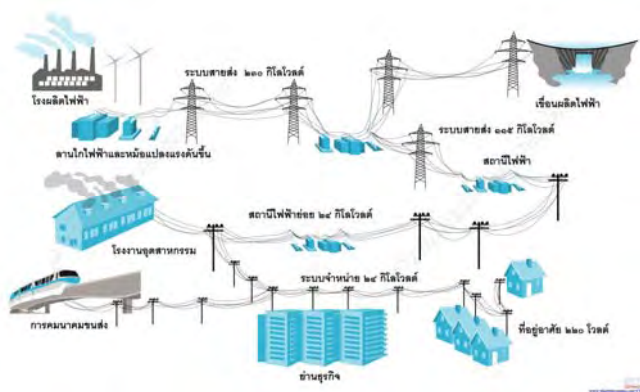




บทที่ 2

ระบบไฟฟ้ากำลัง

(Electric Power System)

บทนำ

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้นต้องเสียค่าไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปไม่ใช่ปัญหาที่ย่างยากมากนัก ยกเว้นบางระบบที่ต้องมีการพิจารณาให้ละเอียดถี่ถ้วน มิฉะนั้นแล้วแทนที่จะได้ผลดี กลับมีผลเสียทำให้อุปกรณ์เสียหายมากขึ้น เช่น การเกิดฮาร์โมนิกขึ้นในระบบ การใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ถ้าไม่มีการพิจารณาให้ละเอียด อาจทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายได้เมื่อเกิดเรโซแนนซ์

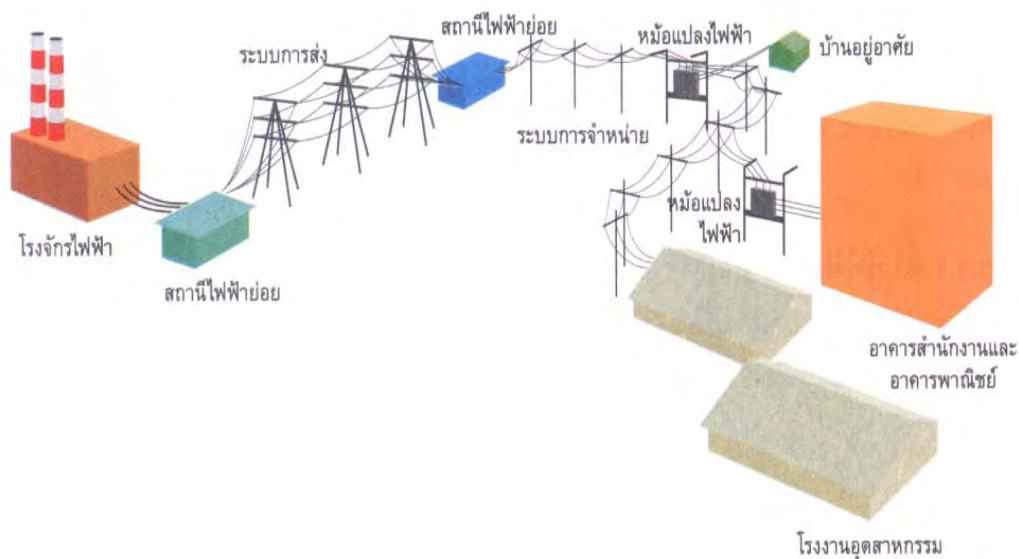
วัตถุประสงค์

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

2.1 บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ส่งผ่านตัวนำและหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ปลายทาง โดยการไฟฟ้าผู้ให้บริการเองก็มีการจัดระบบของการส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังอาคารธุรกิจ โรงงานหรือบ้านพักอาศัย โดยส่งจ่ายแรงดันในเขตเมืองและย่านชุมชนเป็นหลายช่วงแรงดัน โดยหม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายที่แปลงแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำนั้น จะถูกติดตั้งในบริเวณใกล้จุดที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าให้มากที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในสายและลดปัญหาแรงดันตกในสายไฟ ปัญหาการสูญเสียในสายไฟและในหม้อแปลงอาจมีค่านับรวมกันมากมองข้าม แต่ท่านทราบหรือไม่ว่าในปี พ.ศ. 2547 มีรายงานว่าการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ารวมทั้งประเทศสูงเกือบ 10,000 ล้านบาททีเดียว เมื่อพิจารณาถึงระบบไฟฟ้าในอาคารขนาดใหญ่หรือในโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว มีการประมาณการไว้ว่า มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในหม้อแปลงประมาณ 2-3 % และมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในสายไฟฟ้าไม่เกิน 1 % โดยการสูญเสียในระบบไฟฟ้านี้อยู่ในวิสัยที่จะบริหารจัดการให้น้อยลงได้ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ให้ความสนใจเลย นอกจากนี้หากไม่มีการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารให้อยู่ในเกณฑ์ที่ควรจะเป็น นอกจากจะมีการสูญเสียในระบบมากแล้ว ยังอาจถูกการไฟฟ้าเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมคล้ายค่าปรับในเอกสารค่าไฟฟ้าอีกด้วยก็ได้ และที่เรียกว่าเป็นค่าปรับ เพราะค่าใช้จ่ายส่วนนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ด้วยการบริหารระบบไฟฟ้านั่นเอง

โดยปกติแล้ว สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะมีการส่งจ่ายแรงดันอยู่หลายค่า เพื่อส่งจ่ายและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยปกติแล้วผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกขอใช้แรงดันไฟฟ้าได้ตามความต้องการ หากไม่ขัดกับระเบียบปฏิบัติของทางการไฟฟ้า และมีแนวสายไฟฟ้าพร้อมให้บริการ โดยปกติแล้วอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานมักจะซื้อไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้า หากเป็นพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ก็จะมีแรงดัน 12-24 kV แต่ถ้าเป็นพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ก็จะมีแรงดัน 22-33 kV (ค่าไฟฟ้าเก็บในอัตราเดียวกัน) ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่มากนั้น มักจะเลือกซื้อไฟจากการไฟฟ้าด้วยแรงดัน 69 kV หรือ 115 kV เพราะแรงดันที่สูงขึ้นนั้น จะมีค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่า แต่การลงทุนด้านระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ก็จะสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2.1 รูปแบบระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้า

พิจารณา รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้า จะสังเกตได้ว่ากรณีบ้านอยู่อาศัย ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยมีจำนวนมากและซื้อไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้า การไฟฟ้าจะลงทุนเรื่องระบบไฟฟ้าทั้งหมด ตั้งแต่หม้อแปลงจำหน่าย เสาไฟ สายไฟไปจนถึงเครื่องวัดหน่วยหน้าบ้านผู้ซื้อไฟ หากมีปัญหาที่หม้อแปลง เสาไฟฟ้า สายไฟขาด การไฟฟ้าจะเป็นผู้บำรุงรักษาแก้ไขปัญหาเองทั้งหมด เพราะเป็นสมบัติของการไฟฟ้า ขณะที่กรณีของอาคารขนาดใหญ่หรือโรงงานอุตสาหกรรมนั้น การไฟฟ้าจะเดินไฟฟ้าแรงสูงมาถึงสถานที่ๆใช้ไฟ ณ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องวัด โดยหลักการแล้วค่าใช้จ่ายตั้งแต่หลังเครื่องวัดไปนั้น ผู้ใช้ไฟจะต้องลงทุนเองทั้งหมด นับตั้งแต่หม้อแปลง เสาไฟ สายไฟไปจนถึงระบบป้องกัน เพราะเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟ ในกรณีนี้หากเกิดเหตุหม้อแปลงระเบิด หรือรถชนเสาไฟฟ้าภายในโรงงานแล้ว การไฟฟ้าจะไม่เข้ามาแก้ไขให้เพราะไม่ได้อยู่ในขอบข่ายความรับผิดชอบของทางการไฟฟ้า จากกรณีผู้ซื้อไฟฟ้าทั้ง 2 กรณีที่กล่าวถึงนี้ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว อาจตั้งข้อสังเกตได้ดังนี้

กรณีบ้านอยู่อาศัยที่ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ ค่าไฟฟ้าน่าจะแพงกว่าซื้อไฟฟ้าแรงสูง เพราะการไฟฟ้าต้องลงทุนด้านระบบมากกว่ากรณีที่ซื้อไฟฟ้าแรงสูง

- กรณีบ้านอยู่อาศัยที่ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ การสูญเสียในหม้อแปลงและสายส่ง ภาระตกอยู่กับการไฟฟ้า จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่น่าจะทำให้ค่าไฟฟ้าแพงกว่าซื้อไฟฟ้าแรงสูง
- กรณีบ้านอยู่อาศัยที่ซื้อไฟฟ้าแรงต่ำ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและบริหารระบบ ภาระตกอยู่กับการไฟฟ้า จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่น่าจะทำให้ค่าไฟฟ้าแพงกว่าซื้อไฟฟ้าแรงสูง
- ข้อสังเกตข้างต้นสามารถสะท้อนให้เห็นได้จากอัตราค่าไฟฟ้า

จากข้อสังเกตข้างบนนี้ จึงชี้ให้เห็นได้ว่าผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูง จะต้องลงทุนด้านระบบไฟฟ้ามากกว่า แต่ก็มีการไฟฟ้าที่ถูกกว่า อย่างไรก็ดี จะเห็นได้ว่า การสูญเสียในหม้อแปลงและสายส่ง ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและบริหารระบบเป็นภาระที่ตกอยู่กับผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงด้วย ดังนั้น การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และไม่ควรมองข้าม นอกจากนี้ สิ่งที่ผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงควรทราบอีกประเด็นหนึ่งก็คือ โครงสร้างค่าไฟฟ้าที่มีข้อปลีกย่อยมากกว่ากรณีบ้านอยู่อาศัย

การไฟฟ้าทั้งนครหลวงและภูมิภาค ได้จำแนกประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 7 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

รายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดูได้จากภาคผนวก ก

แต่ละประเภทยังมีรายละเอียดของโครงสร้างค่าไฟฟ้าและเงื่อนไขที่แตกต่างกันไป กรณีของบ้านอยู่อาศัยนั้น โครงสร้างค่าไฟฟ้าเป็นแบบอัตราก้าวหน้า (ยิ่งใช้ไฟมาก ค่าไฟต่อหน่วยยิ่งแพงขึ้น) แต่การพิจารณาจะดูจากหน่วยไฟฟ้าที่ใช้เท่านั้น ซึ่งต่างกับผู้ซื้อไฟฟ้าแรงสูงที่ดูจากข้อมูลหลายตัว ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 โดยแสดง

ให้เห็นถึงโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3 - 5 ที่เกี่ยวข้องกับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้จะเห็นว่าประเภทผู้ใช้ไฟฟ้ามีหลายประเภท มีการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายหลายส่วน และยังมีเกณฑ์ค่าไฟฟ้าขั้นต่ำอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทที่ 3 - 5



องค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้า



ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ค่าพลังงาน (ค่า kWh)	ค่าDemand	ค่า PF	ค่า บริการ	มีเกณฑ์ ค่าไฟฟ้าขั้นต่ำ	หมายเหตุ
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง 3.1 อัตราปกติ 3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓	✓	✓ ✓	Demand 30 - 999 kW และ kWh เฉลี่ย 3 เดือน < 250,000 Unit
ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD Tariff) 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓	✓	✓ ✓	Demand $\geq$ 1,000 kW หรือ kWh เฉลี่ย 3 เดือน > 250,000 Unit
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง 5.1 อัตราปกติ 5.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Tariff)	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓	✓	✓ ✓	กิจการโรงแรมและ กิจการให้เช่า พักอาศัย Demand $\leq$ 30 kW

หมายเหตุ

1. ยังไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ซึ่งคำนวณจากหน่วยใช้ไฟ (kWh) รวม และภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ซึ่งคำนวณจากค่าไฟฟ้ารวม
2. การไฟฟ้านครหลวง ให้ผู้ใช้อัตราปกติเป็นประเภท 5.1 และอัตรา TOU เป็นประเภท 5.2 แต่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะกำหนดประเภทสลับกันกับการไฟฟ้านครหลวง โดยผู้ใช้ประเภทที่ 5 นี้ มีอัตราค่าไฟแบบ TOU เป็นอัตราบังคับ ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดแบบ TOU อนุโลมให้ใช้อัตราปกติไปก่อน
3. ค่าพลังงานและค่า Demand ของผู้ใช้แต่ละประเภทอาจมีอัตราไม่เท่ากัน

จากตารางที่ 2.1 หากพิจารณาในด้านของการอนุรักษ์พลังงานและการบริหารต้นทุน อาจตั้งข้อเกตได้เป็นประเด็นต่างได้ดังข้างล่างนี้ และอาจนำเสนอองค์ประกอบของโครงสร้างค่าไฟฟ้าได้เป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.2

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



รูปที่ 2.2 โครงสร้างค่าไฟฟ้าโดยภาพรวม

ในการนี้ หากจะพิจารณาในทางเทคนิคควบคู่ไปด้วยแล้ว ก็มีข้อสังเกตเพิ่มเติม คือ

- ถ้าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้ต้องติดตั้งหม้อแปลงขนาดใหญ่ ใช้งานไม่คุ้มค่าต้องลงทุนด้านระบบมาก

- 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

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

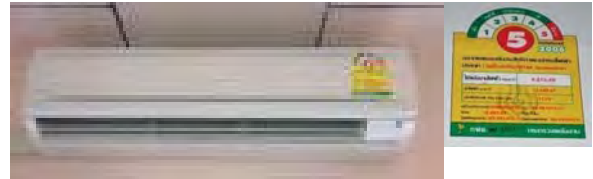
- หากใช้พลังงานอย่างประหยัด ชั่วโมงที่เปิดอุปกรณ์ควรจะลดลง
- หากใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ควรมีค่าน้อยลง
- หากใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต้องลดลง

พิจารณาเครื่องปรับอากาศในรูปที่ 2.3 ระหว่างเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่ากับเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ที่ได้รับฉลากเบอร์ 5 (ชั้นประสิทธิภาพดีมาก) ที่เปิดแล้วเย็นทั้ง 2 เครื่อง เครื่องรุ่นเก่าเปิดแล้วใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ประมาณ 30% (เป็นตัวเลขเฉพาะกรณีที่ยกตัวอย่างนี้) หมายความว่า เปิดเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าก็เย็นเท่ากับเปิดเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ หากเปิดใช้ในสภาวะเดียวกันและเปิดเป็นเวลาเท่ากันแล้ว หน่วยไฟฟ้าที่ใช้จะต่างกันถึง 30% ดังนั้น หากมีการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นเก่าเป็นเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ก็จะได้ว่าใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าหากมีการปิดเครื่องปรับอากาศก่อนออกจากห้องเสมอ เช่น ปิดก่อนออกจากห้อง 10 นาที ก็จะได้ชื่อว่าใช้พลังงานอย่างประหยัด หากทำได้เช่นนี้ ก็เรียกได้ว่าดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างถูกต้อง และจะเรียกว่าอนุรักษ์พลังงานได้อย่างดีเยี่ยม เมื่อจัดให้มีการล้างเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง ปรับตั้งอุณหภูมิอย่างเหมาะสม คือ 25-26 องศาเซลเซียส

และป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในห้องปรับอากาศ เป็นต้น และเพื่อให้เห็นภาพของคำว่า การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้เด่นชัดยิ่งขึ้น จึงอาจสรุปเป็นประเด็นแนวคิดได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2.4

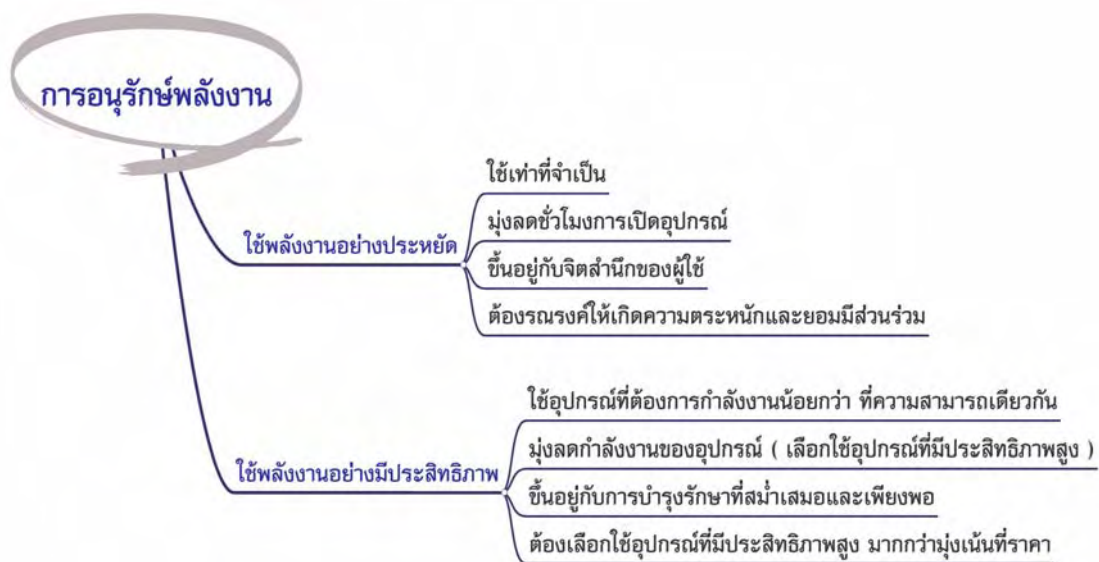


เครื่องปรับอากาศรุ่นเก่า



เครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ และฉลากเบอร์ 5

รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศ 2 ยุค



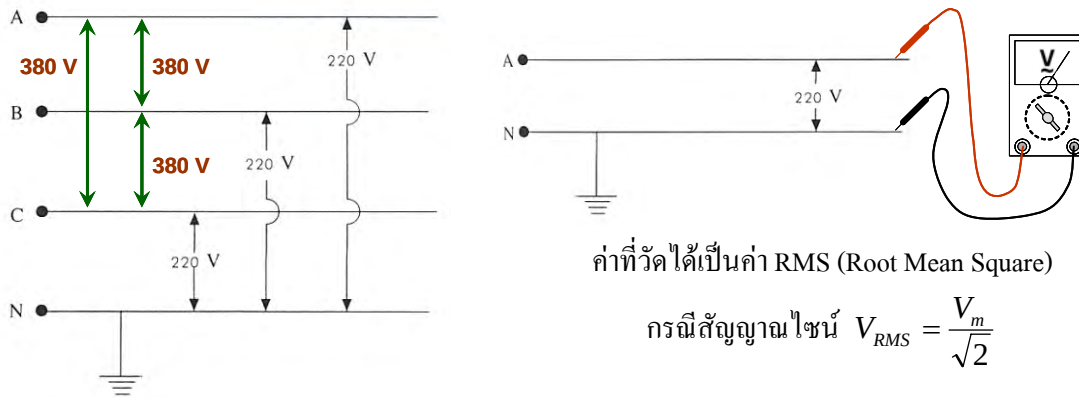
รูปที่ 2.4 ประเด็นแนวคิดของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

2.3 พื้นฐานวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ควรทราบ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องตามสมควร ในที่นี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องอย่างพอสังเขป ดังนี้

2.3.1. แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

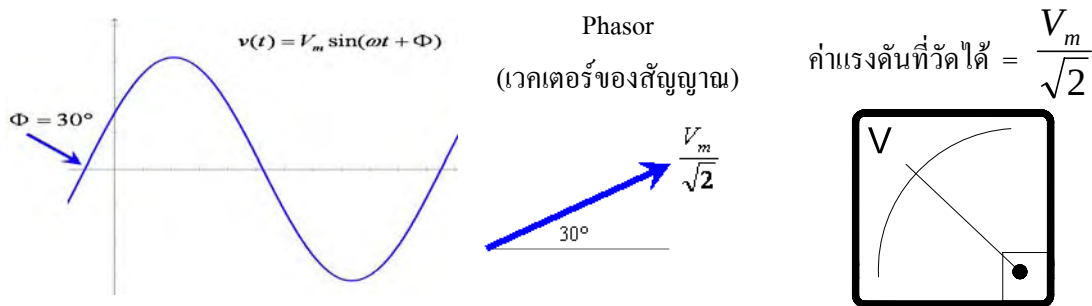
ระบบไฟฟ้าในบ้าน อาคารและโรงงาน เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีสัญญาณตามทฤษฎีเป็นรูปคลื่นไซน์ มีความถี่ 50 Hz โดยทั่วไปแล้วมีแรงดันระหว่างสายด้านแรงต่ำ 380 V แรงดันเฟส 220 V ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งค่าแรงดันที่กล่าวถึงนี้ ไม่ใช่ค่ายอดคลื่น (Peak) แต่เป็นค่า RMS (Root Mean Square) เฉพาะกรณีของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ $V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ ถ้าสัญญาณเปลี่ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ค่าที่วัดได้อาจมีความผิดพลาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องวัด



รูปที่ 2.5 ลักษณะการวัดแรงดันระหว่างสาย แรงดันเฟส และค่า RMS

2.3.2. การนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาใช้งาน

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณ ซึ่งการคำนวณมีความยุ่งยาก ในทางทฤษฎีจึงเขียนแทนด้วยเฟเซอร์ (Phasor) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ชนิดหนึ่ง โดยลดรูปลงเหลือเพียงขนาดและมุม โดยมีความยาวของเวกเตอร์เท่ากับค่า RMS และมีมุมเท่ากับมุมเฟสของสัญญาณ (วัดตามทิศทวนเข็มนาฬิกา เป็นมุมบวก) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งปกติแล้ว ในการใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป การทราบแต่ขนาด (ค่า RMS) ของสัญญาณแรงดันก็เพียงพอที่จะปฏิบัติงานได้ ทำให้การวัดโดยทั่วไปละในเรื่องของมุมไป แต่เมื่อต้องทำการคำนวณหรือวิเคราะห์อย่างถูกต้อง ต้องให้วิศวกรหรือช่างเทคนิคที่มีความรู้เป็นผู้วิเคราะห์คำนวณ

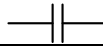


รูปที่ 2.6 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ค่าทางคณิตศาสตร์ และค่าที่วัดได้

2.3.3. โหลดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

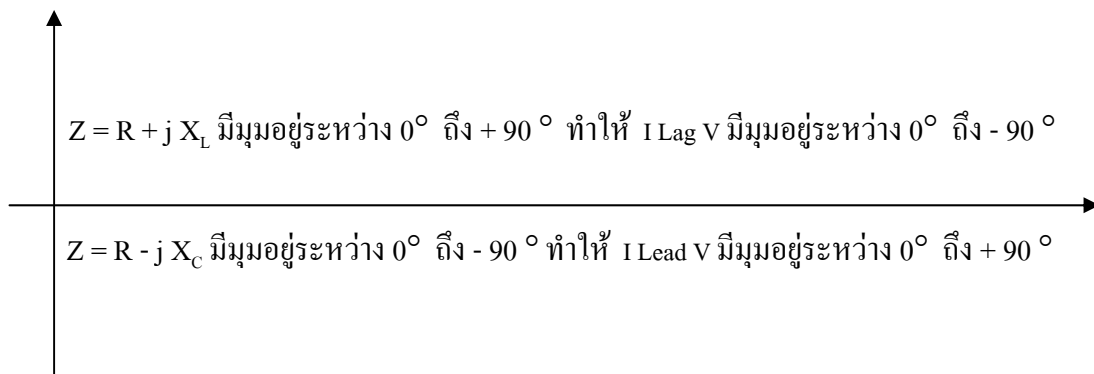
วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีความซับซ้อนกว่าวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมาก แต่อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจำแนกโหลดพื้นฐานได้เป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งในสภาพการใช้งานจริง อาจมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่ม การคำนวณจึง เป็นการคำนวณเลขจำนวนเชิงซ้อนแบบเวกเตอร์ ซึ่งในที่นี้ขอแนะนำเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติเด่นๆที่แตกต่างกัน เพื่อจะใช้ประกอบการอธิบายต่อไป

ตารางที่ 2.2 สรุปลักษณะของโหลดพื้นฐานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

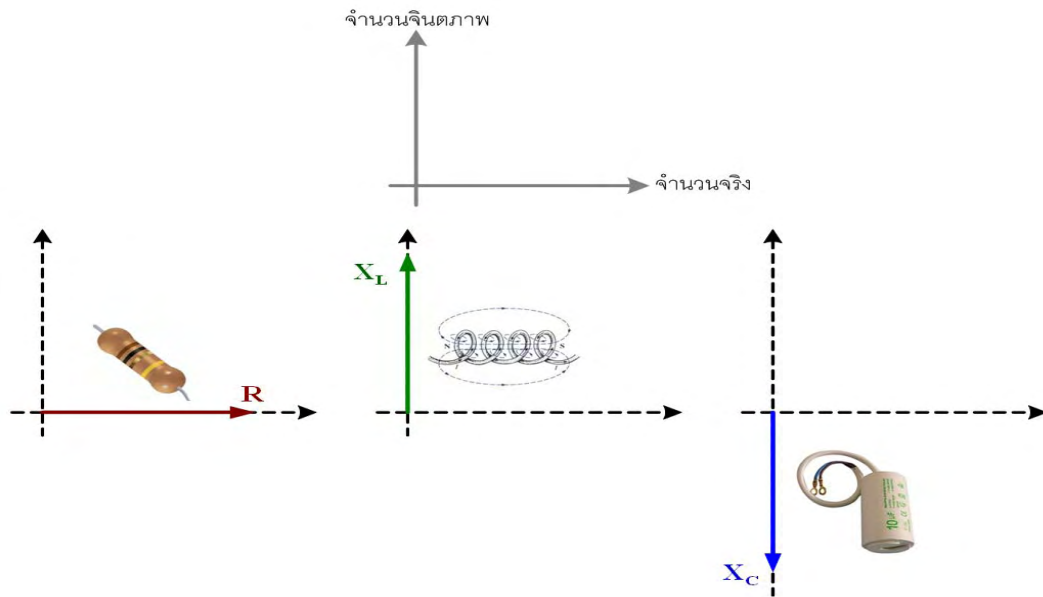
	R ตัวต้านทาน (Resistor)	L ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)	C ตัวเก็บประจุ (Capacitor)
1. สัญลักษณ์			
2. ความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น Ω	R	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
3. ลักษณะทางคณิตศาสตร์	จำนวนจริง	จำนวนจินตภาพ +j	จำนวนจินตภาพ -j
4. วิธีการคำนวณ	แบบเวกเตอร์	แบบเวกเตอร์	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

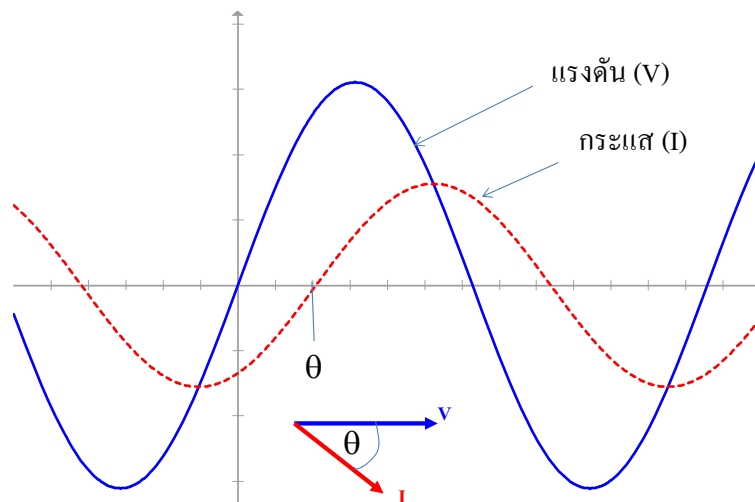
- L และ C ถูกนำมาใช้ในรูปแบบของค่า X_L และ X_C มีหน่วยเป็น Ω เช่นเดียวกับ R แต่เป็นจำนวนจินตภาพที่สามารถหักล้างกันเองได้ เพราะ X_L และ X_C มีทิศทางตรงข้ามกัน (ทิศทาง +j กับ -j) ดังรูปที่ 2.7 ดังนั้น หากต้องการหักล้างคุณสมบัติของ X_L ก็อาจนำ X_C ที่เหมาะสมมาต่อในวงจรได้
- เพราะ X_L ทำให้สัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V) 90° และ X_C ทำให้สัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (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



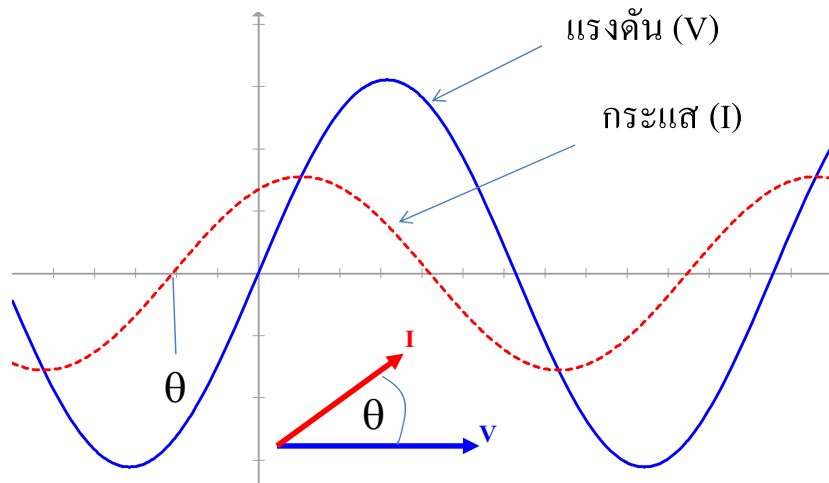
กล่าวคือ โหลด $R + jX_L$ ทำให้ I Lag V ดังรูปที่ 2.8 และโหลด $R - jX_C$ ทำให้ I Lead V ดังรูปที่ 2.9 ส่วนโหลด R นั้น I และ V มีมุมตรงกัน โดยเขียนเป็นภาพเชิงสลับได้ดังรูปที่ 2.10



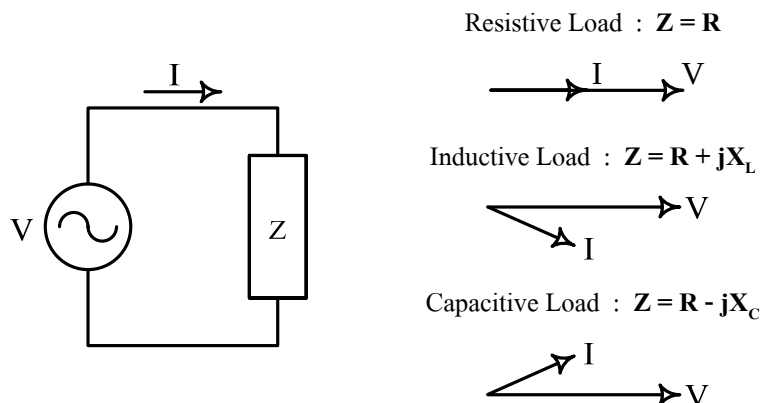
รูปที่ 2.7 ลักษณะทางเวกเตอร์ของ R X_L และ X_C



รูปที่ 2.8 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V)

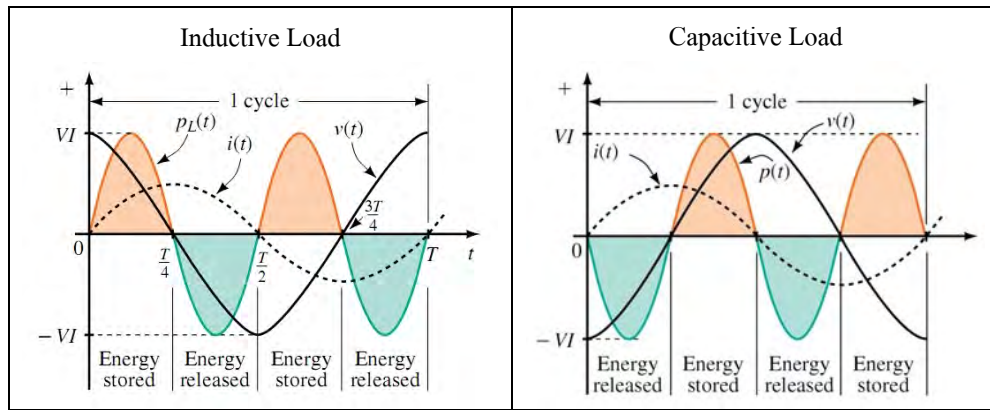


รูปที่ 2.9 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (I Lead V)



รูปที่ 2.10 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 2.11 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าจังหวะของการสะสมและคืนพลังงานของโหลดทั้ง 2 ชนิดนั้นไม่ตรงกัน และสอดคล้องกับทางคณิตศาสตร์ที่ว่า Var ของ L มีทิศทางตรงข้ามกับ Var ของ C

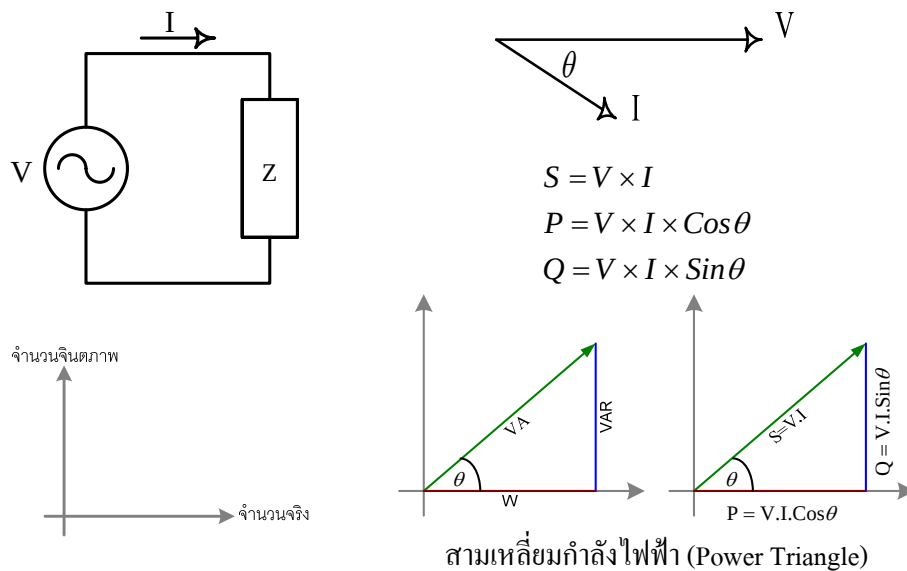


รูปที่ 2.11 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของ L และ C

2.3.4. 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 $S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2}$ ดังรูปที่ 2.12
- 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 2.12 สมการคำนวณกำลังไฟฟ้าและสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

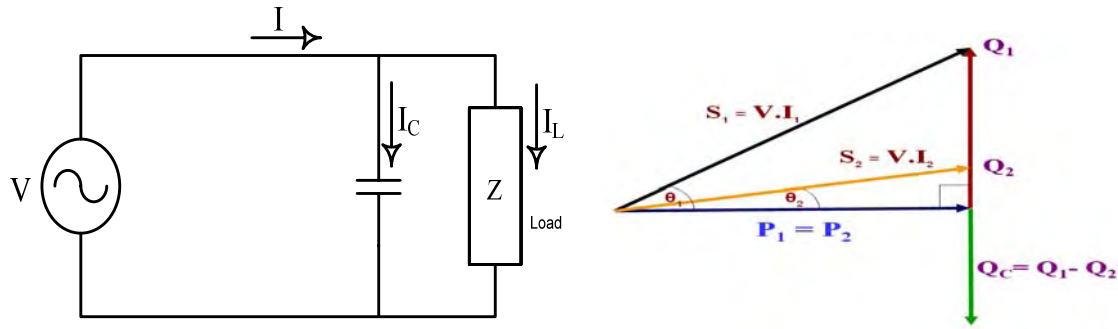
- เรียกค่า $\cos \theta$ ว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) หรือ PF มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ $PF = \frac{P}{S}$ ด้วย

- กำลังไฟฟ้าในหน่วย W คือกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน สามารถเอามาใช้ประโยชน์ได้ เป็นเลขจำนวนจริง ต่างกับกำลังไฟฟ้าในหน่วย Var ที่เป็นจำนวนจินตภาพ (เป็นเลขจำนวนที่สมมุติขึ้น) เอามาใช้ทำงานไม่ได้
- จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่า ถ้า Var มาก VA ก็จะมีค่ามาก ถ้า Var น้อย VA ก็จะมีค่าน้อย เพราะ VA เป็นด้านปัดมุมฉาก โดยที่ Var มากหรือน้อย กำลังไฟฟ้าในหน่วย W ก็ยังคงเท่าเดิม (ระบบสามารถทำงานได้เท่าเดิม)
- Var กับ W ตั้งฉากกัน การมากขึ้นหรือน้อยลงของ VAR จึงไม่ส่งผลต่อ W แต่มีผลต่อขนาดของ VA
- ถ้าระบบใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย Var มาก VA ก็จะมีค่ามาก หมายความว่า ถ้า Var มาก หรือพูดอีกนัยหนึ่ง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ กำลังไฟฟ้าในหน่วย VA จะมากขึ้นถ้า 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)

คำว่า การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของ Var เพื่อให้ VA มีขนาดใกล้เคียงกับ W (ดูสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าประกอบ) เนื่องจากในทางปฏิบัติ นั้น โหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็น R ผสม L หรือ Inductive Load ซึ่งทำให้ $I \text{ Lag } V$ ดังนั้น Var ในระบบที่พบจึงมักจะเป็น Var ของ L เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัย อาคารและโรงงาน ต่างก็ใช้ Var ของ L แทบทั้งนั้น ทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยเก็บเงินกับกรณี Var ของ L (ชนิด Lag) เท่านั้น

ดังนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ C ขนานกับโหลด หรือขนานกับแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 2.13 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 2.13 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ข้อสังเกต จากรูปถ้าต่อ C ขนานกับ Load กระแสก็จะลดต่ำลงตั้งแต่ตำแหน่งจุดที่ตอนนั้นไปจนถึงแหล่งจ่าย ทั้งนี้ Load ยังคงใช้กำลังไฟฟ้า W และ Var เท่าเดิมทุกประการ เพราะแรงดันที่ Load ได้รับถือว่าไม่ได้เปลี่ยนไป จึงกินไฟเท่าเดิม แต่การที่กระแสในสายจากแหล่งจ่ายลดลง เป็นเพราะกระแสที่ไหลเข้า C มีทิศทางของเวกเตอร์หักล้างกับกระแสที่ไหลเข้าโหลด ทำให้ผลรวมทางเวกเตอร์ของ $I_C + I_L$ มีขนาดลดลง หรือจะมองว่าเพราะต่อ C เข้าระบบ แล้วทำให้ VA ลดลงก็ได้ ($S = VI$ และถือว่า V คงที่) จึงทำให้กระแสลดลงด้วย จากแผนภาพนี้ หากนำ C ไปต่อขนานกับแหล่งจ่าย กระแสก็จะลดต่ำลง เฉพาะตำแหน่งที่แหล่งจ่ายเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า Bus Bar กับหม้อแปลงมีกระแสไหลน้อยลง แต่ ในสายไฟที่เดินไปยังโหลด กระแสยังคงมากอยู่ แต่การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อ C ขนาน กับแหล่งจ่ายนี้เป็นวิธีที่สะดวกและไม่ยุ่งยาก จึงเป็นวิธีที่นิยมทำกัน

จากรูปที่ 2.13 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 2.3 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 %)

$$\tan \theta_1 - \tan \theta_2 = 1.403$$

ตารางที่ 2.3 ค่าประกอบการคำนวณหาขนาด kVar ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ค่า $\tan \theta_1 - \tan \theta_2$)

		ค่า P.F. ที่ต้องการปรับปรุง																				
		0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
ค่า P.F. ก่อนปรับปรุง	0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.590	1.732
	0.51	0.937	0.963	0.989	1.015	1.041	1.067	1.093	1.120	1.147	1.174	1.202	1.231	1.261	1.291	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
	0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.049	1.076	1.103	1.130	1.158	1.187	1.217	1.247	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
	0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
	0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.965	0.992	1.019	1.046	1.074	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
	0.55	0.768	0.794	0.820	0.846	0.873	0.899	0.925	0.952	0.979	1.006	1.034	1.063	1.092	1.123	1.155	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
	0.56	0.729	0.755	0.781	0.807	0.834	0.860	0.886	0.913	0.940	0.967	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229	1.276	1.337	1.497
	0.57	0.691	0.717	0.743	0.769	0.796	0.822	0.848	0.875	0.902	0.929	0.957	0.986	1.015	1.046	1.078	1.113	1.150	1.191	1.238	1.299	1.441
	0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.811	0.839	0.865	0.892	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154	1.201	1.262	1.405
	0.59	0.618	0.644	0.670	0.696	0.723	0.749	0.775	0.802	0.829	0.856	0.884	0.913	0.942	0.973	1.005	1.040	1.077	1.118	1.165	1.226	1.368
	0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.714	0.740	0.767	0.794	0.821	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
	0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299	
	0.62	0.515	0.541	0.567	0.593	0.620	0.646	0.672	0.699	0.726	0.753	0.781	0.810	0.839	0.870	0.902	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
	0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.639	0.666	0.693	0.720	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	1.004	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
	0.64	0.451	0.477	0.503	0.529	0.555	0.581	0.607	0.634	0.661	0.688	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.997	1.058	1.201
	0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
	0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.519	0.545	0.572	0.599	0.626	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
	0.67	0.355	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.968	1.108
	0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.459	0.485	0.512	0.539	0.566	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
	0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.401	0.427	0.454	0.481	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020	
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.398	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992	
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.370	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964	
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.317	0.343	0.370	0.397	0.424	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936	
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909	
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855	
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829	
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.263	0.290	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802	
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776	
0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750	
0.81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.151	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724	
0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698	
0.83				0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672	
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646	
0.85						0.000	0.026	0.053	0.080	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620	
0.86							0.000	0.027	0.054	0.081	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593	
0.87								0.000	0.027	0.054	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567	
0.88									0.000	0.027	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540	
0.89										0.000	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512	
0.90											0.000	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484	
0.91												0.000	0.030	0.060	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456	
0.92													0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426	
0.93														0.000	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395	
0.94															0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363	
0.95																0.000	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329	
0.96																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.292	
0.97																		0.000	0.048	0.108	0.251	
0.98																			0.000	0.061	0.203	
0.99																				0.000	0.142	
																					0.000	

เมื่อทราบขนาดของ kW ที่ใช้ในระบบ ก็จะหาค่า kVar ของ C ได้โดยง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ขนาดกำลังไฟฟ้าเป็น kVAR ของ C อาจไม่ได้มีจำหน่ายในท้องตลาดหลายขนาดนัก ดังนั้น อาจต้องใช้ C หลายๆ ตัวต่อขนานกันเพื่อให้ได้ค่า kVar รวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ (การต่อ C ขนานกัน นำค่า kVar บวกกันได้เลย) จึงเรียกชุดของ C หลายๆ ตัวที่ติดตั้งไว้สำหรับการต่อเข้าระบบนี้ว่า Capacitor Bank (นิยมเรียกกันว่า Cap Bank) ดังรูปที่ 2.14 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 2.15

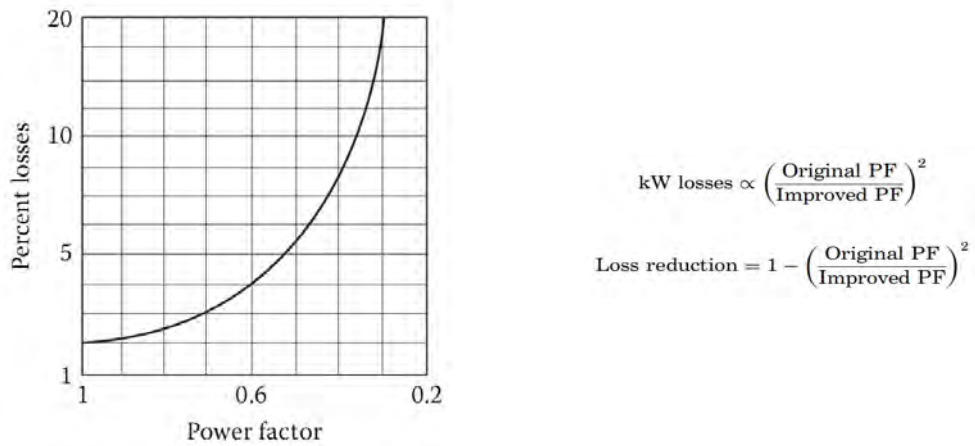


รูปที่ 2.14 Capacitor Bank หรือ Cap Bank

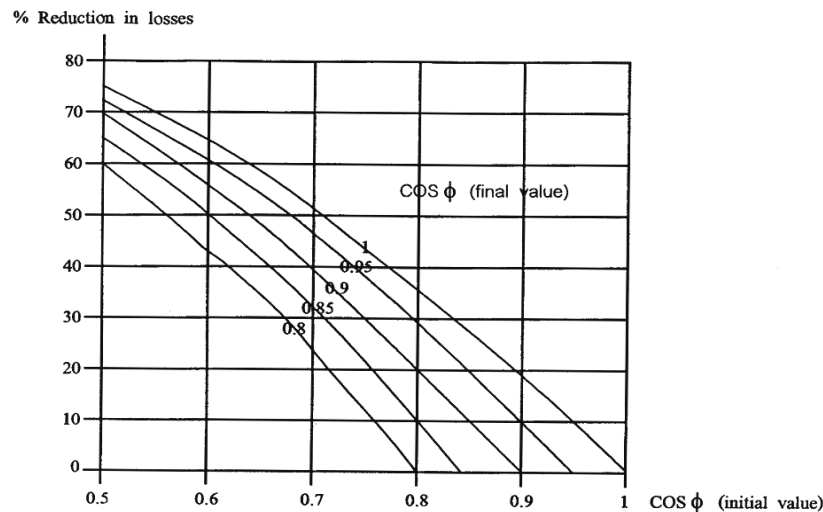


รูปที่ 2.15 Power Factor Controller และอุปกรณ์ตัดต่อ Cap Bank

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลงได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.16 โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียยังขึ้นอยู่กับความต้านทานในสายและความยาวของสายอีกด้วย ส่วนรูปที่ 2.17 แสดงค่า % การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปสู่ค่าต่างๆ



รูปที่ 2.16 เปอร์เซนต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 เปอร์เซนต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปเป็นค่าต่างๆ

ระบบไฟฟ้าที่มีค่า PF ต่ำ จะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก ดังนั้น การแก้ไขค่า PF สูงขึ้น จะทำให้ค่าไฟฟ้าลดลง แต่การแก้ไขค่า PF นี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม จึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วย โดยพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนในการแก้ไขค่า PF กับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการแก้ไขค่า PF

อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ จะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแตกต่างกันแล้วแต่โครงสร้างภายในของอุปกรณ์นั้นๆ จึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 2.4 ทำให้โรงงานและอาคารที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างชนิดกันมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย โดยข้อมูลจากการสำรวจเป็นไปดังตารางที่ 2.5 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ นอกจากเกิดจากการใช้โหลดประเภทเหนี่ยวนำ (Inductive Load) เป็นจำนวนมากแล้ว ยังเกิดจากการที่มอเตอร์ตัวใหญ่ขับโหลดน้อย (Run at Under Load) หรือเกิดจากการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้า	PF (%)
เตาหลอดโลหะแบบเหนี่ยวนำ	30 – 70
เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก	35 – 60
เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน	40 – 60
เครื่องกลึง	40 – 65
เครื่องปั๊มโลหะแบบความเร็วสูง	45 – 60
เครื่องอัด (Compressor)	50 – 80
หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด HID	50 – 70
เครื่องจักรทอผ้า	60 – 70
เครื่องปั๊มโลหะธรรมดา	60 – 70
เครื่องพ่นลมหรือพ่นสี	60 – 65
เตาหลอมโลหะแบบอาร์ก	65 – 75

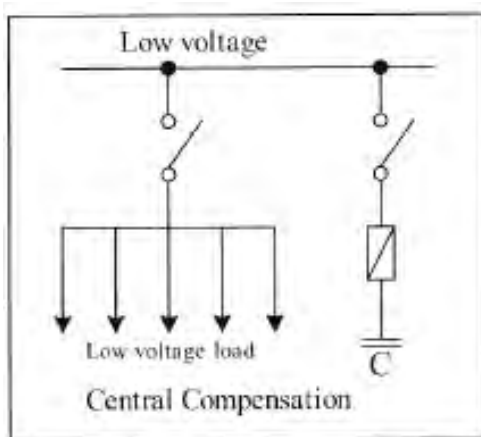
ตารางที่ 2.5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ

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

2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุ (การติดตั้ง CAPACITOR Bank)

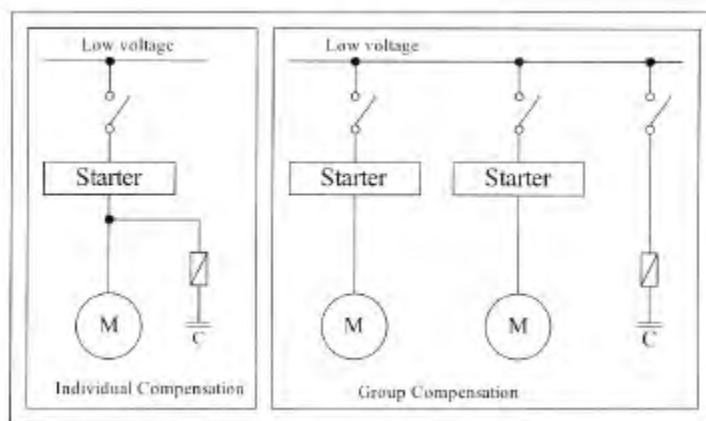
ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกัน ทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่ หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร โดยแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว (Central Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของโรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง

การติดตั้งเป็นกลุ่มโหลดย่อยหรือที่มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นรายตัว (Individual Compensation) เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและจุดของโรงงานหรืออาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด

การติดตั้งเป็นกลุ่มหรือเฉพาะตัวนี้จะต้องพิจารณาจุดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ด้วย เพราะประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับระยะทางจุดที่ทำการติดตั้งมายังตัวโหลดหรือมอเตอร์ ประสิทธิภาพในการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การตัดสินใจเลือกวิธีติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าวิธีหนึ่งวิธีใดมาใช้เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่โรงงานหรืออาคารจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เช่น พิจารณาถึงลักษณะของโรงงาน ลักษณะโหลดส่วนใหญ่ที่ใช้ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเงินลงทุน ซึ่งต้องการศึกษาอย่างละเอียดว่าวิธีใดจะมีโอกาสคุ้มทุนมากกว่ากัน

ในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารส่วนใหญ่แล้ว จะประกอบด้วยโหลดที่มีขนาดเล็กๆ จำนวนมาก แต่ด้วยเหตุที่พิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีขนาดเป็นมาตรฐาน (Standard Size) ในทางปฏิบัติจะหาตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีขนาด kVar สอดคล้องกับโหลดแต่ละรายการได้ยาก และโดยทั่วไปแล้วโหลดต่างๆ เหล่านี้ก็ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน เหตุนี้ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงจุดเดียว ณ ตำแหน่งซึ่งเป็นจุดรวมของโหลดทั้งหมด ซึ่งกรณีเช่นนี้จะต้องมีสวิตช์หรือต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับโหลดทั้งหมดหรือบางส่วน ตามสภาวะของโหลดได้โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากมอเตอร์เพียง 50% ของมอเตอร์โหลดทั้งหมดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียงครั้งหนึ่งในจุดนั้นเท่านั้นที่จะถูกต่อเข้าวงจรโหลด อีกครั้งหนึ่งจะถูกตัดออก แต่ถ้ามไม่มีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ และโหลดทำงานไม่พร้อมกันแล้ว ก็ควรติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานเข้ากับโหลดแต่ละตัว

โดยปกติแล้วแม้ไม่มีโหลด หม้อแปลงไฟฟ้าก็ต้องสร้างสนามแม่เหล็กที่เป็นกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟอยู่ ดังนั้น การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อลดกำลังรีแอกทีฟในช่วงไม่มีโหลด โดยต่อตรงเข้าทางด้านแรงดัน หรือด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างถาวร ไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบอีกด้วย ซึ่งการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเป็นแบบผสม กล่าวคือ โหลดใหญ่ๆ จะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่โหลดแต่ละชุด ส่วนโหลดอื่นๆ จะติดตั้งแบบกลุ่มหรือแบบศูนย์กลาง ส่วนตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งที่หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเพียงการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น

2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ข้อดี

- เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
- เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
- มีความยืดหยุ่นมาก เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
- ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
- สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้น้อยที่ในการติดตั้งน้อย
- ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย

- การเกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ
- การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์โมนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.4.3 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

- เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
- จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะความร้อนที่สูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง
- การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้
- ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป
- อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ค สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที 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

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$$

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N$$

$$\Sigma S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_N \quad (\text{ต้องรวมแบบเวกเตอร์})$$

$$\therefore \Sigma S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2} \quad (\text{แนวคิดเช่นเดียวกับสามเหลี่ยม}$$

กำลังไฟฟ้า)

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

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

เมื่อ f คือความถี่ไฟฟ้า

2.4.5 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่า kVar ของ C จากข้อมูลที่ตรวจวัด

kW	+69.9	PF	+0.618	- ต้องการปรับปรุงให้ PF ของตู้รวมโหลดย่อย จากค่าประมาณ 0.60 เป็น 0.95 โหลดรวมประมาณ 70 kW - จากตารางที่ 3 : $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 1.005$ $\therefore$ ขนาด kVar = kW $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 70.35$ kVar (ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้เพียงค่าใกล้เคียง)
Wh	0017382			
kVAR	๕ 88.9	DPF	+0.615	
VARh	๕0022008			
	๓0000000	Tan	+1.271	
kVA	113.2			
VAh	0028056			

kW	+289.7	PF	+0.839	- ต้องการปรับปรุงให้ PF ของตู้รวมโหลดย่อย จาก 0.839 เป็น 0.95 โหลดรวม 289.7 kW $\theta_1 = \cos^{-1} 0.839 = 32.965^\circ \rightarrow \tan \theta_1 = 0.6485$ $\theta_2 = \cos^{-1} 0.950 = 18.195^\circ \rightarrow \tan \theta_2 = 0.3287$ $\therefore$ ขนาด kVar = kW $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 92.65$ kVar (ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้ 100 kVar)
kWh	0001284			
kVAR	๕187.8	DPF	+0.839	
kVARh	๕0000804			
	๓0000000	Tan	+0.648	
kVA	345.4			
kVAh	0001516			

	①	②	③	- ต้องการปรับปรุงให้ PF ของ MDB ในโรงงานให้เป็น 0.90 $\sum P = 212.1 + 232.0 + 199.8 = 643.9$ kW = โหลดรวม $\sum Q = 509.4 + 481.6 + 460.2 = 1,451.2$ kVAR $\sum S = \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} = 1587.64$ kVA $\therefore$ ค่า PF ก่อนปรับปรุง = $\frac{\sum P}{\sum S} = 0.406$ = ค่า PF รวม 3 เฟส $\theta_1 = \cos^{-1} 0.406 = 66.046^\circ \rightarrow \tan \theta_1 = 2.251$ $\theta_2 = \cos^{-1} 0.900 = 25.842^\circ \rightarrow \tan \theta_2 = 0.4843$ $\therefore$ ขนาด kVAR = kW $(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 1,137.58$ kVAR (ในทางปฏิบัติอาจจัดชุดของ Cap Bank ได้เพียงค่าใกล้เคียง)
kW	+212.1	+232.0	+199.8	
Wh	0377501	0405044	0353194	
kVAR	๕509.4	๕481.6	๕460.2	
VARh	๕0919449	๕0867355	๕0831849	
	๓0000000	๓0000000	๓0000000	
kVA	551.8	534.5	501.7	
VAh	0994464	0957793	0904253	
PF	+0.384	+0.429	+0.397	
* กรณี PF ต่ำๆเช่นกรณีนี้ อาจต้องแก้ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าก่อน การต่อ C เข้าระบบ อาจทำให้เกิดเรโซแนนซ์ได้ จึงควรให้ผู้เชี่ยวชาญได้วิเคราะห์ระบบก่อน				

2.4.6 ตัวอย่างการคำนวณการลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 V ขณะ Full Load กระแส 75 A $P_f = 0.82$ Lagging ติดตั้งห่างจากแหล่งจ่าย 150 m ความต้านทานของสายไฟฟ้าเส้นละ 0.0635Ω หากมีการปรับปรุงให้มีค่า $P_f = 0.95$ แล้วการสูญเสียในสายไฟจะต่างกันอย่างไร ?

- ก่อนปรับปรุง $P_f = 0.82$ Lagging

$$\text{การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้น} = 3I^2R = 3 \times 75^2 \times 0.0635 = 1,071.56 \text{ W}$$

- หลังปรับปรุง $P_f = 0.95$ Lagging

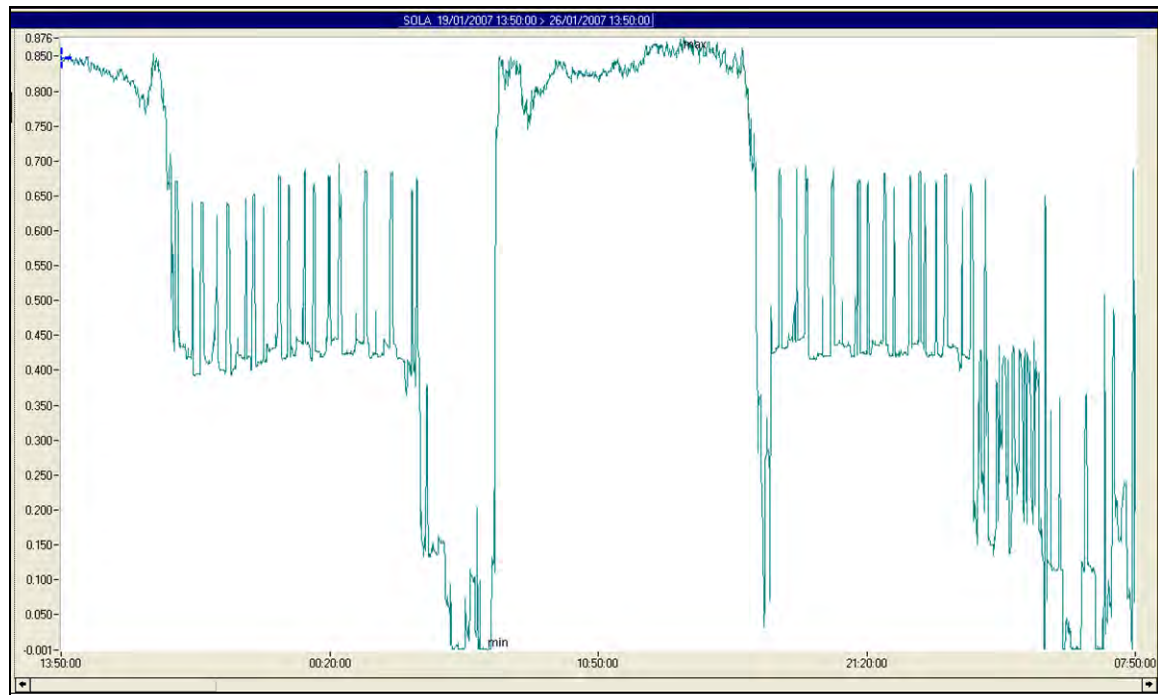
$$\text{Loss reduction} = 1 - \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}} \right)^2$$

$$\therefore \text{การสูญเสียลดลง} = 1 - \left(\frac{0.82}{0.95} \right)^2 = 0.2550 \text{ หรือ } 25.5 \%$$

ดังนั้น หลังการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้นจะลดลงได้ $= 0.2550 \times 1,071.56$ เท่ากับ 273.25 W คิดเป็นค่าประมาณ 1 ใน 4 ของการสูญเสียเดิม

2.4.7 การเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติแล้ว พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอาคารหรือโรงงานจะไม่สม่ำเสมอ มีช่วงใช้ไฟมากบ้างน้อยบ้าง มีการเปิดปิดอุปกรณ์อยู่บ่อยๆ ตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของอาคารด้วยแล้ว หากเป็นช่วงเลิกงาน การใช้ไฟฟ้าก็จะน้อยลงมาก ดังรูปที่ 2.20 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 การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ของกำลังไฟฟ้าที่เป็น kW และ kVar ในแต่ละเดือนดังรายละเอียดในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอาคารหลังหนึ่ง

การไฟฟ้านครหลวง

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3, 4 และ 5 ที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลด (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกทีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดยส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ (KVAR) ละ 14.02 บาท (เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวาร์)

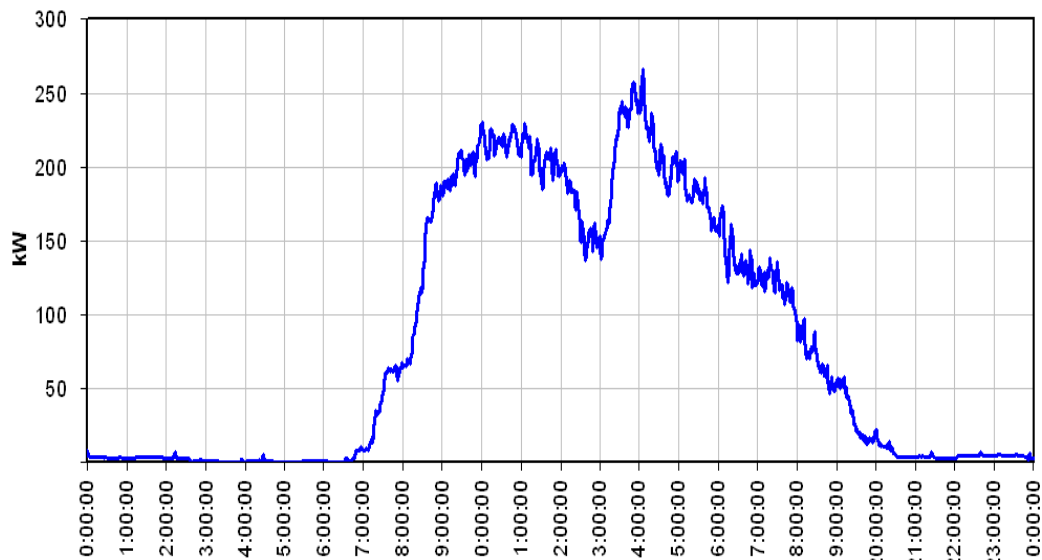
รูปที่ 2.21 ข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่แจ่มชัดในรายละเอียดของข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ในที่นี้จะขออธิบายว่าความต้องการพลังไฟฟ้าแอกติฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด คืออะไร ลองพิจารณารูปที่ 2.22 ซึ่งเป็นกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน (Daily Load Curve) มีแกนตั้งเป็น kW มีแกนนอนเป็นช่วงเวลาในรอบวัน ซึ่งต้องไม่ลืมว่ากรณีของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 4 หรือ 5 ในตารางที่ 1 นั้น นอกจากจะต้องเสียค่าพลังงาน (หน่วยใช้ไฟ) แล้ว ยังถูกเรียกเก็บค่าอื่นๆอีกด้วย หนึ่งในนั้นคือค่า ความต้องการพลังไฟฟ้าแอกติฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด หรือที่เรียกกันว่า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand) ซึ่งอาจเรียกกันอย่างย่อๆว่าค่าดีมานด์ หากพิจารณาจากกราฟแล้ว อาจอธิบายอย่างง่ายๆได้ว่า เครื่องวัดของการไฟฟ้าจะทำการเฉลี่ยกราฟนี้ทุกๆ 15 นาที ค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาเรียกว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ดังนั้นใน 1 ชั่วโมงจะมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 4 ค่า ใน 1 วันจะมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 96 ค่า ใน 1 เดือนจะมีค่าความต้องการพลังไฟฟ้ามากถึง 2,880 ค่า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาใดเป็นตัวเลขที่สูงที่สุด ก็จะถูกหยิบออกมาใช้เป็นค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของเดือนนั้นๆ สำหรับกรณีอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดจะถูกพิจารณาจากช่วงเวลาตามโครงสร้างค่าไฟฟ้า พิจารณารูปที่ 2.23 อัตราค่าไฟฟ้าของกิจการประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ หากโรงงานเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 4.1.2 แรงดัน 22-33 kV ที่มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าพิจารณาเป็น 3 ช่วงเวลาในรอบวัน ดังรูปที่ 2.24 ในกรณีนี้ เครื่องวัดของการไฟฟ้าจะบันทึกค่าความต้องการพลังไฟฟ้าแบ่งตามช่วงเวลาทั้ง 3 คือ

ช่วง Peak	: 18.30 – 21.30	3 ชั่วโมงต่อวัน มีความต้องการพลังไฟฟ้าวันละ 12 ค่า เดือนละ 360 ค่า
ช่วง Partial Peak	: 08.00 – 18.30	10.5 ชั่วโมงต่อวัน มีความต้องการพลังไฟฟ้าวันละ 42 ค่า เดือนละ 1,260 ค่า
ช่วง Off Peak	: 21.30 – 08.00	10.5 ชั่วโมงต่อวัน มีความต้องการพลังไฟฟ้าวันละ 42 ค่า เดือนละ 1,260 ค่า

เมื่อถึงรอบการจด (รอบการจดค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน) ก็จะสรุปค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละช่วงเวลาออกมา ดังรูปที่ 2.25 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าที่แสดงการจดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 3 ช่วงเวลา พร้อมๆกันนั้นตลอดช่วงเวลาในแต่ละเดือน เครื่องวัดของการไฟฟ้าก็จะบันทึกค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าในหน่วย kVar เอาไว้ด้วย เมื่อถึงรอบการจดค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน ก็จะสรุปค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar ออกมาด้วย (โดยไม่สนใจว่าเป็นช่วงเวลาใด) จากนั้น จะพิจารณาจากข้อมูลในใบแจ้งหนี้ว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kW = ? และความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar = ? แล้วนำตัวเลขทั้งสองมาคำนวณว่าจะต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์) หรือไม่ ดังแผนภูมิในรูปที่ 2.26 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kW และความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar อาจเกิดขึ้นคนละเวลากันก็ได้ ดังนั้น การเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้ จึงเป็นเพียงวิธีการในทางปฏิบัติที่อาจไม่ตรงกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจริงๆก็ได้ แต่อย่างไรก็ดี โดยหลักการแล้วหากโรงงาน หรืออาคาร มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 0.85 ตลอดเวลาแล้ว ก็ไม่น่าจะถูกเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในส่วนนี้

อนึ่ง สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ก็พิจารณาในลักษณะคล้ายๆกันนี้ แต่ต้องระวังว่าวันใดในปฏิทินที่ถือเป็นวันหยุดราชการบ้าง (ไม่นับวันหยุดชดเชย) เพราะจะนับเป็นช่วง Off Peak



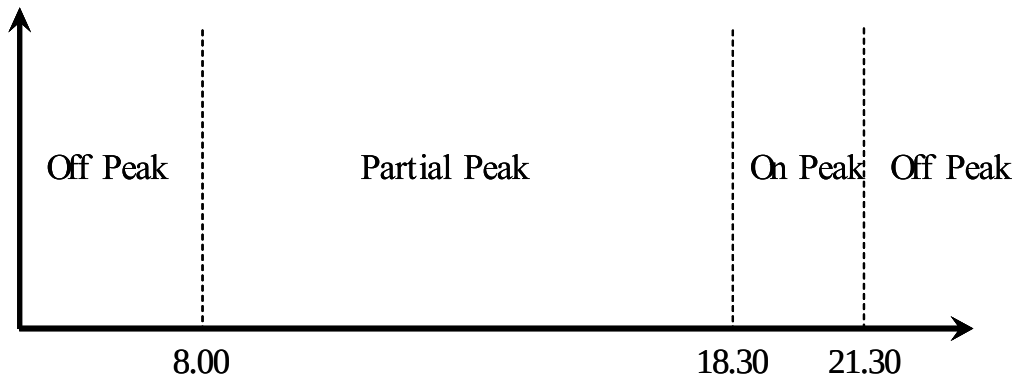
รูปที่ 2.22 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน (Daily Load Curve)

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

4.1	อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
		Peak	Partial	Off Peak	
4.1.1	แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
4.1.2	แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	285.05	58.88	0	1.7034
4.1.3	แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	332.71	68.22	0	1.7314
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	Peak	Off Peak	
4.2.1	แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
4.2.2	แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
4.2.3	แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

รูปที่ 2.23 อัตราค่าไฟฟ้าของกิจการประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่



รูปที่ 2.24 การแบ่งช่วงเวลาตามอัตรา TOD

การไฟฟ้านครหลวง

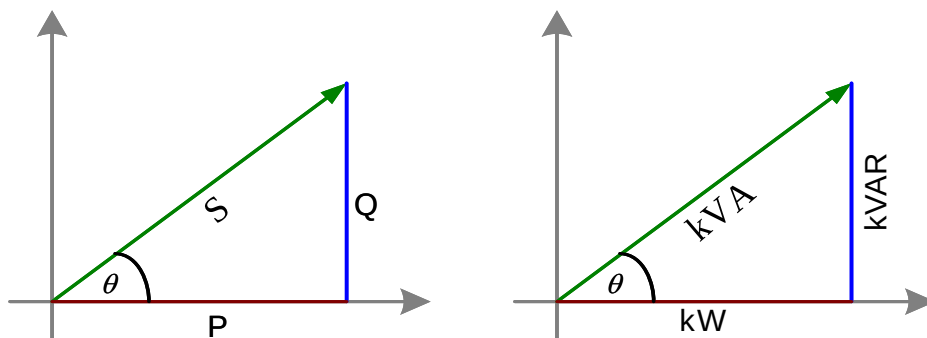
รายละเอียดเพิ่มเติม (เดือนปัจจุบัน)

**ท่านที่ประสงค์ชำระค่าตัวแทน โปรดชำระตามตัวแทนที่ระบุไว้ตามหลังทราบนึง*

ประเภท	4.1.2	ตัวคูณ	1000	อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (FV)	พ	73.42	สต./หน่วย
ค่าพลังงานไฟฟ้า			688,173.60	บาท	จำนวน	404,000	หน่วย
ค่าความตึงการส่งไฟฟ้า		On	57,865.00	บาท	จำนวน	203	กิโลวัตต์
		Pa	79,724.00	บาท	จำนวน	1,557	กิโลวัตต์
		Off		บาท	จำนวน	119	กิโลวัตต์
ค่าเช่าอุปกรณ์			4,220.00	บาท	จำนวน	1,266	กิโลวัตต์
(รวมค่าไฟฟ้า)			829,982.60	บาท			
ค่า P (เพิ่ม/ลด)		พ	296,616.80	บาท			
ค่าไฟฟ้ารวม			1,126,599.40	บาท			
ภาษีมูลค่าเพิ่ม		7%	78,861.96	บาท			
รวมเงิน			1,205,461.36	บาท			

รวมเงิน 1,205,461.36 บาท

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOD ของ กฟน.



$$\cos^{-1} 0.85 = 31.788^\circ$$

$$\tan \theta = \frac{\text{Var}}{W} \rightarrow \tan(31.788^\circ) = 0.6197$$

$$\therefore Q = 0.6197P$$

ถ้า kVAR สูงสุด > 61.97% ของ kW สูงสุด
เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่า PF
ในอัตรา kVAR ละ 14.02 บาท

รูปที่ 2.26 แผนภูมิแสดงวิธีการคำนวณค่า kVar ที่จะเรียกเก็บเงิน

จากรูปที่ 2.25 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kW = 1,557 kW

ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็น kVar = 1,266 kVar

61.97% ของ 1,557 = 964.87 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความต้องการพลังไฟฟ้า

สูงสุดที่เป็น kVar

∴ ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์) จำนวน $1,266 - 964.87 = 301$ kVar (ปิด
เศษแล้ว) คิดเป็นเงิน = $14.02 \times 301 = 4,220.02$ บาท

สำหรับรูปที่ 2.27 และ 2.28 แสดงตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟน. และ กฟภ. ที่มี
รูปแบบของรายละเอียดในใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าแตกต่างกัน

การไฟฟ้านครหลวง

รายละเอียดเพิ่มเติม (เดือนปัจจุบัน)

30159089202271237616594412121247

ประเภท 4.2.1	ตัวคูณ 1000	
ค่าพลังงานไฟฟ้า	11,670,876.80	บาท
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	855,872.00	บาท
** 61.97% of	11,544 kW **	
ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	28,825.00	บาท
ค่าบริการรายเดือน	228.17	บาท
(รวมค่าไฟฟ้าและค่าบริการ)	12,555,801.97	บาท
ค่า Ft (เพิ่ม/ลด) พ	2,952,994.40	บาท
ค่าไฟฟ้ารวม	15,508,796.37	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	1,085,615.75	บาท
รวมเงิน	16,594,412.12	บาท

อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) พ 43.28	สต./หน่วย
จำนวน 1*	2,547,000 หน่วย
จำนวน 2*	4,276,000 หน่วย
จำนวน 1*	11,544 กิโลวัตต์
จำนวน 2*	11,430 กิโลวัตต์
จำนวน	9,210 กิโลวัตต์

PF Charge

$$\begin{aligned}61.97 \% \text{ of } 11,544 &= 7,153.82 \\9,210 - 7,153.82 &= 2,056.18 \\14.02 \times 2,056 &= 28,825.12\end{aligned}$$

รวมเงิน 16,594,412.12 บาท

%% ท่านที่ประสงค์ชำระผ่านตัวแทน โปรดชำระผ่านตัวแทนที่ระบุไว้ด้านหลังเท่านั้น %%

% % ทานที่ประสงคชำระผ่านตัวแทน โปรดชำระผ่านตัวแทนที่ระบุไว้ด้านหลังเท่านั้น % %

รูปที่ 2.27 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟน.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน ... ค.ศ. 2551 ... ตามรายละเอียดดังนี้

รหัสการไฟฟ้า	หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า	รหัสเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	แรงดัน	ตัวคูณ	วันที่อ่านหน่วย
			3.2.2	22-33 KV.	800	31/08/51

	เลขอ่านครั้งหลัง	เลขอ่านครั้งก่อน	กิโลวัตต์ / หน่วย / กิโลวาร์	จำนวนเงิน (บาท)	
พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์)	P 0.481	0.332	87.20	11591.50	ค่า Ft ระบบผลิต (บาท/หน่วย) 0.6937
	OP 0.441	0.339	81.60		ค่า Ft ระบบส่ง (บาท/หน่วย) -0.0241
	H 0.429	0.322	85.60		ค่า Ft ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย) -0.0411
					รวมค่า Ft (บาท/หน่วย) 0.6285
พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	P 64.860	48.730	12904.00	34776.28	หน่วยที่คิดค่า Ft (หน่วย) 30280.00
	OP 45.570	34.580	8792.00	20701.77	รวมจำนวนเงินค่า Ft (บาท) 19030.98
	H 38.000	27.270	8584.00		
ค่าบริการ	228.17	0.00	228.17		จำนวนเงิน (บาท) 67297.72
ตัวคูณ KVAR 800					ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft 86328.70
กิโลวาร์	0.384	0.237	117.60	897.28	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 897.28
					รวมเงินค่าไฟฟ้า 87225.98
					ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % 6105.82
					รวมเงินที่ต้องชำระ ๙๓๓๘๑.๘๐

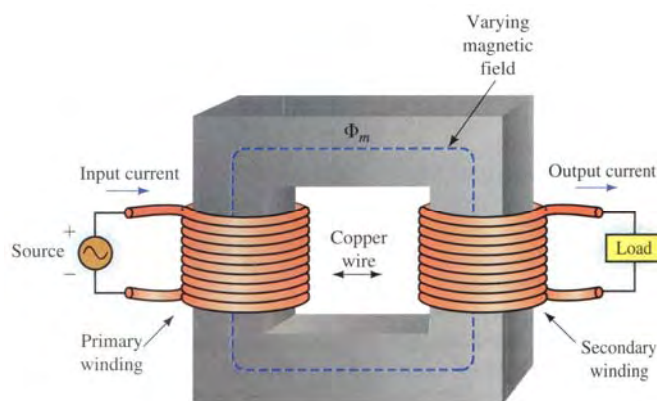
	ระบบผลิต (บาท)	ระบบส่ง (บาท)	ระบบจำหน่าย (บาท)
ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด	46370.41	9107.64	11591.50
ค่าพลังงานไฟฟ้า	21005.24	-729.75	-1244.51

61.97% of 87.2 kW = 54.04 kW
117.60 - 54.04 = 63.56 → 64 kVAR
64 x 14.02 = 897.28 Baht

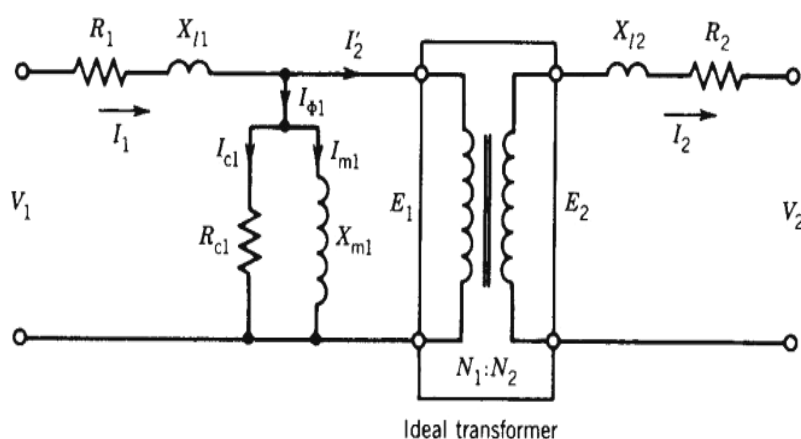
รูปที่ 2.28 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ของ กฟภ.

2.5 การลดความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ แปลงแรงดัน และแยกวงจร 2 ฟังออกจากกันทางไฟฟ้า หม้อแปลงไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แต่เป็นตัวส่งผ่านพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิ (Primary) ไปยังฝั่งทุติยภูมิ (Secondary) โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างแม่เหล็กกับไฟฟ้า จากรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าขดลวดทั้ง 2 ฟัง ไม่ได้ต่อกันทางไฟฟ้าแต่อย่างใด การที่ฝั่งทุติยภูมิสามารถจ่ายไฟได้ เพราะพลังงานจากฝั่งปฐมภูมิจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมินั่นเอง ขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (แรงดันไฟฟ้า) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พันบนแกนเหล็กเป็นสำคัญ ในการนี้จะพบว่า หม้อแปลงในทางปฏิบัติมีความแตกต่างไปจากหม้อแปลงในทางอุดมคติ เพราะมีความต้านทานในขดลวด ทำให้เกิดการสูญเสียในลวดตัวนำได้ และยังเกิดการสูญเสียขึ้นในแกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุอีกด้วย โดยมีวงจรสมมูลที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2.30 ซึ่งมีความซับซ้อนที่จะอธิบาย จึงขออธิบายเพียงเนื้อหาที่ควรทราบพอสังเขปเท่านั้น



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า



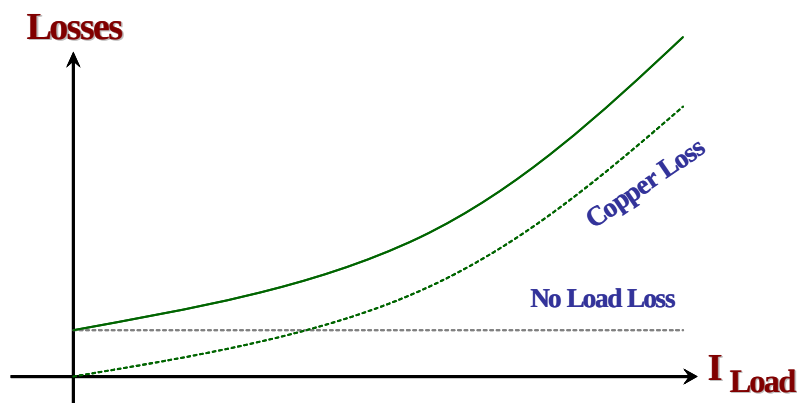
รูปที่ 2.30 แสดงวงจรสมมูลของหม้อแปลง

ในทางปฏิบัติหม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังงานสูญเสีย 2 ลักษณะ คือ

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

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

หากพิจารณาจากรูปที่ 2.31 จะเห็นว่าการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะสามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นประ และมีการสูญเสียรวมดังเส้นทึบ จะเห็นว่าแม้ไม่มีการจ่ายโหลดเลย แต่ก็ยังคงมีการสูญเสียในหม้อแปลงเสมอ



รูปที่ 2.31 แสดงลักษณะการสูญเสียในหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้ามีพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็น kVA โดยทั่วไปประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลดประมาณ 60-75% ของพิกัด ถ้าหากใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงบ้าง โดยทั่วไปนิยมใช้หม้อแปลง 2 ตัว แบ่งภาระการจ่ายโหลด โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดประมาณ 75% ในทางปฏิบัติแล้ว มีหลายกรณีที่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เกินภาระการใช้งานจริง จึงทำให้เกิดการสูญเสียมาก จึงควรจะมีระยะว่างการใช้หม้อแปลงในลักษณะนี้ พิจารณาตารางที่ 2.6 และ 2.7 แสดงค่าการสูญเสียของหม้อแปลงสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 22 kV และ 33 kV ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพิกัดของหม้อแปลงยิ่งมาก การสูญเสีย No Load Loss ก็ยิ่งมาก ดังนั้น หากมีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารหรือโรงงาน ตลอดจนมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยลดกระแสที่หม้อแปลงต้องจ่ายได้ ถือเป็นการลดการสูญเสีย Copper Loss ได้อีกทางหนึ่งด้วย

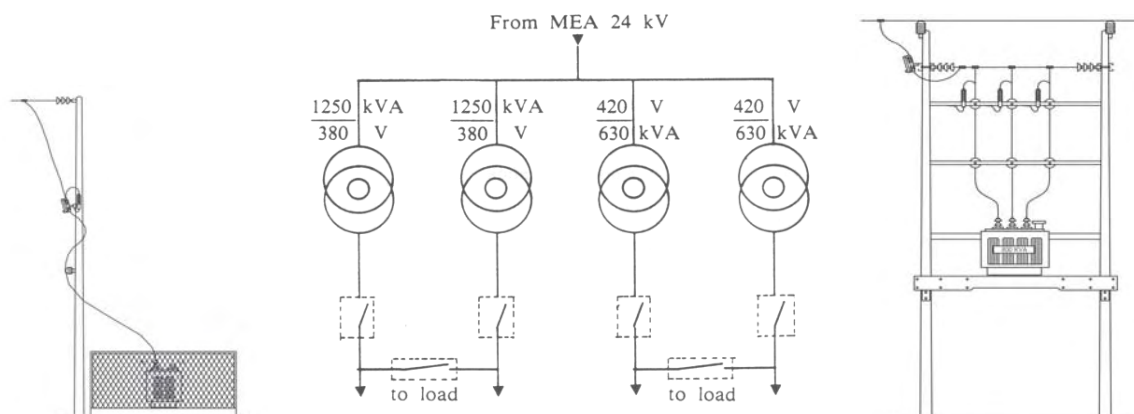
พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 2.32 แสดงผลการตรวจวัดเพื่อลดการใช้หม้อแปลง จะพบว่าหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายโหลดน้อยมาก โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายโหลดไม่เกิน 20 % หากพิจารณารวมโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน และรวมโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน ก็จะสามารถปลดหม้อแปลงได้ 2 ตัว เป็นการใช้งานหม้อแปลงให้มีจุดทำงานที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และลดการสูญเสียโดยไม่จำเป็น

ตารางที่ 2.6 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 2.7 ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงรุ่นหนึ่งสำหรับรับไฟฟ้าแรงสูง 33 kV ของผู้ผลิตรายหนึ่ง

• Rated Primary Voltage : 33 kV. Secondary Voltage : 433/250 V., 400/230 V.									(ON LOAD TAP CHANGER) HERMETICALLY SEALED				
• Rated Primary Voltage : 33 kV. Secondary Voltage : 3.3 kV., 6.6 kV., 11 kV., (2000 kVA. - 5000 kVA.)									Page 4 of 6				
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



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 2.32 ผลการตรวจวัดเพื่อลดการใช้หม้อแปลง

หาต้องการหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

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

ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ Copper Loss = Iron Loss

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

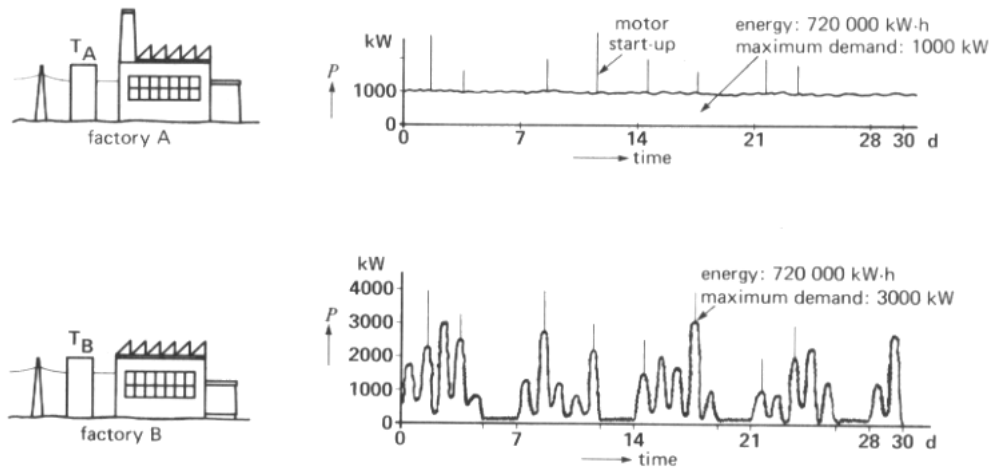
อนึ่ง โดยปกติแรงดันของระบบไฟฟ้าจำหน่ายในรอบวันอาจจะไม่คงที่นัก เพราะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบไม่ได้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งทางฝั่งระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ก็มีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่อาจจะไม่คงที่เช่นกัน เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดใช้งานอาจจะมีค่าแรงดันใช้งานไม่ตรงกับค่าในทางทฤษฎี ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว วิศวกรไฟฟ้าจะออกแบบให้ระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าแรงดันใช้งานในทางทฤษฎี เพื่อต้องการเผื่อแรงดันตกในสายไฟในช่วงที่มีการใช้กระแสมาๆด้วย ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมานี้ ทำให้ผลการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคารมักจะพบว่า บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปมาก บ้างก็มีแรงดันเกินแรงดันใช้งานไปน้อย และมีในบางกรณีที่มีแรงดันใช้งานใกล้เคียงกับแรงดันใช้งาน

สำหรับระบบไฟฟ้าของประเทศไทยนั้น ค่าแรงดันใช้งานตามปกติ (ตามทฤษฎี) คือ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 380 V และระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีค่าแรงดันใช้งานอยู่ที่ 220 V ในกรณีที่ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งปลายสายไฟ หรือตำแหน่งที่ห่างจากตู้ควบคุมไฟฟ้ามากๆ แล้วพบว่า แรงดันเกินแรงดันไปจากแรงดันใช้งานมาก อาจมีผลให้อุปกรณ์บางชนิดใช้ไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย ที่เห็นได้ชัดได้แก่หลอดไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามากพอสมควร และมีอุปกรณ์อีกหลายประเภทเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับสูงขึ้น ก็อาจใช้ไฟฟ้ามากขึ้นบ้างเล็กน้อย ทำให้โดยภาพรวม ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าในระบบเกินไปจากค่าแรงดันใช้งานมาก การสูญเสียในระบบก็จะมีค่ามากขึ้นไปด้วย เป็นผลให้มีการสูญเสียในสายและในหม้อแปลงมากขึ้นอีกด้วย

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

2.6 การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และการบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

เนื่องจากค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่ได้กล่าวถึงมาแล้วก่อนหน้านี้ เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่ต้องการจะลดเป็นอย่างมาก ดังนั้น ในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าจึงควรสังเกตพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไว้เป็นสำคัญ โดยเครื่องมือที่ดีในการประกอบการพิจารณา คือ กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นรายสัปดาห์ (Weekly Load Curve) เพื่อจะได้ทราบว่าช่วงเวลาใด เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูงและควรหลีกเลี่ยงการใช้งานอุปกรณ์พร้อมๆ กัน นอกจากนี้ ยังทำให้ทราบอีกว่าวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นเช่นไร เมื่อพิจารณาประกอบกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าแล้ว จะได้ทราบว่าในช่วงเวลาใดความต้องการพลังไฟฟ้าแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยงเสีย (สำหรับอัตรา TOD) หรือ ในช่วงเวลาใดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยแพง จะได้ทำการหลีกเลี่ยง (สำหรับอัตรา TOU) ดังนั้น หากทราบโครงสร้างค่าไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารที่รับผิดชอบ และมีกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแล้ว ก็จะช่วยให้การวางแผนลดค่าไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ



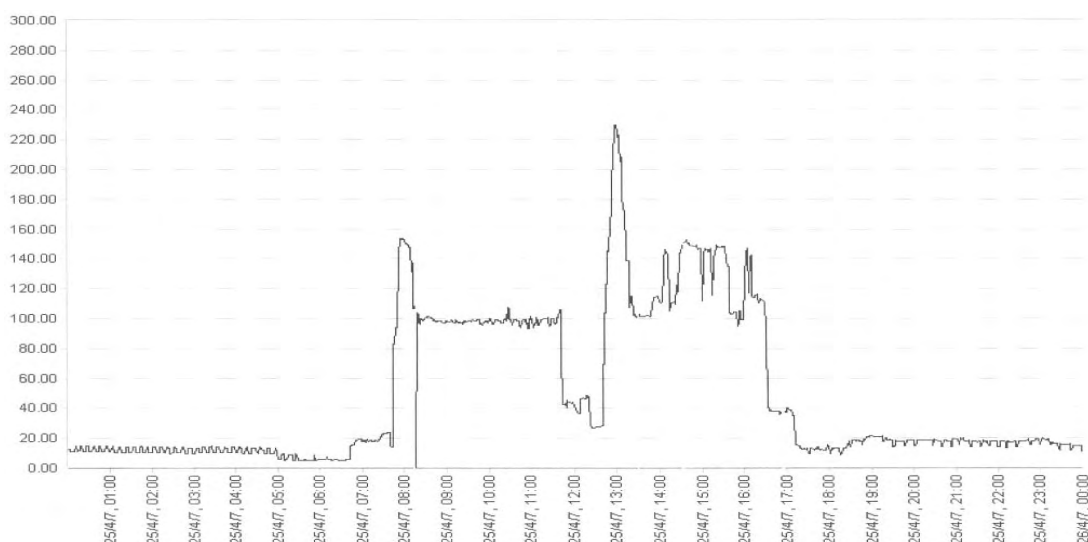
รูปที่ 2.33 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของโรงงาน 2 กรณี

พิจารณารูปที่ 2.33 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 ค่าไฟฟ้าก็จะลดลงเพราะค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลง แต่ถือว่าไม่มีการอนุรักษ์พลังงานเกิดขึ้น เพราะหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ยังคงเท่าเดิม

ลองพิจารณาผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU รายหนึ่ง จากอัตราค่าไฟฟ้าในรูปที่ 2.34 จะเห็นว่าค่าไฟฟ้าในช่วง Peak (09.00 – 22.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เว้นวันหยุดราชการ ไม่นับวันหยุดชดเชย) แพงกว่าช่วง Off Peak (ช่วงเวลาที่นอกเหนือจาก Peak) กว่า 2 เท่า โดยเสียค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะช่วง Peak เท่านั้น

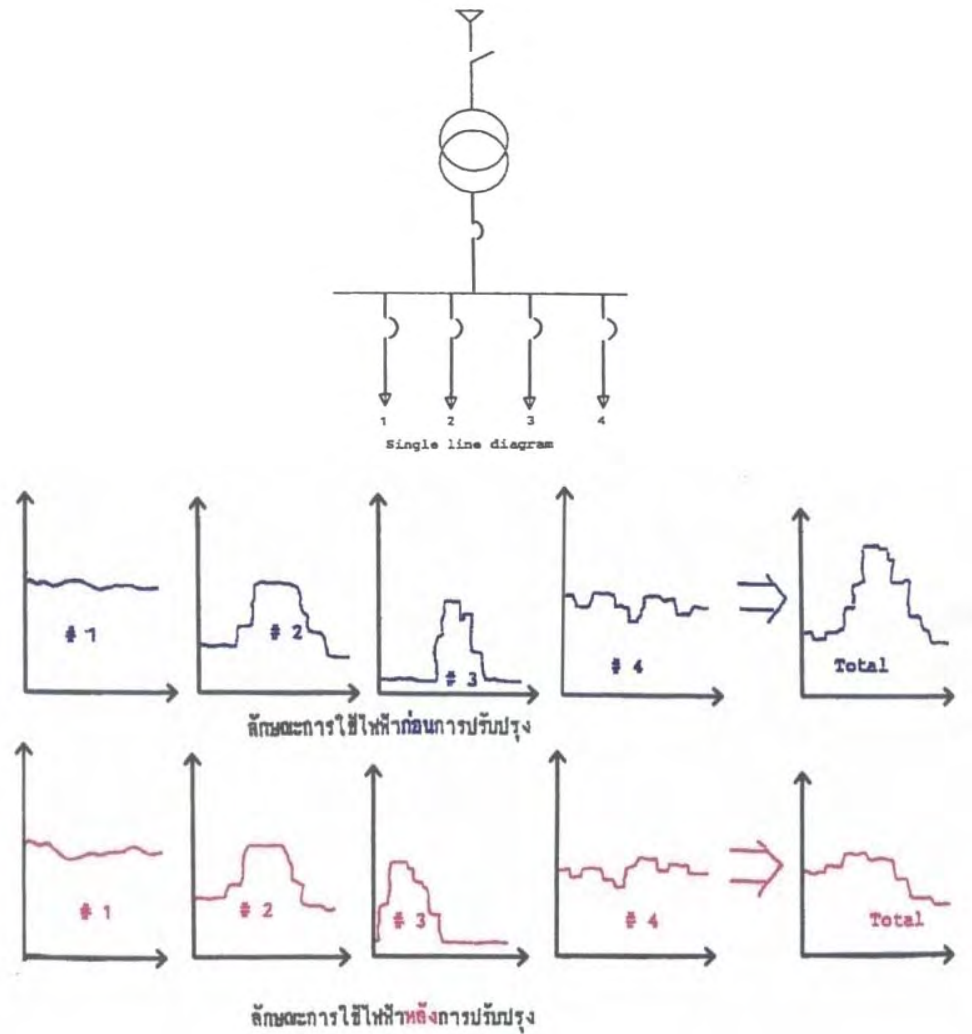


รูปที่ 2.34 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารายวันของโรงงานแห่งหนึ่ง

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 ในทำนองเดียวกันอาคารสำนักงานของส่วนราชการ จะบริหารพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สม่ำเสมอได้ยากกว่าอาคารธุรกิจหรือโรงพยาบาลที่มีชั่วโมงการทำงานต่อวันที่มากกว่า

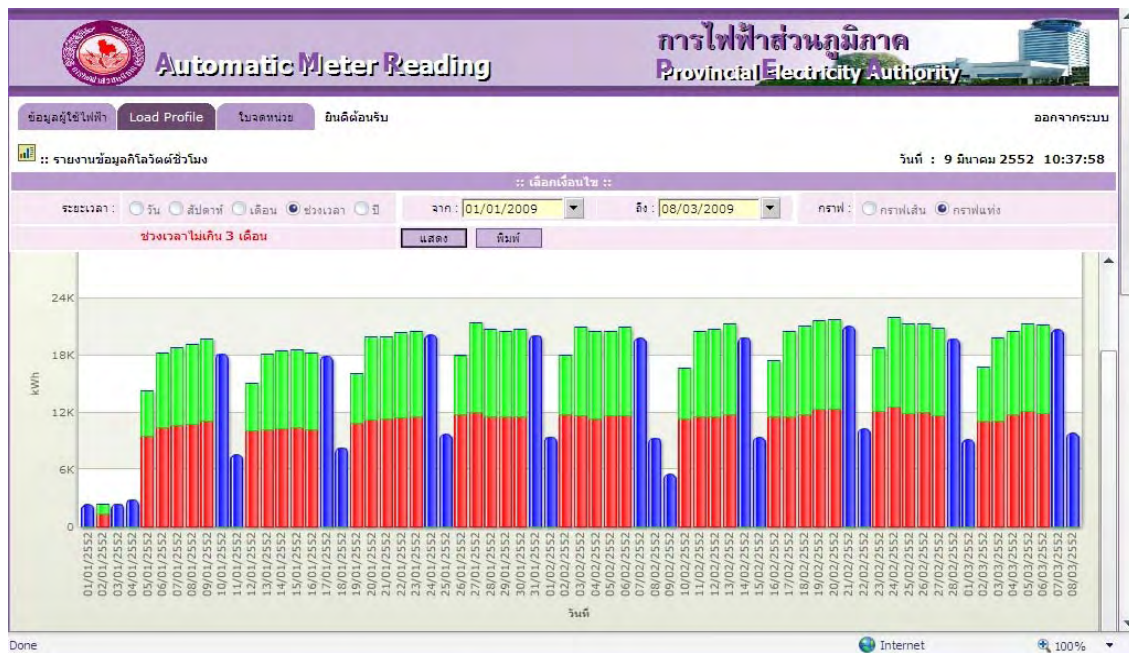
หมายเหตุ ผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้พิจารณาความคุ้มค่าในการจ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดจากค่า Load Factor (ค่าเฉลี่ยต่อค่าสูงสุด) ว่ามีค่าเท่าใด หากมีค่าตั้งแต่ 0.9 ขึ้นไป ถือว่าคุ้มค่าที่จะใช้อัตรา TOU

ในกรณีของโรงงานขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งเครื่องวัดคอยเฝ้าดูการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตย่อยหรือโรงงานย่อย และสามารถทราบกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ อาจจะบริหารการใช้ไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.35 โดยกราฟทางขวาคือกราฟแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบวัน ซึ่งได้มาจากการเอกราฟของโรงงานย่อยทั้ง 4 บวกกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าสูง เมื่อทำการบริหารระบบ โดยมีการย้ายเวลาการทำงานของโรงงานย่อยที่ 3 (ถือว่ามีการใช้ไฟฟ้าเท่าเดิมและเหมือนเดิม) ให้ทำงานเร็วขึ้นจะพบว่าหลังการปรับปรุงการทำงานกราฟทางขวามีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด

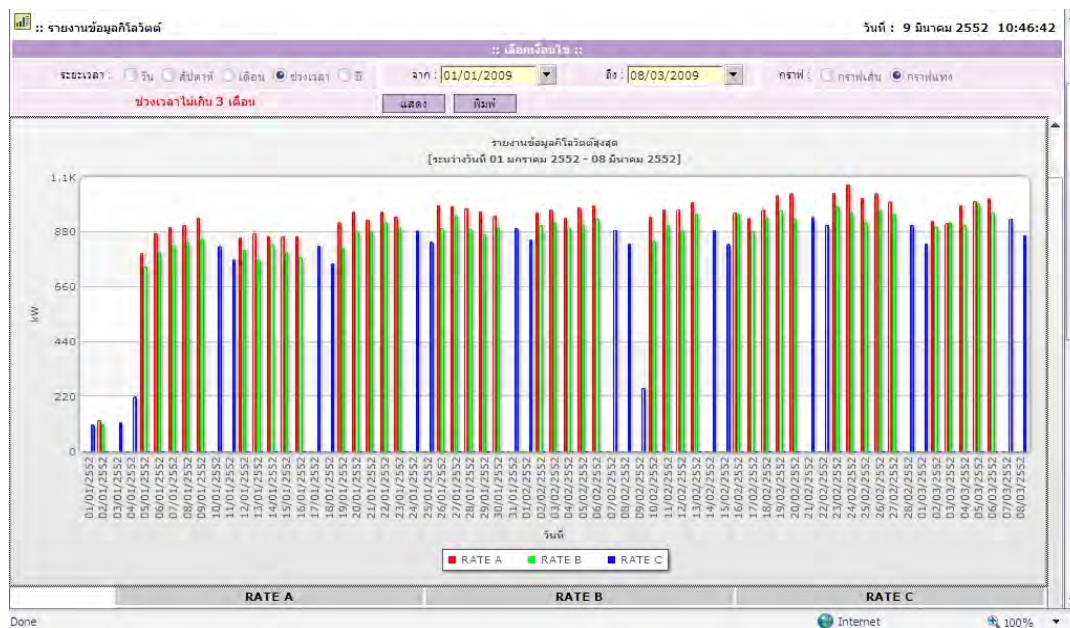


รูปที่ 2.35 แสดงการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการย้ายเวลาการทำงาน

ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปัจจุบัน กรณีของผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ ทางการไฟฟ้าได้เริ่มโครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ หรือระบบ Automatic Meter Reading (AMR) โดยการไฟฟ้าเป็นผู้ลงทุนติดตั้งเครื่องวัดให้ แล้วมีการส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าผ่านระบบ GPRS หรือ GSM เข้าไปยังศูนย์ข้อมูลของการไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าไปดูข้อมูลประวัติการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้ทางเว็บไซต์ตลอดเวลา โดยมีการปรับปรุงข้อมูลอย่างต่อเนื่อง (Real Time) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.36 และ 2.37 ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าได้พอสมควร โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ต้องลงทุน



รูปที่ 2.36 แสดงหน่วยใช้ไฟฟ้า (kWh) ผ่านระบบ AMR ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง

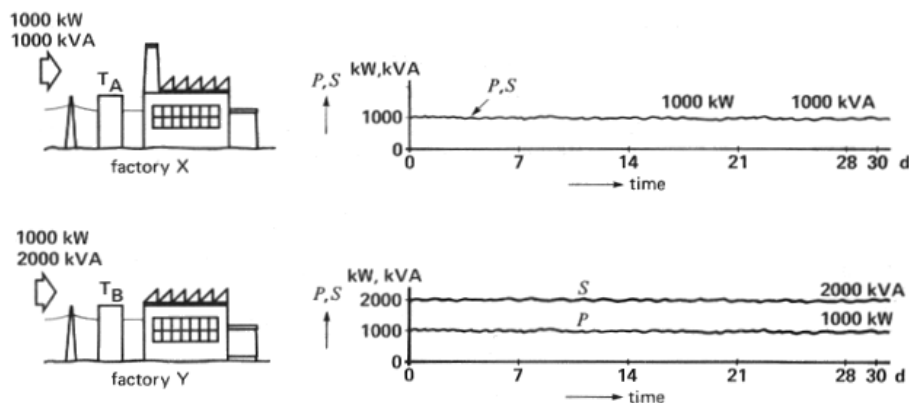


รูปที่ 2.37 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดผ่านระบบ AMR ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง

จากรูปที่ 2.36 จะเห็นว่าการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุด (วันอาทิตย์) หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลงต่ำกว่าปกติ หากโรงงานแห่งนี้ต้องการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบ TOU ก็อาจจะพิจารณาลดการทำงานในช่วง Peak เพื่อมาเพิ่มการทำงานในวันอาทิตย์แทน เพื่อลดค่าใช้จ่ายลง เพราะช่วง Off Peak ค่าไฟถูกกว่าในช่วง Peak มาก นี่ก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งที่กระทำได้

จะเห็นได้ว่า หากมีข้อมูลที่เพียงพอ การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าก็สามารถพิจารณาได้อย่างมีตรรกะที่ชัดเจน แต่ก็ควรมีข้อมูลที่มากเพียงพอที่จะยืนยันแนวความคิดใหม่ๆ ได้

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

การทำกิจกรรมมีทั้งมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนและมาตรการที่ต้องลงทุน และในแต่ละมาตรการมีกิจกรรมหรือทางเลือกในการอนุรักษ์พลังงานมากมาย ดังนั้นเพื่อให้ สามารถคัดเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมและได้ประสิทธิผลมากที่สุดจำเป็นต้องมีการศึกษาและพิจารณาความเป็นไปได้และศักยภาพในการดำเนินกิจกรรมโดยพิจารณาจาก

- ผลการประหยัดพลังงาน กิจกรรมที่มีการประหยัดพลังงานมากจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่ากิจกรรมที่ประหยัดพลังงานได้น้อยกว่า
- เงินลงทุนที่ใช้ กิจกรรมใดที่มีเงินลงทุนต่ำหรือไม่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุน แต่มีผลการประหยัดพลังงานมากถือเป็น มาตรการที่มีความน่าสนใจที่จะดำเนินการมาก
- ระยะเวลาคืนทุนและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ กิจกรรมใดที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานถือเป็นมาตรการที่น่าสนใจ เนื่องจากหลังจากที่คืนทุนแล้วผลการประหยัดพลังงานที่ได้คือกำไร
- ระยะเวลาในการดำเนินการ กิจกรรมที่ดำเนินการง่ายและใช้ระยะเวลาน้อยอีกทั้งไม่กระทบกับกระบวนการผลิตของโรงงานจัดเป็นมาตรการที่น่าสนใจ
- กำลังคนที่ต้องใช้ กิจกรรมที่ต้องใช้คนมากมักจะเป็นกิจกรรมที่ยุ่งยาก

การกำหนดว่ากิจกรรมใดหรือทางเลือกใดควรดำเนินการก่อนหลัง ควรประเมินดังนี้

- การประเมินเบื้องต้น สามารถทำให้เห็นลักษณะความซับซ้อน และศักยภาพเบื้องต้นของแต่ละกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมที่เปลี่ยนวิธีทำงานได้ง่าย ลงทุนต่ำและส่งผลกระทบต่อด้านอื่นๆ ต่ำ สามารถลงมือปฏิบัติได้ในทันทีและอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาประเมินละเอียดในขั้นต่อไป ควรได้รับการพิจารณาเป็นระดับต้น ตัวอย่างได้แก่ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและการฝึกอบรมให้แก่พนักงาน
- การประเมินทางเทคนิค สามารถทำการประเมินโดยการทดลองจริงในบางส่วนของการผลิตหรือศึกษาจากมาตรการที่ประสบความสำเร็จแล้วจากบริษัทอื่นหรือความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ
- การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ควรพิจารณาข้อเสนอหรือกิจกรรมที่ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าการลงทุนมากที่สุดและมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

วิธีการประเมินแบบง่ายและเป็นที่ยอมรับคือการประเมินจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

2.8 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1 : การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการแห่งหนึ่ง มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ลูก คือ MDB 1 และ MDB 2 ทางด้านทฤษฎีของหม้อแปลงมีค่าแรงดันไฟฟ้า 403 V และมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ค่อนข้างต่ำ คือที่ MDB 1 มีค่า 0.81 และ MDB 2 มีค่า 0.78 จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน มีค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 1,100 kW

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ตู้ MDB เสีย ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ เกิด Copper loss ในหม้อแปลงไฟฟ้า จึงต้องมีการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จาก 0.81 และ 0.78 ให้สูงขึ้น โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุใหม่ (Capacitor) ที่ Load Center ของ MDB 1 และ MDB 2 จะทำให้กระแสไฟฟ้าและ Copper loss ของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

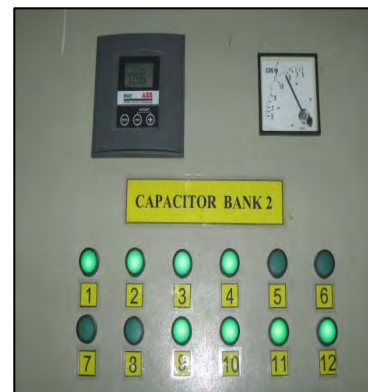
ติดตั้ง Capacitor ที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก 0.81 และ 0.78 ให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่า 0.85

ก่อนปรับปรุง



สภาพหลังปรับปรุง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตู้ MDB 1 และ MDB 2 มีค่าเท่ากับ 0.90 และ 0.96 ตามลำดับ ทำให้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลดลง



หลังปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	เดือนธันวาคม พ.ศ. 2550		
เงินลงทุน	240,000.00	บาท	
พลังงานที่ประหยัดได้	91,584.00	kWh/ปี	คิดเป็น 0.0078 ktoe/ปี
ผลประโยชน์ที่ได้	262,846.08	บาท/ปี	
ระยะเวลาคืนทุน	0.91	ปี	

ข้อเสนอแนะ

ทางบริษัทควรตรวจสอบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อย่างสม่ำเสมอ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.85 ให้รีบดำเนินการแก้ไขทันที

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตู้ MDB 1

$$\begin{aligned}\text{เปอร์เซ็นต์การประหยัด} &= [1 - (PF_{\text{เดิม}} / PF_{\text{ใหม่}})^2] \times 100 \\ &= [1 - (0.81 / 0.90)^2] \times 100\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นสามารถลด Copper loss ลงมาได้} = 19 \%$$

หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่ Copper loss เท่ากับ 24 kW

ดังนั้น ถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้

$$\begin{aligned}\text{พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= 24 \times 0.19 \quad \text{kW} \\ &= 4.56 \quad \text{kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด} &= \text{kW}_{\text{ที่ประหยัด}} \times \text{ชั่วโมงทำงานต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี} \\ &= 4.56 \times 24 \times 300 \quad \text{kWh/ปี} \\ &= 32,832 \quad \text{kWh/ปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จำนวนเงินที่ประหยัด} &= 32,832.00 \times 2.87 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 94,227.84 \quad \text{บาท/ปี}\end{aligned}$$

ตู้ MDB 2

$$\begin{aligned}\text{เปอร์เซ็นต์การประหยัด} &= [1 - (PF_{\text{เดิม}} / PF_{\text{ใหม่}})^2] \times 100 \\ &= [1 - (0.78 / 0.96)^2] \times 100 \\ &= 34 \%\end{aligned}$$

หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีการสูญเสียที่ Copper loss เท่ากับ 24 kW

ดังนั้น ถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์แล้วจะประหยัดได้

$$\begin{aligned}\text{พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= 24 \times 0.34 \quad \text{kW} \\ &= 8.16 \quad \text{kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด} &= \text{kW}_{\text{ที่ประหยัด}} \times \text{ชั่วโมงทำงานต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี} \\ &= 8.16 \times 24 \times 300 \quad \text{kWh/ปี} \\ &= 58,752 \quad \text{kWh/ปี}\end{aligned}$$

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

การลงทุน

ตู้ MDB 1

1. ก่อนปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.81

$$\cos \theta_1 = 0.81^\circ \quad \theta_1 = 35.90^\circ$$

2. หลังปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.95

$$\cos \theta_2 = 0.90^\circ \quad \theta_2 = 25.84^\circ$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ ขนาดของ Capacitor} &= \text{ภาระไฟฟ้าจริง} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= \text{kW} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= 1,100 \times (\tan 35.90^\circ - \tan 25.84^\circ) \\
 &= 263.56 \quad \text{kVar}
 \end{aligned}$$

ตู้ MDB 2

1. ก่อนปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.78

$$\cos \theta_1 = 0.78^\circ \quad \theta_1 = 38.74^\circ$$

2. หลังปรับปรุง ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.96

$$\cos \theta_2 = 0.96^\circ \quad \theta_2 = 16.26^\circ$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ ขนาดของ Capacitor} &= \text{ภาระไฟฟ้าจริง} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= \text{kW} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\
 &= 1,100 \times (\tan 38.74^\circ - \tan 16.26^\circ) \\
 &= 561.70 \quad \text{kVar}
 \end{aligned}$$

ตู้ MDB 1 ติดตั้ง Capacitor 600 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 12 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท รวมเป็นเงิน 160,000 บาท

ตู้ MDB 2 ติดตั้ง Capacitor 600 kVar ขนาด 50 kVar จำนวน 6 ตัว ราคาตัวละ 13,333 บาท รวมเป็นเงิน 80,000 บาท

รวมเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น 240,000 บาท

กรณีศึกษาที่ 2 ปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้า

สถานประกอบการแห่งหนึ่ง ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2000 kVA จำนวน 3 ชุด ใช้งาน 11 ชั่วโมง ต่อวัน 300 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าปลายทางของหม้อแปลงไฟฟ้า (หลังจากรวมโหลดแล้ว) พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าเท่ากันทั้งสองชุดที่ 398 Volts โดยที่วัดแรงดันต้นทางได้ 406 Volts



แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง Core loss ในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าจะสูงตาม ถ้าสามารถลดแรงดันที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าลง 1 Tap (เท่ากับ 10 Volts) จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้

สภาพหลังปรับปรุง



ระยะเวลาดำเนินงาน : ทุกๆ วัน

ผลประหยัดที่ได้ : 6,434.83 บาท/ปี คิดเป็น 0.00018 ktoe/ปี

ไม่ต้องใช้เงินลงทุน และ ระยะเวลาคืนทุนทันที

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{Core loss TR1 และ TR3 ลดลง} &= 2.378 \times [(406/396)^2 - 1] \times 24 \times 365 \times 2 \\
 &= 2,130.74 \text{ kWh/ปี} \\
 \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 2,130.74 \times 3.02 \\
 &= 6,434.83 \text{ บาท/ปี} \\
 \text{ค่า ktoe ที่ลดลง} &= 2,130.74 \times 85.21 \times 10^{-9} \\
 &= 0.00018 \text{ ktoe/y}
 \end{aligned}$$

กรณีศึกษาที่ 3 : ปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งาน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้พลังงาน

สถานประกอบการแห่งหนึ่งมีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด 7 ลูก พิกัดติดตั้งรวม 4,600 kVA สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตของโรงงาน

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA จำนวน 3 ลูก ซึ่งแยกจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เครื่องผสมยาง 3 ชุด ซึ่งปัจจุบันเครื่องผสมยางได้ชำรุดไป 1 ชุด และต้องใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมค่อนข้างนานมาก ซึ่งส่งผลทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้จ่ายโหลดไป 1 ลูก เช่นกัน แต่ยังคงเกิดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงตลอดเวลา

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

เนื่องจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าโดยที่ไม่ได้จ่ายโหลด เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในรูปของความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง (No Load Loss; Core Loss) ดังนั้น หากสามารถทำการปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงดังกล่าวได้ ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้อีกหนทางหนึ่งเช่นกัน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. ตรวจสอบแผนผังระบบไฟฟ้า (Single Line Diagram) ของโรงงาน เพื่อศึกษาการทำงานจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละลูก

2. ดำเนินการปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก

3. วิเคราะห์ผลประโยชน์ที่ได้

สภาพหลังปรับปรุง

หลังการดำเนินการปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงขนาด 500 kVA ที่ไม่ได้ใช้งานในการจ่ายโหลดให้แก่เครื่องจักรแล้ว ทำให้สามารถลดความสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงลูกดังกล่าวได้

การปลดไฟด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งาน

ระยะเวลาดำเนินการ 2 สัปดาห์

ผลประโยชน์ที่ได้ 32,473.32 บาท/ปี คิดเป็น 0.00082 ktoe/ปี

ไม่ต้องใช้เงินลงทุน ระยะเวลาคืนทุนทันที

ข้อเสนอแนะ

ควรมีแผนการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของโรงงานอย่างสม่ำเสมอ และอาจต้องจัดทำระบบการตรวจเช็คสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าชุดที่ปลดด้านแรงสูงออก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวหม้อแปลงเมื่อไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ข้อมูลเบื้องต้น

พิกัดติดตั้งของหม้อแปลง = 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

ก่อนปรับปรุง

$$\begin{aligned}\text{ค่าความสูญเสีย Core Loss ในหม้อแปลง} &= \text{Core loss rated} \times \text{ชั่วโมงใช้งานหม้อแปลง} \\ &= 1.1 \times 24 \times 365 \\ &= 9,636 \quad \text{kWh/ปี}\end{aligned}$$

หลังปรับปรุง : ปลด Drop-out Fuse ด้านแรงสูงของหม้อแปลงที่ไม่ได้ใช้งานออก

$$\begin{aligned}\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง} &= 1.10 \quad \text{kW} \\ \text{พลังงานไฟฟ้าลดลง} &= 9,636 \quad \text{kWh/ปี}\end{aligned}$$

ผลการประหยัด

$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= 9,636 \quad \text{kWh/ปี} \\ &= 0.00082 \quad \text{ktoe/ปี} \\ \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 9,636 \times 3.37 = 32,473.32 \quad \text{บาท/ปี}\end{aligned}$$

การวิเคราะห์ทางการเงิน

ไม่ต้องใช้เงินลงทุน สามารถดำเนินการได้เลย ระยะเวลาคืนทุนทันที

บทสรุป

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้นต้องเสียค่าไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ถูกเรียกเก็บในแต่ละเดือนจะประกอบไปด้วยค่าไฟฟ้าหลายส่วน ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายต้องเสียค่าไฟฟ้าครบทุกส่วน แต่ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายอาจเสียค่าไฟฟ้าเพียงบางส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้ามีทั้งหมด 6 ส่วน ประกอบด้วยค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) ค่าปรับราคาค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (ค่า Ft) ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor Charge) ค่าบริการ (Service Charge) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) นอกจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว การควบคุมหรือปรับปรุงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ จะช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก

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] Technical Data บ.เจริญชัยหม้อแปลง จำกัด
<http://www.charoenchai.com/technical.htm>