

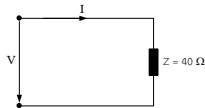
หน่วยที่ 7 การคำนวณระบบต่อหน่วย

Unit 7 The calculation of Per-unit

7.1 ระบบเปอร์เซ็นต์ (Percentage unit)

ระบบเปอร์เซ็นต์ เป็นระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบจำนวนโดยใช้เศษส่วนที่ไม่มีตัวส่วน เป็น 100 มักใช้สำหรับการเปรียบเทียบว่าปริมาณหนึ่งๆ มีขนาดเท่าไรโดยประมาณเมื่อเทียบกับอีกปริมาณหนึ่ง

Base impedance = 40Ω = 100% Z
 Base voltage = 200 V = 100% V
 Base current = 5 A = 100% I
 Base volt-amperes = $1,000 \text{ VA}$ = 100% VA



รูปที่ 7.1 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ต่างๆ

1

ถ้าหากค่า $Z = 50 \Omega$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Base impedance ก็คือ

$$Z = \frac{50 \Omega}{40 \Omega} \times 100\% = 125\%$$

ถ้าหากค่า $I = 4 \text{ A}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Base current ก็คือ

$$I = \frac{4 \text{ A}}{5 \text{ A}} \times 100\% = 80\%$$

ถ้าหากค่า $V = 150 \text{ V}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Base voltage ก็คือ

$$V = \frac{150 \text{ V}}{200 \text{ V}} \times 100\% = 75\%$$

ตัวอย่างที่ 7.1 ถ้ากระแส $I = 80\%$ (4 A) มีค่าคงที่ ในขณะที่ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $Z = 150\%$ (6Ω) ถามว่า ค่าของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่าใด

$$\text{วิธีทำ} \quad V = I \times Z = 80\% \times 150\% = 12,000\%$$

ลักษณะของผลลัพธ์นี้เมื่อคิดเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า (Base voltage) = 200 V ก็คือ $24,000 \text{ V}$ นั่นเองซึ่งเป็นค่าตอบที่ผิด (ค่าที่คำนวณคือ $12,000\% \times 200 \text{ V} = 24,000 \text{ V}$) แต่ที่จริงแล้ว ค่าคำตอบของทุกตัวของ V จะเป็น $V = 4 \text{ A} \times 6 \Omega$ ต้องเป็น 240 V นั่นเอง จากตัวอย่างของการคำนวณแสดงให้เห็นความผิดพลาดอันเกิดขึ้นจากการนำค่าของเปอร์เซ็นต์ (Percent system) มาใช้ในการคำนวณ ด้วยเหตุผลนี้เพื่อการหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดนี้เราจึงนิยมใช้ค่า Per-unit system แทนการคำนวณด้วย Percent system

2

7.2 ระบบเปอร์ยูนิต (Per-unit system)

ค่าเปอร์ยูนิต (Per-unit value ; pu) คืออัตราส่วนระหว่างค่าจริง (Actual value) ต่อค่าเบสหรือค่าฐาน (Base value)

$$\text{Per-unit value} = \frac{\text{Actual value}}{\text{Base value}}$$

จากตัวอย่างข้างต้นเราสามารถหาค่าเปอร์ยูนิตได้ดังนี้

Base impedance = 40Ω = 1.0 pu
 Base voltage = 200 V = 1.0 pu
 Base current = 5 A = 1.0 pu
 Base volt-amperes = $1,000 \text{ VA}$ = 1.0 pu

และนั่นคือ

ถ้าหากค่า $Z = 50 \Omega$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Base impedance ก็คือ

$$Z = \frac{50 \Omega}{40 \Omega} = 1.25 \text{ pu}$$

3

ถ้าหากค่า $I = 4 \text{ A}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Base current ก็คือ

$$I = \frac{4 \text{ A}}{5 \text{ A}} = 0.8 \text{ pu}$$

ถ้าหากค่า $V = 150 \text{ V}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Base voltage ก็คือ

$$V = \frac{150 \text{ V}}{200 \text{ V}} = 0.75 \text{ pu}$$

และจากตัวอย่างที่ 7.1 ถ้ากระแส $I = 0.8 \text{ pu}$ (4 A) มีค่าคงที่ ในขณะที่ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $Z = 1.5 \text{ pu}$ (6Ω) ถามว่า ค่าของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่าใด

$$V = I \times Z = 0.8 \times 1.5 = 1.2 \text{ pu}$$

และจากสมการ 7.1 จะได้

$$\begin{aligned} V_{\text{actual value}} &= V_{\text{base value}} \times \text{per-unit} \\ &= 200 \times 1.2 = 240 \text{ V} \end{aligned}$$

4

7.3 การกำหนดค่าฐาน (Base value)

การวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าจะมีพารามิเตอร์ที่ต้องให้ความสนใจได้แก่ กำลังไฟฟ้า (Power ; kW หรือ kVA) แรงดันไฟฟ้า (Voltage ; kV) กระแสไฟฟ้า (Current ; A) และอิมพีแดนซ์ (Impedance หรือ $Z ; \Omega$)

$$\begin{aligned} \text{Base current (A)} &= \frac{\text{Base power}}{\text{Base voltage}} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{\text{Base voltage}}{\text{Base current}} \\ \text{pu voltage} &= \frac{\text{Actual voltage}}{\text{Base voltage}} \\ \text{pu current} &= \frac{\text{Actual current}}{\text{Base current}} \\ \text{pu impedance} &= \frac{\text{Actual impedance}}{\text{Base impedance}} \\ \text{pu power} &= \frac{\text{Actual power}}{\text{Base power}} \end{aligned}$$

5

7.4 เปอร์ยูนิตของระบบไฟฟ้า 1 เฟส

$$\begin{aligned} \text{Base current (A)} &= \frac{\text{kVA}_{(1\phi)}}{\text{kV}_{(L-N)}} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{\text{kV}_{(L-N)}}{\text{Base current}} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{\text{kV}_{(L-N)} \times \text{kV}_{(L-N)}}{\text{kVA}_{(1\phi)}} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{(\text{kV}_{(L-N)})^2 \times 1,000}{\text{kVA}_{(1\phi)}} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{(\text{kV}_{(L-N)})^2}{\text{MVA}_{(1\phi)}} \\ \text{Base kVA} &= \text{Base kW} \end{aligned}$$

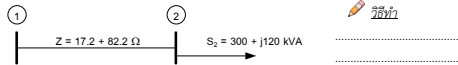
6

ตัวอย่างที่ 7.2 กำหนดให้ Base power = 10 kVA , Base voltage = 400 V และ

Actual impedance = 4Ω จงคำนวณหา

- n) Base current
 ข) Base impedance
 ค) pu impedance

ตัวอย่างที่ 7.3 ระบบกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ในรูปที่ 7.2 มีแรงดันไฟฟ้า 19 kV และต่อกับโหลด 3 เฟส ขนาด $300 + j120$ kVA สายส่งที่ต่อเชื่อมระหว่างบัส 1 กับบัส 2 มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $17.2 + 82.2 \Omega/\text{phase}$ จงใช้เปอร์ยูนิตหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 เมื่อกำหนดให้ค่าฐานแรงดันไฟฟ้าที่เฟสหรือ Base voltage ($kV_{(L-L)}$) = 10 kV และค่าฐานกำลังไฟฟ้า 1 เฟส หรือ Base power ($kVA_{(1\phi)}$) = 90 kVA



7

7.5 เปรียณิตของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

$$\begin{aligned}\text{Base current (A)} &= \frac{kVA_{(1\phi)}}{KV_{(L-L)}} \\ &= \frac{kVA_{(3\phi)} / 3}{KV_{(L-L)} / \sqrt{3}} \\ \text{Base current (A)} &= \frac{kVA_{(3\phi)}}{\sqrt{3} KV_{(L-L)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{(KV_{(L-L)})^2 \times 1,000}{kVA_{(1\phi)}} \\ &= \frac{(KV_{(L-L)} / \sqrt{3})^2 \times 1,000}{kVA_{(3\phi)} / 3} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{(KV_{(L-L)})^2 \times 1,000}{kVA_{(3\phi)}} \\ \text{Base impedance } (\Omega) &= \frac{(KV_{(L-L)})^2}{MVA_{(3\phi)}}\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 7.4 จากตัวอย่างที่ 7.3 ที่บัส 2 ถ้าเปลี่ยนค่าฐานเป็นระบบ 3 เฟส ดังนี้

$$\text{Base voltage } (KV_{(L-L)}) = 10 \text{ kV} \times \sqrt{3} = 17.3205 \text{ kV} \text{ และ}$$

$$\text{Base power } (kVA_{(3\phi)}) = 90 \text{ kVA} \times 3 = 270 \text{ kVA} \text{ จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1}$$

วิธีทำ

8

7.6 การเปลี่ยนค่าฐานเปอร์ยูนิตของเครื่องกลไฟฟ้า

$$\begin{aligned}\text{Actual } Z (\Omega) &= Z_{(pu, \text{ given})} \left(\frac{\text{Base } kV_{(given)}}{\text{Base } MVA_{(given)}} \right)^2 \\ Z_{(pu, \text{ new})} &= \text{Actual } Z \left(\frac{\text{Base } kV_{(new)}}{\text{Base } MVA_{(new)}} \right)^2 \\ Z_{(pu, \text{ new})} &= \left[Z_{(pu, \text{ given})} \left(\frac{\text{Base } kV_{(given)}}{\text{Base } MVA_{(given)}} \right)^2 \right] \left[\frac{\text{Base } MVA_{(new)}}{(\text{Base } kV_{(new)})^2} \right] \\ Z_{(pu, \text{ new})} &= Z_{(pu, \text{ given})} \left(\frac{\text{Base } kV_{(given)}}{\text{Base } kV_{(new)}} \right)^2 \left(\frac{\text{Base } MVA_{(new)}}{\text{Base } MVA_{(given)}} \right) \\ X_{(pu, \text{ new})} &= X_{(pu, \text{ given})} \left(\frac{KV_{(given)}}{KV_{(new)}} \right)^2 \left(\frac{VA_{(new)}}{VA_{(given)}} \right)\end{aligned}$$

9

ตัวอย่างที่ 7.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มีพิกัด 720 MVA, 20 kV และค่ารีแอกแตนซ์ 0.35 pu ซึ่งเกิดจากค่าฐานที่เป็นค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ถ้านำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้ต่อเข้าระบบกำลังไฟฟ้าที่มีค่าฐาน 100 MVA และ 13.8 kV จงหาค่ารีแอกแตนซ์เปอร์ยูนิตฐานใหม่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

วิธีทำ

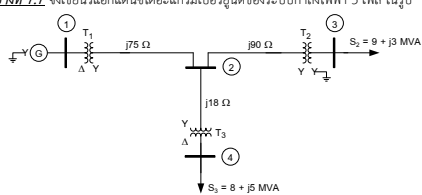
ตัวอย่างที่ 7.6 หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อขดลดแบบ Y/Y ขนาด 230/22 kV และ 20 MVA มีค่าเสถียรแอกแตนซ์ 12% ถ้าเลือกค่าฐานเป็นด้านแรงดันไฟฟ้าสูง จงหาค่าต่อไปนี้

- รีแอกแตนซ์เปอร์ยูนิตของหม้อแปลงไฟฟ้า
- Base impedance ที่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง
- Base impedance ที่ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ
- ค่ารีแอกแตนซ์ที่ย้ายค่ามายังด้านแรงดันไฟฟ้าสูง
- ค่ารีแอกแตนซ์ที่ย้ายค่ามายังด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ

วิธีทำ

10

ตัวอย่างที่ 7.7 จงเขียนรีแอกแตนซ์ไดอะแกรมเปอร์ยูนิตของระบบกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ในรูป

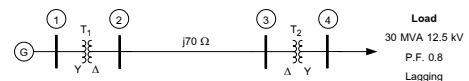


- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G : เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มีพิกัด 30 MVA, 15 kV, X = 17%
 หม้อแปลงไฟฟ้า T₁ : เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อขดลดแบบ Δ/Y มีพิกัด 50 MVA, 15/230 kV, X = 10%
 หม้อแปลงไฟฟ้า T₂ : เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อขดลดแบบ Y/Y มีพิกัด 15 MVA, 230/12.5 kV, X = 15%
 หม้อแปลงไฟฟ้า T₃ : เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อขดลดแบบ Δ/Y มีพิกัด 20 MVA, 230/22 kV, X = 15%

วิธีทำ

11

ตัวอย่างที่ 7.8 จงเขียนรีแอกแตนซ์ไดอะแกรมเปอร์ยูนิตของระบบกำลังไฟฟ้า 3 เฟส และหาแรงดันไฟฟ้าที่หัวปลายสายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย



- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G : เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มีพิกัด 40 MVA, 13.8 kV, X = 20%
 หม้อแปลงไฟฟ้า T₁ : เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อขดลดแบบ Y/Δ มีพิกัด 50 MVA, 13.5/115 kV, X = 10%
 หม้อแปลงไฟฟ้า T₂ : เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อขดลดแบบ Δ/Y มีพิกัด 50 MVA, 115/13.5 kV, X = 10%

วิธีทำ

12