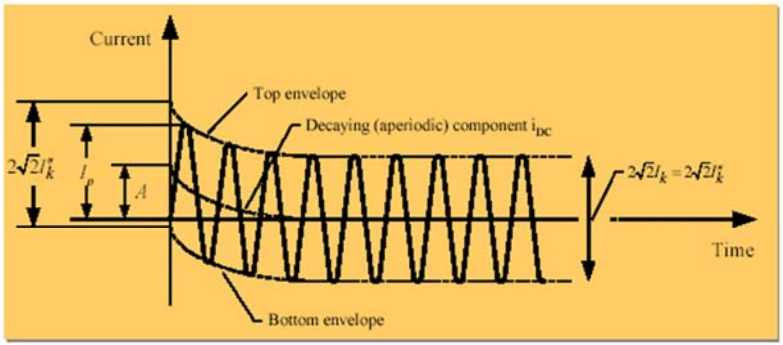
- DC Component
- Unsymmetrical Fault Current
- หน่วงลงแบบ Exponential
- Time Constant (T)
- DC Offset Current

$$i_{dc}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{|Z|}\sin(\alpha-\theta)e^{-\frac{t}{T}}$$

Symmetrical Fault (ต่อ)

$$i_{ac}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{|Z|}\sin(\omega t+\alpha-\theta)$$

$$i_{dc}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{|Z|}\sin(\alpha-\theta)e^{-\frac{t}{T}}$$



กระแสรวมของทั้ง 2 เทอมนี้ Asymmetrical Fault Current

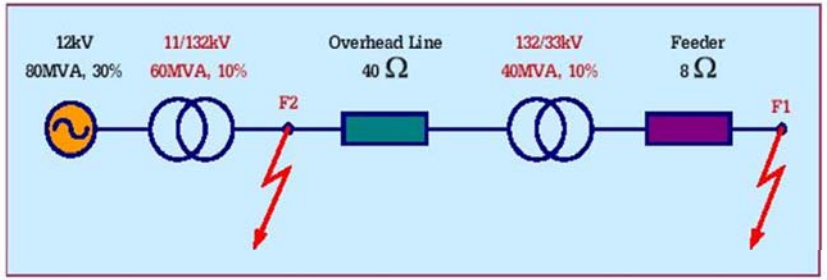
การหา Symmetrical Fault Component

- คำนวณแบบเฟสเซอร์
- RMS AC Fault Current

$$\Rightarrow \quad I = \frac{E}{|Z|}$$

โดยที่ I คือ Symmetrical Fault Current (RMS)
E คือ แรงดันของระบบเมื่อเกิดการลัดวงจร
Z คือ ขนาดของ Impedance รวม ของระบบเมื่อเกิดลัดวงจร

ตัวอย่าง จากระบบไฟฟ้าดังรูป จงหากระแส Fault ในแต่ละ Section เมื่อเกิด Three Phase ที่จุด F1 และ F2 ตามลำดับ



วิธีทำ

กำหนด Base Voltage = 11 kV/132 kV/33 kV

Base MVA = 100

- พิจารณาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

$$Z_b(G) = \frac{kV_b^2}{MVA_b} = \frac{11^2}{100} = 1.21\ \Omega$$

$$Z(G) = 0.3 \times \frac{12^2}{80} = 0.54\ \Omega$$

$$\therefore\ Z_{pu}(G) = \frac{0.54}{1.21} = 0.446\ pu.$$

- ที่หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (T1)

$$\therefore\ Z_{pu}(T1) = 0.1 \times \frac{100}{60} = 0.167\ pu.$$

- ที่หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (T2)

$$\therefore\ Z_{pu}(T2) = 0.1 \times \frac{100}{40} = 0.25\ pu.$$

- ที่สาย Overhead Line (OL)

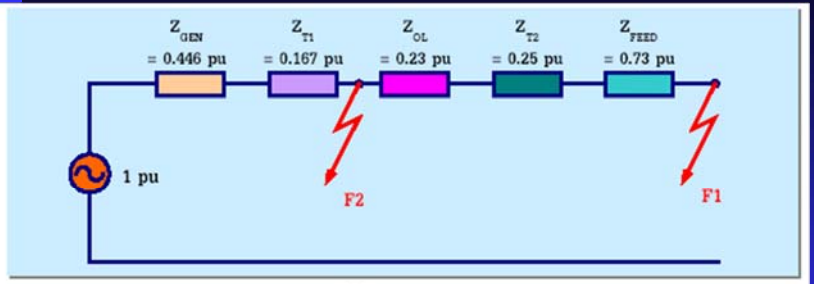
$$\Rightarrow Z_b(OL) = \frac{kV_b^2}{MVA_b} = \frac{132^2}{100} = 174.24\ \Omega$$

$$\therefore Z_{pu}(OL) = \frac{40}{174.24} = 0.23\ pu.$$

- ที่ Feeder (Fd)

$$\Rightarrow Z_b(F_d) = \frac{kV_b^2}{MVA_b} = \frac{33^2}{100} = 10.89\ \Omega$$

$$\therefore Z_{pu}(F_d) = \frac{8}{10.89} = 0.73\ pu.$$



คำนวณหากระแสผิดพร่องที่ F1

$$\therefore I_{F_1} = \frac{1}{0.446+0.167+0.23+0.25+0.73} = 0.55\ pu.$$

$$\because I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3} \times kV_b}\ (A)$$

- กระแสผิดพร่องที่ไหลจาก ช่วง Gen ถึง T1

$$\therefore I_{F_{Gen-T1}} = 0.55 \times \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 11} = 2{,}886.83\ A$$

- กระแสผิดพร่องที่ไหลจาก ช่วง T1 ถึง T2

$$\therefore I_{F_{T1-T2}} = 0.55 \times \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 132} = 240.57\ A$$

- กระแสผิดพร่องที่ไหลจาก ช่วง T2 ถึง F1

$$\therefore I_{F_{T2-F1}} = 0.55 \times \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 33} = 962.28\ A$$

☞ คำนวณหากระแสผิดพร่อง ที่จุด F2

$$\therefore I_{F2} = \frac{1}{0.446+0.167} = 1.631\ pu.$$

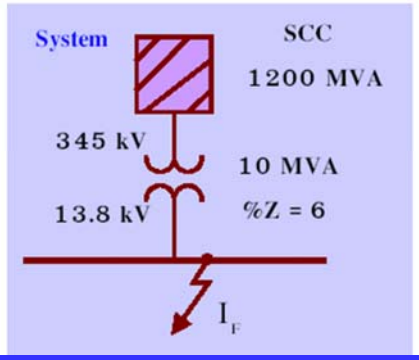
- กระแสผิดพร่องที่ไหลจาก ช่วง Gen ถึง T1

$$\therefore I_{F_{Gen-T1}} = 1.631 \times \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 11} = 8{,}560.62\ A$$

- กระแสผิดพร่องที่ไหลจาก ช่วง T1 ถึง F2

$$\therefore I_{F_{T1-F2}} = 1.631 \times \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 132} = 713.39\ A$$

ตัวอย่าง จงหากระแส Three Phase Fault จากระบบไฟฟ้า ซึ่งมีค่า Short Circuit Capacity เท่ากับ 1200 MVA ซึ่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยัง Bus ที่เกิด Fault โดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 10 MVA 345/13.8 kV % Impedance = 6 ซึ่งมี Diagram ดังรูป เลือก 100 MVA เป็น Base



วิธีทำ

$$Z_{pu.}(S) = \frac{100}{1200} = 0.0833 \text{ pu.}$$

$$Z_{pu.}(T) = Z_{old}\left(\frac{MVA_b}{MVA}\right)$$

$$\therefore Z_{pu.}(T) = 0.06\left(\frac{100}{10}\right) = 0.6 \text{ pu.}$$

$$\therefore Z_{pu.}(\text{Total}) = 0.0833 + 0.6 = 0.6833 \text{ pu.}$$

$$\Rightarrow I = \frac{E}{|Z|} = \frac{1.0}{0.6833} = 1.46 \text{ pu.}$$

$$\because I_b = \frac{100\times10^3}{\sqrt{3}\times13.8} = 4184 \text{ A}$$

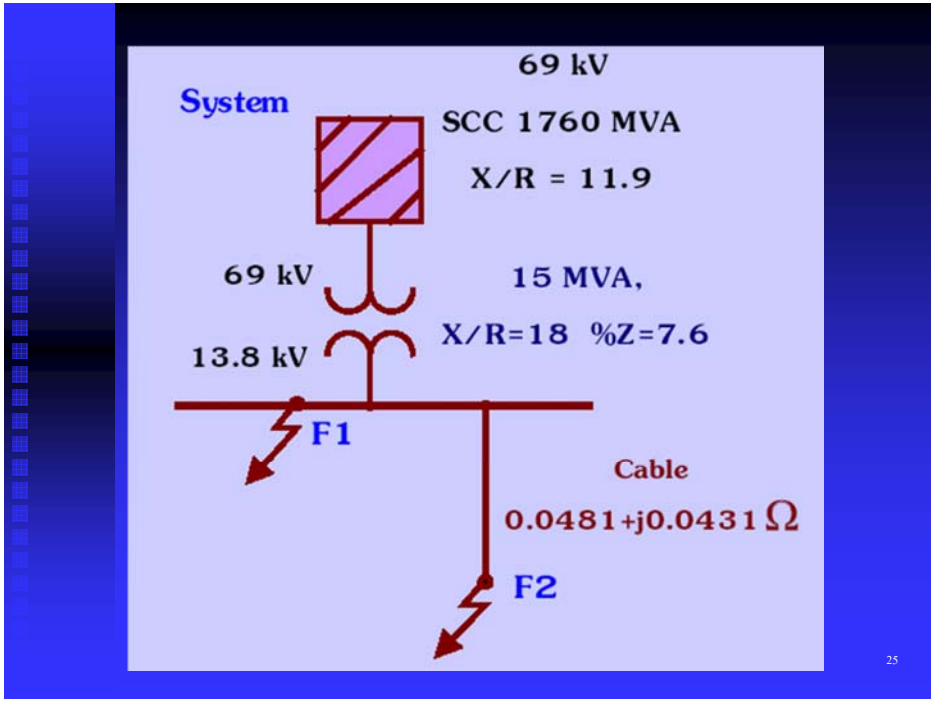
$$\therefore I_F(\phi) = 1.46\times4184 = 6.11 \text{ kA}$$

ตัวอย่าง

จงหากระแส Fault เมื่อเกิด Three phase Fault ที่จุด F1 และ F2 จากระบบไฟฟ้า ซึ่งมีค่า Short Circuit Capacity เท่ากับ 1760 MVA , 69 kV และ X/R = 11.9 ซึ่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยัง Bus โดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 15 MVA, 69/13.8 kV % Z = 7.6 และ X/R = 18

โดยจุด F1 คือ ตำแหน่ง Bus ดังกล่าว ส่วนจุด F2 คือ จุดบนสายส่ง ที่ห่างจาก Bus โดยมีค่า Impedance เท่ากับ $0.0481 + j0.0431\ \Omega$

กำหนดให้ MVA_b = 100 MVA และ kV_b = 13.8 kV ซึ่งมี Diagram ดังรูป

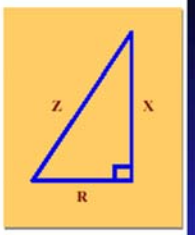


วิธีทำ

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = R\sqrt{1+\left(\frac{X}{R}\right)^2}$$

$$R = \frac{Z}{\sqrt{1+\left(\frac{X}{R}\right)^2}}$$



System

$$Z_{pu.} = \frac{100}{1760} = 0.0568 \text{ pu.}$$

$$R_{pu.} = \frac{0.0568}{\sqrt{1+11.9^2}} = 0.0048 \text{ pu.}$$

$$X_{pu.} = 0.0048 \times 11.9 = 0.0566 \text{ pu.}$$

Transformer

$$Z_{pu.} = 0.076 \times \frac{100}{15} = 0.5067 \text{ pu.}$$

$$R_{pu.} = \frac{0.5067}{\sqrt{1+18^2}} = 0.0281 \text{ pu.}$$

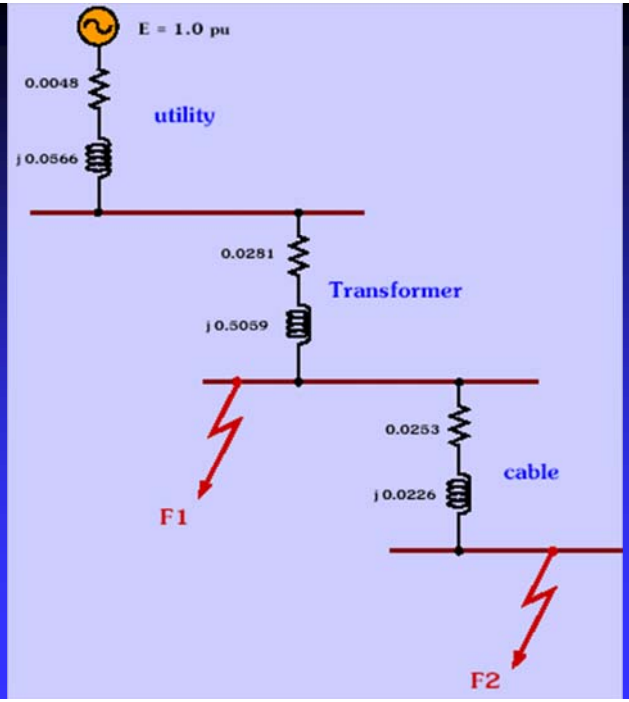
$$X_{pu.} = 0.0281 \times 18 = 0.5059 \text{ pu.}$$

Cable

$$Z_b = \frac{kV_b^2}{MVA_b} = \frac{13.8^2}{100} = 1.9044 \ \Omega$$

$$R_{pu.} = \frac{0.0481}{1.9044} = 0.0253 \text{ pu.}$$

$$X_{pu.} = \frac{0.0431}{1.9044} = 0.0226 \text{ pu.}$$



กรณี Fault ที่ F1 :

$$\therefore I = \frac{E}{Z} = \frac{1.0}{(0.0048+0.0281)+j(0.0566+0.5059)}$$

$$\therefore I = \frac{1.0}{0.033+j0.5625} = \frac{1.0}{0.5635\angle 86.64^\circ}$$

$$= 1.7746 \text{ pu.}$$

$$\Rightarrow I_b = \frac{100\times10^3}{\sqrt{3}\times13.8} = 4184 \text{ A}$$

$$\therefore I_{F1} = 1.7746\times4184 = 7.425 \text{ kA}$$

กรณี Fault ที่ F2 :

$$\because R_{TH} = 0.0048+0.0284+0.0253 = 0.0585 \text{ pu.}$$

$$\because X_{TH} = j(0.0566+0.5059+0.0226 = j0.5872 \text{ pu.}$$

$$\Rightarrow I = \frac{E}{Z} = \frac{1.0}{0.0585+j0.5872} = 1.695 \text{ pu.}$$

$$\therefore I = \frac{1.0}{0.59\angle 84.31^\circ} = 1.695\angle -84.31 \text{ pu.}$$

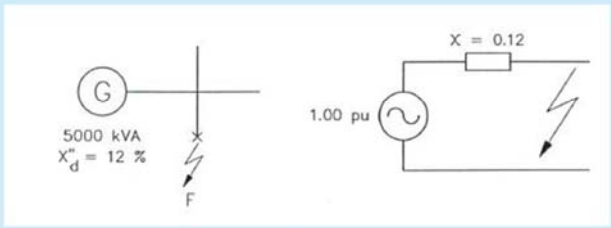
$$\therefore I_{F2} = 1.695\times4184 = 7.10 \text{ kA}$$

ตัวอย่างคำนวณกระแสลัดวงจร 3-Phase สมดุล

ตัวอย่างที่ 1

Generator 3-phase ขนาด 5000 kVA , 6.6 kV, X_d'' =12% เกิด 3-phase Fault ขึ้นที่ขั้ว จงหา

1. Fault Current
2. Fault MVA



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูล

ระบบมี Generator เพียงตัวเดียว ดังนั้นค่า Base เราจะกำหนดด้วยพารามิเตอร์ของ Generator ดังนี้

- Base MVA = 5 MVA
- Base Voltage = 6.6 kV

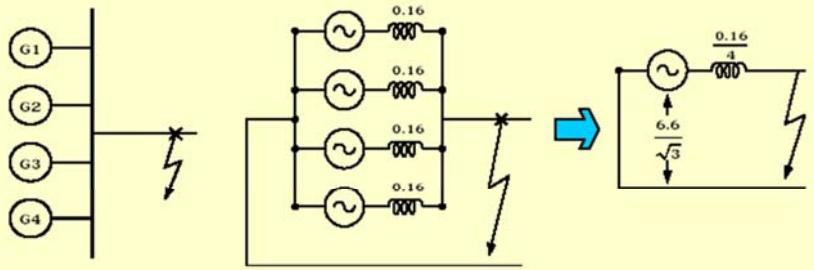
$$\text{Fault MVA} = \frac{\text{Base MVA}}{\%X}$$

$$= \frac{5}{0.12} = 41.67 \text{ MVA}$$

$$\text{Fault Current } I_F = \frac{41.67\times10^6}{\sqrt{3}\times6.6\times10^3} = 3645 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 2

ระบบไฟฟ้าประกอบด้วย Generator 4 ตัว ขนาด 25 MVA , 6.6 kV , X''_d = 16 % ต่อขนานกัน ดังรูป



รูปที่ 2 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่ 2 และวงจรสมมูล

ให้คำนวณหา

1. Fault MVA
2. Fault Current

วิธีทำ

Generator มีขนาดเท่ากันหมด ดังนั้นเราอาจใช้ Base ของ Generator ได้ ดังนี้

- Base MVA = 25 MVA
- Base Voltage = 6.6 kV

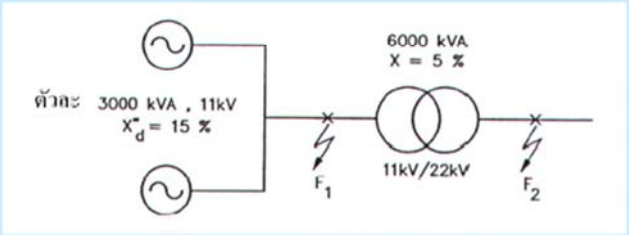
$$\text{Fault MVA} = \frac{\text{Base MVA}}{\%X}$$

$$= \frac{25}{0.04} = 625 \text{ MVA}$$

$$\text{Fault Current} = \frac{625}{\sqrt{3} \times 6.6} = 54.7 \text{ kA}$$

ตัวอย่างที่ 3

จากรูปที่ 3.1 จงคำนวณหา Fault MVA และ Fault Current เมื่อเกิด Fault ที่จุด F_1 และ F_2 ตามลำดับ

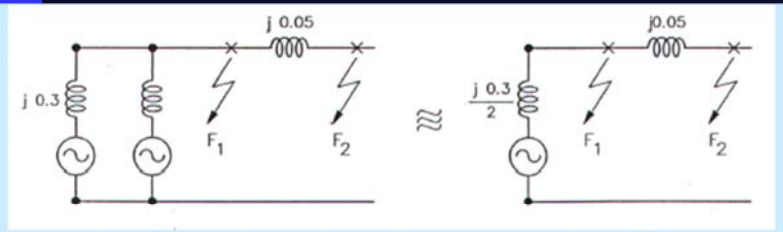


รูปที่ 3.1 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่ 3

ให้ Base 6000 kVA 11kV/22kV

$$\text{p.u. ของ Generator} = j0.15 \times \frac{6000}{3000} \text{ p.u.}$$

$$= j0.3 \text{ p.u.}$$



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่ 3

กรณีเกิด Fault ที่ F_1

$$\text{Fault MVA} = \frac{6}{0.15} = 40 \text{ MVA}$$

$$I_{F1} = \frac{40 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3}$$

$$\therefore I_{F1} = 2100 \text{ A}$$

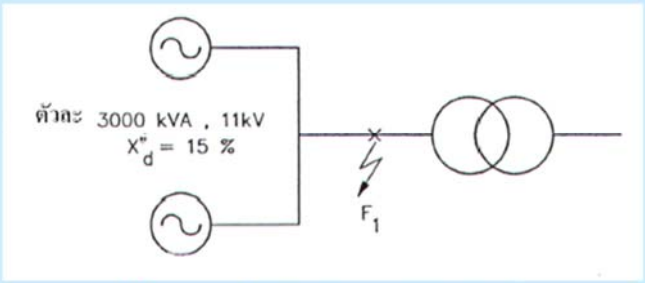
กรณีเกิด Fault ที่ F_2

$$\text{Fault MVA} = \frac{6}{0.15+0.05} = 30 \text{ MVA}$$

$$I_{F2} = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 22 \times 10^3}$$

$$\therefore I_{F2} = 786 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 4 พิจารณาระบบไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบไฟฟ้าประกอบตัวอย่างที่ 4

เมื่อเกิด 3-phase Fault ที่ F_1 คำนวณ Fault MVA ได้ ดังนี้

$$\because F_1 = \frac{6}{0.15} = 40 \text{ MVA}$$

แสดงว่า ถ้าเกิด Fault จะมีกำลังไฟฟ้าไหลเข้าที่จุด Fault = 40 MVA

หรือ $I_{F_1} = \frac{40\times10^3}{\sqrt{3}\times11} = 2100\ A$

Fault ที่จุด F_1 ของระบบไฟฟ้า เราเรียกว่า "Short Circuit Capacity (S_{CC})" เมื่อมองจากจุดนี้เข้าหาระบบจะแสดงขนาดของระบบไฟฟ้าและสามารถหาขนาดค่า Z ของระบบได้

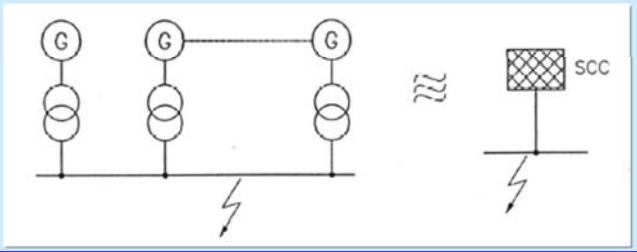
$$\because \quad Z_B = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{11^2}{6} = 20.17 \ \Omega$$

$$\therefore \quad Z_S = \frac{MVA_B}{MVA} = \frac{6}{40} = 0.15 \ pu$$

$$\text{หรือ} \quad Z_S = 0.15\times20.17 = 3.02 \ \Omega$$

Short Circuit Capacity : SCC

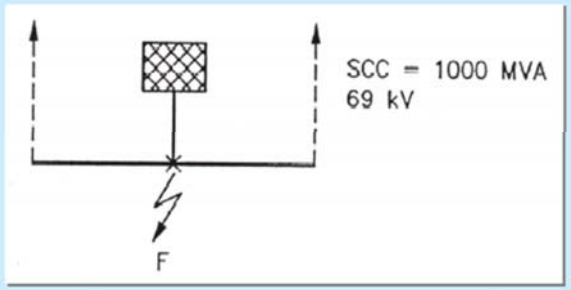
- ถ้าระบบใหญ่ แสดงว่า เมื่อเกิด S/C กำลังไฟฟ้า หรือ กระแสไหลเข้ามาก Z ของระบบมีค่าน้อย
- ระบบใหญ่มาก (Infinite Bus) เมื่อเกิด S/C กำลังไฟฟ้า หรือ กระแสไหลเข้าจะเป็นอนันต์ (ต) นั่นคือ Z ของระบบจะมีค่าประมาณศูนย์



ตัวอย่างที่ 5

ระบบไฟฟ้า ตามรูปที่ 5.1 มี Short Circuit Capacity (SCC) เป็น 1000 MVA, 69 kV ให้คำนวณหา

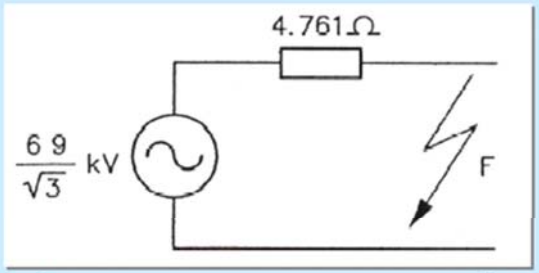
1. กระแส Fault (I_F)
2. Impedance ของระบบ



รูปที่ 5.1 ระบบไฟฟ้าประกอบตัวอย่างที่ 5

$$\Rightarrow I_F = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{1000}{\sqrt{3}\times69} = 8.4 \ kA$$

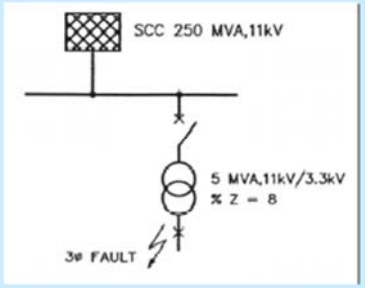
$$\Rightarrow Z = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{69^2}{1000} = 4.761 \ \Omega$$



รูปที่ 5.2 วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้ารูปที่ 5.1

$$\therefore I_F = \frac{69/\sqrt{3}}{4.761} = 8.4 \ kA$$

ตัวอย่างที่ 6 พิจารณาระบบไฟฟ้ารูปที่ 6



รูปที่ 6 ระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูลกรณีมีค่า SCC = 250 MVA,11kV

ให้คำนวณหา Short Circuit MVA โดยกำหนดให้

1) แหล่งจ่ายมี Short Circuit Capacity = 250 MVA, 11 kV

2) Source เป็น Infinite Bus

กำหนดให้ Base MVA = 5 MVA , Base Voltage = 11 kV

กรณี 1) Source มีค่า SCC = 250 MVA , 11 kV

$$\Rightarrow Z_B = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{11^2}{5} \quad \text{และ} \quad Z_S = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{11^2}{250}$$

$$\therefore Z_S(p.u.) = \frac{Z_S}{Z_B} = \frac{11^2}{250} \times \frac{5}{11^2} = 0.02 \text{ p.u.}$$

และ $Z_T(p.u.) = 0.08$ p.u.

$$\therefore \text{Fault MVA (p.u.)} = \frac{MVA_B}{\%X\,(p.u.)} = \frac{1.0}{0.1} = 10 \text{ p.u.}$$

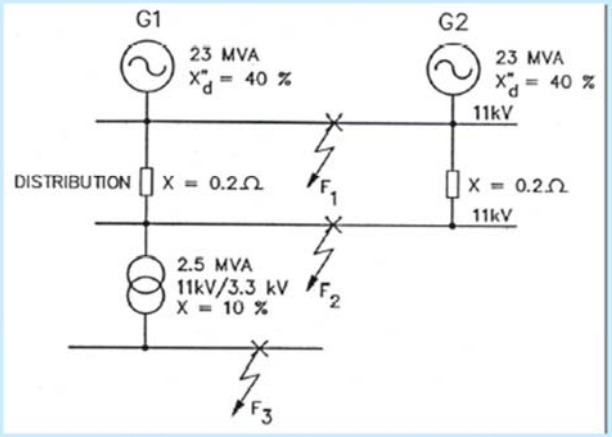
หรือ Fault MVA $= 10 \times 5 = 50$ MVA

กรณี 2) Source เป็น Infinite Bus Z_S (pu) = 0

$$\therefore \text{Fault MVA} = \frac{1.0}{0.08} = 12.5 \text{ pu}$$

หรือ Fault MVA $= 12.5 \times 5 = 62.5$ MVA

ตัวอย่างที่ 7 พิจารณาระบบไฟฟ้ารูปที่ 7.1 หาค่า Fault MVA และ Fault Current เมื่อเกิด Fault ขึ้นที่ F_1 , F_2 , F_3 ตามลำดับ



รูปที่ 7.1 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่ 7

กำหนดให้ Base MVA = 100 MVA และ

Base Voltage เป็น 11 kV / 3.3 kV

$$\therefore Z_B(11kV) = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{11^2}{100} = 1.21\ \Omega$$

1) Generator G1และ G2 : 23 MVA , X = 40 %

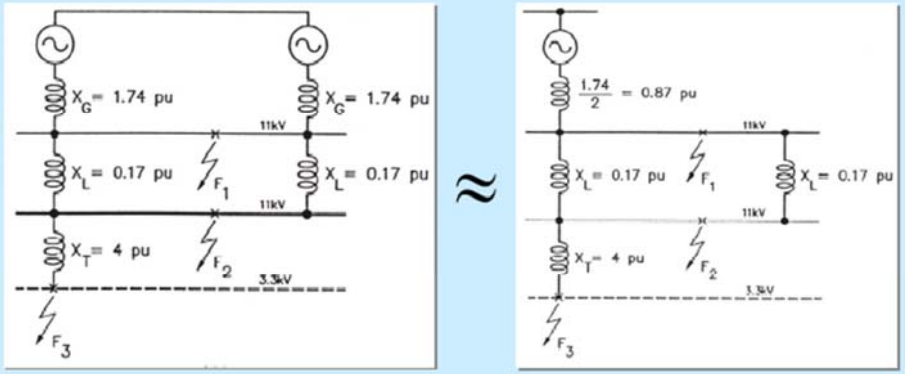
$$\therefore X_G(pu) = 0.40 \times \frac{100}{23} = 1.74 \text{ p.u.}$$

2) Distribution Line : X = 0.2 Ω

$$\therefore X_L(pu) = \frac{0.2}{1.21} = 0.17 \text{ p.u.}$$

3) Transformer : 2.5 MVA , X = 10 %

$$\therefore\ X_T(\text{p.u.}) = 0.1\times\frac{100}{2.5} = 4\ \text{p.u.}$$



รูปที่ 7.2 วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้ารูปที่ 7.1

กรณี Fault ที่ F_1

$$\text{Fault MVA} = \frac{1}{0.87} = 1.15\ \text{p.u.} = 1.15\times100 = 115\ \text{MVA}$$

$$I_{F1} = \frac{115}{\sqrt{3}\times11} = 6.04\ \text{kA}$$

กรณี Fault ที่ F_2

$$\text{Fault MVA} = \frac{1}{0.87+\frac{0.17}{2}} = 1.05\ \text{p.u.}$$

$$= 1.05\times100 = 105\ \text{MVA}$$

$$\therefore\ I_{F2} = \frac{105}{\sqrt{3}\times11} = 5.51\ \text{kA}$$

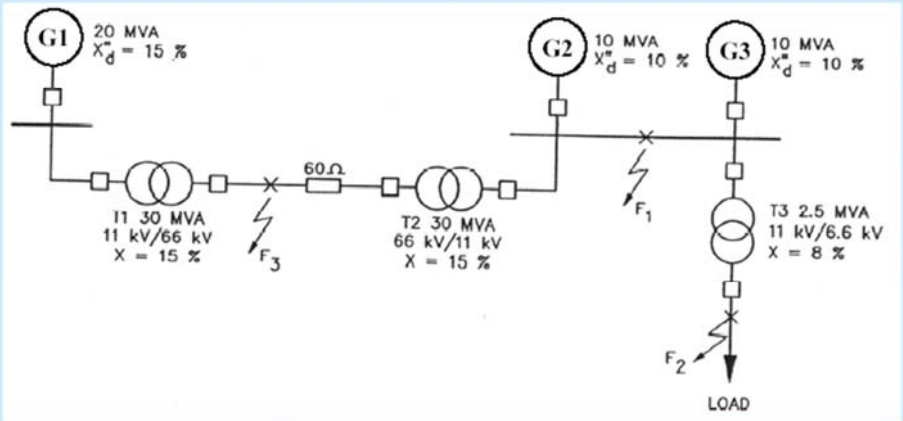
กรณี Fault ที่ F_3

$$\text{Fault MVA} = \frac{1.0}{0.87+\frac{0.17}{2}+4} = 0.202\ \text{p.u.}$$

$$= 0.202\times100 = 20.2\ \text{MVA}$$

$$\therefore\ I_{F_3} = \frac{20.2}{\sqrt{3}\times3.3} = 3.53\ \text{kA}$$

ตัวอย่างที่ 8 พิจารณาระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 ระบบไฟฟ้าประกอบตัวอย่างที่ 8

กำหนดให้ Base MVA เป็น 100

Base Voltage เป็น 11 kV / 66 kV / 6.6 kV

$$\therefore\ Z_B\ (66\ \text{kV}) = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}} = \frac{66^2}{100} = 43.56\ \Omega$$

1) Generator

กรณี G1, 20 MVA, 15% :

$$\therefore\ X_{G1}(\text{p.u.}) = 0.15\times\frac{100}{20} = 0.75\ \text{p.u.}$$

กรณี G2 และ G3, 10 MVA, 10% :

$$\therefore\ X_{G2}\ .\ X_{G3}\ (\text{p.u.}) = 0.1\times\frac{100}{10} = 1.0\ \text{p.u.}$$

2) Transmission Line : X_L = 60 Ω

$$\therefore\ X_L(\text{p.u.}) = \frac{60}{43.56} = 1.3$$

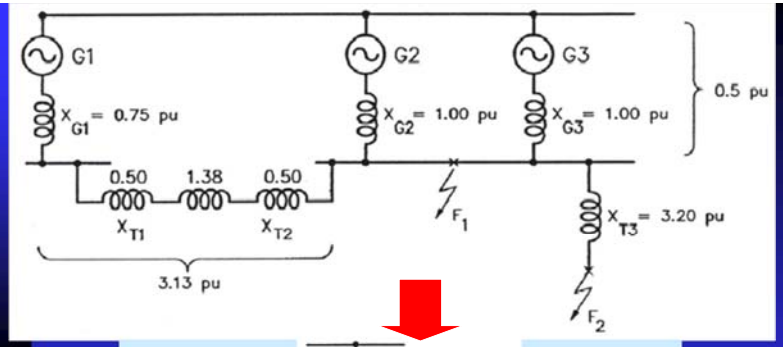
3) Transformer

หม้อแปลง T1 และ T2 : 30 MVA, 15%

$$\therefore\ X\ (\text{p.u.}) = 0.15\times\frac{100}{30} = 0.50\ \text{p.u.}$$

หม้อแปลง T3 ขนาด 2.5 MVA 8 %

$$\therefore\ X\ (\text{p.u.}) = 0.08\times\frac{100}{2.5} = 3.2\ \text{p.u.}$$



รูปที่ 8.2 วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้ารูปที่ 8.1 เมื่อเกิด Fault ที่ F_1 และ F_2 ตามลำดับ

Fault ที่ F1

$$\therefore \text{ Fault MVA} = \frac{1.00}{0.43} = 2.33 \text{ p.u.} = 233 \text{ MVA}$$

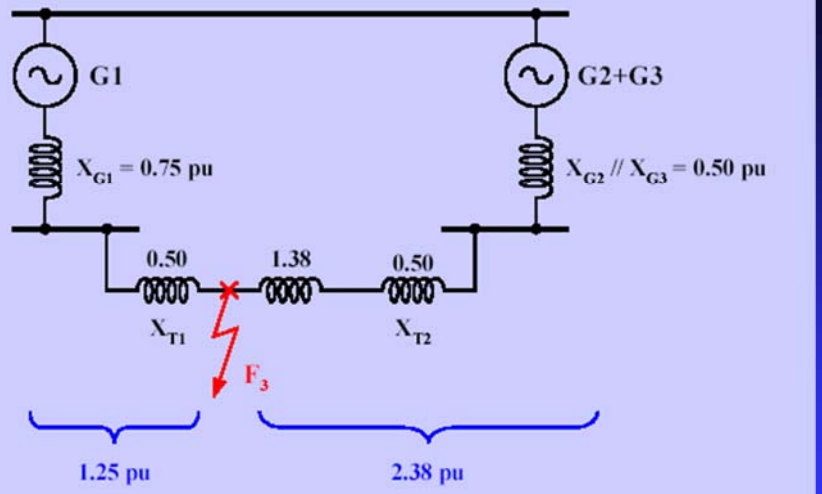
$$\because I_F = \frac{233}{\sqrt{3}\times 11} = 12.23 \text{ kA}$$

Fault ที่ F2

$$\text{Fault MVA} = \frac{1.00}{0.43+3.20} = 0.28 \text{ p.u.}$$

$$\therefore \text{ Fault MVA} = 0.28\times 100 = 28 \text{ MVA}$$

$$\therefore I_F = \frac{28\times 10^6}{\sqrt{3}\times 6.6\times 10^3} = 2449 \text{ A}$$



รูปที่ 8.3 วงจรสมมูลของระบบไฟฟ้ารูปที่ 8.1 เมื่อเกิด Fault ที่ F_3

Fault ที่ F3

$$\text{Fault MVA} = \frac{1.00}{1.25//2.38} = \frac{1.00}{0.82} = 1.22 \text{ p.u.}$$

$$= 1.22\times 100 = 122 \text{ MVA}$$

$$\therefore \text{ Fault จาก G1} = 122\times\frac{2.38}{1.25+2.38} = 80 \text{ MVA}$$

Fault จาก G2+G3 = 122 - 80 = 42 MVA

$$\therefore I_F(G1) = \frac{80\times 10^6}{\sqrt{3}\times 66\times 10^3} = 700 \text{ A}$$

หากตัด G1 ออกจากระบบ

- Fault ที่ F1

$$\therefore \text{ Fault MVA } = \frac{1.00}{0.50} = 2 \text{ p.u. } = 200 \text{ MVA}$$

- Fault ที่ F2

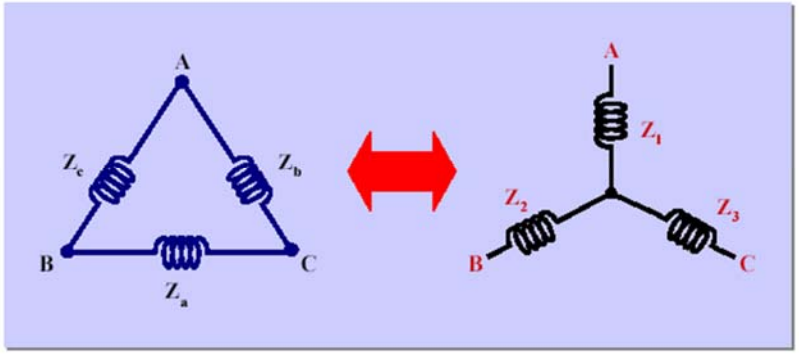
$$\therefore \text{ Fault MVA } = \frac{1.00}{0.5+3.20} = 0.27 \text{ p.u. } = 27 \text{ MVA}$$

Check! ถ้าให้ทางด้าน 11 kV เป็น Infinite Bus Fault ทางด้าน Secondary ของหม้อแปลง = 2.5 MVA

$$\because I_F = \frac{1.00}{3.20} = 0.3125 \text{ p.u. } = 31.25 \text{ MVA}$$

หรือ $I_F = \frac{100}{8} \times 2.5 = 31.25$ MVA

การแปลงรูปแบบการต่อ Impedance แบบ Delta กับ แบบ Wye



การแปลงรูปแบบการต่อ Impedance แบบ Delta กับแบบ Wye

$\Delta \rightarrow Y$	$Y \rightarrow \Delta$
$Z_1 = \frac{Z_b Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}$	$Z_a = \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_1}$
$Z_2 = \frac{Z_a Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c}$	$Z_b = \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_2}$
$Z_3 = \frac{Z_a Z_b}{Z_a + Z_b + Z_c}$	$Z_c = \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_3}$