



การแก้ตัวประกอบกำลังเพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้าในอาคารสถานประกอบการ

Power factor Correction reduced Electrical Energy in Factory

องอาจ แสดใหม่

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: sadmai@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอประสบการณ์และทบทวนวิธีการ การแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในโรงงานหรือสถานประกอบการ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานโดยอาศัยพื้นฐานวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ในการแก้ปัญหา เริ่มจากการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด พบว่าค่าตัวประกอบกำลังต่ำสุดอยู่ที่ 0.67 และสูงสุดที่ 8.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ มีค่าอยู่ระหว่าง 110 – 300 kVar ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 956 หน่วยต่อเดือน หรือสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,868 บาทต่อเดือน และมีจุดคุ้มทุนที่ 16 เดือน

คำหลัก ตัวประกอบกำลัง พลังงานไฟฟ้า โรงงาน

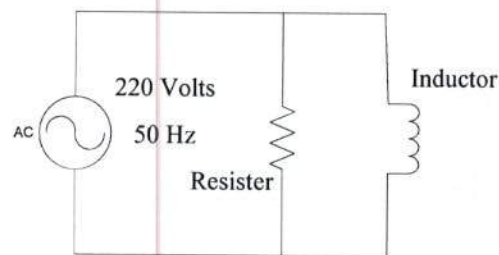
1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้า ของโรงงานอุตสาหกรรมหรือในสถานประกอบการ รวมทั้งมหาวิทยาลัย ฯ จะมีการเรียกเก็บค่าไฟฟ้า เมื่อพิจารณาจากบิลเก็บค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า จะมีด้วยกันด้วยกันสามส่วนคือค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าลึงไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (kVarh) และค่าความต้องการไฟฟ้า (Demand Charge) [6] การที่สถานประกอบการ อาคารพาณิชย์ต่าง ๆ มีการใช้กำลังไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาก เช่นโหลดประเภทเครื่องปรับอากาศ โหลดจำพวกมอเตอร์ มีผลทำให้ตัวประกอบกำลังของระบบต่ำ ผลเสียคือต้องรับภาระค่าปรับเนื่องจากตัวประกอบกำลังต่ำ ซึ่งการไฟฟ้าจะเรียกเก็บจากผู้ประกอบการ เมื่อมีค่าตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 0.85 [7] สำหรับอาคารที่ใช้ในการศึกษาได้ใช้อาคารเรียนรวม ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ปัญหา เนื่องจากระบบไฟฟ้าในอาคารเรียนรวม ซึ่งเป็นอาคาร 4 ชั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก โดยที่โหลดส่วนใหญ่จะเป็นโหลดประเภท เครื่องปรับอากาศและหลอดแสงสว่าง ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการตรวจวัด ระบบไฟฟ้าดังกล่าว โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Energy meter [2] จากการตรวจวัดและนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดมาวิเคราะห์พบว่า ค่าตัวประกอบกำลังค่อนข้างต่ำจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไข โดยการลดกระแสไฟฟ้าในสายป้อนของระบบไฟฟ้าให้ลดลง จะทำให้กระแสในระบบลดลง กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายลดลง (I^2R) หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังก็จะจ่ายโหลดได้มากขึ้นกว่าเดิม เมื่อกระแสไฟฟ้าในสาย

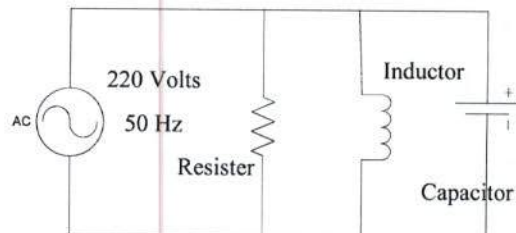
ลดลง พลังงานไฟฟ้าก็จะเสียน้อยลงด้วยเช่นกัน อย่างก็ตามจากศึกษาพบว่า ปัจจุบันได้มีการมีการศึกษาเรื่องของตัวประกอบกำลังของระบบอย่างต่อเนื่อง ควบคู่ไปกับการศึกษาเรื่องของคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) อันเนื่องมาจากการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน [9] ซึ่งในบทความนี้ได้พิจารณาเฉพาะผลของการต่อตัวเก็บประจุเข้าไปในระบบแล้วทำให้เกิดผลดีเท่านั้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น



รูปที่ 1 วงจร RL ขนาน



รูปที่ 2 วงจร RLC ขนาน

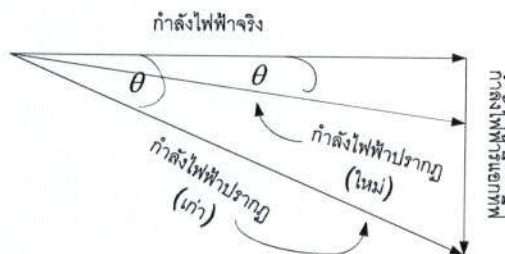
การพิจารณาเรื่องของตัวประกอบกำลัง สิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดโหลดความต้านทาน (Resistive Load) ชนิดโหลดตัวเก็บประจุ (Capacitive Load) และตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Load) [13] จากรูปที่ 1 คือวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ โหลด RL ซึ่งจะพิจารณาเหมือนกับการต่อโหลดทางไฟฟ้า เช่นพัดลม



โหลดได้ ซึ่งกระแสของโหลดประเภทนี้เองทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่
ล้าหลังแรงดันเป็นมุมต่างๆ (Lagging) การลดค่ากระแสไฟฟ้าทำ
ให้โดยการต่อโหลดแบบตัวเก็บประจุเพื่อชดเชยในส่วนของ
กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ให้ลดน้อยลง โดยการต่อตัวเก็บประจุเข้า
ไปในระบบดังรูปที่ 2

2.2 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

การแก้ตัวประกอบกำลัง หรือ สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า
(Power Triangle) การแก้ตัวประกอบกำลังคือการทำให้ระบบ
ไฟฟ้าของสถานประกอบการ หรือโรงงานที่ต้องการ ให้มี
ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าดีขึ้น โดยลดการใช้พลังงาน
ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ให้มากที่สุด ซึ่งจะเกิดจากโหลดจำพวก มอเตอร์
เหนี่ยวนำต่างๆ เช่น เครื่องกลึง เครื่องจักรกลไฟฟ้าต่างๆ การที่ตัว
ประกอบกำลังมีค่าสูงจะทำให้มีผลคือ ประหยัดค่าไฟฟ้า ลดค่า
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าให้น้อยลง ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้า
หรือระบบไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น [1] อาจแสดงให้เห็นได้
ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 3 ในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส ต้องพิจารณาเพื่อ
ลดในส่วนของ Q ให้ลดลงมากที่สุด เพื่อให้ทำให้กำลังไฟฟ้า $P = S$
โดยประมาณ ซึ่งนั่นหมายความว่า จะจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าให้น้อยลง

2.3 สมการที่จำเป็นในการวิเคราะห์

$$S = \sqrt{3}VI \quad (1)$$

เมื่อ S คือกำลังไฟฟ้าปรากฏในระบบสามเฟส
V คือแรงดันไฟฟ้าในระบบสามเฟส
I คือกระแสไฟฟ้าในระบบสามเฟส

$$P = \sqrt{3}VI \cos \theta \quad (2)$$

เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้าจริงในระบบสามเฟส
V คือแรงดันไฟฟ้าในระบบสามเฟส
I คือกระแสไฟฟ้าในระบบสามเฟส
 $\cos \theta$ คือค่าตัวประกอบกำลัง

$$Q = \sqrt{3}VI \sin \theta \quad (3)$$

เมื่อ Q คือกำลังไฟฟ้าเหนี่ยวนำในระบบสามเฟส
V คือแรงดันไฟฟ้าในระบบสามเฟส
I คือกระแสไฟฟ้าในระบบสามเฟส
 θ คือมุมต่างเฟสระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้า
ปรากฏ

$$\cos \theta = pf = \frac{P}{S} \quad (4)$$

เมื่อ pf คือตัวประกอบกำลัง หรือ Power factor
P คือกำลังไฟฟ้าจริงในระบบไฟฟ้าสามเฟส
S คือกำลังไฟฟ้าปรากฏในระบบไฟฟ้าสามเฟส

$$Q_c = P \tan(\theta_1 - \theta_2) \quad (5)$$

เมื่อ Q_c คือขนาดของตัวเก็บประจุ kVar
P คือกำลังไฟฟ้าจริงในระบบไฟฟ้าสามเฟส
 θ_1 คือมุมต่างเฟสของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าก่อน
ปรับปรุง
 θ_2 คือมุมต่างเฟสของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าหลัง
ปรับปรุง

2.4 การคิดค่าไฟฟ้า

ส่วนการคิดค่าไฟฟ้าเพื่อให้การใช้ไฟฟ้านั้น มีความประหยัด
มากที่สุด สิ่งที่ต้องนำมาเสนอให้เห็นได้แก่ การคิดค่าไฟฟ้าหรือ
อัตราค่าไฟฟ้านั้น [1] มีการใช้มานานแล้วตั้งแต่ ตุลาคม 2543 ซึ่งมี
การแบ่งประเภทของการใช้สำหรับประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 3,
4, 5, 6 เลือกใช้อัตรา TOU (Time of Uses Rates) และอาคาร
ประเภท 7 เลือกใช้อัตรา TOD (Time of Days) ซึ่งมีอัตราการคิด
ค่าไฟฟ้า ดังนี้คือ อัตราปกติ อัตรา TOD อัตรา TOU ซึ่งทั้งสาม
ประเภทจะมีการคิดค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปตามช่วงเวลาต่างๆซึ่ง
ผู้ใช้ไฟฟ้าอาจจะเลือกตามการใช้งานของตนเอง ให้เหมาะสมโดย
การพิจารณาจากการทำงานทั้งหมดแล้วจัดช่วงเวลาการทำงานใหม่
ทั้งนี้อาจจะเลือกการใช้งานช่วงที่คิดค่าไฟ น้อยที่สุดเป็นตัวเลือก
ซึ่งการเลือกช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ เป็นการเลือกที่จะจ่ายค่า
ไฟฟ้าช่วงที่เสียค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดเท่านั้น ดังนั้นสิ่งที่ต้อง
ทำคือพิจารณาเรื่องของตัวประกอบกำลังของระบบ โดยการ
ตรวจวัดจากผู้ชำนาญ และมีเครื่องมือที่เหมาะสมเท่านั้น

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

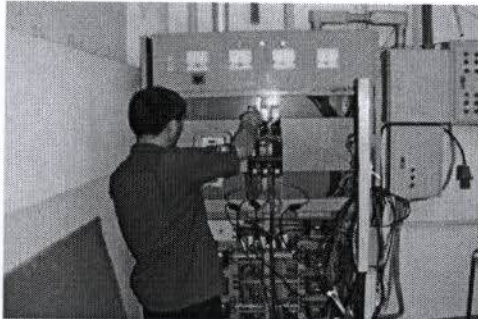
3.1 การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูล

การสำรวจต้องลงพื้นที่เพื่อสำรวจการใช้งานของเครื่องจักร

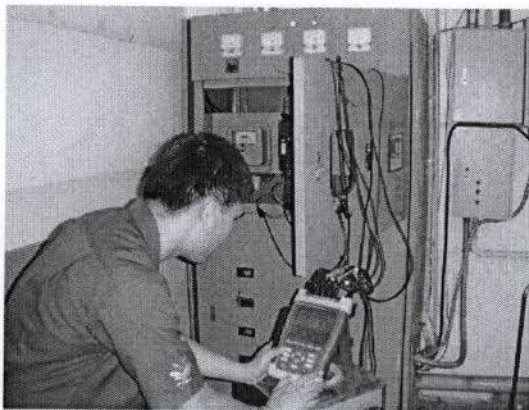
ต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ (โหลดส่วนใหญ่) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้งานในสภาพปกติ ก่อนการดำเนินการ ติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงาน (Energy Meter) รูปที่ 2 ในห้องไฟฟ้า ที่มีตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าของอาคาร (MDB = Main Distribution Board) ติดตั้งอยู่เพื่อวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังของระบบ



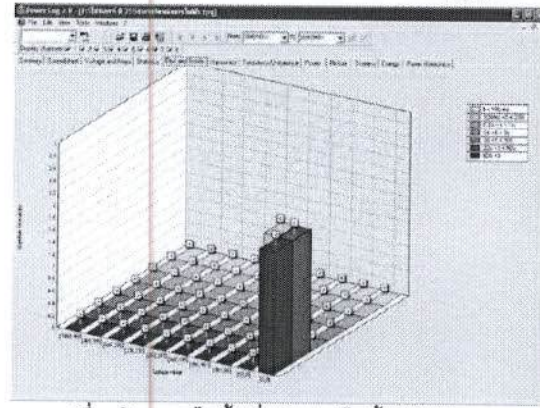
รูปที่ 4 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า Flux 430 Series [2]



รูปที่ 5 การติดตั้งเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าที่ตู้ควบคุมไฟฟ้า

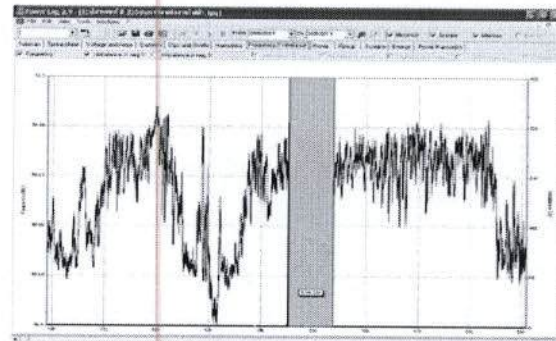


รูปที่ 6 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในห้องควบคุมไฟฟ้า

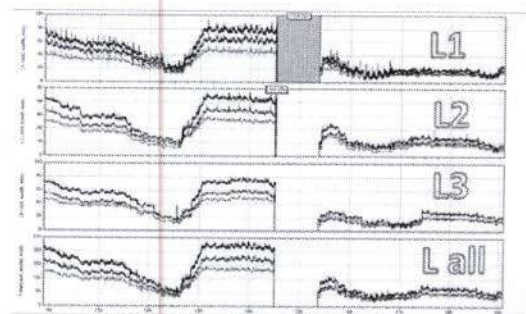


รูปที่ 7 ข้อมูลทางไฟฟ้าเมื่อเกิดกรณีไฟฟ้าดับในอาคาร

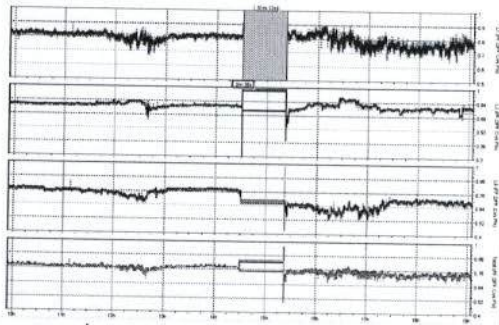
จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงเหตุการณ์ (Events) ในกรณีไฟฟ้าในอาคารดับ ซึ่งเกิดขึ้นจำนวน 2 ครั้ง หนึ่งใช้เวลามากกว่า 1 นาที (60s) และใช้เวลาน้อยกว่า 60s จำนวน 2 ครั้ง ซึ่งจะเป็นข้อมูลแจ้งให้ผู้เฝ้าดูระบบทราบ ว่า เกิดเหตุการณ์อะไรขึ้นบ้างในระหว่างที่ทำการตรวจวัดข้อมูล ส่วนรูปที่ 8 คือรูปการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบไฟฟ้าขณะที่ทำการวัด ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 50.06 – 49.9 Hz ส่วนค่าที่หายไปคือ ช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับประมาณ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 8 รูปการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 9 ค่ากำลังไฟฟ้าทั้งสามประเภท



รูปที่ 10 ตัวประกอบกำลัง PF, DPF, Cos phi

จากรูปที่ 9 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าทั้งสามแบบของระบบไฟฟ้าที่วัดได้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ กำลังไฟฟ้าปรากฏ ของแต่ละเฟสของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ามรวมของระบบ ซึ่งจากรูปจะพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏจะมีค่าประมาณ 240kVA , 170kVar, 140kW หรือที่เฟส A ค่ากำลังไฟฟ้า 90kVA, 75kVar, 55kW เป็นค่าประมาณที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า รูปที่ 10 คือค่าตัวประกอบกำลังที่วัดได้ซึ่งมีค่าต่ำสุดประมาณ 0.66 และมีค่าสูงสุดประมาณ 0.83 ซึ่งจากค่าตัวประกอบกำลังดังกล่าวน้อยที่สุดคือ 0.66 ต้องนำมาพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

ตารางที่ 1 กระแสที่สาย V_{LL}

L1	L2	L3	
1	2	1	Min
370	325	342	Max

ตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า

P(Watt)	Q(Var)	S(VA)	
1	1	1	Min
185,700	141,600	232,400	Max

3.2 การออกแบบตัวประกอบกำลัง

การแก้ตัวประกอบกำลังเพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้า ต้องลดค่ากำลังไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Reactive Power) ของระบบไฟฟ้าก่อน โดยนำค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า มาทำการออกแบบเพื่อหาขนาดของตัวเก็บประจุ โดยใช้สมการที่ 5 ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัด พบว่า ตัวประกอบกำลังมีค่าสูงสุดที่ 0.83 และต่ำสุดที่ 0.66 โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าทั้งสามแบบตามตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ค่าตัวประกอบกำลัง

DPF	PF	Cos α	
0.67	0.66	0.69	Min
0.84	0.83	0.91	Max

ตารางที่ 4 ค่าตัวประกอบกำลังกับกำลังไฟฟ้าทั้งสามแบบ

P	Q	S	Pf
4,200	2,800	5,200	0.83
32,300	34,900	48,400	0.66

ในการออกแบบ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงกว่า 0.85 เพื่อให้ถูกปรับค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่า 0.85 [3] ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยจะออกแบบให้ตัวประกอบกำลังไม่เกิน 0.95 เมื่อตู้ควบคุมไฟฟ้าประจำอาคารต่อกับหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า ขนาด 1,000kVA มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาตัวเก็บประจุ

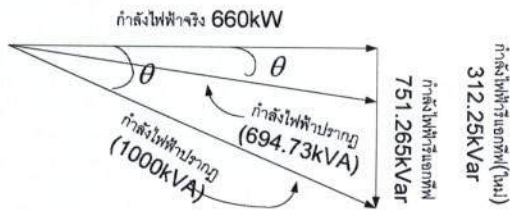
กรณีแรก ให้คำนวณหาค่าของกำลังไฟฟ้าโดยจาก คิดตามมาตรฐานเรื่องของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ของหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าที่คิดที่ร้อยละ 30 ของหม้อแปลง เช่นขนาดหม้อแปลง 1000kVA ดังนั้น ขนาดของตัวเก็บประจุคือ 300kVar จำนวนชุดคือ 6 x 50kVar ขนาดแรงดัน 400V 3 เฟส

กรณีที่สอง เมื่อกำหนดจากขนาดของโหลดที่มีตัวประกอบกำลัง 0.66 เมื่อหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าขนาด 1000kVA กำลังไฟฟ้าจริง 660kW กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ 751.27kVar กำลังไฟฟ้าปรากฏ 1000kVA เมื่อใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟส 400V กระแสของโหลด 1443.42A เมื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 จะทำให้กระแสใช้งาน 1002.79A หรือสามารถลดกระแสไฟฟ้าได้ 440.62A ดังนั้นต้องหาขนาดของตัวเก็บประจุ จากสมการที่ 5 ได้ขนาดของตัวเก็บประจุ 400kVar จำนวน 8 ชุด และหากมีการใช้งานโหลดคงที่ๆ 660kW จำนวน 154 ชั่วโมงต่อเดือน จะสามารถสรุปค่าใช้จ่ายในแต่ละตัวประกอบกำลัง ต่างกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ตัวประกอบกำลังต่างกัน

กำลังไฟฟ้า (kW)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย	Pf
660	1002.79	5.79kW	0.95
660	1058.50	6.45kW	0.90
660	1120.77	7.23kW	0.85
660	1147.78	7.59kW	0.83
660	1190.82	8.17kW	0.80
660	1270.21	9.29kW	0.75
660	1360.94	10.67kW	0.70
660	1443.42	12.00kW	0.66

* หมายเหตุ คิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ หน่วยละ 3 บาท จำนวนชั่วโมงใช้งาน 154 ชั่วโมงต่อเดือน



รูปที่ 11 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุงค่า PF

4. ผลการประหยัดและจุดคุ้มทุน

จากการวิเคราะห์และพิจารณาพบว่า ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเรื่อง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะมีค่าใช้จ่ายอยู่สองกรณี [3] คือ การพิจารณาลดค่าใช้จ่ายในการถูกปรับค่า kVar สูงกว่าร้อยละ 61.97 ของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (660kW) ที่ใช้งาน ซึ่งที่ค่าตัวประกอบกำลังเดิมมีค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ 751.265kVar ซึ่งเมื่อคำนวณพบว่าค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเกินไป (751.265kVar-409.002kVar=342.263kVar) จะต้องเสียค่าปรับ (กฟน.) เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเกิน ร้อยละ 61.97 จำนวน 4,798.84 บาท สำหรับการพิจารณาเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เมื่อไม่คิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้า 6.21kW หรือคิดเป็น 956 หน่วยต่อเดือนหรือ 2868 บาทต่อเดือน (12kW-5.782kW=6.21kW) รวมเป็นเงิน 7662.84 บาทต่อเดือนกับตู้ควบคุมไฟฟ้าในอาคาร จะพบว่ามี เมื่อพิจารณาการคำนวณราคาขนาดของตัวเก็บประจุ ประมาณ 200-300 บาทต่อ kVar ดังนั้น ต้องลงทุนในการติดตั้งระบบประมาณ 120,000 บาท ดังนั้น การคิดจุดคุ้มทุนอย่างง่าย ๆ ก็คือ จะคืนทุนใน 16 ปี

5. สรุป

ในการลดค่าตัวประกอบกำลังหรือ Power factor มีข้อดีคือสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ทั้งสองกรณี ที่หม้อแปลงไฟฟ้า ที่สายส่งกำลังไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้าดีขึ้นสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้น สถานประกอบการหรือโรงงาน ไม่เสียค่าปรับเนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่า 0.85 กรณีศึกษาได้พบทวนแนวทางการแก้ปัญหาตัวประกอบกำลังต่ำ โดยการติดตั้งเครื่องมี้อัดค่ากำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง ซึ่งจากการวิเคราะห์และออกแบบพบว่า การแก้ปัญหาเนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะทำให้สามารถประหยัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 956 หน่วยต่อเดือน และไม่เสียค่าปรับเนื่องจากความต้องการกำลังไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เกินร้อยละ 61.97 จากการคำนวณจุดคุ้มทุนพบว่า เมื่อมีการลงทุนในการติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 400kVar ประมาณ 120,000 บาท ซึ่งจะมีจุดคุ้มทุนที่ 16 เดือน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. การจัด
การพลังงานไฟฟ้า หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้าน

พลังงาน(ผชพ). กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,
ปทุมธานี, บทที่ 3 หน้า 1-42.

- [2] <http://www.fluke.com/fluke/user/power-quality-tools/three-phase/fluke-430-series.htm?pid=56077>
- [3] <http://www.pea.co.th/>
- [4] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. การจัด
การพลังงานไฟฟ้า หลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้าน
พลังงาน(ผชพ). กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,
ปทุมธานี, บทที่ 3 หน้า 38-39.
- [5] สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน "การ
กำหนดค่าตัวประกอบที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าไทย"
<http://www.eppo.go.th/vrs/VRS46-05-PF.html>
- [6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค "การอ่านใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า"
http://www.pea.co.th/pean1/pea1301/SARANAROO_files/readbill.htm
- [7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค "อัตราค่าไฟฟ้า"
<http://www.pea.co.th/rates/Rate2011.pdf>
- [8] Shwedhi, M.H.; Sultan, M.R. "Power factor correction
capacitors; essentials and cautions" IEEE, 1998
- [9] Vinnal, T.; Janson, K.; Kalda, H.; Kütt, L.; "Analyses of
supply voltage quality, power consumption and losses
affected by shunt capacitors for power factor correction"
Electric Power Quality and Supply Reliability Conference
(PQ), 2010
- [10] Jintakosonwit, P.; Srianthumrong, S.; Jintakosonwit, P.;
"Implementation and Performance of an Anti-Resonance
Hybrid Delta-Connected Capacitor Bank for Power
Factor Correction" IEEE Trans. Nov, 2007 31, pp.2543-
2551
- [11] Levoy, L. G.; "Power-Factor Correction of Resistance-
Welding Machines Series Capacitors" 1940, pp.1002-
1009
- [12] Pires, D.F.; Pires, V.F.; Antunes, C.H.; Martins, A.G.;
"Passive and Active Anti-Resonance Capacitor Systems
for Power Factor Correction", 2006, pp.1460-1465
- [13] เอกสารประกอบการสอน. 2554.
"หลักมูลทางวิศวกรรมไฟฟ้า", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์, ปทุมธานี, บทที่ 2