

บทที่ 2

ระบบไฟฟ้ากำลัง

(Electric Power System)

ความสำคัญของเนื้อหาวิชา

ระบบไฟฟ้ากำลังนี้จะนับจากสายไฟฟ้าของการไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ามายังตู้จ่ายกำลังไฟฟ้า (MDB.) ฉะนั้นจะมีอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่อย่างเดียวกันคือ หม้อแปลงไฟฟ้า ค่าทางไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกบันทึกก่อนผ่านเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งได้แก่ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าพลังไฟฟ้ารีแอกติฟนั้นคือข้อมูลที่นำมาคิดค่าไฟฟ้า ในบทนี้จึงกล่าวถึงแนวทางการลดค่าทางไฟฟ้าทั้งหมด ที่สำคัญคือการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้น ค่าไฟฟ้าจึงมากขึ้นด้วย ดังนั้นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปไม่ใช่ปัญหาที่ยุ่งยากมากนัก ยกเว้นบางระบบที่ต้องมีการพิจารณาให้ละเอียดถี่ถ้วน มิฉะนั้นแล้วแทนที่จะได้ผลดี กลับมีผลเสียทำให้อุปกรณ์เสียหายมากขึ้น เช่น การเกิด ฮาร์โมนิกขึ้นในระบบ การใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ถ้าไม่มีการพิจารณาให้ละเอียดอาจทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายได้เมื่อเกิดโรโซแนนซ์

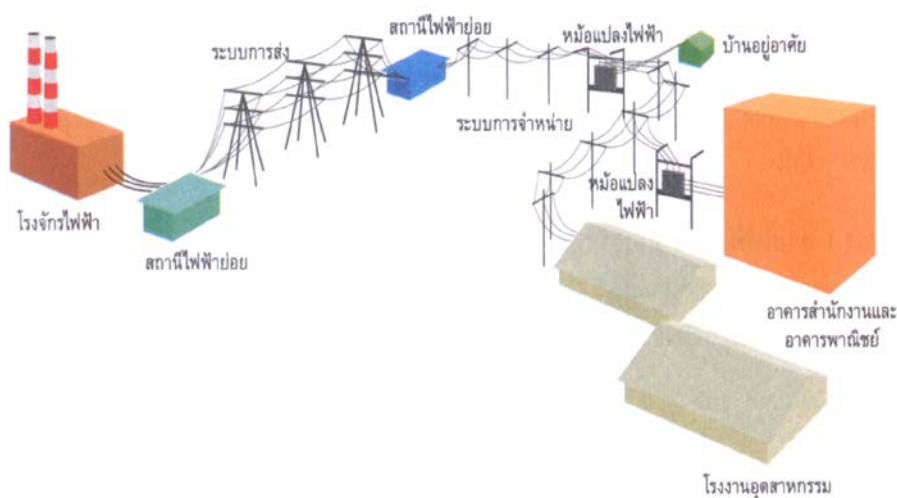
วัตถุประสงค์

1. อธิบายสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าและคำจำกัดความของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. บอกอัตราค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในบิลค่าไฟฟ้า
3. บอกประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
4. อธิบายวิธีวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

2.1 บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ส่งผ่านสายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ปลายทาง โดยการไฟฟ้าจัดระบบของการส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังอาคารธุรกิจ โรงงานหรือบ้านพักอาศัย โดยส่งจ่ายแรงดันในเขตเมืองและย่านชุมชนเป็นหลายช่วงแรงดัน มีหม้อแปลงไฟฟ้าที่แปลงแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำถูกติดตั้งในบริเวณใกล้จุดที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าให้มากที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในสายและลดปัญหาแรงดันตกในสายไฟ ปัญหาการสูญเสียในสายไฟและในหม้อแปลงอาจมีคนจำนวนมากมองข้าม แต่ท่านทราบหรือไม่ว่าในปี พ.ศ. 2547 มีรายงานว่าการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ารวมทั้งประเทศ สูงเกือบ 10,000 ล้านหน่วยทีเดียว เมื่อพิจารณาถึงระบบไฟฟ้าในอาคารขนาดใหญ่หรือในโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว มีการประมาณการไว้ว่า มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในหม้อแปลงประมาณ 2-3 % และมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในสายไฟฟ้าไม่เกิน 1 % โดยการสูญเสียในระบบไฟฟ้านี้อยู่ในวิสัยที่จะบริหารจัดการให้น้อยลงได้ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ให้ความสนใจเลย นอกจากนี้หากไม่มีการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารให้อยู่ในเกณฑ์ที่ควรจะเป็น นอกจากจะมีการสูญเสียในระบบมากแล้ว ยังอาจถูกการไฟฟ้าเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่เรียกว่าเป็นค่าปรับ ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ด้วยการบริหารระบบไฟฟ้านั่นเอง

โดยปกติแล้ว สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะมีการส่งจ่ายแรงดันอยู่หลายค่า เพื่อส่งจ่ายและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยปกติแล้วผู้ใช้ไฟสามารถเลือกขอใช้แรงดันไฟฟ้าได้ตามความต้องการหากไม่ขัดกับระเบียบปฏิบัติของทางการไฟฟ้าและมีแนวสายไฟฟ้าพร้อมให้บริการ โดยปกติแล้วอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานมักจะซื้อไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้า หากเป็นพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จะใช้แรงดัน 12-24 kV แต่ถ้าเป็นพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จะใช้แรงดัน 11-33 kV (ค่าไฟฟ้าเก็บในอัตราเดียวกัน) ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่มากนั้น มักจะเลือกซื้อไฟจากการไฟฟ้าด้วยแรงดัน 69 kV หรือ 115 kV เพราะแรงดันที่สูงขึ้นนั้น จะมีค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่า แต่การลงทุนด้านระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ก็จะสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2.1-1 รูปแบบระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้า

พิจารณา รูปที่ 2.1-1 แสดงรูปแบบระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้า จะสังเกตได้ว่ากรณีบ้านอยู่อาศัย ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยมีจำนวนมากและซื้อไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้า การไฟฟ้าจะลงทุนเรื่องระบบไฟฟ้าทั้งหมด ตั้งแต่หม้อแปลงจำหน่าย เสาไฟ สายไฟ ไปจนถึงเครื่องวัดหน่วยหน้าบ้านผู้ซื้อไฟ หากมีปัญหาที่หม้อแปลง เสาไฟฟ้า สายไฟขาด การไฟฟ้าจะเป็นผู้บำรุงรักษาแก้ไขปัญหาเองทั้งหมด เพราะเป็นสมบัติของการไฟฟ้า ขณะที่กรณีของอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานอุตสาหกรรมนั้น การไฟฟ้าจะเดินไฟฟ้าแรงสูงมาถึงสถานที่ๆ ใช้ไฟ ณ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องวัด โดยหลักการแล้วค่าใช้จ่ายตั้งแต่หลังเครื่องวัดไปนั้น ผู้ใช้ไฟจะต้องลงทุนเองทั้งหมด นับตั้งแต่หม้อแปลง เสาไฟ สายไฟ ไปจนถึงระบบป้องกัน เพราะเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟ

การไฟฟ้าทั้งนครหลวงและภูมิภาค ได้จำแนกประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 8 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

ประเภทที่ 6 องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

ประเภทที่ 7 กิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

ประเภทที่ 8 ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว

โครงสร้างค่าไฟฟ้าของแต่ละประเภทมีรายละเอียดและเงื่อนไขที่แตกต่างกันไป กรณีของบ้านอยู่อาศัยนั้น โครงสร้างค่าไฟฟ้าเป็นแบบอัตราก้าวหน้า (ยิ่งใช้ไฟมาก ค่าไฟต่อหน่วยยิ่งแพงขึ้น) ค่าไฟฟ้าจะดูจากหน่วยไฟฟ้าที่ใช้เท่านั้น ซึ่งต่างกับผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงที่ดูจากข้อมูลหลายตัว ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1-1 โดยแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3-5 ที่เกี่ยวข้องกับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้จะเห็นว่าประเภทผู้ใช้ไฟฟ้ามีหลายประเภท มีการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าหลายส่วน และยังมีเกณฑ์ค่าไฟฟ้าขั้นต่ำอีกด้วย

ตารางที่ 2.1-1 องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3-5



องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้า



ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ค่าพลังงาน (ค่า kWh)	ค่าDemand	ค่า PF	ค่า บริการ	มีเกณฑ์ ค่าไฟขั้นต่ำ	หมายเหตุ
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง						
3.1 อัตราปกติ	✓	✓	✓	✓	✓	Demand 30 - 999 kW
3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่						
4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	Demand \geq 1,000 kW
4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง						
5.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	กิจการ โรงแรมและ กิจการให้เช่า พักอาศัย
5.2 อัตราสำหรับผู้ใช้ที่ยังไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์TOU	✓	✓	✓	✓	✓	

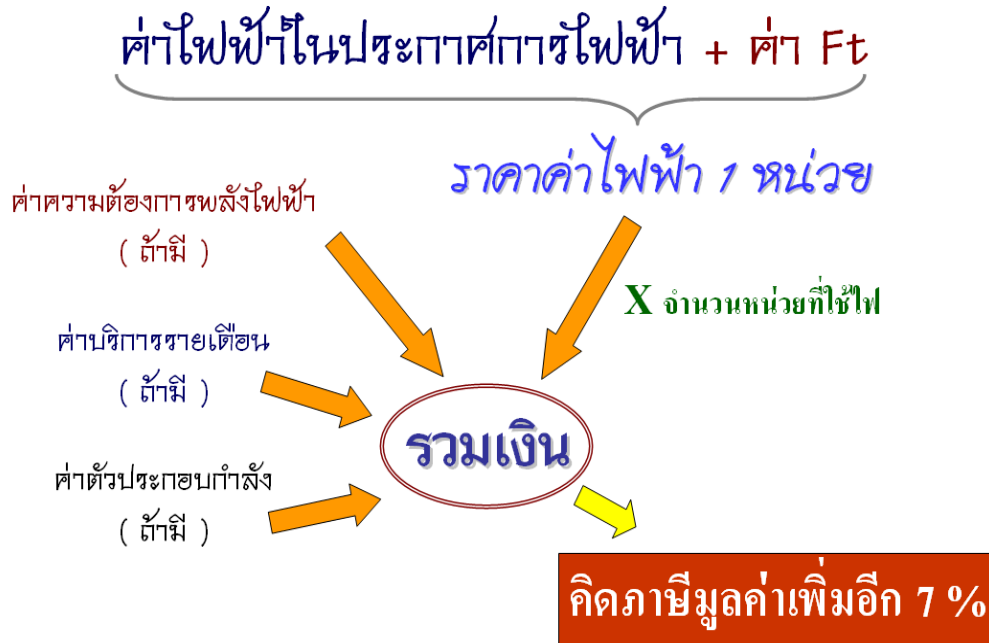
หมายเหตุ

ยังไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ซึ่งคำนวณจากหน่วยใช้ไฟ (kWh) รวม และภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ซึ่งคำนวณจากค่าไฟฟ้ารวม

จากตารางที่ 2.1-1 หากพิจารณาในด้านของการอนุรักษ์พลังงานและการบริหารต้นทุน อาจตั้งข้อสังเกตเป็นประเด็นต่างได้ดังข้างล่างนี้ และขอเสนอองค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าได้เป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.1-2

- ถ้ามีการอนุรักษ์พลังงาน หน่วยใช้ไฟ (kWh) ก็จะลดลง ค่าใช้จ่ายก็จะลดลง
- ถ้ามีการควบคุมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอได้ ค่า Demand ก็จะลดลง ค่าใช้จ่ายก็จะลดลง
- ถ้ามีการบริหารระบบไฟฟ้าได้ดี ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) มีค่าสูงกว่า 0.85 ตลอดเวลา ก็ไม่ต้องจ่ายค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (เป็นค่าใช้จ่ายที่หลีกเลี่ยงได้)
- ถ้ามีการอนุรักษ์พลังงานแล้วเป็นผลให้หน่วยใช้ไฟ (kWh) ลดลงแล้วค่า Ft ที่จ่ายก็จะลดลง รวมถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ก็จะลดลงด้วย

โครงสร้างค่าไฟฟ้าโดยภาพรวม



รูปที่ 2.1-2 โครงสร้างค่าไฟฟ้าโดยภาพรวม

ในการนี้ หากจะพิจารณาในทางเทคนิคควบคู่ไปด้วยแล้ว ก็มีข้อสังเกตเพิ่มเติม คือ

- ถ้าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้ต้องติดตั้งหม้อแปลงขนาดใหญ่ ใช้งานไม่คุ้มค่า ต้องลงทุนด้านระบบมาก
- ถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ กระแสในระบบมาก แต่ใช้ทำงานได้น้อย หม้อแปลงตัวใหญ่ จ่ายโหลดได้น้อย แรงดันตกในสายมาก การสูญเสียในสายไฟและหม้อแปลงจะมาก (กรณีผู้ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ ภาระนี้จะตกอยู่กับการไฟฟ้า)

ดังนั้น เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายที่พึงจะหลีกเลี่ยงได้ จึงควรแก่การศึกษาแนวคิดของการอนุรักษ์พลังงาน และการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าที่ควรทราบ โดยจะนำเสนอเนื้อหาตามลำดับต่อไปนี้

- การอนุรักษ์พลังงานคืออะไร
- การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
- การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า
- การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

2.2 การอนุรักษ์พลังงานคืออะไร

มีผู้คนจำนวนมากที่เข้าใจความหมายของคำว่าอนุรักษ์พลังงานว่าเป็นการประหยัด (Saving) แต่ความหมายที่แท้จริงนั้น คำว่าอนุรักษ์พลังงาน หมายถึง การใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความหมายที่กว้างขวางและครอบคลุมกว่าคำว่าประหยัดแต่เพียงเท่านั้น หากพิจารณาเฉพาะแง่มุมด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยแล้ว สามารถอธิบายคำว่าอนุรักษ์พลังงานให้เห็นภาพได้อย่างแจ่มชัดได้จากนิยามของคำว่า “หน่วยไฟฟ้า” หรือ Unit ที่ในทางเทคนิคมีที่มาจากหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า kWh (kilowatt – hour) โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้

$$\text{kWh} = \text{kW} \times \text{h} \rightarrow \text{ความหมาย} = \text{กิโลวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงที่เปิดใช้งาน}$$

- หากใช้พลังงานอย่างประหยัด ชั่วโมงที่เปิดอุปกรณ์ควรลดลง
- หากใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ควรมีค่าน้อยลง
- หากใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต้องลดลง

พิจารณาเครื่องปรับอากาศในรูปที่ 2.2-1 ระหว่างเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่ากับเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ที่ได้รับฉลากเบอร์ 5 (ชั้นประสิทธิภาพดีมาก) ที่เปิดแล้วเย็นทั้ง 2 เครื่อง เครื่องรุ่นเก่าเปิดแล้วใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ประมาณ 30% (เป็นตัวเลขเฉพาะกรณีที่ยกตัวอย่างนี้) หมายความว่า เปิดเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าก็เย็นเท่ากับเปิดเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ หากเปิดใช้ในสภาวะเดียวกันและเปิดเป็นเวลาเท่ากันแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้จะต่างกันถึง 30% ดังนั้น หากมีการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าเป็นเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ก็จะได้ชื่อว่าใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าหากมีการปิดเครื่องปรับอากาศก่อนออกจากห้องเสมอ เช่น ปิดก่อนออกจากห้อง 10 นาที ก็จะได้ชื่อว่าใช้พลังงานอย่างประหยัด หากทำได้เช่นนี้ ก็เรียกได้ว่าดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างถูกต้อง และจะเรียกว่าอนุรักษ์พลังงานได้อย่างดีเยี่ยมเมื่อจัดให้มีการล้างเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง ปรับตั้งอุณหภูมิอย่างเหมาะสม คือ 25-26 องศาเซลเซียส และป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในห้องปรับอากาศ เป็นต้น และเพื่อให้เห็นภาพของคำว่า การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้เด่นชัดยิ่งขึ้น จึงอาจสรุปเป็นประเด็นแนวคิดได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2.2-2

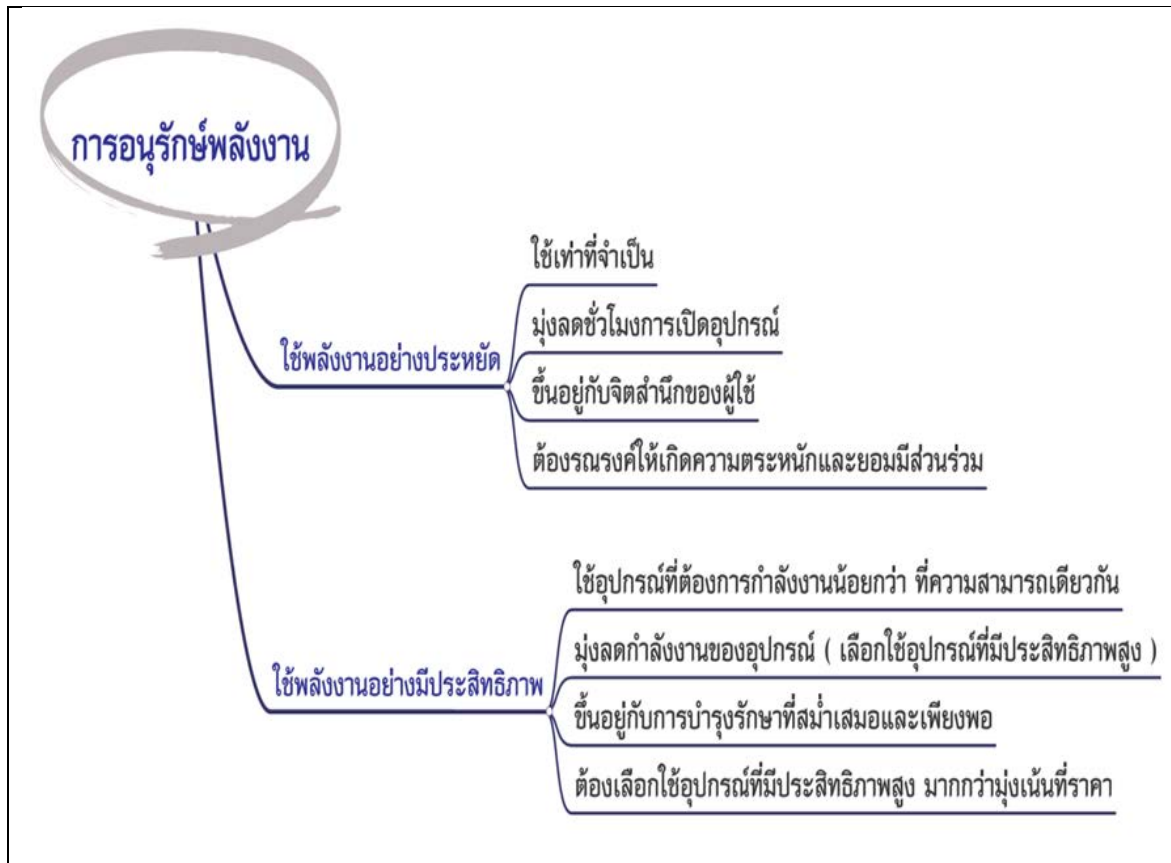


เครื่องปรับอากาศรุ่นเก่า



เครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ และฉลากเบอร์ 5

รูปที่ 2.2-1 เปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศ 2 ยุค



รูปที่ 2.2-2 ประเด็นแนวคิดของการอนุรักษ์พลังงาน ไฟฟ้า

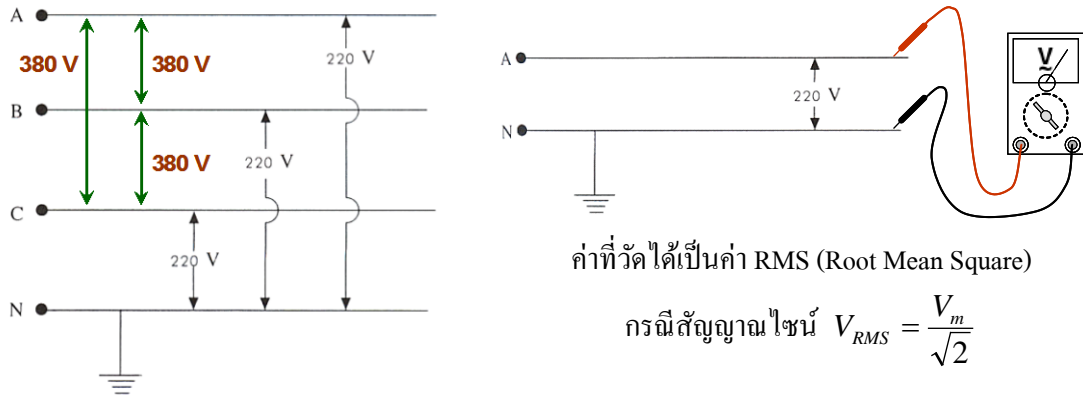
2.3 พื้นฐานวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ควรทราบ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องตามสมควร ในที่นี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องอย่างพอสังเขป ดังนี้

2.3.1. แรงแดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ระบบไฟฟ้าในบ้าน อาคารและโรงงาน เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีสัญญาณตามทฤษฎีเป็นรูปคลื่นไซน์ มีความถี่ 50 Hz โดยทั่วไปแล้วมีแรงดันระหว่างสายด้านแรงต่ำ 380 V แรงดันเฟส 220 V ดังรูปที่ 2.3-1 ซึ่งค่าแรงดันที่กล่าวถึงนี้ ไม่ใช่ค่ายอดคลื่น (Peak) แต่เป็นค่า RMS (Root Mean Square) เฉพาะกรณีของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ $V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ ถ้าสัญญาณเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ค่าที่วัดได้อาจมีความผิดพลาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องวัด

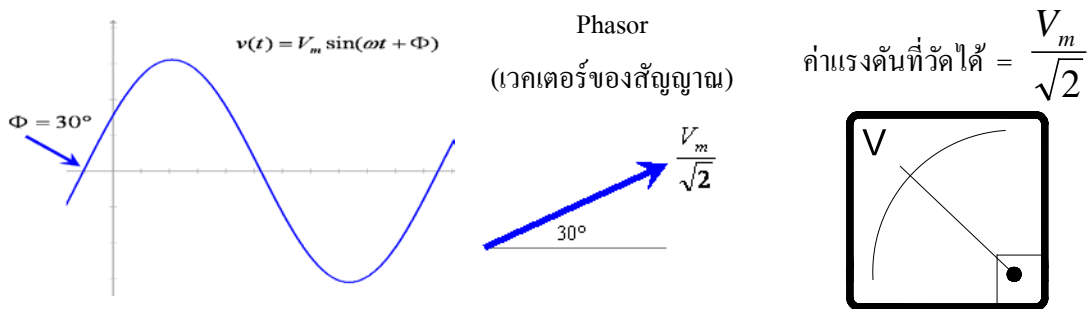
ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.3-1 ลักษณะการวัดแรงดันระหว่างสาย แรงดันเฟส และค่า RMS

2.3.2 การนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้งาน

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณ ซึ่งการคำนวณมีความยุ่งยาก ในทางทฤษฎีจึงเขียนแทนด้วยเฟซเซอร์ (Phasor) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ชนิดหนึ่ง โดยลดรูปลงเหลือเพียงขนาดและมุม โดยมีความยาวของเวกเตอร์เท่ากับค่า RMS และมีมุมเท่ากับมุมเฟสของสัญญาณ (วัดตามทิศทวนเข็มนาฬิกา เป็นมุมบวก) ดังรูปที่ 2.3-2 ซึ่งปกติแล้ว ในการใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป การทราบแต่ขนาด (ค่า RMS) ของสัญญาณแรงดันก็เพียงพอที่จะปฏิบัติงานได้ ทำให้การวัดโดยทั่วไปละในเรื่องของมุมไป แต่เมื่อต้องทำการคำนวณหรือวิเคราะห์อย่างถูกต้อง ต้องให้วิศวกรหรือช่างเทคนิคที่มีความรู้เป็นผู้วิเคราะห์คำนวณ



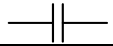


รูปที่ 2.3-2 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ค่าทางคณิตศาสตร์ และค่าที่วัดได้

2.3.3. โหลดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

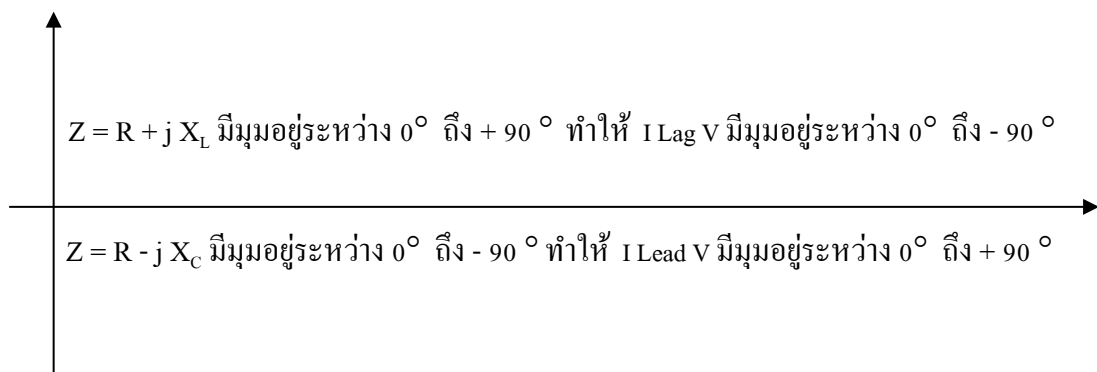
วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีความซับซ้อนกว่าวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมาก แต่อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจำแนกโหลดพื้นฐานได้เป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.3-1 ซึ่งในสภาพการใช้งานจริง อาจมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่ม การคำนวณจึง เป็นการคำนวณเลขจำนวนเชิงซ้อนแบบเวกเตอร์ ซึ่งในที่นี้ขอแนะนำเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติเด่นๆ ที่แตกต่างกัน เพื่อจะใช้ประกอบการอธิบายต่อไป

ตารางที่ 2.3-1 สรุปลักษณะของโหลดพื้นฐานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

	R ตัวต้านทาน (Resistor)	L ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)	C ตัวเก็บประจุ (Capacitor)
1. สัญลักษณ์			
2. ความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น Ω	R	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
3. ลักษณะทางคณิตศาสตร์	จำนวนจริง	จำนวนจินตภาพ +j	จำนวนจินตภาพ -j
4. วิธีการคำนวณ	แบบเวกเตอร์	แบบเวกเตอร์	แบบเวกเตอร์
5. ผลทางสัญญาณไฟฟ้า	I มีเฟสตรงกับ V	I มีเฟสตามหลัง V 90° หรือ I Lag V 90°	I มีเฟสนำหน้า V 90° หรือ I Lead V 90°
6. ชนิดกำลังไฟฟ้าที่ใช้	วัตต์ (W) เป็นจำนวนจริง	วาร์ (VAr) เป็นจำนวนจินตภาพ +j	วาร์ (VAr) เป็นจำนวนจินตภาพ -j
7. ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้า	ใช้แล้วหมดไป	สะสมแล้วจ่ายคืน	สะสมแล้วจ่ายคืน
8. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1	0	0
9. ค่าที่วัดได้จาก Wattmeter	$= I^2 R$	0 W	0 W

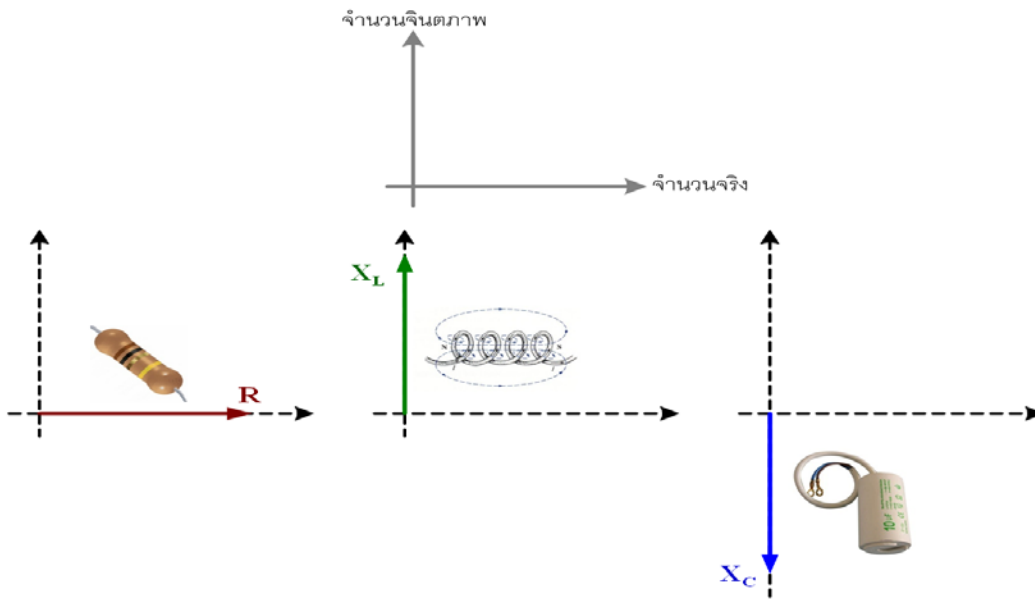
ข้อสังเกตที่พึงทราบ

- L และ C ถูกนำมาใช้ในรูปของค่า X_L และ X_C มีหน่วยเป็น Ω เช่นเดียวกับ R แต่เป็นจำนวนจินตภาพที่สามารถหักล้างกันเองได้เพราะ X_L และ X_C มีทิศทางตรงข้ามกัน (ทิศทาง +j กับ -j) ดังรูปที่ 2.3-3 ดังนั้นหากต้องการหักล้างคุณสมบัติของ X_L ก็อาจนำ X_C ที่เหมาะสมมาต่อในวงจรได้
- เพราะ X_L ทำให้สัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V) 90° และ X_C ทำให้สัญญาณกระแสหน้าหน้าแรงดัน (I Lead V) 90° ดังนั้น ถ้าในวงจรมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่ม เช่น $R+jX_L$ หรือ $R-jX_C$ ก็จะทำให้ความต้านทานโดยรวมซึ่งเรียกว่า อิมพีแดนซ์ (Impedance) : Z มีมุมอยู่ระหว่าง -90° ถึง $+90^\circ$ ทำให้กระแส $I = \frac{V}{Z}$ มีมุมเป็นดังนี้

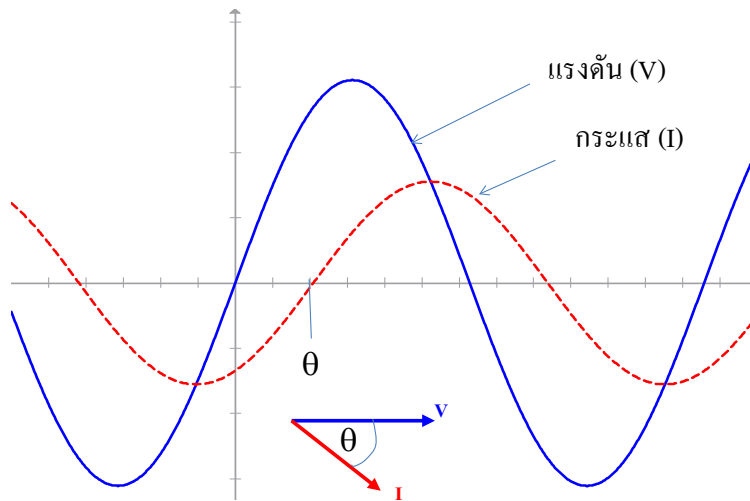


ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง

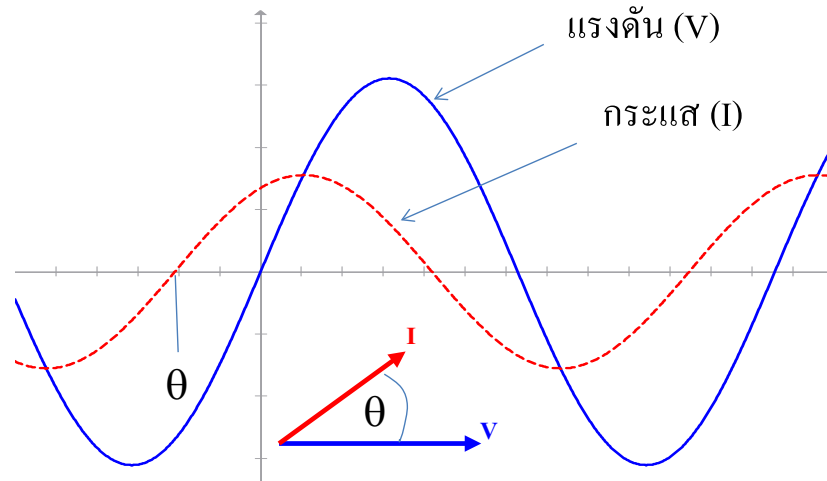
กล่าวคือ โหลด $R + jX_L$ ทำให้ I Lag V ดังรูปที่ 2.3-4 และโหลด $R - jX_C$ ทำให้ I Lead V ดังรูปที่ 2.3-5 ส่วนโหลด R นั้น I และ V มีมุมตรงกัน โดยเขียนเป็นภาพเชิงสลับรูปได้ดังรูปที่ 2.3-6



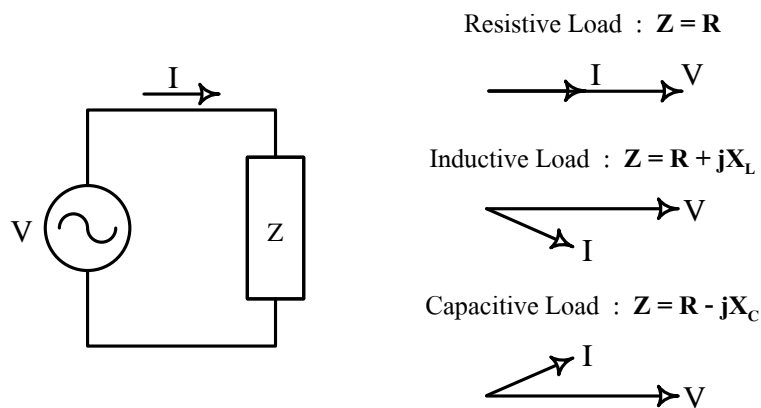
รูปที่ 2.3-3 ลักษณะทางเวกเตอร์ของ R X_L และ X_C



รูปที่ 2.3-4 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V)

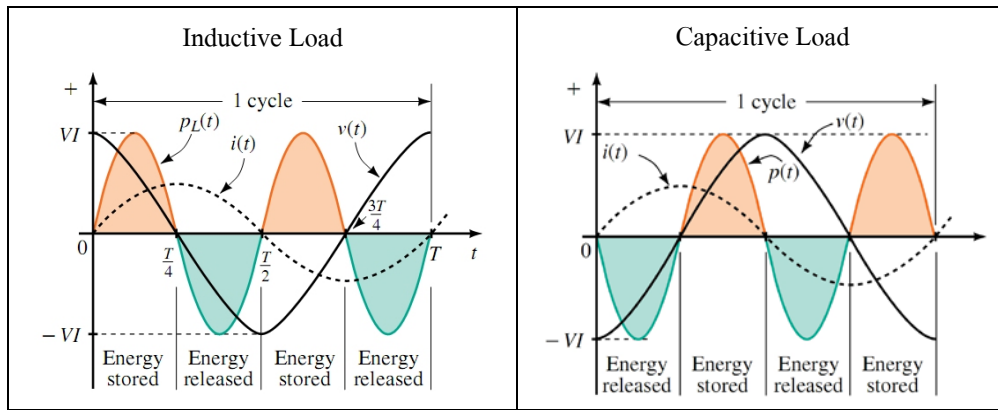


รูปที่ 2.3-5 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (I Lead V)



รูปที่ 2.3-6 ลักษณะเวกเตอร์ของ I และ V ในกรณีของโหลดชนิดต่างๆ

- L และ C เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0 W (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = 0 W) แต่ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย VAr ซึ่งเป็นจำนวนจินตภาพ โดย VAr ของ L มีทิศทางตรงข้ามกับ VAr ของ C (สามารถหักล้างกันได้) ทั้งนี้ ทั้ง L และ C มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าคือ สะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าออกมา (จึงใช้กำลังไฟฟ้า 0 W) ดังรูปที่ 2.3-7 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าจังหวะของการสะสมและคืนพลังงานของโหลดทั้ง 2 ชนิดนั้น ไม่ตรงกัน และสอดคล้องกับทางคณิตศาสตร์ที่ว่า VAr ของ L มีทิศทางตรงข้ามกับ VAr ของ C

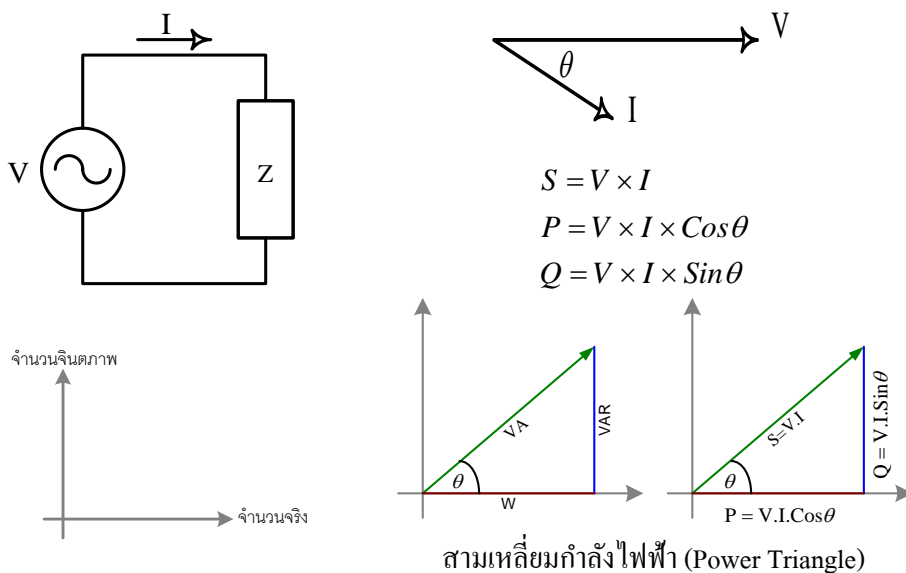


รูปที่ 2.3-7 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของ L และ C

2.3.4. กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีกำลังไฟฟ้า 3 ชนิด (3 หน่วย) ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด มีรายละเอียดดังนี้

- **Active Power (P)** หน่วยเป็น W คำนวณได้จาก $P = V \times I \times \cos \theta$ บ้างก็เรียกว่า Real Power
- **Reactive Power (Q)** หน่วยเป็น VAR คำนวณได้จาก $Q = V \times I \times \sin \theta$
- **Apparent Power (S)** หน่วยเป็น VA คำนวณได้จาก $S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2}$ ดังรูปที่ 2.3-8
- θ คือมุมระหว่าง V กับ I ไม่เจาะจงว่า Lead หรือ Lag เป็นมุมเดียวกับ θ ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า
- ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด เพราะ Watt และ VAR มีทิศทางที่แน่นอนบนแกนจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ เพียงรู้ว่าเป็น VAR ของ L (Lag) หรือเป็น VAR ของ C (Lead) ก็สามารถคำนวณได้



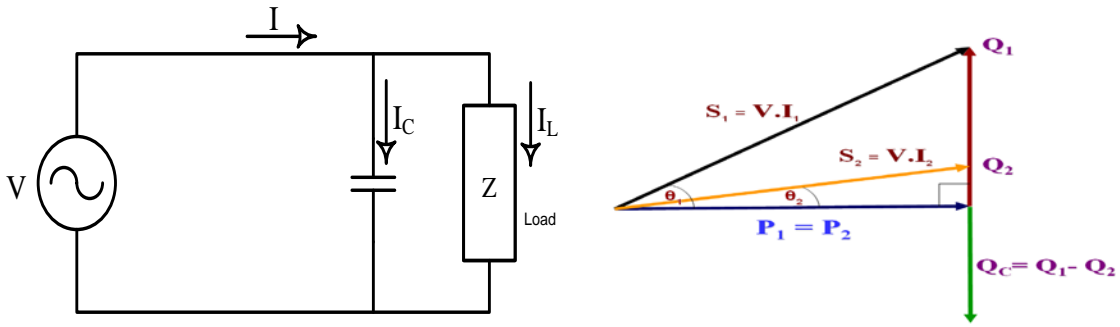
รูปที่ 2.3-8 สมการคำนวณกำลังไฟฟ้าและสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

- เรียกค่า $\cos\theta$ ว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) หรือ **PF** มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ $PF = \frac{P}{S}$
- กำลังไฟฟ้าในหน่วย **W** คือกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ เป็นเลขจำนวนจริง ต่างกับกำลังไฟฟ้าในหน่วย **VAr** ที่เป็นจำนวนจินตภาพ (เป็นเลขจำนวนที่สมมุติขึ้น) เอามาใช้ทำงานไม่ได้
- จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่า ถ้า **VAr** มาก **VA** ก็จะมาก ถ้า **VAr** น้อย **VA** ก็จะน้อย เพราะ **VA** เป็นด้านปัดมุมฉาก โดยที่ **VAr** มากหรือน้อย กำลังไฟฟ้าในหน่วย **W** ก็ยังคงเท่าเดิม (ระบบสามารถทำงานได้เท่าเดิม)
- **VAr** กับ **W** ตั้งฉากกัน การมากขึ้นหรือน้อยลงของ **VAr** จึงไม่ส่งผลต่อ **W** แต่มีผลต่อขนาดของ **VA**
- ถ้าระบบใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย **VAr** มาก **VA** ก็จะมาก หรือพูดอีกนัยหนึ่ง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ กำลังไฟฟ้าในหน่วย **VA** จะมากซึ่งถ้า **VA** มาก ก็หมายความว่ากระแสในระบบมาก ($S = V \times I$ และถือว่า **V** คงที่) เป็นผลให้มีการสูญเสียในรูปของ I^2R ในหม้อแปลงและสายไฟมาก
- หม้อแปลงมีพิกัดกำลังเป็น **VA** กรณีที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ อาจมองอีกมุมหนึ่งได้ว่า ระบบใช้กำลังไฟฟ้าเป็น **VA** มาก แต่ได้กำลังไฟฟ้าเป็น **W** น้อย หากหม้อแปลงจ่ายไฟเต็มพิกัด ก็จ่ายโหลดได้น้อยกว่ากรณีที่ **VA** เท่ากัน แต่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูง (มีค่าเข้าใกล้ 1)

2.4 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction)

คำว่าปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าเป็นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของ **VAr** เพื่อให้ **VA** มีขนาดใกล้เคียงกับ **W** (ดูสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าประกอบ) เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้น โหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็น R ผสม L หรือ Inductive Load ซึ่งทำให้ $I \text{ Lag } V$ ดังนั้น **VAr** ในระบบที่พบจึงมักจะเป็น **VAr** ของ L เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัย อาคารและโรงงาน ต่างก็ใช้ **VAr** ของ L แทบทั้งสิ้น ทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยเก็บเงินกับกรณี **VAr** ของ L (ชนิด Lag) เท่านั้น

ดังนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ **C** ขนานกับโหลด หรือ ขนานกับแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 2.4-1 เพื่อให้ **VAr** ของ L หักล้างกับ **VAr** ของ C แล้วเป็นผลให้ **VA** ลดลง จากรูปเมื่อใส่ **VAr** ของ $C = Q_C = Q_1 - Q_2$ เพื่อหักล้างกับ **VAr** ของ L (Q_1) ทำให้ **VAr** ในระบบลดลงเหลือ Q_2 แล้ว **VA** ของระบบจะลดลงจาก S_1 เหลือเป็น S_2 เป็นผลให้กระแสลดลงจาก I_1 เหลือเป็น I_2



รูปที่ 2.4-1 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ข้อสังเกต จากรูปที่ต่อ C ขนานกับ Load กระแสก็จะลดต่ำลงตั้งแต่ตำแหน่งจุดที่ต่อขึ้นไปจนถึงแหล่งจ่าย ทั้งนี้ Load ยังคงใช้กำลังไฟฟ้า W และ VAR เท่าเดิมทุกประการ เพราะแรงดันที่ Load ได้รับถือว่าไม่ได้เปลี่ยนแปลง จึงกินไฟเท่าเดิม แต่การที่กระแสในสายจากแหล่งจ่ายลดลง เป็นเพราะกระแสที่ไหลเข้า C มีทิศทางของเวกเตอร์หักล้างกับกระแสที่ไหลเข้าโหลด ทำให้ผลรวมทางเวกเตอร์ของ $I_C + I_L$ มีขนาดลดลง หรือจะมองว่า เพราะต่อ C เข้าระบบ แล้วทำให้ VA ลดลงก็ได้ ($S = VI$ และถือว่า V คงที่) จึงทำให้กระแสลดลงด้วย จากแผนภาพนี้ หากนำ C ไปต่อขนานกับแหล่งจ่าย กระแสก็จะลดต่ำลงเฉพาะตำแหน่งที่แหล่งจ่ายเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า Bus Bar กับหม้อแปลงมีกระแสไหลน้อยลง แต่ ในสายไฟที่เดินไปยังโหลด กระแสยังคงมากอยู่ แต่การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อ C ขนานกับแหล่งจ่ายนี้เป็นวิธีที่สะดวกและไม่ยุ่งยาก จึงเป็นวิธีที่นิยมทำกัน

จากรูปที่ 2.4-1 ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จาก PF 1 เป็น PF 2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วย VAR ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF 1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos \theta_1 \quad , \quad PF 2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos \theta_2$$

$$\tan \theta_1 = \frac{Q_1}{P} \quad , \quad \tan \theta_2 = \frac{Q_2}{P}$$

$$Q_1 = P \times \tan \theta_1 = kW \times \tan \theta_1$$

$$Q_2 = P \times \tan \theta_2 = kW \times \tan \theta_2$$

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของตัวเก็บประจุ (kVAR)} &= Q_1 - Q_2 = kW \tan \theta_1 - kW \tan \theta_2 \\ &= kW (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \end{aligned}$$

ในการนี้ อาจใช้ตารางที่ 2.4-1 ประกอบการหาค่า $\tan \theta_1 - \tan \theta_2$ ได้โดยสะดวก เช่น

- ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก PF 1 = 0.5 (PF = 50 %) ไปเป็น PF 2 = 0.9 (PF = 90 %)
 $\tan \theta_1 - \tan \theta_2 = 1.248$
- ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก PF 1 = 0.7 (PF = 70 %) ไปเป็น PF 2 = 0.9 (PF = 90 %)
 $\tan \theta_1 - \tan \theta_2 = 0.536$
- ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก PF 1 = 0.5 (PF = 50 %) ไปเป็น PF 2 = 0.95 (PF = 95 %)
 $\tan \theta_1 - \tan \theta_2 = 1.403$

เมื่อทราบขนาดของ kW ที่ใช้ในระบบ ก็จะหาค่า kVAr ของ C ได้โดยง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ขนาดกำลังไฟฟ้าเป็น kVAr ของ C อาจไม่ได้มีจำหน่ายในท้องตลาดหลายขนาดนัก ดังนั้น อาจต้องใช้ C หลายๆ ตัวต่อขนานกัน เพื่อให้ได้ค่า kVAr รวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ (การต่อ C ขนานกัน นำค่า kVAr บวกกันได้เลย) จึงเรียกชุดของ C หลายๆ ตัวที่ติดตั้งไว้สำหรับการต่อเข้าระบบนี้ว่า **Capacitor Bank** (นิยมเรียกกันว่า Cap Bank) ดังรูปที่ 2.4-2 และเนื่องจากในทางปฏิบัติพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวันไม่คงที่ ดังนั้น การที่ Cap Bank ประกอบด้วย C หลายๆ ตัว จึงเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งที่ สามารถต่อ C เข้าระบบได้มากน้อยตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอนได้ ในการนี้ จำเป็นต้องมีตัวควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ (**Power Factor Controller หรือ PF Controller**) คอยควบคุมการตัดต่อ C เข้าระบบ เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงอยู่เสมอ ดังรูปที่ 2.4-3



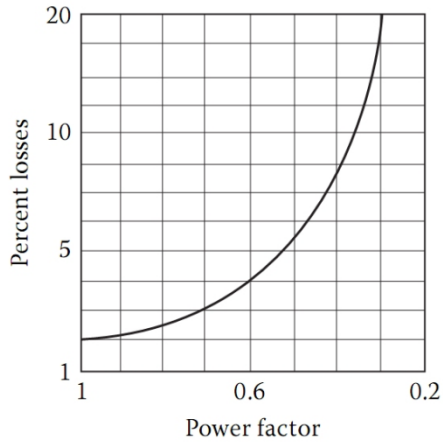
รูปที่ 2.4-2 Capacitor Bank หรือ Cap Bank



รูปที่ 2.4-3 Power Factor Controller และอุปกรณ์ตัดต่อ Cap Bank

ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง

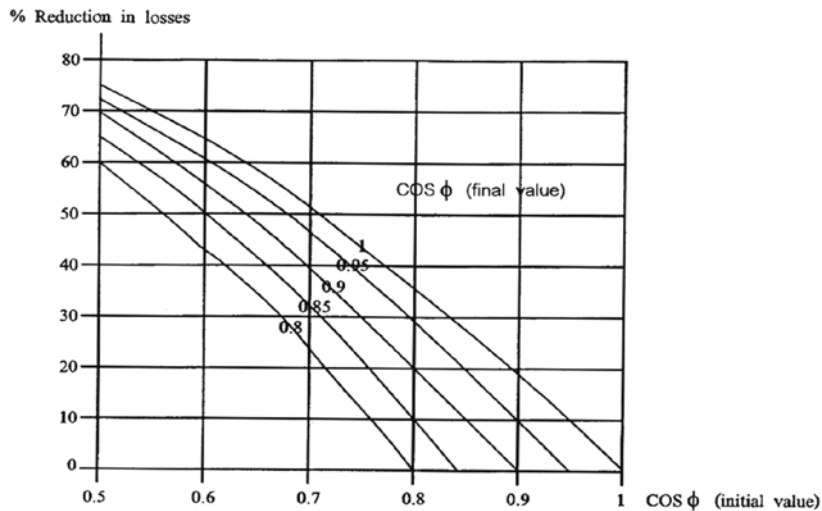
การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลงได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4-4 โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียยังขึ้นอยู่กับความต้านทานในสายและความยาวของสายอีกด้วย ส่วนรูปที่ 2.4-5 แสดงค่า % การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปสู่ค่าต่างๆ



$$\text{kW losses} \propto \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

$$\text{Loss reduction} = 1 - \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

รูปที่ 2.4-4 เปรอ์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.4-5 เปรอ์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปเป็นค่าต่างๆ

ในหม้อแปลงไฟฟ้าก็จะมีลวดทองแดงพันรอบแกนเหล็กซึ่งเป็นค่าการสูญเสียเช่นเดียวกับในสายไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อค่า PF สูงขึ้นก็จะลดการสูญเสียขณะมีโหลดในหม้อแปลงไฟฟ้าลงเช่นกัน

อนึ่งการที่ค่า PF สูงขึ้น ทำให้โหลดที่ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าลดลงด้วย ซึ่งจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีความสามารถจ่ายโหลดเพิ่มได้อีกดังสมการข้างล่างนี้

$$\text{kVA (เหลือ)} = \text{kW (โหลด)} \left(\frac{1}{\cos \Phi_1} - \frac{1}{\cos \Phi_2} \right)$$

ตัวอย่าง หม้อแปลง 400 kVA จ่ายโหลด 200 kW ที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.5 ถ้าปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.8 หม้อแปลงยังมีกำลังเหลือใช้อีกเท่าใด?

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{kVA (เหลือ)} &= 200 \left(\frac{1}{0.5} - \frac{1}{0.8} \right) \\ &= \left(\frac{200}{0.5} - \frac{200}{0.8} \right) \end{aligned}$$

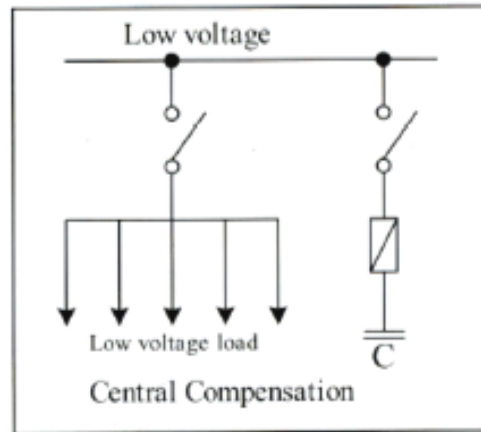
$$\text{หม้อแปลงยังมีกำลังเหลือใช้อีก} = 400 - 250 = 150 \text{ kVA}$$

สิ่งที่ได้รับอีกอย่างเมื่อค่า PF สูงก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้าลดลงเช่นกัน (ซึ่งเป็นปริมาณเล็กน้อย) อย่างไรก็ตามระบบไฟฟ้าที่มีค่า PF ต่ำ จะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก ดังนั้น การแก้ไขค่า PF สูงขึ้น จะทำให้ค่าไฟฟ้าลดลง แต่การแก้ไขค่า PF นี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม จึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วย โดยพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนในการแก้ไขค่า PF กับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการแก้ไขค่า PF

2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง Capacitor Bank)

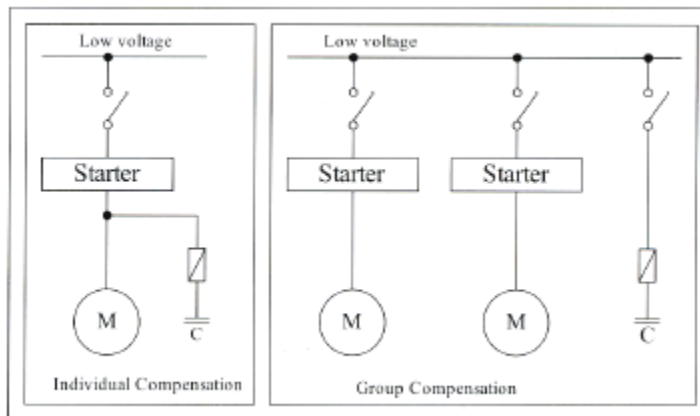
ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกัน ทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่ หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร โดยแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว (Central Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของโรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.4-6



รูปที่ 2.4-6 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง

- การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อยหรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว (Individual Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและจุดของโรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.4-7



รูปที่ 2.4-7 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด

การติดตั้งเป็นกลุ่มหรือเฉพาะตัวนี้จะต้องพิจารณาจุดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ด้วย เพราะประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับระยะทางจุดที่ทำการติดตั้งมายังตัวโหลดหรือมอเตอร์ ประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การตัดสินใจเลือกวิธีติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าวิธีหนึ่งวิธีใดมาใช้เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่โรงงานหรืออาคารใดจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เช่น พิจารณาถึงลักษณะของโรงงาน ลักษณะโหลดย่อยใหญ่ที่ใช้ ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเงินลงทุน ซึ่งต้องการศึกษาอย่างละเอียดว่าวิธีใดจะมีโอกาสคุ้มทุนมากกว่ากัน

ในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารส่วนใหญ่แล้ว จะประกอบด้วยโหลดที่มีขนาดเล็กๆ จำนวนมาก แต่ด้วยเหตุที่พิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีขนาดเป็นมาตรฐาน (Standard Size) ในทางปฏิบัติจะหาตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีขนาด kVAr สอดคล้องกับโหลดแต่ละรายการได้ยาก และโดยทั่วไปแล้วโหลดต่างๆเหล่านี้ก็ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน เหตุนี้ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงจุดเดียว ณ ตำแหน่งซึ่งเป็นจุดรวมของโหลดทั้งหมด ซึ่งกรณีเช่นนี้จะต้องมีสวิตช์หรือต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับโหลดทั้งหมดหรือบางส่วนตามสภาวะของโหลดได้โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากมอเตอร์เพียง 50% ของมอเตอร์โหลดทั้งหมดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงครั้งหนึ่งในจุดนั้นเท่านั้นที่จะถูกต่อเข้าวงจร โหลด อีกครั้งหนึ่งจะถูกตัดออก แต่ถ้าไม่มีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ และโหลดทำงานไม่พร้อมกันแล้ว ก็ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานเข้ากับโหลดแต่ละตัว

โดยปกติแล้วแม้ไม่มีโหลด หม้อแปลงไฟฟ้าก็ยังคงต้องสร้างสนามแม่เหล็กที่เป็นกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟอยู่ ดังนั้นการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อลดกำลังรีแอกทีฟในช่วงไม่มีโหลด โดยต่อตรงเข้าทางด้านแรงดัน หรือด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างถาวร ไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบอีกด้วย ซึ่งการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเป็นแบบผสม กล่าวคือ โหลดใหญ่ๆ จะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่โหลดแต่ละชุด ส่วนโหลดอื่นๆ จะติดตั้งแบบกลุ่มหรือแบบศูนย์กลาง ส่วนตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเพียงการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น

2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ข้อดี ของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า
<ul style="list-style-type: none"> ● เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33% ● เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้ ● มีความยืดหยุ่นมาก เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้ ● ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา ● สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้น้ำในการติดตั้งน้อย ● ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้
ข้อเสีย ของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า
<ul style="list-style-type: none"> ● การเกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ ● การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์โมนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.4.3 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

- เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
- จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะความร้อนที่สูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง
- การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้
- ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป
- อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ค สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที ในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษ

2.4.4 สมการใช้งานที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณ	ระบบไฟฟ้า 1 เฟส	ระบบไฟฟ้า 3 เฟส
P	$P = V \times I \times \cos \theta$	$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta$
Q	$Q = V \times I \times \sin \theta$	$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \theta$
S	$S = V \times I$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$ $S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2}$
Cos θ (PF)	$\frac{P}{S}$	$\frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}}$

กรณีในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่มีโหลดย่อยหลายรายการ การหาค่ากำลังไฟฟ้ารวมสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sum P &= P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N \\ \sum Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N \\ \sum S &= S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_N \quad (\text{ต้องรวมแบบเวกเตอร์}) \\ \therefore \sum S &= \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} \quad (\text{แนวคิดเช่นเดียวกับสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า}) \end{aligned}$$

$$\text{ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า} = \frac{\sum P}{\sum S}$$

หมายเหตุ ค่าความจุไฟฟ้าของ C หน่วยเป็นฟารัด (F) สามารถหาได้จากสมการ $C = \frac{Q_C}{2 \times \pi \times f \times V_{RMS}^2}$

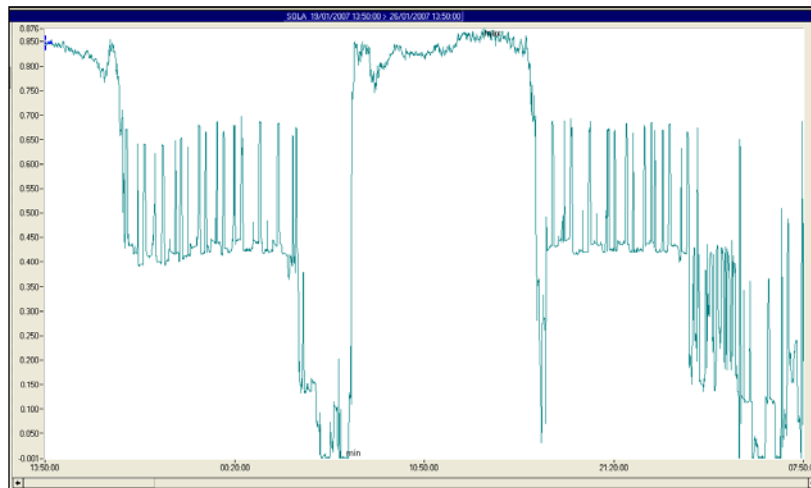
เมื่อ f คือความถี่ไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณเพื่อหาขนาดตัวเก็บประจุ (kVAr) จากข้อมูลที่ตรวจวัดใน 3 กรณี ดังนี้				
1.1 ต้องการปรับปรุงให้ PF ของตู้รวมโหลดย่อยจากค่าประมาณ 0.60 เป็น 0.95 ขณะโหลดรวมประมาณ 70 kW				
	kW	+69.9	PF	+0.618
	Wh	0017382		
	kVAR	≒ 88.9	DPF	+0.615
	VARh	≒0022008		
		‡0000000	Tan	+1.271
	kVA	113.2		
	VAh	0028056		
วิธีทำ	จากตารางที่ 2.4-1 : $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 1.005$			
	ขนาด kVAr = kW $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$			
	= 70.35 kVAr			
	(ในทางปฏิบัติอาจจัดหาชุดของ Cap Bank ได้เพียงค่าใกล้เคียง)			
1.2 ต้องการปรับปรุงให้ PF ของตู้รวมโหลดย่อยจาก 0.839 เป็น 0.95 ขณะโหลดรวม 289.7 kW				
	kW	+289.7	PF	+0.839
	kWh	0001284		
	kVAR	≒187.8	DPF	+0.839
	kVARh	≒0000804		
		‡0000000	Tan	+0.648
	kVA	345.4		
	kVAh	0001516		
วิธีทำ	$\theta_1 = \cos^{-1} 0.839 = 32.965^\circ \rightarrow \tan \theta_1 = 0.6485$			
	$\theta_2 = \cos^{-1} 0.950 = 18.195^\circ \rightarrow \tan \theta_2 = 0.3287$			
	ขนาด kVAr = kW $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 92.65$ kVAr			
	(ในทางปฏิบัติอาจจัดหาชุดของ Cap Bank ได้ 100 kVAr)			
1.3 ต้องการปรับปรุงให้ PF ของ MDB ให้สูงขึ้นจาก 0.384, 0.429, 0.397 ในโรงงานให้เป็น 0.90				
		①	②	③
	kW	+212.1	+232.0	+199.8
	Wh	0377501	0405044	0353194
	kVAR	≒509.4	≒481.6	≒460.2
	VARh	≒0919449	≒0867355	≒0831849
		‡0000000	‡0000000	‡0000000
	kVA	551.8	534.5	501.7
	VAh	0994464	0957793	0904253
	PF	+0.384	+0.429	+0.397

<p>วิธีทำ</p> $\Sigma P = 212.1 + 232.0 + 199.8 = 643.9 \text{ kW} = \text{โหลดรวม}$ $\Sigma Q = 509.4 + 481.6 + 460.2 = 1,451.2 \text{ kVAr}$ $\Sigma S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2} = 1,587.64 \text{ kVA}$ $\text{ค่า PF ก่อนปรับปรุง} = \frac{\Sigma P}{\Sigma S} = 0.406 = \text{ค่า PF รวม 3 เฟส}$ $\theta_1 = \cos^{-1} 0.406 = 66.046^\circ \rightarrow \tan \theta_1 = 2.251$ $\theta_2 = \cos^{-1} 0.900 = 25.842^\circ \rightarrow \tan \theta_2 = 0.4843$ $\text{ขนาด kVAr} = \text{kW} (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 1,137.58 \text{ kVAr}$ <p>(ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้เพียงค่าใกล้เคียง)</p> <p>* กรณี PF ต่ำๆ เช่น กรณีนี้ อาจต้องแก้ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าก่อน การต่อ C เข้าระบบ อาจทำให้เกิดเรโซแนนซ์ได้ จึงควรให้ผู้เชี่ยวชาญได้วิเคราะห์ระบบก่อน</p>	<p>ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณการลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า</p> <p>มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 V ขณะ Full Load กระแส 75 A Pf = 0.82 Lagging ติดตั้งห่างจากแหล่งจ่าย 150 m ความต้านทานของสายไฟฟ้าเส้นละ 0.0635 Ω หากมีการปรับปรุงให้มีค่า PF = 0.95 แล้วการสูญเสียในสายไฟจะต่างกันอย่างไร ?</p>
<p>วิธีทำ</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ก่อนปรับปรุง Pf = 0.82 Lagging การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้น = $3I^2R = 3 \times 75^2 \times 0.0635 = 1,071.56 \text{ W}$ ● หลังปรับปรุง Pf = 0.95 Lagging $\text{Loss reduction} = 1 - \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$ $\text{การสูญเสียลดลง} = 1 - \left(\frac{0.82}{0.95} \right)^2 = 0.2550 \text{ หรือ } 25.5 \%$ <p>ดังนั้น หลังการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้นจะลดลงได้</p> $= 0.2550 \times 1,071.56$ $= 273.25 \text{ W}$ <p>คิดเป็นค่าประมาณ 1 ใน 4 ของการสูญเสียเดิม</p>	


2.4.5 การเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติแล้ว พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอาคารหรือโรงงานจะไม่สม่ำเสมอ มีช่วงใช้ไฟมากบ้าง น้อยบ้าง มีการเปิดปิดอุปกรณ์อยู่บ่อยๆ ตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของอาคารด้วยแล้ว หากเป็นช่วงเลิกงาน การใช้ไฟฟ้าก็จะน้อยลงมาก ดังรูปที่ 2.4-8 ซึ่งทำให้ทั้งค่า W, VAr, PF และ A มีความไม่แน่นอนมาก แม้จะมีการติดตั้ง PF Controller ไว้ก็ตาม ก็ใช้ว่าค่า PF ของอาคารจะคงที่ เพราะการตัดต่อของ Cap Bank นั้น เป็นการใส่หรือปลด C ที่ละชุด การควบคุมค่า PF จึงมีลักษณะคุมค่า kVAr ได้เป็นขั้นๆ (เป็น Step) จึงยากที่จะบอกว่า อาคารหลังนั้น หรือโรงงานแห่งนั้น มีค่า PF เท่าใดกันแน่ เพราะแปรเปลี่ยนไปมาได้หลายค่าในแต่ละเดือน ดังนั้น เพื่อให้มีแนวทางที่สามารถนำมาใช้ปฏิบัติได้ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยพิจารณาจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ของกำลังไฟฟ้าที่เป็น kW และ kVAr ในแต่ละเดือนดังรายละเอียดในโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า



รูปที่ 2.4-8 ตัวอย่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอาคารหลังหนึ่ง

สำหรับรูปที่ 2.4-9 แสดงตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟภ.



#838403266635 *Printed: 02-02-2016 08:58:12

หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

เลขที่: _____
เรื่อง: แจ้งค่าไฟฟ้า
เรียน: ท่านผู้ใช้ไฟฟ้า

ที่อยู่สำหรับแจ้งค่าไฟฟ้า: _____
ที่อยู่สถานที่ใช้ไฟฟ้า: _____

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 (01/2559) ตามรายละเอียดดังนี้

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอปลวกแดง
วันที่ 02 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

รหัสการไฟฟ้า	หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า	รหัสเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	แรงดัน	ตัวคูณ	วันที่อ่านหน่วย
			4224	22-33 KV	6000	31/01/2559

	เลขอ่านครั้งหลัง	เลขอ่านครั้งก่อน	กิโลวัตต์/หน่วย/กิโลวาร์	จำนวนเงิน (บาท)
พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์)	P 29.335	29.048	→ 1722.00	228,905.46
	OP 28.873	28.590	1698.00	
	H 28.495	28.228	1602.00	
พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	P 5781.320	5718.080	→ 379440.00	1,597,328.57
	OP 4851.710	4800.500	→ 307260.00	
	H 4857.750	4811.390	→ 278160.00	
ค่าบริการ 312.24 บาท ได้รับการอุดหนุน 0.00 บาท				→ 312.24
ค่าไฟฟ้าฐาน				3,365,908.16
กิโลวาร์	11.162	11.059	→ 618.00	

	จำนวนเงิน (บาท)
ค่า FT ระบบผลิต (บาท/หน่วย)	→ -0.0480
ค่า FT ระบบส่ง (บาท/หน่วย)	0.0000
ค่า FT ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย)	0.0000
รวมค่า FT (บาท/หน่วย)	-0.0480
หน่วยที่คิดค่า FT (หน่วย)	964,860.00
รวมจำนวนเงินค่า FT (บาท)	→ -46,313.28

	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าไฟฟ้าฐาน	3,365,908.16
ค่าไฟฟ้า + ค่า FT	3,319,594.88
ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์	
รวมเงินค่าไฟฟ้า	3,319,594.88
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	→ 232,371.64
รวมเงินที่ต้องชำระ	→ 3,551,966.52

	ระบบผลิต (บาท)	ระบบส่ง (บาท)	ระบบจำหน่าย (บาท)
ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด			228,905.46
ค่าพลังงานไฟฟ้า	2,867,098.34	269,592.12	
การอุดหนุนค่าไฟฟ้า			
ค่า FT			-46,313.28

รวมเงินที่ต้องชำระ = สามด้านห้าแสนห้าหมื่นหนึ่งพันเก้าร้อยหกสิบหกบาทห้าสิบบสองสตางค์ = โปรดชำระภายในวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 (ท่านอยู่ระหว่างการหักบัญชีธนาคาร)

หมายเหตุ: ท่านสามารถชำระเงินดังกล่าวได้ที่สำนักงานการไฟฟ้าเท่านั้น
จึงเรียนมาเพื่อโปรดชำระเงินภายในวันที่กำหนดต่อไปด้วย จะขอบคุณยิ่ง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
"เอกสารนี้ออกโดยระบบอัตโนมัติ จึงไม่ต้องมีการลงนาม"

ติดต่อ: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอปลวกแดง โทร.038-659574 (คุณเยาวลักษณ์)
ณ.119-รค.49 | หากมีการเปลี่ยนแปลงหมายเลขโทรสารหรือ Email Address กรุณาแจ้งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ก่อนการจัดส่งหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้ารอบถัดไป

รูปที่ 2.4-9 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟภ.

ตัวอย่างที่ 3 การคิดค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ตาม รูปที่ 2.4-9	
วิธีการคำนวณ	
1. ค่าพลังงานไฟฟ้า On Peak = 379,440 หน่วย x 4.2097 บาท/หน่วย = 1,597,328.57 บาท	
Off Peak = (307,260+278,160)หน่วย x 2.6295 บาท/หน่วย = 1,539,361.89 บาท	
รวมค่าพลังงานไฟฟ้า	= 3,136,690.46 บาท
2. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า On Peak = 1,722 kW x 132.93 บาท/kW = 228,905.46 บาท	
3. ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ยอมให้ = 61.97% of 1,722 kW = 1,067 kVAr	
ใช้จริง 618 kVAr ส่วนที่เกิน = 618-1,067 = (-449) kVAr ไม่เสียค่าปรับ	
4. ค่าบริการรายเดือน	= 312.24 บาท
5. ค่าไฟฟ้าผันแปร(Ft) = (379,440+307,260+278,160)หน่วยx(-0.0480)บาท/หน่วย = -46,313.28 บาท	
6. รวม (1-5)	= 3,319,594.88 บาท
7. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	= 232,371.64 บาท
8. รวมเงิน	= 3,551,966.52 บาท

2.4.6 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน อัตราค่าไฟฟ้าใหม่เริ่มใช้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2558 โดยแบ่งเป็น 8 ประเภท ดังนี้

ประเภทค่าไฟฟ้า	อัตราค่าไฟฟ้า
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย	1.1 อัตราปกติ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน 1.2 อัตราปกติ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน 1.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก	2.1 อัตราปกติ 2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง	3.1 อัตราปกติ 3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่	4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD) 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง	5.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) 5.2 อัตราสำหรับผู้ใช้นี้ยังไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์TOU
ประเภทที่ 6 องค์กรไม่แสวงหากำไร	6.1 อัตราปกติ 6.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
ประเภทที่ 7 กิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตร	7.1 อัตราปกติ 7.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
ประเภทที่ 8 ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว	



อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจของทุกศาสนา ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

1.1 อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)	
1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน		8.19	
15 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 15)	2.3488		
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 – 25)	2.9882		
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 – 35)	3.2405		
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 – 100)	3.6237		
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 – 150)	3.7171		
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	4.2218		
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217		
1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน		38.22	
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 150)	3.2484		
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	4.2218		
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217		
1.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)	
	Peak	Off Peak	
1.2.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	5.1135	2.6037	312.24
1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	5.7982	2.6369	38.22

หมายเหตุ 1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1 แต่หากใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2 และเมื่อได้มีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วย ติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าเกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2

3. ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1.1.1 ที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 50 หน่วยต่อเดือนทุกราย ยังคงได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรีถึงค่าไฟฟ้าประจำเดือนธันวาคม 2558 และตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม 2559 เป็นต้นไป ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1.1.1 ที่ได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรี จะต้องไม่เป็นนิติบุคคลและมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 50 หน่วยต่อเดือน ติดต่อกันเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 เดือน นับถึงเดือนปัจจุบัน

4. ประเภทที่ 1.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

5. ประเภทที่ 1.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนไปใช้อัตราประเภทที่ 1.1 ได้

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจร่วมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.1 อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)	
2.1.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	3.9086	312.24	
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์		46.16	
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 150)	3.2484		
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	4.2218		
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217		
2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)	
	Peak	Off Peak	
2.2.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	5.1135	2.6037	312.24
2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	5.7982	2.6369	46.16

หมายเหตุ 1. ประเภทที่ 2.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 2.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนไปใช้อัตราประเภทที่ 2.1 ได้

3. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไปในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 3 หรือ 4 หรือ 5 แล้วแต่กรณี

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

3.1 อัตราปกติ	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
3.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70		3.1355		312.24
3.1.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	196.26		3.1729		312.24
3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	221.50		3.2009		312.24

3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
3.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14		4.1283	2.6107	312.24
3.2.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	132.93		4.2097	2.6295	312.24
3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	210.00		4.3555	2.6627	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน
หมายเหตุ 1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย
 2. ประเภทที่ 3.1 เป็นอัตราสำหรับผู้ที่ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภทที่ 3.1 อยู่เดิมก่อนค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558 และสามารถเลือกใช้อัตราประเภทที่ 3.2 ได้ โดยต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ทั้งนี้ เมื่อเลือกแล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 3.1 ไม่ได้
 3. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 2.2 แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เคยเลือกใช้อัตรา TOU และได้ชำระค่าใช้จ่ายไว้แล้ว จะไม่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีก

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Partial	Off Peak	Peak	Off Peak	
4.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	3.1355		312.24
4.1.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	285.05	58.88	0	3.1729		312.24
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	332.71	68.22	0	3.2009		312.24

Peak : เวลา 18.30 – 21.30 น. ของทุกวัน
 Partial : เวลา 08.00 – 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)
 Off Peak : เวลา 21.30 – 08.00 น. ของทุกวัน

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
4.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14		4.1283	2.6107	312.24
4.2.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	132.93		4.2097	2.6295	312.24
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	210.00		4.3555	2.6627	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน
หมายเหตุ 1. ประเภทที่ 4.1 เป็นอัตราสำหรับผู้ที่ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภทที่ 4.1 อยู่เดิมก่อนค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558 และสามารถเลือกใช้อัตราประเภทที่ 4.2 ได้ โดยต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ทั้งนี้ เมื่อเลือกแล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้
 2. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 2.2 แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เคยเลือกใช้อัตรา TOU และได้ชำระค่าใช้จ่ายไว้แล้ว จะไม่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีก

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

5.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าบริการ
	(บาท/กิโลวัตต์)	(บาท/หน่วย)		(บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
5.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป	74.14	4.1283	2.6107	312.24
5.1.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลวัตต์	132.93	4.2097	2.6295	312.24
5.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลวัตต์	210.00	4.3555	2.6627	312.24

5.2 อัตราสำหรับผู้ใช้อิไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ TOU

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าบริการ
	(บาท/กิโลวัตต์)	(บาท/หน่วย)	(บาท/เดือน)
5.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป	220.56	3.1355	312.24
5.2.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลวัตต์	256.07	3.1729	312.24
5.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลวัตต์	276.64	3.2009	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ 1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 5.1 เป็นอัตราสำหรับผู้ใช้อิไฟฟ้าประเภทที่ 5 ทุกราย สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ TOU อนุโลมให้คิดประเภทที่ 5.2 ไปก่อน

3. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 2.2 แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เคยเลือกใช้อัตรา TOU และได้ชำระค่าใช้จ่ายไว้แล้ว จะไม่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีก

ประเภทที่ 6 องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

สำหรับการใช้ไฟฟ้าขององค์กรที่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว แต่ไม่รวมถึงส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ

6.1 อัตราปกติ

	ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าบริการ
	(บาท/หน่วย)		(บาท/เดือน)
6.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป	3.4407		312.24
6.1.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลวัตต์	3.6107		312.24
6.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลวัตต์			20.00
10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 10)	2.8271		
เกิน 10 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป)	3.9177		

6.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าบริการ
	(บาท/กิโลวัตต์)	(บาท/หน่วย)		(บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
6.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป	74.14	4.1283	2.6107	312.24
6.2.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลวัตต์	132.93	4.2097	2.6295	312.24
6.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลวัตต์	210.00	4.3555	2.6627	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ประเภทที่ 6.2 ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ 1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 6.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนไปใช้อัตราประเภทที่ 6.1 ได้

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยงานราชการ สหกรณ์เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่มเกษตรกร กลุ่มเกษตรกรที่หน่วยงานราชการรับรอง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

7.1 อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)	
100 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 100)	2.0889	115.16	
เกิน 100 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 101 เป็นต้นไป)	3.2405		
7.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)			
	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak Off Peak	
7.2.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	132.93	4.1839 2.6037	228.17
7.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	210.00	4.3297 2.6369	228.17

อัตราขั้นต่ำ : ประเภทที่ 7.2 ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน
หมายเหตุ 1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า หรือหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (เฉพาะที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำประกอบ ซี.ที.) ให้คำนวณกิโลวัตต์และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 7.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนไปใช้อัตราประเภทที่ 7.1 ได้

ประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่องานก่อสร้าง งานที่จัดขึ้นเป็นพิเศษชั่วคราว สถานที่ที่ไม่มีทะเบียนบ้าน และการใช้ไฟฟ้าที่ยังปฏิบัติไม่ถูกต้องตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ค่าพลังงานไฟฟ้า (ทุกระดับแรงดัน) หน่วยละ 6.8283 บาท

หมายเหตุ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้อัตราประเภทนี้ หากมีความประสงค์จะขอเปลี่ยนเป็นประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าถาวร หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตรวจพบว่าได้เปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างอื่นแล้ว เช่น เพื่อประกอบธุรกิจ หรืออุตสาหกรรม หรือบ้านอยู่อาศัย ฯลฯ เมื่อได้ยื่นคำร้องขอใช้ไฟฟ้าถาวรต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในท้องถิ่นนั้น พร้อมกับเดินสาย และติดตั้งอุปกรณ์ภายในให้เรียบร้อยถูกต้องตามมาตรฐาน และชำระค่าธรรมเนียมการใช้ไฟฟ้าแบบถาวรครบถ้วน ตามหลักเกณฑ์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้ว ค่าไฟฟ้าจะคิดตามอัตราประเภทที่ 1 – 7 แล้วแต่กรณี

ข้อกำหนดช่วงเวลาอัตรา TOU	
Peak : เวลา 09.00 น. – 22.00 น. วันจันทร์ – ศุกร์ และวันพืชมงคล	Off Peak : เวลา 22.00 น. – 09.00 น. วันจันทร์ – ศุกร์ และวันพืชมงคล : เวลา 00.00 น. – 24.00 น. วันเสาร์ – อาทิตย์, วันแรงงานแห่งชาติ, วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์ – อาทิตย์ และ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า หากเดือนใดมีเพาเวอร์แฟกเตอร์แลค (Lag) ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (กิโลวัตต์) เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกตีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (กิโลวัตต์) ส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในอัตรา กิโลวัตต์ (kvar) ละ 56.07 บาท (เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์)

2. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือน ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าตามอัตราข้างต้น ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (FT) และภาษีมูลค่าเพิ่ม

3. อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

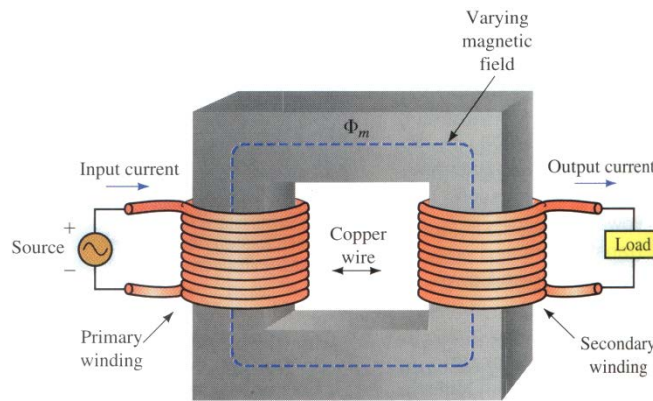
อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น เริ่มใช้ตั้งแต่ ค่าไฟฟ้าประจำเดือน พฤศจิกายน 2558 เป็นต้นไป

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

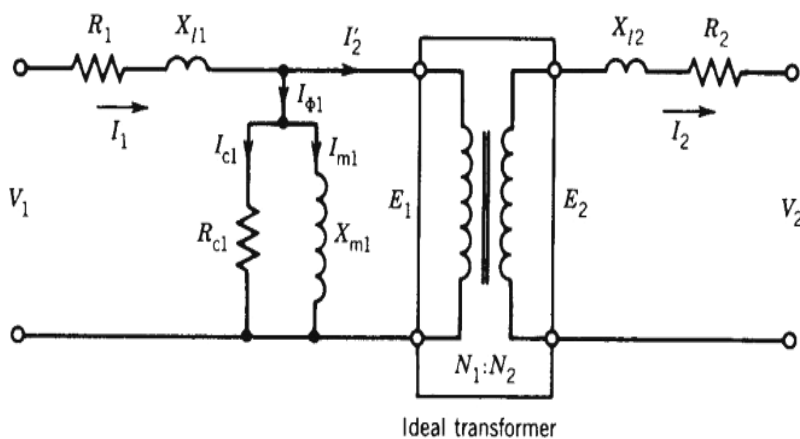
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 200 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
 โทรศัพท์ 0-2590-9125, 0-2590-9127 โทรสาร 0-2590-9133-4 <http://www.pea.co.th> Call Center 1129

2.5 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ แปลงแรงดัน และแยกวงจร 2 ฟังก์ชันออกจากกันทางไฟฟ้า หม้อแปลงไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แต่เป็นตัวส่งผ่านพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิ (Primary) ไปยังฝั่งทุติยภูมิ (Secondary) โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างแม่เหล็กกับไฟฟ้า จากรูปที่ 2.5-1 จะเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ฟังก์ชันไม่ได้ต่อกันทางไฟฟ้าแต่อย่างใด การที่ฝั่งทุติยภูมิสามารถจ่ายไฟได้ เพราะพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมินั่นเอง ขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (แรงดันไฟฟ้า) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พันบนแกนเหล็กเป็นสำคัญ ในกรณีนี้จะพบว่า หม้อแปลงในทางปฏิบัติมีความแตกต่างไปจากหม้อแปลงในทางอุดมคติ เพราะมีความต้านทานในขดลวด ทำให้เกิดการสูญเสียในลวดตัวนำ และยังเกิดการสูญเสียขึ้นในแกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุอีกด้วย โดยมีวงจรสมมูลที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2.5-2 ซึ่งมีความซับซ้อนที่จะอธิบาย จึงขออธิบายเพียงเนื้อหาที่ควรทราบพอสังเขปเท่านั้น



รูปที่ 2.5-1 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า



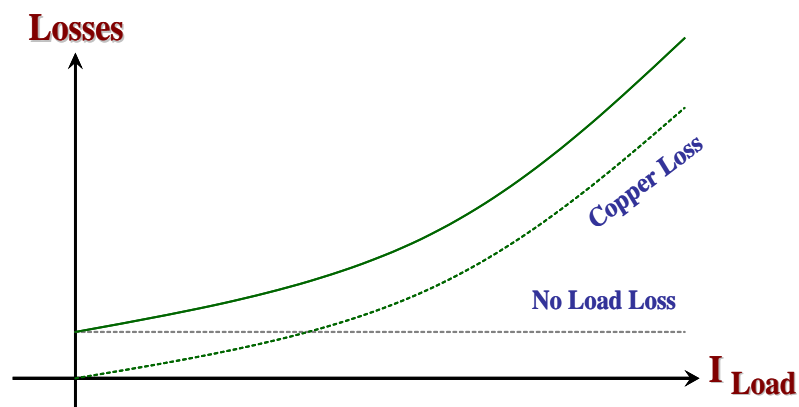
รูปที่ 2.5-2 แสดงวงจรสมมูลของหม้อแปลง

ในทางปฏิบัตินั้น หม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะ คือ

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss : W_l) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลด แต่มีการต่อไฟทางฝั่งปฐมภูมิเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก จึงอาจเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss มีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับการจ่ายโหลด

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss : W_c) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายโหลด มีค่าแปรผันตามกระแสยกกำลังสอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Copper Loss

หากพิจารณาจากรูปที่ 2.5-3 จะเห็นว่าการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะสามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นปะ และมีการสูญเสียรวมดังเส้นทึบ จะเห็นว่าแม้ไม่มีการจ่ายโหลดเลย แต่ก็ยังคงมีการสูญเสียในหม้อแปลงเสมอ



รูปที่ 2.5-3 แสดงลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็น kVA โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเหมาะสมที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-75% ของพิกัด โดยทั่วไปนิยมใช้หม้อแปลง 2 ตัว แบ่งภาระการจ่ายโหลด โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดประมาณ 75% ในทางปฏิบัติแล้ว มีหลายกรณีที่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เกินภาระการใช้งานจริง จึงทำให้เกิดการสูญเสียมาก จึงควรระมัดระวังการใช้หม้อแปลงในลักษณะนี้ พิจารณารายที่ 2.5-1 และ 2.5.2 แสดงค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 kV และ 33 kV ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าพิกัดของหม้อแปลงยิ่งมาก การสูญเสีย No Load Loss ก็ยิ่งมาก หากมีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารหรือโรงงาน ตลอดจนมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยลดกระแสที่หม้อแปลงต้องจ่ายได้ ทำให้ลดการสูญเสีย Copper Loss ได้อีกทางหนึ่งด้วย

การคำนวณค่าการสูญเสียเมื่อโหลด หรือ แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยน

$$\text{Load Factor หรือ LF ของการใช้งาน} = \frac{\text{kVA}_1}{\text{kVA}} \quad \%$$

$$\text{กำลังสูญเสียในแกนเหล็กขณะจ่ายโหลด} = W_i \quad \text{วัตต์}$$

$$\text{กำลังสูญเสียในตัวนำขณะจ่ายโหลด} = \left(\frac{\text{kVA}_1}{\text{kVA}} \right)^2 \times W_c \quad \text{วัตต์}$$

$$\text{กำลังสูญเสียรวม} = W_i + \left(\frac{\text{kVA}_1}{\text{kVA}} \right)^2 \times W_c \quad \text{วัตต์}$$

เมื่อ $\text{kVA}_1 =$ โหลดจริง

$\text{kVA} =$ ขนาดพิกัด

การปรับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลง จะทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

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

เมื่อ $V_1 =$ แรงดันไฟฟ้าก่อนปรับลด

$V_2 =$ แรงดันไฟฟ้าหลังปรับลด

ตารางที่ 2.5-1 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 kV

ขนาด kVA	V1 / V2 (kV / V)	หม้อแปลงธรรมดา			หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง		
		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

ตารางที่ 2.5-2 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงรุ่นหนึ่งสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 33 kV ของผู้ผลิตรายหนึ่ง

Capacity (kVA.)		No-Load Losses Po (W)	Load Losses at 75°C. PK (W)	Total Losses at 75°C. (W)	Impedance at 75°C. Un (%)	Efficiency P.F.=1		Voltage Regulation P.F.=1 (%)	Noise Level dB (A):1m.	Outline Dimension Approx.(mm.)			Oil qty. (Litres)	Total Weight (kgs.)
						1/2 Load(%)	Full Load(%)			H	L	M		
50	230	1050	1280	4	98.07	97.50	2.16	45	1185	1170	670	165	500	
100	350	1750	2100	4	98.45	97.94	1.82	46	1270	1275	685	205	680	
160	500	2350	2850	4	98.66	98.25	1.54	47	1355	1330	720	270	925	
200	590	2850	3440	4	98.71	98.31	1.50	47	1390	1380	805	285	1015	
250	700	3250	3950	4	98.80	98.14	1.37	48	1405	1410	815	335	1230	
315	850	3900	4750	4	98.85	98.51	1.31	50	1445	1425	825	370	1405	
400	950	4600	5550	4	98.86	98.63	1.22	50	1450	1470	840	365	1520	
500	1100	5500	6600	4	99.02	98.70	1.17	52	1525	1560	860	400	1850	
630	1300	6500	7800	4	99.08	98.78	1.11	52	1585	1560	880	475	2100	
750	1500	9000	10500	5	99.01	98.62	1.32	54	1640	1705	990	525	2400	
800	1500	9900	11400	5	99.02	98.60	1.35	54	1640	1705	990	600	2400	
1000	1800	12500	14300	5.5	99.02	98.59	1.39	54	1705	1970	1210	660	2840	
1250	2100	14500	16600	6	99.09	98.69	1.33	56	1735	2010	1230	755	3240	
1500	2300	17500	19800	6	99.12	98.70	1.34	56	1795	2010	1175	890	3885	
1600	2300	19500	21800	6	99.11	98.66	1.39	56	1795	2010	1175	945	3960	
2000	2900	22500	25400	6	99.15	98.75	1.30	56	1905	2125	1265	1025	4670	
2500	3300	26500	29800	6	99.21	98.82	1.23	56	2070	2180	1290	1200	5445	
3000	3800	30500	34300	6	99.24	98.87	1.19	56	2120	2260	1310	1350	6155	
4000	4700	36000	40700	6	99.32	98.99	1.08	56	2260	2520	1550	2175	8585	
5000	5500	42000	47500	6	99.36	99.06	1.02	56	2340	2620	1580	2275	9945	

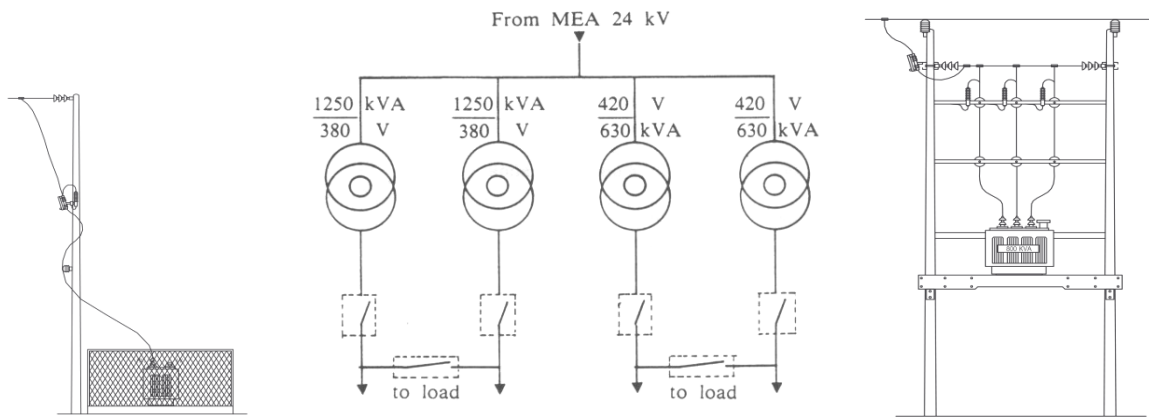
ตารางที่ 2.5-3 เปรียบเทียบกำลังสูญเสียของหม้อแปลงน้ำมันแบบทั่วไปและแบบความสูญเสียต่ำ

ขนาด kVA	หม้อแปลงธรรมดา		หม้อแปลงความสูญเสียต่ำ	
	สูญเสียขณะไม่มีโหลด (วัตต์)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (วัตต์)	สูญเสียขณะไม่มีโหลด (วัตต์)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (วัตต์)
50	230	1,050	170	950
100	350	1,750	260	1,550
160	500	2,350	370	2,100
250	700	3,250	520	2,950
315	740	3,900	630	3,500
400	900	4,600	750	4,150
500	1,100	5,500	900	4,950
630	1,300	6,500	1,050	5,850
800	1,400	11,000	1,270	9,900
1,000	1,700	13,500	1,300	12,150
1,250	1,900	16,000	1,530	13,750
1,500	2,150	19,500	1,850	17,850
2,000	2,600	23,000	2,140	21,600
2,500	3,200	28,000	2,350	25,650
3,000	3,800	33,000	2,750	29,700

หมายเหตุ

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไปอ้างอิงจากข้อมูลผู้ผลิตหม้อแปลงในประเทศไทย
2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงความสูญเสียต่ำอ้างอิงจากคุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบน้ำมัน พพ. 1011-1 : 2547 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 2.5-4 แสดงผลการตรวจวัดเพื่อลดการใช้หม้อแปลง จะพบว่าหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายโหลดน้อยมาก โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายโหลดไม่เกิน 20 % หากพิจารณารวมโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน และรวมโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน ก็จะสามารถปลดหม้อแปลงได้ 2 ตัว เป็นการใช้งานหม้อแปลงให้มีจุดทำงานที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และลดการสูญเสียโดยไม่จำเป็น



Transformer	Rating (KVA)	Actual (KVA)	Load factor (Percentage)
No. 1	1250	240	19
No. 2	1250	176	14
No. 3	630	71	11
No. 4	630	108	17

รูปที่ 2.5-4 ผลการตรวจวัดเพื่อลดการใช้หม้อแปลง

หากต้องการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} + \text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะที่ไม่มีโหลด} + \text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะมีโหลด}}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ Copper Loss = Iron Loss

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

อนึ่ง โดยปกติแรงดันของระบบไฟฟ้าจำหน่ายในรอบวันอาจจะไม่คงที่นัก เพราะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งทางฝั่งระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ก็มีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่อาจจะไม่คงที่เช่นกัน เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดใช้งานอาจจะมีค่าแรงดันใช้งานไม่ตรงกับค่าในทางทฤษฎี ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว วิศวกรไฟฟ้าจะออกแบบให้ระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าแรงดันใช้งานในทางทฤษฎี เพื่อต้องการเพื่อแรงดันตกในสายไฟในช่วงที่มีการใช้กระแสหลายๆด้วย ดังนั้น จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ ทำให้ผลการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารมักจะพบว่า บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปมาก บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปน้อย และมีในบางกรณีที่แรงดันใช้งานใกล้เคียงกับแรงดันใช้งาน

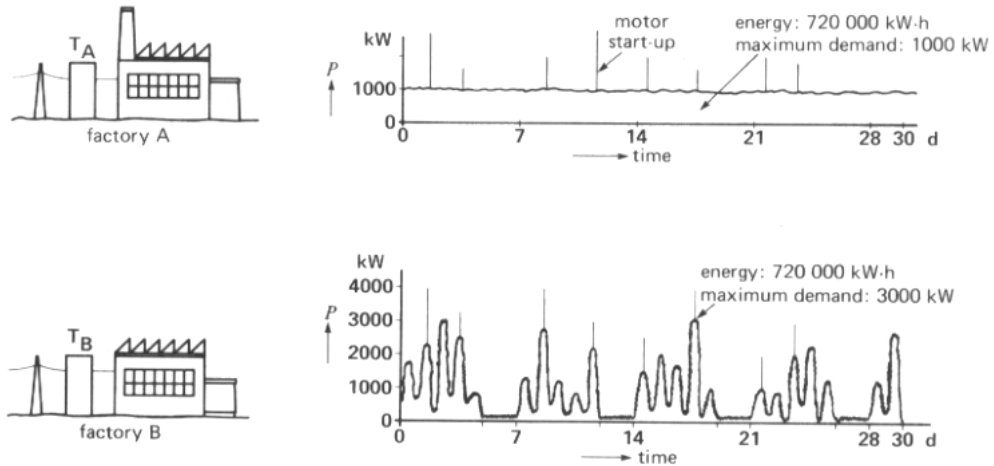
สำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยนั้น ค่าแรงดันใช้งานตามปกติ (ตามทฤษฎี) คือ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 380 V และระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 220 V ในกรณีที่ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งปลายสายไฟ หรือตำแหน่งที่ห่างจากตู้ควบคุมไฟฟ้ามากๆ แล้วพบว่า แรงดันเกินแรงดันไปจากแรงดันใช้งานมาก การสูญเสียในระบบก็จะมีค่ามากตามไปด้วย เป็นผลให้มีการสูญเสียในสายและในหม้อแปลงมากขึ้นอีกด้วย

การแก้ไขสามารถทำได้โดยตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย หลายๆ ตำแหน่ง และหลายช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากพบว่าในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากๆแล้ว แรงดันในระบบยังเกินจากแรงดันใช้งานไปมาก มาตรการอนุรักษ์พลังงานอันหนึ่งที่พึงกระทำได้ คือ ลดแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถปรึกษากับการไฟฟ้าในพื้นที่เพื่อใช้บริการปรับลด Tap ของหม้อแปลงให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำลดลง หรือในกรณีที่สถานประกอบการมีระบบรองรับการปรับ Tap หม้อแปลงได้อยู่แล้ว ก็อาจจะดำเนินการได้เอง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในรอบวันมีค่าไม่คงที่ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน และแต่ละพื้นที่ๆให้บริการของการไฟฟ้าก็มีพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เหมือนกัน จึงยากที่จะคำนวณให้ประจักษ์ว่าจะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่าใดแน่ (สามารถคำนวณตามทฤษฎีพอเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาได้ แต่ก็อาจจะคลาดเคลื่อนไปจากข้อเท็จจริงได้บ้าง) เพราะผลประหยัดที่ชัดเจนที่สุด คือผลประหยัดจากการตรวจวัดเป็นระยะเวลานานๆ มาตรการนี้ จึงเหมาะที่จะเป็นมาตรการประเภทที่ไม่ต้องลงทุนมากนัก เพื่อลดความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนของการคำนวณ

2.6 การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

เนื่องจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่ได้กล่าวถึงมาแล้วก่อนหน้านี้ เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่ต้องการจะลดเป็นอย่างมาก ดังนั้น ในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าจึงควรสังเกตพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไว้เป็นสำคัญ โดยเครื่องมือที่ดีในการประกอบการพิจารณา คือ กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นรายสัปดาห์ (Weekly Load Curve) เพื่อจะได้ทราบว่าช่วงเวลาใด เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูงและควรหลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์พร้อมๆกัน นอกจากนี้ ยังทำให้ทราบอีกว่าวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นเช่นไร เมื่อพิจารณาประกอบกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าแล้ว จะได้ทราบว่าในช่วงเวลา

ใดความต้องการพลังไฟฟ้าแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยงเสีย (สำหรับอัตรา TOD) หรือ ในช่วงเวลาใดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยง (สำหรับอัตรา TOU) ดังนั้น หากทราบโครงสร้างค่าไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารที่รับผิดชอบ และมีกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยให้การวางแผนลดค่าไฟฟ้าเป็นไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.6-1 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของโรงงาน 2 กรณี

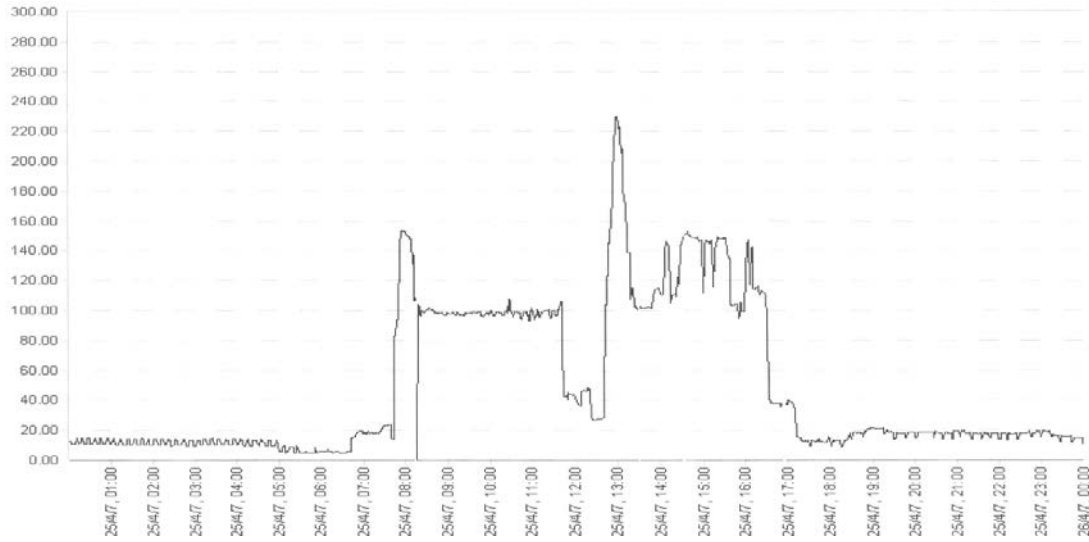
พิจารณารูปที่ 2.6-1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน 2 กรณี จะพบว่า

	Factory A	Factory B
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้	720,000 เท่ากัน	
ค่า Ft	จ่ายเท่ากัน เพราะหน่วยเท่ากัน	
ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด	1000 kW	3000 kW
ขนาดหม้อแปลง	Factory B > Factory A (เพราะกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ไม่เท่ากัน)	
การสูญเสียในหม้อแปลง	Factory B > Factory A (No Load Loss ไม่เท่ากัน และหม้อแปลง ของ Factory B ประสิทธิภาพน่าจะต่ำกว่า)	
ค่าไฟฟ้ารวม	Factory B > Factory A	

จากตัวอย่างนี้ จะเห็นว่าโรงงาน 2 แห่งนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน (หน่วยใช้ไฟเท่ากัน) แต่มีค่าใช้จ่ายรวมไม่เท่ากัน ดังนั้น หาก Factory B สามารถปรับปรุงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้เหมือน Factory A แล้ว ค่าไฟฟ้ายังคงเท่าเดิม

ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง

ลองพิจารณาผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU รายหนึ่ง จากอัตราค่าไฟฟ้าในรูปที่ 2.6-2 จะเห็นว่าค่าไฟฟ้าในช่วง Peak (09.00 – 22.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เว้นวันหยุดราชการ ไม่นับวันหยุดชดเชย) แพงกว่าช่วง Off Peak (ช่วงเวลาที่นอกเหนือจาก Peak) กว่า 2 เท่า โดยเสียค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะช่วง Peak เท่านั้น



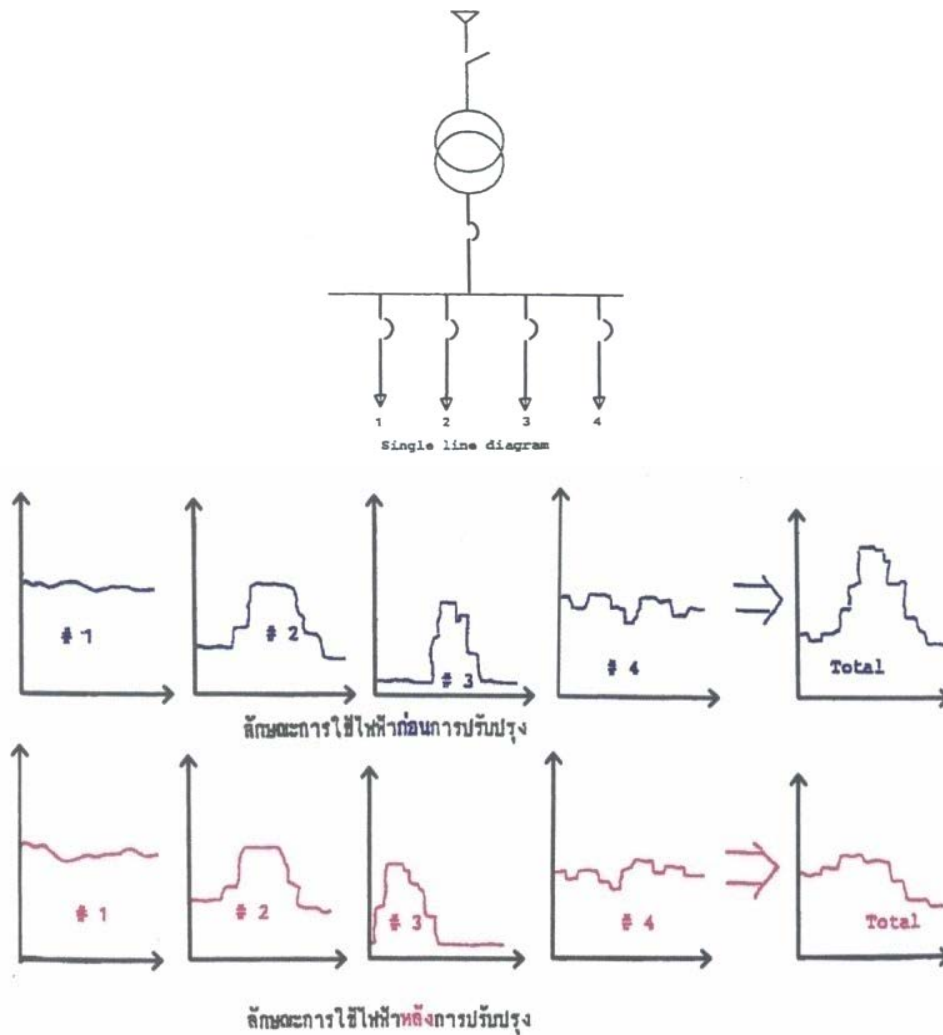
รูปที่ 2.6-2 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารายวันของโรงงานแห่งหนึ่ง

จากกราฟจะเห็นว่า โรงงานแห่งนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าเลย เพราะใช้ไฟในช่วง Peak ซึ่งเป็นช่วงค่าไฟแพงเป็นหลัก ในช่วงค่าไฟถูกไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์เลย อีกทั้ง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ หากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดคือ ค่า 230 kW ในช่วงบ่ายดังที่ปรากฏในรูป การจ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในลักษณะนี้ ถือว่าไม่คุ้มค่า เพราะช่วงเวลาอื่นๆในรอบวัน ไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าสูงกว่า 160 kW เลย และช่วงเวลาส่วนใหญ่มีการใช้ไฟน้อยเสียอีกด้วย ดังนั้น หากต้องการให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าลดลง ก็ต้องเพิ่มความสม่ำเสมอของกราฟให้มากขึ้น คือ เปลี่ยนการใช้งานอุปกรณ์ให้ใช้งานไม่พร้อมกันให้ได้มากที่สุด ในกรณีของโรงงานที่เปิดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง จะสามารถบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ง่ายกว่าโรงงานที่ทำงาน 8-10 ชั่วโมงต่อวัน ในทำนองเดียวกันอาคารสำนักงานของส่วนราชการจะบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอได้ยากกว่าอาคารธุรกิจหรือ โรงพยาบาลที่มีชั่วโมงการทำงานต่อวันที่มากกว่า

หมายเหตุ ผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้พิจารณาความคุ้มค่าในการจ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดจากค่า Load Factor (ค่าเฉลี่ยต่อค่าสูงสุด) ว่ามีค่าเท่าใด หากมีค่าตั้งแต่ 0.9 ขึ้นไป ถือว่าคุ้มค่าที่จะใช้อัตรา TOU

ในกรณีของโรงงานขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งเครื่องวัดคอยเฝ้าดูการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตย่อยหรือ โรงงานย่อย และสามารถทราบกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ อาจจะบริหารการใช้ไฟฟ้าได้ดังรูปที่

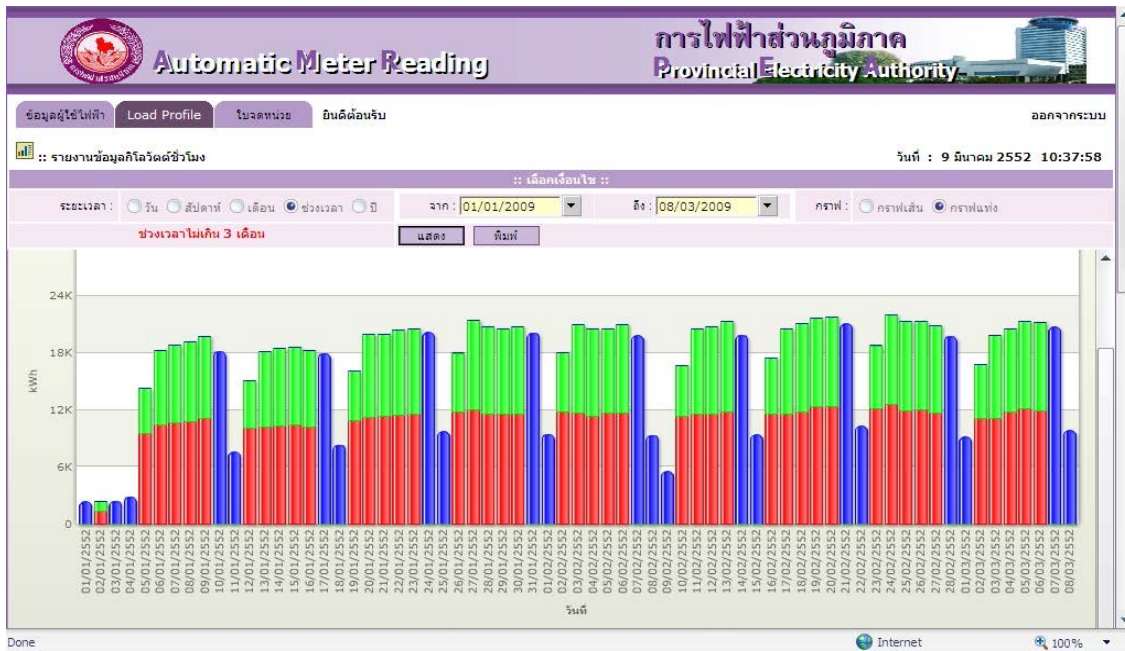
2.6-3 โดยกราฟทางขวาคือกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน ซึ่งได้มาจากการเอากราฟของโรงงานย่อยทั้ง 4 บวกกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าสูง เมื่อทำการบริหารระบบ โดยมีการย้ายเวลาการทำงานของโรงงานย่อยที่ 3 (ถือว่ามีการใช้ไฟฟ้าเท่าเดิมและเหมือนเดิม) ให้ทำงานเร็วขึ้นจะพบว่าหลังการปรับปรุงการทำงานกราฟทางขวามีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 2.6-3 แสดงการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการย้ายเวลาการทำงาน

ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปัจจุบัน กรณีของผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ ทางการไฟฟ้าได้เริ่มโครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ หรือระบบ **Automatic Meter Reading (AMR)** โดยการไฟฟ้าเป็นผู้ลงทุนติดตั้งเครื่องวัดให้ แล้วมีการส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าผ่านระบบ GPRS หรือ GSM เข้าไปยังศูนย์ข้อมูลของการไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าไปดูข้อมูลประวัติการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้ทางเว็บไซต์ตลอดเวลา โดยมีการปรับปรุงข้อมูลอย่างต่อเนื่อง (Real Time) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6-4 และ 2.6-5 ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าได้พอสมควร โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ต้องลงทุน

ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.6-4 แสดงหน่วยใช้ไฟฟ้า (kWh) ผ่านระบบ AMR ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง

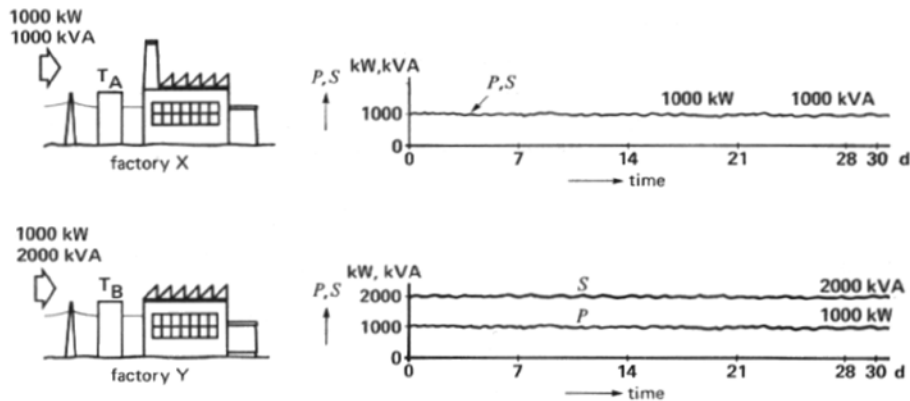


รูปที่ 2.6-5 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดผ่านระบบ AMR ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง

จากรูปที่ 2.6-4 จะเห็นว่าการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุด (วันอาทิตย์) หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลงต่ำกว่าปกติ หากโรงงานแห่งนี้ต้องการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบ TOU ก็อาจจะพิจารณาลดการทำงานในช่วง Peak เพื่อมาเพิ่มการทำงานในวันอาทิตย์แทน เพื่อลดค่าใช้จ่ายลง เพราะช่วง Off Peak ค่าไฟถูกกว่าในช่วง Peak มาก นี่ก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่กระทำได้

จะเห็นได้ว่า หากมีข้อมูลที่เพียงพอ การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าก็สามารถพิจารณาได้อย่างมีตรรกะที่ชัดเจน แต่ก็ควรมีข้อมูลที่มากเพียงพอที่จะยืนยันแนวความคิดใหม่ๆได้

คำถาม จากข้อมูลข้างล่างนี้ Factory X และ Factory Y ใช้กำลังไฟฟ้า 1,000 kW เท่ากัน จงพิจารณาว่ามีความแตกต่างของการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างไร



ตอบ

- Factory X ใช้พลังงานเท่ากับ Factory Y เพราะมีการใช้กำลังไฟฟ้า 1000 kW เท่ากัน ความต้องการพลังไฟฟ้าจึงเท่ากัน
- หากทำงานด้วยจำนวนชั่วโมงที่เท่ากันแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ก็จะเท่ากันด้วย แต่ Factory X มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่า Factory Y เพราะใช้กำลังไฟฟ้า $P = S$ หรือ $\cos \theta = \frac{P}{S} = 1$
ขณะที่ Factory Y ใช้กำลังไฟฟ้า $P = 0.5 S$ หรือ $\cos \theta = \frac{P}{S} = 0.5$
∴ Factory Y ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าปรับ) อย่างแน่นอน
- เพราะ Factory Y ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงและสายไฟจึงมากกว่าจึงมีการสูญเสียในระบบส่งจ่ายที่มากกว่า
- จะเห็นว่า Factory Y ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย kVA มากกว่า Factory X ถึง 2 เท่า ดังนั้น Factory Y จึงต้องใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่กว่า Factory X อย่างน้อย 2 เท่าด้วย (เงินลงทุนด้านระบบไฟฟ้าก็ไม่เท่ากัน)
- เพราะ Factory Y ใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่กว่า จึงมี No Load Loss มากกว่าด้วย
∴ Factory Y น่าจะมีค่าไฟฟ้าแพงกว่า Factory X

2.7 การพิจารณาเพื่อคัดเลือกกิจกรรมที่เหมาะสม

มาตรการอนุรักษ์พลังงานมีทั้งมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนและมาตรการที่ต้องลงทุน และในแต่ละมาตรการมีกิจกรรมหรือทางเลือกในการอนุรักษ์พลังงานมากมาย ดังนั้นเพื่อให้สามารถคัดเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมและได้ประสิทธิภาพมากที่สุด จำเป็นจะต้องมีการศึกษาและพิจารณาความเป็นไปได้และศักยภาพในการดำเนินกิจกรรม โดยพิจารณาจาก

ปัจจัยในการพิจารณาคัดเลือกกิจกรรมหรือมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	
เรื่องที่ควรพิจารณา	รายละเอียดการพิจารณา
1. ผลการประหยัดพลังงาน	กิจกรรมที่มีการประหยัดพลังงานมากจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่ากิจกรรมที่ประหยัดพลังงานได้น้อยกว่า
2. เงินลงทุนที่ใช้	กิจกรรมใดที่มีเงินลงทุนต่ำหรือไม่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุน แต่มีผลการประหยัดพลังงานมากถือเป็นมาตรการที่มีความน่าสนใจที่จะดำเนินการมาก
3. ระยะเวลาคืนทุนและอายุการใช้งานของอุปกรณ์	กิจกรรมใดที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานถือเป็นมาตรการที่น่าสนใจ เนื่องจากหลังจากที่คืนทุนแล้วผลการประหยัดพลังงานที่ได้คือกำไร
4. ระยะเวลาในการดำเนินการ	กิจกรรมที่ดำเนินการง่ายและใช้ระยะเวลาน้อยอีกทั้งไม่กระทบกับกระบวนการผลิตของโรงงานจัดเป็นมาตรการที่น่าสนใจ
5. กำลังคนที่ต้องใช้	กิจกรรมที่ต้องใช้คนมากมักจะเป็นกิจกรรมที่อยู่ยาก

การประเมินเพื่อกำหนดว่ากิจกรรมใดหรือทางเลือกใดควรดำเนินการก่อนหลัง	
รูปแบบการประเมิน	รายละเอียดการประเมิน
1. การประเมินเบื้องต้น	สามารถทำให้เห็นลักษณะความซับซ้อน และศักยภาพเบื้องต้นของแต่ละกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมที่เปลี่ยนวิธีทำงานได้ง่าย ลงทุนต่ำและส่งผลกระทบต่อด้านอื่นๆ ต่ำสามารถลงมือปฏิบัติได้ในทันทีและอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาประเมินละเอียดในขั้นต่อไป ควรได้รับการพิจารณาเป็นลำดับต้น
2. การประเมินทางเทคนิค	สามารถทำการประเมินโดยการทดลองจริงในบางส่วนของการผลิต หรือศึกษาจากมาตรการที่ประสบความสำเร็จแล้วจากบริษัทอื่นหรือความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ
3. การประเมินทางเศรษฐศาสตร์	ควรพิจารณาข้อเสนอหรือกิจกรรมที่ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าการลงทุนมากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

วิธีการประเมินแบบง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{ผลประหยัดที่ได้รับต่อปี (บาท/ปี)}}$$

2.8 การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นควรทำการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาสิ่งผิดปกติ เพื่อทำการแก้ไขอย่างสม่ำเสมอ ดังตาราง

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
1. ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่ต้นทางและปลายทางที่ไกลที่สุด	ขณะที่อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าในโรงงานทำงานเต็มที่ แรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าไกลที่สุดควรอยู่ในช่วง 380-390 Volt เพราะเป็นแรงดันที่อุปกรณ์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูง	<ul style="list-style-type: none"> • ปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลงลง • เพิ่มขนาดสายไฟฟ้าถ้าแรงดันไฟฟ้าต้นทางและปลายทางต่างกันมาก
2. ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสในแต่ละเฟสที่ระบบรวม	กระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10% เพื่อลดการสูญเสียในระบบสายส่ง	<ul style="list-style-type: none"> • จัดการย้ายโหลดให้เกิดการสมดุล
3. ตรวจสอบค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบรวมไม่ควรต่ำกว่า 0.90 เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียในระบบสายและหม้อแปลงไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> • ปรับปรุงคาปาซิเตอร์ถ้าบางส่วนชำรุด • เพิ่มเต็มขนาดคาปาซิเตอร์ถ้าไม่พอ • ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ระบบรวมถ้าไม่มี • ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่อุปกรณ์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ
4. ตรวจสอบภาระของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะรับภาระสูง	หม้อแปลงควรรับภาระใกล้เคียง 60% ของพิกัด โดยนำแรงดันไฟฟ้าคูณกับกระแสไฟฟ้าเป็น kVA เทียบกับพิกัด	<ul style="list-style-type: none"> • ภาระต่ำกว่าพิกัดมากควรย้ายโหลดไปใช้หม้อแปลงชุดอื่นหรือเปลี่ยนไปใช้หม้อแปลงขนาดเหมาะสม
5. ตรวจสอบมีหม้อแปลงชุดใดไม่ใช้งานแต่มีการต่อไฟฟ้าแรงสูงเข้า	หม้อแปลงที่ไม่ใช้งานควรปลดไฟฟ้าแรงสูงออกเพื่อลดการสูญเสียในแกนเหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> • ปลดไฟฟ้าแรงสูงของหม้อแปลงชุดที่ไม่ได้ใช้งาน



2.9 แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานนี้มีประโยชน์ในการค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานก่อนที่จะดำเนินการตรวจวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อหาผลการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
1. การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า			เพราะ...
2. การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ระบบรวม			เพราะ...
3. การลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม			เพราะ...
4. การลดจำนวนการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า			เพราะ...
5. การสมดุลกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส			เพราะ...
6. การใช้หม้อแปลงในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด			เพราะ...
7. การลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดในระบบ			เพราะ...
8. การเลือกใช้หม้อแปลงในขนาดที่เหมาะสม			เพราะ...
9. การใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ			เพราะ...

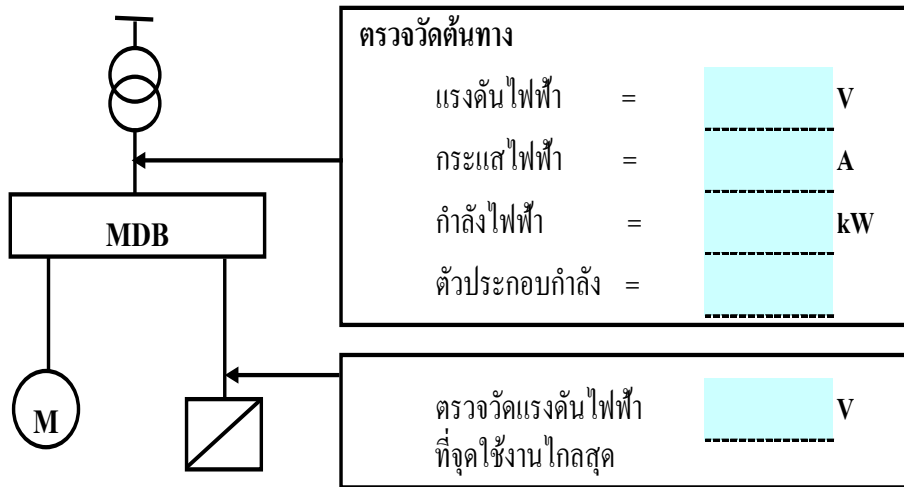
2.10 โปรแกรมการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน จึงทำเป็นโปรแกรม Microsoft Excel โดยผู้ใช้งานข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลตรวจวัดกรอกลงในช่องว่าง โปรแกรมจะคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานที่ถูกต้องได้ทันที

มาตรการที่ 1 การปรับลดแรงดันไฟฟ้าด้วยการปรับแทป	
1. หลักการและเหตุผล	
<p>หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีอุปกรณ์ปรับตั้งแรงดันไฟฟ้าด้านออก หรือแทปได้ 5 ระดับ ห่างกันประมาณ 10 โวลต์ เพื่อสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายภายในโรงงานเหมาะสมไม่ว่าโรงงานจะตั้งอยู่ใกล้สถานีจ่ายไฟของการไฟฟ้าหรืออยู่ปลายทางก็ตาม แต่โดยทั่วไปมักไม่ได้ปรับแทปให้เหมาะสม โดยทั่วไปแรงดันด้านออกของหม้อแปลงควรมีค่า 380 โวลต์ แต่จากการตรวจวัดในโรงงานมักอยู่ในช่วง 390 ถึง 410 โวลต์ ซึ่งแรงดันที่สูงเกินไป จะทำให้กำลังสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงสูงขึ้น มอเตอร์ หลอดไฟ ล้วนใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าในโรงงานสูงกว่าเกณฑ์ดังกล่าวควรพิจารณาปรับแทปให้เหมาะสม ทั้งนี้สิ่งที่ต้องพิจารณาด้วยคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ไกลจากตู้จ่ายไฟไม่ควรมีแรงดัน ต่ำกว่า 370 โวลต์</p>	
	
รูปหม้อแปลงที่จะปรับแทป	รูปแทปหลังจากปรับ
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
<p>ในการคำนวณที่แสดงนี้จะคิดเฉพาะกำลังสูญเสียในแกนเหล็กหม้อแปลงที่ลดลงเท่านั้น เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์และไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้น ไม่สามารถประเมินได้ตรงๆ</p>	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
<p>2.1.1 พลังงานสูญเสียในแกนเหล็กลดลง (kWh/y)</p> $= \text{พลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กที่พิกัด (kW)} \times \text{ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (h/y)} \times$ $\left(\frac{\text{แรงดันไฟฟ้าทางออกหม้อแปลงเดิม (Volt.)}}{\text{แรงดันไฟฟ้าทางออกหม้อแปลงใหม่ (Volt.)}} - 1 \right)^2$	
2.2 การวิเคราะห์การลงทุน	
<p>2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)</p> $PB = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการปรับแทป (฿)}}{\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (฿/y)}}$	

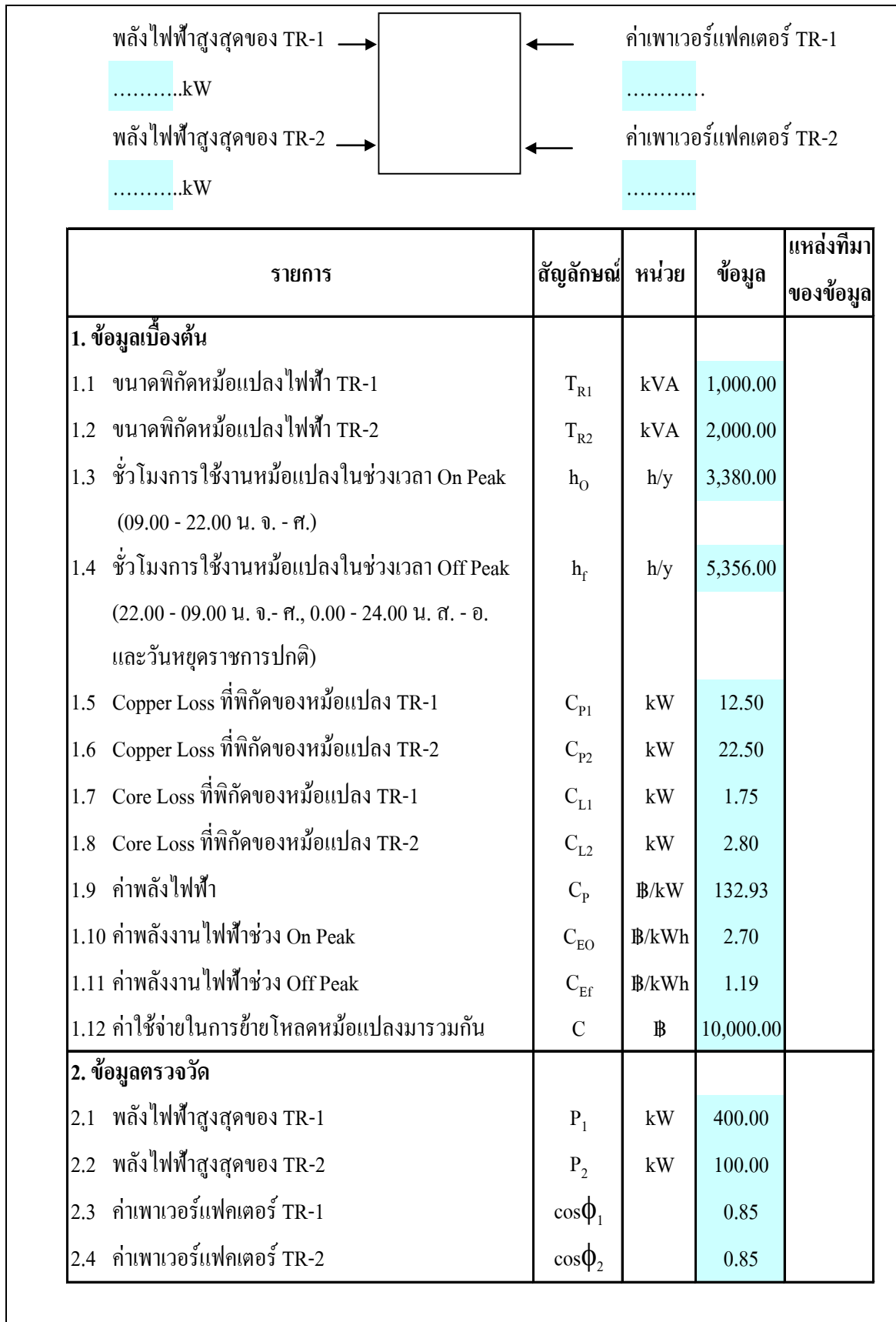
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดได้ในช่องสีฟ้า



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลง	R_T	kVA	1,000.00	spect เครื่อง
1.2 ชั่วโมงการใช้งานใน 1 ปี	h	h/y	8,760.00	
1.3 Core Loss ของหม้อแปลงที่พิกัดโหลด	L_{CR}	kW	1.75	
1.4 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	3.00	
1.5 ค่าใช้จ่ายในการปรับ TAB หม้อแปลงไฟฟ้า	C	฿	2,500.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 แรงดันทุติยภูมิใช้งานจริง ณ.จุดไกลสุด	V_A	V	395.00	
2.2 แรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ(ที่ทางออกหม้อแปลง)	V_R	V	400.00	
2.3 พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลดลง	V_N	V	380.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ค่า Core Loss ของหม้อแปลงหลังปรับลดแรงดันลดลง $L_{CN} = L_{CR} \times h \times ((V_R/V_N)^2 - 1)$	kWh/y	L_{CN}	1,656.15	
3.2 คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี $C_S = L_{CN} \times C_E$	฿/y	C_S	4,968.45	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / C_S$	PB	y	0.50	

มาตรการที่ 2 การย้ายโหลดหม้อแปลง	
1. หลักการและเหตุผล	
<p>กำลังสูญเสียในแกนเหล็กหม้อแปลงขนาด 1,000 kVA มีค่าประมาณ 1.75 กิโลวัตต์ และ 2,000 kVA มีค่าประมาณ 2.8 กิโลวัตต์ ซึ่งมีขนาดประมาณมอเตอร์ 2 แรงม้า และ 4 แรงม้า ตามลำดับ เปิดทำงานตลอดเวลา ดังนั้นในการจ่ายไฟฟ้าที่ใช้หม้อแปลงหลายชุดและแต่ละชุดมีภาระน้อยมากๆ จะทำให้กำลังสูญเสียเหล่านี้เพิ่มขึ้น จึงควรพิจารณาศักยภาพในการย้ายโหลดและลดจำนวนหม้อแปลงลงอย่างไรก็ตาม การย้ายโหลดหม้อแปลงไปรวมกับหม้อแปลงชุดอื่น หากภาระหม้อแปลงลูกใหม่สูงเกินไปจะทำให้กำลังสูญเสียในตัวนำของหม้อแปลงลูกใหม่สูงขึ้นมากกว่า กำลังสูญเสียในแกนเหล็กที่ลดลงได้ จึงต้องทำการวิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงาน ดังต่อไปนี้</p>	
	
รูปหม้อแปลงก่อนย้ายโหลด	รูปหม้อแปลงหลังย้ายโหลด
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
<p>2.1.1 กำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงทุกชุด (kW)</p> $= \text{ผลรวมของ (กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงชุดที่ } n + (\text{kVA ที่จ่ายของหม้อแปลงชุดที่ } n / \text{kVA พิกัดของหม้อแปลงชุดที่ } n)^2 \times \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวนำของหม้อแปลงชุดที่ } n)$	
2.2 การวิเคราะห์การลงทุน	
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)	
$PB = \text{ค่าใช้จ่ายในการย้ายโหลด (฿)} / \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (฿/y)}$	
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	
ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า	



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า TR-1	T_{R1}	kVA	1,000.00	
1.2 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า TR-2	T_{R2}	kVA	2,000.00	
1.3 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงในช่วงเวลา On Peak (09.00 - 22.00 น. จ. - ศ.)	h_o	h/y	3,380.00	
1.4 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงในช่วงเวลา Off Peak (22.00 - 09.00 น. จ.- ศ., 0.00 - 24.00 น. ส. - อ. และวันหยุดราชการปกติ)	h_f	h/y	5,356.00	
1.5 Copper Loss ที่พิกัดของหม้อแปลง TR-1	C_{P1}	kW	12.50	
1.6 Copper Loss ที่พิกัดของหม้อแปลง TR-2	C_{P2}	kW	22.50	
1.7 Core Loss ที่พิกัดของหม้อแปลง TR-1	C_{L1}	kW	1.75	
1.8 Core Loss ที่พิกัดของหม้อแปลง TR-2	C_{L2}	kW	2.80	
1.9 ค่าพลังไฟฟ้า	C_p	฿/kW	132.93	
1.10 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak	C_{EO}	฿/kWh	2.70	
1.11 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak	C_{Ef}	฿/kWh	1.19	
1.12 ค่าใช้จ่ายในการย้ายโหลดหม้อแปลงมารวมกัน	C	฿	10,000.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 พลังไฟฟ้าสูงสุดของ TR-1	P_1	kW	400.00	
2.2 พลังไฟฟ้าสูงสุดของ TR-2	P_2	kW	100.00	
2.3 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ TR-1	$\cos\phi_1$		0.85	
2.4 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ TR-2	$\cos\phi_2$		0.85	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ TR-1	P_{A1}	kVA	470.59	
3.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏ TR-2	P_{A2}	kVA	117.65	
3.3 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ TR-1	P_{R1}	kVAR	247.90	
3.4 กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ TR-2	P_{R2}	kVAR	61.98	
3.5 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ Core Loss TR-1 ลดลง				
$E_{CO} = C_{L1} \times h_o$	E_{CO}	kWh/y	5,915.00	
$E_{Cf} = C_{L1} \times h_f$	E_{Cf}	kWh/y	9,373.00	
3.6 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ Copper Loss TR-1 ลดลง				
$E_{PO} = C_{P1} \times (P_{A1}/T_{R1})^2 \times h_o$	E_{PO}	kWh/y	9,356.47	
$E_{Pf} = C_{P1} \times (P_{A1}/T_{R1})^2 \times h_f$	E_{Pf}	kWh/y	14,826.41	
3.7 เมื่อนำโหลดหม้อแปลง TR-2 มารวมกับ TR-1 แล้วกำลังไฟฟ้าปรากฏใหม่จะเป็น				
$P_{AN} = ((P_1 + P_2)^2 + (P_{R1} + P_{R2})^2)^{1/2}$	P_{AN}	kVA	588.24	
3.8 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ Copper Loss TR-2 เพิ่มขึ้น				
$C_{PIO} = C_{P2} \times ((P_{AN}/T_{R2})^2 - (P_{A2}/T_{R2})^2) \times h_o$	C_{PIO}	kWh/y	6,315.66	
$C_{PIf} = C_{P2} \times ((P_{AN}/T_{R2})^2 - (P_{A2}/T_{R2})^2) \times h_f$	C_{PIf}	kWh/y	-16.59	
3.9 การสูญเสียที่ลดลงทั้งหมด				
$E_O = E_{CO} + E_{PO} - C_{PIO}$	E_O	kWh/y	8,955.81	
$E_F = E_{Cf} + E_{Pf} - C_{PIf}$	E_F	kWh/y	24,216.00	
3.10 คิดเป็นเงินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
$C_{SO} = E_O \times C_{EO}$	C_{SO}	บาท/ปี	24,135.91	
$C_{SF} = E_F \times C_{EF}$	C_{EF}	บาท/ปี	28,850.94	
3.11 พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
$P_S = C_{L1} + C_{P1} \times (P_{A1}/T_{R1})^2 - C_{P2} \times ((P_{AN}/T_{R2})^2 - (P_{A2}/T_{R2})^2)$	P_S	kW	1.21	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.12 ค่าพลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $E_p = P_s \times 12 \times C_p$	E_p	บาท/ปี	1,930.14	
3.13 รวมเงินที่สามารถประหยัดได้ $S = E_p + C_{SO} + C_{SF}$	S	บาท/ปี	54,916.99	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S$	PB	y	0.18	

มาตรการที่ 3 ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

1. หลักการและเหตุผล

ค่าตัวประกอบกำลัง คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง (kW) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA) โดยทั่วไปควรมีค่าสูงกว่า 0.9 หากตัวประกอบกำลังต่ำ หมายถึง ที่กิโลวัตต์ที่ใช้งานเท่ากัน ต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏหรือเควีเอ สูงกว่า หรือ กระแสสูงขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังสูญเสียตัวนำของหม้อแปลง กำลังสูญเสียในสายส่งมีค่าสูงขึ้น

วิธีแก้ไขสามารถทำได้โดยติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาดเข้าไปในระบบ จะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายลดลง

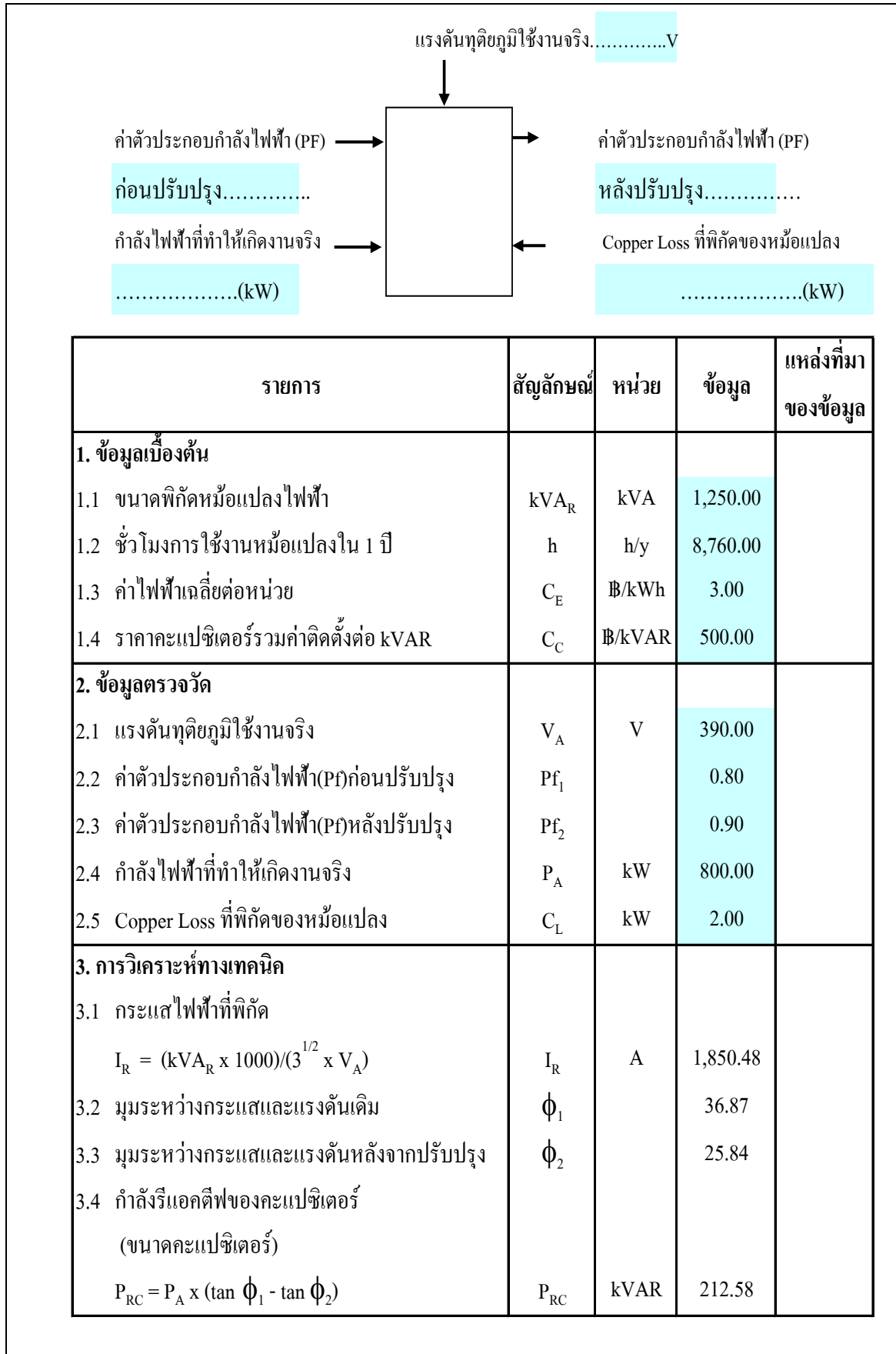


รูปค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง



รูปค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง


2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค
<p>2.1.1 พลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดขณะใช้งานจริง (kW)</p> $= \text{พลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดที่พิกัดหม้อแปลง (kW)} \times (\text{ค่า kVA ขณะใช้งานจริง} / \text{ค่า kVA พิกัดของหม้อแปลง})^2$ <p>2.1.2 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/y)</p> $= \text{พลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดขณะใช้งานจริง (kW)} \times \text{ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (h/y)} \\ \times ((\text{กระแสไฟฟ้าที่ค่า Power Factor เดิม (Amp)} / \text{กระแสไฟฟ้าที่พิกัด})^2 - \\ (\text{กระแสไฟฟ้าที่ Power Factor ใหม่ (Amp)} / \text{กระแสไฟฟ้าที่พิกัด (Amp)})^2)$
2.2 การวิเคราะห์การลงทุน
<p>2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)</p> $\text{PB} = \text{ค่าติดตั้ง (Capacitor) (฿)} / \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง (฿/y)}$
3. การวิเคราะห์ข้อมูล
ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.5 กระแสไฟฟ้าที่ Power Factor เดิม $I_O = (P_A \times 1000) / (3^{1/2} \times V_A \times \cos \phi_1)$	I_O	A	1,480.39	
3.6 กระแสไฟฟ้าที่ Power Factor ใหม่ $I_N = (P_A \times 1000) / (3^{1/2} \times V_A \times \cos \phi_2)$	I_N	A	1,315.88	
3.7 Apparent Power ขณะใช้งานจริง $kVA_A = P_A / \cos \phi_1$	kVA_A	kVA	1,000.00	
3.8 Copper Loss ของหม้อแปลงขณะใช้งานจริง $C_{LA} = C_L \times (kVA_A / kVA_R)^2$	C_{LA}	kW	1.28	
3.9 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ใน 1 ปี $E_S = C_{LA} \times h \times [(I_O / I_R)^2 - (I_N / I_R)^2]$	E_S	kWh/y	7,175.74	
3.10 คิดเป็นค่าไฟฟ้าประหยัดได้ $C_S = E_S \times C_E$	C_S	฿/y	21,527.22	
3.11 เลือก Capacitor ติดตั้งขนาด เงินลงทุนค่า Capacitor และค่าติดตั้ง $IV = C_p \times C_C$	C_p I_V	kVAR ฿	250.00 125,000.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = I_V / C_S$	PB	y	5.81	

2.11 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาถือเป็นต้นแบบของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานที่โรงงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นรูปธรรมต่อไป

กรณีศึกษาที่ 1: การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
สถานประกอบการแห่งหนึ่ง มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ลูก คือ MDB 1 และ MDB 2 ทางด้านทิศเหนือของหม้อแปลงมีค่าแรงดันไฟฟ้า 403 V และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ค่อนข้างต่ำ คือที่ MDB 1 มีค่า 0.81 และ MDB 2 มีค่า 0.78 จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน มีค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 1,100 kW	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ตู้ MDB ชำรุด ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ส่งผลให้ Copper loss ในหม้อแปลงไฟฟ้าสูง จึงทำการการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงทั้ง 2 ลูกให้สูงขึ้น โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุใหม่ (Capacitor) ที่ Load Center ของ MDB 1 และ MDB 2 จะทำให้กระแสไฟฟ้าและ Copper loss ของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลง	
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน	
ทำการเปลี่ยน Capacitor ที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจาก 0.81 และ 0.78 ตามลำดับให้สูงกว่า 0.85	
4. สภาพก่อนปรับปรุง	
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 มีค่าเท่ากับ 0.81 และ 0.78 ตามลำดับ ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า	
	
รูปที่ 2.11-1 แสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	
5. สภาพหลังปรับปรุง	
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 มีค่าเท่ากับ 0.90 และ 0.96 ตามลำดับ ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลงประมาณ 91,584.00 kWh/ปี	



รูปที่ 2.11-2 แสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง

ข้อเสนอแนะ

สถานประกอบการควรตรวจสอบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อย่างสม่ำเสมอ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.85 ให้รับดำเนินการแก้ไขทันที


6. การวิเคราะห์ทางเทคนิคตู้ MDB 1

เปอร์เซ็นต์การประหยัด	=	$[1 - (PF_{เดิม} / PF_{ใหม่})^2] \times 100$	
	=	$[1 - (0.81 / 0.90)^2] \times 100$	
สามารถลด Copper loss	=	19 %	
หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่		Copper loss เท่ากับ 24 kW	
พลังไฟฟ้าที่ประหยัด	=	24 x 0.19	kW
	=	4.56	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	$kW_{ที่ประหยัด} \times ชั่วโมงทำงานต่อวัน \times วันทำงานต่อปี$	
	=	4.56 x 24 x 300	kWh/ปี
	=	32,832	kWh/ปี
จำนวนเงินที่ประหยัด	=	32,832.00 x 2.87	บาท/ปี
	=	94,227.84	บาท/ปี

ตู้ MDB 2

เปอร์เซ็นต์การประหยัด	=	$[1 - (PF_{เดิม} / PF_{ใหม่})^2] \times 100$	
	=	$[1 - (0.78 / 0.96)^2] \times 100$	
	=	34 %	
หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่		Copper loss เท่ากับ 24 kW	
พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	24 x 0.34	kW
	=	8.16	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	$kW_{ที่ประหยัด} \times ชั่วโมงทำงานต่อวัน \times วันทำงานต่อปี$	
	=	8.16 x 24 x 300	kWh/ปี
	=	58,752	kWh/ปี

จำนวนเงินที่ประหยัด	=	58,752 x 2.87	บาท/ปี
	=	168,618.24	บาท/ปี
รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	32,832 + 58,752	kWh/ปี
	=	91,584	kWh/ปี
รวมจำนวนเงินที่ประหยัด	=	94,227.84 + 168,618.24	บาท/ปี
	=	262,846.08	บาท/ปี
7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	240,000.00	บาท
ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า	=	6,434.83	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	240,000.00/262,846.08	
	=	0.91	ปี

กรณีศึกษาที่ 2: ปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้า	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2,000 kVA จำนวน 3 ชุด ใช้งาน 11 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี มีแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลงประมาณ 406 Volts	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง Core loss ในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าจะสูงตาม	
	
รูปที่ 2.11-3 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้า	
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน	
ทำการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางและทำการปรับลดแรงดันที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าลง โดยให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางใกล้เคียง 380 Volts จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้	
4. สภาพก่อนปรับปรุง	
จากการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าปลายทางของหม้อแปลงไฟฟ้า (หลังจากรวมโหลดแล้ว) พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับทั้งสองชุดที่ 398 Volts ซึ่งสูงกว่าความต้องการของอุปกรณ์ที่ 380 Volts มาก และวัดแรงดันต้นทางได้ 406 Volts	

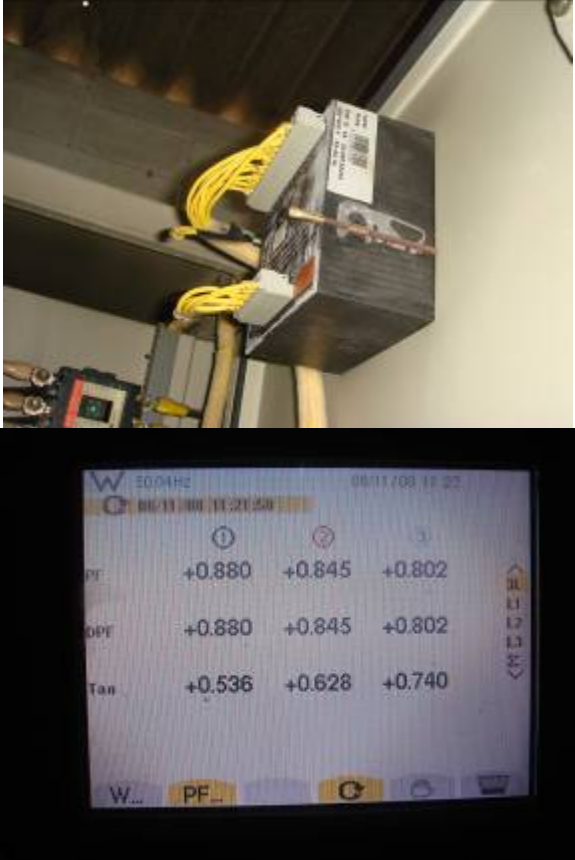


รูปที่ 2.11-4 แสดงตำแหน่งที่จะปรับแรงดันไฟฟ้า

5. สภาพหลังปรับปรุง			
ทำการลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าลง โดยการปรับแทปหม้อแปลงลง 1 Tap (เท่ากับ 10 Volts) ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าประมาณ 2,130.74 kWh/ปี			
6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
Core loss TR1 และ TR3 ลดลง	=	$2.378 \times [(406/396)^2 - 1] \times 24 \times 365 \times 2$	
	=	2,130.74	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	2,130.74 x 3.02	
	=	6,434.83	บาท/ปี
7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	-	บาท
ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า	=	6,434.83	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 3: ปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งาน
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน
สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด 7 ลูก พิกัดติดตั้งรวม 4,600 kVA สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง
จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA จำนวน 3 ลูก ซึ่งแยกจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เครื่องผสมยาง 3 ชุด ซึ่งปัจจุบันเครื่องผสมยางได้ชำรุดไป 1 ชุด และต้องใช้เวลาในการซ่อมแซมค่อนข้างมาก ส่งผลให้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้จ่ายโหลดจำนวน 1 ลูก ทำให้เกิดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตลอดเวลา
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน
เนื่องจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ไม่ได้จ่ายโหลด เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรูปของความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (No Load Loss; Core Loss) ดังนั้น ถ้าสามารถปลดไฟฟ้าด้านแรงสูงของ

หม้อแปลงดังกล่าวได้ จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้			
<ol style="list-style-type: none"> 1) ตรวจสอบแผนผังระบบไฟฟ้า (Single Line Diagram) ของโรงงาน เพื่อศึกษาการทำงานจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละลูก 2) ดำเนินการปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก 3) วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้ 			
4. สภาพก่อนปรับปรุง			
หม้อแปลงขนาด 500 kVA ที่ไม่ได้ใช้งานในการจ่ายโหลดให้แก่เครื่องจักรแล้ว แต่ไม่ได้ปลดไฟฟ้าด้านแรงสูงออก ทำให้เกิดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง			
5. สภาพหลังปรับปรุง			
<p>หลังจากดำเนินการปลดไฟฟ้าด้านแรงสูงของหม้อแปลงขนาด 500 kVA ทำให้สามารถลดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงประมาณ 9,636 kWh/ปี</p> <p>ควรมีแผนการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของโรงงานอย่างสม่ำเสมอ และอาจต้องจัดทำระบบการตรวจเช็คสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าชุดที่ปลดด้านแรงสูงออก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวหม้อแปลงเมื่อไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ</p>			
6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
พิกัดติดตั้งหม้อแปลง	=	500	kVA
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)	=	1.10	kW
ระยะเวลาการใช้งาน	=	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	=	365	วัน/ปี
	=	8,760	ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	3.37	บาท/kWh
ค่าความสูญเสีย Core Loss ในหม้อแปลง (ก่อนปรับปรุง)	=	Core loss rated x ชั่วโมงใช้งานหม้อแปลง	
	=	1.1 x 24 x 365	
	=	9,636	kWh/ปี
ปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก			
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง	=	1.10	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	9,636	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	9,636 x 3.37	
	=	32,473.32	บาท/ปี
7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	-	บาท
ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า	=	32,473.32	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 4 : การแก้ไขชุด Power Factor Controller
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน
สถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกภายในรถยนต์ มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 630 kVA
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง
จากการตรวจสอบการทำงานของชุด Capacitor Bank ของหม้อแปลงขนาด 630 kVA พบว่าชุด Controller ในระบบมีปัญหา ทำให้ไม่สามารถควบคุมค่า Power Factor ของระบบได้ ซึ่งจากผลการตรวจวัดพบว่าค่า Power Factor ของระบบมีค่าเท่ากับ 0.81

รูปที่ 2-11-5 ชุด Power Factor Controller ของระบบส่งจ่าย
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน
ดำเนินการจัดซื้อชุด Power Factor Controller ชุดใหม่เพื่อเปลี่ยนแทนชุดเก่าที่มีปัญหา โดยคาดว่าหลังการแก้ไขจะสามารถเพิ่มค่า Power Factor ของระบบจาก 0.81 เป็น 0.95 ได้
4. สภาพหลังปรับปรุง
สามารถเพิ่มค่า Power Factor ของระบบจาก 0.81 เป็น 0.95
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า	kVA_R	kVA	630.00	
1.2 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงใน 1 ปี	h	h/y	8,760.00	
1.3 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	2.87	
1.4 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการเปลี่ยน	C_C	฿	15,000.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 แรงดันทุติยภูมิใช้งานจริง	V_A	V	390.00	
2.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Pf)ก่อนปรับปรุง	Pf_1		0.81	
2.3 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Pf)หลังปรับปรุง	Pf_2		0.95	
2.4 กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานจริง	P_A	kW	210.00	ตรวจวัด
2.5 Copper Loss ที่พิกัดของหม้อแปลง	C_L	kW	6.50	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 กระแสไฟฟ้าที่พิกัด $I_R = (kVA_R \times 1000) / (3^{1/2} \times V_A)$	I_R	A	932.64	
3.2 มุมระหว่างกระแสและแรงดันเดิม	ϕ_1		35.90	
3.3 มุมระหว่างกระแสและแรงดันหลังจากปรับปรุง	ϕ_2		18.19	
3.4 กำลังรีแอกทีฟของกะแปซิเตอร์ (ขนาดกะแปซิเตอร์) $P_{RC} = P_A \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$	P_{RC}	kVAR	83.01	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.5 กระแสไฟฟ้าที่ Power Factor เดิม $I_O = (P_A \times 1000) / (3^{1/2} \times V_A \times \cos \phi_1)$	I_O	A	383.78	
3.6 กระแสไฟฟ้าที่ Power Factor ใหม่ $I_N = (P_A \times 1000) / (3^{1/2} \times V_A \times \cos \phi_2)$	I_N	A	327.23	
3.7 Apparent Power ขณะใช้งานจริง $kVA_A = P_A / \cos \phi_1$	kVA_A	kVA	259.25	
3.8 Copper Loss ของหม้อแปลงขณะใช้งานจริง $C_{LA} = C_L \times (kVA_A/kVA_R)^2$	C_{LA}	kW	1.10	
3.9 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ใน 1 ปี $E_S = C_{LA} \times h \times [(I_O/I_R)^2 - (I_N/I_R)^2]$	E_S	kWh/y	1,631.55	
3.10 คิดเป็นค่าไฟฟ้าประหยัดได้ $C_S = E_S \times C_E$	C_S	฿/y	4,682.55	
3.11 จำนวนการเปลี่ยน เงินลงทุนค่า Capacitor และค่าติดตั้ง $IV = C_p \times C_C$	no I_V	Unit ฿	1.00 15,000.00	
6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน				
เงินลงทุน	=	15,000.00	บาท	
ประหยัดค่าไฟฟ้า	=	4,682.55	บาท/ปี	
ระยะเวลาคืนทุน	=	15,000/4,682.55		
	=	3.20	ปี	

กรณีศึกษาที่ 5 : การลดการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
หม้อแปลงไฟฟ้าของโรงงานมีทั้งหมด 3 ชุด ขนาด 1,600 kVA 2 ชุด และขนาด 800 kVA 1 ชุด แต่โรงงานมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 1,000 kW เท่านั้น ดังนั้นหม้อแปลงจึงมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับความต้องการพลังไฟฟ้า	

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากการลดการผลิตลง ทำให้หม้อแปลงแต่ละชุดรับภาระน้อยลง เกิดความสูญเสียในหม้อแปลงสูง และหม้อแปลงมีประสิทธิภาพต่ำ จึงเห็นว่าควรทำการรวมภาระของหม้อแปลงให้อยู่ในชุดเดียว โดยเลือกรวมภาระของหม้อแปลงขนาด 1,600 kVA ทั้ง 2 ชุดเข้าด้วยกัน เนื่องจากตู้ควบคุมอยู่ติดกัน ไม่ต้องเสียดำเนินสายไฟสูงมากนัก



3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ตรวจสอบภาระของหม้อแปลงทั้ง 2 ชุด
2. ทำการรวมภาระของหม้อแปลงเข้าด้วยกัน
3. ทำการปรับปรุงค่า Power Factor ให้เหมาะสม

4. สภาพหลังปรับปรุง

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ข้อมูลเบื้องต้น

สถานที่ : ตู้ MDB หม้อแปลง TR2 และ TR3 อาคารไลน์ฟอกย้อม

พิกัดติดตั้ง หม้อแปลง TR3	1,600	kVA
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)	2.89	kW
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper Loss)	20.64	kW
โหลดที่วัดได้	110	kW
เพาเวอร์แฟกเตอร์	0.81	
พิกัดติดตั้ง หม้อแปลง TR2	1,600	kVA
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)	2.89	kW
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper Loss)	20.64	kW



โหลดที่วัดได้	489	kW
เพาเวอร์แฟกเตอร์	0.91	
ระยะเวลาการใช้งาน	20	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	300	วัน/ปี
ระยะเวลาการใช้งาน	6,000	ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	2.62	บาท/kWh
ก่อนปรับปรุง		
ภาระโหลดหม้อแปลง TR3 (kVA load)	110 / 0.81	
	135.80	kVA
ค่าความสูญเสียในหม้อแปลง TR3		
Core Loss	Core loss rated ' ชั่วโมงใช้งานหม้อแปลง	
	2.89 * 24 * 365	
	25,316.40	kWh/ปี
Copper Loss	Copper Loss rated ' (kVA load / kVA rated) ²	
	' ชั่วโมงจ่ายโหลดของหม้อแปลง	
	20.6 * (135.80 / 1,600) ² * 20 * 300	
	892.11	kWh/ปี
ความสูญเสียรวม	25,316.40 + 892.11	
	26,208.51	kWh/ปี
ภาระโหลดหม้อแปลง TR2 (kVA load)	489 / 0.91	
	537.36	kVA
ค่าความสูญเสียในหม้อแปลง TR2		
Copper Loss	Copper Loss rated ' (kVA load / kVA rated) ²	
	' ชั่วโมงจ่ายโหลดของหม้อแปลง	
	20.6 * (537.36 / 1,600) ² * 20 * 300	
	13,968.56	kWh/ปี
หลังปรับปรุง : (ยกเลิกหม้อแปลง TR3 ขนาด 1,600 kVA โดยนำโหลดไปรวมกับหม้อแปลง TR2 ขนาด 1,600 kVA)		

ภาระโหลดรวม (Active Power)	110 + 489	
	599	kW
ภาระโหลดรวม (Apparent Power)	135.80 + 537.36	
	673.16	kVA
เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังรวมโหลด	$kW / kVA = 599.00 / 673.16$	
	0.89	
ค่าความสูญเสียในหม้อแปลง TR2 ใหม่ที่มีโหลดเพิ่มขึ้น		
Copper Loss	Copper Loss rated ' (kVA load / kVA rated) ²	
	' ชั่วโมงจ่ายโหลดของหม้อแปลง	
	$20.6 * (673.16 / 1,600)^2 * 20 * 300$	
	21,920.86	kWh/ปี
ผลการประหยัด		
พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง	26,208.51 + 13,968.56 - 21,920.86	
	18,256.22	kWh/ปี
	0.0016	ktoe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	18,256.22 * 2.62	
	47,831.28	บาท/ปี
6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน		
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	80,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	80,000.00 / 47,831.28	
	1.67	ปี

กรณีศึกษาที่ 6 : การปรับปรุงระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ มีการใช้ไฟฟ้าอัตรา TOD จากการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 11 และจากการสำรวจที่ตู้ MDB ของหม้อแปลง 1,000 kVA พบว่าคาปาซิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่ตู้เสีย อ่านค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ 0.8 และแรงดันไฟฟ้าที่ Tap จากหม้อแปลงมีค่า 410 V

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง																						
<p>จากการสำรวจที่ตู้ MDB พบว่า ค่าตัวประกอบกำลัง ไฟฟ้าต่ำและแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูง</p> <div style="text-align: center;">  </div>																						
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน																						
<p>ติดตั้งระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเหมาะสมกับภาระใช้งาน</p>																						
4. สภาพหลังปรับปรุง																						
<p>โรงงานได้ทำการติดตั้ง Power Force (ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า) จะช่วยเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบลงได้</p> <div style="text-align: center;">  </div>																						
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค																						
<p>จากข้อมูลการตรวจวัดก่อนและหลังการปรับปรุงของโรงงาน พบว่า</p> <p><u>ก่อนปรับปรุง</u></p> <p style="padding-left: 40px;">แรงดันไฟฟ้า 410 V, ค่า PF = 0.8, ค่าพลังไฟฟ้าอ่านค่าได้ 360 kW</p> <p><u>หลังปรับปรุง</u></p> <p style="padding-left: 40px;">แรงดันไฟฟ้า 394 V, ค่า PF = 0.9, ค่าพลังไฟฟ้าอ่านค่าได้ 320 kW</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">พลังไฟฟ้าที่ลดลง</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">= 360-320</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">kW</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">= 40</td> <td style="text-align: right;">kW</td> </tr> <tr> <td>พลังงานไฟฟ้าประหยัด</td> <td style="text-align: center;">= 40 kW x 16 hr x 300 วัน</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">= 192,000</td> <td style="text-align: right;">kWh/ปี</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">= 192,000 x 2.76 บาท/ปี</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">= 529,920</td> <td style="text-align: right;">บาท/ปี</td> </tr> <tr> <td>พลังไฟฟ้าสูงสุด</td> <td style="text-align: center;">= 40 kW x 285.05 x 12</td> <td></td> </tr> </table>		พลังไฟฟ้าที่ลดลง	= 360-320	kW		= 40	kW	พลังงานไฟฟ้าประหยัด	= 40 kW x 16 hr x 300 วัน			= 192,000	kWh/ปี		= 192,000 x 2.76 บาท/ปี			= 529,920	บาท/ปี	พลังไฟฟ้าสูงสุด	= 40 kW x 285.05 x 12	
พลังไฟฟ้าที่ลดลง	= 360-320	kW																				
	= 40	kW																				
พลังงานไฟฟ้าประหยัด	= 40 kW x 16 hr x 300 วัน																					
	= 192,000	kWh/ปี																				
	= 192,000 x 2.76 บาท/ปี																					
	= 529,920	บาท/ปี																				
พลังไฟฟ้าสูงสุด	= 40 kW x 285.05 x 12																					

ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง

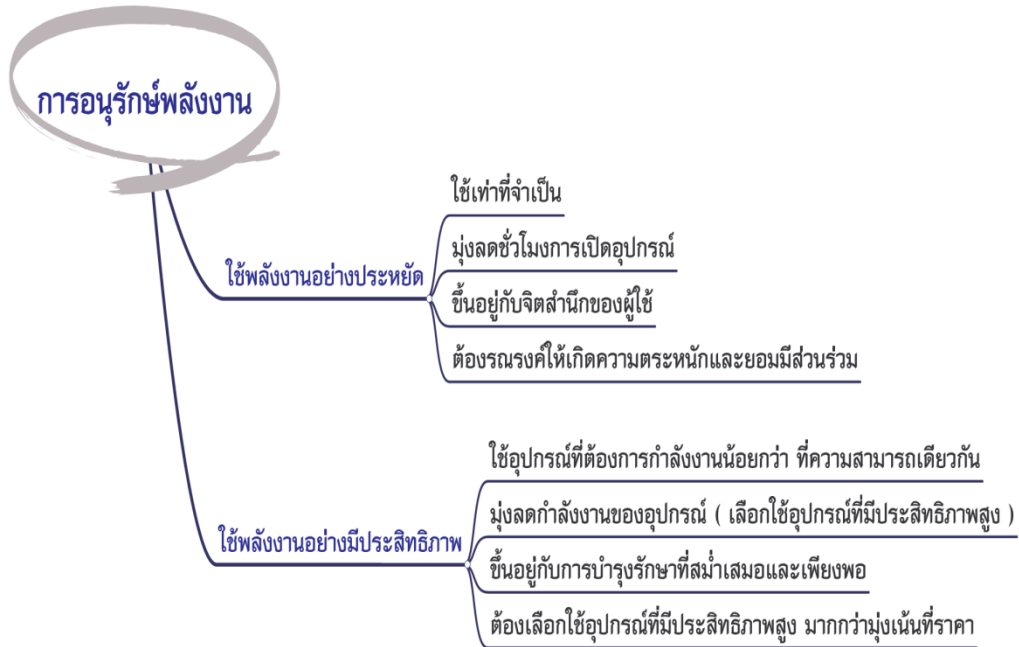
	= 136,824	บาท/ปี
รวมประหยัดได้	= 529,920 + 136,824	บาท/ปี
	= 666,744	บาท/ปี
6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน		
ติดตั้ง Power Force รวมเป็นเงิน 1,500,000 บาท		
ระยะเวลาคืนทุน	= 1,500,000 / 666,744	
	= 2.25 ปี	

สรุปเนื้อหาวิชา

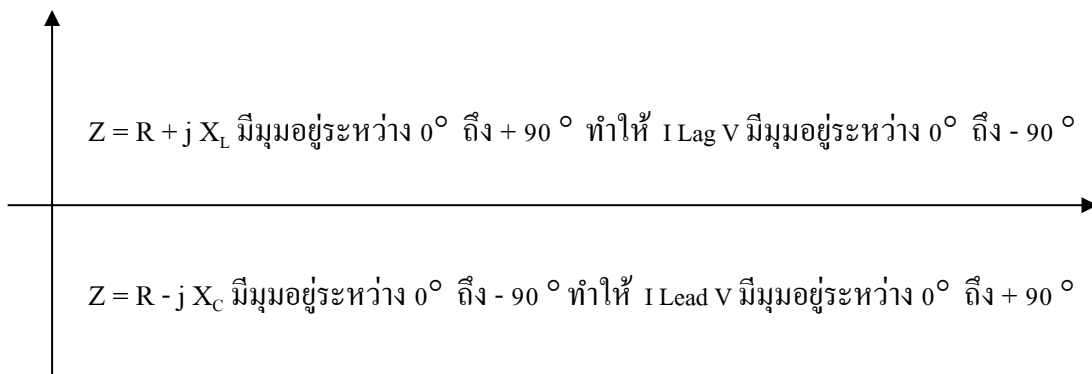
1. การไฟฟ้าทั้งนครหลวงและภูมิภาค ได้จำแนกประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 8 ประเภท คือ						
ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย						
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก						
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง						
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่						
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง						
ประเภทที่ 6 องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร						
ประเภทที่ 7 กิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตร						
ประเภทที่ 8 ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว						
2. องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3 – 5						
ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ค่าพลังงาน (ค่า kWh)	ค่าDemand	ค่า PF	ค่า บริการ	มีเกณฑ์ ค่าไฟขั้นต่ำ	หมายเหตุ
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง						
3.1 อัตราปกติ	✓	✓	✓	✓	✓	Demand 30 - 999 kW
3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่						
4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	Demand \geq 1,000 kW
4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง						
5.1 1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD Tariff)	✓	✓	✓	✓	✓	กิจการ โรงแรมและ กิจการให้เช่า พักอาศัย
5.2 อัตราสำหรับผู้ใช้นิยามไม่ได้ ติดตั้งมิเตอร์TOU	✓	✓	✓	✓	✓	
3. การพิจารณาด้านการอนุรักษ์พลังงานและการบริหารต้นทุน อาจตั้งข้อสังเกตเป็นประเด็นต่างได้ดังนี้						
<ul style="list-style-type: none"> • ถ้ามีการอนุรักษ์พลังงาน หน่วยใช้ไฟ (kWh) ก็จะลดลง ค่าใช้จ่ายก็จะลดลง • ถ้ามีการควบคุมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอได้ ค่า Demand ก็น่าจะลดลง ค่าใช้จ่ายก็อาจจะลดลง • ถ้ามีการบริหารระบบไฟฟ้าได้ดี ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) มีค่าสูงกว่า 0.85 ตลอดเวลา ก็ไม่ควรจะต้องจ่ายค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (เป็นค่าใช้จ่ายที่หลีกเลี่ยงได้) 						

- ถ้ามีการอนุรักษ์พลังงานแล้วเป็นผลให้หน่วยใช้ไฟ (kWh) ลดลงแล้วค่า Ft ที่จ่ายก็จะลดลง รวมถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ก็จะลดลงด้วย

4. การอนุรักษ์พลังงานคืออะไร



5. พื้นฐานวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ควรทราบ



6. กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีกำลังไฟฟ้า 3 ชนิด (3 หน่วย) ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด มีรายละเอียดดังนี้

- Average Power (P) หน่วยเป็น W คำนวณได้จาก $P = V \times I \times \cos \theta$ บ้างก็เรียกว่า Real Power
- Reactive Power (Q) หน่วยเป็น VAr คำนวณได้จาก $Q = V \times I \times \sin \theta$
- Apparent Power (S) หน่วยเป็น VA คำนวณได้จาก $S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2}$

- กำลังไฟฟ้าในหน่วย W คือกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ เป็นเลขจำนวนจริง ต่างกับกำลังไฟฟ้าในหน่วย VA_r ที่เป็นจำนวนจินตภาพ (เป็นเลขจำนวนที่สมมุติขึ้น) เอามาใช้ทำงานไม่ได้
- ถ้าระบบใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย VA_r มาก VA ก็จะมาก หมายความว่ากระแสในระบบมาก เป็นผลให้มีการสูญเสียในรูปของ I^2R ในหม้อแปลงและสายไฟมาก
- หม้อแปลงมีพิกัดกำลังเป็น VA กรณีที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ อาจมองอีกมุมหนึ่งได้ว่า ระบบใช้กำลังไฟฟ้าเป็น VA มาก แต่ได้กำลังไฟฟ้าเป็น W น้อย หากหม้อแปลงจ่ายไฟเต็มพิกัด ก็จ่ายโหลดได้น้อยกว่ากรณีที่ VA เท่ากัน แต่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูง (มีค่าเข้าใกล้ 1)

7. การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction)

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใช้ C ขนานกับโหลด หรือขนานกับแหล่งจ่าย

ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จาก PF 1 เป็น PF 2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วย VA_r ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF\ 1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos\theta_1 \quad , \quad PF\ 2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos\theta_2$$

$$\tan\theta_1 = \frac{Q_1}{P} \quad , \quad \tan\theta_2 = \frac{Q_2}{P}$$

$$Q_1 = P \times \tan\theta_1 = kW \times \tan\theta_1$$

$$Q_2 = P \times \tan\theta_2 = kW \times \tan\theta_2$$

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของตัวเก็บประจุ (kVar)} &= Q_1 - Q_2 = kW \tan\theta_1 - kW \tan\theta_2 \\ &= kW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \end{aligned}$$

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลง

$$\text{Loss reduction} = 1 - \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

8. การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง Capacitor Bank)

1. การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของโรงงาน
2. การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อยหรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแต่ละ จุด ของโรงงานหรืออาคาร

<p>9. ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า</p>
<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> ● เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33% ● เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้ ● มีความยืดหยุ่นมาก เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้ ● ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา ● สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย ● ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้ <p>ข้อเสีย</p> <ul style="list-style-type: none"> ● การเกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ ● การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง
<p>10. ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า</p> <ul style="list-style-type: none"> ● เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย ● จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะความร้อนที่สูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง ● การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้ ● ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป ● อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ค สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที ในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษ
<p>11. การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า</p>
<p>ในทางปฏิบัติหม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะ คือ</p> <p>1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะหม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลด แต่มีการต่อไฟทางฝั่งปฐมภูมิเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก จึงอาจเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss มีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับการจ่ายโหลด</p>

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด (Load Loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายโหลด มีค่าแปรผันตามกระแสยกกำลังสอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Copper Loss

หม้อแปลงไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็น kVA โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-75% ของพิกัด

หากต้องการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} + \text{กำลังไฟฟ้าที่เสียไปขณะไม่มีโหลด} + \text{กำลังไฟฟ้าที่เสียไปขณะมีโหลด}}$$

ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ Copper Loss = Iron Loss

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

อนึ่ง โดยปกติแรงดันของระบบไฟฟ้าจำหน่ายในรอบวันอาจจะไม่คงที่นัก สำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยนั้น ค่าแรงดันใช้งานตามปกติ (ตามทฤษฎี) คือ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 380 V และระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 220 V ในกรณีที่ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งปลายสายไฟหรือตำแหน่งที่ห่างจากตู้ควบคุมไฟฟ้ามากๆ แล้วพบว่า แรงดันเกินแรงดันไปจากแรงดันใช้งานมาก การสูญเสียในระบบก็จะมีความมากตามไปด้วย เป็นผลให้มีการสูญเสียในสายและในหม้อแปลงมากขึ้นอีกด้วย การแก้ไขสามารถทำได้โดยตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย หลายๆ ตำแหน่ง และหลายช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากพบว่าในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากๆแล้ว แรงดันในระบบยังเกินจากแรงดันใช้งานไปมาก มาตรการอนุรักษ์พลังงานอันหนึ่งที่จะทำได้ คือ ลดแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถปรึกษากับการไฟฟ้าในพื้นที่เพื่อใช้บริการปรับลด Tap ของหม้อแปลงให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำลดลง

12. การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

เนื่องจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือค่าความต้องการพลังไฟฟ้า เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่ต้องการจะลดเป็นอย่างมาก ดังนั้น ในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าจึงควรสังเกตพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไว้เป็นสำคัญ โดยเครื่องมือที่ดีในการประกอบการพิจารณาคือ กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นรายสัปดาห์ (Weekly Load Curve) เพื่อจะได้ทราบว่าช่วงเวลาใด เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูงและควรหลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์พร้อมๆกัน นอกจากนี้ ยังทำให้ทราบอีกว่าวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นเช่นไร เมื่อพิจารณาประกอบกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าแล้ว จะได้ทราบว่าในช่วงเวลาใดความต้องการพลังไฟฟ้าแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยง (สำหรับอัตรา TOD) หรือ ในช่วงเวลาใดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยง (สำหรับอัตรา TOU) ดังนั้น หากทราบโครงสร้างค่าไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารที่รับผิดชอบ และมีกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยให้การวางแผนลดค่าไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

13. การพิจารณามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสม

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยพิจารณาจาก

- ผลการประหยัดพลังงาน กิจกรรมที่มีการประหยัดพลังงานมากจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่า กิจกรรมที่ประหยัดพลังงานได้น้อยกว่า
- เงินลงทุนที่ใช้ กิจกรรมใดที่มีเงินลงทุนต่ำหรือไม่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุน แต่มีผลการประหยัดพลังงานมากถือเป็นมาตรการที่มีความน่าสนใจที่จะดำเนินการมาก
- ระยะเวลาคืนทุนและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ กิจกรรมใดที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานถือเป็นมาตรการที่น่าสนใจ เนื่องจากหลังจากที่คืนทุนแล้วผลการประหยัดพลังงานที่ได้คือกำไร

- ระยะเวลาในการดำเนินการ กิจกรรมที่ดำเนินการง่ายและใช้ระยะเวลาน้อยอีกทั้งไม่กระทบกับกระบวนการผลิตของโรงงานจัดเป็นมาตรการที่น่าสนใจ

- กำลังคนที่ต้องใช้ กิจกรรมที่ต้องใช้คนมากมักจะเป็นกิจกรรมที่ยุ่งยาก

การกำหนดว่ากิจกรรมใดหรือทางเลือกใดควรดำเนินการก่อนหลัง ควรประเมินดังนี้

- การประเมินเบื้องต้น สามารถทำให้เห็นลักษณะความซับซ้อน และศักยภาพเบื้องต้นของแต่ละกิจกรรม
- การประเมินทางเทคนิค สามารถทำการประเมินโดยการทดลองจริงในบางส่วนของการผลิต หรือศึกษาจากมาตรการที่ประสบความสำเร็จแล้วจากบริษัทอื่นหรือความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ
- การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ควรพิจารณาข้อเสนอหรือกิจกรรมที่ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าการลงทุนมากที่สุดและมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

วิธีการประเมินแบบง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการประเมินจากรยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{ผลประหยัดที่ได้รับต่อปี (บาท/ปี)}}$$

เอกสารอ้างอิง
[1] คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน โครงการเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย (TEENET) http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html
[2] การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กองทุนส่งเสริมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ
[3] Allan H. Robbins and Wilhelm C. Miller , 2003 ,Circuit Analysis: Theory and Practice, Delmar.
[4] Theodore Wildi , 1991 , Electrical Machines Drives and Power Systems 2nd Edition , Prentice Hall.
[5] “อัตราค่าไฟฟ้า” การไฟฟ้านครหลวง
[6] “อัตราค่าไฟฟ้า” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
[7] ธวัชชัย ชยวานิช , เอกสารประกอบการบรรยาย วิชา Electrical Energy Conservation and Management ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[8] เอกสารกรณีตัวอย่าง , โครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม โดยโรงงานควบคุม (กลุ่ม 4) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
[9] โครงการทีมเทคนิคและอาชีวศึกษาเพื่อประหยัดพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[10] สุภชัย ปัญญาวิวัฒน์และจตุพรสถากุลเจริญ,การลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ,2549
[11] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2554), คำราฝีกอบบรมหลักสูตรการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานใน โรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ
[12] Technical Data บ.เจริญชัยหม้อแปลง จำกัด http://www.charoenchai.com/technical.htm