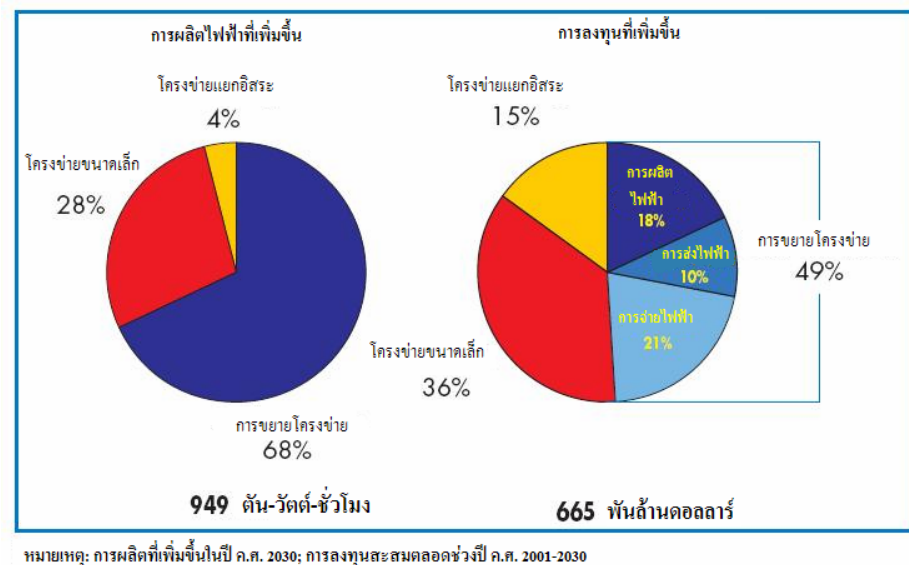


ไฟฟ้า

1. ภาพของพลังงานในอนาคต	1
2. การผลิตและการจ่ายไฟฟ้า.....	2
3. เฟสของไฟฟ้า	4
4. กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน	5
5. การปรับแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....	5
6. การบริหารปริมาณการใช้ไฟฟ้า	8
7. กลไกการจัดเก็บค่าไฟฟ้า.....	9
8. หม้อแปลงไฟฟ้า.....	11
9. สูตรการคำนวณเกี่ยวกับไฟฟ้า	13
10. เอกสารอ้างอิง.....	15

1. ภาพของพลังงานในอนาคต

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อหัวมักจะถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้การพัฒนารวมของประเทศ ในประเทศกำลังพัฒนา ภาคอุตสาหกรรม เป็นผู้บริโภคน้ำมันรายใหญ่ที่สุดและประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของประชากรก็ยังไม่ใช้ไฟฟ้าใช้



รูปที่ 1: การผลิตและการลงทุนที่เพิ่มขึ้นภายในปี ค.ศ. 2030 (International Energy Agency, 2004)

หน่วยงานพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ได้ทำนายภาพต่างๆ ในปี ค.ศ 2030 .ดังนี้ (IEA, 2004)

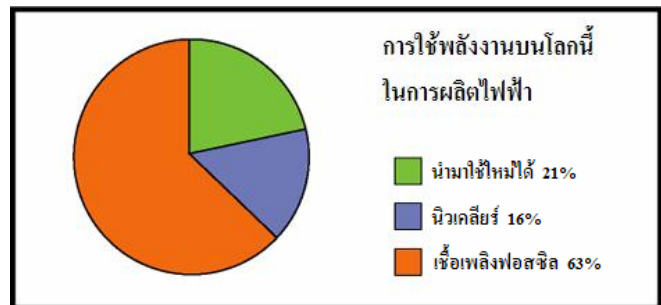
- จำนวนประชากรที่มีไฟฟ้าใช้จะเพิ่มขึ้นเป็น 78% โดยมีอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อหัวเท่ากับ 2,136 กิโลวัตต์ชั่วโมง
- ประชากรจำนวน 1.4 พันล้านคนจะยังไม่มีไฟฟ้าใช้ และจำเป็นต้องลงทุนเพิ่มอีก 665 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อให้มีไฟฟ้าใช้ได้ครบ 100% รูปที่ 1 (โดยมีค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 526 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อหัว ในอันดับแรกแต่ละคนที่มีไฟฟ้าใช้นั้นจะใช้ไฟฟ้าเพียงเพื่อเป็นการทดแทนการใช้เชื้อเพลิงทั่วไป) ก๊าซหุงต้ม น้ำมันก๊าด (ซึ่งได้ใช้อยู่แล้วสำหรับความต้องการพื้นฐาน ส่วนที่ต้องเพิ่มเข้ามาใหม่ส่วนใหญ่จะอยู่ในแอฟริกา 437 TWh), และเอเชียใต้ (377 TWh) หรือเป็นสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 25% และ 18% ตามลำดับ

IEA ยังแนะนำอีกว่า ให้ปฏิบัติตามสิ่งต่อไปนี้เพื่อให้มีการใช้กันอย่างทั่วถึง (IEA, 2004)

- การสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ หรือการปรับปรุงโรงไฟฟ้าปัจจุบันให้มีความทันสมัย ตลอดจนพัฒนาระบบการจ่ายและจัดส่งไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน
- การจัดการความต้องการใช้พลังงาน เช่นการนำเทคโนโลยีพลังงานประสิทธิภาพมาใช้และปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง
- การสร้างความตระหนักให้กลุ่มผู้ใช้พลังงานในเรื่องการประหยัดพลังงานและการยอมรับเทคโนโลยีใหม่มาใช้เมื่อมีให้ใช้

2. การผลิตและการจ่ายไฟฟ้า

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกผลิตมาโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ถ่านหิน ก๊าซ น้ำมัน) และพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งจะใช้ธาตุยูเรเนียม เนื่องจากมีความห่วงใยด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย และล่าสุดก็คือความห่วงใยด้านความมั่นคงของปริมาณน้ำมัน ซึ่งขึ้นอยู่กับ



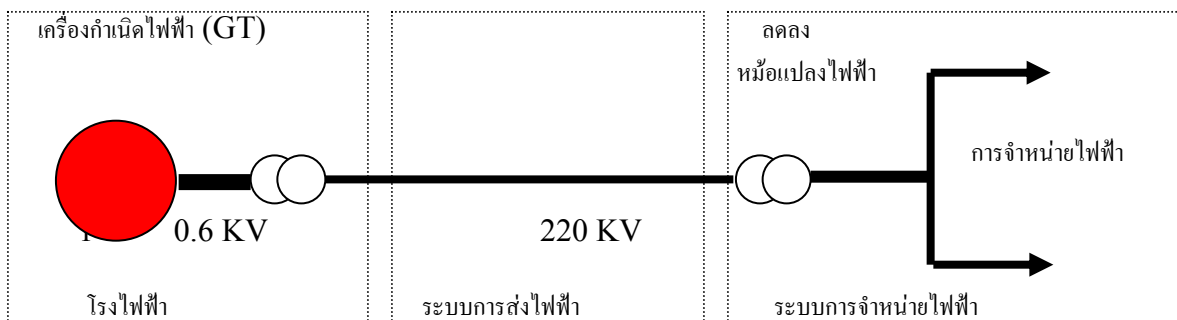
รูปที่ 2. การผลิตกระแสไฟฟ้าบนโลก

(US Energy Information Administration, 2004)

ประเทศผู้ผลิตและมีจำนวนลดน้อยลงทุกที ดังนั้นจึงมีการสำรวจหาแหล่งพลังงานทางเลือกอื่นๆ ทดแทน พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

มีอยู่ถึง 21% ของความต้องการใช้พลังงานบนโลก ซึ่งจะรวมถึงพลังงานจากน้ำ (20%) พลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนจากพื้นพิภพ ชีวมวล และพลังงานจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (ประมาณ 1% แต่กำลังมีค่าเพิ่มขึ้น)

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบอย่างง่ายของระบบไฟฟ้า ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3. การผลิต การส่ง และการจำหน่ายไฟฟ้า

ส่วนใหญ่แล้วไฟฟ้า จะถูกผลิตโดยใช้ “เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ” (AC) ที่อยู่ในโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงาน พลังงานน้ำ หรือพลังงานนิวเคลียร์ โดยมีความเร็วรอบอยู่ที่ 50 หรือ 60 รอบ ต่อวินาที โดยปกติแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะผลิตไฟฟ้าเป็นจำนวน 9 ถึง 13KV ที่สถานีไฟฟ้า แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งเครื่อง (หรือที่เรียกว่า UNIT) ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในช่วง 67.5 MW, 110 MW, 220 MW และ 500 MW แม้ว่าจะมีบางเครื่องที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 1000 MW กำลังผลิตไฟฟ้าเป็น MW ที่สูงขึ้น จะเป็นที่ต้องการมากกว่าเพราะว่าจะใช้พลังงานเสริมค่าบำรุงรักษาต่อไฟฟ้า หนึ่งหน่วย MW ที่ผลิตได้น้อยกว่าการปฏิบัติงานแบบอื่น

ไฟฟ้าจะต้องถูกผลิตขึ้นเมื่อมีความต้องการใช้เนื่องจากเราไม่สามารถจัดเก็บไฟฟ้าไว้ได้ พลังงานที่ถูกผลิตขึ้นมา นั้นจะถูกส่งต่อไปยังผู้ใช้โดยผ่านโครงข่ายการจ่ายและจัดส่งไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า สายส่ง และอุปกรณ์ควบคุม สถานีไฟฟ้าทั้งหลายจะมี หม้อแปลงเพิ่มกำลังไฟฟ้า (GTs) ซึ่งจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษ (EHV เช่น 132 KV, 220 KV และ 400 KV) ก่อนที่จะส่งไฟฟ้า การทำเช่นนี้จะช่วยลดการสูญเสียระหว่างการจ่ายไฟฟ้า และเนื่องจากสามารถใช้สายส่งที่มีขนาดเล็กกว่าและประหยัดกว่าได้ ประโยชน์ที่ได้รับจากการจ่ายไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่านี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 แล้ว เช่นเดียวกัน สถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ก็จะมีหม้อแปลงลดกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะลดแรงดันไฟฟ้าลง เพื่อนำจ่ายไปยังผู้ใช้ในภาคอุตสาหกรรม การค้า และที่พักอาศัย โดยผ่านระบบสายจ่ายไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าและสายจ่ายไฟฟ้าจะไม่มี ความแตกต่างกัน นอกจากเรื่องขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความสามารถในการรองรับปริมาณไฟฟ้า สายไฟฟ้าจะทำงานที่ระดับ EHV สามารถรับปริมาณการส่งพลังงานไฟฟ้ามากเป็นระยะทางไกลๆ ส่วนสายจ่ายไฟฟ้าจะมีขีดจำกัดในการรองรับปริมาณไฟฟ้าจะมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าและจ่ายได้เพียงระยะทางใกล้ๆ

ตารางที่ 1. ประโยชน์ของการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

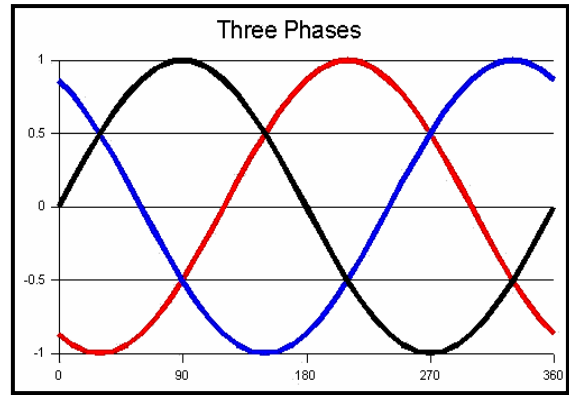
เหตุผล	คำอธิบาย	ประโยชน์
แรงดันไฟฟ้าตกน้อยกว่า	การตกลงของค่าแรงดันไฟฟ้าในสายส่ง /จ่ายไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทาน การต้านทานนำไฟฟ้า และความยาวของสายไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ถูกดึงไป เมื่อมีปริมาณพลังงานเท่ากัน แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าก็ทำให้มีการดึงกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และการตกลงของแรงดันไฟฟ้าก็น้อยลงด้วย	มีการปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าที่ดี คือ มีความต่างศักย์น้อยระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ส่งกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับ
สูญเสียพลังงานน้อยกว่า	การสูญเสียพลังงานในสายไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับแรงเสียดทาน (R) และกระแสไฟฟ้า (I) ยกกำลังสอง นั่นคือ $P_{Loss} = I^2R$ แรงไฟฟ้าที่สูงกว่า จะทำให้มีการสูญเสียพลังงานและกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า	การส่งไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูง
ตัวนำไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กกว่า	แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า จะทำให้มีกระแสน้อยกว่า และทำให้ต้องการใช้ตัวนำไฟฟ้าน้อยกว่าสำหรับการจัดการกับกระแสไฟฟ้า	มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและติดตั้งน้อยกว่า
ตัวอย่าง	ถ้าแรงดันในการส่งจ่ายไฟฟ้าถูกเพิ่มขึ้นจาก 11 kV เป็น 33 kV หลังจากนั้น แรงดันไฟฟ้าตกจะลดลง $1/3$ และการสูญเสียในสายไฟจะลดลงเป็นสัดส่วนเท่ากับ $1/9$ นั่นคือ $(1/3)^2$	

3. เฟสของไฟฟ้า

การส่งไฟฟ้ากระแสสลับ มีสิ่งหนึ่งที่ต้องอธิบาย คือ เฟสต่างๆ ของไฟฟ้า

โดยพื้นฐานแล้ว การส่งไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกแบ่งออกเป็นแบบเฟสเดียว และแบบสามเฟส วงจรไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว จะมีลวด 2 เส้น เชื่อมต่อกับแหล่งไฟฟ้า อย่างไรก็ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสจะเปลี่ยนแปลงหลายครั้งมากในหนึ่งวินาที โดยจะขึ้นอยู่กับความถี่ในการส่ง ลักษณะนี้จะแตกต่างจากไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งกระแสจะไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง กระแสไฟฟ้าขนาด 240 โวลต์ (V) ที่ถูกส่งมาให้เราใช้ตามบ้านเรือนนี้จะเป็นกระแสไฟฟ้าสลับเฟสเดียว และจะมีลวด 2 เส้น คือเส้นลวดที่มีไฟ (สายแอนด์ทีฟ) (และเส้นลวดที่ไม่มีไฟ) สายนิวทรัล

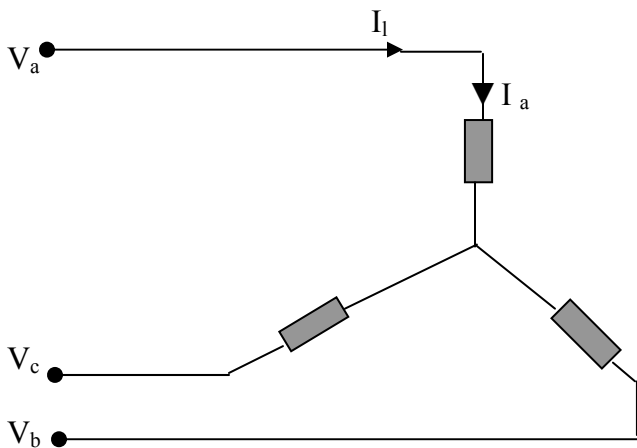
อย่างไรก็ตามสายส่งไฟฟ้าอาจจะทำขึ้นมาให้มีลวด 4 เส้นก็ได้ โดยเส้นลวด 3 เส้นจะนำกระแสไฟฟ้าจากสามวงจร และใช้สายนิวทรัลร่วมกัน นั่นคือมีเส้นลวดที่มีไฟอยู่ 3 เส้น และใช้เส้นลวดที่ไม่มีไฟอีก 1 เส้นร่วมกัน (ระบบสามเฟสจะมี 3 ลูกคลื่น) โดยปกติแล้วจะเป็นตัวส่งพลังงาน (ซึ่งจะมีช่วงเวลาต่างกันอยู่ $2/3 \pi$ เรเดียน) คือ 120 องศาหรือ $3/1$ รอบของวงจร



รูปที่ 4. ระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส (Wikipedia contributors, 2005)

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงวงจรของระบบสามเฟส ซึ่งจะมี 360 องศา 2π เรเดียน (ไปตามแนวแกนเวลา เส้นที่ลากไว้นี้จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า) หรือกระแส (ในช่วงเวลาต่างๆ ในวงจรนี้ จะเกิดขึ้นซ้ำกัน 50 ถึง 60 ครั้งต่อวินาที ขึ้นอยู่กับความถี่ของระบบกำลังงาน สีของเส้นต่างๆนี้ จะแสดงถึงรหัสสีของอเมริกาที่ใช้ในการแสดงระบบไฟฟ้าสามเฟส คือ สีดำ = V_{L1} สีแดง = V_{L2} และสีน้ำเงิน = V_{L3}

ระบบส่งไฟฟ้าแบบสามเฟสอาจถูกแสดงได้อีกในรูปแบบของการเชื่อมต่อแบบดาว (หรือแบบสามเหลี่ยม) เดลตา (ดังแสดงในรูปที่ 5



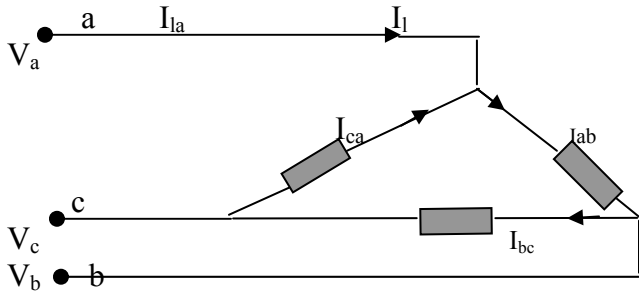
การเชื่อมต่อแบบรูปดาว (สตาร์)

$I_L =$ กระแสในสาย = $I_a =$ กระแสในเฟส

$V_a = V_b = V_c =$ แรงดันในสาย

$n =$ จุดนิวทรัลร่วม

แรงดันในสาย = $1.732 \times$ แรงดันในเฟส

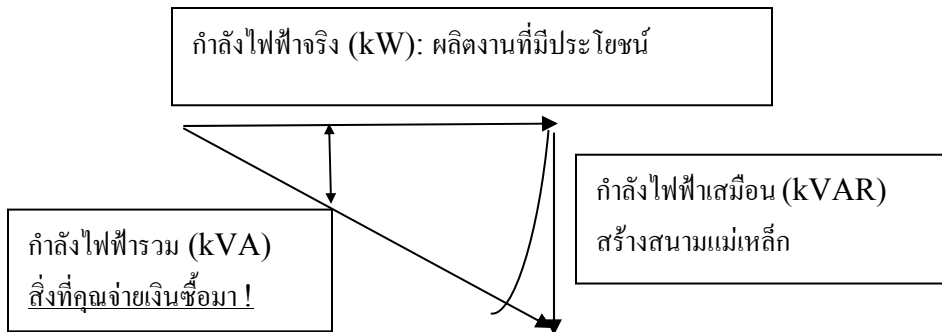


การเชื่อมต่อแบบรูปสามเหลี่ยม (เดลตา)
 $V_a =$ กระแสในสาย = กระแสในเฟส
 $I_a = I_b = I_c =$ Line current
แรงดันในสาย = 1.732 X แรงดันในเฟส

รูปที่ 5. การต่อแบบสตาร์และแบบเดลตาในระบบไฟฟ้า

4. กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

กำลังไฟฟ้าจริงซึ่งจะถูกรวบรวมเป็นกิโลวัตต์ (kW) นั่นคือกำลังจริง (กำลังเพลา, พลังงาน) ที่ถูกใช้ไปในการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ก็มีความบางชนิดเช่น มอเตอร์ ซึ่งต้องการใช้กำลังในรูปแบบอื่นที่เรียกว่า กำลังไฟฟ้าเสมือน (kVAR) เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ถึงแม้ว่า กำลังไฟฟ้าเสมือนนี้จะไม่นำมาซึ่งพลังงาน แต่มันก็เป็นตัวกำหนดปริมาณงาน (ความต้องการ) ภายในระบบไฟฟ้า การใช้ประโยชน์ที่เป็นค่าใช้จ่ายก็จะต้องรวมถึงพลังงาน (หรือความต้องการ) ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6. รูปแบบแสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

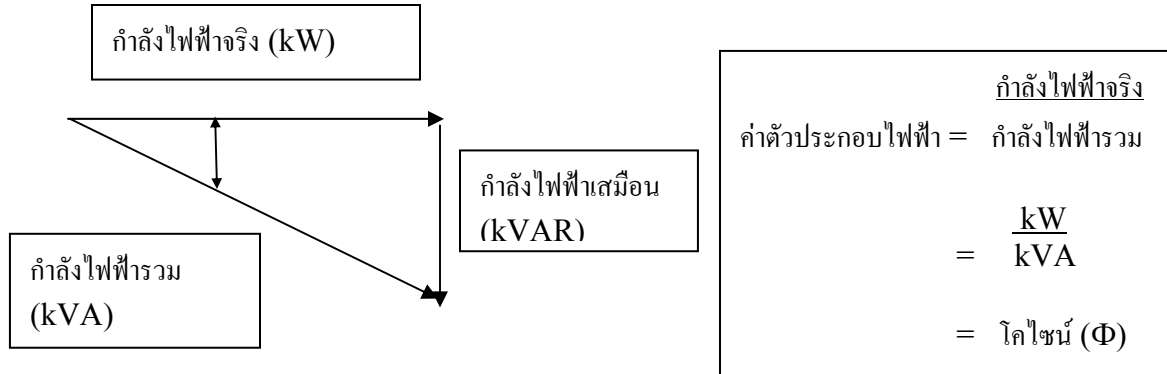
เวกเตอร์ที่รวมผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนคือ กำลังรวม (หรือที่ชัดเจน (โดยถูกรวบรวมในหน่วย กิโลวัตต์-แอมแปร์) kVA (นี่คือกำลังงานที่บริษัทผู้ผลิตส่งไปให้แก่ลูกค้า ซึ่งจะแสดงเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$kVA = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2}$$

5. การปรับแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

5.1 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคืออะไร?

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (kW) และกำลังไฟฟ้ารวม (KVA) หรือค่าโคไซน์ของมุมระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารวม กำลังไฟฟ้าเสมือนที่มีค่าสูงจะทำให้ค่ามูนี้เพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาคือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะลดลง) ดูรูปที่ (7

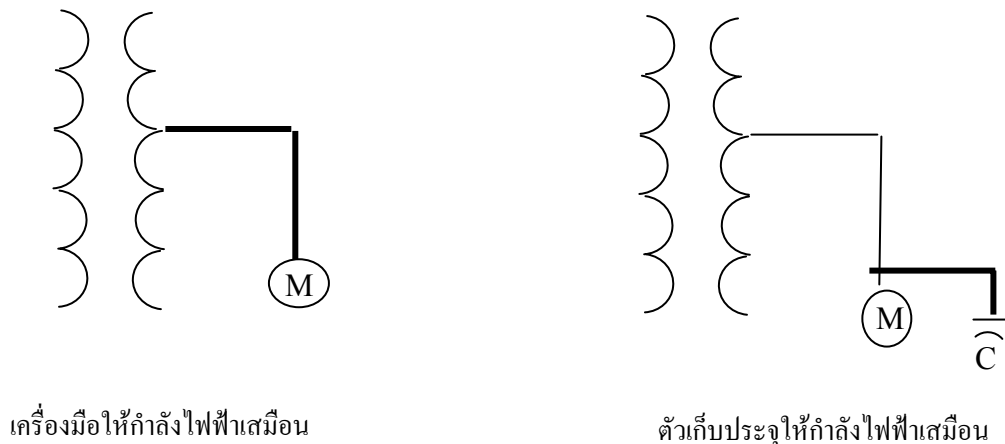


รูปที่ 7. ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรไฟฟ้า

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 อยู่เสมอ ในทางทฤษฎีแล้ว ถ้าพลังงานไฟฟ้าทุกส่วนที่ส่งมาจากโรงไฟฟ้ามีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1 ก็หมายความว่า พลังงานสูงสุดที่ถ่ายเทไปก็จะเท่ากับความสามารถในการผลิตของระบบจ่ายไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณการใช้งานเป็นการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.3 ความสามารถของระบบจ่ายไฟฟ้าก็ถูกกดดันแล้ว ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเสมือน (kVAR) จึงควรมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับค่า kW ที่ผลิตได้ เพื่อที่จะลดปริมาณความต้องการพลังงานรวม (kVA)

5.2 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อปรับค่าตัวประกอบกำลัง (ดูรูปที่ 8 และ 9) เข้ากับระบบส่งจ่ายของโรงไฟฟ้า โดยตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดกำลังไฟฟ้าเสมือน เพราะฉะนั้นจึงลดปริมาณของกำลังไฟฟ้าเสมือนและลดปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมที่ต้องการใช้ในส่วนต่างๆ ด้วย



รูปที่ 8. ตัวเก็บประจุให้กระแส kVAR



รูปที่ 9: แนวตัวเก็บประจุชนิดแผ่นฟิล์ม (Copper Industries Inc. 2000)

ตัวอย่างของการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังโดยการติดตั้งเก็บประจุไฟฟ้า แสดงได้ดังนี้

<p>ตัวอย่าง</p> <p>โรงงานสารเคมีได้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1500kVA ในตอนแรกโรงงานต้องการใช้ไฟฟ้า 1160kVA โดยมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.7ปริมาณของการทำงานของหม้อแปลงคือประมาณ 78% เพื่อเป็นการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและหลีกเลี่ยงค่าปรับจากผู้ผลิตไฟฟ้า โรงงานจึงได้เพิ่มปริมาณการใช้งานมอเตอร์อีก 410kVAR ซึ่งก็ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 0.89 และลดปริมาณที่ต้องการใช้เหลือเพียง 913kVA ซึ่งเป็นแวกเตอร์ผลรวมของ kW และ kVAR</p>	<p>KW = 812 KVA = 1160 KVAR = 828 PF = $\frac{812}{1160} = 0.70$</p>	<p>KW = 812 KVA = 913 KVAR = 828 - 410 = 418 PF = $\frac{812}{913} = 0.89$</p>
<p>ในตอนนี้น้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1500kVA ถูกใช้งานเพียง 60% ของความสามารถในการผลิต ซึ่งจะทำให้โรงงานสามารถเพิ่มปริมาณงานเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าได้อีกในอนาคต) การศึกษาภาคสนามของ NPC)</p>		

5.3 ข้อดีของการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ข้อดีของการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีดังนี้

สำหรับบริษัท

- มีการลงทุนเพียงครั้งแรกเพียงครั้งเดียว ในการซื้อและติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าและจะไม่มีค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีกเลย
- ลดค่าไฟฟ้าของบริษัทเพราะว่า (a) กำลังไฟฟ้าเสมือน (kVAR) จะไม่ถูกนำมาจากการใช้งานของบริษัท เพราะฉะนั้น ความต้องการพลังงานรวม จึงมีค่าลดลง และ (b) ไม่ให้มีค่าปรับเนื่องจากมีค่าตัวประกอบไฟฟ้าต่ำในขณะที่ใช้งานอีกต่อไป
- ลดการสูญเสียในการจ่ายไฟฟ้า (kWh) ของโรงงาน
- การเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ด้านการใช้งานส่งผลให้ของมอเตอร์มีสมรรถภาพดีขึ้น

สำหรับระบบการส่งไฟฟ้า

- ลดส่วนประกอบเสมือนของโครงข่ายและลดกำลังไฟฟ้ารวมในระบบซึ่งมาจากแหล่งไฟฟ้า
- สามารถลดการสูญเสียพลังงาน I²R ภายในระบบลงได้เพราะว่ามีการลดของกระแส
- เพิ่มกำลังการผลิตของโครงข่ายจ่ายไฟฟ้า และลดความต้องการที่จะติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มการผลิต

6. การบริหารจัดการปริมาณการใช้ไฟฟ้า

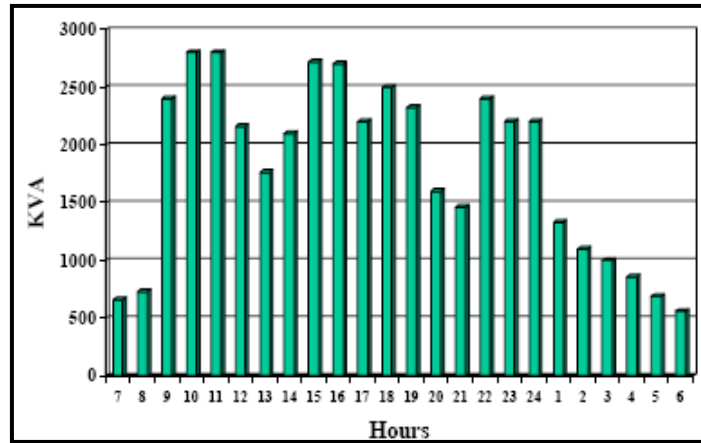
ในระดับมหภาค การใช้ไฟฟ้าและความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งของวันจะทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ ในขณะที่การเพิ่มกำลังการผลิตจะมีค่าใช้จ่ายสูงมากและจะทำให้เพื่อตอบสนองเป้าหมายในระยะยาวเท่านั้น) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ (การบริหารจัดการที่ดีกว่าสำหรับด้านผู้ใช้ไฟฟ้าจึงสามารถช่วยลดปริมาณการใช้สูงสุด โครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคต่างๆ ได้ และยังเพิ่มสมรรถภาพในการผลิตของโรงไฟฟ้าด้วย เทคนิคบางประการสำหรับการบริหารจัดการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ มีในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ยุทธวิธีการบริหารจัดการปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Bureau of Energy Efficiency, 2004)

<p>ย้ายกระบวนการที่ไม่วิกฤติ และไม่ต้องเร่งไปไว้ในเวลาอื่นที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด</p>	<p>จัดตารางการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าปริมาณมากๆ เสียใหม่ โดยให้ไปอยู่ในช่วงการทำงานที่ต่างๆ กัน ซึ่งสามารถวางแผนและทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดพร้อมๆ กันได้ การที่จะทำได้ตามวัตถุประสงค์นี้ แนะนำว่าควรเตรียมแผนผังการปฏิบัติงานและกระบวนการวิเคราะห์แผนภาพดังกล่าว การใช้วิธีบูรณาการก็จะทำให้สามารถจัดตารางการใช้งานและการใช้อุปกรณ์ได้ใหม่โดยจะเป็นหนทางเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นกรลดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดด้วย</p>
<p>แยกปริมาณงานที่ไม่จำเป็นออกจากช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด</p>	<p>เมื่อปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดได้มีค่าเกือบเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ก่อนแล้ว การแยกงานที่ไม่จำเป็นบางส่วนออกไปชั่วคราวก็จะช่วยลดความต้องการใช้ไฟฟ้าลงได้ การติดตั้งอุปกรณ์ระบบการตรวจวัดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยตรง ก็สามารถทำได้เช่นกัน ซึ่งจะช่วยให้ปิดการทำงานที่ไม่จำเป็น เมื่อความต้องการใช้ไฟมีค่าถึงค่าที่กำหนดไว้ ระบบต่างๆ ก็จะมีการส่งสัญญาณแจ้งเตือน แล้วจึงจัดการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไปโดยการใช้มือควบคุม ระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีการใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ที่สลับซับซ้อน ก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน ซึ่งก็จะทำให้กำหนดการแยกงานออกได้โดยอัตโนมัติ</p>
<p>ทำงานโดยใช้พลังงานที่ผลิตได้ภายในโรงงานหรือใช้เครื่องกำเนิดดีเซลในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด</p>	<p>เมื่อใช้ชุดกำเนิดดีเซล (DG) เพื่อช่วยให้การจ่ายไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในสาธารณูปโภคต่างๆ แนะนำว่าควรเชื่อมต่อชุด DG เพื่อให้ทำงานในระหว่างที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และลดค่าใช้จ่ายให้เหลือน้อยที่สุด</p>
<p>ทำงานโดยใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และนำความเย็นจากที่เก็บไว้มาใช้งาน</p>	<p>สามารถลดปริมาณความต้องการสูงสุดได้โดยการสร้างส่วนจัดเก็บความจุของผลิตภัณฑ์/วัสดุ น้ำ น้ำเย็น /น้ำร้อนที่ใช้ไฟระหว่างที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด การใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดก็ช่วยประหยัดพลังงานเนื่องจากมีสภาวะที่ดีและเหมาะสม เช่น มีอุณหภูมิสถานะแวดล้อมต่ำกว่า</p>
<p>ทำการติดตั้งอุปกรณ์ปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า</p>	<p>สามารถลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่โรงงานได้โดยการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และการรักษาระดับค่าตัวประกอบกำลังสูงสุดนั้นไว้ ระบบนี้จะเปิดและปิดตัวเก็บประจุเพื่อที่จะรักษาระดับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบ และทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้านั้นได้ประโยชน์สูงสุด</p>

การนำเสนอปริมาณความต้องการใช้งานของผู้บริโภค กับเวลานั้นเป็นที่รู้จักว่าเป็น “เส้นโค้งโหลด” ถ้าความต้องการใช้งานถูกบันทึกไว้บนแผนผังเป็นเวลา 24 ชั่วโมงของหนึ่งวันก็จะถูกเรียกว่า เป็นเส้นโค้งโหลดรายชั่วโมง”) ครอบคลุมที่ (10และถ้าถูกบันทึกไว้เป็นรายวันเป็นเวลา 1เดือน ก็จะถูกรเรียกว่าเป็น “เส้นโค้งโหลดแบบรายวัน”

เส้นโค้งโหลดมีประโยชน์สำหรับการทำนายรูปแบบของความต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับส่วนหนึ่งของโรงงาน ของโรงงานทั้งหมด หรือของโครงข่ายการจ่ายไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 10: เส้นโค้งการใช้พลังงานประจำวันในอุตสาหกรรมทางวิศวกรรม แห่งหนึ่ง (National Productivity Council, India)

7. กลไกการจัดเก็บค่าไฟฟ้า

ระบบสาธารณูปโภคจะมีโครงสร้างของอัตราค่าไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วน สำหรับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดใหญ่

- **ค่าพลังงาน** - ค่าไฟส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้พลังงานจริงหรือ กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ kWh) ในช่วงเวลาหนึ่งเดือน/หนึ่งรอบบิล สาธารณูปโภคบางชนิดจะถูกเก็บค่าไฟฟ้าบนฐานแบบเสมือน (kVAh) ซึ่งจะเป็นเวกเตอร์รวมของ kWh และ kVAh
- **ค่าปริมาณความต้องการสูงสุด**—ค่าไฟส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับความต้องการใช้ไฟสูงสุดที่จดทะเบียนไว้ในช่วงเวลาหนึ่งเดือน /หนึ่งรอบบิล และอัตราส่วนที่สอดคล้องกันของสาธารณูปโภค จุดประสงค์ของการเก็บค่าปรับในการใช้ไฟฟ้าสูงสุดคือเพื่อกระตุ้นให้ผู้บริโภคลดปริมาณการใช้ไฟสูงสุด บริษัททั้งหลายที่สามารถบริหารจัดการปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดได้) คือลดค่าตัวประกอบกำลัง (ก็จะสามารถลดค่าไฟฟ้ารายเดือนลงได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

องค์ประกอบอื่นๆ ของใบเรียกเก็บค่าไฟฟ้า) บิล (อาจรวมถึง

- **ค่าปรับของค่าตัวประกอบกำลังหรืออัตราผลตอบแทนพิเศษ** ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการจัดเก็บในสาธารณูปโภคต่างๆ เพื่อเป็นการรักษากำลังไฟฟ้าเสมือนที่ดึงมาจากสายไฟฟ้า
- **ค่าเชื้อเพลิง:** การปรับจำนวนเงินเรียกเก็บ จากสาธารณูปโภคส่วนใหญ่คือ เพื่อปรับแต่งค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าอ้างอิงมาตรฐาน
- **ค่าภาษีไฟฟ้า:** คือค่าเรียกเก็บเพิ่มเติมตามจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป
- **ค่าเช่ามิเตอร์:** เป็นค่าเช่ามิเตอร์รายเดือน
- **การใช้พลังงานแสงสว่างและพัดลม:** จะมีค่าไฟสูงกว่าอัตราค่าไฟปกติ ซึ่งอาจเป็นแบบเฉลี่ยรวมหรือตามมิเตอร์จริงๆ
- **เวลาของวัน (TOD):** คืออัตราที่แตกต่างในการใช้ไฟฟ้าว่าเป็นช่วงที่มีการใช้ไฟสูงสุดหรือไม่
- **ค่าปรับเนื่องจากการใช้ไฟเกินกว่าค่าที่ได้ทำสัญญาไว้**

เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: ไฟฟ้า

ระบบการใช้งานจะมีการใช้มาตรวัดเวกเตอร์สามทางที่เป็นแบบแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อวัดอุปสงค์การจับเก็บค่าไฟฟ้า โดยจะวัดค่าของสิ่งต่อไปนี้

- ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่ลงทะเบียนไว้ ในระหว่างเดือนนั้นๆ ซึ่งจะถูกรัดเป็นช่วงเวลา (เช่น ทุกๆ 30 นาที) และจะถูกตั้งค่าใหม่เมื่อจบหรือครบรอบบิล
- พลังงานจริง ในหน่วย kWh ระหว่างรอบบิล
- พลังงานเสมือนในหน่วย kVARh ในระหว่างรอบบิล และ
- พลังงานปรากฏในหน่วย kVAh ในระหว่างรอบบิล

เป็นสิ่งสำคัญที่จะระลึกไว้ว่าในขณะที่ความต้องการใช้ไฟสูงสุดถูกบันทึกไว้นั้นยังไม่ใช้ความต้องการใช้ไฟ ณ ขณะนั้น ซึ่งมีการเข้าใจผิดกันมาก แต่จะเป็นค่าความต้องการใช้ไฟภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า (เช่น 30 นาที) ตัวอย่างเช่น

ในภาคอุตสาหกรรมหนึ่ง ถ้าความต้องการในรอบ 30 นาที มีค่าดังต่อไปนี้

2000 kVA เป็นเวลา 4 นาที

3600 kVA เป็นเวลา 12 นาที

5000 kVA เป็นเวลา 6 นาที

3500 kVA เป็นเวลา 8 นาที

เครื่องบันทึก MD จะคำนวณค่า MD ดังนี้:

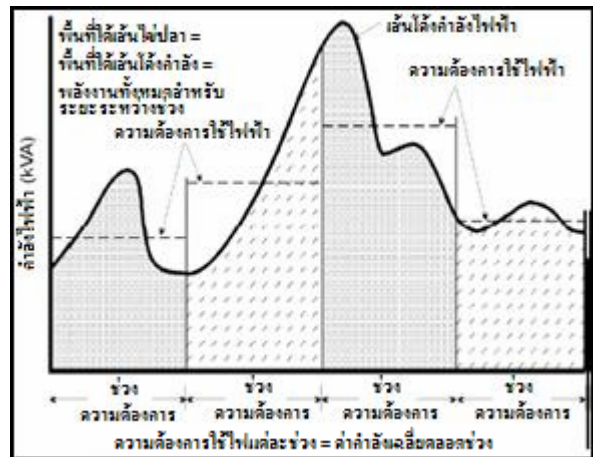
$$[(2000 \times 4) + (3600 \times 12) + (5000 \times 6) + (3500 \times 8)] / 30 = 3640 \text{ KVA}$$

เส้นโค้งความต้องการโดยทั่วไป จะถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 11 ปริมาณความต้องการจะถูกวัดในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับช่วงเวลานั้น ดังแสดงไว้ตามเส้นประ

ปริมาณความต้องการใช้สูงสุด จะเป็นค่าความต้องการสูงสุดของรอบบิลในหนึ่งเดือน มาตรวัดจะบันทึกเมื่อค่านี้มากเกินกว่าค่าความต้องการสูงสุดก่อนหน้านี้เท่านั้น และเมื่อค่าเฉลี่ยของความต้องการสูงสุดมีค่าต่ำ ภาคอุตสาหกรรมและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ จะถูกคิดค่าใช้จ่ายโดยขึ้นอยู่กับค่าความต้องการใช้ไฟสูงสุดที่วัดได้

เมื่อเร็วๆ นี้ คณะกรรมการไฟฟ้าได้เปลี่ยนวิธีการแบบใช้มาตรวัดเวกเตอร์สามทางที่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นมาตรวัดอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด ซึ่งเป็นสิ่งที่ให้ประโยชน์แก่สาธารณูปโภคและภาคอุตสาหกรรม ประโยชน์ต่างๆ เหล่านี้ จะรวมถึง

- การลดหน่วยความจำสำหรับการบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- มีความแม่นยำสูงขึ้นถึงระดับชั้น 0.2



รูปที่ 11: เส้นโค้งความต้องการใช้ไฟฟ้าทั่วไป (National Productivity Council)

เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: ไฟฟ้า

- สามารถทำการคิดค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ของวันได้
- ตรวจสอบและบันทึกการกระชัง
- การวัดค่าฮาร์มอนิก และความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD)
- มีอายุการใช้งานที่ยาวนานเนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนใดที่เคลื่อนที่
- สามารถเข้าถึงข้อมูลและนำข้อมูลออกมา โดยทำงานจากระยะไกลได้

การวิเคราะห์แนวโน้มของไฟฟ้าที่ซื้อและองค์ประกอบต่างๆ ของค่าใช้จ่าย จะช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมได้ระบุช่องทางและโอกาสต่างๆ ที่มีอยู่เพื่อที่จะลดค่าไฟฟ้าให้อยู่ภายในกรอบอัตราที่กำหนด

8. หม้อแปลงไฟฟ้า

8.1 หม้อแปลงไฟฟ้าคืออะไร

A transformer is a static electrical device, which transforms electrical energy from one voltage level to another voltage level. This permits electrical energy to be generated at relatively low voltages and transmitted at high voltages and low currents, thus reducing line losses, and to be used at safe voltages (see Figure 12).



รูปที่ 12: หม้อแปลงไฟฟ้า (Indiamart.com)

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบไปด้วยขดลวดตั้งแต่ 2 ขดขึ้นไป ซึ่งจะถูกหุ้มให้เป็นฉนวนไฟฟ้า แต่สามารถเชื่อมต่อกันได้ทางแม่เหล็ก ขดลวดปฐมภูมิจะถูกเชื่อมต่อกับแหล่งกำลัง และขดลวดทุติยภูมิจะถูกเชื่อมต่อกับปริมาณงาน รูปแบบของหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่

- ค่าอัตราส่วนของการหมุน : คือ อัตราส่วนของจำนวนรอบการหมุนบนขดลวดทุติยภูมิ และจำนวนรอบของการหมุนบนขดลวดปฐมภูมิ (ดูรูปที่ 13)
- แรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ: แรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิคูณกับอัตราส่วนของการหมุน
- จำนวนรอบแอมแปร์ - การหมุน: คำนวณโดยการคูณค่ากระแสในขดลวดด้วยจำนวนรอบของการหมุน จำนวนรอบแอมแปร์ปฐมภูมิจะมีค่าเท่ากับจำนวนรอบแอมแปร์ทุติยภูมิ
- การปรับค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า: เปอร์เซ็นต์ ของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากปริมาณงานเต็มถึงไม่มีปริมาณงาน



รูปที่ 13: ส่วนประกอบแกนและขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส (Kuhlman Electric)

8.2 ประเภทของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 3 แสดงรายการของหม้อแปลงไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ตารางที่ 3: การจำแนกประเภทของหม้อแปลงไฟฟ้า (Bureau of Energy Efficiency, 2004)

มาตรการ	ประเภท	คำอธิบาย
ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าเข้า	เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนจาก LV เป็น HV
	ลดลง	เปลี่ยนจาก HV เป็น LV
ขึ้นอยู่กับการใช้งาน	หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	ตั้งอยู่ที่โรงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และจัดการควบคุมกำลังไฟฟ้าปริมาณมาก ๆ อัตราค่าแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปคือ 400 kV, 220kV, 132KV, 66 kV, 33kV เป็นต้น
	หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย	ตั้งอยู่ที่สถานีไฟฟ้าย่อยในระบบจ่ายไฟฟ้าและจัดการควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ อัตราค่าแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปคือ 11kV, 6.6 kV, 3.3 kV, 440V, 230V เป็นต้น
	หม้อแปลงเครื่องวัด	ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงในอุปกรณ์การตรวจวัด
ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้ง	กลางแจ้ง	ติดตั้งอยู่กลางแจ้งบนฐาน โครงสร้างคอนกรีตหรือเสาเหล็ก
	ในร่ม	ติดตั้งอยู่ในร่มบนฐาน โครงสร้างคอนกรีต
ขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อ	สามเฟส	พลังงานเข้าและออกเป็นแบบสามเฟส (R/Y/B) โดยมีหรือไม่มีสายนิวทรัล
	เฟสเดียว	พลังงานเข้าและออกเป็นแบบเฟสเดียว

8.3 การคำนวณการสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

เนื่องจากไม่มีส่วนใดๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการหมุน ประสิทธิภาพจะมีค่าอยู่ในช่วง 96 ถึง 99 % ส่วนใหญ่แล้วการสูญเสียจะเกิดขึ้นจาก

- การสูญเสียคงที่: เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียจากเหล็กหรือ การสูญเสียจากแกน ซึ่งหลักๆ แล้ว จะขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุของแกนและวงจรแม่เหล็กของเส้นทางการไหล การสูญเสียจากค่าฮีสเทอรีซิส และกระแสไหลวน เป็นองค์ประกอบ 2 ประการของการสูญเสียคงที่
- การสูญเสียผันแปร: เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียจากทองแดง ซึ่งจะมีค่าผันแปรไปตามค่ายกกำลังสองของกระแสไหล

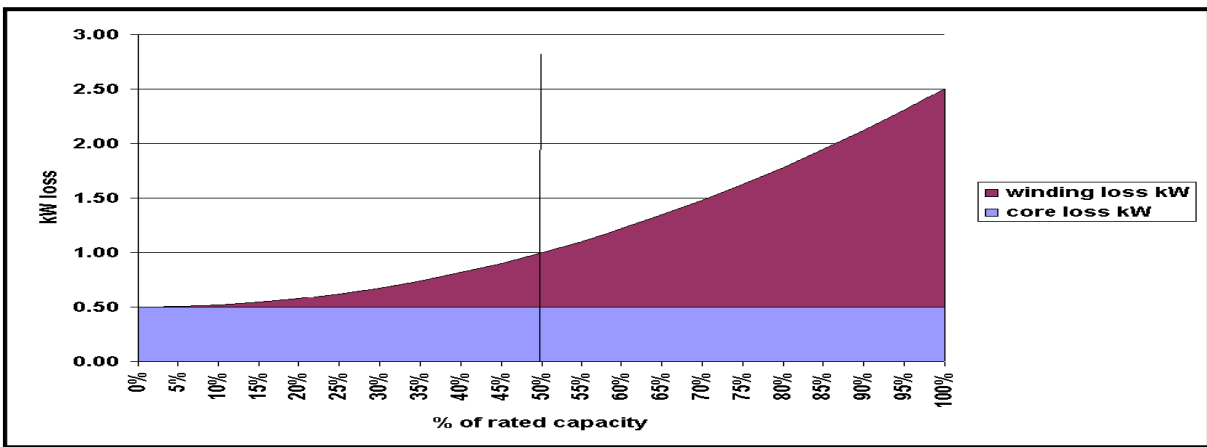
เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: ไฟฟ้า

หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ปริมาณงานเมื่อการสูญเสียคงที่ มีค่าเท่ากับการสูญเสียแบบผันแปร ปริมาณการสูญเสียจากหม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไป เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแสไหลจะแสดงได้ดังรูปที่ 14

ผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้ามักจะให้การสูญเสียแบบไม่มีโหลด ($P_{NO-LOAD}$) และแบบมีโหลดเต็ม (P_{LOAD}) ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้จะให้ค่าการสูญเสียรวม (P_{TOTAL}) ในสถานะที่มีปริมาณงานใดๆในหม้อแปลงไฟฟ้า

$$P_{TOTAL} = P_{NO-LOAD} + (\% \text{ Load}/100)^2 \times P_{LOAD}$$

$$P_{TOTAL} = P_{NO-LOAD} + (\text{Load KVA}/\text{Rated KVA})^2 \times P_{LOAD}$$



รูปที่ 14: การสูญเสียที่หม้อแปลงไฟฟ้ากับเปอร์เซ็นต์ของโหลด (Bureau of Energy Efficiency, 2004)

9. สูตรการคำนวณเกี่ยวกับไฟฟ้า

ตารางที่ 4 แสดงรายการสูตรต่างๆ ที่สำคัญที่สุดต่อระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 4: สูตรคำนวณพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า (National Productivity Council, unpublished)

ชื่อ	ระบบการตั้งชื่อ และ หน่วยการวัด	สูตรความสัมพันธ์	หมายเหตุ
ความต้านทานไฟฟ้า	R (โอห์ม)	= S L / A	S=การต้านทาน (โอห์ม-เมตร) L= ความยาว (เมตร) A= พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)
แรงดันไฟฟ้า	V (โวลต์)	= I R	I= กระแส (แอมป์) R= ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)

ชื่อ	ระบบการตั้งชื่อ และ หน่วยการวัด	สูตรความสัมพันธ์	หมายเหตุ
การต้านทานนำไฟฟ้า	X_L (ohm) (เหนี่ยวนำ)	$=2\pi FL$	$\pi = 3.142$ F = ความถี่ในการส่ง (เฮิรตซ์) L = การเหนี่ยวนำ (เฮนรี่)
	X_C (โอห์ม) (ความจุ)	$= 1/(2\pi FC)$	$\pi = 3.142$ F = ความถี่ในการส่ง (เฮิรตซ์) C = ความจุไฟฟ้า (ฟาราเดย์)
ความต้านทานการไหลของไฟฟ้า	Z (โอห์ม)	$=\sqrt{(R^2+(X_L-X_C)^2)}$	
กำลังจริง	P (วัตต์)	$=VICos\Phi$ (เฟสเดียว)	V=แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) I= กระแส (แอมป์) Cos Φ = ตัวประกอบกำลัง
		$=1.732 VICos\Phi$ (สามเฟส)	V=แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) I= กระแส (แอมป์) Cos Φ = ตัวประกอบกำลัง
กำลังเสมือน	VAR	$=1.732 VISin\Phi$ (สามเฟส)	V=แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) I= กระแส (แอมป์) Cos Φ = ตัวประกอบกำลัง
กำลังปรากฏ	VA	$=\sqrt{(P^2+(VAR)^2)}$	P=กำลังจริง (วัตต์) VAR=กำลังเสมือน(วาร์)
ตัวประกอบกำลัง	Cos Φ	$= P/VA$	P=กำลังจริง (วัตต์) KVA=กำลังปรากฏ (วา)
ค่าประสิทธิภาพ	η	$= P_{out}/P_{input}$	P_{out} = กำลังส่งออก P_{input} =กำลังนำเข้า
ค่าอัตราส่วนหม้อแปลงไฟฟ้า		$V_1/V_2 = N_1/N_2$	V_1 =แรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ (โวลต์) V_2 =แรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ (โวลต์) N_1 =จำนวนรอบการหมุนของขดลวดปฐมภูมิ N_2 =จำนวนรอบการหมุนของขดลวดทุติยภูมิ
แรงดันไฟฟ้าตกในสายไฟ	ΔV (โวลต์)	$=IR$	I=กระแสในสายไฟ (แอมป์) R=ความต้านทานในสายไฟ (โอห์ม)
ความสูญเสียในสายไฟ	P_{Line} (วัตต์)	$=I^2R$	I=กระแสในสายไฟ (แอมป์) R=ความต้านทานในสายไฟ (โอห์ม)
การเชื่อมต่อแบบรูปดาว (สตาร์)		$V_{line}=1.732 V_{phase}$ $I_{line} = I_{phase}$	V_{line} = Line Voltage (โวลต์) I_{line} = Line Current
การเชื่อมต่อแบบรูปสามเหลี่ยม (เดลตา)		$V_{line}=V_{phase}$ $I_{line} = 1.732 I_{phase}$	V_{phase} = แรงดันไฟฟ้าของเฟส (โวลต์) I_{phase} = กระแสไฟฟ้าของเฟส (แอมป์)

10. เอกสารอ้างอิง

เนื้อหาของบทนี้ ส่วนใหญ่มาจาก : Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, Government of India. *Energy Efficiency in Electrical Utilities*. 2004.

เอกสารอ้างอิงอื่นๆ จะรวมถึง :

Copper Industries Inc, Copper Power Systems , 2004

www.cooperpower.com/Library/Literature/section.asp

Indiamart. www.indiamart.com/rowsons/index.html#oil-cooled-transformers

International Energy Agency. *World Energy Outlook 2004*.

www.iea.org/textbase/nptoc/WEO2004.toc.pdf

Kuhlman Electric. *Kuhlman General Catalog*, p 7.

www.kuhlman.com/clientdata/Kuhlman_General_Catalog1_1.pdf

US Energy Information Administration. www.eia.doe.gov/oiaf/ieo98/elect

Wikipedia contributors. *Three-phase, Variable set up and basic definitions*. In: The Free Encyclopedia. 2005. <http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase>

ลิขสิทธิ์:

สงวนลิขสิทธิ์ © โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (ปี2006)

สิ่งพิมพ์นี้สามารถนำไปทำการคัดลอกทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนในรูปแบบใดก็ตามได้ เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาหรือกิจกรรมที่มีได้แสงหาผลกำไร โดยไม่ต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ขอเพียงมีการอ้างถึงแหล่งที่มาไว้ในกิตติกรรมประกาศ โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติจะมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งหาก ได้รับสำเนาของสิ่งพิมพ์ที่นำไปเผยแพร่โดยใช้สิ่งพิมพ์นี้เป็นแหล่งข้อมูล ทั้งนี้ ห้ามมิให้นำสิ่งพิมพ์นี้ไปจัดพิมพ์เพื่อจำหน่ายหรือเพื่อใช้ในการค้า โดยมีข้อยกเว้นเป็นลายลักษณ์อักษรจากโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

คำสงวนสิทธิ์

สิ่งพิมพ์หัวข้อเครื่องมือที่ใช้พลังงานความร้อนนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมในเอเชียและแปซิฟิก ดำเนินการโดยสภาพผลิตแห่งชาติ ประเทศอินเดีย แม้จะมีความพยายามอย่างยิ่งที่จะสร้างความมั่นใจว่าเนื้อหาของสิ่งพิมพ์นี้มีความถูกต้องตามข้อเท็จจริง อย่างไรก็ตาม โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติจะไม่รับผิดชอบในเรื่องความถูกต้องหรือความสมบูรณ์ของเนื้อหาและไม่รับผิดชอบในความสูญเสียหรือความเสียหายใดๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อมจากการใช้หรือการยึดถือเนื้อหาของสิ่งพิมพ์นี้