

# แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลัง Power System Modeling

## เนื้อหา (Content)



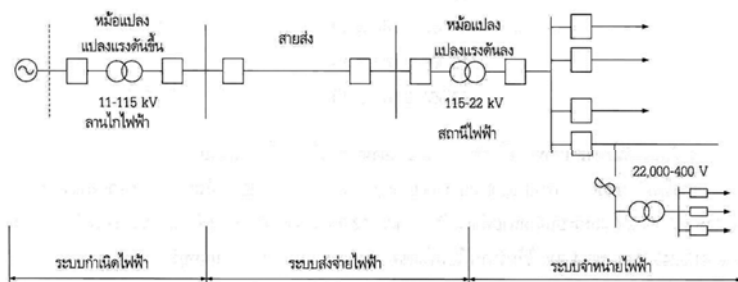
- สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง
- แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า
- การแทนระบบไฟฟ้ากำลังด้วยแผนภาพ
- ค่าต่อหน่วย (Per-Unit Values)
- การคำนวณระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อทำแผนภาพแบบต่างๆ



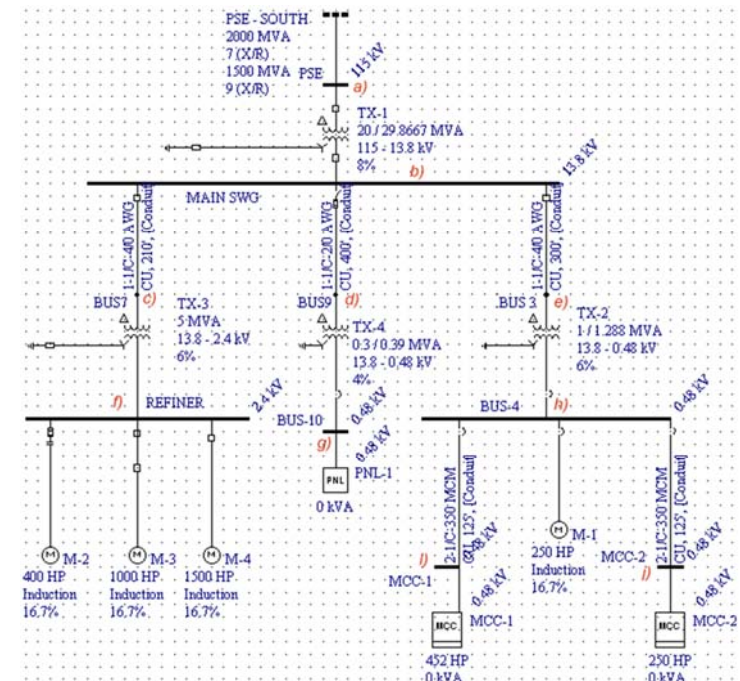
## แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง



- ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดสามารถเขียนวงจรไฟฟ้าแทนระบบดังกล่าวได้



Single Line Diagram 3



## สัญลักษณ์อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง



สัญลักษณ์	ความหมาย
	เครื่องจักรกลไฟฟ้า
	สายส่ง
	หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 2 ขดลวด
	หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 3 ขดลวด
	ระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบรวม ไม่ต่อลงดิน
	ระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบรวม ต่อลงดิน
	ระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบเดลต้า
	คาปาซิเตอร์

5

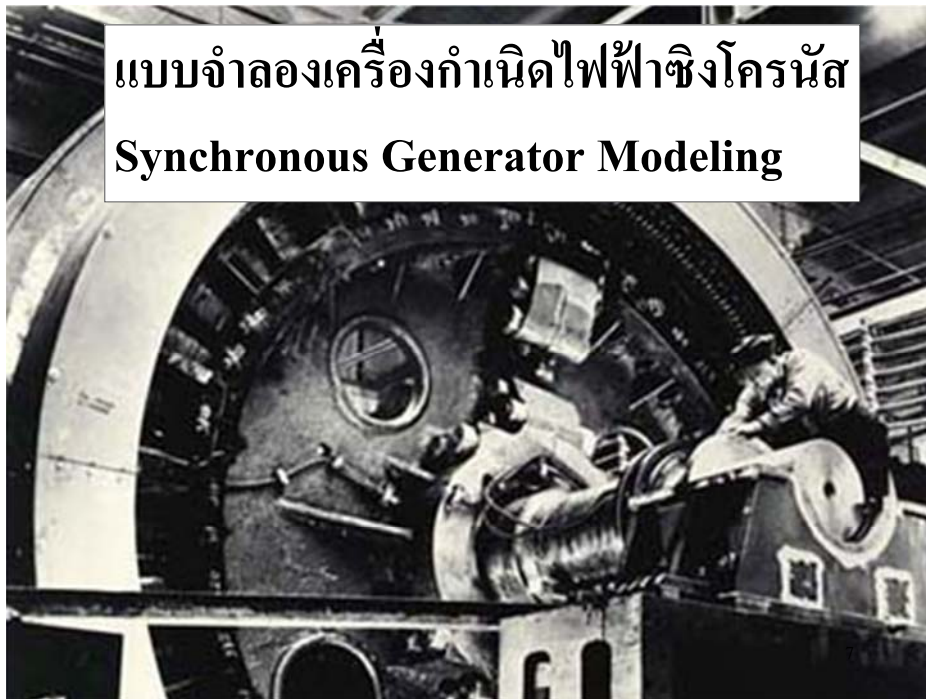
## สัญลักษณ์อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง



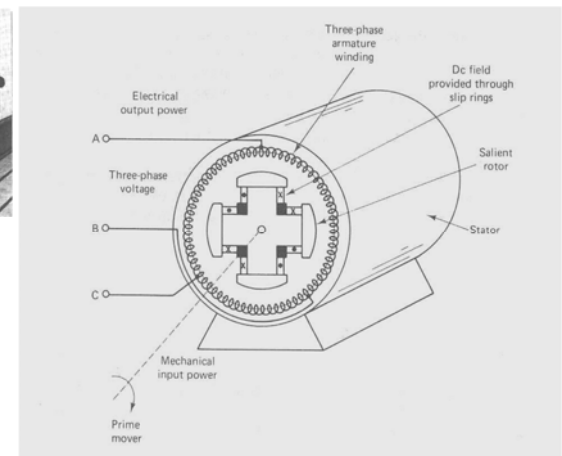
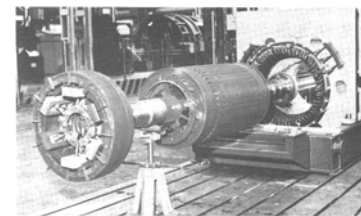
	เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอากาศ
	หม้อแปลงแรงดัน
	หม้อแปลงกระแส
	เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบน้ำมันหรือของเหลว
	เครื่องวัดกระแส
	เครื่องวัดแรงดัน
	บัส
	โหลดคงที่
	สวิตช์ตัดตอน
	สวิตช์ตัดตอนแบบมีฟิวส์

6

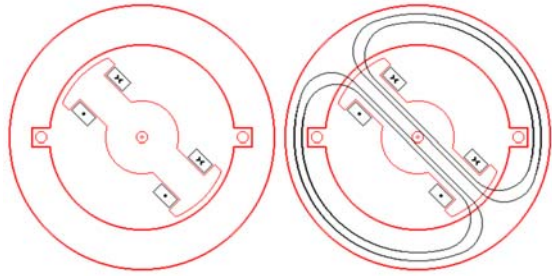
## แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส Synchronous Generator Modeling



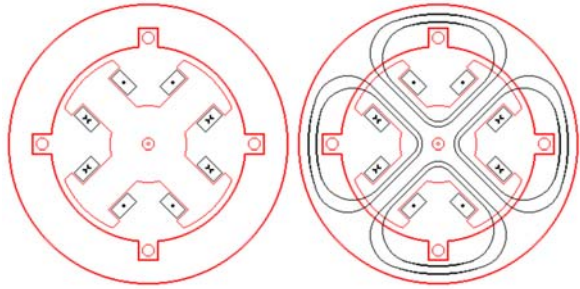
## เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator)



8



2 Pole



4 Pole

• ความถี่ (Frequency) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส จะมีความถี่เท่ากับ

$$f_e = \frac{n_m \times P}{120}$$

โดยที่  $f_e$  - Electrical Frequency (Hz)

$n_m$  - Speed of Roter (r/min)

$P$  - Number of poles

แรงดันไฟฟ้าภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส  
(The Internal Generated Voltage of Synchronous Generator)

• แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดอาร์เมเจอร์ (สเตเตอร์) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในส่วนโรเตอร์ (ขั้วแม่เหล็ก)

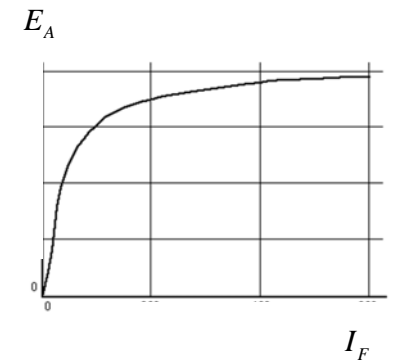
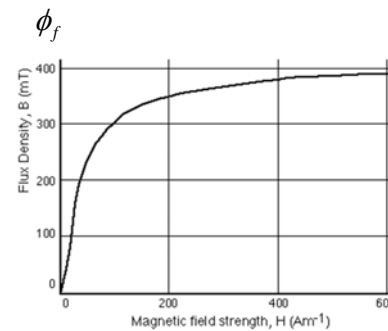
$$E_A = \sqrt{2}\pi \times N_c \times \phi_f \times f$$

โดยที่  $N_c$  - จำนวนรอบของขดลวดอาร์เมเจอร์

$f$  - ความถี่ (Hz)

$\phi_f$  - Air Gap Flux

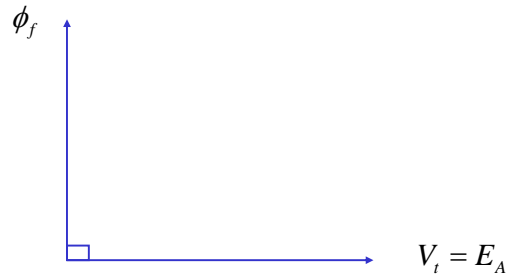
ผลจากการอิ่มตัวของแกนเหล็ก



Field Current

## กรณีไม่มีภาระ (No Load)

- ขนาดแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $V_t$ ) เท่ากับ แรงดันภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $E_A$ )
- แรงดันจะมีมุมเฟสตามหลัง  $\phi_f$  อยู่  $90^\circ$



13

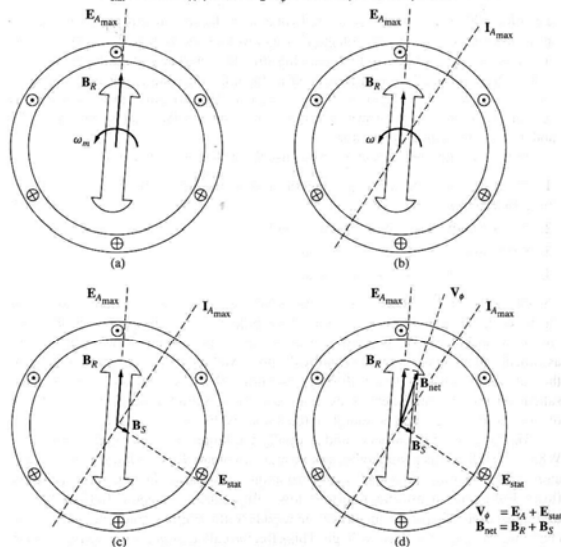
## กรณีมีภาระต่ออยู่ (ON Load)

- เกิดกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์
- ขนาดแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $V_t$ ) **ไม่เท่ากับ** แรงดันภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $E_A$ ) โดยมีสาเหตุดังนี้

1. เกิดฟลักซ์แม่เหล็กในขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กรวมผิดเพี้ยนไป (Armature Reaction)
2. เกิดจาก self inductance ภายในขดลวดอาร์เมเจอร์
3. เกิดจากความต้านทานภายในขดลวดอาร์เมเจอร์
4. เกิดจากรูปร่างของขั้วแม่เหล็ก (โรเตอร์)

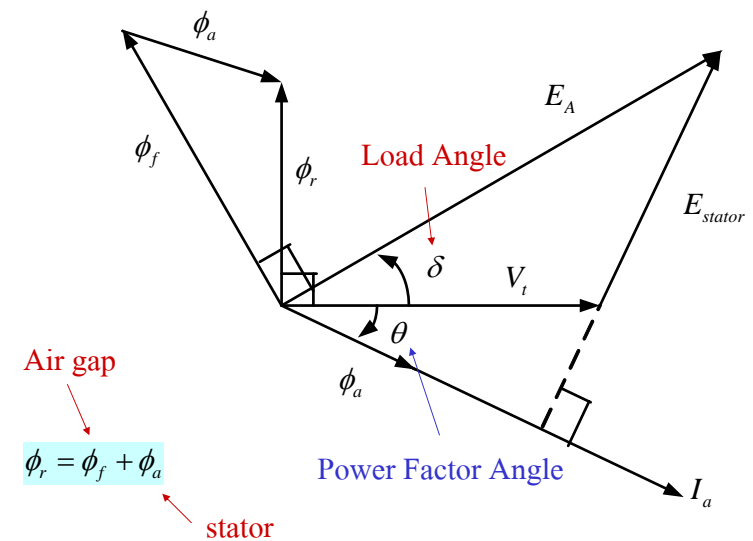
14

The development of a model for armature reaction: (a) A rotating magnetic field produces the internal generated voltage  $E_A$ . (b) The resulting voltage produces a lagging current flow when connected to a lagging load. (c) The stator current produces its own magnetic field  $B_S$ , which produces its own voltage  $E_{stat}$  in the stator windings of the machine. (d) The field  $B_S$  adds to  $B_R$ , distorting it into  $B_{net}$ . The voltage  $E_{stat}$  adds to  $E_A$ , producing  $V_g$  at the output of the phase.



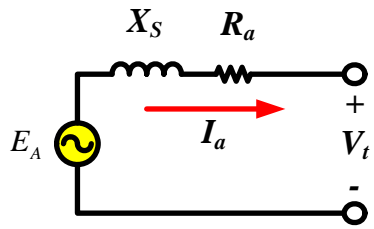
15

## Phasor Diagram of Synchronous Generator



16

สามารถเขียนเป็นแบบจำลอง ได้เป็น



$$V_t = E_A - E_{stator}$$

$$V_t = E_A - I_a (R_a + jX_s)$$

เมื่อ

$V_t$  คือ แรงดันที่ขั้ว (terminal voltage)

$E_A$  คือ แรงดันที่ผลิตขึ้น (generated voltage)

$X_S$  คือ ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ (synchronous reactance)

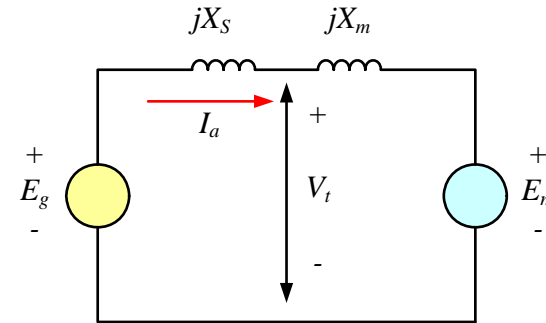
$R_a$  คือ ความต้านทานของอาร์มาเจอร์ (armature resistance)

$I_a$  คือ กระแสอาร์มาเจอร์ (armature current)

17

• เนื่องจากค่า  $X_S$  มีค่ามากกว่า  $R_a$  มาก  $\rightarrow$  ตัดค่า  $R_a$  ได้

$E_A$  เขียนแทนด้วย  $\rightarrow E_g$  กรณีเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
 $E_m$  กรณีเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

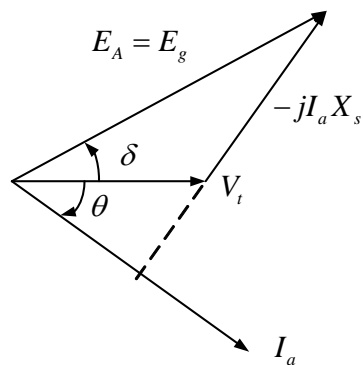


$$V_t = E_g - jI_a X_s$$

$$V_t = E_m + jI_a X_m$$

18

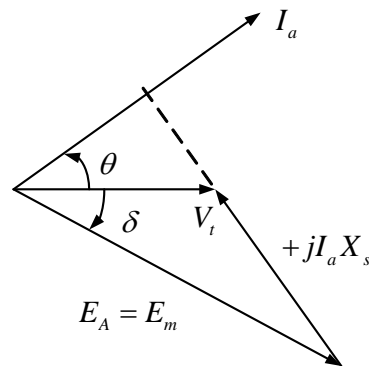
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



$$V_t = E_A - jI_a X_s$$

19

มอเตอร์ไฟฟ้า



$$V_t = E_A + jI_a X_s$$



แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง  
**Power Transformer Modeling**

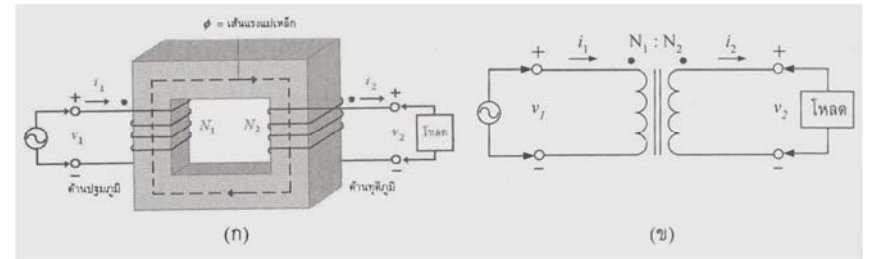
20

# แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

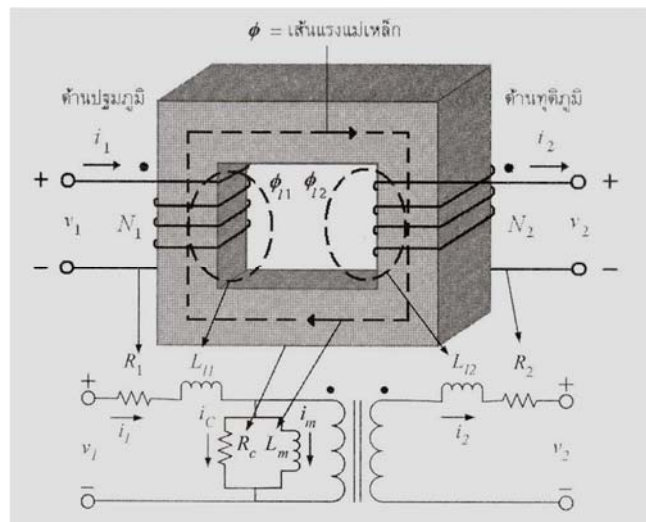


- หม้อแปลง 1 เฟส
- หม้อแปลง 3 เฟส

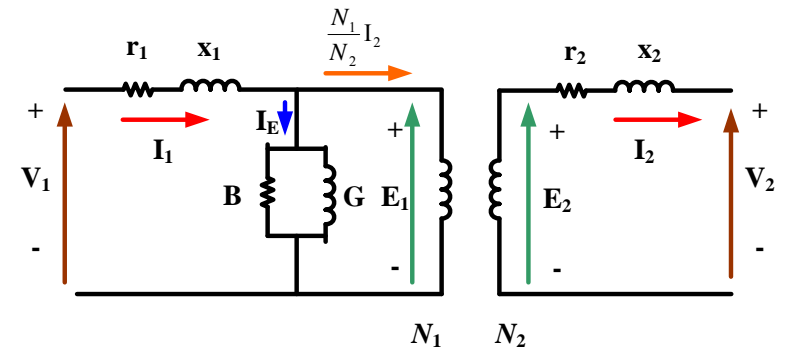
# แบบจำลองทางอุดมคติ (Ideal Model)



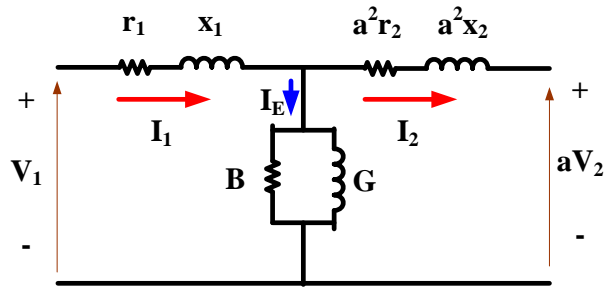
# แบบจำลองทางปฏิบัติ



# สามารถเขียนเป็นแบบจำลองได้เป็น



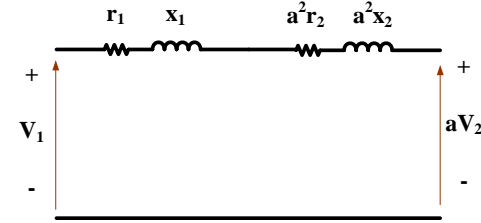
สามารถเขียนรวมวงจรได้เป็น



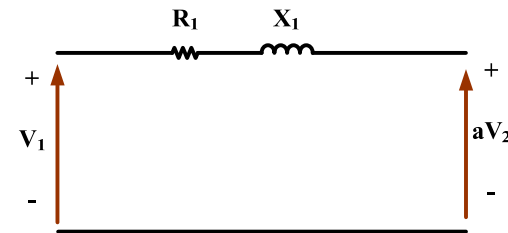
a คือ อัตราส่วนจำนวนรอบ =  $\frac{N_1}{N_2}$

$I_E$  คือ กระแสสร้างอำนาจแม่เหล็ก (Magnetizing Current)

ปกติ กระแสสร้างอำนาจแม่เหล็กมีค่าน้อยมาก สามารถขুবวงจรเป็น



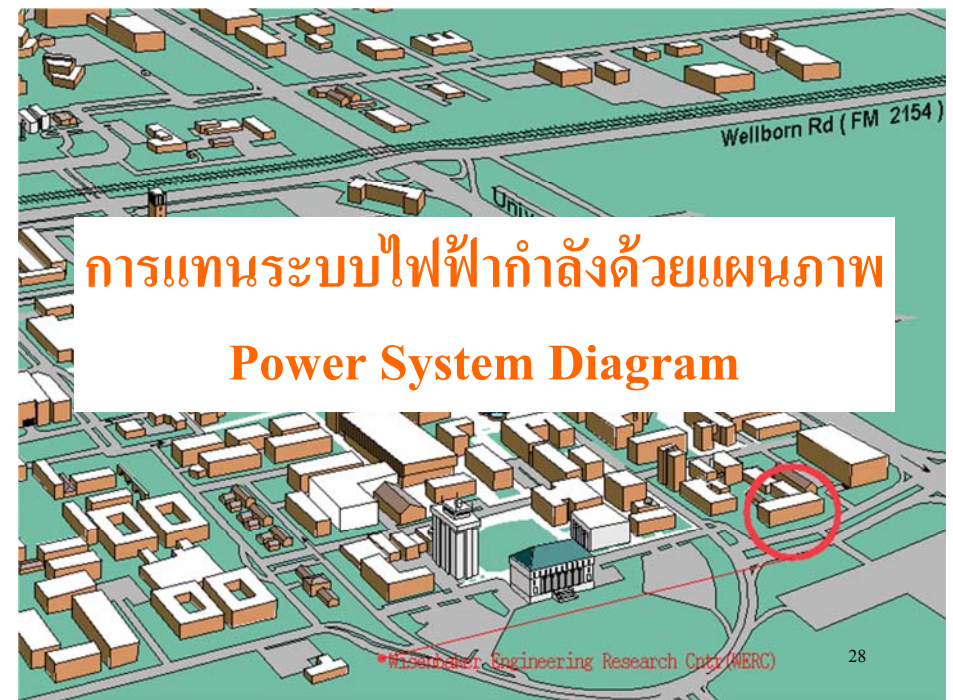
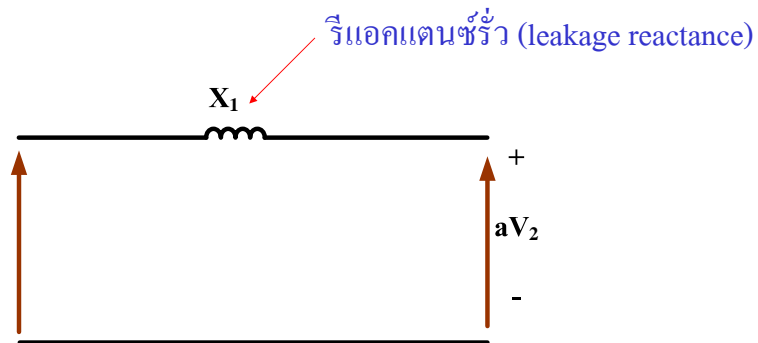
ขুবวงจรได้เป็น



$$R_1 = r_1 + a^2 r_2$$

$$X_1 = x_1 + a^2 x_2$$

เนื่องจากค่า  $X_1$  มีค่ามากกว่า  $R_1$  เป็นจำนวนมาก  $\rightarrow$  ตัด  $R_1$  ได้



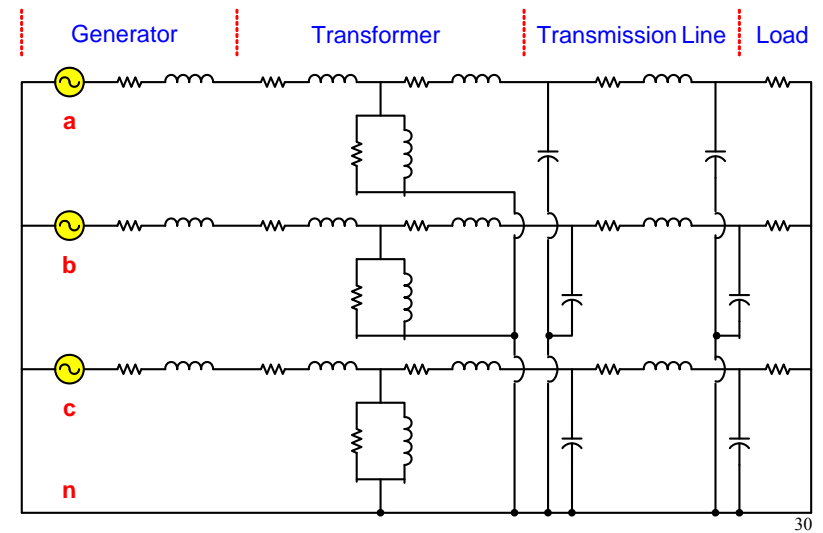
## การแทนระบบไฟฟ้ากำลังด้วยแผนภาพ (Diagram)

- ระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ 4 แบบ คือ
  1. แผนภาพแสดงด้วยวงจรสามเฟส (Three – Phase Diagram)
  2. แผนภาพแสดงด้วยเส้นเดียว (Single Line Diagram)
  3. แผนภาพแสดงด้วยอิมพีแดนซ์ (Impedance Diagram)
  4. แผนภาพแสดงด้วยค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance Diagram)



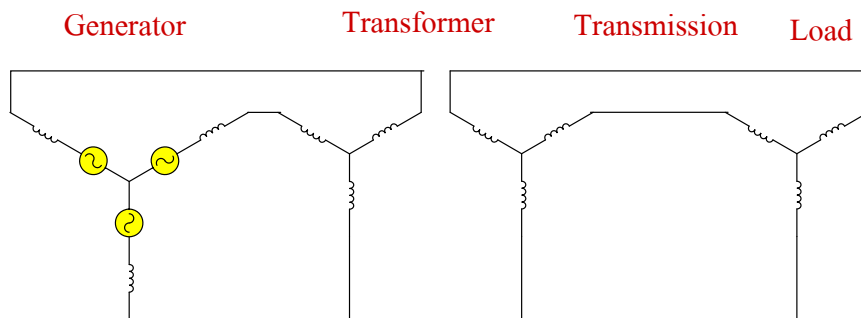
29

## แผนภาพแสดงด้วยวงจร 3 เฟส (Three – Phase Diagram)



30

## แผนภาพแสดงด้วยวงจร 3 เฟส (Three – Phase Diagram)



31

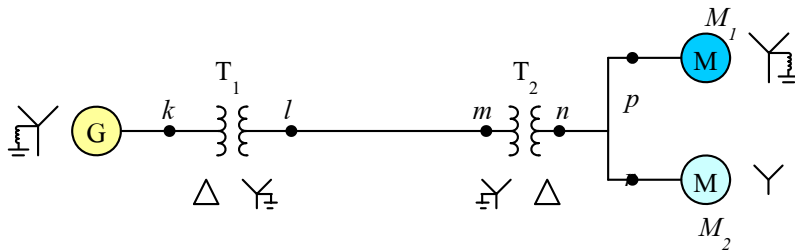
## แผนภาพแสดงด้วยวงจร 3 เฟส (Three – Phase Diagram)

- ใช้ค่าทางไฟฟ้าของสายส่ง
- ดูการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งสามเฟส
- ชับซ้อนเกินความจำเป็นในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป

32



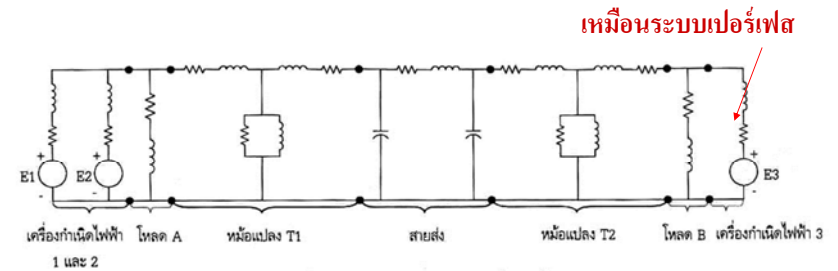
## แผนภาพแสดงด้วยเส้นเดียว (Single Line Diagram)



- ใช้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังต่อกันอย่างไรในระบบ
- ลดความซับซ้อนของจำนวนเส้นลง

33

## แผนภาพแสดงด้วยอิมพีแดนซ์ (Impedance Diagram)

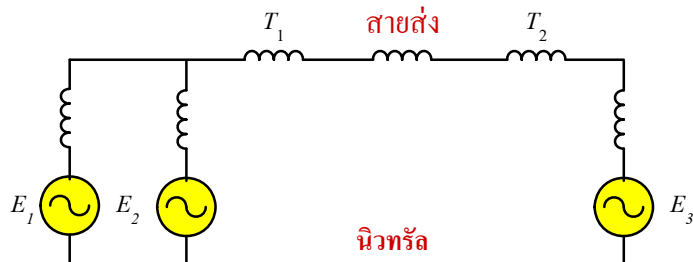


- ประกอบด้วย ค่าความต้านทาน ( $R$ ), รีแอกแตนซ์ชนิดเหนี่ยวนำ ( $X_L$ ) และ รีแอกแตนซ์ชนิดความจุ ( $X_C$ )
- เขียนพารามิเตอร์ให้ตรงตามแผนภาพแสดงด้วยเส้นเดียว

34

## แผนภาพแสดงด้วยรีแอกแตนซ์ (Reactance Diagram)

- ใช้ในการคำนวณ กระแสลัดวงจร (Fault Calculation)
- ไม่เหมาะสำหรับการศึกษา การไหลกำลังไฟฟ้า (Load Flow)
- สามารถตัดค่าความต้านทาน, กระแส magnetizing ของหม้อแปลง และ ค่ารีแอกแตนซ์ชนิดความจุของสายส่งออกได้



35

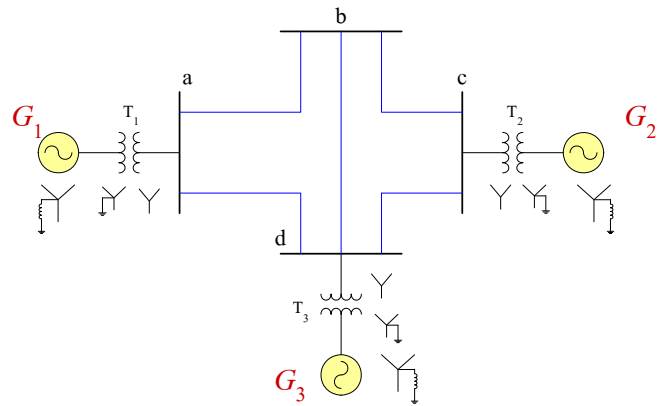
## เหตุผลในการไม่พิจารณาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว

- ความต้านทาน — มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่ารีแอกแตนซ์รวมของทั้งระบบ
- โหลดคงที่ และ คาปาซิเตอร์ — ในขณะที่ลัดวงจร กระแสส่วนนี้จะมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับกระแสรวมของสาย (total line current)
- ชั้นดีแอกติแวนซ์ในหม้อแปลง — กระแสกระตุ้นจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสโหลดเต็มพิกัด (full load current)

36

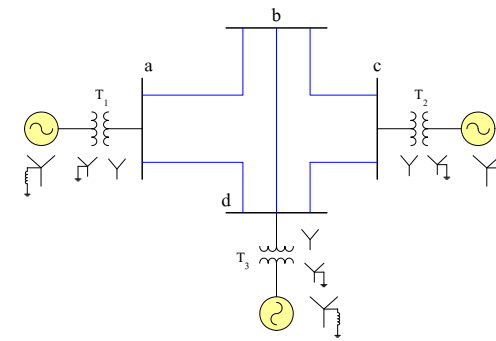
# ตัวอย่างที่ 1

จงเขียนแผนภาพรีแอกแตนซ์ จากแผนภาพเส้นเดียวที่กำหนดให้

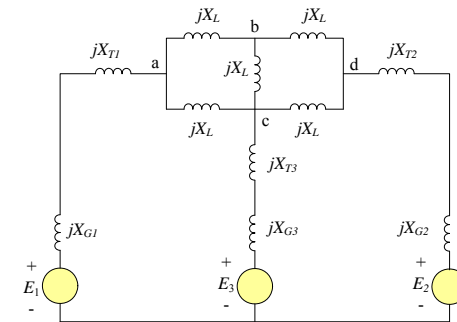


แผนภาพรีแอกแตนซ์ → คัดเฉพาะค่ารีแอกแตนซ์ของอุปกรณ์เท่านั้น

จาก



จะได้



## การวิเคราะห์ระบบต่อหน่วย (Per Unit System)



## ระบบต่อหน่วย หรือ เปอร์ยูนิต (Per Unit System)

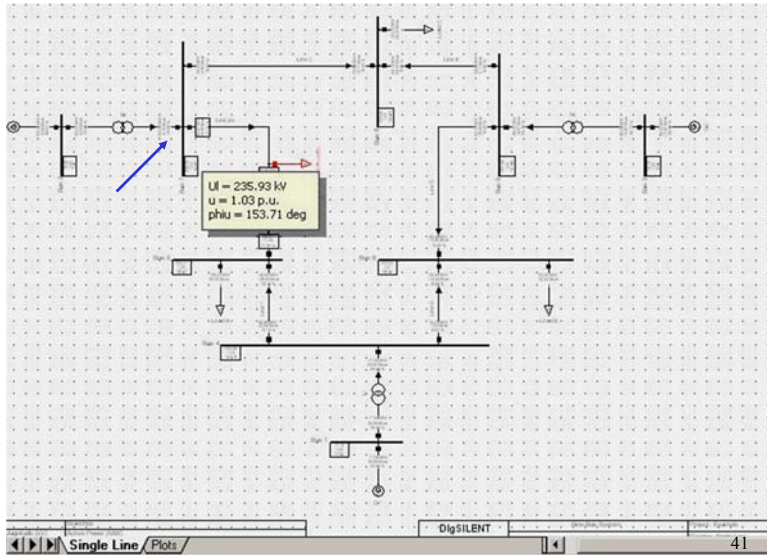


เปอร์ยูนิต คือ

$$\frac{\text{ปริมาณแท้จริง (Actual Quantity)}}{\text{ปริมาณฐานอ้างอิง (Reference Base Quantity)}}$$

- เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย
- ทำให้คำนวณได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วและถูกต้อง
- นำมาใช้คำนวณหาค่า กระแสและแรงดันลัดวงจร และโหลด โพลว์ ได้

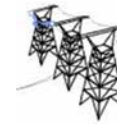
## ค่าต่อหน่วยในการคำนวณ Load Flow



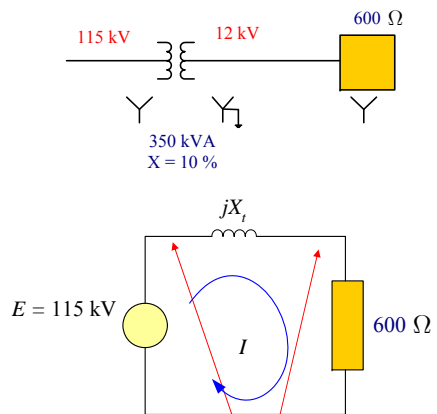
## ปริมาณทางไฟฟ้ากำลัง ที่ต้องทำเป็นค่าเปอร์ยูนิต



1. ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance,  $Z$ )
2. ค่าแรงดัน (Voltage,  $V$ )
3. ค่ากระแส (Current,  $I$ )
4. กำลังไฟฟ้า (Power,  $P, Q, S$ )



## ลักษณะการใช้ปริมาณเปอร์ยูนิต



$$I \neq \frac{E}{jX_t + 600} \quad [A]$$

แรงดันคนละระดับ เนื่องจากต่อหม้อแปลงไฟฟ้า → ต้องแปลงค่าให้อยู่ในฐานเดียวกันก่อน

## ปริมาณแท้จริง, ค่าแท้จริง (actual value, actual quantity)

- ค่าซึ่งวัดได้ หรือ คำนวณได้จากคุณสมบัติของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง
- มักจะนามากับรายละเอียด (specification) หรือ แผ่นป้าย (name plate) ของอุปกรณ์นั้นๆ



## ปริมาณฐาน / ค่าฐาน (base value, base quantity)

- ค่าที่กำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์เพื่อนำค่าแท้จริงมาเปรียบเทียบ
- มักกำหนดจากพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งในระบบ
- โดยมากมักจะกำหนดจาก **พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Rating)**

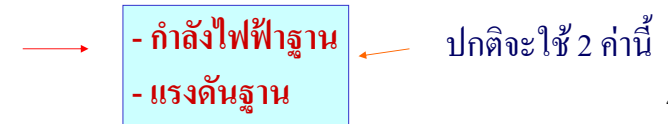
45

## ปริมาณฐานในทางไฟฟ้ากำลัง (Power System base quantity)

มีอยู่ 4 ปริมาณ คือ

1. แรงดันฐาน (base voltage, V, kV)
2. กระแสฐาน (base current, A)
3. อิมพีแดนซ์ฐาน (base impedance, Ohm)
4. กำลังไฟฟ้าฐาน (base power, kVA, MVA)

• ปกติจะเลือกใช้ค่าฐาน 2 ตัว แล้วเอาความสัมพันธ์ทางไฟฟ้ามาหาค่าที่เหลือ



46

## การหาปริมาณค่าฐานต่างๆ

กำหนดให้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีค่าต่างๆ ดังนี้

- ค่าแรงดันพิกัด 1 เฟส เป็น  $V_{LN}$
- ค่ากำลังไฟฟ้าพิกัด 1 เฟส เป็น  $VA_{1p}$

จะได้ ปริมาณฐาน (base quantity) เป็น

$V_{LN}$  - แรงดันฐาน ระหว่างสายกับสายนิวทรัล [V]

$VA_{1p}$  - กำลังไฟฟ้าฐานใน 1 เฟส [VA]

47

## กรณีระบบไฟฟ้า 1 เฟส ( 1 Phase System)

### กระแสฐาน (Base Current)

จาก

$$I = \frac{S}{V}$$

$$\text{กระแสฐาน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าฐาน}}{\text{แรงดันฐาน}} = \frac{VA_{1p}}{V_{LN}}$$

48

## กรณีระบบไฟฟ้า 1 เฟส ( 1 Phase System)

### อิมพีแดนซ์ฐาน (Base Impedance)

จาก  $Z = \frac{V}{I}$

$$\text{อิมพีแดนซ์ฐาน} = \frac{\text{แรงดันฐาน}}{\text{กระแสฐาน}} = \frac{V_{LN}}{I}$$

จาก  $I = \frac{S}{V} = \frac{VA_{1P}}{V_{LN}}$  ค่าอิมพีแดนซ์ฐาน สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{อิมพีแดนซ์ฐาน} &= \frac{V_{LN}}{I} = \frac{V_{LN}}{\left(\frac{VA_{1P}}{V_{LN}}\right)} \\ &= \frac{(V_{LN})^2}{VA_{1P}} \end{aligned}$$

- กรณี Base Voltage** มีหน่วยเป็น กิโลโวลท์ ( $kV_{LN}$ )
- Base Power** มีหน่วยเป็น เมกะโวลท์.แอมป์ ( $MVA_{1P}$ )

$$\begin{aligned} \text{อิมพีแดนซ์ฐาน} &= \frac{(V_{LN})^2}{VA_{1P}} = \frac{(kV_{LN})^2}{MVA_{1P}} \\ \text{(Base Impedance)} & \end{aligned}$$

## กรณีระบบไฟฟ้า 3 เฟส ( 3 Phase System)

- กำหนดให้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีค่าต่างๆ ดังนี้
- แรงดันฐาน 3 เฟส  $\rightarrow$  แรงดันระหว่างสาย ( $V_{LL}$ )
- กำลังไฟฟ้าฐาน 3 เฟส  $\rightarrow$  กำลังไฟฟ้า 3 เฟส ( $VA_{3p}$ )

$$\text{แรงดันฐาน 1 เฟส, } V_{LN} = \frac{(\text{แรงดันฐาน, } V_{LL})}{\sqrt{3}}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าฐาน 1 เฟส, } VA_{1p} = \frac{(\text{กำลังไฟฟ้าฐาน, } VA_{3p})}{3}$$

## กรณีระบบไฟฟ้า 3 เฟส ( 3 Phase System)

### ค่ากระแสฐาน (Base Current)

จาก  $S = \sqrt{3}VI \longrightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$

$$\text{กระแสฐาน (Base Current)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าฐาน } VA_{3p}}{\sqrt{3} \times \text{แรงดันฐาน } V_{LL}}$$

53

## กรณีระบบไฟฟ้า 3 เฟส ( 3 Phase System)

### ค่าอิมพีแดนซ์ฐาน (Base Impedance)

จาก  $Z = \frac{(V/\sqrt{3})^2}{(VA/3)}$

$$\text{อิมพีแดนซ์ฐาน (Base Impedance)} = \frac{(\text{แรงดันฐาน } V_{LL})^2}{\text{กำลังไฟฟ้าฐาน } VA_{3p}}$$

54

## สรุป

- ค่าต่อหน่วยของ  $V_{LN}$  ที่เทียบกับค่าแรงดันฐาน  $V_{LN}$  ย่อมเท่ากับ ค่าต่อหน่วยของ  $V_{LL}$  ที่เทียบกับค่าแรงดันฐาน  $V_{LL}$
- ค่าต่อหน่วยของ  $VA_{1p}$  ที่เทียบกับค่า กำลังไฟฟ้าฐาน  $VA_{1p}$  ย่อมเท่ากับ ค่าต่อหน่วยของ  $VA_{3p}$  ที่เทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าฐาน  $VA_{3p}$

### ปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง

- แรงดันที่บอก คือ แรงดันระหว่างสาย
- กำลังไฟฟ้าที่บอก คือ กำลังไฟฟ้า 3 เฟส

55

## พิสูจน์

**กำหนด** กำลังไฟฟ้าฐาน,  $kVA_{3p} = 60,000$  kVA  
แรงดันฐาน,  $kV_{LL} = 230$  kV

### คิดในระบบ 1 เฟส จะได้

$$\text{กำลังไฟฟ้าฐาน, } kVA_{1p} = \frac{60,000}{3} \text{ kVA} = 20,000 \text{ kVA}$$

$$\text{แรงดันฐาน, } kV_{LN} = \frac{230}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 132.8 \text{ kV}$$

56

กำหนด ค่าแท้จริง,  $kV_{LL} = 115 \text{ kV}$

จะได้ ค่าแท้จริง,  $kV_{LN} = \frac{115}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 66.4 \text{ kV}$

$$\text{ค่าต่อหน่วย, } kV_{LL} = \frac{\text{ค่าแท้จริง, } kV_{LL}}{\text{แรงดันฐาน, } kV_{LL}} = \frac{115}{230} = 0.5$$

$$\text{ค่าต่อหน่วย, } kV_{LN} = \frac{\text{ค่าแท้จริง, } kV_{LN}}{\text{แรงดันฐาน, } kV_{LN}} = \frac{66.4}{132.8} = 0.5$$

57

กำหนด ค่าแท้จริง,  $kVA_{3p} = 15,000 \text{ kVA}$

จะได้ ค่าแท้จริง,  $kVA_{1p} = \frac{15,000}{3} = 5,000 \text{ kVA}$

$$\text{ค่าต่อหน่วย, } kVA_{3p} = \frac{\text{ค่าแท้จริง, } kVA_{3p}}{\text{กำลังไฟฟ้าฐาน, } kVA_{3p}} = \frac{15,000}{60,000} = 0.25$$

$$\text{ค่าต่อหน่วย, } kVA_{1p} = \frac{\text{ค่าแท้จริง, } kVA_{1p}}{\text{กำลังไฟฟ้าฐาน, } kVA_{1p}} = \frac{5,000}{20,000} = 0.25$$

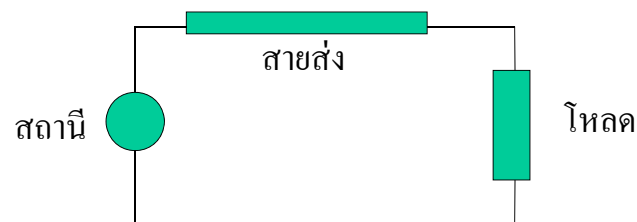
58

## ตัวอย่างที่ 2

ระบบเป็นวงจร 3 เฟส ต่อโหลดแบบ Y ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์

- มีแรงดันคร่อมโหลดเป็น 2.4 kV (line-line)
- โหลดแต่ละเฟส มีอิมพีแดนซ์ เป็น  $10 \angle 60^\circ \ \Omega$
- มีอิมพีแดนซ์จากสถานีไฟฟ้าถึงโหลดเป็น  $Z_L = 1.2 \angle 80^\circ$

จงคำนวณหาแรงดันระหว่างสายที่สถานีไฟฟ้า (ค่าจริง, ค่า p.u.)



59

## วิธีที่ 1. คำนวณโดยใช้ค่าแท้จริง

- แรงดันเฟสที่โหลด

$$V_{R,p} = \frac{V_{R,l}}{\sqrt{3}} = \frac{2400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 1385.7 \angle 0^\circ \text{ V}$$

- กระแสเฟสที่โหลด

$$I_{an} = \frac{V_{R,p}}{Z_R} = \frac{1,385.7 \angle 0^\circ}{10 \angle 60^\circ} = 138.57 \angle -60^\circ \text{ A}$$

60

• จาก KCL จะได้แรงดันเฟสที่สถานีไฟฟ้า  $V_{s,p}$  เป็น

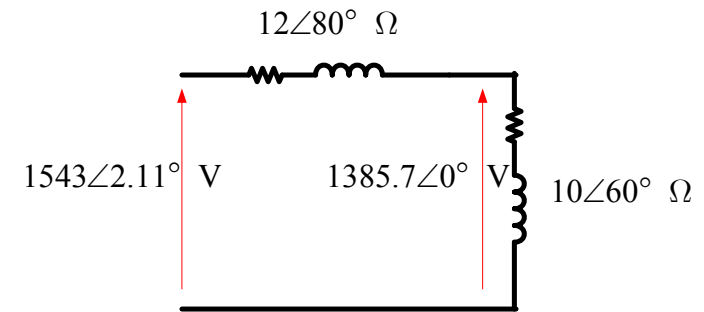
$$\begin{aligned} V_{s,p} &= V_{R,p} + I_{an} Z_R \\ &= 1385.7 \angle 0^\circ + (138.57 \angle -60^\circ \times 1.2 \angle 85^\circ) \\ &= 1,543 \angle 2.11^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

• ขนาดแรงดันระหว่างสาย (line-line) ที่สถานีไฟฟ้าเป็น

$$\begin{aligned} V_{s,l} &= \sqrt{3} \times 1,543 \\ &= 2,672 \text{ V} = 2.672 \text{ kV} \end{aligned}$$

61

จะรู้ปวงจร 1 เฟส ของระบบ (per phase circuit) เป็น



62

### วิธีที่ 2. คำนวณโดยใช้ค่าต่อหน่วย (per unit)

กำหนด	แรงดันฐาน ( $kV_{LL}$ )	มีค่า	2.4	kV
	กระแสฐาน	มีค่า	138.57	A

\*\* ใช้กระแสฐาน เนื่องจาก ค่า  $kVA$  ไม่เกี่ยวข้องในการคำนวณ

จะได้

$$\text{ค่าอิมพีแดนซ์ฐาน} = \frac{\text{แรงดันฐาน } kV_{LN}}{\text{กระแสฐาน}}$$

$$= \frac{2,400/\sqrt{3}}{138.57} = 10 \Omega$$

63

### สามารถหาค่าต่อหน่วยได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bullet \text{ ค่าต่อหน่วยของอิมพีแดนซ์} \\ (Z_R) &= \frac{1.2 \angle 80^\circ}{10} = 0.12 \angle 80^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ ค่าต่อหน่วยของ } V_{R,p} &= \frac{2,400/\sqrt{3} \angle 0^\circ}{2,400/\sqrt{3}} = 1.0 \angle 0^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ ค่าต่อหน่วยของ } I_{an} &= \frac{138.57 \angle -60^\circ}{138.57} = 1.0 \angle -60^\circ \end{aligned}$$

64



• แรงดันต่อหน่วยที่สถานีไฟฟ้าเป็น

$$V_{S,p} = V_{R,p} + I_{an} Z_R$$

$$= 1.0 \angle 0^\circ + (1.0 \angle -60^\circ \times 0.12 \angle 80^\circ)$$

$$= 1.1135 \angle 2.11^\circ$$

• ค่าแรงดันแท้จริง (True Value) ที่สถานีไฟฟ้าเป็น

$$= \text{ค่าต่อหน่วย (p.u.)} \times \text{ค่าฐาน (base value)}$$

$$= 1.1135 \times 2.4 \text{ kV}$$

$$= 2.672 \text{ kV} \quad [\text{แรงดันระหว่างสาย}]$$

65

ค่าต่อหน่วยที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าฐาน

- การคำนวณระบบไฟฟ้ากำลัง บางทีจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงค่าฐานของอุปกรณ์
- ค่าฐานที่เปลี่ยนไป  $\rightarrow$  ค่าต่อหน่วยเดิมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

จาก

$$\text{Per - Unit Impedance} \rightarrow \text{p.u. } Z$$

จะได้

$$\text{p.u. } Z = \frac{\text{อิมพีแดนซ์แท้จริง}}{\text{อิมพีแดนซ์ฐาน}}$$

$$= \frac{(\text{อิมพีแดนซ์แท้จริง}) \times (\text{กำลังไฟฟ้าฐาน})}{(\text{แรงดันฐาน})^2}$$

66

จาก

$$\text{p.u. } Z = \frac{(\text{actual impedance, } \Omega) \times \text{base MVA}}{(\text{base kV})^2}$$

ค่าเดิม

$$\text{p.u. } Z_{\text{given}} = \frac{(\text{actual } Z, \Omega)(\text{base MVA}_{\text{given}})}{(\text{base kV}_{\text{given}})^2}$$

ค่าใหม่

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \frac{(\text{actual } Z, \Omega)(\text{base MVA}_{\text{new}})}{(\text{base kV}_{\text{new}})^2}$$

สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \text{p.u. } Z_{\text{given}} \left[ \frac{\text{base kV}_{\text{given}}}{\text{base kV}_{\text{new}}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base MVA}_{\text{new}}}{\text{base MVA}_{\text{given}}} \right]$$

67

ตัวอย่างที่ 3

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีค่าซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ (Synchronous Reactance),  $X_S = 0.2 \text{ p.u.}$  ซึ่งเทียบจากค่าฐานตามแผ่นป้าย (name plate) ของเครื่อง คือ 13.8 kV, 100 MVA

ถ้าหากกำหนดให้ใช้ค่าฐานใหม่เป็น **15 kV, 300 MVA**

- จงหาค่า  $X_S$  ที่ค่าฐานใหม่

68

ค่า  $X_s$  ที่แท้จริง มีค่า

$$\begin{aligned} X_s &= (\text{p.u.}) \times (\text{base impedance}) \\ &= 0.2 \times \left( \frac{13.8}{100} \right)^2 = 0.38088 \quad \Omega \end{aligned}$$

ค่า base impedance ใหม่  $= \frac{15^2}{300} = 0.75 \quad \Omega$

ค่า  $X_s$  ที่ค่าฐานใหม่ มีค่าเป็น

$$\text{p.u. } X_s = \frac{0.38088 \quad \Omega}{0.75 \quad \Omega} = 0.5078 \quad \text{p.u.}$$

69

สามารถหาค่า  $X_s$  ที่ค่าฐานใหม่ได้จาก

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \text{p.u. } Z_{\text{given}} \left[ \frac{\text{base kV}_{\text{given}}}{\text{base kV}_{\text{new}}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base MVA}_{\text{new}}}{\text{base MVA}_{\text{given}}} \right]$$

จะได้

$$\begin{aligned} X_s &= 0.2 \times \left( \frac{13.8}{15} \right)^2 \times \left( \frac{300}{100} \right) \\ &= 0.5078 \quad \text{p.u.} \end{aligned}$$

70

### ค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วย ในวงจรหม้อแปลง 1 เฟส

- ค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วย ขึ้นอยู่กับ วัตทางด้านแรงสูง (HV) หรือแรงต่ำของหม้อแปลง (LV)

ถ้า base kV เป็น **ด้านแรงสูง** → อิมพีแดนซ์จะอ้างอิง **ด้านแรงสูง**

ถ้า base kV เป็น **ด้านแรงต่ำ** → อิมพีแดนซ์จะอ้างอิง **ด้านแรงต่ำ**

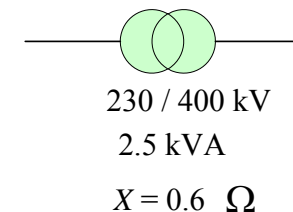
**\*\* ค่า base MVA ก็คือค่าขนาดพิกัด MVA ของหม้อแปลง**

71

### ตัวอย่างที่ 4

หม้อแปลง 1 เฟส พิกัด 230/400 V 2.5 kVA ค่ารีแอกแตนซ์รั่ว (leakage reactance) วัตทางด้านแรงต่ำ (LV) มีค่าเท่ากับ 0.6 โอห์ม

**จงแสดง** ค่ารีแอกแตนซ์รั่ว เป็นค่าต่อหน่วย (per unit)



72

เนื่องจากค่าจริงที่วัดได้ มาจากด้านแรงต่ำ → พิจารณาที่แรงต่ำ

• พิจารณาที่แรงต่ำ (LV) จะได้

$$\text{Base impedance ด้านแรงต่ำ (Base Z, LV)} = \frac{(230)^2}{2.5 \times 10^3} = 21.16 \ \Omega$$

จะได้

$$\text{p.u. } X = \frac{\text{True Z, LV}}{\text{Base Z, LV}} = \frac{0.6}{21.16} = 0.028$$

73

• เมื่อพิจารณาจากด้านแรงสูง จะได้

ค่ารีแอกแตนซ์รั่ว เมื่อวัดทางด้านแรงสูง หาจาก

$$X_{HV} = X_{LV} \times \left( \frac{V_{HV}}{V_{LV}} \right)^2 = 0.6 \times \left( \frac{400}{230} \right)^2 = 1.81 \ \Omega$$

จาก  $\frac{I_{LV}}{I_{HV}} = \frac{V_{HV}}{V_{LV}}$  จะได้

$$\frac{X_{HV}}{X_{LV}} = \frac{V_{HV}}{V_{LV}} \times \frac{V_{HV}}{V_{LV}}$$

74

• พิจารณาที่แรงสูง จะได้

$$\text{Base impedance ด้านแรงสูง (Base Z, HV)} = \frac{(100)^2}{2.5 \times 10^3} = 64.0 \ \Omega$$

จะได้

$$\text{p.u. } X = \frac{\text{True Z, LV}}{\text{Base Z, LV}} = \frac{1.81}{64.0} = 0.028$$

สรุป ไม่ว่าด้านแรงดันต่ำ หรือ ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า ค่ารีแอกแตนซ์ต่อหน่วย (p.u.) ย่อมเท่ากัน

75

ค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วย ในวงจรหม้อแปลง 3 เฟส

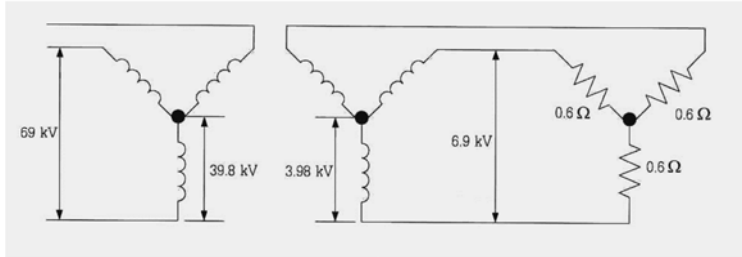
- หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว 3 ตัว มาต่อกัน
- สามารถต่อเป็นรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้

1. Y - Y
2. Y - Δ
3. Δ - Y
4. Δ - Δ

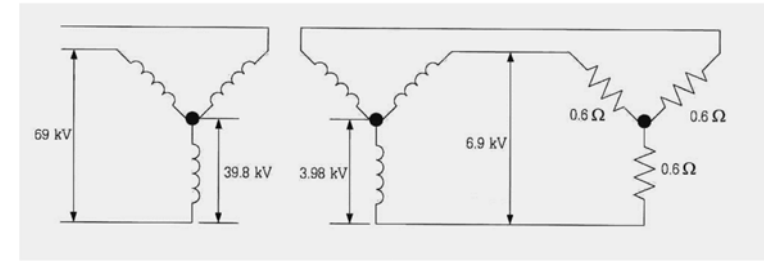
76

## กรณีหม้อแปลงต่อแบบ Y - Y

หม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว พิกัด 25 MVA, 39.8/3.98 kV นำมาต่อเป็นหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Y-Y ได้เป็น



- พิกัดของหม้อแปลง 3 เฟส =  $3 \times 25 = 75$  MVA
- แรงดันระหว่างสาย =  $\frac{\sqrt{3} \times 39.8}{\sqrt{3} \times 3.98} = \frac{69}{6.9}$  kV



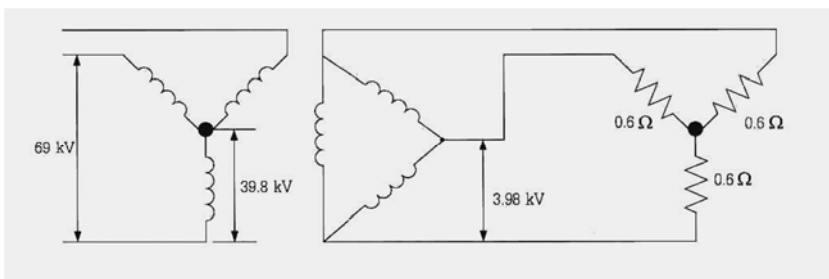
ต่อโหลดด้านแรงต่ำ แต่สามารถคิดค่าอิมพีแดนซ์แต่ละเฟสที่ด้านแรงสูงได้

$$MVA_{LV} = MVA_{HV} \rightarrow \frac{(kV_{LV})^2}{Z_{LV}} = \frac{(kV_{HV})^2}{Z_{HV}}$$

$$Z_{H.V} = 0.6 \Omega \left( \frac{39.8 \text{ kV}}{3.98 \text{ kV}} \right)^2 = 0.6 \left( \frac{69}{6.9} \right)^2 = 60 \Omega$$

78

## กรณีหม้อแปลงต่อแบบ Y - Δ

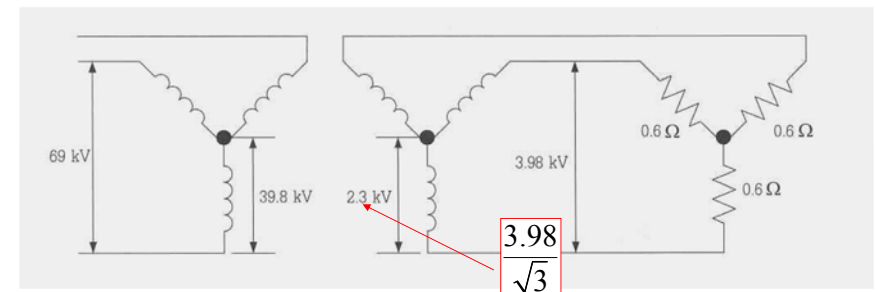


สามารถคิดค่าอิมพีแดนซ์แต่ละเฟสที่ด้านแรงสูง (HV) ได้

$$Z_{H.V} = 0.6 \left( \frac{69}{3.98} \right)^2 = 180 \Omega$$

79

ถ้าไม่คิดผลของมุมเฟสที่เปลี่ยนไป สามารถเขียนการต่อ Y-Δ ให้อยู่ในรูป Y-Y ได้เป็น



สามารถคิดค่าอิมพีแดนซ์แต่ละเฟสที่ด้านแรงสูงได้

$$Z_{H.V} = 0.6 \left( \frac{39.8}{2.3} \right)^2 = 180 \Omega$$

80

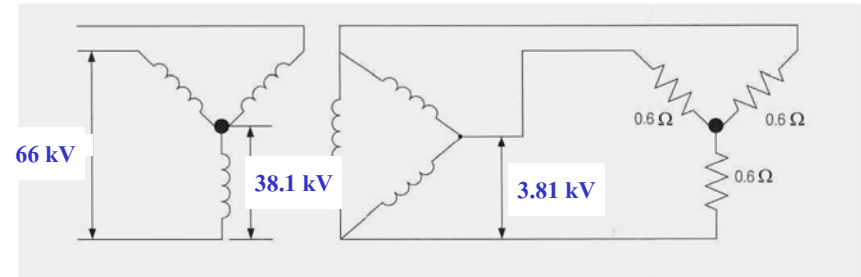
## ตัวอย่างที่ 5

หม้อแปลงเฟสเดียว พิกัด 25 MVA, 38.1/3.81 kV จำนวน 3 ตัว นำมา  
 ต่อเป็นแบบ 3 เฟส แบบ Y - Δ ให้ใช้ค่าฐาน 50 MVA, 69 kV ด้าน  
 แรงสูง จงหา

1. ค่าต่อหน่วยของภาระไฟฟ้า ( $R_L$ ) ขนาด 0.6 ohm โดยใช้ค่า  
 ฐานด้านแรงดันต่ำ
2. ค่า  $R_L$  เมื่อย้ายมาด้านแรงสูง พร้อมหาค่าต่อหน่วย (p.u.)  
 ของ  $R_L$  ด้านแรงสูง

81

แบบ Y - Δ 31.8 / 3.81 kV - ด้านแรงสูง เป็น **แรงดันเฟส**  
 - ด้านแรงต่ำ เป็น **แรงดันระหว่างสาย**



อัตราส่วนแรงดัน คือ  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{66}{3.81}$

82

กำลังไฟฟ้าฐาน ด้านแรงต่ำ = 50 MVA

แรงดันฐาน ด้านแรงต่ำ =  $69 \times \left(\frac{3.81}{66}\right) = 3.98 \text{ kV}$

• ค่าอิมพีแดนซ์ฐานด้านแรงต่ำ

$$\text{Base } Z_{LV} = \frac{\text{base } V_{LV}}{\text{base MVA}} = \frac{(3.98)^2}{50} = 0.3168 \text{ } \Omega$$

• ค่าต่อหน่วยของ  $R_L$  (ด้านแรงต่ำ)

$$\text{p.u. } R_L = \frac{0.6}{0.3168} = 1.89 \text{ p.u.}$$

83

• ค่าอิมพีแดนซ์ฐานด้านแรงสูงเป็น

$$\text{Base } Z_{HV} = \frac{\text{base } V_{HV}}{\text{base MVA}} = \frac{(69)^2}{50} = 95.22 \text{ } \Omega$$

•  $R_L$  ย้ายมาด้านแรงสูงมีค่าเป็น

$$R_{L,HV} = R_{L,LV} \left(\frac{kV_{HV}}{kV_{LV}}\right)^2 = 0.6 \left(\frac{66}{3.81}\right)^2 = 180 \text{ } \Omega$$

• ค่าต่อหน่วยของ  $R_L$  (ด้านแรงต่ำ)

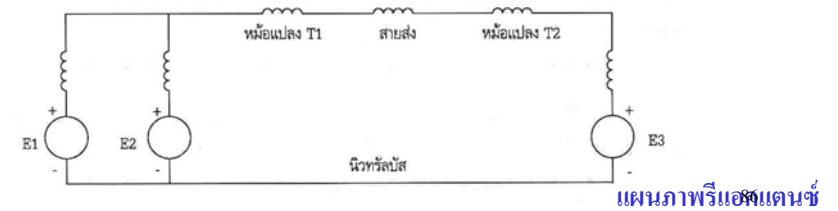
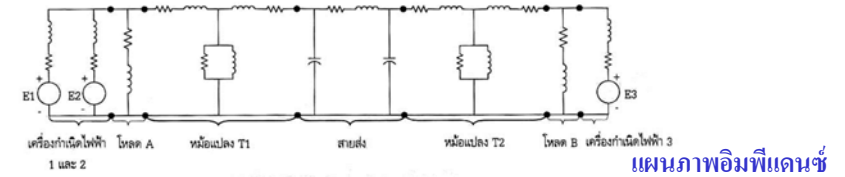
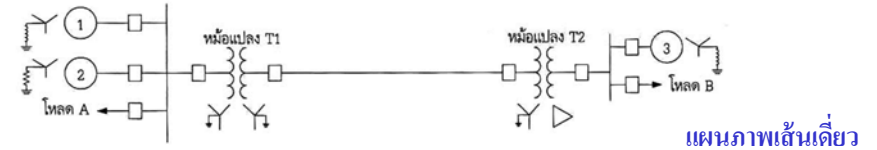
$$\text{p.u. } R_L = \frac{R_{L,LV}}{\text{base } Z_{LV}} = \frac{0.6}{0.3168} = 1.89 \text{ p.u.}$$

84

## การคำนวณเพื่อเขียนแผนภาพรีแอกแตนซ์

- ใช้แผนภาพรีแอกแตนซ์ เพื่อใช้วิเคราะห์การลัดวงจรในระบบ
- ถ้าใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์การลัดวงจร (Fault) อาจใช้แผนภาพอิมพีแดนซ์ในการวิเคราะห์

85



## หลักการคำนวณเพื่อเขียนแผนภาพรีแอกแตนซ์ (1)

1. ค่าฐานของระบบ 3 เฟส คือค่าแรงดันฐานระหว่างสาย ( $V_{line}$ ) และค่ากำลังไฟฟ้าฐานที่คิดทั้ง 3 เฟสรวมกัน ( $S_{3\phi}$ )
2. ค่าฐานที่อีกด้านของหม้อแปลง ค่าแรงดันฐานหาจากอัตราส่วนของแรงดันระหว่างสายของหม้อแปลงตัวนั้น แต่ค่ากำลังไฟฟ้าฐานเท่ากันทุกจุดในระบบไฟฟ้ากำลัง (ทั้ง LV และ HV)
3. ค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z$ ) หรือ รีแอกแตนซ์ ( $X$ ) หม้อแปลง 3 เฟส มักบอกเป็นค่าต่อหน่วย หรือ % เทียบจากพิกัดของหม้อแปลงนั้น

87

## หลักการคำนวณเพื่อเขียนแผนภาพรีแอกแตนซ์ (2)

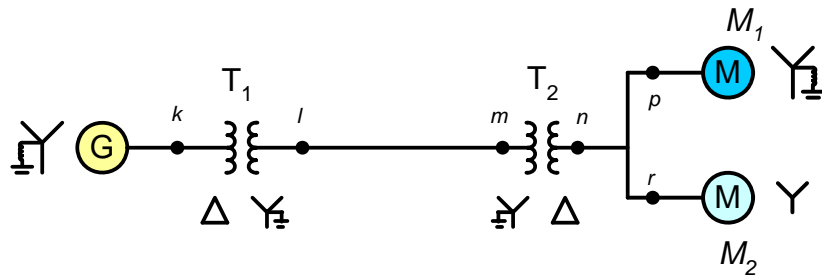
4. หม้อแปลง 3 เฟส ที่ประกอบจาก หม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว
  - ค่ากำลังไฟฟ้าแท้จริง (true S) หากจากกำลังไฟฟ้าหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว
  - ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง 3 เฟส = ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง 1 เฟส
5. ค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยที่มีฐานอื่น **ไม่ตรงกับค่าฐานของระบบ** ให้เปลี่ยนแปลงค่าฐานให้ตรงกับค่าฐานของระบบ

$$p.u. Z_{new} = p.u. Z_{given} \left[ \frac{\text{base kV}_{given}}{\text{base kV}_{new}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base MVA}_{new}}{\text{base MVA}_{given}} \right]$$

88

## ตัวอย่างที่ 6

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 300 MVA, 20 kV มีชั้บทรานเซียนรีแอกแตนซ์ ( $X_s$ ) 20 % เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งยาว 64 km ให้แก่มอเตอร์แบบซิงโครนัสจำนวนหนึ่ง ดังรูป



89

**มอเตอร์ทุกตัว** มีแรงดันพิกัด 13.2 kV แทนด้วย  $M_1$  และ  $M_2$  โดยที่  $M_1$  มีสายกลางต่อลงดินผ่านรีแอกแตนซ์ ส่วน  $M_2$  มีสายกลางไม่ต่อลงดิน (ซึ่งเป็นกรณีไม่เกิดขึ้นตามปกติ) พิกัดของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นดังนี้

$M_1$  200 MVA,  $X'' = 20\%$

$M_2$  100 MVA,  $X'' = 20\%$

**หม้อแปลงในระบบ** มีค่าต่างๆดังนี้

$T_1$  เป็นหม้อแปลง 3 เฟส, 350 MVA, 230/20 kV,  $X = 10\%$

$T_2$  เป็นหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว, 100 MVA, 127/13.2 kV,  $X = 10\%$

## สายส่ง (Transmission Line)

ค่ารีแอกแตนซ์อนุกรมของสายส่ง = 0.5 ohm / km

## จงหา

- แผนภาพรีแอกแตนซ์พร้อมค่าต่อหน่วย (Reactance Diagram with p.u. value) โดยใช้ **ค่าฐาน (Base Value)** เป็นค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

91

## • จะเขียนแผนภาพรีแอกแตนซ์ (Reactance Diagram) สิ่งที่ต้องการหาคือ

- รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- รีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง  $T_1$  และ  $T_2$
- รีแอกแตนซ์ของสายส่งไฟฟ้า
- รีแอกแตนซ์ของมอเตอร์ไฟฟ้า  $M_1$  และ  $M_2$

92

### พิจารณาที่หม้อแปลง $T_1$ ซึ่งต่อแบบ $\Delta - Y$

- ค่าฐานที่ด้านแรงต่ำ (LV) ของหม้อแปลง  $T_1$  จะได้

$$\text{แรงดันฐาน} = 20 \text{ kV} \quad \text{กำลังไฟฟ้าฐาน} = 300 \text{ MVA}$$

- $T_1$  เป็นหม้อแปลง 3 เฟส แรงดันที่บอกคือค่าแรงดันระหว่างสาย ( $V_{line}$ ) ทั้งด้านแรงสูงและแรงต่ำ
- อัตราส่วนแรงดัน =  $230 / 20 \text{ kV}$  จะได้

$$\text{แรงดันฐาน ด้าน } Y = 20 \times \frac{230}{20} = 230 \text{ kV}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า ของ } T_1 = 350 \text{ MVA} \quad 93$$

- กำลังไฟฟ้าของ  $T_1$  (300 MVA) ไม่เท่ากับกำลังไฟฟ้าฐาน (350 MVA)
- ต้องเปลี่ยนค่า  $X$  ใหม่ ตามค่าฐานของระบบ

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \text{p.u. } Z_{\text{given}} \left[ \frac{\text{base } kV_{\text{given}}}{\text{base } kV_{\text{new}}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base } MVA_{\text{new}}}{\text{base } MVA_{\text{given}}} \right]$$

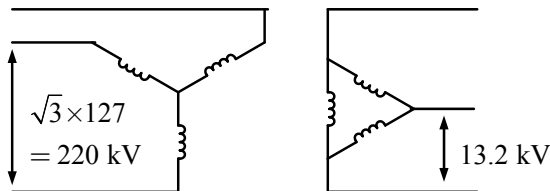
จะได้ค่า  $X$  ของหม้อแปลง  $T_1$  เป็น

$$\text{p.u. } X_{\text{new}} = (0.1) \left[ \frac{230}{230} \right]^2 \left[ \frac{300}{350} \right]$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad x_{T1} &= 0.0857 \text{ p.u.} \\ &= 8.57 \% \end{aligned} \quad 94$$

### พิจารณาที่หม้อแปลง $T_2$ ซึ่งต่อแบบ $Y - \Delta$

- $T_2$  เป็นหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว แรงดันที่บอก คือ ค่าแรงดันเฟสทั้งด้านแรงสูงและแรงต่ำ ต้องแปลงเป็นแรงดันระหว่างสาย ตามการต่อ



- อัตราส่วนแรงดัน =  $220 / 13.2 \text{ kV}$  จะได้

$$\text{แรงดันฐาน ด้าน } \Delta = 230 \times \frac{13.2}{220} = 13.8 \text{ kV}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าของ } T_2 = 3 \times 100 = 300 \text{ MVA} \quad 95$$

- กำลังไฟฟ้าของ  $T_2$  (300 MVA) เท่ากับกำลังไฟฟ้าฐาน (300 MVA)
- ต้องเปลี่ยนค่า  $x$  ใหม่ ตามค่าฐานของระบบ

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \text{p.u. } Z_{\text{given}} \left[ \frac{\text{base } kV_{\text{given}}}{\text{base } kV_{\text{new}}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base } MVA_{\text{new}}}{\text{base } MVA_{\text{given}}} \right]$$

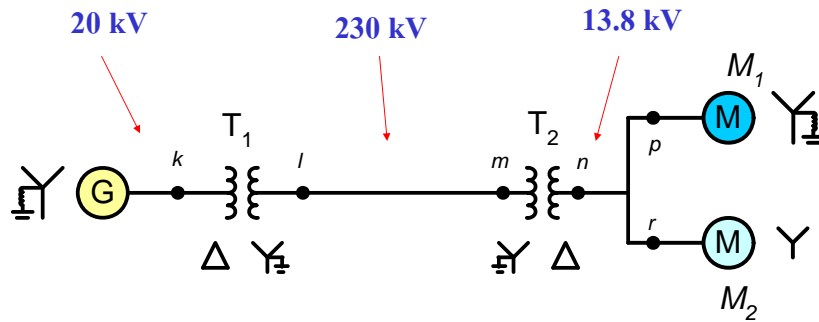
จะได้ค่า  $x$  ของหม้อแปลง  $T_2$  เป็น

$$\text{p.u. } X_{\text{new}} = (0.1) \left[ \frac{13.2}{13.8} \right]^2 \left[ \frac{300}{300} \right]$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad X_{T2} &= 0.0915 \text{ p.u.} \\ &= 9.15 \% \end{aligned} \quad 96$$



จะได้แรงดันฐาน (Base V) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ เป็น



97

### สายส่ง (Transmission Line)

ค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสายส่ง  
(true  $Z_{line}$ )

$$= 0.5 \times 64 = 32 \ \Omega$$

ค่าอิมพีแดนซ์ฐานของสายส่ง  
(Base  $Z_{line}$ )

$$= \frac{(\text{Base } kV_{\text{สายส่ง}})^2}{\text{Base MVA}}$$

$$= \frac{(230)^2}{300} = 176.3 \ \Omega$$

ค่ารีแอกแตนซ์ต่อหน่วย (p.u.) ของสายส่ง

$$\text{p.u. } X_{line} = \frac{32 \ \Omega}{176.3 \ \Omega} = 0.1815 \ \text{p.u.}$$

มอเตอร์ไฟฟ้า  $M_1$       13.2 kV, 200 MVA,  $X'' = 20\%$

- กำลังไฟฟ้าของ  $M_1$  (200 MVA) ไม่เท่ากับกำลังไฟฟ้าฐาน (300 MVA)
- แรงดันไฟฟ้าของ  $M_1$  (13.2 kV) ไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าฐาน (13.8 kV)
- หาค่ารีแอกแตนซ์ต่อหน่วย (p.u.) จาก

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \text{p.u. } Z_{\text{given}} \left[ \frac{\text{base } kV_{\text{given}}}{\text{base } kV_{\text{new}}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base MVA}_{\text{new}}}{\text{base MVA}_{\text{given}}} \right]$$

จะได้  $X_{M1} = (0.2) \left( \frac{300}{200} \right) \left( \frac{13.2}{13.8} \right)^2 = 0.2745 \ \text{p.u.}$

99

มอเตอร์ไฟฟ้า  $M_2$       13.2 kV, 100 MVA,  $X'' = 20\%$

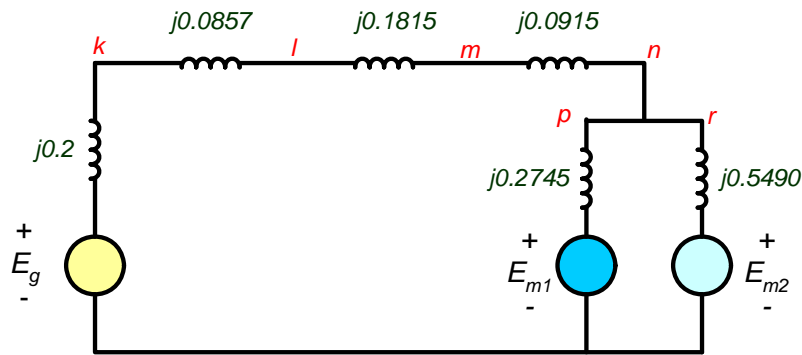
- กำลังไฟฟ้าของ  $M_2$  (100 MVA) ไม่เท่ากับกำลังไฟฟ้าฐาน (300 MVA)
- แรงดันไฟฟ้าของ  $M_2$  (13.2 kV) ไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าฐาน (13.8 kV)
- หาค่ารีแอกแตนซ์ต่อหน่วย (p.u.) จาก

$$\text{p.u. } Z_{\text{new}} = \text{p.u. } Z_{\text{given}} \left[ \frac{\text{base } kV_{\text{given}}}{\text{base } kV_{\text{new}}} \right]^2 \left[ \frac{\text{base MVA}_{\text{new}}}{\text{base MVA}_{\text{given}}} \right]$$

จะได้  $X_{M2} = (0.2) \left( \frac{300}{100} \right) \left( \frac{13.2}{13.8} \right)^2 = 0.5490 \ \text{p.u.}$

100

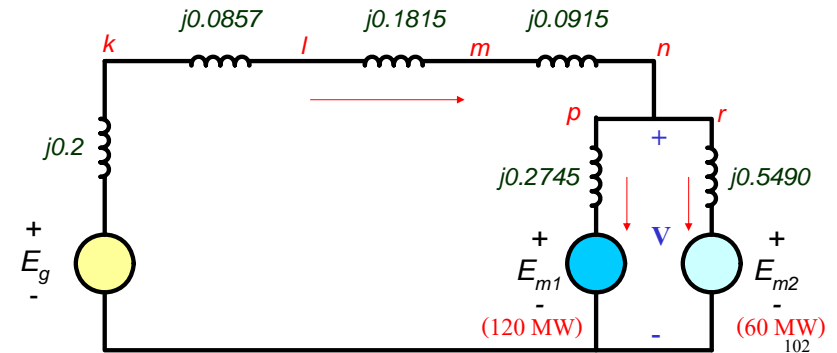
สามารถเขียนรีแอกแตนซ์ไดอะแกรม ได้เป็น



101

### ตัวอย่างที่ 7

จากตัวอย่างที่ 6 มอเตอร์  $M_1$  และ  $M_2$  มีกำลังไฟฟ้าเข้าไป 120 MW และ 60 MW ตามลำดับ ที่แรงดัน 13.2 kV และ P.F = 1.0 ให้คำนวณหาแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



102

**KCL** กระแสในระบบ = กระแสไหลใน  $M_1$  + กระแสไหลใน  $M_2$

$$I = I_{M1} + I_{M2} = \frac{S_{M1}}{V} + \frac{S_{M2}}{V} = \frac{S_{M1} + S_{M2}}{V}$$

• หาค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันต่อหน่วย (p.u. S, p.u. V)

$$S_{M1} = \frac{P_{M1}}{\cos\theta_{M1}} = \frac{120}{1} \angle 0^\circ = 120 \text{ MVA}$$

$$S_{M2} = \frac{P_{M2}}{\cos\theta_{M2}} = \frac{60}{1} \angle 0^\circ = 60 \text{ MVA}$$

103

จะได้  $S_{M1} + S_{M2} = 120 + 60 = 180 \text{ MVA}$

จาก ค่ากำลังไฟฟ้าฐาน = 300 MVA ทำเป็นค่าต่อหน่วยได้เป็น

$$\text{p.u. } S_{M1} + S_{M2} = \frac{180 \text{ MVA}}{300 \text{ MVA}} = 0.6 \text{ p.u.}$$

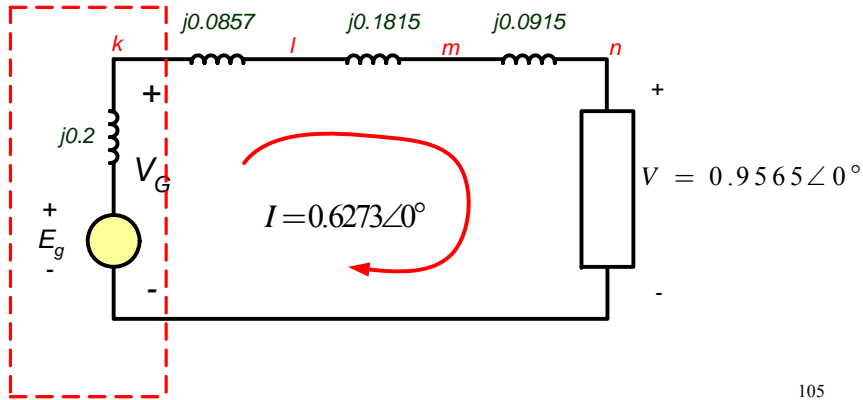
จาก แรงดันฐาน = 13.8 kV จะได้ ค่าแรงดันต่อหน่วยเป็น

$$\text{p.u. } V = \frac{13.2}{13.8} = 0.9565 \angle 0^\circ \text{ p.u.}$$

104

จะได้

$$I = \frac{S_{M1} + S_{M2}}{V} = \frac{0.6 \angle 0^\circ}{0.9565 \angle 0^\circ} = 0.6273 \angle 0^\circ \text{ p.u.}$$



### แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Terminal Voltage)

p.u.

$$V_t = V_R + I(X_{T1} + X_{line} + X_{T2})$$

$$= 0.9565 + 0.6273(j0.0857 + j0.1815 + j0.0915)$$

$$= 0.9565 + j0.2250$$

$$= 0.9826 \angle 13.2^\circ \text{ p.u.}$$

### แรงดันค่าที่แท้จริง เท่ากับ

Base Voltage

$$\text{True } V_t = 0.9826 \times 20 \text{ kV}$$

$$= 19.65 \text{ kV}$$

# END