บทที่ 3
การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าหมายถึง การผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด ทำให้ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง ประหยัดค่าใช้จ่ายรวมไปถึงลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแหล่งผลิตพลังงานลงด้วย การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้ามีการดำเนินการได้ตามลักษณะต่างๆดังต่อไปนี้

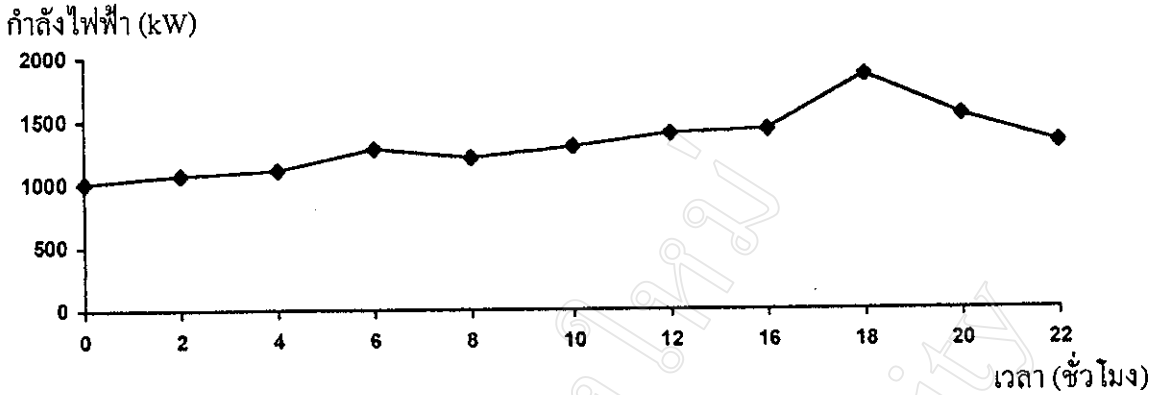
3.1 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้า

3.1.1 การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ปกติโรงไฟฟ้า หรือ โรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมงแต่ในช่วงเวลา 13:00-21:30 น. ของแต่ละวันความต้องการกำลังไฟฟ้าทั้งระบบจะสูงสุด (Peak) คือมีการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทั้งประเทศสูงสุด ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงดังกล่าวจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบทั้งประเทศลดลง ซึ่งจะทำให้มีกำลังผลิตสำรองเพิ่มมากขึ้นเพียงพอที่จะจ่ายในกรณีโรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าบางหน่วย เกิดขัดข้องหยุดจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระทันหันโดยไม่ตัดโหลดผู้ใช้บางส่วนออกและทำให้โรงไฟฟ้าที่ควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าลงได้ หรือ โรงงานอุตสาหกรรมจะทำให้เสียค่าไฟฟ้าลดลงเนื่องจากการไฟฟ้าฯ จะวัดความต้องการ กำลังไฟฟ้าสูงสุดออกมาในรูปค่าเฉลี่ย โดยใช้คาบเวลา 15 นาที เป็นช่วงเวลาในการวัดและบันทึกค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดของคาบใดคาบหนึ่งในรอบเดือนคูณด้วยสี่จะเป็นค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของคาบเวลานั้นเรียกว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด (Maximum 15 - Minute Kilowatt Demand) ซึ่งนำไปเป็นส่วนประกอบในการคิดค่าไฟฟ้า [4]

การใช้พลังงานไฟฟ้าของกิจการต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา บางขณะมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด บางขณะมีความต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งเราเรียกว่าเส้นโค้งของโหลด (Load Curve)[5]

การบันทึกเส้นโค้งของโหลดนี้เราอาจจะบันทึกอย่างละเอียดเป็นรายนาที ชั่วโมง วัน หรือบันทึกอย่างหยาบๆ เป็นรายสัปดาห์ รายเดือน ก็ได้ เส้นโค้งของโหลดนี้มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลาต่างๆ เพื่อวางแผนการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในการพิจารณาลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อลดค่าไฟฟ้าได้ หรือ ไม่นั้น จะต้องพิจารณาจากตัวประกอบโหลด (Load Factor)



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเส้นโค้งของโหลด

$$\text{ตัวประกอบโหลด [4]} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนด}}{\text{ความต้องการ กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนด}} \qquad (3.1)$$

ตัวประกอบโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้านั้นสม่ำเสมอ หรือ ไม่ ถ้าตัวประกอบโหลดมีค่าสูงแสดงว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าไม่มากซึ่งเป็นสิ่งที่การไฟฟ้าฯ ต้องการเพราะต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจะไม่สูง ในการพิจารณาลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องตรวจสอบก่อนว่า สามารถที่จะดำเนินการได้จริง หรือ ไม่ การเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดโดยการลด หรือ การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดสามารถกระทำได้โดยพิจารณาเส้นโค้งของโหลดรายวัน หรือ รายเดือน ซึ่งแสดงสภาพหรือสถานะการใช้งานของโหลดที่เวลาต่างๆ ในแต่ละวัน หรือ ในแต่ละเดือน จากรูปเส้นโค้งของโหลดเราสามารถตรวจสอบได้ว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นที่เวลาใดและอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าต่างๆ ในขณะนั้นมีอะไรบ้าง เราสามารถลดการใช้งานลงได้บ้าง หรือ ไม่ ดังนั้นในช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด เราควรจะตัด หรือ หยุดการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น หรือ มีความจำเป็นไม่มากไว้ชั่วคราว จนกว่าช่วงเวลาดังกล่าวจะผ่านไป จึงจะเปิดใช้งานตามลำดับก่อนหลังตามความจำเป็นต่อไป การลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด สามารถสรุปเป็นแนวทางในการดำเนินการได้ดังนี้ [6]

1) สำรวจและจัดทำรายการแสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวทั้งหมดโดยแบ่งเป็นกลุ่มๆ เช่น กลุ่มเครื่องจักรกลที่มีความจำเป็นต่อ กระบวนการผลิต กลุ่มเครื่องจักรที่ใช้ช่วยเสริมการทำงานของกระบวนการผลิต ฯลฯ ซึ่งรายการประกอบด้วย ขนาด จำนวน ช่วงเวลาทำงาน ตำแหน่งที่ติดตั้ง เป็นต้น
2) แบ่งกลุ่มเครื่องจักรกลไฟฟ้าออกเป็น 3 พวกคือ พวกที่ทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา พวกที่ทำงานเป็นช่วงเวลาเดินๆ หยุดๆ ซึ่งอาจจะแบ่งละเอียดลงไปเป็นเดินมากกว่าหยุด

หรือ หยุดมากกว่าเดินและพวกที่นานๆ ทำงานครั้ง เพื่อจะได้ศึกษาลักษณะการใช้งาน และจัดทำตารางเวลาที่เหมาะสมต่อไป

3) สำรวจการใช้ไฟฟ้ารายวันของอุปกรณ์ทุกชิ้น ได้แก่ กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง กระแสไฟฟ้า เป็นต้น

4) ตรวจสอบความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากเส้นโค้งของโหลด หรือ เครื่องควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า (ถ้ามี) แล้วกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์ขนาดใหญ่ๆ เช่น มอเตอร์ เตาหลอม เป็นต้น

5) พิจารณาวางแผนการใช้ไฟฟ้าโดยพยายามรักษาระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้ต่ำที่สุด ทั้งนี้จะต้องไม่กระทบกระเทือนต่อกระบวนการผลิตและกำหนดเป้าหมายความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไว้ด้วย

6) ย้ายเวลาเดินเครื่องจักรบางตัว หรือ บางชุดให้ทำงานมากขึ้น หรือ ช้าลงเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานในช่วง Peak Load

7) กระจายการทำงานของโหลดออกไปจาก ช่วงเวลาที่เกิดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วทำตารางกำหนดช่วงเวลาทำงานเอาไว้ตามลำดับความสำคัญโดยให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละชุดเหลื่อมกัน

8) พิจารณาเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความสำคัญน้อย เครื่องจักรที่เดินตัวเปล่า ปลดออกในช่วงที่ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

9) เลือกเวลาเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ขนาดใหญ่ เตาหลอมไฟฟ้าขนาดใหญ่และเตาอบให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

10) สนับสนุนให้มีการอนุรักษ์พลังงาน ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดมาตรการเพื่อ ควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินขอบเขตที่กำหนดไว้

11) ในกรณีที่ต้องการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดอย่างแม่นยำและต่อเนื่อง ควรใช้เครื่องควบคุมความต้องการ กำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Demand Controller) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ บันทึกสภาพใช้กำลังไฟฟ้าสามารถส่งสัญญาณเตือน หรือ ควบคุมให้ ตัดโหลดที่มีความสำคัญน้อยออกจากระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีแนวโน้มว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ได้ด้วย

3.1.2 การแก้ไขตัวประกอบกำลัง

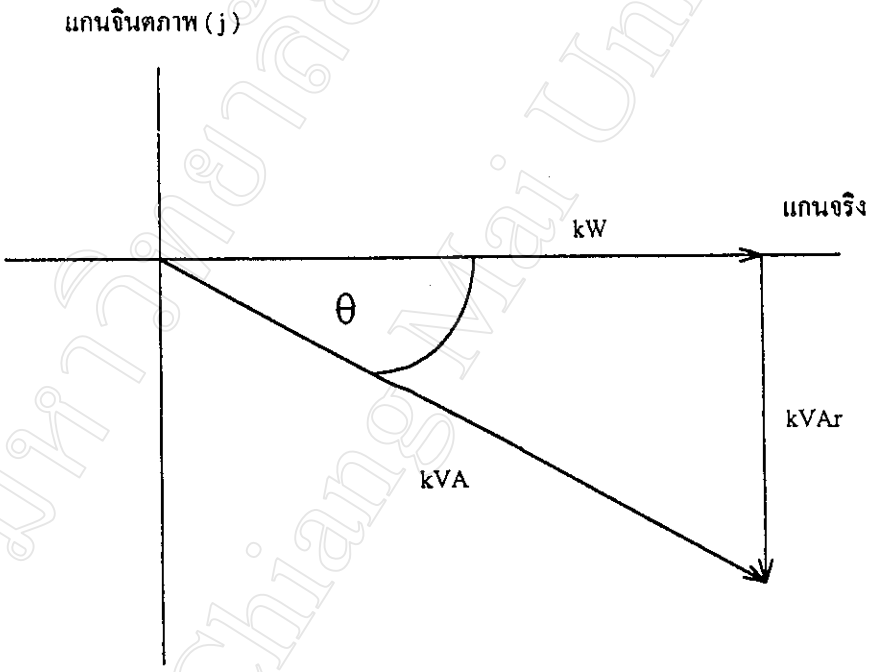
กำลังในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) มีหน่วยวัดเป็นวัตต์ หรือ กิโลวัตต์ (W หรือ kW) เป็นกำลังที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นรูป

อื่นๆ เช่น กำลังกล เป็นต้น โดยผ่านทางอุปกรณ์ไฟฟ้าและกำลังอีกส่วน คือ กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยวัดเป็นวาร์ หรือ กิโลวาร์ (VAr หรือ kVAr) [7] เป็นกำลังที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นกำลังรูปอื่นได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น มอเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า ฯลฯ ต้องใช้กำลังรีแอกทีฟนี้สร้างสนามแม่เหล็ก ในทางวิศวกรรมไฟฟ้าสามารถเขียน เวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าได้เป็นสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle) [6] ดังรูปที่ 3.2

$$(kW)^2 + (kVAr)^2 = (kVA)^2 \qquad (3.2)$$

เมื่อ kVA (กิโลโวลต์ แอมแปร์) เป็นหน่วยวัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) นั่นก็คือ

$$kVA = \sqrt{(kW)^2 + (kVAr)^2} \qquad (3.3)$$



รูปที่ 3.2 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลัง เป็นค่าซึ่งแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏ

$$\text{ตัวประกอบกำลัง} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ}} = \frac{(\text{W หรือ kW})}{(\text{VA หรือ kVA})} \qquad (3.4)$$

ตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอาจเป็นแบบนำ (Leading) หรือ แบบตาม (Lagging) ก็ได้ ถ้ากำลังรีแอกทีฟเป็นลบ ดังรูปที่ 3.2 ตัวประกอบกำลังจะเป็นแบบตาม แต่ถ้ากำลังรีแอกทีฟมีค่าเป็นบวกตัวประกอบกำลังก็จะเป็นแบบนำอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) หม้อแปลง เครื่องเชื่อม เป็นต้น [7] จะมีตัวประกอบกำลังแบบตาม (Lagging Power Factor) ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบแบบนำ (Leading Power Factor) ได้แก่ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เครื่องจักรซิงโครนัส (Synchronous Machines) ในการคำนวณเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังทำได้โดย ใช้นิยามของตัวประกอบกำลังและพิจารณารูปที่ 3.3 [7]

ตัวประกอบกำลัง $= \cos\theta = \frac{\text{Active power}}{\text{Apparent power}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$ (3.5)

$\tan\theta = \frac{\text{Reactive Power}}{\text{Active power}} = \frac{\text{kVAr}}{\text{kW}}$ (3.6)

$\sin\theta = \frac{\text{Reactive Power}}{\text{Apparent Power}} = \frac{\text{kVAr}}{\text{kVA}}$ (3.7)

นั่นก็คือ $\text{kVAr} = \text{kW}\tan\theta$ (3.8)

การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อลดกำลังรีแอกทีฟ สามารถหาค่าตัวเก็บประจุที่จะต้องติดตั้งได้ดังนี้

พิจารณารูปที่ 3.3

kVAr_1 (ก่อนปรับปรุงตัวประกอบกำลัง) $= \text{kW}\tan\theta_1$

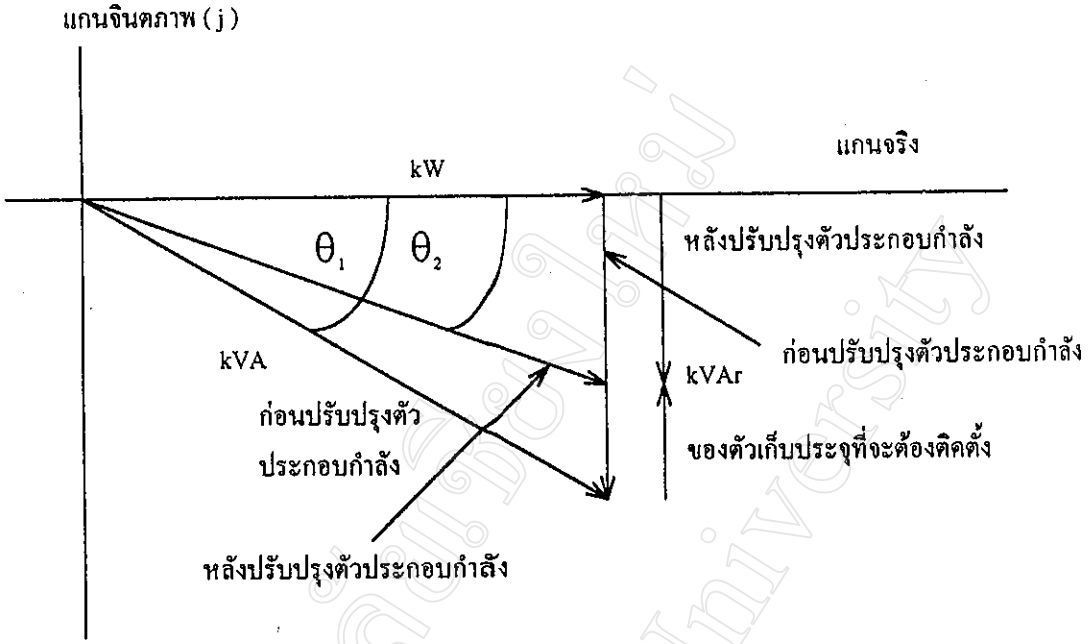
kVAr_2 (หลังปรับปรุงตัวประกอบกำลัง) $= \text{kW}\tan\theta_2$

เมื่อ θ_1 = มุมของตัวประกอบกำลังก่อนการปรับปรุง

θ_2 = มุมของตัวประกอบกำลังหลังจากปรับปรุง

ดังนั้น

kVAr ของตัวเก็บประจุที่จะต้องติดตั้ง $= \text{kW}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของกำลังส่วนต่างๆ ก่อนและหลังปรับค่าตัวประกอบกำลัง

<u>1 การติดตั้งตัวเก็บประจุ</u>

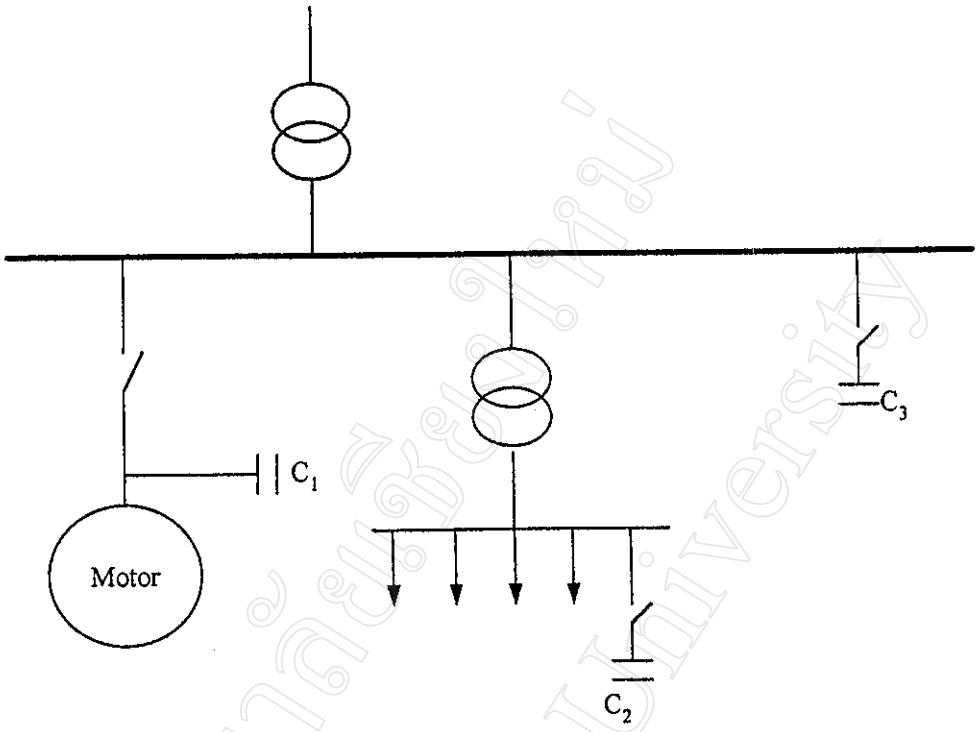
โดยปกติทั่วไปแล้วจะติดตั้งตัวเก็บประจุทางด้านแรงดันต่ำ เพราะมีราคาถูก ควบคุมได้ง่าย หรือ ติดตั้งบริเวณอยู่ใกล้โหลด ใกล้อุปกรณ์ที่ต้องการกำลังรีแอกทีฟมากดังแสดงในรูปที่ 3.4 แบ่งได้เป็น 4 แบบ [8] คือ

ก) ติดตั้งที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า (Individual Compensation) เช่น มอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น ดังรูปที่ 3.4 ติดตั้งตัวเก็บประจุ C_1 เหมาะสำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ ที่อยู่ไกลจากแผงจ่ายไฟหลัก

ข) ติดตั้งที่กลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้า (Group Compensation) สำหรับกลุ่มโหลดที่ทำงาน พร้อมกัน เช่น มอเตอร์ โดยติดตั้งตัวเก็บประจุชุดเดียวที่แผงสวิตช์ย่อย ดังรูปที่ 3.4 ติดตั้งตัวเก็บประจุ C_2

ค) ติดตั้งที่ศูนย์รวมของระบบ (Central Compensation) เป็นการติดตั้งที่แผงจ่ายไฟหลัก ดังรูปที่ 3.4 ติดตั้งตัวเก็บประจุ C_3

ง) ติดตั้งแบบผสม (Mixed Compensation) เช่น ติดตั้งตัวเก็บประจุทั้ง 3 แบบรวมกัน



รูปที่ 3.4 แสดงถึงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวเก็บประจุ

2 ประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง มีดังนี้คือ

ก) ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดเพิ่มขึ้น (Release of System Capacity) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA) รวมลดลง ทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง ฯลฯ ส่วนใหญ่มีพิกัดกำหนดค่าเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ

ข) ลดกำลังสูญเสียของระบบ (Reduce Power System Loss) ในสายไฟฟ้ารวมทั้งในหม้อแปลงเนื่องจากกระแสไฟฟ้ารวมของระบบลดลง

$$\text{กระแสโหลด } (I_L) = \frac{kW \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times p.f.} \quad A \qquad (3.9)$$

เมื่อ p.f. เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสโหลดลดลง

ค) ระดับแรงดันดีขึ้น (Voltage Improvement) แรงดันตกของ สายไฟฟ้าลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของสายส่งทั่วไปจะแทนด้วยความต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำจาก สูตร [8]

$$\Delta V = \sqrt{3}\ I(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad (3.10)$$

I = กระแสในสายส่ง (A)

R = ความต้านทานของสายส่ง (Ω)

X = รีแอคแตนซ์ของสายส่ง (Ω)

$\cos\theta$ = ตัวประกอบกำลัง

ΔV = แรงดันตกในสายส่ง

ง) แรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเพิ่มขึ้น [8]

$$\%\ V\ (\text{เพิ่มขึ้น}) = \frac{\text{ขนาดตัวเก็บประจุ} \times \%\ \text{อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง}\ (U_k)}{\text{ขนาดพิกัดของหม้อแปลง}}$$

$$= \frac{kVAr \times U_k}{kVA} \quad (3.11)$$

จ) ทำให้ลดค่าไฟฟ้า เนื่องจากกำลังงานสูญเสียลดลง ทำให้ค่าไฟฟ้าลดลงด้วย

<u>3 ข้อควรระวังในการติดตั้งตัวเก็บประจุ [8]</u>

ก) ตัวเก็บประจุขณะที่ต่อกับระบบไฟฟ้าจะมีประจุเก็บไว้ในตัวของมันเอง เมื่อถูกตัดออกจากระบบประจุเหล่านี้จะยังคงอยู่ซึ่งทำให้เกิดอันตรายได้ถ้าต้องการนำเข้าใช้งานต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าอีกครั้งจะต้องให้แรงดันค้างที่ขั้วของตัวเก็บประจุมีค่าไม่เกิน 10 % ของแรงดันพิกัดเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน ดังนั้นจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการคายประจุเพื่อลดแรงดันที่ขั้วในกรณีที่จะนำตัวเก็บประจุต่อกับระบบให้เร็วขึ้นอีกครั้ง

ข) กระแสพุ่งเข้าเมื่อนำตัวเก็บประจุต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจะทำให้เกิดสภาพภาวะเปลี่ยนผ่าน (Transient) คือ เกิดแรงดันและกระแสเกินความถี่สูงชั่วขณะอาจทำความเสียหายต่อตัวเก็บประจุได้กระแสนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยนำตัวเหนี่ยว-นำ หรือ ความต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุในช่วงที่นำเข้าใช้งาน

ค) ฮาร์โมนิค (Harmonic) เกิดจากโหลดของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Load) เช่น เตาอาร์กไฟฟ้า (Electronic Arc Furnaces) เครื่องแปลงผันกำลัง (Power Converters) เป็นต้น ทำให้คลื่นรูปไซน์ (Sine Wave) ของแรงดันหรือ กระแสมีรูปคลื่นเพี้ยนไป (Distorted Wave) คือมีคลื่นกระแส หรือ แรงดันที่มีความถี่สูงรวมอยู่ด้วย ผลของฮาร์โมนิคต่อตัวเก็บประจุจะทำให้ กระแสไหล

เข้าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นจนเกินพิกัด อายุการใช้งานตัวเก็บประจุจะสั้นลง หรือเกิดระเบิดขึ้นได้ การติดตั้งจะต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

3.2 การอนุรักษ์พลังงานที่อุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม หรือ โรงไฟฟ้านั้นแต่ละอุปกรณ์นั้นจะมีการสูญเสียพลังงาน หรือ มีประสิทธิภาพสูงต่ำไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของอุปกรณ์ในตารางที่ 3.5 จะแสดงให้เห็นถึงช่วงของการสูญเสียพลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้นการลดการสูญเสียพลังงานในระบบไฟฟ้า จึงต้องลดการสูญเสียสูญเสียพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย

ตารางที่ 3.1 การสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ [5]

ชนิด	การสูญเสียที่โหลดเต็มที่ (%)
เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้งานนอกอาคาร (15-230 kV)	0.002-0.015
มอเตอร์	
1-10 แรงม้า	14.00-35.00
10-200 แรงม้า	6.00-12.00
200-1,500 แรงม้า	4.00-7.00
มากกว่า 1,500 แรงม้า	2.30-4.00
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	0.09-350
อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ (Static Variable Speed Drivers)	4.00-15.00
สวิตช์เกียร์แรงดันปานกลาง	0.005-0.02
ชุดแปลงไฟ (ขนาดใหญ่)	3.00-9.00
เคเบิล	1.00-4.00
หม้อแปลง	0.40-1.90
สวิตช์เกียร์แรงดันต่ำ	0.13-0.34
สวิตช์ตัดโหลด	0.003-0.025
สตาร์ตเตอร์แรงดันปานกลาง	0.02-0.15
ทางเดินบัส (380 V และต่ำกว่า)	0.05-0.50

ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้มอเตอร์ขนาดเล็ก (ขนาดไม่เกิน 10 แรงม้า) จำนวนมากจะมีการสูญเสียทางไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 15 % และระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ จะทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 20 % ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ เป็นส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียประมาณ 6 % เท่านั้น

3.2.1 การอนุรักษ์พลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในระบบไฟฟ้าเพราะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าเหมาะสมต่อการใช้งาน การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยอนุรักษ์พลังงานและลดค่าไฟฟ้าได้

ก) กำลังสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าใดๆ ก็ตามให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเราจำเป็นต้องทราบสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นเสียก่อน ตัวประกอบที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้บอกสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้าก็คือ กำลังสูญเสีย ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น จากตารางที่ 3.1 เราจะพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังสูญเสียประมาณ 0.04-1.90% ของโหลดเต็มพิกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดของหม้อแปลง ดังตัวอย่างแสดงในตาราง 3.2 หม้อแปลงแบบแห้ง (Dry Type Cast Resin 12 kV/400-230 V) ชนิดที่มีกำลังสูญเสียปกติ (Standard Loss) และชนิดประสิทธิภาพสูง (High Efficiency)

ตารางที่ 3.2 การสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าของหม้อแปลงแบบแห้ง (Dry Type Cast Resin 12 kV/400-230 V) ขนาดพิกัดต่างๆ [5]

kVA Rating	Standard Loss		High Efficiency	
	Load Loss(W)	No Load Loss(w)	Load Loss(W)	No Load Loss(w)
500	5,600	1,200	5,750	870
630	7,400	1,450	8,000	1,100
800	8,950	1,500	8,950	1,300
1,000	9,100	2,100	10,250	1,550
1,600	13,700	2,800	13,950	2,250
2,000	16,300	3,500	17,000	2,650

ตามหลักทฤษฎีแล้วกำลังสูญเสียในหม้อแปลงมีอยู่หลายส่วนด้วยกัน แต่ในทางปฏิบัติเราจะสนใจเฉพาะกำลังสูญเสียที่สำคัญ 2 ส่วนซึ่งจะมีผลต่อการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ คือ

ก.1) กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวหม้อแปลงขณะที่หม้อแปลงยังไม่ได้จ่ายโหลด กำลังสูญเสียนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก ซึ่งประกอบด้วย Hysteresis และ Eddy Current Losses กำลังสูญเสียส่วนนี้จะมีค่าคงที่ตลอดเวลาถ้าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ป้อนให้กับหม้อแปลงไม่เปลี่ยนแปลง

ก.2) กำลังสูญเสียในขณะมีโหลด (Load Loss) คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดต่างๆ ขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลด กำลังสูญเสียส่วนนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับโหลดยกกำลังสองจากกำลังสูญเสียของหม้อแปลง เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลงได้ดังนี้ [5]

$$\text{Eff.} = \frac{y \times kVA \times \text{Cos}\,\theta}{y \times kVA\text{Cos}\,\theta + P_o + y^2 \times P_k} \times 100 \qquad (3.12)$$

เมื่อ Eff. = ประสิทธิภาพของหม้อแปลง (%)

y = โหลดที่เกิดขึ้นขณะนั้นๆหารด้วย ขนาดพิกัดของหม้อแปลง

kVA = ขนาดพิกัดของหม้อแปลง

$\text{Cos}\theta$ = ตัวประกอบกำลังของโหลด

P_o = กำลังสูญเสียไม่มีโหลด

P_k = กำลังสูญเสียเนื่องจากโหลด

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะมีค่าสูงสุด เมื่อกำลังสูญเสียเนื่องจากโหลดมีค่าเท่ากับกำลังสูญเสียไม่มีโหลด นั่นคือ

$$y = \frac{P_o}{P_k} = 1$$

ในการพิจารณาแนวทางอนุรักษ์พลังงานจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เราไม่ควรพิจารณาแต่เพียงค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงเพราะอาจทำให้เข้าใจผิดได้ เนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อแปลงเป็นค่าประสิทธิภาพโหลดค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น แต่โหลดของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงๆ นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดย ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต หรือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ สิ่งที่เราควรพิจารณาเมื่อใช้งานหม้อแปลงก็คือ กำลังสูญเสียของมันว่ามีค่ามากน้อยเพียงใดในช่วงเวลาที่กำหนด กำลังสูญเสียรวมในช่วงเวลาดังกล่าวก็คือ พลังงานไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียไปดังนั้น การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมจะสามารถช่วยอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง

<u>ข) การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและอนุรักษ์พลังงาน</u>

แม้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงมาก แต่ถ้าใช้งานอย่างไม่เหมาะสมก็จะทำให้ประสิทธิผลการใช้งานต่ำได้ เพื่อให้การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและอนุรักษ์พลังงานจึงควรปฏิบัติดังนี้

ข.1) การปรับปรุงการใช้งานหม้อแปลงที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1) การปลดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลดจากระบบไฟฟ้าเมื่อไม่ได้ใช้งานออกการทำเช่นนี้จะช่วยลดกำลังสูญเสียไม่มีโหลดของหม้อแปลง การปลดหม้อแปลงออกจากระบบไฟฟ้าทำได้โดยติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ทางด้านแรงสูง
2) การย้ายโหลดของหม้อแปลงที่มีโหลดน้อยมารวมกันโดยใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่แทนหม้อแปลงขนาดเล็กหลายๆ ตัว จะช่วยลดกำลังสูญเสียได้มาก (ต้องเป็นโหลดที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก)
3) จัดโหลดของหม้อแปลงให้สมดุลกันทุกเฟส เพื่อให้หม้อแปลงทำงานได้เต็มความสามารถ
4) การลดแรงดันของหม้อแปลงให้อยู่ในระดับที่ใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับแรงดันของอุปกรณ์ไฟฟ้า
5) ถ้าโหลดมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดเวลา ไม่เปลี่ยนแปลงมากอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ควรใช้งานหม้อแปลงที่จุดซึ่งหม้อแปลงมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด
6) ถ้าโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง เช่นโหลดของสำนักงานธนาคาร หรือ โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำงานเฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้นในกรณีเช่นนี้ควรใช้

หม้อแปลงอย่างน้อย 2 ตัว ตัวหนึ่งมีขนาดใหญ่ สำหรับจ่ายโหลดในเวลากลางวัน ส่วนอีกตัวหนึ่งมีขนาดเล็กสำหรับจ่ายโหลดในเวลากลางคืนซึ่งได้แก่โหลดแสงสว่างและระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ในกรณีนี้จะทำให้อนุรักษ์พลังงานได้มาก เพราะไม่ ต้องใช้งานหม้อแปลงตัวใหญ่ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ลดกำลังสูญเสีย

7) การปรับตัวประกอบกำลังเพื่อลดความสูญเสียใ นหม้อแปลง การปรับ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) ในกรณีนี้ต้องติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อให้ตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงมีค่าลดลงทำให้ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากโหลดของหม้อแปลงลดลง

ข.2) การพิจารณาเลือกซื้อหม้อแปลงให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน หรือ ใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูงในกรณีที่ต้องซื้อหม้อแปลงใหม่

การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างถูกต้องและเหมาะสมเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วย ในการอนุรักษ์พลังงานและลดค่าไฟฟ้าลงได้ จากขั้นตอนที่กล่าวผ่านมาเราพบว่าถ้าได้มีการวางแผน เลือกซื้อและใช้งานหม้อแปลงอย่างเหมาะสมแล้วการปฏิบัติเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแทบจะไม่ต้องลงทุนอะไรเลย

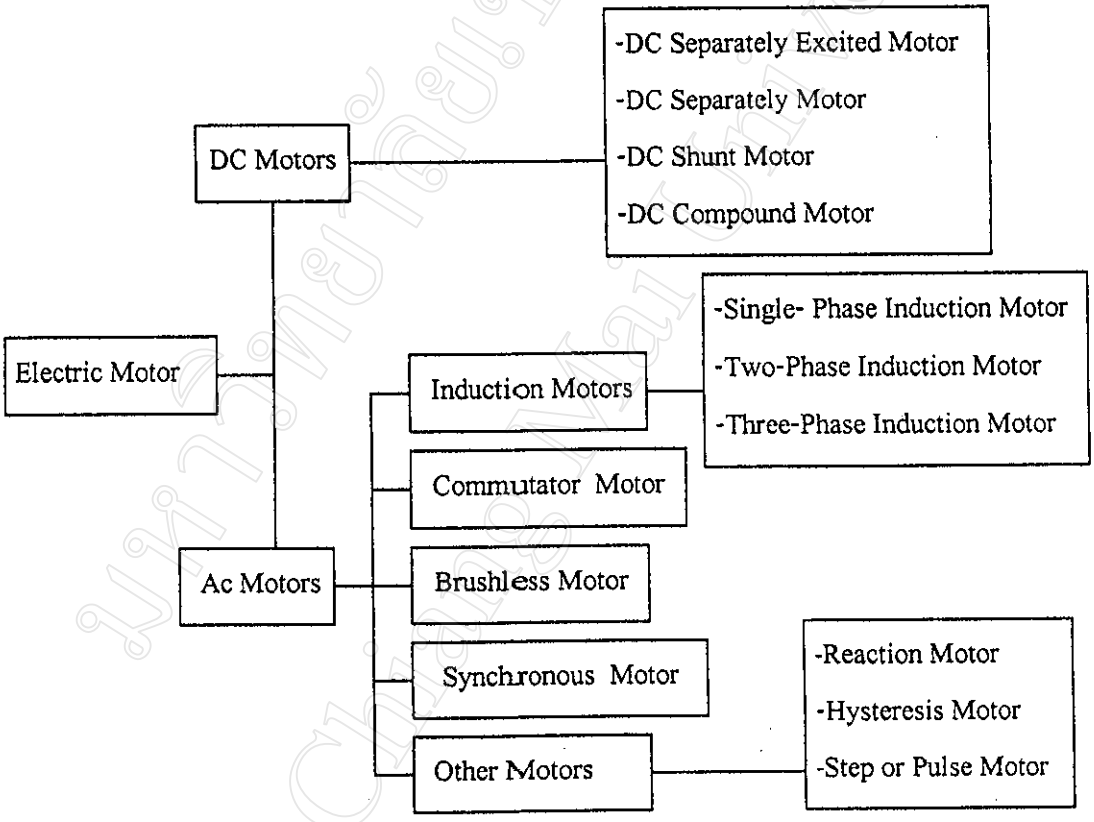
การใช้หม้อแปลงชนิดอนุรักษ์พลังงาน หรือ ประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถผลิตหม้อแปลงชนิดมีประสิทธภาพสูงกว่าหม้อแปลงธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ได้ตาราง 3.2 แสดงการเปรียบเทียบหม้อแปลงแบบแห้ง (Dry Type Cast Resin 12 kV/230-400 V) ชนิดที่มีกำลังสูญเสียปกติ (Standard Loss) และชนิดอนุรักษ์พลังงาน หรือ ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency) การเลือกใช้หม้อแปลงดังกล่าวสามารถทำให้อนุรักษ์พลังงานและลดค่าไฟฟ้าลงได้

3.2.2 การอนุรักษ์พลังงานในระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อนที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ตามกิจการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบขับเคลื่อนของกระบวนการผลิตในโรงไฟฟ้า ในงานอุตสาหกรรม ระบบขับเคลื่อนในอาคารต่างๆ เช่น ลิฟต์ บันไดเลื่อนฯ หรือ การขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปั๊ม พัดลม คอมเพรสเซอร์ฯ ล้วนแต่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนทั้งสิ้น ระบบขับเคลื่อนดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบขับเคลื่อนที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่และระบบขับเคลื่อนที่สามารถควบคุมหรือ ปรับความเร็วได้ไม่ว่าจะเป็นระบบขับเคลื่อนแบบใดก็ตามเมื่อระบบขับเคลื่อนมีประสิทธิภาพการทำงานสูงก็จะสามารถช่วยให้อนุรักษ์พลังงานได้มาก

ก) มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานกันอยู่ในขณะนี้มีให้เลือกมากมายหลายแบบ มีตั้งแต่ขนาดเล็กมากๆ ไปจนถึงขนาดใหญ่มากๆที่มีกำลังงานพิกัดเป็นเมกกะวัตต์ รวมทั้งมอเตอร์ชนิดอนุรักษ์พลังงาน หรือ ประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่าจะมีมอเตอร์ให้เลือกใช้งานมากมายหลายแบบแต่มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor Induction Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีผู้นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะมีคุณสมบัติที่ดีกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นหลายประการ เช่น โครงสร้างเป็นแบบง่ายๆและแข็งแรง ใช้งานได้สะดวก มีความทนทานสูง การบำรุงรักษาและซ่อมแซมทำได้ง่าย ได้รับการออกแบบให้เหมาะกับการนำไปใช้ในงานที่มีความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ เพราะถ้าจะให้ควบคุม หรือปรับความเร็วได้ อุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวจะมีราคาแพงมาก



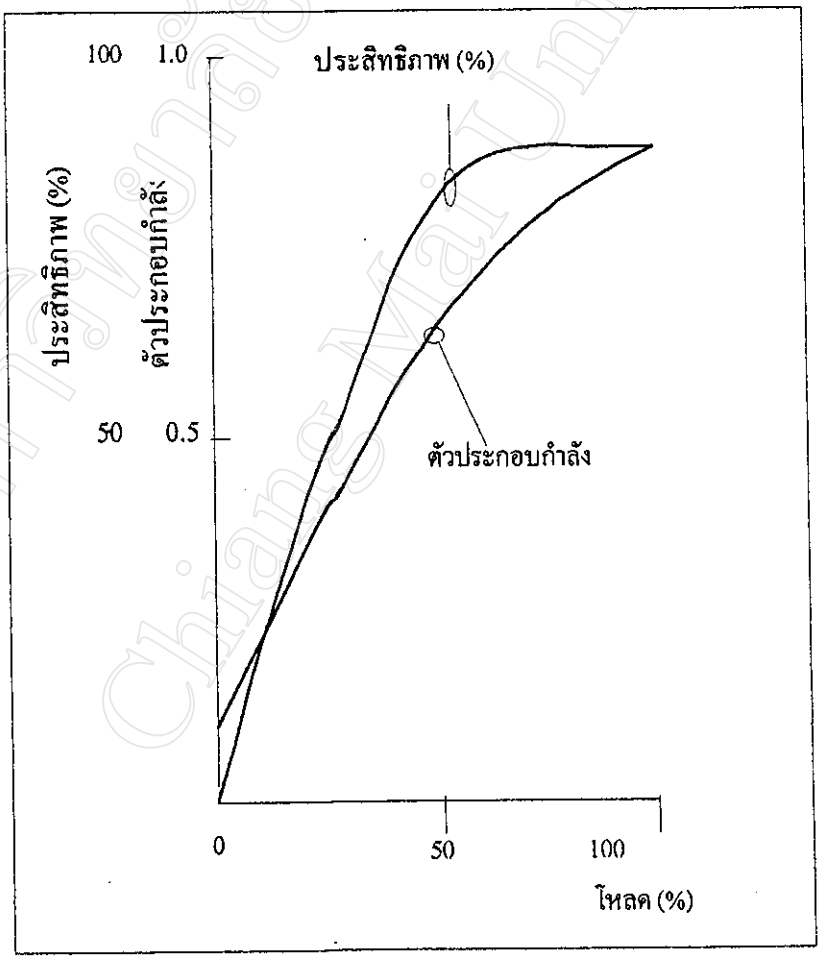
รูปที่ 3.5 การแบ่งประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้า [5]

แต่ปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้งานที่ กำลังสูงมากๆ ได้ และในขณะเดียวกันก็มีราคาถูกลงมากทำให้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีราคาถูกลงอย่างมากด้วยจึงยิ่งทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นไปอีก

ข) การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและอนุรักษ์พลังงาน

การที่จะให้ได้ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น มอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นตัวต้นกำลังของระบบขับเคลื่อนจะต้องได้รับการเลือกใช้งานอย่างเหมาะสมและใช้งานอย่างถูกต้อง เมื่อได้ระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสมกับเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้แล้ว ก็ถึงขั้นตอนการใช้งาน ถ้าใช้งานอย่างถูกต้องก็จะได้ระบบขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพสูงและอนุรักษ์พลังงาน โดยมีแนวทางในการดำเนินการดังต่อไปนี้

1) พิจารณาโหลดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับขนาดพิกัด การใช้มอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดใหญ่เกินไป จะทำให้มอเตอร์ทำงานที่โหลด ต่ำๆ ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานที่ไม่ดี เพราะโดยทั่วไปมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพและตัวประกอบกำลังต่ำ เมื่อโหลดน้อยดังแสดงในรูปที่ 6 [10]



รูปที่ 3.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์กับโหลด

2) ควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยวิธีทางไฟฟ้า เช่น เปลี่ยนแปลงความถี่ เพื่อให้มอเตอร์มีความเร็วตามต้องการซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3) ทำการบำรุงรักษามอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบการใช้งานของมอเตอร์อย่างสม่ำเสมอ เช่น ปรับระยะสายพานให้เหมาะสม เป็นต้น เพื่อลดกำลังสูญเสีย

4) มอเตอร์ที่ใช้งานต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการสตาร์ตของโหลด เช่น ควรใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดเริ่มต้น (Starting Torque) สูงกับโหลดที่มีโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) สูง

5) เลือกใช้มอเตอร์ที่มีกำลังขาออกที่เพลาเหมาะสมกับความเร็วรอบและแรงบิดของโหลด

6) ให้มีการระบายความร้อนของมอเตอร์อย่างดี เพราะที่อุณหภูมิสูงมอเตอร์จะมีกำลังสูญเสียมากขึ้น

7) ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์ไม่ให้สูงกว่าแรงดันปกติ ซึ่งจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในแกนเหล็กมากขึ้น

8) หลีกเลี่ยงการเดินมอเตอร์ตัวเปล่าขณะที่มอเตอร์เดินตัวเปล่าไม่มีโหลด กำลังงานที่มอเตอร์ดึงเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานสูญเสียทั้งหมดประกอบด้วย กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก กำลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านของลมจากใบพัดระบายอากาศ และกำลังงานสูญเสียในขดลวดทองแดง ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรหยุดเดินมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีโหลด

9) เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังเป็นแบบตาม (lagging) ดังนั้นถ้ามีมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ทำงานเป็นเวลานานๆ ก็ควรจะทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อช่วยลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้า

10) ใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงทดแทนมอเตอร์มาตรฐานทั่วไป มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ให้มีกำลังงานสูญเสียน้อยกว่ามอเตอร์ธรรมดา ให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น มีอายุการใช้งานนานกว่าและเกิดความร้อนในการทำงานน้อยกว่ามอเตอร์ทั่วไป จึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าเหมาะสมกับโหลดที่มีช่วงเวลาในการใช้งานยาวนาน สตาร์ตน้อยครั้ง อย่างไรก็ตามการลงทุนครั้งแรกจะสูง เมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบธรรมดาทำให้จุดคุ้มทุนนานแต่ไม่ควรเกิน 5 ปี ในขณะที่มอเตอร์มีอายุใช้งาน 20-30 ปี

ค) มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเป็นมอเตอร์ที่ใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพประกอบด้วยการใช้ขดลวดในโรเตอร์และสเตเตอร์ที่มีค่าความนำสูงเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากความต้านทาน การเพิ่มความยาวของแกนเหล็กและการใช้แผ่นลามิเนทที่บางกว่าเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนการสูญเสียในแกนเหล็ก การลดช่องว่างของอากาศระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์เพื่อลดความต้องการแรงเคลื่อนแม่เหล็กและกระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโดยปกติมอเตอร์ประสิทธิ--ภาพสูงจะมีประสิทธิภาพมากกว่ามอเตอร์มาตรฐานอยู่ 2-4 % สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ตั้งแต่ 5.5 kW ขึ้นไป หรือ มีประสิทธิภาพมากกว่ามอเตอร์มาตรฐานอยู่ 4-7 % สำหรับมอเตอร์ขนาดต่ำกว่า 5.5 kW [9] แต่มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีราคาแพงกว่ามอเตอร์มาตรฐานซึ่งถ้านำมาใช้งานทดแทนมอเตอร์ ที่หมดสภาพควรจะมีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback) ไม่เกิน 5 ปีถ้าใช้งานมอเตอร์ปีละประมาณ 6,000 ชั่วโมง หรือ ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายจะสั้นกว่าถ้ามีการใช้งานมากขึ้น

ค.1) ประสิทธิภาพมอเตอร์

ประสิทธิภาพมอเตอร์เป็นอัตราส่วนของกำลังกลที่ออกจากมอเตอร์กับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}} \times 100\ \% \qquad (3.12)$$

$$= \frac{\text{Input Power - Loss}}{\text{Input Power}} \times 100\ \% \qquad (3.13)$$

การสูญเสียในตัวของมอเตอร์จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังนั้นการออกแบบมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจึงต้องลดกำลังสูญเสีย เหล่านี้ [9] โดย

1) ลดการสูญเสียที่สเตเตอร์เกิดจากความต้านทาน โดยการเพิ่มขนาดของ Slot ที่สเตเตอร์และใช้ตัวนำมีขนาดใหญ่ขึ้น
2) ลดการสูญเสียที่โรเตอร์โดยการเพิ่มขนาดตัวนำและวงแหวนที่เป็นตัวนำเข้าขดลวดโรเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้กระแสของโรเตอร์ ต่ำเกิดความร้อนน้อย
3) ลดการสูญเสียที่แกนเหล็กโดยการเพิ่มความยาวของแกนเหล็กและการใช้แผ่นลามิเนทที่บางกว่าเพื่อลดกระแสไหลวน การสูญเสียในแกนเหล็ก การลดช่องว่างของอากาศ

ระหว่างโรเตอร์กับ สเตเตอร์เพื่อลดความต้องการแรงเคลื่อนแม่เหล็กและกระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

4) ลดการสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทานโดยการใช้ตลับลูกปืนปืนที่ดีและออกแบบอากาศไหลผ่านได้อย่างสะดวก

5) ลดการสูญเสียที่โหลดเป็นผลเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำรั่วไหล โดยการออกแบบที่ดีและรักษาคุณภาพของโรงงาน

จากการออกแบบและสร้างมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดย การลดการสูญเสียต่างๆเหล่านี้ทำให้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีราคาสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐานทั่วไป แต่การใช้งานมอเตอร์โดยทั่วไปในเวลา 1 ปี จะทำให้เสียค่าไฟฟ้าประมาณ 3-10 เท่าของราคามอเตอร์มาตรฐานทั่วไป ดังนั้นการพิจารณานำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเข้าใช้งานทดแทนจะต้องดำเนินการอย่างรอบคอบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพและต้นทุนการดำเนินการ

<u>ค.2) การคำนวณการอนุรักษ์พลังงานโดยการใช้ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

จำนวนกำลังไฟฟ้าลดลงในการทดแทนด้วยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงหาได้ดังนี้ [11]

$$kW_{reduced} = kW_{load} \times \left(\frac{100}{E_s} - \frac{100}{E_h}\right) \qquad (3.14)$$

$kW_{reduced}$ = จำนวนกำลังไฟฟ้าที่ลดได้

E_s = ประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานขณะที่จ่ายโหลด

E_h = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงขณะที่จ่ายโหลด

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงโดยการใช้ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ก็คือ

$$kWh_{saved} = kW_{reduced} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน} \qquad (3.15)$$

kWh_{saved} = จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่อนุรักษ์ลงได้

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีราคาสูงกว่า มอเตอร์มาตรฐานประมาณ 20-40 % ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุนของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะเป็นวิธีที่ใช้กำหนดความเป็นไปได้ในทางเศรษฐกิจโดยคิดจาก

$$\text{การคืนทุนอย่างง่ายๆ} = \frac{\text{เงินที่จ่ายเพิ่ม}}{\text{ประหยัดต้นทุนพลังงาน / ปี}} \qquad (3.16)$$

ตารางที่ 3.3 แสดงถึงตัวอย่างระยะเวลาการคืนทุนของการใช้งานมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเปรียบเทียบกับจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานในเวลา 1 ปี [9] คำนวณที่โหลด 80 % ราคาค่าไฟฟ้า 0.10 $/kWh.

ตารางที่ 3.3 แสดงถึงตัวอย่างระยะเวลาการคืนทุนของการใช้งานมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ขนาดพิกัดของมอเตอร์ (kW)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)			
	2,000 Hours	4,000 Hours	6,000 Hours	8,000 Hours
0.75	216	108	72	54
1.10	160	80	54	40
3.70	41	21	14	10
5.50	63	32	21	16
11	27	14	9	7
22	32	16	11	8
30	30	15	10	8
55	29	15	10	7
75	44	22	15	11
110	63	31	21	16

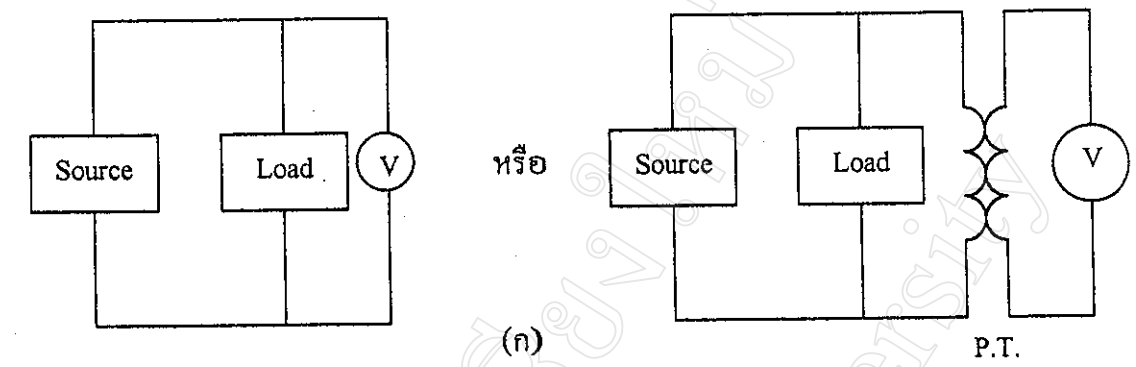
3.3 เทคนิคการวัดทางไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้ [12]

ก) พลังงานไฟฟ้า (kWh และ kVArh) เป็นตัวบอกถึงพลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ไปสามารถตรวจวัดได้ โดย มาตรวัดกิโลวัตต์ชั่วโมง มาตรวัดกิโลวาร์ชั่วโมง

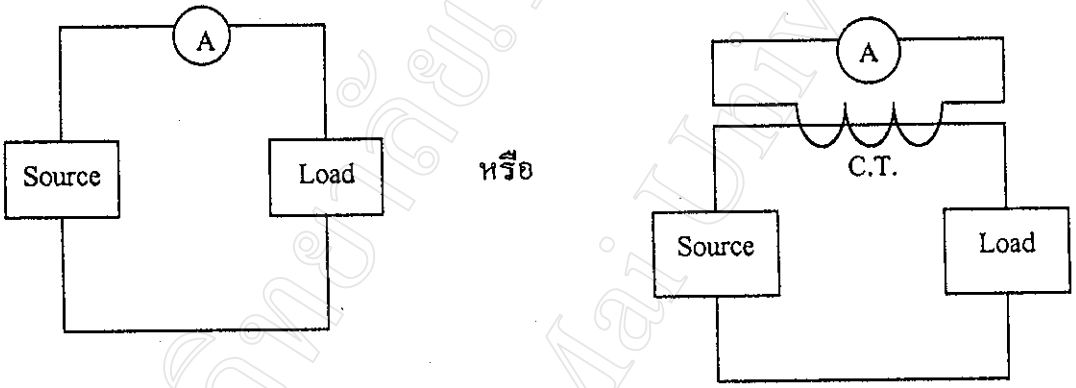
ข) แรงดันไฟฟ้า (V) เป็นตัวบอกถึงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด เป็นตัวผลักดันให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนในวงจรไฟฟ้าเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า สามารถตรวจวัดได้โดยโวลต์มิเตอร์ มีลักษณะการต่อวงจร ดังรูปที่ 3.7 (ก)

ค) กระแสไฟฟ้า (A) จะบอกถึง สภาพการใช้งานอุปกรณ์ว่าทำงานมากน้อยอย่างไร เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนในตัวนำของวงจรไฟฟ้า สามารถ ตรวจวัดได้โดยแอมมิเตอร์ มีลักษณะการต่อวงจร ดังรูปที่ 3.7 (ข)

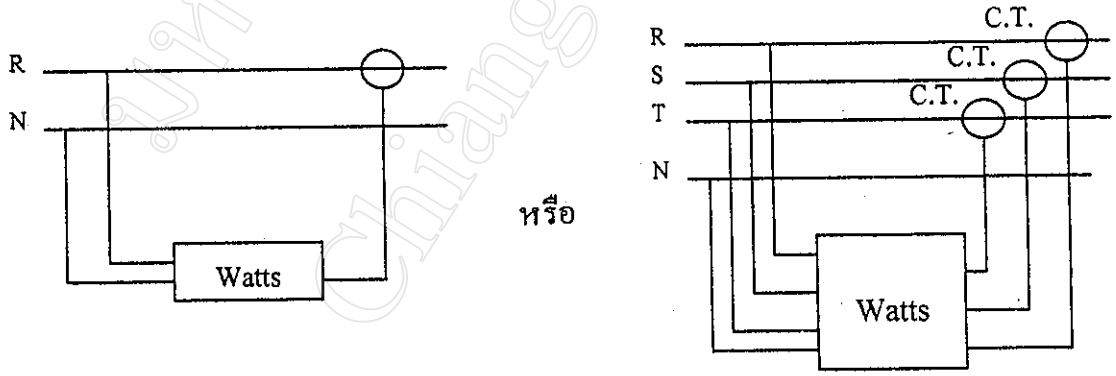
ง) กำลังไฟฟ้า (kW) หมายถึง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบต่อหน่วยเวลา จะบอกถึงสภาพขนาดของอุปกรณ์ว่ามีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด สามารถตรวจวัดได้โดยวัตต์มิเตอร์ มีลักษณะการต่อวงจร ดังรูปที่ 3.7 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.7 ลักษณะการต่อวงจรการวัดทางไฟฟ้า

การวัดค่าทางไฟฟ้าของโหลดที่มีระดับแรงดันต่างๆ เช่น แรงดัน 3.3 kV วัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ปกติจะมี แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ ติดตั้งถาวรกับโหลดทุกตัวทำให้สิ่งที่จำเป็น ก็คือ วัตต์มิเตอร์ เพื่อใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าของโหลด เมื่อได้ค่าเหล่านี้ก็สามารถหาค่าอื่นๆ เช่น ตัวประกอบกำลัง เป็นต้น

ในกรณีโหลดที่วัดมีระดับแรงดัน กระแสสูงกว่าพิกัดสูงสุดของเครื่องมือวัดที่กำหนดไว้การวัดจะต้องต่อวงจรผ่านหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer หรือ P.T.) หม้อแปลงกระแส (Current Transformer หรือ C.T.) ดังรูปที่ 3.8 ค่าที่ได้จากการวัดสามารถหาได้จากการคำนวณตามสมการต่อไปนี้

$$\text{กระแส (A)} = n \times \text{ค่ากระแสที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด} \quad (3.17)$$

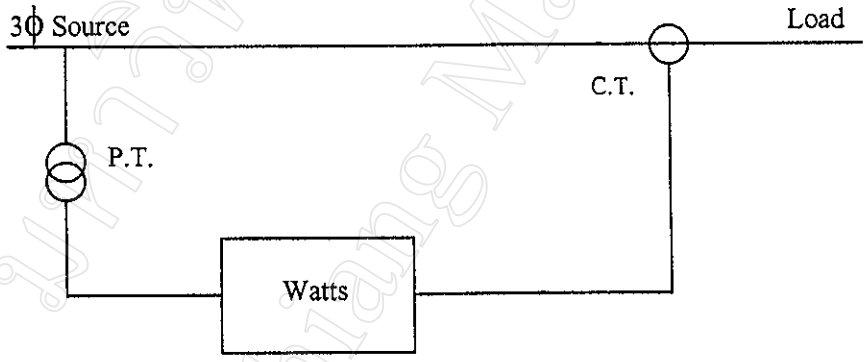
$$\text{แรงดัน (V)} = m \times \text{ค่าแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด} \quad (3.18)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า (W)} = m \times n \times \text{ค่ากำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด} \quad (3.19)$$

เมื่อ m = P.T. Ratio

n = C.T. Ratio

ทั้งนี้การวัดจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขข้อกำหนดของเครื่องมือที่ใช้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการต่อวงจรเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า ในกรณีโหลดที่วัดมีระดับแรงดันสูงกว่าพิกัด สูงสุดของเครื่องมือวัดที่กำหนดไว้

ในการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 1 จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงแนวทางและวิธีการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดนี้ รวมทั้งตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆดังแสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 4