

2-1 หม้อแปลงไฟฟ้าและระบบการส่งกำลัง

2-1.1 ระบบส่ง – จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นอย่างไร ?

- (1) การส่ง – จ่ายไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างไร?
- (2) การออกแบบระบบส่ง – จ่าย กำลังไฟฟ้าเป็นแบบไหน ?

2-1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าคืออะไร ?

- (1) หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานอย่างไร ?
- (2) หม้อแปลงไฟฟ้ามีกี่ชนิด ?
- (3) การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสมทำอย่างไร ?

2-1.3 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร ?

- (1) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคืออะไร ?
- (2) การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร ?
- (3) ผลที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีอะไรบ้าง ?

2-1.4 วิธีการประหยัดพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร ?

- (1) การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- (2) การลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด
- (3) การปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

2-1.5 การตรวจวินิจฉัยและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร ?

ระบบการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ดีจะต้องส่งกำลังไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ได้อย่างปลอดภัยและเพียงพอสำหรับการใช้งานทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งพื้นฐานของระบบผลิตและส่งจ่าย คือ

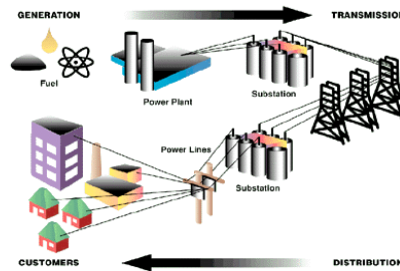
1. ความปลอดภัย จะต้องไม่เกิดอันตรายต่อบุคคล รวมทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน
2. ความเชื่อถือได้เป็นการออกแบบระบบที่สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง
3. ความง่ายในการใช้งาน ระบบจะต้องเป็นแบบที่ง่ายที่สุด ตรงตามความต้องการ
4. ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage regulation) แรงดันไฟฟ้าต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกินขีดจำกัด
5. การดูแลรักษา จะต้องสามารถตรวจสอบ ซ่อมแซม และทำความสะอาดได้ง่าย
6. ความคล่องตัว ต้องสามารถปรับปรุง ตัดแปลง ขยายได้ในอนาคต
7. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น เลือกแบบที่ดีที่สุด ที่ปลอดภัย เชื่อถือได้

2-1.1 ระบบส่ง-จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นอย่างไร ?

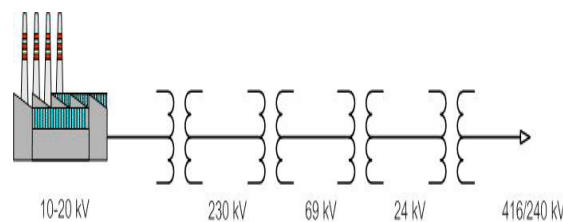
(1) การส่ง – จ่ายไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างไร ?

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะผลิตกำลังไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 10-20 กิโลโวลต์ แต่เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าไปในระยะทางไกลที่จะให้ประสิทธิภาพสูง จะต้องปรับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเสียก่อน แล้วจึงจะลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานอีกครั้งที่ปลายทาง

1) ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system) ประกอบด้วยระบบการผลิต การส่ง การจำหน่ายและการใช้กำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 2-1.1ก และ 2.1.1ข



รูปที่ 2-1.1ก ระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2-1.1ข ระบบไฟฟ้ากำลัง

2) ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สถานประกอบการที่ใช้โหลดน้อยกว่า 300 กิโลวัตต์แอมแปร์ การไฟฟ้าจะจ่ายระบบแรงดันต่ำ (Low voltage) แต่ถ้าใช้โหลดตั้งแต่ 300 กิโลวัตต์แอมแปร์ขึ้นไป จะจ่ายระบบแรงดันปานกลาง ถ้ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงมาก จะจ่ายในระบบแรงดันสูง สำหรับขนาดมอเตอร์จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับโหลด ซึ่งแบ่งได้หลายขนาด ดังนี้

1) ระบบ 220 V 1 เฟส 2 สาย ได้แก่

- 5 (15 A), 220 V
- 15 (45A), 220 V
- 30 (100A), 220 V
- 50 (150A), 220 V

2) ระบบ 380/200 V 3 เฟส 4 สาย ได้แก่

- 15 (45A), 380 V
- 30 (100A), 380 V
- 50 (150A), 380 V
- 200A, 380 V
- 400A, 380 V

3) ระบบ 12 kV 3 เฟส 3 สาย มีขนาดตั้งแต่ 15A (300 kVA) ไปจนถึง 750 A (15,000 kVA)

4) ระบบ 24 kV 3 เฟส 3 สาย มีขนาดตั้งแต่ 10A (400 kVA) ไปจนถึง 625 A (25,000 kVA)

ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าฯ กับผู้ใช้ไฟฟ้า

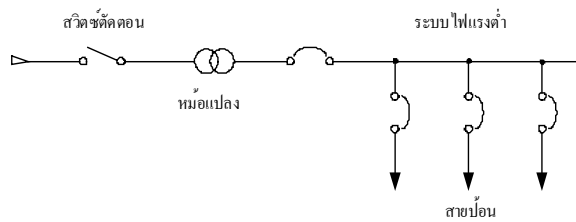
1. แรงดันต่ำ การไฟฟ้าฯ จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำนั้น

2. แรงดันปานกลาง จะขึ้นอยู่กับระบบของการไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่และระบบของสถานประกอบการ

(2) การออกแบบระบบส่ง-จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นแบบไหน ?

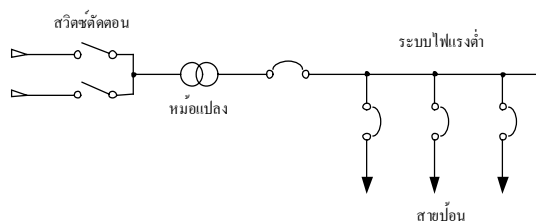
○ ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (มี 4 แบบ)

1) ระบบสายประธานเดี่ยว (simple radial) จะจ่ายเข้าหม้อแปลง และเข้าสายป้อนทั้งหมดดังรูปที่ 2-1.4 ข้อดีคือ เป็นระบบที่ง่ายที่สุด ราคาถูกที่สุด ง่ายในการป้องกัน การจัดลำดับเวลาการทำงาน และอุปกรณ์ใช้งานทุกชิ้นเหมาะสำหรับโรงงานขนาดย่อมที่สามารถหยุดการผลิตได้



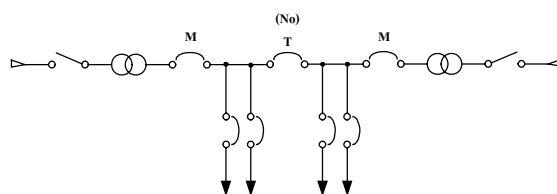
รูปที่ 2-1.4 ระบบสายประธานเดี่ยว

2) ระบบสายประธานคู่ (primary selective radial) เหมือนกับสายประธานเดี่ยว แต่เพิ่มวงจรสำรองให้รับไฟเป็นวงจรคู่ดังรูปที่ 2-1.5 ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องซ่อมแซมสายไฟฟ้าแรงสูงชุดหนึ่งชุดใด ข้อดีคือ ระบบมีความน่าเชื่อถือดี



รูปที่ 2-1.5 ระบบสายประธานคู่

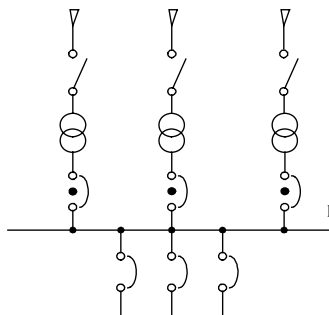
3) ระบบสายประธานสองชุด (secondary selective) ทำงานเป็นแบบระบบสายประธานเดี่ยว 2 ชุด ดังรูปที่ 2-1.6 แต่ละชุดจะเชื่อมโยง (tie) ด้วยตัดตอนอัตโนมัติ (T) ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดเสียหาย ตัดตอนอัตโนมัติ (M) จะปลดวงจรชุดนั้นและตัดตอนอัตโนมัติเชื่อมโยง จะเชื่อมต่อวงจรถึงกันทันที ซึ่งอาจจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติก็ได้ ระบบนี้เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากที่สุดในขณะนี้ ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวที่เหลือจะต้องจ่ายโหลดทั้งหมด



รูปที่ 2-1.6 ระบบสายประธานสองชุด

เพื่อให้หม้อแปลงทำงานได้ดี ควรพิจารณาดังต่อไปนี้ 1) หม้อแปลงทั้งสองตัวจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้แต่ละตัวสามารถรับโหลดได้ทั้งหมด 2) ต้องจัดหาพัดลมระบายความร้อนสำหรับหม้อแปลงในช่วงสภาวะฉุกเฉิน 3) ปลดโหลดที่ไม่จำเป็นในช่วงสภาวะฉุกเฉิน 4) ใช้ขนาดอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินตามความสามารถของหม้อแปลง และสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงต้องเสียไป สำหรับข้อดีของระบบนี้คือ หม้อแปลงไม่ได้ขนานกัน ขนาดกระแสลัดวงจร (interrupting capacity หรือ IC) ของตัดตอนอัตโนมัติ (CB) ใช้เท่ากับแบบระบบสายประธานเดี่ยวได้และความเชื่อถือในระบบนี้ดี

4) สปอตเน็ตเวิร์ค (spot network) จะประกอบด้วยหม้อแปลงจ่ายไฟ 2 ชุดหรือมากกว่า แยกเป็นอิสระกัน ส่วนทางด้านแรงต่ำจะต่อขนานโดยผ่านตัดตอนอัตโนมัติชนิดพิเศษ เรียกว่า network protector ดังรูปที่ 2-1.7 ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวอื่นๆ จะป้อนผ่าน network protector ไปยังจุดที่ขัดข้องพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนกลับเป็นเหตุให้ network protector เปิดดวงจร และปลดแหล่งจ่ายออกจากวงจรแรงดันต่ำ สำหรับระบบจ่ายไฟนี้มีราคาแพงเพราะ network protector มีราคาสูง และกระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้นเนื่องจากหม้อแปลงขนานกัน แต่ความสม่ำเสมอของแรงดันดี

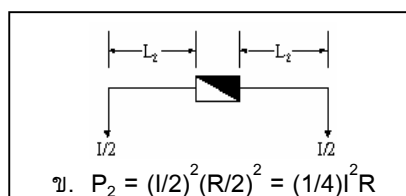
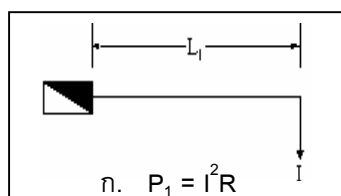


รูปที่ 2-1.7 สปอตเน็ตเวิร์ค

○ แผงรับและจ่ายไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) ในโรงงานและอาคารขนาดใหญ่ต้องมีแผงรับและจ่ายไฟฟ้าหลัก สำหรับโรงงานหรืออาคารขนาดเล็กแผงรับและจ่ายไฟฟ้า คือ ตู้จ่ายไฟฟ้าติดตั้งตามจุดต่างๆ ในห้องทำงานที่ต้องใช้ไฟฟ้านั้นเอง การติดตั้งควรให้อยู่บริเวณศูนย์กลางของภาระ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

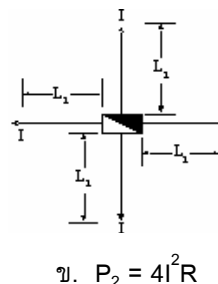
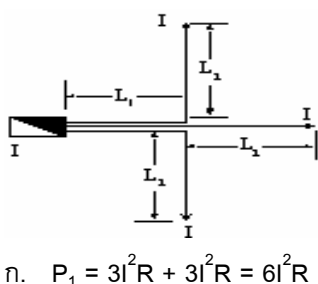
1) ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากรูปที่ 2-1.8 ก เป็นการติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าให้อยู่บริเวณด้านใดด้านหนึ่งของห้องเมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งบริเวณกลางห้อง ดังรูปที่ 2-1.8 ข จะพบว่าพลังงานสูญเสียในสายลดลงเป็น $\frac{1}{4}$ เท่า

- เมื่อ R = ความต้านทาน (Resistance) ของตัวนำ 1 เส้น
- I = กระแสโหลด (Load Current)
- L = ความยาวของตัวนำ



รูปที่ 2-1.8ก การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าทางด้านข้างของห้อง รูปที่ 2-1.8ข การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าบริเวณกลางห้อง

2) ห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากรูปที่ 2-1.9 ก เป็นการติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าที่บริเวณด้านข้างของห้องจะพบว่าต้องกำหนดให้สายไฟฟ้าใหญ่กว่าปกติแล้วยังสูญเสียพลังงานเพิ่มอีกเมื่อเทียบกับวางกลางห้องดังรูปที่ 2-1.9 ข



รูปที่ 2-1.9 ก การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าทางด้านข้างของห้อง รูปที่ 2-1.9 ข การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าบริเวณกลางห้อง

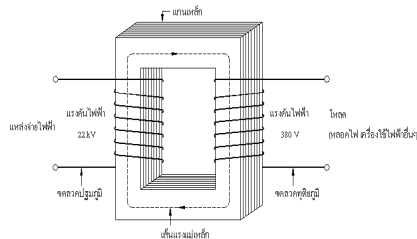
สำหรับขนาดห้องรับและจ่ายไฟสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ขนาดห้องเล็กที่สุด} = \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด (kVA)} \times 3.3 \text{ (m}^2 \text{.)}$$

2-1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าคืออะไร ?

(1) หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานอย่างไร ?

○ มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดันไฟฟ้า รูปที่ 2-1.10 เป็นรูปแสดงหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด (ขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ) พันอยู่รอบแกนเหล็ก(เป็นแผ่นเหล็กจำนวนมากที่วางซ้อนทับกัน) ขดลวดทั้ง 2 ชุดนี้ไม่ได้ต่อกันโดยตรงทางไฟฟ้าการที่กำลังไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ ถูกผ่านไปยังขดลวดทุติยภูมิได้ เนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่ขดลวดปฐมภูมิที่ขดลวดนี้จะเกิดแรงแม่เหล็ก ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะถูกส่งไปยังขดลวดทุติยภูมิโดยผ่านแกนเหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ สำหรับอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดที่ขดลวดทุติยภูมินั้น จะแปรโดยตรงกับอัตราส่วนจำนวนรอบที่พันของขดลวดทั้งสอง หม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบเฟสเดียวและแบบ 3 เฟส นอกจากนี้ยังใช้ kVA แสดงขนาดใช้งานทางไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2-1.10 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

○ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทั่วไปจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลด 60–80% ของพิกัดใช้งาน(kVA) ถ้าหากใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ดังนั้นจึงควรใช้งานที่โหลด 60-80% นอกจากนี้พยายามควบคุมให้โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสสมดุลกันเพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

○ กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่จ่ายโหลด ถ้าเกิดขึ้นในแกนเหล็กเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss ซึ่งค่า Iron loss นั้น มีค่าเกือบคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับการโหลด แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กและขึ้นอยู่กับการเหนี่ยวนำของเส้นแม่เหล็กในแกนเหล็ก คุณสมบัติของเหล็ก ปริมาตร หรือน้ำหนักของแกนเหล็ก

กำลังสูญเสียขณะมีโหลด(Load Loss) หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลด

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} + \text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะไม่มีโหลด} + \text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะมีโหลด}}$$

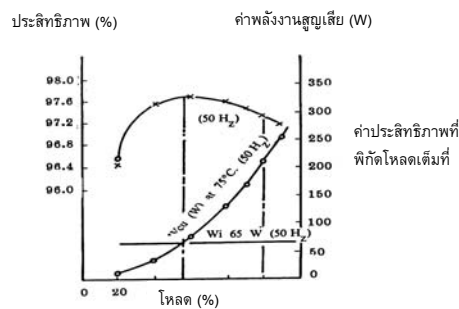
ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ Copper Loss = Iron Loss

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งวัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}}{(\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}) + (\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด} \times 24)}$$

+ (กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด x ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน)

ตารางที่ 2-1.1 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา

| ขนาด (กิโลโวลต์ แอมแปร์) | กิโลโวลต์/ โวลต์ | ธรรมดา | | | ประสิทธิภาพสูง | | |
|--------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | | สูญเสียขณะ ไม่มีโหลด (วัตต์) | สูญเสียเนื่อง จากโหลด (วัตต์) | ประสิทธิภาพ (%) | สูญเสียขณะ ไม่มีโหลด (วัตต์) | สูญเสียเนื่อง จากโหลด (วัตต์) | ประสิทธิภาพ (%) |
| 315 | 22/400 | 900 | 3,900 | 98.47 | 700 | 3,900 | 98.53 |
| 400 | 22/400 | 980 | 4,600 | 98.60 | 850 | 4,600 | 98.63 |
| 500 | 22/400 | 1,150 | 5,500 | 98.67 | 1,000 | 5,500 | 98.70 |
| 630 | 22/400 | 1,350 | 6,500 | 98.75 | 1,200 | 6,500 | 98.77 |
| 800 | 22/400 | 1,600 | 11,000 | 98.43 | 1,300 | 11,000 | 98.46 |
| 1,000 | 22/400 | 1,900 | 13,500 | 98.46 | 1,600 | 13,500 | 98.49 |
| 1,250 | 22/400 | 2,300 | 16,400 | 98.50 | 1,800 | 16,400 | 98.54 |
| 1,500 | 22/400 | 2,800 | 19,800 | 98.50 | 2,100 | 19,800 | 98.54 |
| 2,000 | 22/400 | 3,250 | 24,000 | 98.63 | 2,700 | 24,000 | 98.67 |



รูปที่ 2-1.11 คุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า

(2) หม้อแปลงไฟฟ้ามีกี่ชนิด ?

○ หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid-immersed Transformers)

1. หม้อแปลงน้ำมัน (Oil-type Transformers) ใช้้ำมันเป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากใช้งานได้ดีและราคาถูก เหมาะสำหรับการติดตั้งนอกอาคาร ถ้านำมาใช้ในอาคาร จะต้องมีการสร้างห้องพิเศษที่สามารถป้องกันไฟได้ เนื่องจากน้ำมันสามารถติดไฟได้ โดยมีจุดติดไฟที่ 165 °C ปัจจุบันได้มีการทำหม้อแปลงที่มีตัวถังปิดผนึก (Hermetically Sealed Tank) ขึ้น ซึ่งไม่ต้องมี Silica Gel สามารถป้องกันความชื้นได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ต้องการการบำรุงรักษา และกำลังได้รับการนิยมนำมาใช้มากขึ้น หม้อแปลงปิดผนึกมีปัญหาคือการขยายตัวของน้ำมันขณะจ่ายโหลดหรือเกิดการลัดวงจร แก้ปัญหาโดย 1) หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงแบบนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีช่องว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน 2) หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น (Corrugated) เพื่อช่วยระบายความร้อน ขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้ เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมัน

2. หม้อแปลงแบบใช้ของเหลวติดไฟยาก (Less-Flammable Liquid-insulated Transformers) ใช้ของเหลวที่ติดไฟยากเป็นฉนวนและระบายความร้อน นิยมใช้สารซิลิโคนมีจุดติดไฟที่ 343 °C ไม่เป็นพิษ และไม่อันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้



รูปที่ 2-1.12 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบใช้ช่องเหลว



รูปที่ 2-1.13 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้ง

○ หม้อแปลงแห้ง (Dry-Type Transformers) ใช้ฉนวนเป็นของแข็งนิยมใช้สารเรซินอีพ็อกซีระหว่างขดลวดของหม้อแปลง จึงเรียกว่า Cast Resin Transformers สารเรซินมีจุดติดไฟที่ 350°C มีความแข็งแรงทนทาน นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร

ตารางที่ 2-1.2 หม้อแปลงแรงต่ำเฟสเดียว และสามเฟส แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้า

| ขนาด หม้อแปลง (kVA) | 12 kV กระแสไฟฟ้าเข้า (A) | | กระแสไฟฟ้าออก (A) | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 Ø | 3 Ø Δ | 440 V | 220 V | | 380 V | |
| | | | 1 Ø | 1 Ø | 3 Ø Δ | 1 Ø | 3 Ø Y |
| 15 | 1.3 | 0.7 | 34.1 | 68.2 | 39.4 | 39.5 | 22.8 |
| 20 | 1.7 | 0.9 | 45.5 | 90.9 | 52.5 | 52.6 | 30.4 |
| 25 | 2.1 | 1.2 | 56.8 | 113.5 | 65.6 | 65.8 | 37.9 |
| 30 | 2.5 | 1.4 | 68.2 | 136.4 | 78.7 | 78.9 | 45.6 |
| 37.5 | 3.1 | 1.8 | 85.2 | 170.5 | 98.4 | 97.7 | 56.9 |
| 45 | 3.8 | 2.2 | 102.2 | 204.5 | 118.1 | 118.4 | 68.4 |
| 50 | 4.2 | 2.4 | 113.6 | 227.3 | 131.2 | 131.6 | 75.9 |
| 67.5 | 5.6 | 3.3 | 153.4 | 306.8 | 177.3 | 177.6 | 102.6 |
| 75 | 6.3 | 3.6 | 170.5 | 340.9 | 196.8 | 197.4 | 113.9 |
| 100 | 8.3 | 4.8 | 227.3 | 454.5 | 262.4 | 263.2 | 151.9 |
| 112.5 | 9.4 | 5.4 | 225.7 | 511.4 | 294.2 | 296 | 170.9 |
| 150 | 12.5 | 7.2 | 340.9 | 681.8 | 393.7 | 394.7 | 227.9 |
| 167 | 13.9 | 8 | 379.5 | 759.1 | 438.3 | 439.5 | 253.7 |
| 200 | 16.7 | 9.6 | 454.5 | 909.1 | 524.9 | 256.3 | 303.9 |
| 225 | 18.8 | 10.8 | 512 | 1022.7 | 590.5 | 592 | 341.9 |
| 250 | 20.8 | 12 | 568.2 | 1136.4 | 656.1 | 657.9 | 379.8 |
| 300 | 25 | 14.4 | 681.8 | 1363.6 | 787.3 | 789.5 | 455.8 |
| 333 | 27.8 | 16 | 756.8 | 1513.8 | 873.9 | 876.3 | 505.9 |
| 350 | 29.2 | 16.8 | 795.5 | 1590.9 | 918.5 | 921.1 | 531.8 |
| 400 | 33.3 | 19.3 | 900.1 | 1818.2 | 1049.8 | 1052.6 | 607.8 |
| 450 | 37.5 | 21.7 | 1022.7 | 2045.5 | 1180.9 | 1184.2 | 683.7 |
| 650 | 54.1 | 31.3 | 1477.3 | 2954.3 | 1709.9 | 1710.5 | 987.6 |
| 700 | 58.3 | 33.7 | 1590.9 | 3181.8 | 1836.4 | 1842.4 | 1063.6 |
| 750 | 62.7 | 36.1 | 1704.5 | 3409.1 | 1968.3 | 1973.7 | 1139.5 |
| 800 | 66.7 | 38.5 | 1818.2 | 3636.4 | 2099.5 | 2105.3 | 1215.5 |

| ขนาด หม้อแปลง (kVA) | 12 kV กระแสไฟฟ้าเข้า (A) | | กระแสไฟฟ้าออก (A) | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 Ø | 3 Ø Δ | 440 V | 220 V | | 380 V | |
| | | | 1 Ø | 1 Ø | 3 Ø Δ | 1 Ø | 3 Ø Y |
| 900 | 75 | 43.3 | 2045.5 | 4090.9 | 2361.9 | 2368.4 | 1367.5 |
| 1,000 | 83.3 | 48.1 | 2272.2 | 4545.5 | 2624.4 | 2631.6 | 1519.4 |

(3) การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสมทำอย่างไร?

การจัดระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้หม้อแปลง 2 ตัว แต่ละตัว มีขนาดเป็น 0.75 เท่า (1/1.333) ของโหลดทั้งหมดในอาคาร การเลือกใช้หม้อแปลงขนาดเล็กมากกว่า 1 ตัวดีกว่าใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เพียงตัวเดียว ขนาดของหม้อแปลงที่เหมาะสมสูงสุดเป็น 2500 kVA ดังตารางที่ 2-1.3 และ 2-1.4

ตารางที่ 2-1.3 การเลือกขนาดหม้อแปลง 2 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

| ขนาดของโหลด (kVA) | ขนาดหม้อแปลง (kVA) จำนวน 2 ตัว |
|-------------------|--------------------------------|
| 1000 | 750 |
| 1500 | 1250 |
| 2000 | 1500 |
| 2500 | 2000 |
| 3000 | 2500 |

ตารางที่ 2-1.4 การเลือกขนาดหม้อแปลง 3 ตัว หรือ 4 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

| ขนาดของโหลด (kVA) | ขนาดหม้อแปลง (kVA) 3 ตัว | ขนาดหม้อแปลง (kVA) 4 ตัว |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| 5000 | - | 1250 |
| 5333 | 2000 | - |
| 6000 | - | 1500 |
| 6666 | 2500 | - |
| 8000 | - | 2000 |
| 10000 | - | 2500 |

2-1.3 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร ?

ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำก็จะมี ความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้จะขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางจะเสียมากขึ้น ค่าไฟฟ้าที่เสียก็มากขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

(1) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคืออะไร ?

หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ต่างๆ จะให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่างกันแล้วแต่คุณสมบัติของอุปกรณ์(ตารางที่ 2-1.5) ทำให้โรงงานที่ใช้อุปกรณ์ต่างชนิดกันมีค่าตัวประกอบต่างกัน(ตารางที่ 2-1.6)

ตารางที่ 2-1.5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

| อุปกรณ์ไฟฟ้า | PF. (%) | อุปกรณ์ไฟฟ้า | PF. (%) |
|--------------|---------|--------------|---------|
|--------------|---------|--------------|---------|

| | | | |
|-------------------------------|---------|------------------------------|---------|
| เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ | 30 – 70 | หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด HID | 60 – 70 |
| เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก | 35 – 60 | เครื่องจักรทอผ้า | 60 – 70 |
| เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน | 40 – 60 | เครื่องปั๊มโลหะธรรมดา | 60 – 70 |
| เครื่องกลึง | 40 – 65 | เครื่องพ่นลมหรือพ่นสี | 60 – 65 |
| เครื่องปั๊มโลหะแบบความเร็วสูง | 45 – 60 | เตาหลอมโลหะแบบอาร์ก | 60 – 75 |
| เครื่องอัด (Compressor) | 50 – 80 | | |

ตารางที่ 2-1.6 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ

| ประเภทโรงงาน | PF (%) | ประเภทโรงงาน | PF (%) |
|----------------------------|---------|----------------|---------|
| เสื้อผ้า | 35 – 60 | เหล็กกล้า | 65 – 75 |
| สี | 55 – 65 | เหมืองถ่าน | 65 – 80 |
| พลาสติก | 55 – 70 | ตีหรือเผาเหล็ก | 70 – 80 |
| ขึ้นรูปโลหะ | 60 – 70 | ชิ้นส่วนรถยนต์ | 75 – 80 |
| เครื่องจักรกล | 60 – 75 | หล่อโลหะ | 75 – 80 |
| ชุบหรือเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า | 65 – 70 | โรงเบียร์ | 78 – 80 |
| เคมี | 65 – 75 | ซีเมนต์ | 80 – 85 |
| ทอผ้า | 65 – 75 | อาคารพาณิชย์ | 80 – 85 |

สาเหตุที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ ส่วนใหญ่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ต่ำกว่าระดับพิกัดโหลด หรือเกิดจากอุปกรณ์ที่เป็นโหลดแบบเหนี่ยวนำอื่นๆ เช่น เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ ตัวเรียงกระแส สำหรับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น สมการของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นดังนี้

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ}}$$

$$\text{PF.} = \frac{V \times I \times \cos \theta}{V \times I} = \cos \theta$$

โดยที่

$$V = \text{แรงดันไฟฟ้า (V)}$$

$$I = \text{กระแสไฟฟ้า (A)}$$

$$\theta = \text{มุมแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า}$$

• กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลด สามารถวัดค่าได้จากโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์หรือคำนวณได้จากสูตร

$$S = (P^2 + Q^2)^{1/2}$$

โดย

$$S = \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)}$$

$$P = \text{กำลังไฟฟ้าจริง (W)}$$

$$Q = \text{กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (VAR)}$$

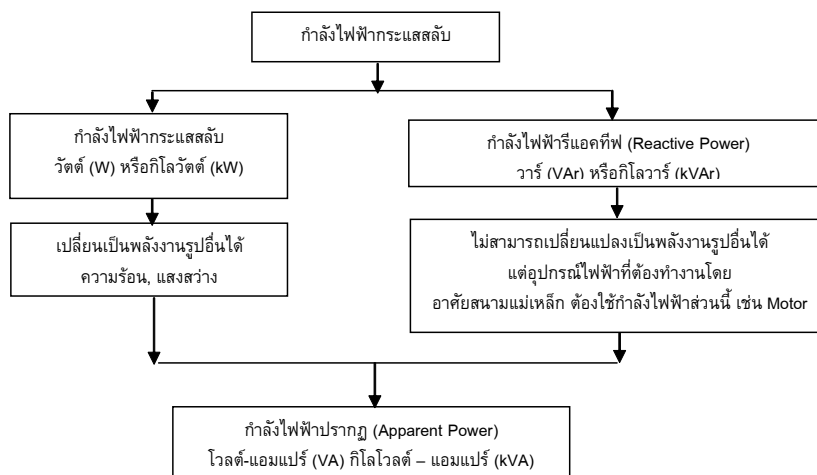
• กำลังไฟฟ้าจริง (Active or Actual or Average or True Power: P) คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เช่น การขับเคลื่อนสายพาน เป็นต้น วัดได้จากวัตต์มิเตอร์หรือคำนวณจากสูตร

$$P = V I \cos \theta$$

- กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power: Q) คือพลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก เป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า หรือผ่าน Air Gap ของอินดักชันมอเตอร์ เป็นต้น วัดได้จาก วาร์มิเตอร์ หรือคำนวณได้จากสูตร

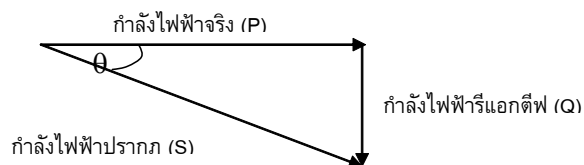
$$Q = V I \sin \theta$$

ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้งสามนี้สามารถเขียนเป็นแผนภูมิได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-1.14



รูปที่ 2-1.14 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

หรือสามารถเขียนเป็น Vector Diagram ได้ดังแสดงในรูปที่ 2-1.15



รูปที่ 2-1.15 Vector Diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน 3 ชนิด ในระบบไฟฟ้ากำลัง

จาก Vector Diagram ซึ่งมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ($\cos\theta$) แสดงได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานคือกำลังไฟฟ้าจริง(kW) กำลังไฟฟ้าสูญเสียคือกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (kVAR) แต่กำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ทั้งหมดคือกำลังไฟฟ้าปรากฏดังนั้นถ้าลดมุม θ ให้เล็กลงได้มากเท่าไรก็จะทำให้ค่า kVAR ลดลงได้มากเท่านั้น ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น และจำนวน kVA ที่ต้องการก็จะลดลงมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริงสาเหตุที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำลงเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้ามีลักษณะเกิดขึ้นล่าหลังแรงดันไฟฟ้า(Lag) หรือกระแสไฟฟ้าเกิดก่อนแรงดันไฟฟ้า(Lead) โดยทั่วไปในโรงงานกระแสไฟฟ้าจะล่าหลังแรงดันไฟฟ้า เพราะว่าโหลดส่วนใหญ่เป็นโหลดแบบเหนี่ยวนำ(Inductive Load) หรืออุปกรณ์ที่มีขดลวดไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าล่าหลังแรงดันไฟฟ้า สภาวะเช่นนี้เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล่าหลัง(Lagging Power Factor) ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นโหลดแบบเก็บประจุไฟฟ้า(Capacitor Load) เช่น ตัวเก็บประจุไฟฟ้า(Capacitor) จะทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดก่อนแรงดันไฟฟ้า สภาวะเช่นนี้เรียกว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล่าหน้า (Leading Power Factor)

(2) การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร

คือการเพิ่มค่า $\cos \theta$ หรือลดมุม θ ที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ใกล้เคียง 1 มากที่สุด การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลัง ให้มีค่าสูงขึ้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

○ การเลือกใช้นาฬิกาตัวเก็บประจุไฟฟ้า การใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อเข้าไปในระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะช่วยแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดให้สูงขึ้นแล้ว ยังช่วยทำให้แรงดันไฟฟ้าดีขึ้น เพราะตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้แก่ระบบไฟฟ้า ทั้งยังมีประโยชน์อื่น เช่น ช่วยป้องกันการจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากหม้อแปลงไฟฟ้าเกินกำลัง ช่วยลดความสูญเสียในระบบไฟฟ้า ช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่เกณฑ์ที่เหมาะสมและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เพื่อที่จะให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เหมาะสม ก็จะต้องติดตั้งเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่มีขนาดเก็บประจุที่เหมาะสม ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้อ้างอิงจากตารางที่ 2-1.7 และ 2-1.8 โดยหาค่าสัมประสิทธิ์ได้จากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก่อนปรับปรุง กับค่า PF หลังจากปรับปรุงแล้ว(หรือค่าที่ต้องการ) จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์นี้คูณกับค่าโหลด แล้วคำนวณหาขนาดเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่ต้องการได้

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

ต้องการหาขนาดของตัวเก็บประจุที่จะปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดขนาด 100 กิโลวัตต์ จากเดิม 0.7 ให้เป็น 0.95 จากตารางที่ 2-1.7 ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก 0.7 ให้เป็น 0.95 มีค่าเท่ากับ 0.69 ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุจะเท่ากับ 0.69×100 กิโลวัตต์ = 69 กิโลวัตต์ นอกจากนี้ควรติดตั้งอุปกรณ์ปลดและต่อตัวเก็บประจุที่เหมาะสมเข้ากับตัวเก็บประจุด้วย เพื่อป้องกันไม่เกิดปัญหาเพาเวอร์แฟคเตอร์กลายเป็นชนิดล้าหน้าเมื่อโหลดลดลง

ตาราง 2-1.7 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์

(กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kW)

| Power Factor ในตอนแรก (%) | Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%) | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| | 100 | 95 | 90 | 85 |
| 30 | 3.18 | 2.85 | 2.69 | 2.56 |
| 32 | 2.96 | 2.63 | 2.48 | 2.34 |
| 34 | 2.77 | 2.44 | 2.28 | 2.15 |
| 36 | 2.59 | 2.23 | 2.11 | 1.97 |
| 38 | 2.43 | 2.14 | 1.95 | 1.81 |
| 40 | 2.29 | 1.96 | 1.81 | 1.67 |
| 42 | 2.16 | 1.83 | 1.68 | 1.54 |
| 44 | 2.04 | 1.71 | 1.56 | 1.42 |
| 46 | 1.93 | 1.60 | 1.44 | 1.31 |
| 48 | 1.83 | 1.50 | 1.34 | 1.21 |
| 50 | 1.73 | 1.40 | 1.25 | 1.11 |
| 52 | 1.64 | 1.31 | 1.16 | 1.02 |
| 54 | 1.56 | 1.23 | 1.07 | 0.94 |
| 56 | 1.48 | 1.15 | 0.99 | 0.86 |
| 58 | 1.40 | 1.08 | 0.92 | 0.78 |
| 60 | 1.33 | 1.00 | 0.85 | 0.71 |
| 62 | 1.27 | 0.94 | 0.78 | 0.65 |

| Power Factor ในตอนแรก (%) | Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%) | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| | 100 | 95 | 90 | 85 |
| 64 | 1.20 | 0.87 | 0.72 | 0.52 |
| 66 | 1.14 | 0.81 | 0.65 | 0.52 |
| 68 | 1.08 | 0.75 | 0.59 | 0.46 |
| 70 | 1.02 | 0.69 | 0.54 | 0.40 |
| 72 | 0.96 | 0.64 | 0.48 | 0.34 |
| 74 | 0.91 | 0.58 | 0.42 | 0.29 |
| 76 | 0.86 | 0.53 | 0.37 | 0.24 |
| 78 | 0.80 | 0.47 | 0.32 | 0.18 |
| 80 | 0.75 | 0.42 | 0.27 | 0.13 |
| 82 | 0.70 | 0.37 | 0.21 | 0.08 |
| 84 | 0.65 | 0.32 | 0.16 | 0.03 |
| 86 | 0.59 | 0.27 | 0.11 | - |
| 88 | 0.54 | 0.21 | 0.06 | - |
| 90 | 0.48 | 0.16 | - | - |
| 92 | 0.43 | 0.10 | - | - |
| 94 | 0.36 | 0.03 | - | - |
| 96 | 0.29 | - | - | - |
| 98 | 0.20 | - | - | - |

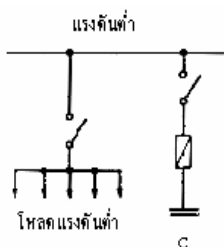
ตารางที่ 2-1.8 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์
(กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kVA)

| Power Factor ในตอนแรก (%) | Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%) | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| | 100 | 95 | 90 | 85 |
| 30 | 0.95 | 0.86 | 0.97 | 0.77 |
| 32 | 0.95 | 0.84 | 0.81 | 0.75 |
| 34 | 0.94 | 0.83 | 0.78 | 0.73 |
| 36 | 0.93 | 0.82 | 0.76 | 0.71 |
| 38 | 0.92 | 0.80 | 0.74 | 0.69 |
| 40 | 0.92 | 0.79 | 0.72 | 0.67 |
| 42 | 0.91 | 0.77 | 0.71 | 0.65 |
| 44 | 0.90 | 0.75 | 0.69 | 0.63 |
| 46 | 0.89 | 0.74 | 0.67 | 0.60 |
| 48 | 0.88 | 0.72 | 0.65 | 0.58 |
| 50 | 0.87 | 0.70 | 0.62 | 0.56 |
| 52 | 0.85 | 0.68 | 0.60 | 0.53 |
| 54 | 0.84 | 0.66 | 0.58 | 0.51 |
| 56 | 0.83 | 0.64 | 0.56 | 0.48 |
| 58 | 0.82 | 0.62 | 0.53 | 0.46 |
| 60 | 0.80 | 0.60 | 0.51 | 0.43 |
| 62 | 0.79 | 0.58 | 0.49 | 0.40 |

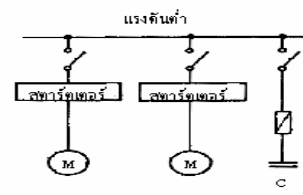
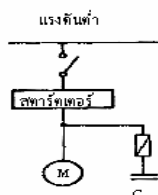
| Power Factor ในตอนแรก (%) | Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%) | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| | 100 | 95 | 90 | 85 |
| 64 | 0.77 | 0.56 | 0.46 | 0.37 |
| 66 | 0.75 | 0.54 | 0.43 | 0.34 |
| 68 | 0.73 | 0.51 | 0.40 | 0.31 |
| 70 | 0.71 | 0.49 | 0.38 | 0.28 |
| 72 | 0.69 | 0.46 | 0.35 | 0.25 |
| 74 | 0.68 | 0.43 | 0.32 | 0.22 |
| 76 | 0.65 | 0.40 | 0.28 | 0.18 |
| 78 | 0.63 | 0.37 | 0.25 | 0.14 |
| 80 | 0.60 | 0.34 | 0.21 | 0.10 |
| 82 | 0.57 | 0.30 | 0.18 | 0.07 |
| 84 | 0.54 | 0.27 | 0.14 | 0.03 |
| 86 | 0.51 | 0.23 | 0.10 | - |
| 88 | 0.48 | 0.19 | 0.05 | - |
| 90 | 0.44 | 0.14 | - | - |
| 92 | 0.39 | 0.09 | - | - |
| 94 | 0.34 | 0.03 | - | - |
| 96 | 0.28 | - | - | - |
| 98 | 0.20 | - | - | - |

○ การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถจะติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร โดยแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- 1) การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟารวมของโรงงาน (รูปที่ 2-1.16)
- 2) การติดตั้งเป็นกลุ่มย่อยหรือที่มอเตอร์เป็นรายตัวเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในแต่ละจุด (รูปที่ 2-1.17)



รูปที่ 2-1.16 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง



รูปที่ 2-1.17 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด

○ ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ข้อดี

1. เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%

2. เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
3. มีความยืดหยุ่นมาก สามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
4. ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดัง การเสื่อมสภาพการทำงานต่ำ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
5. สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย
6. ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย

1. การเกิดแรงดันเกิน(Over Voltage)เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ
2. การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

○ ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

1. เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
2. จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อน เพราะความร้อนยิ่งสูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง
3. การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้
4. ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป
5. อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ค สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที

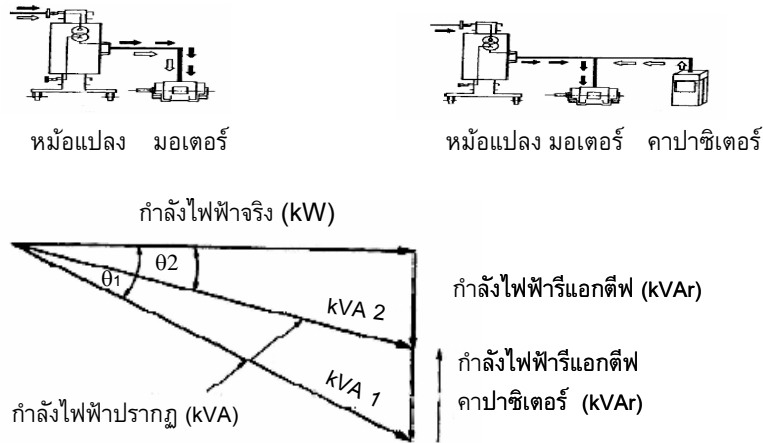
○ การใช้ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor) เป็นการติดตั้งแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้งานอยู่เดิมหรือติดตั้งขึ้นมาใหม่ซึ่งซิงโครนัสมอเตอร์มีประสิทธิภาพการทำงานสูง เหมาะกับโหลดที่ต้องการประสิทธิภาพด้านความเร็วคงที่สูง มีขนาดอย่างต่ำ 20 แรงม้าขึ้นไป แต่การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะเกิดขึ้นต่อเมื่อซิงโครนัสมอเตอร์เริ่มทำงานเท่านั้น หรือจะใช้ซิงโครนัสมอเตอร์แก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอย่างเดียวโดยไม่ใช้กับโหลดในโรงงานก็ได้ วิธีนี้นิยมใช้กันในระบบที่มีขนาดตั้งแต่ 7,500 kVA ขึ้นไป

(3) ผลที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ในอุปกรณ์รับและจ่ายไฟจะติดตั้งตัวเก็บประจุ ซึ่งจะให้ผลดังนี้

- 1) ค่ากำลังสูญเสียในหม้อแปลงและสายไฟลดต่ำลง
- 2) เป็นการลดขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในหม้อแปลงและในสายไฟ
- 3) เป็นการเพิ่มความสามารถในการรับกระแสของหม้อแปลงและอุปกรณ์อื่นๆ

○ การลดค่าการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงและสายไฟ เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุ เข้าไปในระบบ จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ถูกปรับปรุงให้สูงขึ้นจาก $\cos\theta_1$ เป็น $\cos\theta_2$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-1.18 และทำให้กระแสที่ไหลลดลงด้วย



รูปที่ 2-1.18 การลดลงของกระแสในสายไฟเมื่อมีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ อ่านกระแสจากมิเตอร์ได้ 1,266 แอมแปร์ อ่านกำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์ได้ 500 กิโลวัตต์ จงหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|--|-----------|-------|--------|---------------------|
| 1. ข้อมูลเบื้องต้น | | | | |
| 1.1 แรงดันไฟฟ้า | E | V | 380 | จากการตรวจวัด |
| 1.2 กระแสไฟฟ้า | I | A | 1,266 | จากการตรวจวัด |
| 1.3 กำลังไฟฟ้า | P | kW | 500 | จากการตรวจวัด |
| 2. การวิเคราะห์ข้อมูล | | | | |
| 2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ | | | | |
| $S = (\sqrt{3} \times V \times I) / 1,000$ | S | kVA | 833.26 | |
| 2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า | | | | |
| $PF. = P / S$ | PF. | - | 0.6 | |

ถ้าปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น กระแสไฟฟ้าก็จะลดลง

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ตามตัวอย่างข้างต้น หากปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็น 0.95 จงหากระแสไฟฟ้าหลังจากทำการติดตั้งตัวเก็บประจุแล้ว

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|-----------------------------|-----------|-------|--------|-----------------------|
| 1. ข้อมูลเบื้องต้น | | | | |
| 1.1 แรงดันไฟฟ้า | E | V | 380 | จากตัวอย่างที่ผ่านมา |
| 1.2 กระแสไฟฟ้าเดิม | I | A | 1,266 | จากตัวอย่างที่ผ่านมา |
| 1.3 กำลังไฟฟ้า | P | kW | 500 | จากตัวอย่างที่ผ่านมา |
| 1.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเดิม | PF.1 | - | 0.60 | จากตัวอย่างที่ผ่านมา |
| 1.5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใหม่ | PF.2 | - | 0.95 | ค่าที่ต้องการปรับปรุง |

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|---|-----------|-------|--------|---------------------|
| 2. การวิเคราะห์ข้อมูล | | | | |
| 2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ $S = P / PF.2$ | S | kVA | 526.32 | |
| 2.2 กระแสไฟฟ้าหลังติดตั้งตัวเก็บประจุ $I_2 = I_1 \times (PF.1 / PF.2)$ | I_2 | A | 799.58 | |

นอกจากนั้นการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งทำให้กระแสในสายมีขนาดลดลง ยังทำให้ค่ากำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงขณะมีโหลดลดลงด้วย ค่ากำลังงานสูญเสียที่ลดลงนี้สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$\Delta W = \left(\frac{100}{\eta} - 1 \right) \times K \times \left(\frac{P}{P_o} \right)^2 \times \left[1 - \frac{\cos^2 \phi_o}{\cos^2 \phi} \right] \times P_o$$

- โดยที่
- ΔW = กำลังงานสูญเสียที่ลดลง (kW)
 - η = ประสิทธิภาพ (%)
 - K = อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากมีโหลดกับค่าการสูญเสียรวม (ค่ากำลังงานสูญเสียขณะไม่มีโหลด + ค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากมีโหลด)
 - P = ขนาดของโหลด (kVA)
 - P_o = ขนาดของหม้อแปลง (kVA)

ดูตัวอย่างเพื่อเกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ จาก name plate มีการสูญเสียขณะไม่มีโหลด 1,900 วัตต์ การสูญเสียเนื่องจากโหลด 13,500 วัตต์ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 98.46% ขณะทำงานตรวจวัดโหลดได้ 833 กิโลโวลต์แอมแปร์ ที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.6 จงหาค่ากำลังการสูญเสียของหม้อแปลงที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.95 ถ้าทำงานวันละ 12 ชั่วโมง 300 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.10 บาทต่อหน่วย

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|--|-------------|-------|----------|-----------------------|
| 1. ข้อมูลเบื้องต้น | | | | |
| 1.1 ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า | P_o | kVA | 1,000 | ขนาดของหม้อแปลง |
| 1.2 การสูญเสียขณะไม่มีโหลด | NL_{loss} | W | 1,900 | จาก name plate |
| 1.3 การสูญเสียเนื่องจากโหลด | L_{loss} | W | 13,500 | จาก name plate |
| 1.4 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง | η | % | 98.46 | จาก name plate |
| 1.5 ขนาดของโหลด | P | kVA | 833 | จากการตรวจวัด |
| 1.6 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง | PF.1 | - | 0.60 | จากการตรวจวัด |
| 1.7 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง | PF.2 | - | 0.95 | ค่าที่ต้องการปรับปรุง |
| 1.8 ชั่วโมงทำงานต่อปี | hr | hr/y | 3,600.00 | จากการใช้งานจริง |
| 1.9 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย | EC | B/kWh | 3.1 | จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า |

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|---|--------------------------------|-------|-----------|---------------------|
| 2. การวิเคราะห์ข้อมูล | | | | |
| 2.1 การสูญเสียเนื่องจากโหลดจริง $L_{\text{loss}}(\text{จริง}) = (P \times L_{\text{loss}}) / P_o$ | $L_{\text{loss}}(\text{จริง})$ | W | 11,245.50 | |
| 2.2 อัตราส่วนการสูญเสียมีโหลด กับการสูญเสียรวม $K = L_{\text{loss}}(\text{จริง}) / (NL_{\text{loss}} + L_{\text{loss}}(\text{จริง}))$ | K | - | 0.86 | |
| 2.3 การสูญเสียที่ลดลง $W = ((100/\eta) - 1) \times K \times (P/P_o)^2$ $\times (1 - PF.1^2 / PF.2^2) \times P_o$ | W | kW | 5.61 | |
| 2.4 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี $ES = W \times \text{hr}$ | ES | kWh/y | 20,196 | |
| 2.5 ค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี $SC = ES \times EC$ | SC | B/y | 62,608 | |

- การลดขนาดแรงดันตกในหม้อแปลงและสายไฟ ขนาดของแรงดันตกสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta E = I (R \cos\theta + X \sin\theta)$$

โดยที่ ΔE = ขนาดของแรงดันตก

I = กระแสโหลด

R = ความต้านทานในสายไฟที่รวมความต้องการของหม้อแปลง

X = ค่ารีแอคแตนซ์ (reactance) ในสายไฟที่รวมค่ารีแอคเตอร์ของหม้อแปลง

$\cos\theta$ = ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงและสายไฟ

- การเพิ่มความสามารถในการรับกระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้า

เมื่อติดตั้งค่าแพชเตอร์เข้าไป ทำให้กระแสรวมและโหลดของหม้อแปลงและสายไฟมีค่าลดต่ำลง ทำให้มีกำลังสำรองในกรณีที่ต้องเพิ่มโหลดในภายหลัง

- การลดค่าปรับ

การไฟฟ้าจะเรียกเก็บค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ส่วนที่ต่ำกว่า 0.85 ในอัตรา กิโลวาร์(kVAr) ละ 14.02 บาท หากโรงงานเสียค่าปรับอยู่แล้ว การแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์จะทำให้ไม่ต้องเสียค่าปรับ

ตารางที่ 2-1.9 แสดงค่าปรับ เนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำกว่า 0.85

| kW | ค่าปรับ (บาท) | | | | | | | | | |
|------|---------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า | | | | | | | | | |
| | 0.95 | 0.9 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.7 | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 |
| 100 | - | - | - | 183 | 365 | 561 | 772 | 1,010 | 1,262 | 1,557 |
| 300 | - | - | - | 548 | 1,094 | 1,683 | 2,314 | 2,160 | 3,786 | 4,669 |
| 500 | - | - | - | 913 | 1,825 | 2,806 | 3,858 | 5,007 | 6,297 | 7,783 |
| 1000 | - | - | - | 1,827 | 3,649 | 5,612 | 7,715 | 10,014 | 12,622 | 15,566 |

2.1.4 วิธีประหยัดพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร?

$$\text{Electric Power Consumption of Transformer (kWh)} = \left(\text{No-load Loss (kW)} + \text{Load Loss (kW)} \times \frac{\text{Load Factor (\%)} \textcircled{3}}{100} \right) \times \text{Operating Time (hr)} \textcircled{4}$$

| หมายเลข | แนวทางในการประหยัดพลังงาน | มาตรการที่ดำเนินการ |
|---------|---------------------------|---|
| 1 | ลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด | <ul style="list-style-type: none"> • ปลดหม้อแปลงเมื่อไม่ใช้งานเป็นเวลานาน • ใช้หม้อแปลงให้เหมาะสม • ปรับแรงดันให้เหมาะสม • ใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง |
| 2 | ลดการสูญเสียเมื่อมีโหลด | <ul style="list-style-type: none"> • ลดพลังไฟฟ้าสูงสุด • ใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง • เลือกขนาดหม้อแปลงให้เหมาะสมกับ Load Factor • ยุบรวมหม้อแปลงที่มีโหลดน้อย • ปรับปรุงค่า Power Factor |
| 3 | เพิ่มค่า Load Factor | <ul style="list-style-type: none"> • ลดพลังไฟฟ้าสูงสุด |
| 4 | ลดชั่วโมงการทำงาน | <ul style="list-style-type: none"> • วางแผนการทำงานให้เหมาะสม |
| อื่น ๆ | ปรับปรุงค่า Power Factor | <ul style="list-style-type: none"> • ติดตั้งคาปาซิเตอร์ • ใช้ชิงโครนสมอเตอร์ |

หมายเลข 3 ตามสมการเมื่อเพิ่มค่า Load Factor จะทำให้การใช้พลังงานมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากค่าของ Load Factor จะได้ดังนี้

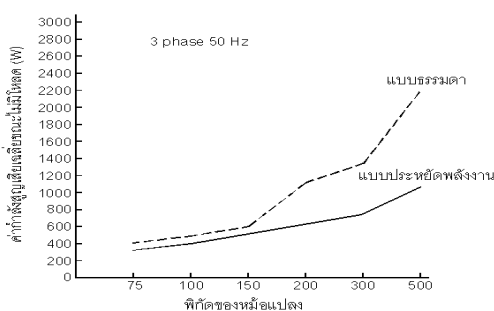
$$\text{L.F. (รายเดือน)} = \frac{\text{kWh}}{\text{kW} \times \text{จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}}$$

การเพิ่ม L.F. คือการลดค่า kW นั่นคือค่าของพลังไฟฟ้าสูงสุดลดลง ปริมาณกระแสก็จะลดลงเช่นกัน ซึ่งจะทำให้การสูญเสียเมื่อมีโหลดลดลงด้วย

- การใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ให้ประหยัดพลังงานจะต้องคำนึงถึง

1. การใช้หม้อแปลงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ การทำให้กำลังงานสูญเสียขณะไม่มีโหลดเท่ากับกำลังงานสูญเสียเมื่อมีโหลด ($W_i = W_c$) อย่างไรก็ตาม โหลดในโรงงานจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นการยากที่จะทำให้การสูญเสียดังกล่าวเท่ากัน ดังนั้นวิธีที่สะดวกที่สุดคือการเลือกใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง

2. การลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด จะขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า วิธีการจะลดการสูญเสียนี้ได้แก่ 1) ปลดหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน เช่น ในวันหยุด(ปลดวงจรทั้งด้านไฟแรงสูงและแรงต่ำ)จะลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลดลงได้ 2) การใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะมีค่าการสูญเสียน้อยกว่าหม้อแปลงธรรมดา ดังรูปที่ 2-1.19 3) การใช้หม้อแปลงให้เหมาะสมกับโหลด โดยการย้ายโหลดหม้อแปลง ดังกล่าวในตอนต้น การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม ควรจ่ายโหลดอยู่ในช่วง 60% - 80% ของขนาดพิกัด ดังนั้นควรตรวจสอบโหลดของหม้อแปลงแต่ละตัวว่าทำงานอยู่ในช่วงดังกล่าวหรือไม่ หากไม่ใช่ควรจัดการแบ่งโหลดของหม้อแปลงเสียใหม่



รูปที่ 2-1.19 การสูญเสียของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

ดูตัวอย่างเพื่อเกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว ขนาด 500 กิโลโวลต์แอมแปร์ เท่ากัน ตรวจวัดหม้อแปลง TR-1 มีโหลด 3.79 กิโลวัตต์ ที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.33 TR-2 มีโหลด 115.90 กิโลวัตต์ ที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.73 ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU มี On Peak รวม 3,250 ชั่วโมง Off Peak รวม 5,510 ชั่วโมง จงย้ายโหลดหม้อแปลงมารวมกันที่ TR-2 และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี?

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|--|-----------|-------|----------|---------------------|
| 1. ข้อมูลเบื้องต้น | | | | |
| 1.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า TR-1 | TR1 | kVA | 500.00 | จาก Name Plate |
| 1.2 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า TR-2 | TR2 | kVA | 500.00 | จาก Name Plate |
| 1.3 พลังไฟฟ้าสูงสุดของ TR-1 | P1 | kW | 3.79 | ตรวจวัด |
| 1.4 พลังไฟฟ้าสูงสุดของ TR-2 | P2 | kW | 155.90 | ตรวจวัด |
| 1.5 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงในช่วงเวลา On | hr1 | hr/y | 3,250.00 | สอบถามโรงงาน |
| 1.6 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงในช่วงเวลา Off | hr2 | hr/y | 5,510.00 | สอบถามโรงงาน |
| 1.7 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ TR-1 | PF1 | - | 0.33 | ตรวจวัด |
| 1.8 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ TR-2 | PF2 | - | 0.73 | ตรวจวัด |
| 1.9 Copper Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-1 | CP1 | kW | 5.50 | คุณลักษณะหม้อแปลง |
| 1.10 Copper Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-2 | CP2 | kW | 5.50 | คุณลักษณะหม้อแปลง |
| 1.11 Core Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-1 | CL1 | kW | 1.10 | คุณลักษณะหม้อแปลง |
| 1.12 Core Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-2 | CL2 | kW | 1.10 | คุณลักษณะหม้อแปลง |

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|---|-----------|-------|-----------|---------------------|
| 1.13 ค่าพลังไฟฟ้าต่อหน่วย | CP | B/kW | 132.93 | บิลไฟฟ้า |
| 1.14 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | CEO | B/kWh | 2.70 | บิลไฟฟ้า |
| 1.15 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | CEF | B/kWh | 1.19 | บิลไฟฟ้า |
| 2. การวิเคราะห์ข้อมูล | | | | |
| 2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ TR-1 | | | | |
| PA1 = P1 / PF1 | PA1 | kVA | 11.48 | |
| 2.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏ TR-2 | | | | |
| PA2 = P2 / PF2 | PA2 | kVA | 213.56 | |
| 2.3 กำลังไฟฟารีแอกทีฟ TR-1 | | | | |
| PR1 = P1 x tan x (cos ⁻¹ PF1) | PR1 | kVAr | 10.84 | |
| 2.4 กำลังไฟฟารีแอกทีฟ TR-2 | | | | |
| PR2 = P2 x tan x (cos ⁻¹ PF2) | PR2 | kVAr | 145.96 | |
| 2.5 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ Core | | | | |
| ECO = CL1 x hr1 | ECO | kWh/y | 3,575.00 | |
| ECf = CL2 x hr2 | ECf | kWh/y | 6,061.00 | |
| 2.6 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ | | | | |
| EPO = CP1 x (PA1 / TR1) ² x hr1 | EPO | kWh/y | 9.42 | |
| EPf = CP1 x (PA1 / TR1) ² x hr2 | EPf | kWh/y | 15.98 | |
| 2.7 เมื่อนำโหลดหม้อแปลง TR-2 มารวมกับ | | | | |
| PAN = ((P1 + P2) ² + (PR1 + PR2) ²) ^{1/2} | PAN | kVA | 223.80 | |
| 2.8 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ | | | | |
| CPIO = CP2 x ((PAN / TR2) ² - (PA2 / | CPIO | kWh/y | 320.22 | |
| CPIf = CP2 x ((PAN / TR2) ² - (PA2 / | CPIf | kWh/y | 542.89 | |
| 2.9 การสูญเสียที่ลดลงทั้งหมด | | | | |
| EO = ECO + EPO - CPIO | EO | kWh/y | 3,264.20 | |
| Ef = ECf + EPf - CPIf | EF | kWh/y | 5,534.09 | |
| 2.10 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ | | | | |
| CSO = EO x CEO | CSO | B/y | 8,797.02 | |
| CEF = Ef x CEF | CEF | B/y | 6,593.31 | |
| 2.11 พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ | | | | |
| PS = CL1 + CP1 x (PA1 / TR1) ² - CP2 | PS | kW | 1.00 | |
| 2.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ | | | | |
| EP = PS x 12 x CP | EP | B/y | 1,602.13 | |
| 2.13 รวมค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ | | | | |
| SE = EP + CSO + CEF | SE | B/y | 16,992.47 | |

3. การปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายด้านแรงต่ำจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น จะต้องเท่ากับพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ไฟฟ้าจะติดตั้งอยู่

ในตำแหน่งต่างๆ ที่ห่างจากบัสบาร์ไม่เท่ากัน จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าแต่ละจุดไม่เท่ากัน ควรพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ไกลที่สุดเป็นหลัก ให้แรงดันมีค่าเป็น 380 โวลต์ (โดยการปรับแทปที่หม้อแปลงไฟฟ้า) การปรับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลง จะทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\text{กำลังที่ประหยัดได้} = \text{กำลังที่สูญเสียไม่มีโหลด} \times [(V_1/V_2)^2 - 1] \text{ kW}$$

เมื่อ V_1 = แรงดันไฟฟ้าก่อนปรับลด

V_2 = แรงดันไฟฟ้าหลังปรับลด

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ตัวที่ไกลสุดได้ 392 โวลต์ หากปรับแรงดันไฟฟ้าที่แทปลดลง 1 ระดับ จงหากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้

| รายการ | สัญลักษณ์ | หน่วย | ข้อมูล | แหล่งที่มาของข้อมูล |
|---|-------------|-------|----------|-----------------------|
| 1. ข้อมูลเบื้องต้น | | | | |
| 1.1 การสูญเสียขณะไม่มีโหลด | NL_{loss} | W | 1,900.00 | ข้อมูลจาก name plate |
| 1.2 แรงดันไฟฟ้าก่อนปรับ | E1 | V | 392.00 | จากการตรวจวัด |
| 1.3 แรงดันไฟฟ้าหลังปรับ | E2 | V | 382.00 | ปรับลง 1 ระดับ ~ 10 V |
| 2. การวิเคราะห์ข้อมูล | | | | |
| 2.1 กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ | | | | |
| $W = NL_{loss} \times ((E1/E2)^2 - 1) / 1000$ | W | kW | 0.101 | |

2-1.5 แนวทางการตรวจวินิจฉัยและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างไร?

การตรวจสอบประจำวัน เป็นการตรวจสอบด้วยสายตา โดยใช้แบบตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบในการดำเนินการดังนี้

1. ลูกถ้วยแรงสูง, แรงต่ำ
2. ล้อฟ้า
3. ขั้วต่อสายแรงสูง, แรงต่ำ
4. ชุดกรองความชื้น
5. รอยรั่วของน้ำมัน
6. สภาพทั่วไปของตัวกับหม้อแปลง
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. จุดต่อสายดิน
9. ระดับน้ำมัน

การตรวจสอบประจำปี ซึ่งถ้าเป็นไปได้ควรตรวจสอบทุก 6 เดือน หรืออย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เป็นการตรวจสอบที่ต้องปลดหม้อแปลงออกจากวงจร ต้องทดสอบทุกรายการ ตามแบบตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

แบบตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

| แนวทางการตรวจ | | แนวทางการวินิจฉัย |
|------------------------|---|---|
| รายการตรวจ | ผลการตรวจ | |
| 1. ลุกถ้วยแรงสูง | <input type="checkbox"/> สะอาด, ผิวเรียบ <input type="checkbox"/> มีฝุ่นจับ <input type="checkbox"/> มีรอยบิ่นที่เฟส..... <input type="checkbox"/> มีรอยร้าวที่เฟส..... | ลุกถ้วยจะต้องสะอาด มีผิวเรียบ ไม่มีฝุ่นจับ ไม่มีรอยร้าวหรือบิ่น การที่ลูกถ้วยสกปรกหรือผิวมีรอยร้าวรอยบิ่นจะทำให้เกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินได้ |
| 2. ลุกถ้วยแรงต่ำ | <input type="checkbox"/> สะอาด, ผิวเรียบ <input type="checkbox"/> มีฝุ่นจับ <input type="checkbox"/> มีรอยบิ่นที่เฟส..... <input type="checkbox"/> มีรอยร้าวที่เฟส..... | ลุกถ้วยจะต้องสะอาด มีผิวเรียบ ไม่มีฝุ่นจับ ไม่มีรอยร้าวหรือบิ่น การที่ลูกถ้วยสกปรกหรือผิวมีรอยร้าวรอยบิ่นจะทำให้เกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินได้ |
| 3. ขั้วต่อสายแรงสูง | <input type="checkbox"/> สะอาด <input type="checkbox"/> ขั้วต่อแน่น | ขั้วต่อสายจะต้องแน่น สะอาด ไม่มีสนิมบริเวณจุดต่อ - ตรวจสอบด้วยสายตา - อุณหภูมิแบบใช้แสง ให้เล็งลำแสงไปยังจุดต่อ อุณหภูมิจะต้องไม่เกินอุณหภูมิแวดล้อม |
| 4. ขั้วต่อสายแรงต่ำ | <input type="checkbox"/> สะอาด <input type="checkbox"/> ขั้วต่อแน่น | เช่นเดียวกับข้อ 3 ขั้วต่อสายต้องไม่ขยับ (ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าตั้งอยู่บนพื้นตรวจสอบโดยจับสายแรงต่ำโยกเล็กน้อย) |
| 5. จุดปรับแรงดัน | <input type="checkbox"/> แทปอยู่ที่ตำแหน่งที่..... | แทปใช้สำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าด้านสายแรงต่ำการปรับแทป 1 ตำแหน่งจะทำให้แรงดัน ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 10 โวลท์ |
| 6. รอยรั่วซึมของน้ำมัน | <input type="checkbox"/> ไม่มีรอยรั่วซึม <input type="checkbox"/> มีรอยซึมที่..... | จะต้องไม่มีการรั่วซึมของน้ำมันจากประเก็นที่ปะกบอยู่ระหว่างรอยต่อของหม้อแปลงหรืออุปกรณ์ ถ้าน้ำมันรั่วซึมตลอดเวลา จะต้องหยุดการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าและรีบแก้ไขโดยด่วน |
| 7. บูชไฮลทรีเลีย | <input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี <input type="checkbox"/> ต่อใช้งาน <input type="checkbox"/> ไม่ได้ต่อใช้งาน | บูชไฮลทรีเลีย ใช้ส่งสัญญาณเมื่อปริมาณของน้ำมันหม้อแปลงต่ำกว่าที่กำหนด ถ้าสัญญาณเช่น หลอดไฟหรือออกทำงานแสดงว่าระดับน้ำมันต่ำกว่าที่กำหนด |
| 8. เทอร์โมมิเตอร์ | <input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี <input type="checkbox"/> แบบหน้าปัทม์ <input type="checkbox"/> แบบแท่ง <input type="checkbox"/> แสดงผล <input type="checkbox"/> ไม่แสดงผล | เทอร์โมมิเตอร์ติดตั้งไว้เพื่อแสดงอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง - ตรวจสอบความถูกต้องของอุณหภูมิที่อ่านได้ - อุณหภูมิต้องไม่เกิน 60°C |
| 9. ระดับน้ำมัน | <input type="checkbox"/> ตรงแนวระดับ | |

| แนวทางการตรวจ | | แนวทางการวินิจฉัย |
|---|---|---|
| รายการตรวจ | ผลการตรวจ | |
| | <input type="checkbox"/> สูงกว่าแนวระดับ <input type="checkbox"/> ต่ำกว่าแนวระดับ | |
| 10. ล้อฟ้า | <input type="checkbox"/> สมบูรณ์ <input type="checkbox"/> ไม่สมบูรณ์ | |
| 11. ชุดกรองความชื้น | <input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี <input type="checkbox"/> สภาพดี <input type="checkbox"/> เสื่อมสภาพ | |
| 12. ตัวถังหม้อแปลง | <input type="checkbox"/> สภาพดี <input type="checkbox"/> บางส่วนมีสีจางเป็นดวงๆ <input type="checkbox"/> เริ่มมีคราบสนิม | |
| 13. จุดต่อสายดิน | <input type="checkbox"/> สมบูรณ์ <input type="checkbox"/> หลุด, ขาด <input type="checkbox"/> เกิดสนิมทั้งหมด | |
| 14. ค่าฉนวนน้ำมัน | <input type="checkbox"/> มีรายงานทดสอบ <input type="checkbox"/> ไม่มีรายงานทดสอบ | |
| 15. การตรวจสอบความเป็นฉนวนโดยการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในน้ำมัน | <input type="checkbox"/> มีรายงานทดสอบ <input type="checkbox"/> ไม่มีรายงานทดสอบ | หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดกลาง (500 kVA) ขึ้นไปต้องสอบวินิจฉัยปริมาณก๊าซในน้ำมันที่จะเกิดเป็นเปลวได้ ตามมาตรฐานที่พิจารณา |
| 16. การวัดค่าความต้านทานระหว่างขดลวดและระหว่างขดลวดกับดิน | <input type="checkbox"/> มีรายงานทดสอบ <input type="checkbox"/> ไม่มีรายงานทดสอบ | ตามมาตรฐานที่ใช้พิจารณา |
| 17. ทดสอบการทำงานของรีเลย์ | <input type="checkbox"/> มีรายงานทดสอบ <input type="checkbox"/> ไม่มีรายงานทดสอบ | ตามมาตรฐานที่ใช้พิจารณา |
| 18. ตรวจสอบความผิดปกติอื่นๆ | <input type="checkbox"/> ปกติ <input type="checkbox"/> ไม่ปกติ | ตามมาตรฐานที่ใช้พิจารณา |