

แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 11 ระบบไฟฟ้าสามเฟส

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ในการลำดับเฟสแบบบวก เฟส C จะมีเฟสเซอร์ เป็นข้อใด

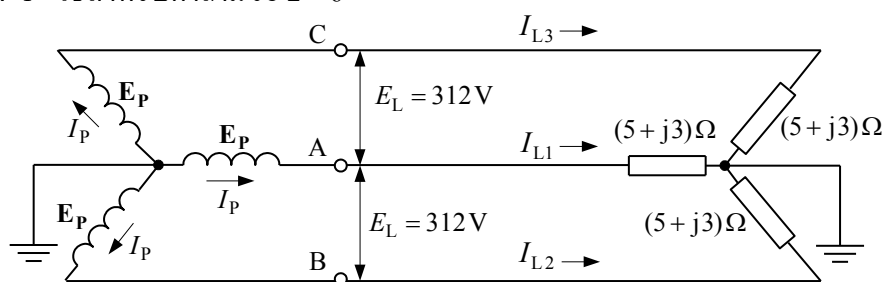
ก. $E_C / 120^\circ$

ข. $E_C / 0^\circ$

ค. $E_C / -120^\circ$

ง. $E_C / 90^\circ$

จากรูปที่ 1 ใช้สำหรับคำถามข้อ 2 – 6



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบวาย

2. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ในวงจรรูปที่ 1 มีค่าเท่าใด

ก. 0.6

ข. 0.857

ค. 0.866

ง. 0.83

3. แรงดันเฟส มีค่าเท่าใด

ก. 120 V

ข. 380 V

ค. 220 V

ง. 180 V

4. กระแสที่ไหลในสาย มีค่าเท่าใด

ก. 53.46 A

ข. 62.4 A

ค. 30.87 A

ง. 17.82 A

5. กำลังไฟฟ้าจริง มีค่าเท่าใด

ก. 9.62 kW

ข. 9.65 kW

ค. 5.55 kW

ง. 8.42 kW

6. กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีค่าเท่าใด

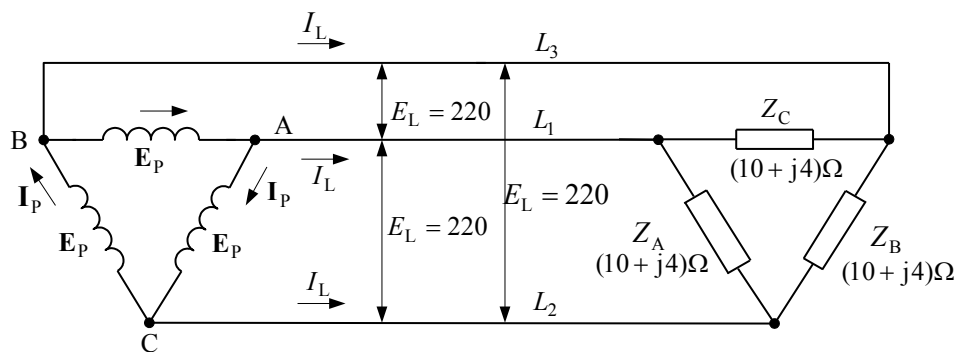
ก. 9.62 kVA

ข. 9.65 kVA

ค. 5.55 kVA

ง. 8.42 kW

จากรูปที่ 2 ใช้สำหรับคำถามข้อ 7 – 10



รูปที่ 2 วงจรไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า

7. เพาเวอร์แฟคเตอร์ มีค่าเท่าใด

ก. 0.80

ข. 0.88

ค. 0.92

ง. 0.84

8. แรงดันเฟส มีค่าเท่าใด

ก. 120 V

ข. 220 V

ค. 180 V

ง. 380 V

9. กระแสที่ไหลในสาย มีค่าเท่าใด

ก. 20 A

ข. 30 A

ค. 20.42 A

ง. 35.37 A

10. กำลังงานจริงทั้งหมด มีค่าเท่าใด

ก. 13.46 kW

ข. 12.5 kW

ค. 4.1 kW

ง. 13.46 kVA

หน่วยที่ 11 เรื่อง ระบบไฟฟ้าสามเฟส

สาระสำคัญ

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ได้มาจากการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 3 วงจรมาต่อรวมกัน วิธีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มีสองแบบคือ แบบสตาร์ และ แบบเดลต้า ซึ่งการต่อทั้งสองแบบจะใช้คุณสมบัติของกระแสและแรงดันในสายที่ต่างกัน พารามิเตอร์สำคัญของระบบไฟฟ้า 3 เฟส ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Voltage Line) แรงดันไฟฟ้าในเฟส (Phase Voltage) กระแสที่ไหลในสาย (Line Current) และกระแสที่ไหลในเฟส (Phase Current)

เนื้อหาสาระ

- 11.1 การกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส
- 11.2 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบวาย หรือแบบสตาร์
- 11.3 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบเดลต้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจในเรื่อง

- 11.1 การกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส
- 11.2 การต่อเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส แบบวาย
- 11.3 การต่อเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส แบบเดลต้า

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม หลังจากเรียนจบบทเรียนนี้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถดังนี้

- 11.1 อธิบาย หลักการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ได้
- 11.2 วิเคราะห์ หากระแส และแรงดัน เมื่อเครื่องกำเนิดระบบ 3 เฟส ต่อแบบวาย ได้
- 11.3 วิเคราะห์ หาเพาเวอร์แฟคเตอร์ กำลังไฟฟ้าเมื่อเครื่องกำเนิดระบบ 3 เฟส ต่อแบบวาย ได้
- 11.4 วิเคราะห์ หากระแส และแรงดัน เมื่อเครื่องกำเนิดระบบ 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า ได้
- 11.5 วิเคราะห์ หาเพาเวอร์แฟคเตอร์ กำลังไฟฟ้าเมื่อเครื่องกำเนิดระบบ 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า

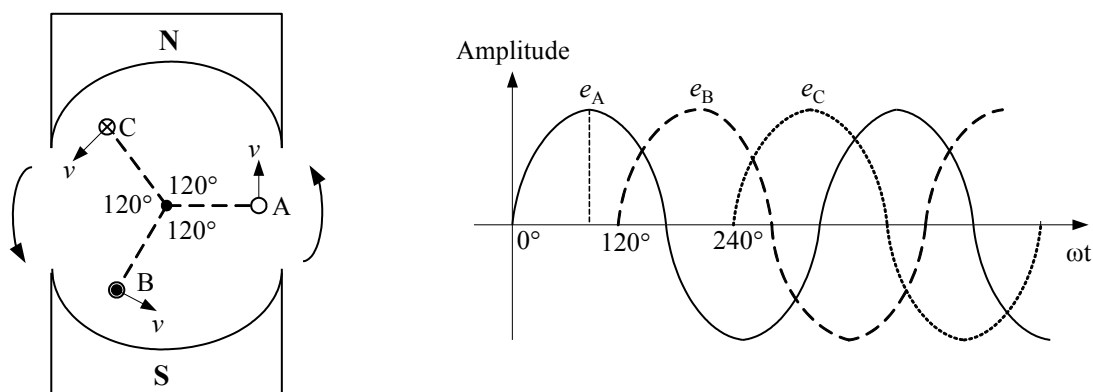
ได้

หน่วยที่ 11 ระบบไฟฟ้าสามเฟส

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่นักเรียนได้ศึกษาในหน่วยที่ 9 และ 10 ที่ผ่านมานั้นเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบเฟสเดียว (Single phase system) ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันตามสำนักงาน บ้านเรือนและเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป ระบบไฟฟ้าสามเฟส เป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากระบบไฟฟ้าสามเฟส มีข้อได้เปรียบในเรื่องของ กำลังไฟฟ้า กล่าวคือ อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบ สามเฟส จะมีขนาดเล็กกว่า อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบเฟสเดียว โดยที่ให้กำลังไฟฟ้าที่เท่ากัน แต่ การส่งจ่ายไฟฟ้าในระบบสามเฟส จะต้องใช้สายส่ง – จ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างน้อย 3 เส้น ถ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต่อแบบ เดลต้า แต่ ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อแบบวาย หรือสตาร์ จะใช้สายส่ง – จ่าย 4 เส้น

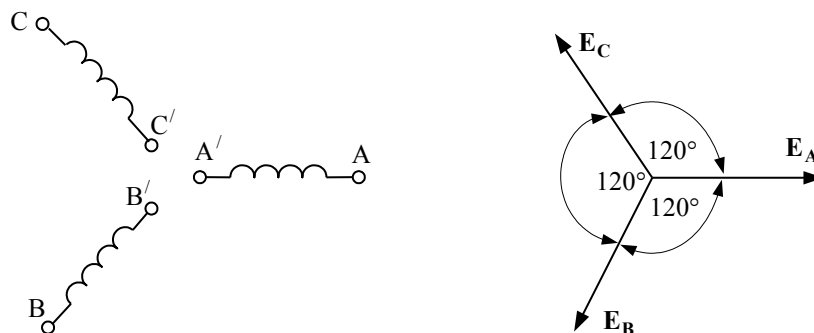
11.1 การกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส

หลักการกำเนิดแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส ใช้หลักการเดียวกัน คือ การทำให้ขดลวดตัวนำ หมุนเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก แต่ในระบบสามเฟส จะใช้ขดลวด 3 ชุด เมื่อขดลวดทั้ง 3 ชุด หมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา ที่ขั้ว A, B และ C ตามลำดับ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวหมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 11.1 ขดลวดแต่ละชุดวางห่างกันทำมุม 120 องศาทางไฟฟ้า



รูปที่ 11.1 หลักการการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส

เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า เมื่อเทียบกับเฟสของขดลวด A อยู่ที่ 0 องศา เฟสของขดลวด B ล้าหลังจากขดลวด A เป็นมุม -120 องศา และเฟสของขดลวด C ล้าหลังจากขดลวด A เป็นมุม -240 องศา แสดงดังรูปที่ 11.2



รูปที่ 11.2 ไคอะแกรมของคอยล์ทั้ง 3 ชุด และเฟสเซอร์ไคอะแกรมของแรงดัน

จากรูปที่ 11.2 สมการแรงดันชั่วขณะ และ สมการเฟสเซอร์ เขียนได้ดังต่อไปนี้

$$e_A = E_m \sin(\omega t + 0^\circ) \quad \text{หรือ} \quad E_A = E_A \angle 0^\circ \text{ V} \quad \text{เมื่อ} \quad E_A = 0.707 E_m$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad \text{หรือ} \quad E_B = E_B \angle -120^\circ \text{ V} \quad \text{เมื่อ} \quad E_B = 0.707 E_m$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad \text{หรือ} \quad E_C = E_C \angle -240^\circ \text{ V} \quad \text{เมื่อ} \quad E_C = 0.707 E_m$$

$$\text{หรือ} \quad e_C = E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \quad \text{และ} \quad E_C = E_C \angle 120^\circ \text{ V}$$

11.1.1 ลำดับเฟส

ลำดับเฟสก็คือ การจัดลำดับของการเกิดรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส จากรูปที่ 11.1 ขดลวดทั้ง 3 ในเครื่องกำเนิด หมุนในทิศทาง ทวนเข็มนาฬิกา (Counter clockwise : CCW) จะพบว่า ลำดับรูปคลื่นที่ปรากฏขึ้น จะเป็น A – B – C – A เรียกการลำดับเฟส หรือการเกิดขึ้นของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสแบบนี้ว่า ลำดับเฟสแบบ บวก แต่ถ้าเครื่องกำเนิดในรูปที่ 11.2 หมุนในทิศทางตรงกันข้าม คือ ทวนเข็มนาฬิกา (Clockwise : CW) ลำดับรูปคลื่นที่ปรากฏขึ้น จะเป็น A – C – B – A เรียกลำดับเฟสแบบนี้ว่า ลำดับเฟสแบบ ลบ

การบ่งบอก ลำดับเฟสของไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส นี้ ยังอาจบอกเป็น ตัวเลข 1, 2, 3 หรือ L_1, L_2 และ L_3 ตามที่ผู้กำหนดเป็นข้อตกลงขึ้นระหว่างผู้ใช้ โดยมีมาตรฐานของสีสายไฟฟ้าที่ใช้โดยทั่วไป สีแดงหมายถึง เฟส A สีเหลือง (หรือบางทีสีขาว) สำหรับเฟส B และสีน้ำเงิน สำหรับเฟส C

11.1.2 การต่อวงจรในไฟฟ้าระบบ 3 เฟส

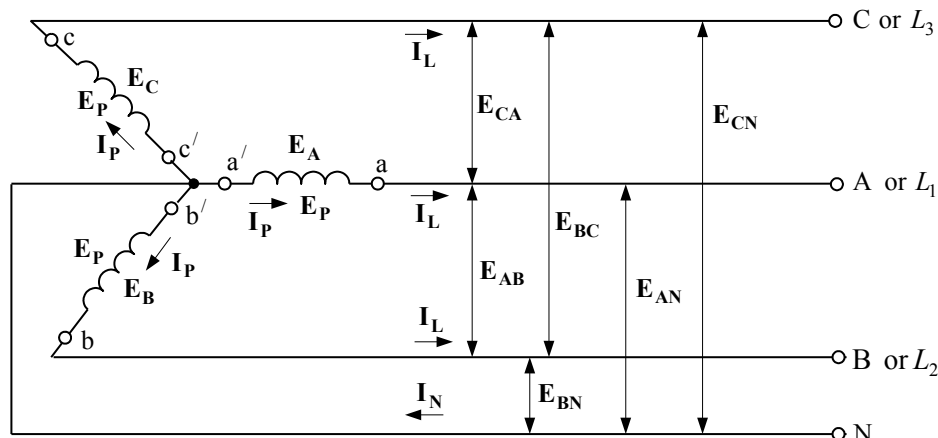
การต่อขดลวดตัวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ 3 เฟส มี 2 แบบ คือ

- (1) การต่อ แบบ วาย หรือ สตาร์ (Wye or Star , Y – conection)
- (2) ต่อแบบ เดลต้า (Delta , Δ – conection)

และการต่อโหลดในไฟฟ้าระบบ 3 เฟส มีการต่อใช้งาน เช่นเดียวกับการต่อ เครื่องกำเนิด มีแบบ วาย หรือ สตาร์ และ แบบ เดลต้า

11.2 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบวาย หรือแบบสตาร์

ไดอะแกรมของการต่อเครื่องกำเนิด แบบวาย หรือ แบบสตาร์ แสดงดังรูปที่ 11.3 โดยการต่อแบบนี้ จะใช้สายส่ง – จ่ายทั้งหมด 4 เส้น โดย 3 เส้นแรกก็คือ เส้นที่ต่อมาจากขดลวด A , B และ C ตามลำดับ อีกด้านหนึ่งของแต่ละขด คือด้าน a' , b' และ c' นำมาต่อรวมเป็นจุดเดียวกันแล้วต่อสายออกไป เรียกว่าสาย นิวทรัล (Neutral : N) แรงดันระหว่างขดลวดแต่ละชุดเทียบกับสาย นิวทรัล เรียกว่า **แรงดันเฟส** คือ E_{AN} , E_{BN} และ E_{CN}



รูปที่ 11.3 ไดอะแกรมการต่อเครื่องกำเนิด (Alternator) แบบวาย หรือแบบสตาร์

11.2.1 แรงดันระหว่างสายเมื่อ ต่อเครื่องกำเนิด แบบวาย หรือ แบบสตาร์

แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Line Voltage : E_L) หมายถึงแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วด้าน ที่จะจ่ายไปยังโหลด ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า E_{AB} , E_{BC} และ E_{CA} มีสัณยเท่ากับ 380 V เขียนแทนด้วย E_L (บ่งบอกเฉพาะขนาด ส่วนมุมตามความห่างทางไฟฟ้าของแต่ละสาย)

แรงดันไฟฟ้าเฟส (Phase Voltage : E_p) หมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ขดลวดแต่ละชุด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับจุดต่อรวม (สายนิวทรัล) ได้แก่ E_{AN} , E_{BN} และ E_{CN} มีสัณยเท่ากับ 220 V เขียนแทนด้วย E_p (บ่งบอกเฉพาะขนาด ส่วนมุมตามลำดับของขดลวด)

ซึ่งแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟส ที่เท่ากับ 220 V ก็คือสัณยแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส นั่นเอง

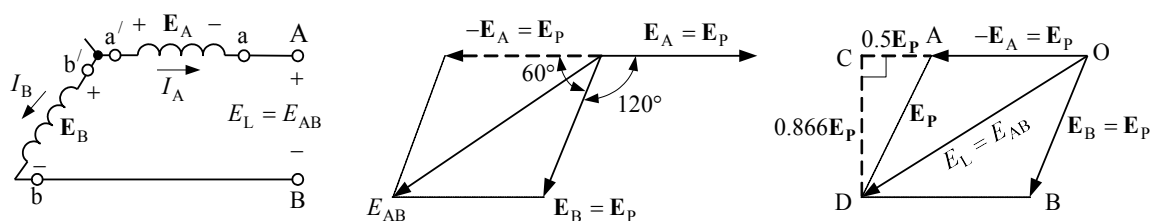
ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กับ แรงดันไฟฟ้าเฟส วิเคราะห์ที่มาได้ดังนี้

พิจารณารูปที่ 11.4 (ก) โดยใช้ กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ มาวิเคราะห์ หา E_L หรือ E_{AB} พิจารณา รอบวงปิด Aaa'/b'bBA จะพบว่า

$$-E_A + E_B - E_{AB} = 0$$

หรือ

$$E_{AB} = -E_A + E_B$$



(ก) ไดอะแกรมคอลลี A, B

(ข) เฟสเซอร์ของ แรงดัน

(ค) การรวมค่าทางเวกเตอร์

รูปที่ 11.4 การหาค่า E_{AB} จากความสัมพันธ์ทางเฟสเซอร์

ในการหาค่า E_L หรือ E_{AB} นั้น จะต้องพิจารณาทั้งขนาดและมุม การบวก – ลบ จึงต้องกระทำแบบ การบวกลบ เวกเตอร์

พิจารณารูปที่ 11.4 (ค) ใช้ทฤษฎีพีทาโกรัส วิเคราะห์ และใช้สมการเชิงเส้นแก้ปัญหา

พิจารณา $\triangle ACD$ จะได้ $CA = E_p \cos 60^\circ = 0.5 E_p$

และ $DC = E_p \sin 60^\circ = 0.866 E_p$

พิจารณา $\triangle OCD$ จะได้ $E_L^2 = (DC)^2 + (CA + AO)^2$

$$E_L^2 = (0.866)^2 + (0.5 E_p + E_p)^2$$

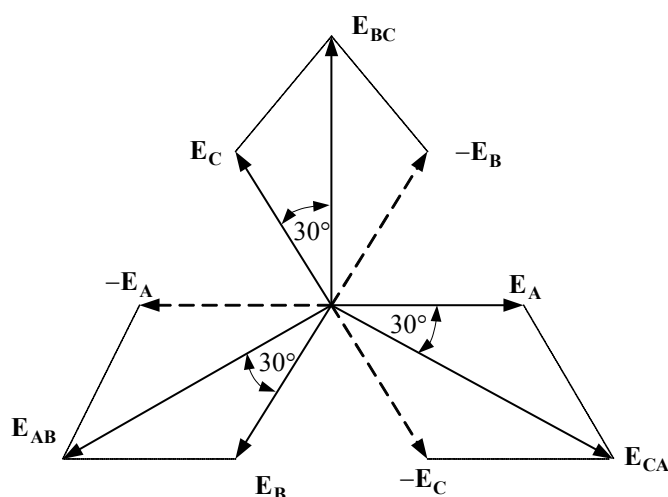
$$E_L = \sqrt{(0.866 E_p)^2 + (1.5 E_p)^2}$$

$$E_L = \sqrt{3 E_p^2}$$

$$E_L = \sqrt{3} E_p \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.1}$$

เมื่อ E_L คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Line Voltage)

E_p คือ แรงดันไฟฟ้าเฟส (Phase Voltage) ; $E_p = 220 \text{ V}$



รูปที่ 11.5 แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฟสกับแรงดันระหว่างสาย

11.2.2 กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายเมื่อ ต่อเครื่องกำเนิด แบบวาย หรือ แบบสตาร์

กระแสที่ไหลผ่านขดลวดแต่ละชุด เรียกว่า กระแสเฟส(Phase Current : I_p) ส่วนกระแสที่ไหลในสายต่อระหว่างขดลวดของเครื่องกำเนิดกับโหลด เรียกว่า กระแสที่สาย (Line Current: I_L) จากรูปที่ 11.3 ในวงจรเครื่องกำเนิดที่ต่อแบบ ยาย หรือ สตาร์ ขนาดของกระแสที่สาย เท่ากับ กระแสที่เฟส ดังนั้น

$$I_L = I_p \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.2}$$

เมื่อ I_L คือ กระแสที่ไหลในสาย (Line Current)

และ I_p คือ กระแสที่ไหลในเฟส (Phase Current)

จากรูปที่ 11.3 จะพบว่า กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปทั้งสามเฟส (เฟส A , B , และ C) คือ I_L ส่วนกระแส I_N จะเป็นเส้นทางกลับของผลรวมของกระแส ที่จ่ายออกไป ทั้ง สามเฟส ถ้าแรงดันไฟฟ้าสามเฟส นี้ถูกจ่ายให้กับ โหลดสมดุล จะทำให้ผลรวมของกระแสที่ไหลกลับมาในสายนิวทรัล จะมีค่าเป็นศูนย์

11.2.3 กำลังไฟฟ้าระบบ สามเฟส เมื่อ ต่อเครื่องกำเนิด แบบวาย หรือ แบบสตาร์

กำลังงานไฟฟ้า หรือ กำลังไฟฟ้า ที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าจริง ที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟส ก็คือ กำลังไฟฟ้า (P) เช่นเดียวกับ กรณี 1 เฟส นั่นคือ

$$P = E_p I_p \cos \theta \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.3}$$

เมื่อ θ คือ มุมระหว่างแรงดันเฟส (E_p) กับกระแสที่ไหลในเฟส (I_p)

หรือ θ คือมุมของอิมพีแดนซ์รวมเมื่ออยู่ในรูป เจริ่งข้าว

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส จะเป็น

$$P_T = 3P = 3E_p I_p \cos \theta \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.4}$$

จากสมการที่ 11.1 และ 11.2 แทนค่า I_p และ E_p ลงในสมการที่ 11.4 จะได้

$$P_T = \frac{3E_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \theta$$

$$\text{หรือ} \quad P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.5}$$

$$\text{แต่} \quad \cos \theta = \frac{P}{S} \quad \text{หรือ} \quad S = \frac{P}{\cos \theta}$$

เมื่อ $\cos \theta$ คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานจริง หรือกำลังไฟฟ้าจริง : W

S คือ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ : VA

$$\text{ดังนั้น} \quad S = \frac{\sqrt{3} E_L I_L \cos \theta}{\cos \theta}$$

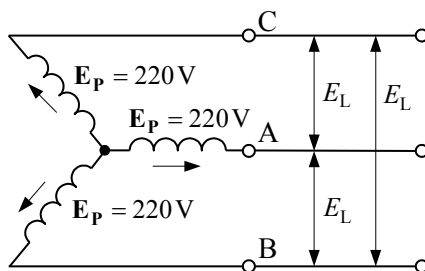
$$S = \sqrt{3} E_L I_L \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.6}$$

ซึ่ง ค่า S ในที่นี้ ก็คือ ค่าที่บอกถึง ค่าพิกัด (rating) ของเครื่องกำเนิด หรือ อุปกรณ์
เครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนมากเป็นอุปกรณ์จำพวก มอเตอร์ นั้นเอง

ขณะที่ เพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบ 3 เฟส ที่ต่อแบบวาย หรือ แบบสตาร์ ที่อยู่ในสภาวะสมดุล
จะมีค่าเท่ากับ $PF = \cos \theta = \frac{P_T}{\sqrt{3} E_L I_L}$ สมการที่ 11.7

เพาเวอร์แฟคเตอร์ยัง หาได้จาก อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ ค่าความต้านทาน กับค่าอิมพีแดนซ์
รวม ของโหลด ดังนี้ $PF = \cos \theta = \frac{R}{Z}$

ตัวอย่างที่ 11.1 จากวงจรในรูปที่ 11.6 ถ้าแรงดันที่เฟส มีค่า 220 V จงหาค่าแรงดันระหว่างสาย



รูปที่ 11.6 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับตัวอย่างที่ 11.1

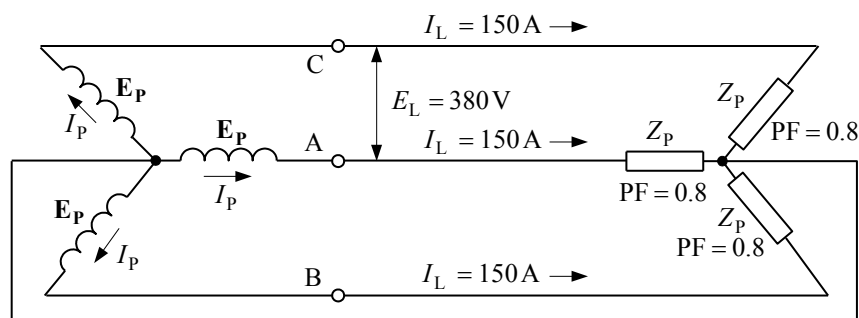
วิธีทำ จากวงจรเป็นการต่อเครื่องกำเนิดแบบ วาย ดังนั้น

จากสมการที่ 11.1 $E_L = \sqrt{3} E_P$

$\therefore E_L = \sqrt{3} (220 \text{ V}) = 380.6 \text{ V} \cong 380 \text{ V}$ ตอบ

ตัวอย่างที่ 11.2 จากวงจรในรูปที่ 11.7 เครื่องกำเนิด 3 เฟสต่อแบบวาย ถ้าแรงดันระหว่างสาย แต่ละคู่
มีค่าเท่ากับ 380 V และต่อเข้ากับโหลดที่ต่อแบบวาย เช่นกันและอยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าเครื่องกำเนิด จ่าย
กระแสให้โหลดเต็มที่ (full-load current) เท่ากับ 150 A ที่เพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 0.8 จงหา

- (1) กระแสที่จ่ายให้โหลดเต็มที่ ต่อเฟส (2) แรงดันที่เฟส (Phase Voltage, E_P)
(3) อัตราพิกัด (rating) ของเครื่องกำเนิด เป็น kVA (4) กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้ เต็มที่ (full-load power)



รูปที่ 11.7 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับตัวอย่างที่ 11.2

วิธีทำ (1) กระแสที่จ่ายให้โหลดเต็มที่ ต่อเฟส

$$I_p = I_L = 150 \text{ A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(2) แรงดันที่เฟส $E_p = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{380 \text{ V}}{1.73} = 219.65 \cong 220 \text{ V} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$

(3) อัตราพิกัด (rating) ของเครื่องกำเนิด เป็น kVA

$$S = \sqrt{3} E_L I_L$$

$$S = 1.73(380 \text{ V})(150 \text{ A}) = 98,610 \text{ VA}$$

$$\therefore S = 98.61 \text{ kVA} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(4) กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้เต็มที่ (full-load power)

$$P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$$

$$P_T = (1.73)(380 \text{ V})(150 \text{ A})(0.8) = 78,888 \text{ W}$$

$$\therefore P_T = 78.88 \text{ kW} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 11.3 จากวงจรในรูปที่ 11.8 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

(1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟส

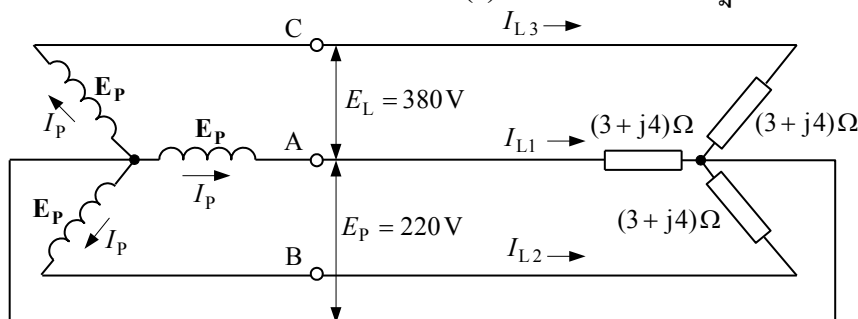
(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์

(3) กระแสที่จ่ายให้โหลดแต่ละตัว

(4) กระแสที่ไหลในสาย N

(5) กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดใช้ เป็น kW

(6) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA



รูปที่ 11.8 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับตัวอย่างที่ 11.3

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_A = Z_B = Z_C = (3 + j4) \Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(3)^2 + (4)^2}$

$$Z = \sqrt{(9) + (16)}$$

$$Z = \sqrt{25} = 5 \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(4/3)$

$$\theta = \tan^{-1}(1.333) = 53.13^\circ$$

จะได้ $Z = 5/53.13^\circ \Omega$

.....ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(53.13^\circ) = 0.6$$

$$\text{หรือ } PF = \frac{R}{Z} = \frac{3\Omega}{5\Omega} = 0.6 \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(3) กระแสที่จ่ายให้โหลด จาก $Z_1 = Z_2 = Z_3 = (3+j4)\Omega = 5/53.13^\circ \Omega$

$$\text{ดังนั้น } I_{L1} = \frac{E_{AN}}{Z_1} = \frac{220/0^\circ V}{5/53.13^\circ \Omega} = 44/-53.13^\circ A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$I_{L2} = \frac{E_{BN}}{Z_2} = \frac{220/-120^\circ V}{5/53.13^\circ \Omega} = 44/-173.13^\circ A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$I_{L3} = \frac{E_{CN}}{Z_3} = \frac{220/120^\circ V}{5/53.13^\circ \Omega} = 44/66.87^\circ A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(4) กระแสที่ไหลในสาย N

$$\text{จากกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ } I_N = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$$

$$\text{ดังนั้น } I_N = (44/-53.13^\circ A) + (44/-173.13^\circ A) + (44/66.87^\circ A)$$

แปลงให้ในรูปแกนมุมจาก (การบวก – ลบ ต้องทำในรูปแกนมุมจาก)

$$I_N = (26.4 - j35.2) A + (-43.68 - j5.26) A + (17.28 + j40.46) A$$

$$I_N = (26.4 - 43.68 + 17.28) A + j(-35.2 - 5.26 + 40.46) A$$

$$\therefore I_N = (0) A + j(0) A = 0 A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

กรณีโหลดสมดุล กระแสที่ไหลในสาย N จะเป็น ศูนย์

(5) กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้ เป็น kW

$$\text{จากสมการ } P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$$

ค่ามุม θ ในที่นี้ก็คือ มุมของ อิมพีแดนซ์รวมของโหลดแต่ละตัวนั่นเอง

$$P_T = (1.73)(380 V)(44 A)(\cos 53.13^\circ)$$

$$P_T = (1.73)(380 V)(44 A)(0.6) = 17,355 W$$

$$\therefore P_T = 17.35 kW \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(6) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA

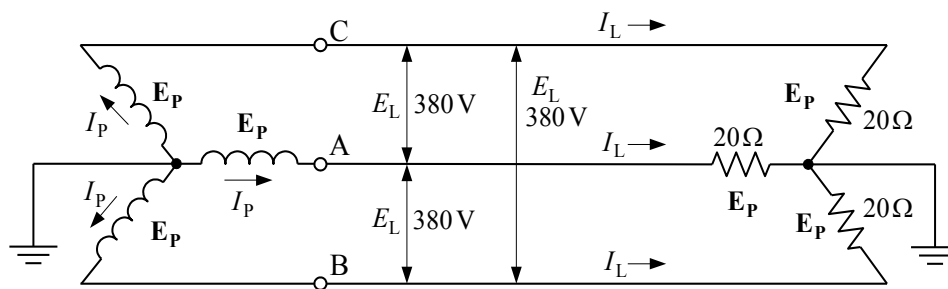
$$\text{จากสมการ } S = \sqrt{3} E_L I_L$$

$$S = 1.73(380 V)(44 A) = 28,925.6 VA$$

$$\therefore S = 28.92 kVA \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 11.4 จากวงจรในรูปที่ 11.9 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา

- | | |
|--|------------------------------------|
| (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟส | (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ |
| (3) แรงดันที่เฟสที่เกิดขึ้นที่โหลดแต่ละตัว | (4) กระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละตัว |
| (5) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสาย | (6) กำลังงานไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว |
| (7) กำลังงานไฟฟ้าทั้งหมด | (8) กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA |



รูปที่ 11.9 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟสต่อแบบวาย สำหรับตัวอย่างที่ 11.4

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟส $Z = (R + j0)\Omega = 20\Omega$

$$\therefore Z = R = 20/0^\circ \Omega \quad \dots\dots\dots$$

ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก $PF = \cos \theta = \cos(0^\circ) = 1$

$$\text{หรือ } PF = \frac{R}{Z} = \frac{20\Omega}{20\Omega} = 1 \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(3) แรงดันที่เฟสที่เกิดขึ้นที่โหลดแต่ละตัว

$$E_P = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{380\text{ V}}{1.73} = 219.65 \cong 220\text{ V} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

และ $E_{PA} = 220/0^\circ\text{ V}$ ลำดับต่อไปมีขนาดเดียวกันแต่มุมล่าหลัง 120 องศา

(4) กระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละตัว ก็คือ I_P หรือ I_L

$$I_P = \frac{E_P}{R_L} = \frac{220\text{ V}}{20\Omega} = 11\text{ A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(5) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสาย คือ I_L และ $I_L = I_P = 11\text{ A}$

.....**ตอบ**

(6) กำลังงานไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว

$$\text{จากสมการ } P = E_P I_P \cos \theta$$

$$P = (219.65\text{ V})(11\text{ A}) \cos 0^\circ \quad ; \text{เนื่องจาก กระแสและแรงดันมีเฟสเดียวกัน}$$

$$P = (219.65\text{ V})(11\text{ A})(1) = 2,416\text{ W} = 2.41\text{ kW} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(7) กำลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

$$\text{จากสมการ } P_T = 3P = 3E_P I_P \cos \theta$$

$$P_T = 3(219.65\text{ V})(11\text{ A})(1) = 7,248\text{ W} = 7.24\text{ kW} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

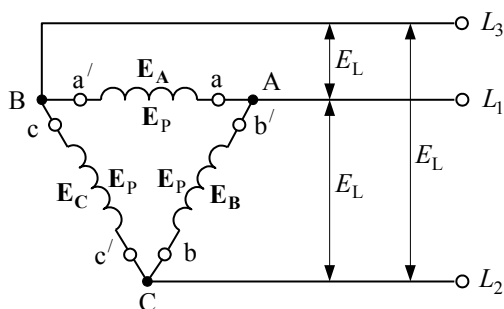
(8) กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

$$S = (1.732)(380\text{ V})(11\text{ A}) = 7,239\text{ W} = 7.24\text{ kW} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

จะพบว่า กำลังงานไฟฟ้าจริง กับ กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ มีค่าเท่ากัน เนื่องจาก เพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 1 นั่นเอง (โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว)

11.3 การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบเดลต้า

ไดอะแกรมการต่อคอลย์ของเครื่องกำเนิดแบบเดลต้า แสดง ในรูปที่ 11.10 จะพบว่า ปลายสายด้าน a' ต่อกับปลายสายด้าน c (จุด B) ปลายสายด้าน b' ต่อกับปลายสายด้าน a (จุด A) และ ปลายสายด้าน c' ต่อกับปลายสายด้าน b (จุด C) จุดต่อระหว่างปลาย a กับ b' จะต่อออกไปภายนอกเป็นสาย L_1 ปลายสาย b กับ c' จะต่อออกไปภายนอกเป็นสาย L_2 และจุดต่อระหว่างปลายสาย c กับ a' จะต่อออกไปภายนอกเป็นสาย L_3



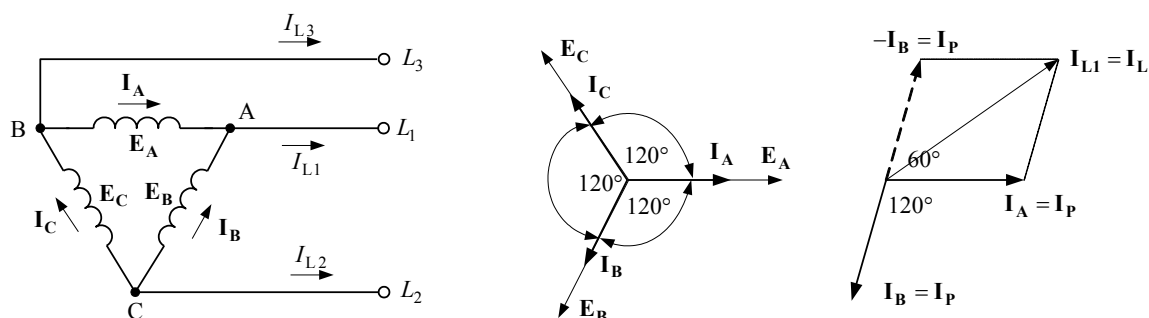
รูปที่ 11.10 แสดงไดอะแกรมการต่อคอลย์ของเครื่องกำเนิดแบบ เดลต้า

เมื่อพิจารณาที่สาย L_1 , L_2 และ L_3 จะพบว่า แรงดันที่เกิดขึ้นในแต่ละคอลย์ (แต่ละเฟส) ก็คือแรงดันระหว่างสายนั่นเอง ดังนั้นในการต่อคอลย์ของเครื่องกำเนิดแบบ เดลต้า จะได้

$$E_p = E_L \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.8}$$

11.3.1 กระแสที่ไหลเมื่อต่อเครื่องกำเนิด แบบเดลต้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ห้วงจรเครื่องกำเนิดที่ต่อแบบ เดลต้า ดังรูปที่ 11.11(ก) จะพบว่ากระแสที่ไหลในสาย (Line Current) แต่ละสายคือกระแส I_{L1} , I_{L2} และ I_{L3} จะมีค่าเท่ากับ ผลรวมของกระแสที่ไหลในคอลย์ ทั้งสอง ที่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 11.11(ค) จะพบว่า I_{L1} คือผลรวมของ I_A กับ $-I_B$



(ก) ไดอะแกรมของคอลย์ (ข) เฟสเซอร์ของแรงดันและกระแส (ค) เฟสเซอร์ของกระแสในสาย (I_L)

รูปที่ 11.11 แสดงความสัมพันธ์และการวิเคราะห์กระแสที่ไหลในสาย

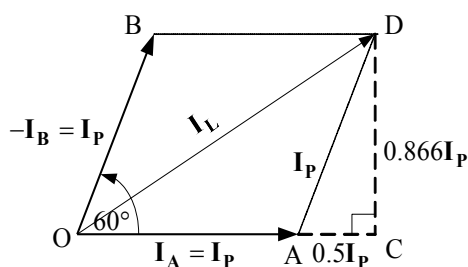
จากรูปที่ 11.11(ก) พิจารณาที่จุด A ใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้

$$I_A = I_{L1} + I_B \quad \text{หรือ} \quad I_{L1} = I_A - I_B$$

การบวก – ลบไฟฟ้ากระแสลับต้องพิจารณาทั้งขนาดและทิศทาง(มุม) ด้วย ดังนั้น

$$I_{L1} = I_A + (-I_B)$$

นั่นคือ ผลรวมทางเฟสเซอร์ของ กระแส I_A และ I_B พิจารณารูปที่ 11.11(ค) เมื่อทำการวิเคราะห์ หา I_L วาดรูปใหม่ได้ ดังรูปที่ 11.12



รูปที่ 11.12 แสดงการวิเคราะห์กระแสที่ไหลในสาย (Line Current)

จากรูปที่ 11.12 ใช้ทฤษฎีพีทาโกรัส วิเคราะห์และใช้วิธีของสมการเชิงเส้นแก้ปัญหา

ที่ $\triangle ACD$ จะได้ $CA = I_P \cos 60^\circ = 0.5I_P$

และ $DC = I_P \sin 60^\circ = 0.866I_P$

และเมื่อพิจารณาที่ $\triangle OCD$ จะพบว่า

$$I_L^2 = (DC)^2 + (CA + AO)^2$$

$$I_L^2 = (0.866)^2 + (0.5I_P + I_P)^2$$

$$I_L = \sqrt{(0.866I_P)^2 + (1.5I_P)^2}$$

$$I_L = \sqrt{3I_P^2}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 11.9}$$

เมื่อ I_L คือ กระแสที่ไหลในสาย (Line Current)

และ I_P คือ กระแสที่ไหลในเฟส (Phase Current)

จากรูปที่ 11.11(ก) และ 11.11(ข) สมการแรงดันชั่วขณะ และ สมการเฟสเซอร์ เขียนได้ดังต่อไปนี้

$$e_A = E_m \sin(\omega t + 0^\circ) \quad \text{หรือ} \quad \mathbf{E}_A = E_A \angle 0^\circ \text{ V} \quad \text{เมื่อ } E_A = 0.707 E_m$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad \text{หรือ} \quad \mathbf{E}_B = E_B \angle -120^\circ \text{ V} \quad \text{เมื่อ } E_B = 0.707 E_m$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad \text{หรือ} \quad \mathbf{E}_C = E_C \angle -240^\circ \text{ V} \quad \text{เมื่อ } E_C = 0.707 E_m$$

$$\text{หรือ} \quad e_C = E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \quad \text{และ} \quad \mathbf{E}_C = E_C \angle 120^\circ \text{ V}$$

จะพบว่า เหมือนกันกับ กรณีการต่อคอลย์ของเครื่องกำเนิด แบบ วาย

11.3.2 กำลังไฟฟ้าระบบ สามเฟส เมื่อ ต่อเครื่องกำเนิด แบบเดลต้า

กำลังงานไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานจริง หรือกำลังไฟฟ้าจริง ที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟส มีค่าเช่นเดียวกันกับ กำลังงานไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในวงจร 1 เฟส คือ $P = E_p I_p \cos \theta$

เมื่อ θ คือ มุมระหว่างแรงดันเฟส (E_p) กับกระแสที่ไหลในเฟส (I_p)

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส จะเป็น

$$P_T = 3P = 3E_p I_p \cos \theta$$

ในทางปฏิบัติ นิยมวัดค่าแรงดันระหว่างสาย และค่ากระแสที่ไหลในสาย จากความสัมพันธ์

$$E_p = E_L \quad \text{และ} \quad I_L = \sqrt{3} I_p \quad \text{หรือ} \quad I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad P_T = 3E_L \times \frac{I_L}{\sqrt{3}} \times \cos \theta$$

$$\text{หรือ} \quad P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta \quad ; \quad \text{เช่นเดียวกันกับกรณีของ การต่อแบบ วาย}$$

$$\text{แต่} \quad \cos \theta = \frac{P}{S} \quad \text{หรือ} \quad S = \frac{P}{\cos \theta}$$

เมื่อ $\cos \theta$ คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานจริง หรือกำลังไฟฟ้าจริง : W

S คือ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ : VA

$$\text{ดังนั้น} \quad S = \frac{\sqrt{3} E_L I_L \cos \theta}{\cos \theta}$$

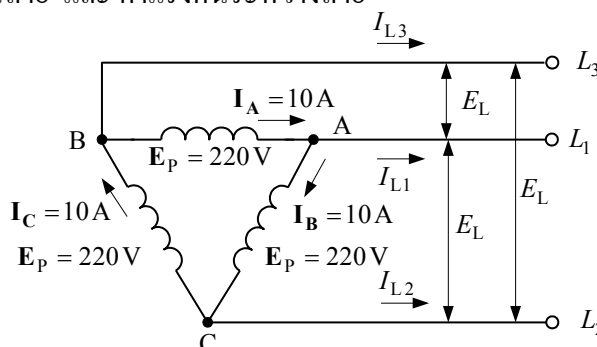
$$S = \sqrt{3} E_L I_L \quad ; \quad \text{เช่นเดียวกันกับกรณีของ การต่อแบบ วาย}$$

ขณะที่ เพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบ 3 เฟส ที่ต่อแบบ เดลต้า จะเท่ากับ

$$PF = \cos \theta = \frac{P_T}{\sqrt{3} E_L I_L} \quad ; \quad \text{เช่นเดียวกันกับกรณีของ การต่อแบบ วาย}$$

สรุป สูตรที่เกี่ยวข้องกับ กำลังไฟฟ้าในวงจรระบบ 3 เฟสนั้นไม่ว่าจะต่อแบบ วาย หรือ เดลต้า จะมีลักษณะเหมือนกัน

ตัวอย่างที่ 11.5 จากวงจรในรูปที่ 11.13 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบ 3 เฟส ต่อแบบ เดลต้า จงหา ค่ากระแสที่ไหลในสาย และ ค่าแรงดันระหว่างสาย



รูปที่ 11.13 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟสต่อแบบเดลต้า สำหรับตัวอย่างที่ 11.5

วิธีทำ (1) กระแสที่ไหลในสาย เมื่อเครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า คือ $I_L = \sqrt{3} I_P$

$$\therefore I_L = (1.732)(10 \text{ A}) = 17.32 \text{ A} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(2) ค่าแรงดันระหว่างสาย เมื่อเครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า คือ $E_L = E_P$

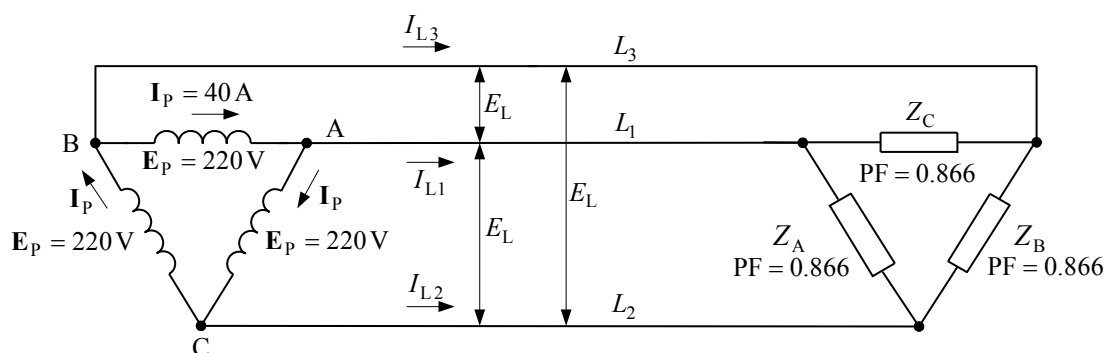
$$\therefore E_L = E_P = 220 \text{ V} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 11.6 จากวงจรในรูปที่ 11.14 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบ 3 เฟส ต่อแบบ เดลต้า ถ้าแต่ละเฟส จ่ายกระแสให้โหลด เดิมที่ เท่ากับ 40 A ที่แรงดันเฟส 220 V ขณะที่โหลดมีเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.866 จงหา (1) กระแสที่ไหลในสาย

(2) แรงดันระหว่างสาย

(3) กำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่ายเป็น kVA

(4) กำลังงานไฟฟ้าจริงที่เครื่องกำเนิดจ่ายเป็น kW



รูปที่ 11.14 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟสต่อแบบเดลต้า สำหรับตัวอย่างที่ 11.6

วิธีทำ (1) กระแสที่ไหลในสาย เมื่อเครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า คือ $I_L = \sqrt{3} I_P$

$$\therefore I_L = (1.732)(40 \text{ A}) = 69.28 \text{ A} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(2) แรงดันระหว่างสาย เมื่อเครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า คือ $E_L = E_P$

$$\therefore E_L = E_P = 220 \text{ V} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(3) กำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่ายเป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

$$\text{ดังนั้น} \quad S = (1.732)(220 \text{ V})(69.28 \text{ A})$$

$$\therefore S = 26,398.45 \text{ VA} = 26.39 \text{ kVA} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

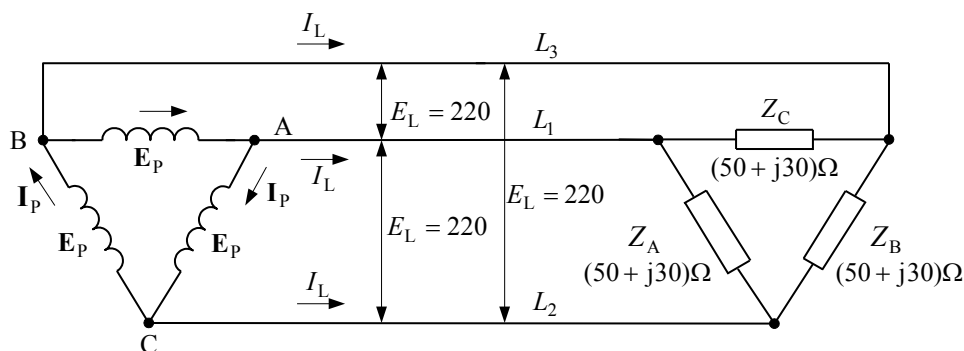
(4) กำลังงานไฟฟ้าจริงที่เครื่องกำเนิดจ่ายเป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$\text{ดังนั้น} \quad P_T = (1.732)(220 \text{ V})(69.28 \text{ A})(0.866)$$

$$\therefore P_T = 22,861.05 \text{ W} = 22.86 \text{ kW} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 11.7 จากวงจรในรูปที่ 11.15 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบ 3 เฟส ต่อแบบ เดลต้า ต่อเข้ากับ โหลดสมดุลย์ ค่า $(50 + j30)\Omega$ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว
- (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์
- (3) แรงดันที่เฟส
- (4) กระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละเฟส
- (5) กระแสในสาย
- (6) กำลังงานไฟฟ้าจริงทั้งหมด เป็น kW
- (7) กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA



รูปที่ 11.15 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟสต่อแบบเดลต้า สำหรับตัวอย่างที่ 11.7

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_T = (50 + j30)\Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z_T = \sqrt{(50)^2 + (30)^2}$

$$Z_T = \sqrt{(2,500) + (900)}$$

$$Z_T = \sqrt{3,400} = 58.31\Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(30/50)$

$$\theta = \tan^{-1}(0.6) = 30.96^\circ \cong 31^\circ$$

จะได้ $Z_T = 58.31/\underline{31^\circ} \Omega$

.....ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(30.96^\circ) = 0.857$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{50\Omega}{58.31\Omega} = 0.857$

.....ตอบ

(3) แรงดันที่เฟส $E_P = E_L = 220 \text{ V}$

.....ตอบ

(4) กระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละเฟส

$$I_P = \frac{E_P}{Z} = \frac{220 \text{ V}}{58.31\Omega} = 3.77 \text{ A}$$

.....ตอบ

(5) กระแสในสาย จากสมการ $I_L = \sqrt{3} I_P$

$$I_L = (1.732)(3.77 \text{ A}) = 6.53 \text{ A}$$

.....ตอบ

(6) กำลังงานไฟฟ้าจริงทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

ดังนั้น

$$P_T = (1.732)(220 \text{ V})(6.53 \text{ A})(0.857)$$

$$\therefore P_T = 2,132.38 \text{ W} = 2.13 \text{ kW}$$

.....ตอบ

(7) กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

ดังนั้น

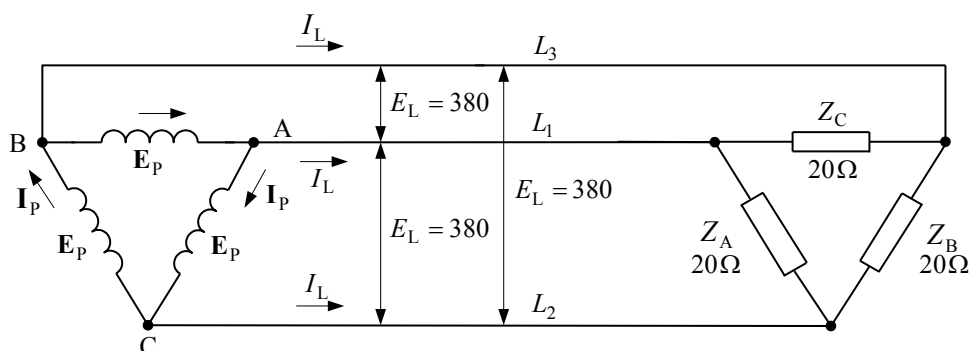
$$S = (1.732)(220 \text{ V})(6.53 \text{ A})$$

$$\therefore S = 2,488.19 \text{ VA} = 2.48 \text{ kVA}$$

.....ตอบ

ตัวอย่างที่ 11.8 จากวงจรในรูปที่ 11.16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบ 3 เฟส ต่อแบบ เดลต้า ต่อเข้ากับ โหลดสมดุลย์ ความต้านทานอย่างเดียวก่า 20Ω จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว
- (2) เพาเวอร์แฟคเตอร์
- (3) แรงดันดันที่โหลดแต่ละตัว(หรือแรงดันที่เฟส)
- (4) กระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละเฟส
- (5) กระแสในสาย
- (6) กำลังงานไฟฟ้าจริงทั้งหมด เป็น kW
- (7) กำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA



รูปที่ 11.16 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟสต่อแบบเดลต้า สำหรับตัวอย่างที่ 11.8

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_A = Z_B = Z_C = (20 + j0) \Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(20)^2 + (0)^2}$

$$Z = \sqrt{(400) + (0)}$$

$$Z = \sqrt{400} = 20 \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(0/20)$

$$\theta = \tan^{-1}(0) = 0^\circ$$

จะได้ $Z = 20/0^\circ \Omega$

.....ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(0^\circ) = 1$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{20 \Omega}{20 \Omega} = 1$

.....ตอบ

(3) แรงดันดันที่โหลดแต่ละตัว(หรือแรงดันที่เฟส)

$$E_P = E_L = 380 \text{ V}$$

.....ตอบ

(4) กระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละเฟส

$$I_p = \frac{E_p}{Z} = \frac{380 \text{ V}}{20 \Omega} = 19 \text{ A} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(5) กระแสในสาย จากสมการ $I_L = \sqrt{3} I_p$

$$I_L = (1.732)(19 \text{ A}) = 32.9 \text{ A} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(6) กำลังงานไฟฟ้าจริงทั้งหมด เป็น kW

จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

ดังนั้น $P_T = (1.732)(380 \text{ V})(32.9 \text{ A})(1)$

$$\therefore P_T = 21,653.46 \text{ W} = 21.65 \text{ kW} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(7) กำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA

จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

ดังนั้น $S = (1.732)(380 \text{ V})(32.9 \text{ A})$

$$\therefore S = 21,653.46 \text{ VA} = 21.65 \text{ kVA} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

จะพบว่า $S = P$ เนื่องจากเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ หนึ่ง ($\text{PF} = 1$)

ตัวอย่างที่ 11.9 มอเตอร์สามเฟส ต่อแบบวาย ต้องการกระแส 20 A ต่อขั้ว (terminal) ถ้าแรงดันระหว่างสายมีค่า 380 V และเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 0.8 ถ้าหลัง จงหาค่ากำลังงานไฟฟ้า ที่มอเตอร์ต้องใช้

วิธีทำ จากโจทย์ สรุปได้ว่า แรงดันระหว่างสาย $E_L = 380 \text{ V}$ และ $I_p = I_L = 20 \text{ A}$

จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

ดังนั้น $P_T = (1.732)(380 \text{ V})(20 \text{ A})(0.8)$

$$\therefore P_T = 10,530 \text{ W} = 10.53 \text{ kW} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 11.10 เครื่องกำเนิดสามเฟส ต่อแบบเดลต้า ขณะจ่ายโหลดเต็มที่ (full-load) มีกระแสไหลในแต่ละเฟสเท่ากับ 10 A ที่แรงดัน 220 V และเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 0.8 ถ้าหลัง จงหา

(1) แรงดันระหว่างสาย

(2) กระแสที่ไหลในสาย

(3) กำลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเป็น kW

(4) กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏเป็น kVA

วิธีทำ (1) แรงดันระหว่างสาย $E_L = E_p = 220 \text{ V}$

.....ตอบ

(2) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = \sqrt{3} I_p = (1.732)(10 \text{ A}) = 17.32 \text{ A}$

.....ตอบ

(3) กำลังงานไฟฟ้าทั้งหมด $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta = (1.732)(220 \text{ V})(17.32 \text{ A})(0.8)$

$$\therefore P_T = 5,279.69 \text{ W} = 5.28 \text{ kW} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(4) กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ $S = \sqrt{3} E_L I_L = (1.732)(220 \text{ V})(17.32 \text{ A})$

$$\therefore S = 6,599.61 \text{ VA} = 6.6 \text{ kVA} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

สรุปสาระสำคัญ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ประกอบด้วย ขดลวดตัวนำ 3 ชุด แต่ละชุดวางตัวห่างกัน 120° ไฟฟ้าระบบ 3 เฟสมีข้อดีกว่าระบบ 1 เฟส คือ ใช้ลวดตัวนำทองแดงที่มีขนาดเล็กกว่า และยังให้กำลังไฟฟ้างที่

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ต่อขดลวดแบบวาย หรือ สตาร์ จะมีค่ากระแสที่ไหลในเฟสเท่ากับ กระแสที่ไหลในสาย ($I_p = I_L$) แต่แรงดันที่สายมากกว่าแรงดันที่เฟส อยู่ $\sqrt{3}$ เท่า ($V_L = \sqrt{3} V_p$)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ต่อขดลวดแบบเดลต้า จะมีค่ากระแสที่ไหลในสายเท่ามากกว่า กระแสที่ไหลในเฟสอยู่ $\sqrt{3}$ เท่า ($I_L = \sqrt{3} I_p$) และแรงดันที่สายเท่ากับแรงดันที่เฟส ($V_L = V_p$)

โหลดสมดุล หมายถึง โหลดที่มี อิมพีแดนซ์เท่ากันทั้ง 3 เฟส

กำลังไฟฟ้า ของ เครื่องกำเนิดที่ต่อแบบ วาย หรือ สตาร์ และแบบเดลต้า มีสูตรในการคำนวณเหมือนกัน ในแต่ละเฟส เป็นกรณีเดียวกับ 1 เฟส คือ $P = E_p I_p \cos \theta$ และทั้ง 3 เฟส

$$\text{คือ } P_T = 3P = 3E_p I_p \cos \theta \text{ หรือ } P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$$

$$\text{ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ คือ } S = \sqrt{3} E_L I_L$$

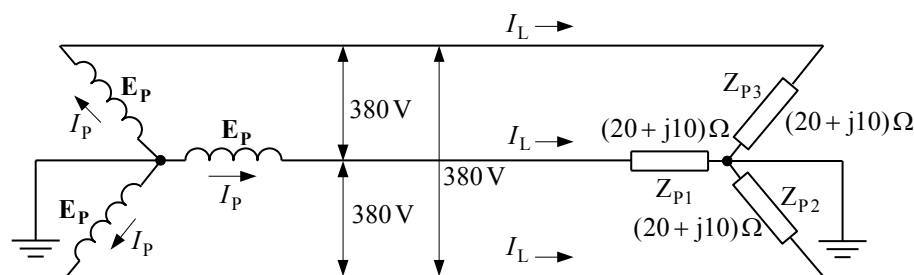
เพาเวอร์แฟคเตอร์ หา หรือคำนวณได้จากสมการ $PF = \cos \theta$ เมื่อ θ เป็นมุมระหว่างกระแสและแรงดัน ที่ปรากฏที่โหลด หรือ หา เพาเวอร์แฟคเตอร์ได้จากความสัมพันธ์ของ อัตราส่วน ของ ค่าความต้านทาน กับค่าอิมพีแดนซ์รวม ของโหลด คือ $PF = \frac{R}{Z}$ แต่ถ้าโหลดมีเฉพาะค่าความต้านทานเพียงอย่างเดียวจะได้ $PF = 1$

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 11 ระบบไฟฟ้าสามเฟส

1. จากวงจรในรูปที่ 11.17 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา
- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟส ในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่โหลด (แรงดันเฟส)
 - (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW
 - (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA

ตอบ (1) $22.36/\underline{26.56^\circ} \Omega$ (2) 0.89 (3) 220 V (4) 9.38 A (5) 9.38 A (6) 5.48 kW (7) 6.16 kVA

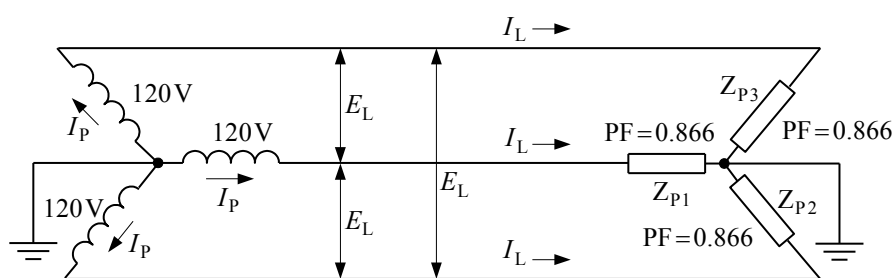


รูปที่ 11.17 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อ 1

2. จากวงจรในรูปที่ 11.18 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย จ่ายกระแสให้โหลดได้เต็มที่เท่ากับ 120 A และต่อเข้ากับโหลดที่มีค่า PF = 0.866 จงหา

- (1) แรงดันระหว่างสาย (2) กระแสที่จ่ายให้โหลดเต็มที่ต่อเฟส
- (3) กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้เต็มที่ เป็น kW (4) อัตราปิกของเครื่องกำเนิด เป็น kVA

ตอบ (1) 207.84 V (2) 120 A (3) 37.4 kW (4) 43.19 kVA

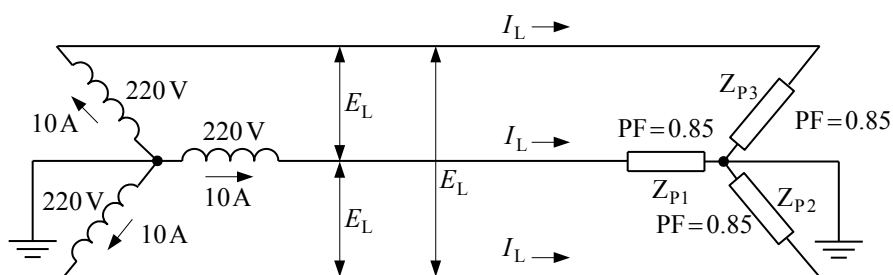


รูปที่ 11.18 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

3. จากวงจรในรูปที่ 11.19 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย ในขณะที่จ่ายกำลังให้โหลดมีกระแสไหลในเฟส 10 A ที่แรงดันต่อเฟส เท่ากับ 220 V และ ค่า PF ที่โหลดเท่ากับ 0.85 จงหา

- (1) แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด (2) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อเฟส (3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด

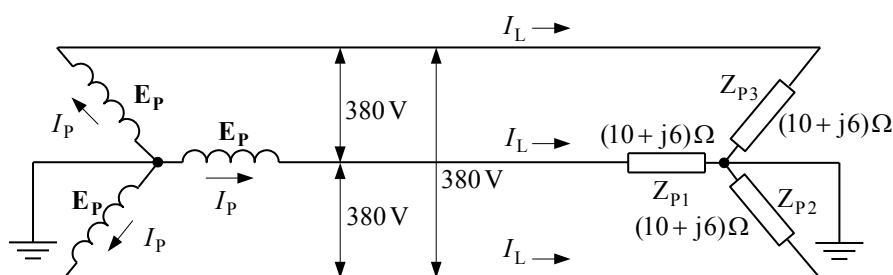
ตอบ (1) 381 V (2) 1.87 kW (3) 5.6 kW



รูปที่ 11.19 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

4. จากวงจรในรูปที่ 11.20 เครื่องกำหนดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา
- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
 - (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
 - (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA

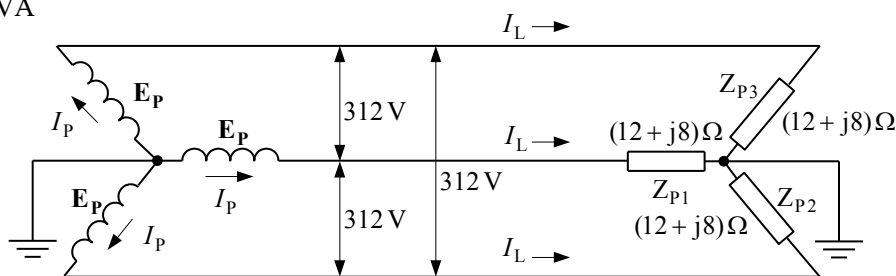
ตอบ (1) $11.66/\underline{31^\circ} \Omega$ (2) $PF = 0.857$ (3) 220 V (4) 18.86 A (5) 18.86 A
 (6) 3.55 kW (7) 10.62 kW (8) 12.41 kVA



รูปที่ 9.20 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

5. จากวงจรในรูปที่ 11.21 เครื่องกำหนดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา
- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
 - (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
 - (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA

ตอบ (1) $14.42/\underline{33.66^\circ} \Omega$ (2) 0.83 (3) 180 V (4) 12.48 A (5) 12.48 A (6) 1.86 kW (7) 5.59 kW
 (8) 6.73 kVA

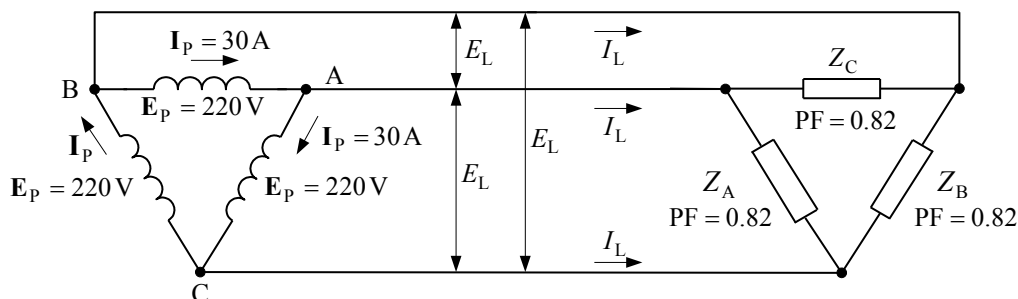


รูปที่ 11.21 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

6. จากวงจรในรูปที่ 11.22 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) กระแสที่ไหลในสาย (2) แรงดันระหว่างสาย (3) กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่าย เป็น kVA
(4) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด เป็น kW (5) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว

ตอบ (1) 51.96 A (2) 220 V (3) 19.79 kVA (4) 16.23 kW (5) 5.41 kW



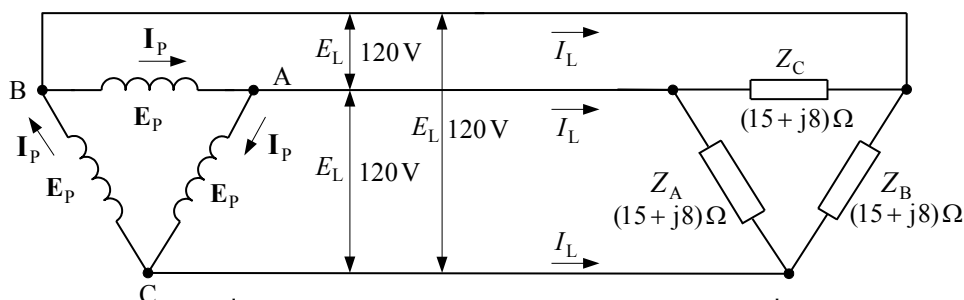
รูปที่ 11.22 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. จากวงจรในรูปที่ 11.23 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA

ตอบ (1) $17/\underline{28^\circ} \Omega$ (2) 0.88 (3) 120 V (4) 7.05 A (5) 12.21 A (6) 744.48 W (7) 2.23 kW

(8) 2.53 kVA

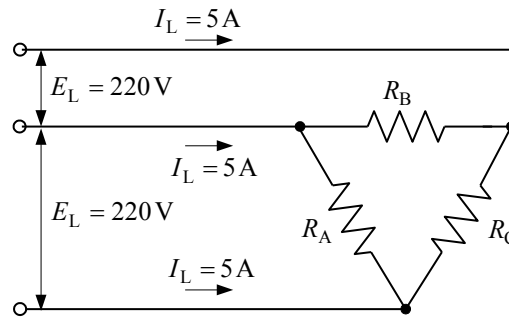


รูปที่ 11.23 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

8. จากวงจรในรูปที่ 11.24 โหลดสมดุลต่อแบบเดลต้า ถ้ากระแสที่ไหลในสายเท่ากับ 10 A จงหา

- (1) แรงดันที่เฟส (f_R) (2) กระแสที่ไหลในแต่ละเฟส (3) ความต้านทานโหลด

ตอบ (1) 220 V (2) 2.88 A (3) 76.4 Ω

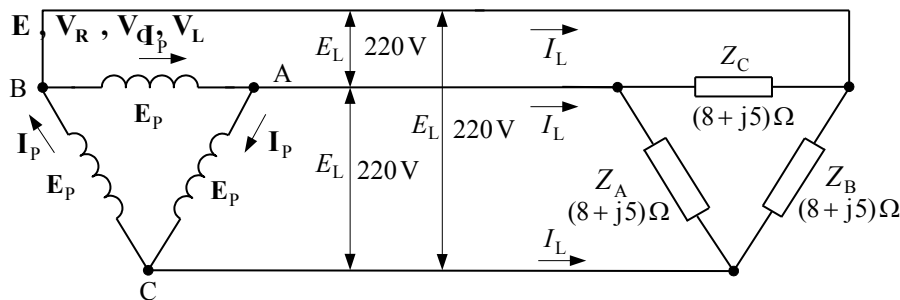


รูปที่ 11.24 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

9. จากวงจรในรูปที่ 11.25 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
- (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
- (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA

ตอบ (1) $9.43/32^\circ \Omega$ (2) 0.84 (3) 220 V (4) 23.33 A (5) 40.39 A (6) 4.31 kW (7) 12.92 kW (8) 15.39 kVA

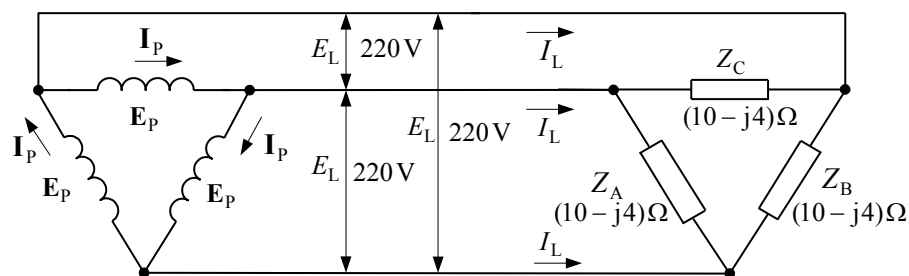


รูปที่ 9.25 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

10. จากวงจรในรูปที่ 11.26 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
- (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
- (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA

ตอบ (1) $10.77/-21.8^\circ \Omega$ (2) 0.92 (3) 220 V (4) 20.42 A (5) 35.37 A (6) 4.13 kW (7) 12.39 kW (8) 13.47 kVA



รูปที่ 11.26 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

แบบทดสอบหลังเรียน

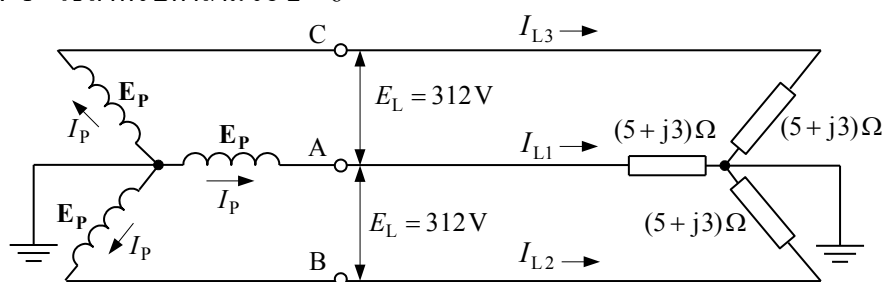
หน่วยที่ 11 ระบบไฟฟ้าสามเฟส

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ในการลำดับเฟสแบบบวก เฟส C จะมีเฟสเซอร์ เป็นข้อใด

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| ก. $E_C / 0^\circ$ | ข. $E_C / 120^\circ$ |
| ค. $E_C / -120^\circ$ | ง. $E_C / 90^\circ$ |

จากรูปที่ 1 ใช้สำหรับคำถามข้อ 2 – 6



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบวาย

2. ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ ในวงจรรูปที่ 1 มีค่าเท่าใด

- | | |
|----------|----------|
| ก. 0.6 | ข. 0.866 |
| ค. 0.857 | ง. 0.83 |

3. แรงดันเฟส มีค่าเท่าใด

- | | |
|----------|----------|
| ก. 180 V | ข. 380 V |
| ค. 220 V | ง. 120 V |

4. กระแสที่ไหลในสาย มีค่าเท่าใด

- | | |
|------------|------------|
| ก. 53.46 A | ข. 62.4 A |
| ค. 17.82 A | ง. 30.87 A |

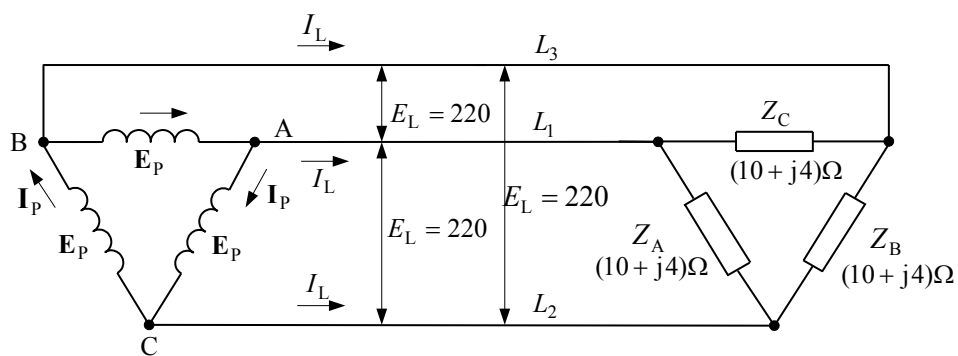
5. กำลังไฟฟ้าจริง มีค่าเท่าใด

- | | |
|------------|------------|
| ก. 8.42 kW | ข. 9.65 kW |
| ค. 5.55 kW | ง. 9.62 kW |

6. กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีค่าเท่าใด

- | | |
|-------------|-------------|
| ก. 9.65 kVA | ข. 9.62 kVA |
| ค. 5.55 kVA | ง. 8.42 kW |

จากรูปที่ 2 ใช้สำหรับคำถามข้อ 7 – 10



รูปที่ 2 วงจรไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า

7. เพาเวอร์แฟคเตอร์ มีค่าเท่าใด

ก. 0.80

ข. 0.88

ค. 0.84

ง. 0.92

8. แรงดันเฟส มีค่าเท่าใด

ก. 120 V

ข. 180 V

ค. 220 V

ง. 380 V

9. กระแสที่ไหลในสาย มีค่าเท่าใด

ก. 35.37 A

ข. 30 A

ค. 20.42 A

ง. 20 A

10. กำลังงานจริงทั้งหมด มีค่าเท่าใด

ก. 13.46 kW

ข. 4.1 kW

ค. 12.5 kW

ง. 13.46 kVA

เอกสารอ้างอิง

- บุญเรือง วังศิลาบัตร. (2555). **วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ**. นนทบุรี : บริษัทธนภัทร(2006)
พรีนติ้ง จำกัด
- พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. (2546). **วงจรไฟฟ้า 2**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพะ.
- มงคล ทองสงคราม. (2540). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 2**. กรุงเทพฯ : หจก. วิ.เจ.พรีนติ้ง.
- มงคล ทองสงคราม. (2542). **พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า 2**. กรุงเทพฯ : บริษัทรามการพิมพ์
จำกัด.
- ไมตรี วรวิจิตรยากุล. (2554). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 3**. กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989)
จำกัด
- สาขันธ์ ชื่นอารมณ์. (2557). **คณิตศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพะ.
- ศรีศักดิ์ น้อยไร่ภูมิ. (2557). **วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- อดุลย์ กัลยาแก้ว. , ประพันธ์ พิพัฒน์สุข. (2546). **วงจรไฟฟ้า 2**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริม
อาชีพะ.
- Benjamin Zeines. **Electric circuit analysis.**, Bombay. Reston Publishing Co. INC. 1979.
- Charles K. Alexander Matthew N.O. Sadiku. **Fundamentals of Electric Circuits**. Second
Edition Singapore. McGraw-Hill. 2004.
- Thomas L. Floyd. **Principles of Electric Circuits Conventional Current Version**. 7th. Ed. New
Jersey. Prentice-Hall. 2003.

ภาคผนวก

- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายหน่วย

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 11

- | | | | | | | |
|------|------|-------|------|------|------|------|
| 1. ก | 2. ข | 3. ง | 4. ค | 5. ง | 6. ก | 7. ค |
| 8. ข | 9. ง | 10. ข | | | | |

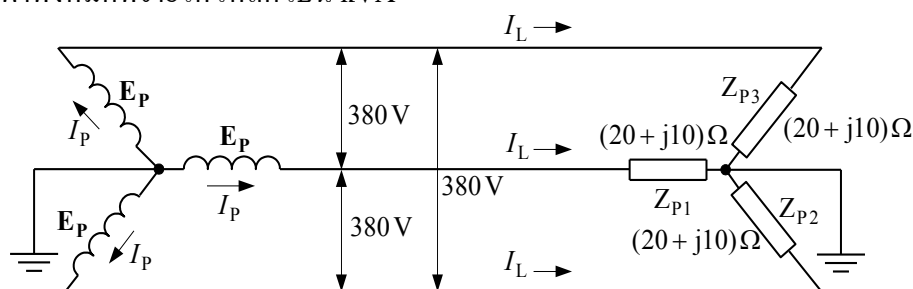
เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 11

- | | | | | | | |
|------|------|-------|------|------|------|------|
| 1. ข | 2. ค | 3. ก | 4. ง | 5. ก | 6. ข | 7. ง |
| 8. ค | 9. ก | 10. ค | | | | |

เฉลยแบบฝึกหัด

หน่วยที่ 11 ระบบไฟฟ้าสามเฟส

1. จากวงจรในรูปที่ 11.17 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา
- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟส ในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ (3) แรงดันที่โหลด (แรงดันเฟส)
 - (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW
 - (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA



รูปที่ 11.17 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อ 1

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_P = Z_A = Z_B = Z_C = (20 + j10)\Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(20)^2 + (10)^2} = \sqrt{(400) + (100)}$

$$Z = \sqrt{500} = 22.36 \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(10/20)$

$$\theta = \tan^{-1}(0.5) = 26.56^\circ$$

จะได้ $Z = 22.36/26.56^\circ \Omega$ ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(26.56^\circ) = 0.89$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{20\Omega}{22.36\Omega} = 0.89$ ตอบ

(3) แรงดันที่โหลด (แรงดันเฟส)

$$E_P = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{380V}{1.73} = 219.65 \cong 220V$$
ตอบ

(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส

$$I_P = \frac{E_P}{Z_P} = \frac{220V}{22.36\Omega} = 9.38A$$
ตอบ

(5) กระแสที่ไหลในสาย

$$I_L = I_P = 9.38A$$
ตอบ

(6) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.73)(380V)(9.38A)(0.89)$$

$$\therefore P_T = 5,488.1 \text{ W} = 5.48 \text{ kW}$$

.....ตอบ

(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลดเป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

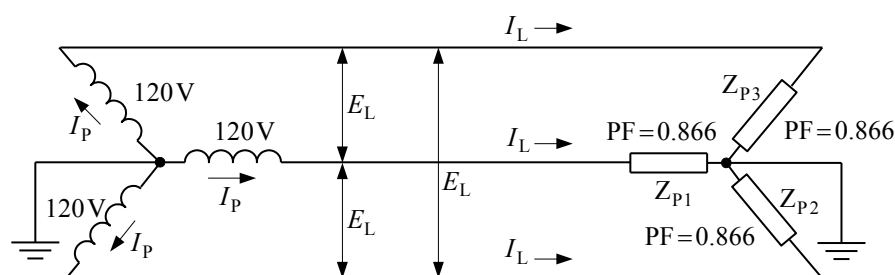
$$S = 1.73(380 \text{ V})(9.38 \text{ A}) = 6,166.4 \text{ VA}$$

$$\therefore S = 6.16 \text{ kVA}$$

.....ตอบ

2. จากวงจรในรูปที่ 11.18 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย จ่ายกระแสให้โหลดได้เต็มที่เท่ากับ 120 A และต่อเข้ากับโหลดที่มีค่า PF = 0.866 จงหา

- (1) แรงดันระหว่างสาย (2) กระแสที่จ่ายให้โหลดเต็มที่ต่อเฟส
(3) กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้เต็มที่ เป็น kW (4) อัตราพิกัดของเครื่องกำเนิด เป็น kVA



รูปที่ 11.18 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

วิธีทำ (1) แรงดันระหว่างสาย $E_L = \sqrt{3} E_P = (1.732)(120 \text{ V}) = 207.84 \text{ V}$

.....ตอบ

(2) กระแสที่จ่ายให้โหลดเต็มที่ต่อเฟส $I_L = I_P = 120 \text{ A}$

.....ตอบ

(3) กำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้เต็มที่ เป็น kW

$$\text{จากสมการ } P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$$

$$P_T = (1.73)(207.84 \text{ V})(120 \text{ A})(0.866)$$

$$\therefore P_T = 37,409 \text{ W} = 37.4 \text{ kW}$$

.....ตอบ

(4) อัตราพิกัดของเครื่องกำเนิด เป็น kVA

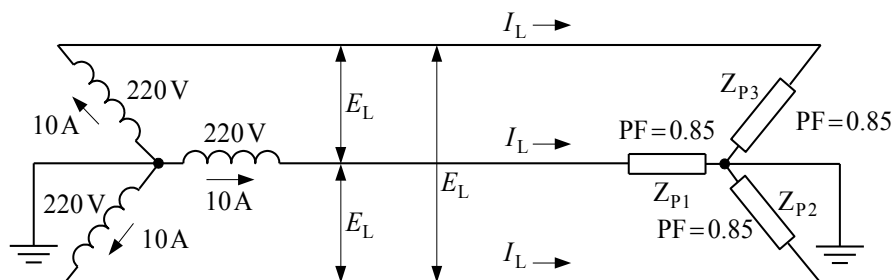
$$\text{จากสมการ } S = \sqrt{3} E_L I_L = (1.732)(207.84 \text{ V})(120 \text{ A}) = 43,197.46 \text{ VA}$$

$$\therefore S = 43.19 \text{ kVA}$$

.....ตอบ

3. จากวงจรในรูปที่ 11.19 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย ในขณะที่จ่ายกำลังให้โหลดมีกระแสไหลในเฟส 10 A ที่แรงดันต่อเฟส เท่ากับ 220 V และ ค่า PF ที่โหลดเท่ากับ 0.85 จงหา

(1) แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด (2) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อเฟส (3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด



รูปที่ 11.19 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

วิธีทำ (1) แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด

$$E_L = \sqrt{3} E_p = (1.732)(220 \text{ V}) = 381 \text{ V} \quad \text{.....ตอบ}$$

(2) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อเฟส จากสมการ $P = E_p I_p \cos \theta$

$$P = (220 \text{ V})(10 \text{ A})(0.85) = 1,870 \text{ W}$$

$$\therefore P = 1.87 \text{ kW} \quad \text{.....ตอบ}$$

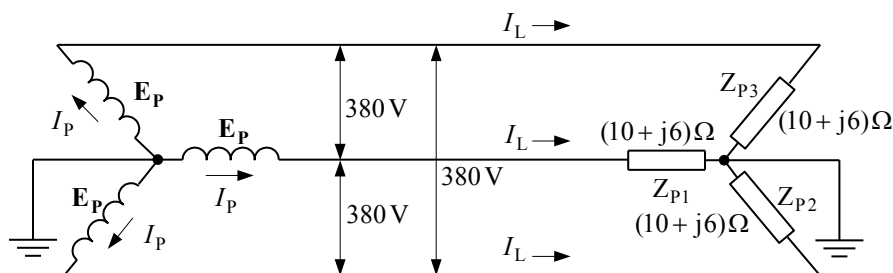
(3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.732)(381 \text{ V})(10 \text{ A})(0.85) = 5,609 \text{ W}$$

$$\therefore P_T = 5.6 \text{ kW} \quad \text{.....ตอบ}$$

4. จากวงจรในรูปที่ 11.20 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงซ้อน (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA



รูปที่ 9.20 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงซ้อน จาก $Z_p = Z_A = Z_B = Z_C = (10 + j6) \Omega$

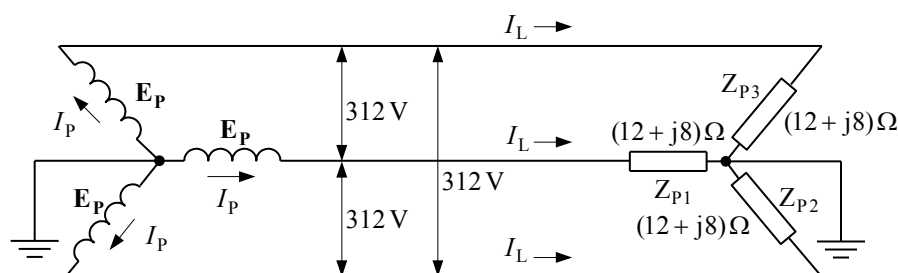
แปลงให้อยู่ในรูปเชิงซ้อนได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(10)^2 + (6)^2} = \sqrt{(100) + (36)}$

$$Z = \sqrt{136} = 11.66 \Omega$$

- และ $\theta = \tan^{-1}(6/10)$
 $\theta = \tan^{-1}(0.6) = 31^\circ$
 จะได้ $Z = 11.66/31^\circ \Omega$ ตอบ
- (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$
 $PF = \cos(31^\circ) = 0.857$
 หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{10\Omega}{11.66\Omega} = 0.857$ ตอบ
- (3) แรงดันที่เฟส $E_P = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{380V}{1.73} = 219.65 \cong 220V$ ตอบ
- (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส
 $I_P = \frac{E_P}{Z_P} = \frac{220V}{11.66\Omega} = 18.86 A$ ตอบ
- (5) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = I_P = 18.86 A$ ตอบ
- (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว จากสมการ $P = E_P I_P \cos \theta$
 $P = (220V)(18.86A)(0.857) = 3,555.8 W$
 $\therefore P = 3.55 kW$ ตอบ
- (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$
 $P_T = (1.73)(380V)(18.86A)(0.857)$
 $\therefore P_T = 10,625.57 W = 10.62 kW$ ตอบ
- (8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$
 $S = (1.732)(380V)(18.86A) = 12,412.89 VA$
 $\therefore S = 12.41 kVA$ ตอบ

5. จากวงจรในรูปที่ 11.21 เครื่องกำเนิดต่อแบบวาย และต่อเข้ากับโหลดสมดุล จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
 (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
 (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA



รูปที่ 11.21 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_P = Z_A = Z_B = Z_C = (12 + j8)\Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(12)^2 + (8)^2} = \sqrt{(144) + (64)}$

$$Z = \sqrt{208} = 14.42 \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(8/12)$

$$\theta = \tan^{-1}(0.666) = 33.66^\circ$$

จะได้ $Z = 14.42/33.66^\circ \Omega$ ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(33.66^\circ) = 0.83$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{12\Omega}{14.42\Omega} = 0.83$ ตอบ

(3) แรงดันที่เฟส $E_P = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{312 V}{1.732} = 180.13 \cong 180 V$ ตอบ

(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส

$$I_P = \frac{E_P}{Z_P} = \frac{180 V}{14.42 \Omega} = 12.48 A$$
ตอบ

(5) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = I_P = 12.48 A$ ตอบ

(6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว จากสมการ $P = E_P I_P \cos \theta$

$$P = (180 V)(12.48 A)(0.83) = 1,846.51 W$$

$$\therefore P = 1.86 kW$$
ตอบ

(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.732)(312 V)(12.48 A)(0.83)$$

$$\therefore P_T = 5,597.5 W = 5.59 kW$$
ตอบ

(8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

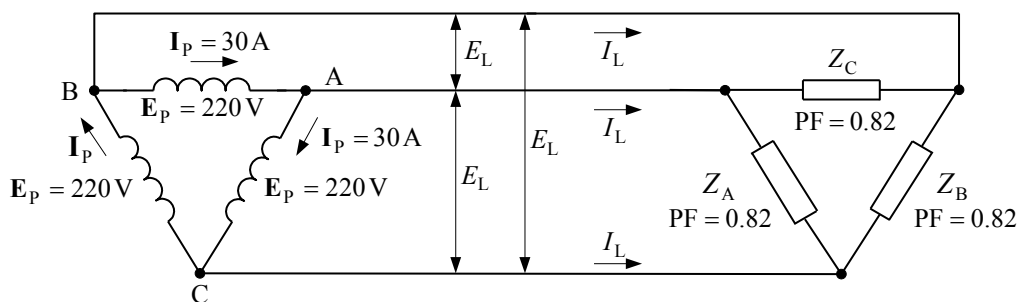
$$S = (1.732)(312 V)(12.48 A) = 6,735 VA$$

$$\therefore S = 6.73 kVA$$
ตอบ

6. จากวงจรในรูปที่ 11.22 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

(1) กระแสที่ไหลในสาย (2) แรงดันระหว่างสาย (3) กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่าย เป็น kVA

(4) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด เป็น kW (5) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว



รูปที่ 11.22 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

วิธีทำ (1) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = \sqrt{3}I_p = (1.732)(30\text{ A}) = 51.96\text{ A}$ ตอบ

(2) แรงดันระหว่างสาย $E_L = E_p = 220\text{ V}$ ตอบ

(3) กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่ายเป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3}E_L I_L$

$$S = (1.732)(220\text{ V})(51.96\text{ A}) = 19,789.83\text{ VA}$$

$$\therefore S = 19.79\text{ kVA} \quad \text{.....ตอบ}$$

(4) กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดเป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3}E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.732)(220\text{ V})(51.96\text{ A})(0.82)$$

$$\therefore P_T = 16,235.04\text{ W} = 16.23\text{ kW} \quad \text{.....ตอบ}$$

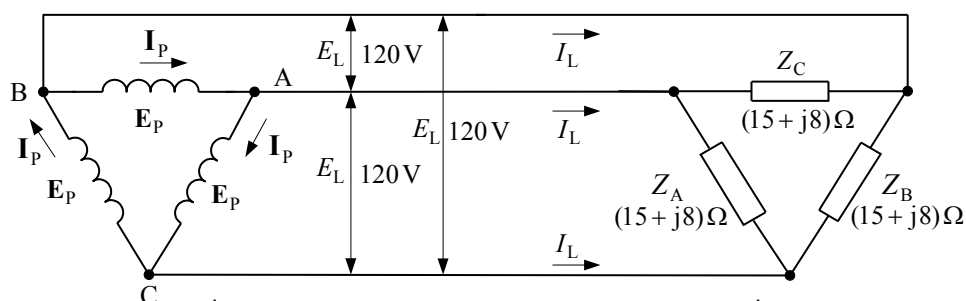
(5) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว จากสมการ $P = E_p I_p \cos \theta$

$$P = (220\text{ V})(30\text{ A})(0.82) = 5,412\text{ W}$$

$$\therefore P = 5.41\text{ kW} \quad \text{.....ตอบ}$$

7. จากวงจรในรูปที่ 11.23 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้าและต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
 (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
 (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดเป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลดเป็น kVA



รูปที่ 11.23 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_p = Z_A = Z_B = Z_C = (15 + j8)\Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(15)^2 + (8)^2} = \sqrt{(225) + (64)}$

$$Z = \sqrt{289} = 17\ \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(8/15)$

$$\theta = \tan^{-1}(0.533) = 28^\circ$$

จะได้ $Z = 17/28^\circ \Omega$ ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(28^\circ) = 0.88$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{15\Omega}{17\Omega} = 0.88$ ตอบ

(3) แรงดันที่เฟส $E_p = E_L = 120 \text{ V}$ ตอบ

(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส

$$I_p = \frac{E_p}{Z_p} = \frac{120 \text{ V}}{17\Omega} = 7.05 \text{ A}$$
ตอบ

(5) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = \sqrt{3}I_p = (1.732)(7.05 \text{ A}) = 12.21 \text{ A}$ ตอบ

(6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว จากสมการ $P = E_p I_p \cos \theta$

$$P = (120 \text{ V})(7.05 \text{ A})(0.88) = 744.48 \text{ W}$$
ตอบ

(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.732)(120 \text{ V})(12.21 \text{ A})(0.88)$$

$$\therefore P_T = 2,233.19 \text{ W} = 2.23 \text{ kW}$$
ตอบ

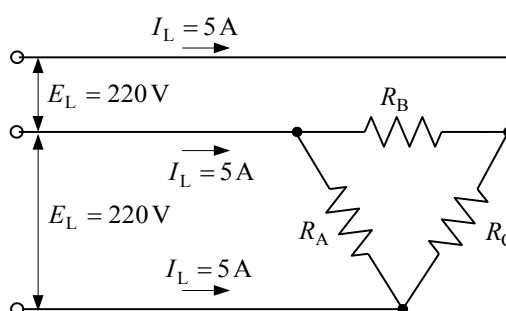
(8) กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้โหลด เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

$$S = (1.732)(120 \text{ V})(12.21 \text{ A}) = 2,537.72 \text{ VA}$$

$$\therefore S = 2.53 \text{ kVA}$$
ตอบ

8. จากวงจรในรูปที่ 11.24 โหลดสมดุลต่อแบบเดลต้า ถ้ากระแสที่ไหลในสายเท่ากับ 10 A จงหา

(1) แรงดันที่เฟส (2) กระแสที่ไหลในแต่ละเฟส (3) ความต้านทานโหลด



รูปที่ 11.24 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

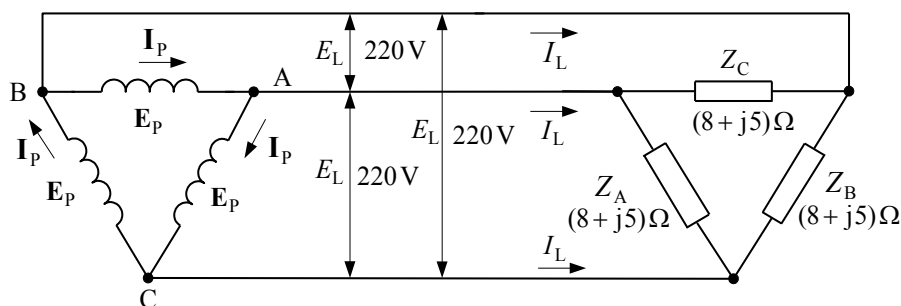
วิธีทำ (1) แรงดันที่เฟส $E_p = E_L = 220 \text{ V}$ ตอบ

(2) กระแสที่ไหลในแต่ละเฟส $I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{5 \text{ A}}{1.732} = 2.88 \text{ A}$ ตอบ

(3) ความต้านทานโหลด $R_p = R = \frac{E_p}{I_p} = \frac{220 \text{ V}}{2.88 \text{ A}} = 76.4 \Omega$ ตอบ

9. จากวงจรในรูปที่ 11.25 เครื่องกำเนิดต่อแบบเคลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
 (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
 (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA



รูปที่ 9.25 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_p = Z_A = Z_B = Z_C = (8 + j5) \Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(8)^2 + (5)^2} = \sqrt{(64) + (25)}$

$$Z = \sqrt{89} = 9.43 \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(5/8)$

$$\theta = \tan^{-1}(0.625) = 32^\circ$$

จะได้ $Z = 9.43/32^\circ \Omega$ ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟกเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(32^\circ) = 0.84$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{8 \Omega}{9.43 \Omega} = 0.84$ ตอบ

(3) แรงดันที่เฟส $E_p = E_L = 220 \text{ V}$ ตอบ

(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส

$$I_p = \frac{E_p}{Z_p} = \frac{220 \text{ V}}{9.43 \Omega} = 23.33 \text{ A}$$
ตอบ

(5) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = \sqrt{3}I_p = (1.732)(23.33 \text{ A}) = 40.39 \text{ A}$ ตอบ

(6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว จากสมการ $P = E_p I_p \cos \theta$

$$P = (220 \text{ V})(23.33 \text{ A})(0.84) = 4,311.38 \text{ W}$$

$$\therefore P = 4.31 \text{ kW}$$
ตอบ

(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.732)(220 \text{ V})(40.39 \text{ A})(0.84)$$

$$\therefore P_T = 12,927.77 \text{ W} = 12.92 \text{ kW}$$

.....ตอบ

(8) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

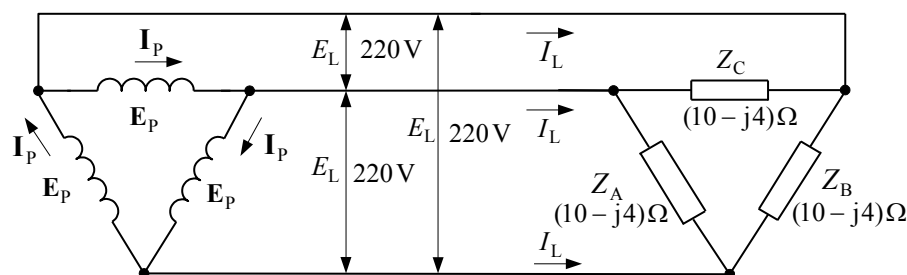
$$S = (1.732)(220 \text{ V})(40.39 \text{ A}) = 15,390.2 \text{ VA}$$

$$\therefore S = 15.39 \text{ kVA}$$

.....ตอบ

10. จากวงจรในรูปที่ 11.26 เครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า และต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ จงหา

- (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว (2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ (3) แรงดันที่เฟส
 (4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส (5) กระแสที่ไหลในสาย (6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว
 (7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW (8) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA



รูปที่ 11.26 วงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟส สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

วิธีทำ (1) อิมพีแดนซ์ต่อเฟสในรูปเชิงขั้ว จาก $Z_P = Z_A = Z_B = Z_C = (10 - j4) \Omega$

แปลงให้อยู่ในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้ $Z = \sqrt{(10)^2 + (-4)^2} = \sqrt{(100) + (16)}$

$$Z = \sqrt{116} = 10.77 \Omega$$

และ $\theta = \tan^{-1}(-4/10)$

$$\theta = \tan^{-1}(-0.4) = -21.8^\circ$$

จะได้ $Z = 10.77 / -21.8^\circ \Omega$

.....ตอบ

(2) เพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก $PF = \cos \theta$

$$PF = \cos(-21.8^\circ) = 0.92$$

หรือ $PF = \frac{R}{Z} = \frac{10 \Omega}{10.77 \Omega} = 0.92$

.....ตอบ

(3) แรงดันที่เฟส $E_P = E_L = 220 \text{ V}$

.....ตอบ

(4) กระแสที่ไหลในโหลดแต่ละเฟส

$$I_P = \frac{E_P}{Z_P} = \frac{220 \text{ V}}{10.77 \Omega} = 20.42 \text{ A}$$

.....ตอบ

(5) กระแสที่ไหลในสาย $I_L = \sqrt{3} I_P = (1.732)(20.42 \text{ A}) = 35.37 \text{ A}$

.....ตอบ

(6) กำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัว จากสมการ $P = E_p I_p \cos \theta$

$$P = (220 \text{ V})(20.42 \text{ A})(0.92) = 4,133 \text{ W}$$

$$\therefore P = 4.13 \text{ kW} \quad \text{.....}\underline{\underline{\text{ตอบ}}}$$

(7) กำลังไฟฟ้าทั้งหมด เป็น kW จากสมการ $P_T = \sqrt{3} E_L I_L \cos \theta$

$$P_T = (1.732)(220 \text{ V})(35.37 \text{ A})(0.92)$$

$$\therefore P_T = 12,399 \text{ W} = 12.39 \text{ kW} \quad \text{.....}\underline{\underline{\text{ตอบ}}}$$

(8) กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ เป็น kVA จากสมการ $S = \sqrt{3} E_L I_L$

$$S = (1.732)(220 \text{ V})(35.37 \text{ A}) = 13,477.38 \text{ VA}$$

$$\therefore S = 13.47 \text{ kVA} \quad \text{.....}\underline{\underline{\text{ตอบ}}}$$
