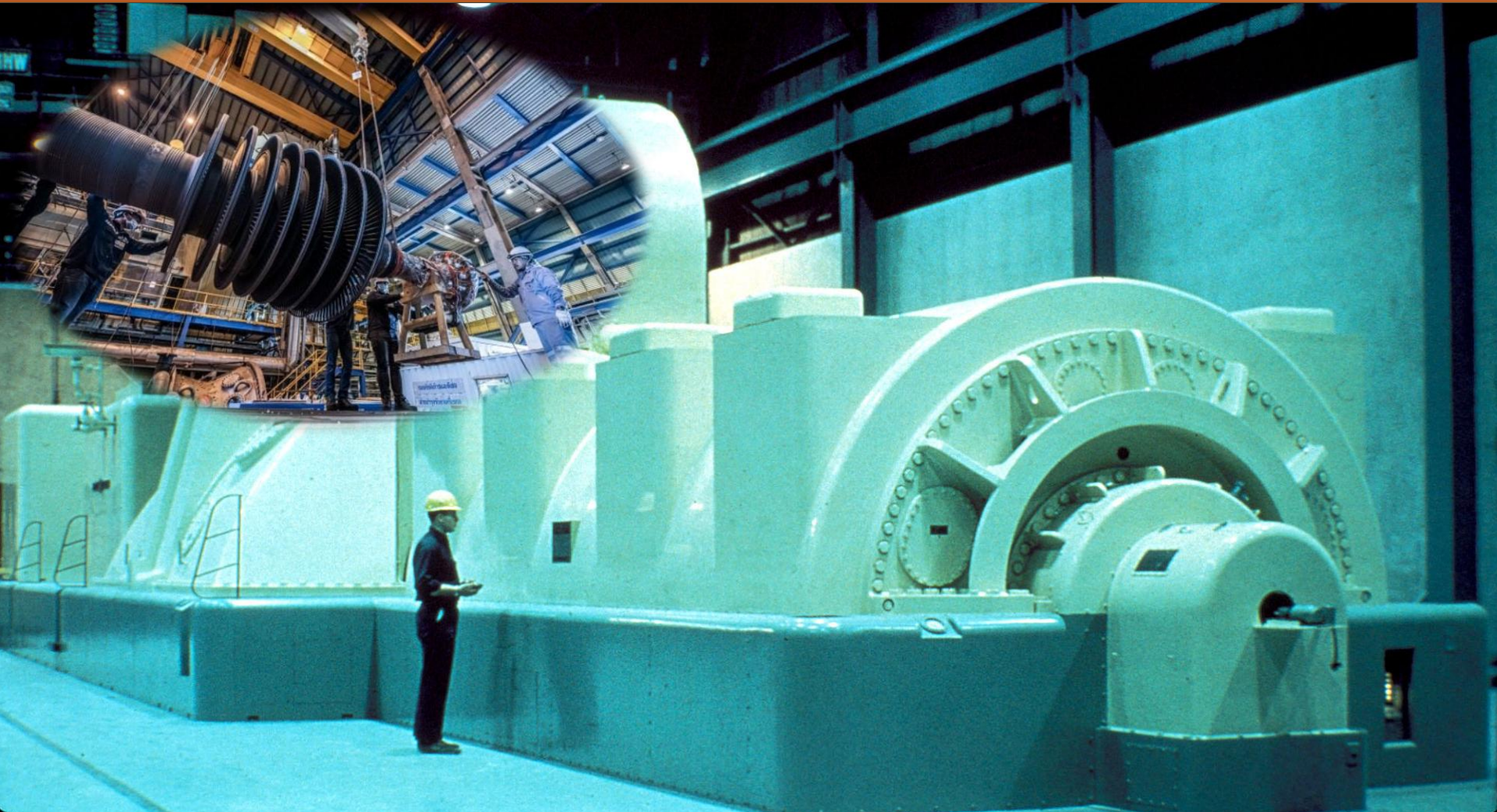
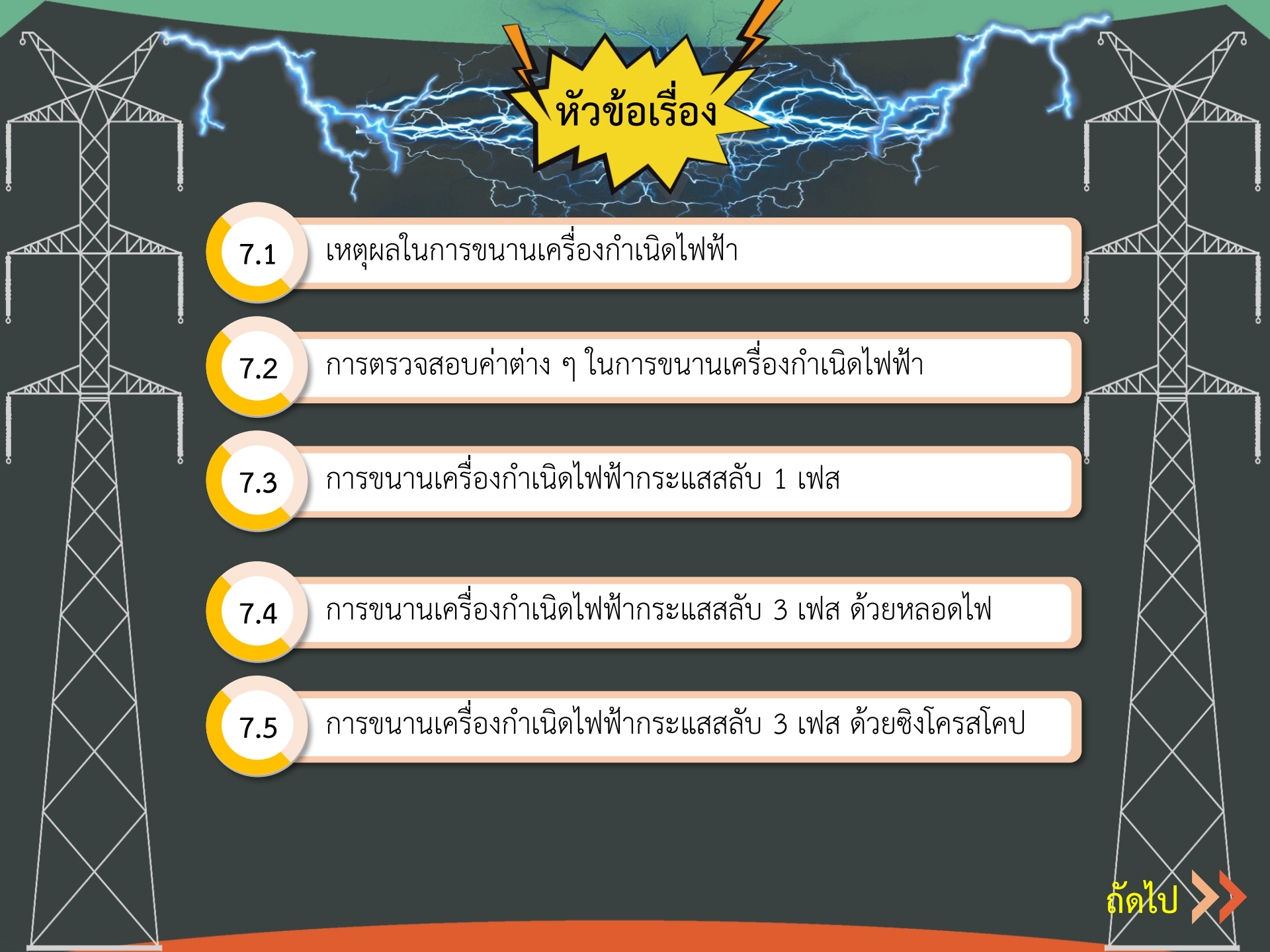


หน่วยที่ 7

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ





หัวข้อเรื่อง

7.1

เหตุผลในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

7.2

การตรวจสอบค่าต่าง ๆ ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

7.3

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

7.4

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยหลอดไฟ

7.5

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้วยชิงโครสโคป

7.1

เหตุผลในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในระบบผลิตของโรงจักรไฟฟ้าจะไม่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เพียงเครื่องเดียว แต่จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวนหลายเครื่องมาต่อขนานกันโดยมีเหตุผลดังนี้

1. เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดเครื่องหนึ่งเกิดการชำรุดก็สามารถหยุดการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อทำการซ่อมแซมและบำรุงรักษา โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่น ๆ ยังทำหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลด
2. ความต้องการในการใช้กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ก็สามารถจัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาติดตั้งเพิ่มเติมได้ แล้วทำการเดินเครื่องและขนานเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมที่มีอยู่แล้วทำให้ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น
3. ในระบบไฟฟ้ากำลังโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าความต้องการใช้โหลดน้อยลงก็สามารถใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงหนึ่งถึงสองเครื่องก็เพียงพอ แต่ถ้าความต้องการของโหลดมากขึ้นก็สามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วขนานเพิ่มเข้าไปได้อีก

7.2 การตรวจสอบค่าต่าง ๆ ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับสองเครื่อง ต้องคำนึงถึงสิ่งที่สำคัญดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองต้องเท่ากัน โดยสังเกตจากโวลต์มิเตอร์ที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่สายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสอง
2. ความถี่รอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองจะต้องทำให้ได้ความถี่เท่ากัน โดยสังเกตจากเครื่องวัดความถี่ (Frequency meter) ที่วัดที่สายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสอง
3. แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองต้องมีลำดับเฟส (Phase sequence) เหมือนกันและเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยสังเกตจากหลอดซิงโครไนซ์ (Synchronizing lamp) หรือได้จากเครื่องวัดที่เรียกว่าซิงโครสโคป (Synchroscope)

7.2.1 การตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า

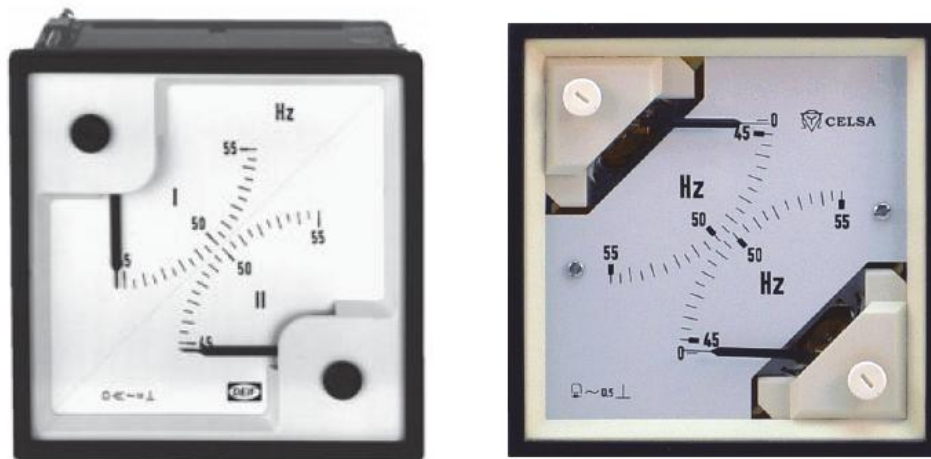
การตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า จะต้องปรับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าเท่ากัน โดยวัดแรงดันไฟฟ้าที่สาย ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องหรืออาจจะใช้โวลต์มิเตอร์แบบคู่ (Double voltmeter) วัดแรงดันไฟฟ้าที่สายของแต่ละเครื่องซึ่งสะดวกและง่ายต่อการเปรียบเทียบ ซึ่งใช้มากในห้องปฏิบัติการทดลอง ดังรูปที่ 7.1 (ก)



(ก) โวลต์มิเตอร์แบบคู่

7.2.2 การตรวจสอบความถี่

การตรวจสอบความถี่ จะต้องปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองให้มีค่าเท่ากัน โดยใช้เครื่องวัดความถี่วัดคร่อมที่สายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องหรืออาจจะใช้เครื่องวัดความถี่แบบคู่ (Double frequency meter) วัดความถี่ที่สายของแต่ละเครื่องซึ่งสะดวกและง่ายต่อการเปรียบเทียบซึ่งใช้มากในห้องปฏิบัติการทดลองเช่นกัน ดังรูปที่ 7.1 (ข)



(ข) เครื่องวัดความถี่แบบคู่

7.2.3 การตรวจสอบลำดับเฟส

การตรวจสอบลำดับเฟส ลำดับเฟสหรือการหมุนของเฟสต้องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะไฟฟ้า 3 เฟส ถ้ากำหนดให้ลำดับเฟสของไฟฟ้า 3 เฟส เป็น L1, L2, L3 หรือลำดับเฟสเป็น R, S, T ดังนั้นถ้าหมุนตามเข็มนาฬิกา ก็จะเป็น L1, L2, L3 หรือถ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็จะเป็น L1, L3, L2 เป็นต้นในการตรวจสอบลำดับเฟสจะใช้เครื่องวัดลำดับเฟส (Phase sequence meter) ดังรูปที่ 7.1 (ค)



แสดงผลด้วย
หลอด LED

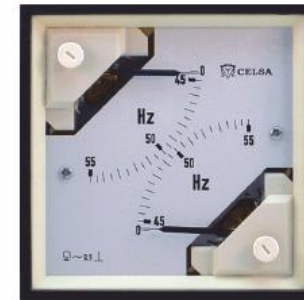


แสดงผลด้วย
แผ่นจานหมุน

(ค) เครื่องวัดลำดับเฟสแสดงผลด้วย LED (Light Emitting Diode) และแบบจานหมุน



(ก) โวลต์มิเตอร์แบบคู่



(ข) เครื่องวัดความถี่แบบคู่



แสดงผลด้วย
หลอด LED



แสดงผลด้วย
แผ่นจานหมุน

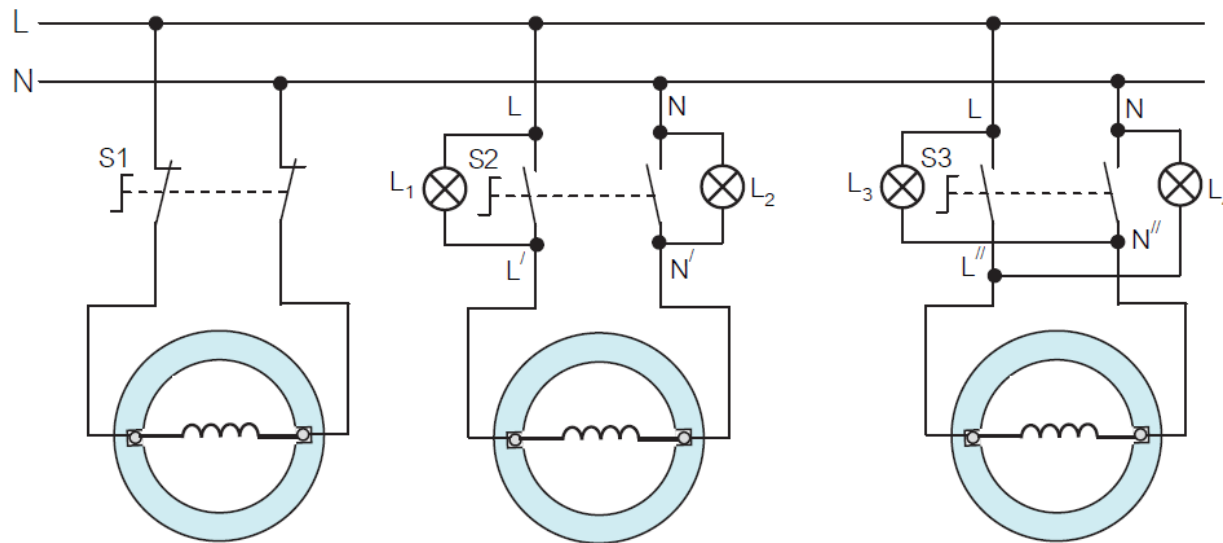
(ค) เครื่องวัดลำดับเฟสแสดงผลด้วย LED (Light Emitting Diode) และแบบจานหมุน

รูปที่ 7.1 เครื่องวัดต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้าด้วยกัน

7.3 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ 1 เฟส

7.3.1 แบบหลอดดับ 2 หลอด

จากรูปที่ 7.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานหรือเดินเครื่องอยู่แล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 และ 3 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำการขนานเข้าไป ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 จะต่อเป็นแบบ 2 หลอดดับ โดยหลอด L_1 ต่อเข้าระหว่างเฟส L กับ L' ส่วนหลอด L_2 ต่อเข้าระหว่างเฟส N กับ N'



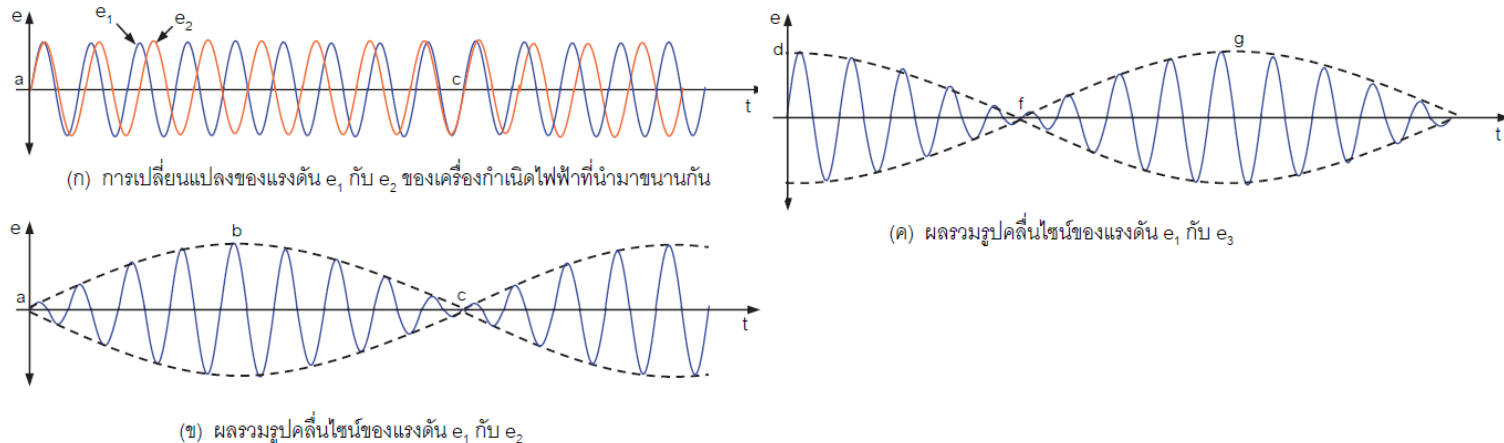
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3

รูปที่ 7.2 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับแบบหลอดดับ 2 หลอด และแบบหลอดสว่าง 2 หลอด

7.3.2 แบบหลอดสว่าง 2 หลอด



รูปที่ 7.3 การเปลี่ยนแปลงและผลรวมของแรงดัน e_1 กับ e_2 และผลรวมของแรงดัน e_1 กับ e_3

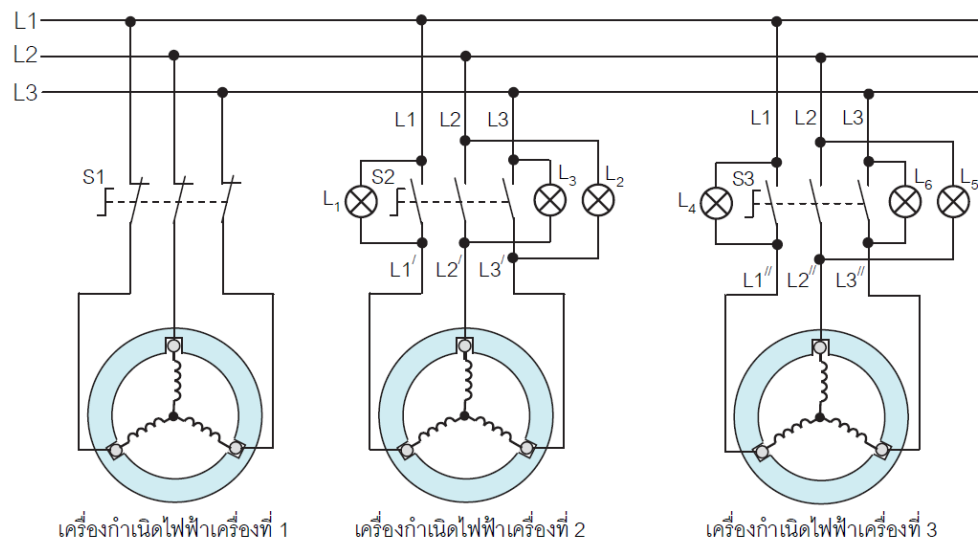
จากรูปที่ 7.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำการขนานเข้าไป ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 จะต่อเป็นแบบ 2 หลอดสว่าง โดยหลอด L_3 ต่อเข้าระหว่างเฟส L กับ N'' ส่วนหลอด L_4 ต่อเข้าระหว่างเฟส N กับ L'' จากรูปที่ 7.3 (ค) แสดงผลรวมคลื่นไซน์ของแรงดัน e_1 กับ e_3 ซึ่งจะเห็นได้อีกว่าที่จุดนี้มีเฟสเกิดขึ้นพร้อมกัน (ทิศทางตรงข้ามกัน) ดังนั้นผลรวมของ e_1 กับ e_3 จะมีค่าสูงสุดทำให้หลอดไฟสว่างเต็มที่ที่จุด d และความสว่างจะค่อย ๆ หริ่งจนถึงจุด f ก็จะดับ และค่อย ๆ สว่างเพิ่มขึ้นและมากที่สุดที่จุด g อีกครั้งหนึ่ง ผลจากหลอดสว่างทั้งสองหลอดที่จุด d กับ g นี้ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองมีเฟสเหมือนกันและเกิดขึ้นพร้อมกันจึงสามารถสับสวิตช์ S3 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เข้ากับเครื่องที่ 1 ได้

7.4

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟส ด้วยหลอดไฟ

7.4.1 แบบหลอดดับ 1 หลอด สว่าง 2 หลอด

จากรูปที่ 7.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานหรือเดินเครื่องอยู่แล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 และ 3 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำการขนานเข้าไป ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 จะต่อเป็นแบบหลอดดับ 1 หลอด สว่าง 2 หลอด ถ้ากำหนดลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินอยู่แล้ว (เครื่องที่ 1) มีลำดับเฟสเป็น L1, L2, L3 ส่วนลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 ที่จะนำมาขนานเข้าไปเป็น L1', L2', L3' โดยหลอด L₁ ต่อเข้าระหว่างเฟส L1 กับ L1' ส่วนหลอด L2 ต่อเข้าระหว่างเฟส L2 กับ L3' และหลอด L3 ต่อเข้าระหว่างเฟส L3 กับ L2'

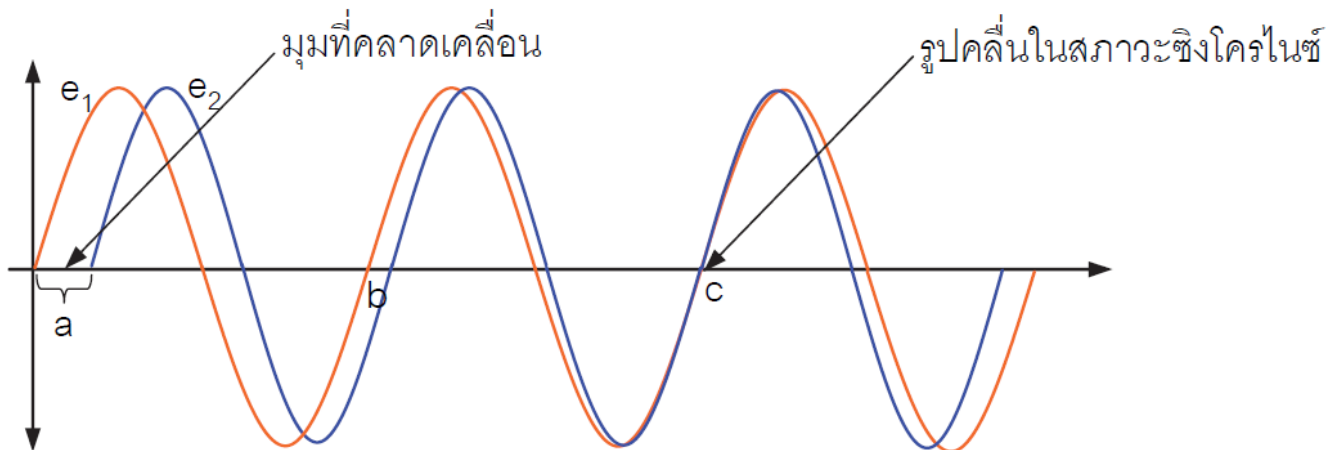


รูปที่ 7.4 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบหลอดดับ 1 หลอด สว่าง 2 หลอด และแบบหลอดดับ 3 หลอด

7.4.2 แบบหลอดดับ 3 หลอด

จากรูปที่ 7.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานหรือเดินเครื่องอยู่แล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำการขนานเข้าไป ซึ่งต่อเป็นแบบหลอดดับ 3 หลอด โดยหลอด L_4 ต่อเข้าระหว่างเฟส L_1 กับ L_1'' ส่วนหลอด L_5 ต่อเข้าระหว่างเฟส L_2 กับ L_2'' และหลอด L_6 ต่อเข้าระหว่างเฟส L_3 กับ L_3'' หลังจากการปรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ใกล้เคียงกันแล้ว จังหวะการกระพริบของหลอดไฟทั้ง 3 หลอดจะยิ่งช้าลงมากและเมื่อดับทั้ง 3 หลอดแล้ว จึงสับสวิตช์ S_3 เพื่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ภายหลังสับสวิตช์แล้วหลอด L_4 , L_5 และ L_6 จะดับสนิท จึงเรียกวิธีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยหลอดไฟแบบนี้ว่า หลอดดับ 3 หลอด (Three dark method) สาเหตุที่หลอดไฟทั้ง 3 หลอดดับสนิท เพราะว่าไม่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดไฟทั้ง 3 หลอด นั้นแสดงว่าเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าของ L_1'' , L_2'' , L_3'' ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 มีเฟสทับกันกับเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าของ L_1 , L_2 , L_3 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่

ซิงโครสโคป เป็นเครื่องวัดมุมระหว่างรูปคลื่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองเครื่องที่จะขนานกันเข้าไปโดยมุมจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ เรียกมุมนี้ว่า **มุมที่คลาดเคลื่อน (Error angle)** จากรูปที่ 7.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 เป็น e_1 และ e_2 ตามลำดับ โดยรูปคลื่น e_2 มีความถี่มากกว่ารูปคลื่น e_1 จะเห็นว่าระยะ a เป็นมุมคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่มีค่ามากและมีระยะน้อยลงเรื่อย ๆ เป็นระยะ b และระยะ c โดยที่ระยะ c จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งที่จุดนี้รูปคลื่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองเครื่องจะเกิดขึ้นพร้อมกันและทับกันสนิทเรียกว่า **สถานะซิงโครไนซ์**



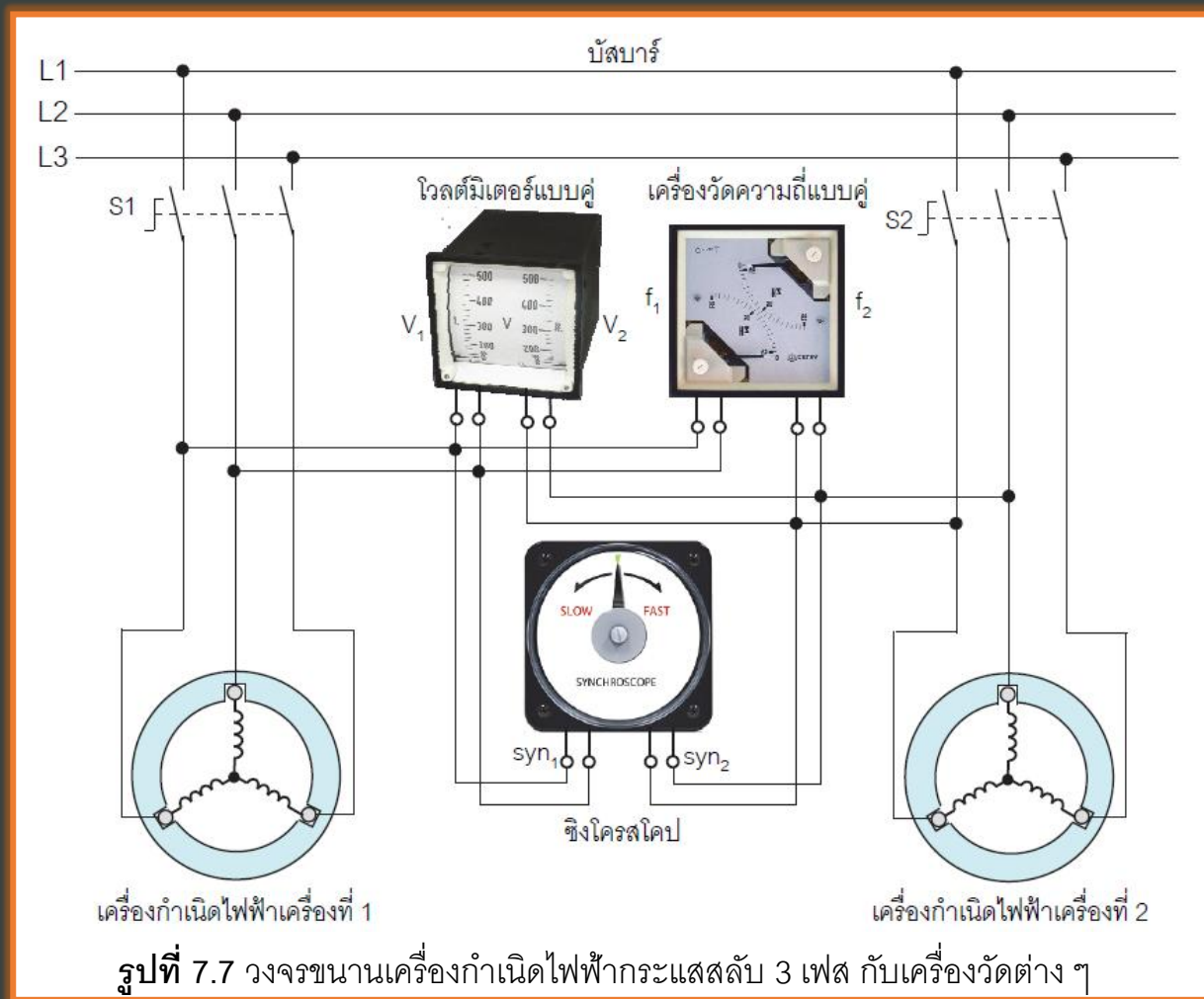
รูปที่ 7.5 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองและมุมที่คลาดเคลื่อน



รูปที่ 7.6 ซิงโครสโคปที่ใช้ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากรูปที่ 7.6 เป็นซิงโครสโคปแบบแสดงผลโดยเข็มชี้และแบบแสดงผลโดย LED ซึ่งแบบแสดงผลโดยเข็มชี้ซึ่งเข็มชี้สามารถหมุนได้อย่างอิสระในทั้งสองทิศทางและการหมุนของเข็มชี้เกิดจากมุมคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในการสับสวิตขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะต้องให้เข็มชี้หมุนมาถึงตำแหน่งก่อนหน้าตำแหน่งศูนย์องศา ประมาณ 1-5 องศา ถ้ามุมคลาดเคลื่อนมากกว่า 10 องศาจะเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสภาวะชั่วครู่ในการซิงโครไนซ์สูงมาก (High transient synchronizing current) ทำให้อุปกรณ์ตัดตอนอัตโนมัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าปลดวงจรได้

ข้อควรระวัง เนื่องจากซิงโครสโคปไม่สามารถตรวจสอบลำดับเฟสได้ดังนั้นจะต้องตรวจสอบลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองใหญ่ถูกต้องด้วยเครื่องตรวจสอบลำดับเฟสที่ใดกลาวมาแล้ว



จากรูปที่ 7.7 เป็นวงจรขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 2 เครื่องเข้าด้วยกันโดยมีเครื่องวัดซึ่งได้แก่ โวลต์มิเตอร์แบบคู่ เครื่องวัดความถี่แบบคู่ และชิงโครสโคป กำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทั้งสองเครื่องได้ตรวจสอบลำดับเฟสเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นสามารถอธิบายขั้นตอนการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองได้ดังนี้

1. ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 1 ให้ได้ความเร็วรอบตามพิกัด และกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงาน
2. ปรับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สายเท่ากับพิกัด สมมติให้มีค่าเท่ากับ 400 V โดยสังเกตจากโวลต์มิเตอร์แบบคู่ V_1 โดยเข็มชี้จะชี้ที่ตำแหน่ง 400 V
3. สังเกตความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 1 จะต้องได้เท่ากับพิกัด สมมติให้มีค่าเท่ากับ 50 Hz โดยสังเกตจากเครื่องวัดความถี่แบบคู่ f_1 โดยเข็มชี้จะชี้ที่ตำแหน่ง 50 Hz ถ้าความถี่มีค่ามากหรือน้อยกว่าพิกัดจะต้องปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดจนกระทั่งได้ความถี่ 50 Hz
4. สับสวิตช์ S1 เพื่อจ่ายระบบไฟฟ้าเข้ากับบัสบาร์ ขณะนี้ที่บัสบาร์มีขนาดแรงดันที่สาย 400 V และมีความถี่ 50 Hz
5. เริ่มขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 2 ให้ได้ความเร็วรอบตามพิกัด และกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะขนานเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1

6. ปรับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 ให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สายเท่ากับ 400 V ซึ่งเท่ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 โดยสังเกตจากโวลต์มิเตอร์แบบคู่ V_2 โดยเข็มชี้จะชี้ที่ตำแหน่ง 400 V เช่นกัน และจะสังเกตได้อีกว่าเข็มของชิงโครสโคปจะเริ่มหมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

7. สังเกตความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 2 จะต้องได้เท่ากับ 50 Hz ซึ่งเท่ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 โดยสังเกตจากเครื่องวัดความถี่แบบคู่ V_2 โดยเข็มชี้จะชี้ที่ตำแหน่ง 50 Hz ถ้าความถี่มีค่ามากหรือน้อยกว่าจะต้องปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดจนกระทั่งได้ความถี่ 50 Hz เท่ากัน

8. ถ้าทำการปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 ที่จะทำการขนานเข้าไปให้ได้อัตราความถี่ใกล้เคียงหรือเท่ากันแล้ว เข็มชี้ของชิงโครสโคปก็จะค่อย ๆ หมุนช้าลงไปถึงตำแหน่งศูนย์องศา ซึ่งทำให้เฟสทั้งสองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดขึ้นพร้อมกันและทับกันสนิทจึงทำให้ตำแหน่งนี้เตรียมสับสวิตช์ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานเข้าด้วยกันได้

9. สับสวิตช์ S2 เพื่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 2 เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องที่ 1

