2-1 หม้อแปลงไฟฟ้าและระบบการส่งกำลัง

2-1.1 ระบบส่ง – จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นอย่างไร ?

(1) การส่ง – จ่ายไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างไร?

(2) การออกแบบระบบส่ง – จ่าย กำลังไฟฟ้าเป็นแบบไหน ?

2-1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าคืออะไร ?

(1) หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานอย่างไร ?

(2) หม้อแปลงไฟฟ้ามีกี่ชนิด ?

(3) การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสมทำอย่างไร ?

2-1.3 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร ?

(1) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคืออะไร ?

(2) การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร ?

(3) ผลที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีอะไรบ้าง ?

2-1.4 วิธีการประหยัดพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร ?

(1) การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

(2) การลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด

(3) การปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

2-1.5 การตรวจวินิจฉัยและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร ?

ระบบการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ดีจะต้องส่งกำลังไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ได้อย่างปลอดภัยและเพียงพอสำหรับการใช้งานทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งพื้นฐานของระบบผลิตและส่งจ่าย คือ

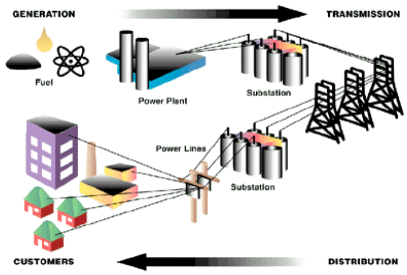
1. ความปลอดภัย จะต้องไม่เกิดอันตรายต่อบุคคล รวมทั้งการเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน
2. ความเชื่อถือได้เป็นการออกแบบระบบที่สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง
3. ความง่ายในการใช้งาน ระบบจะต้องเป็นแบบที่ง่ายที่สุด ตรงตามความต้องการ
4. ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage regulation) แรงดันไฟฟ้าต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกินขีดจำกัด
5. การดูแลรักษา จะต้องสามารถตรวจสอบ ซ่อมแซม และทำความสะอาดได้ง่าย
6. ความคล่องตัว ต้องสามารถปรับปรุง ดัดแปลง ขยายได้ในอนาคต
7. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น เลือกแบบที่ดีที่สุด ที่ปลอดภัย เชื่อถือได้

2-1.1 ระบบส่ง-จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นอย่างไร ?

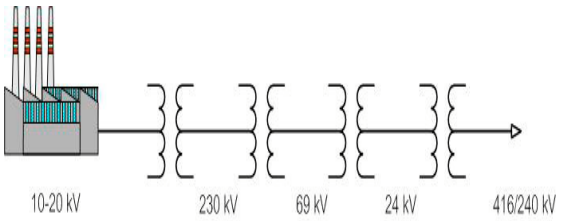
(1) การส่ง – จ่ายไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างไร ?

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะผลิตกำลังไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 10-20 กิโลโวลต์ แต่เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าไปในระยะทางไกลที่จะให้ประสิทธิภาพสูง จะต้องปรับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเสียก่อน แล้วจึงจะลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานอีกครั้งที่ปลายทาง

1) ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system) ประกอบด้วยระบบการผลิต การส่ง การจำหน่ายและการใช้กำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 2-1.1ก และ 2.1.1ข



รูปที่ 2-1.1ก ระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2-1.1ข ระบบไฟฟ้ากำลัง

2) ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ สถานประกอบการที่ใช้โหลดน้อยกว่า 300 กิโลโวลต์แอมแปร์ การไฟฟ้าจะจ่ายระบบแรงดันต่ำ (Low voltage) แต่ถ้าใช้โหลดตั้งแต่ 300 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป จะจ่ายระบบแรงดันปานกลาง ถ้ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงมาก จะจ่ายในระบบแรงดันสูง สำหรับขนาดมิเตอร์จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับโหลด ซึ่งแบ่งได้หลายขนาด ดังนี้

1) ระบบ 220 V 1 เฟส 2 สาย ได้แก่

- 5 (15 A), 220 V
- 15 (45A), 220 V
- 30 (100A), 220 V
- 50 (150A), 220 V

2) ระบบ 380/200 V 3 เฟส 4 สาย ได้แก่

- 15 (45A), 380 V
- 30 (100A), 380 V
- 50 (150A), 380 V
- 200A, 380 V
- 400A, 380 V

3) ระบบ 12 kV 3 เฟส 3 สาย มีขนาดตั้งแต่ 15A (300 kVA) ไปจนถึง 750 A (15,000 kVA)

4) ระบบ 24 kV 3 เฟส 3 สาย มีขนาดตั้งแต่ 10A (400 kVA) ไปจนถึง 625 A (25,000 kVA)

ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าฯ กับผู้ใช้ไฟฟ้า

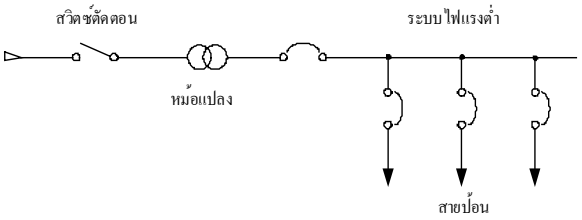
1. แรงดันต่ำ การไฟฟ้าฯ จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำนั้น

2. แรงดันปานกลาง จะขึ้นอยู่กับระบบของการไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่และระบบของสถานประกอบการ

(2) การออกแบบระบบส่ง-จ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นแบบไหน ?

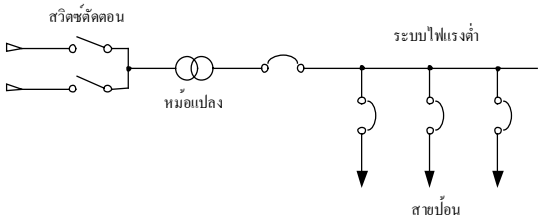
○ ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (มี 4 แบบ)

1) ระบบสายประธานเดี่ยว (simple radial) จะจ่ายเข้าหม้อแปลง และเข้าสายป้อนทั้งหมดดังรูปที่ 2-1.4 ข้อดี คือ เป็นระบบที่ง่ายที่สุด ราคาถูกที่สุด ง่ายในการป้องกัน การจัดลำดับเวลาการทำงาน และอุปกรณ์ใช้งานทุกชิ้น เหมาะสำหรับโรงงานขนาดย่อมที่สามารถหยุดการผลิตได้



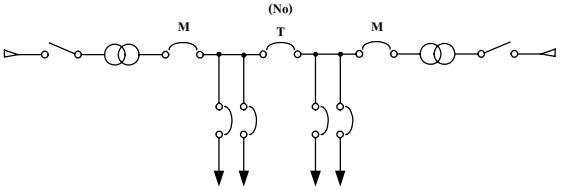
รูปที่ 2-1.4 ระบบสายประธานเดี่ยว

2) ระบบสายประธานคู่ (primary selective radial) เหมือนกับสายประธานเดี่ยว แต่เพิ่มวงจรสำรองให้รับไฟเป็นวงจรคู่ดังรูปที่ 2-1.5 ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องซ่อมแซมสายไฟฟ้าแรงสูงชุดหนึ่งชุดใด ข้อดีคือ ระบบมีความน่าเชื่อถือดี



รูปที่ 2-1.5 ระบบสายประธานคู่

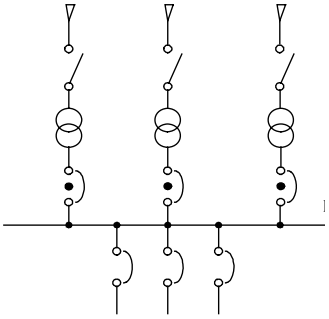
3) ระบบสายประธานสองชุด (secondary selective) ทำงานเป็นแบบระบบสายประธานเดี่ยว 2 ชุด ดังรูปที่ 2-1.6 แต่ละชุดจะเชื่อมโยง(tie)ด้วยตัดตอนอัตโนมัติ(T) ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดเสียหาย ตัดตอนอัตโนมัติ(M)จะปลดวงจรชุดนั้นและตัดตอนอัตโนมัติเชื่อมโยง จะเชื่อมต่อวงจรถึงกันทันที ซึ่งอาจจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติก็ได้ ระบบนี้เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากที่สุดในขณะนี้ ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวที่เหลือจะต้องจ่ายโหลดทั้งหมด



รูปที่ 2-1.6 ระบบสายประธานสองชุด

เพื่อให้หม้อแปลงทำงานได้ดี ควรพิจารณาดังต่อไปนี้ 1) หม้อแปลงทั้งสองตัวจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้แต่ละตัวสามารถรับโหลดได้ทั้งหมด 2) ต้องจัดหาพัดลมระบายความร้อนสำหรับหม้อแปลงในช่วงสภาวะฉุกเฉิน 3) ปลดโหลดที่ไม่จำเป็นในช่วงสภาวะฉุกเฉิน 4) ใช้ขนาดอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินตามความสามารถของหม้อแปลง และสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงต้องเสียไป สำหรับข้อดีของระบบนี้คือ หม้อแปลงไม่ได้ขนานกัน ขนาดกระแสลัดวงจร (interrupting capacity หรือ IC) ของตัดตอนอัตโนมัติ (CB) ใช้เท่ากับแบบระบบสายประธานเดี่ยว ได้และความเชื่อถือในระบบนี้ดี

4) สปอตเนตเวิร์ค(spot network) จะประกอบด้วยหม้อแปลงจ่ายไฟ 2 ชุดหรือมากกว่า แยกเป็นอิสระกัน ส่วนทางด้านแรงต่ำจะต่อขนานโดยผ่านตัดตอนอัตโนมัติชนิดพิเศษ เรียกว่า network protector ดังรูปที่ 2-1.7 ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวอื่นๆ จะป้อนผ่าน network protector ไปยังจุดที่ขัดข้อง พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนกลับเป็นเหตุให้ network protector เปิดวงจร และปลดแหล่งจ่ายออกจากวงจรแรงดันต่ำ สำหรับระบบจ่ายไฟนี้มีราคาแพงเพราะ network protector มีราคาสูง และกระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้นเนื่องจากหม้อแปลงขนานกัน แต่ความสม่ำเสมอของแรงดันดี



รูปที่ 2-1.7 สปอตเนตเวอร์ค

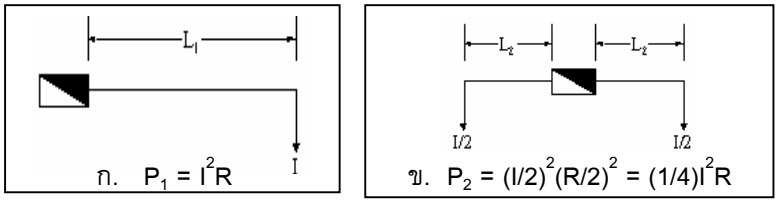
O แผงรับและจ่ายไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) ในโรงงานและอาคารขนาดใหญ่ต้องมีแผงรับและจ่ายไฟฟ้าหลัก สำหรับโรงงานหรืออาคารขนาดเล็กแผงรับและจ่ายไฟฟ้า คือ ตู้จ่ายไฟฟ้าติดตั้งตามจุดต่างๆ ในห้องทำงานที่ต้องใช้ไฟฟ้านั่นเอง การติดตั้งควรให้อยู่บริเวณศูนย์กลางของภาระ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1) ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากรูปที่ 2-1.8 ก เป็นการติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าให้อยู่บริเวณด้านใดด้านหนึ่งของห้องเมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งบริเวณกลางห้อง ดังรูปที่ 2-1.8 ข จะพบว่าพลังงานสูญเสียในสายลดลงเป็น ¼ เท่า

เมื่อ R = ความต้านทาน (Resistance) ของตัวนำ 1 เส้น

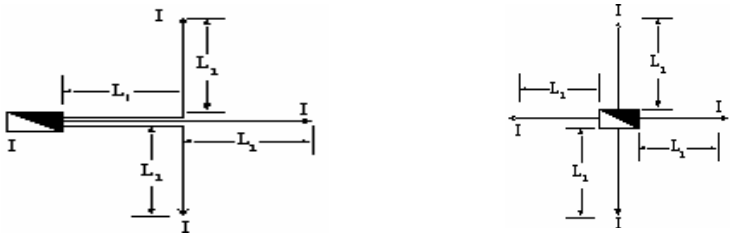
I = กระแสโหลด (Load Current)

L = ความยาวของตัวนำ



รูปที่ 2-1.8ก การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าทางด้านข้างของห้อง รูปที่ 2-1.8ข การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าบริเวณกลางห้อง

2) ห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากรูปที่ 2-1.9 ก เป็นการติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าที่บริเวณด้านข้างของห้องจะพบว่าต้องกำหนดให้สายไฟฟ้าใหญ่กว่าปกติแล้วยังสูญเสียพลังงานเพิ่มอีกเมื่อเทียบกับวางกลางห้องดังรูปที่ 2-1.9 ข



รูปที่ 2-1.9 ก การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าทางด้านข้างของห้อง รูปที่ 2-1.9 ข การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าบริเวณกลางห้อง

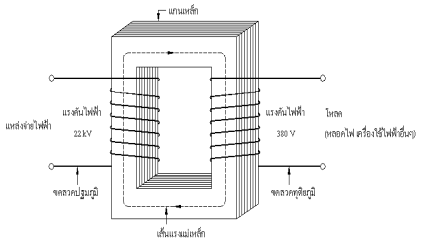
สำหรับขนาดห้องรับและจ่ายไฟสามารถคำนวณได้ดังนี้

ขนาดห้องเล็กที่สุด = กำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด (kVA) x 3.3 (m^2.)

2-1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าคืออะไร ?

(1) หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานอย่างไร ?

O มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดันไฟฟ้า รูปที่ 2-1.10 เป็นรูปแสดงหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวด 2 ขด (ขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ) พันอยู่รอบแกนเหล็ก(เป็นแผ่นเหล็กจำนวนมากที่วางซ้อนทับกัน) ขดลวดทั้ง 2 ขดนี้ไม่ได้ต่อกันโดยตรงทางไฟฟ้าการที่กำลังไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ ถูกผ่านไปยังขดลวดทุติยภูมิได้ เนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่ขดลวดปฐมภูมิที่ขดลวดนี้จะเกิดแรงแม่เหล็ก ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะถูกส่งไปยังขดลวดทุติยภูมิโดยผ่านแกนเหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ สำหรับอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดที่ขดลวดทุติยภูมินั้น จะแปรโดยตรงกับอัตราส่วนจำนวนรอบที่พันของขดลวดทั้งสอง หม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบเฟสเดียวและแบบ 3 เฟส นอกจากนั้นยังใช้ kVA แสดงขนาดใช้งานทางไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2-1.10 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

O ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทั่วไปจะดีที่สุดเมื่อใช้งานที่โหลด 60–80%ของพิกัดใช้งาน(kVA) ถ้าหากใช้งานที่โหลดสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ดังนั้นจึงควรใช้งานที่โหลด 60-80% นอกจากนี้พยายามควบคุมให้โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสสมดุลกันเพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

O กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

<u>กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No Load Loss)</u> หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่จ่ายโหลด ถ้าเกิดขึ้นในแกนเหล็กเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss ซึ่งค่า Iron loss นั้น มีค่าเกือบคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กและขึ้นอยู่กับความถี่ ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแม่เหล็กในแกนเหล็ก คุณภาพของเหล็ก ปริมาตร หรือน้ำหนักของแกนเหล็ก

<u>กำลังสูญเสียขณะมีโหลด(Load Loss)</u> หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลด

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

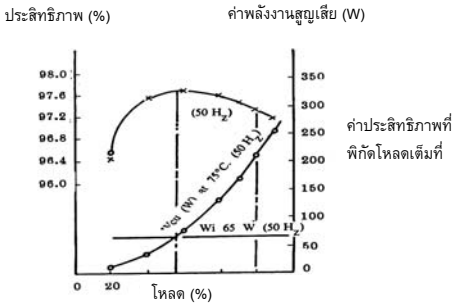
ประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ Copper Loss = Iron Loss

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งวัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย x ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน}}{\text{(กำลังไฟฟ้าที่จ่ายxชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน)+(กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะไม่มีโหลด x 24)}}$$

+ (กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด x ชั่วโมงที่จ่ายไฟฟ้าในแต่ละวัน)

ตารางที่2-1.1 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงประสิทธิภาพสูงกับหม้อแปลงธรรมดา

ขนาด (กิโลโวลต์ แอมแปร์)	กิโลโวลต์/ โวลต์	ธรรมดา			ประสิทธิภาพสูง		
		สูญเสียขณะไม่มีโหลด (วัตต์)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (%)	สูญเสียขณะไม่มีโหลด (วัตต์)	สูญเสียเนื่องจากโหลด (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



รูปที่ 2-1.11 คุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า

(2) หม้อแปลงไฟฟ้ามีกี่ชนิด ?

O หม้อแปลงแบบใช้ของเหลว (Liquid-immersed Transformers)

1. หม้อแปลงน้ำมัน (Oil-type Transformers) ใช้น้ำมันเป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากใช้งานได้ดีและราคาถูก เหมาะสำหรับการติดตั้งนอกอาคาร ถ้านำมาใช้ในอาคารจะต้องมีการสร้างห้องพิเศษที่สามารถป้องกันไฟได้ เนื่องจากน้ำมันสามารถติดไฟได้ โดยมีจุดติดไฟที่ 165 °Cปัจจุบันได้มีการทำหม้อแปลงที่มีตัวถังปิดผนึก (Hermetically Sealed Tank)ขึ้น ซึ่งไม่ต้องมี Silica Gel สามารถป้องกันความชื้นได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ต้องการการบำรุงรักษา และกำลังได้รับการนิยมใช้มากขึ้น หม้อแปลงปิดผนึกมีปัญหาคือการขยายตัวของน้ำมันขณะจ่ายโหลดหรือเกิดการลัดวงจร แก้ปัญหาโดย 1) หม้อแปลงปิดผนึกแบบใช้ก๊าซไนโตรเจน หม้อแปลงแบบนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าเหนือน้ำมันเพื่อให้มีช่องว่างสำหรับการขยายตัวของน้ำมัน 2) หม้อแปลงปิดผนึกแบบผนังเป็นลอนคลื่น(Corrugated) เพื่อช่วยระบายความร้อน ขณะเดียวกันตัวถังสามารถยืดหยุ่นได้ เพื่อรองรับการขยายตัวของน้ำมัน

2. หม้อแปลงแบบใช้ของเหลวติดไฟยาก (Less-Flammable Liquid-insulated Transformers) ใช้ของเหลวที่ติดไฟยากเป็นฉนวนและระบายความร้อน นิยมใช้สารซิลิโคนมีจุดติดไฟที่ 343°C ไม่เป็นพิษ และไม่เป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม อนุญาตให้ติดตั้งภายในอาคารได้

รูปที่ 2-1.12 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบใช้ของเหลว

รูปที่ 2-1.13 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแห้ง

○ หม้อแปลงแห้ง (Dry-Type Transformers) ใช้ฉนวนเป็นของแข็งนิยมใช้สารเรซินอัดระหว่างขดลวดของหม้อแปลง จึงเรียกว่า Cast Resin Transformers สารเรซินมีจุดติดไฟที่ 350°C มีความแข็งแรงทนทาน นิยมใช้ติดตั้งภายในอาคาร

ตารางที่ 2-1.2 หม้อแปลงแรงต่ำเฟสเดียว และสามเฟส แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้า

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	12 kV กระแสไฟฟ้าเข้า (A)		กระแสไฟฟ้าออก (A)				
			440 V	220 V		380 V	
	1 Ø	3 Ø Δ	1 Ø	1 Ø	3 Ø Δ	1 Ø	3 Ø Y
15	1.3	0.7	34.1	68.2	39.4	39.5	22.8
20	1.7	0.9	45.5	90.9	52.5	52.6	30.4
25	2.1	1.2	56.8	113.5	65.6	65.8	37.9
30	2.5	1.4	68.2	136.4	78.7	78.9	45.6
37.5	3.1	1.8	85.2	170.5	98.4	97.7	56.9
45	3.8	2.2	102.2	204.5	118.1	118.4	68.4
50	4.2	2.4	113.6	227.3	131.2	131.6	75.9
67.5	5.6	3.3	153.4	306.8	177.3	177.6	102.6
75	6.3	3.6	170.5	340.9	196.8	197.4	113.9
100	8.3	4.8	227.3	454.5	262.4	263.2	151.9
112.5	9.4	5.4	225.7	511.4	294.2	296	170.9
150	12.5	7.2	340.9	681.8	393.7	394.7	227.9
167	13.9	8	379.5	759.1	438.3	439.5	253.7
200	16.7	9.6	454.5	909.1	524.9	256.3	303.9
225	18.8	10.8	512	1022.7	590.5	592	341.9
250	20.8	12	568.2	1136.4	656.1	657.9	379.8
300	25	14.4	681.8	1363.6	787.3	789.5	455.8
333	27.8	16	756.8	1513.8	873.9	876.3	505.9
350	29.2	16.8	795.5	1590.9	918.5	921.1	531.8
400	33.3	19.3	900.1	1818.2	1049.8	1052.6	607.8
450	37.5	21.7	1022.7	2045.5	1180.9	1184.2	683.7
650	54.1	31.3	1477.3	2954.3	1709.9	1710.5	987.6
700	58.3	33.7	1590.9	3181.8	1836.4	1842.4	1063.6
750	62.7	36.1	1704.5	3409.1	1968.3	1973.7	1139.5
800	66.7	38.5	1818.2	3636.4	2099.5	2105.3	1215.5

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	12 kV กระแสไฟฟ้าเข้า (A)		กระแสไฟฟ้าออก (A)				
			440 V	220 V		380 V	
	1 Ø	3 Ø Δ	1 Ø	1 Ø	3 Ø Δ	1 Ø	3 Ø Y
900	75	43.3	2045.5	4090.9	2361.9	2368.4	1367.5
1,000	83.3	48.1	2272.2	4545.5	2624.4	2631.6	1519.4

(3) การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสมทำอย่างไร?

การจัดระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้หม้อแปลง 2 ตัว แต่ละตัว มีขนาดเป็น 0.75 เท่า (1/1.333) ของโหลดทั้งหมดในอาคาร การเลือกใช้หม้อแปลงขนาดเล็กมากกว่า 1 ตัวดีกว่าใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เพียงตัวเดียว ขนาดของหม้อแปลงที่เหมาะสมสูงสุดเป็น 2500 kVA ดังตารางที่ 2-1.3 และ 2-1.4

ตารางที่ 2-1.3 การเลือกขนาดหม้อแปลง 2 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

ขนาดของโหลด (kVA)	ขนาดหม้อแปลง (kVA) จำนวน 2 ตัว
1000	750
1500	1250
2000	1500
2500	2000
3000	2500

ตารางที่ 2-1.4 การเลือกขนาดหม้อแปลง 3 ตัว หรือ 4 ตัว ให้เหมาะสมกับโหลด

ขนาดของโหลด (kVA)	ขนาดหม้อแปลง (kVA) 3 ตัว	ขนาดหม้อแปลง (kVA) 4 ตัว
5000	-	1250
5333	2000	-
6000	-	1500
6666	2500	-
8000	-	2000
10000	-	2500

2-1.3 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร ?

ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำก็จะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้จะขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางจะเสียมากขึ้น ค่าไฟฟ้าที่เสียก็มากขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

(1) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคืออะไร ?

หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ต่างๆ จะให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่างกันแล้วแต่คุณสมบัติของอุปกรณ์(ตารางที่ 2-1.5) ทำให้โรงงานที่ใช้อุปกรณ์ต่างชนิดกันมีค่าตัวประกอบต่างกัน(ตารางที่ 2-1.6)

ตารางที่ 2-1.5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้า	PF. (%)	อุปกรณ์ไฟฟ้า	PF. (%)

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

ตารางที่ 2-1.6 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ

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

สาเหตุที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ ส่วนใหญ่เกิดจากโหลดของมอเตอร์ต่ำกว่าระดับพิกัดโหลด หรือเกิดจากอุปกรณ์ที่เป็นโหลดแบบเหนี่ยวนำอื่นๆ เช่น เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ ตัวเรียงกระแส สำหรับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น สมการของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นดังนี้

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ}}$$

$$PF. = \frac{V \times I \times \cos\theta}{V \times I} = \cos\theta$$

โดยที่ V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

θ = มุมแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

- กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลด สามารถวัดค่าได้จากโวลต์มิเตอร์และแอมแปร์มิเตอร์หรือคำนวณได้จากสูตร

$$S = (P^2 + Q^2)^{1/2}$$

โดย S = กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)

P = กำลังไฟฟ้าจริง (W)

Q = กำลังไฟฟ้าแอคทีฟ (VAr)

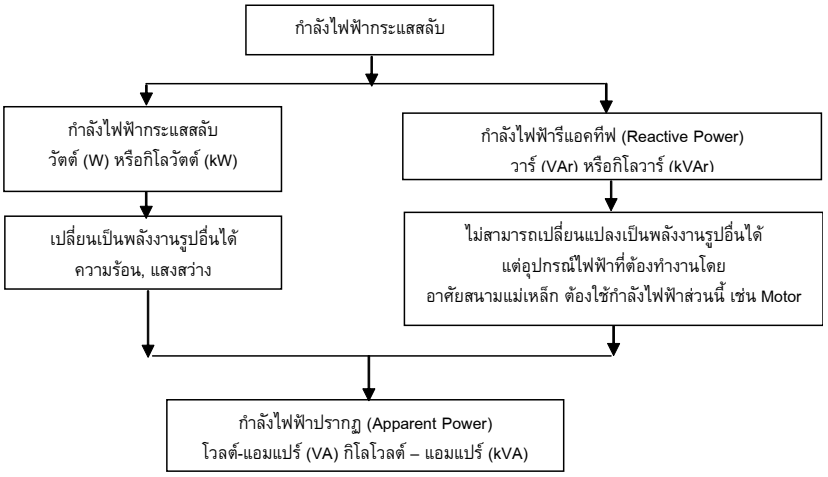
- กำลังไฟฟ้าจริง (Active or Actual or Average or True Power: P) คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เช่น การขับเคลื่อนสายพาน เป็นต้น วัดได้จากวัตต์มิเตอร์หรือคำนวณจากสูตร

$$P = V I \cos\theta$$

- กำลังไฟฟ้ารีแอคที (Reactive Power: Q) คือพลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก เป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า หรือผ่าน Air Gap ของอินดักชั่นมอเตอร์ เป็นต้น วัดได้จาก วาร์มิเตอร์ หรือคำนวณได้จากสูตร

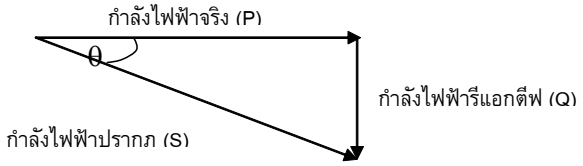
$$Q = V I \sin\theta$$

ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้งสามนี้สามารถเขียนเป็นแผนภูมิได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-1.14



รูปที่ 2-1.14 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

หรือสามารถเขียนเป็น Vector Diagram ได้ดังแสดงในรูปที่ 2-1.15



รูปที่ 2-1.15 Vector Diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน 3 ชนิด ในระบบไฟฟ้ากำลัง

จาก Vector Diagram ซึ่งมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ($\cos\theta$) แสดงได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานคือกำลังไฟฟ้าจริง(kW) กำลังไฟฟ้าสูญเสียคือกำลังไฟฟ้ารีแอคตี (kVAr) แต่กำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ทั้งหมดคือกำลังไฟฟ้าปรากฏดังนั้นถ้าลดมุม θ ให้เล็กลงได้มากเท่าไรก็จะทำให้ค่า kVAr ลดลงได้มากเท่านั้น ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น และจำนวน kVA ที่ต้องการก็จะลดลงมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริงสาเหตุที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำลงเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้ามีลักษณะเกิดขึ้นล้าหลังแรงดันไฟฟ้า(Lag) หรือกระแสไฟฟ้าเกิดก่อนแรงดันไฟฟ้า(Lead) โดยทั่วไปในโรงงานกระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้า เพราะว่าโหลดส่วนใหญ่เป็นโหลดแบบเหนี่ยวนำ(Inductive Load) หรืออุปกรณ์ที่มีขดลวดไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าล้าหลังแรงดันไฟฟ้า สภาวะเช่นนี้เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลัง(Lagging Power Factor) ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นโหลดแบบเก็บประจุไฟฟ้า(Capacitor Load) เช่น ตัวเก็บประจุไฟฟ้า(Capacitor) จะทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดก่อนแรงดันไฟฟ้า สภาวะเช่นนี้เรียกว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้ำหน้า (Leading Power Factor)

(2) การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำอย่างไร?

คือการเพิ่มค่า COS θ หรือลดมุม θ ที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ใกล้เคียง 1 มากที่สุด การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลัง ให้มีค่าสูงขึ้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

O การเลือกใช้ขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า การใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อเข้าไปในระบบไฟฟ้านั้น นอกจากจะช่วยแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดให้สูงขึ้นแล้ว ยังช่วยทำให้แรงดันไฟฟ้าดีขึ้น เพราะตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้แก่ระบบไฟฟ้า ทั้งยังมีประโยชน์อื่น เช่น ช่วยป้องกันการจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากหม้อแปลงไฟฟ้าเกินกำลัง ช่วยลดความสูญในระบบไฟฟ้า ช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่เกณฑ์ที่เหมาะสมและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เพื่อที่จะให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เหมาะสม ก็จะต้องติดตั้งเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่มีขนาดเก็บประจุที่เหมาะสม ขนาดของตัวเก็บประจุที่จะใช้ดูจากตารางที่ 2-1.7 และ 2-1.8 โดยหาค่าสัมประสิทธิ์ได้จากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก่อนปรับปรุง กับค่า PF หลังจากปรับปรุงแล้ว(หรือค่าที่ต้องการ) จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์นี้คูณกับค่าโหลด แล้วคำนวณหาขนาดเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่ต้องการได้

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

ต้องการหาขนาดของตัวเก็บประจุที่จะปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดขนาด 100 กิโลวัตต์ จากเดิม 0.7 ให้เป็น 0.95 จากตารางที่ 2-1.7 ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก 0.7 ให้เป็น 0.95 มีค่าเท่ากับ 0.69 ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุจะเท่ากับ 0.69x100 กิโลวัตต์ = 69 กิโลวาร์ นอกจากนี้ควรติดตั้งอุปกรณ์ปลดและต่อตัวเก็บประจุที่เหมาะสมเข้ากับตัวเก็บประจุด้วย เพื่อป้องกันไม่เกิดปัญหาเพาเวอร์แฟคเตอร์กลายเป็นชนิดล้ำหน้าเมื่อโหลดลดลง

ตาราง 2-1.7 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์
(กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kW)

Power Factor	Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%)			
ในตอนแรก (%)	100	95	90	85
30	3.18	2.85	2.69	2.56
32	2.96	2.63	2.48	2.34
34	2.77	2.44	2.28	2.15
36	2.59	2.23	2.11	1.97
38	2.43	2.14	1.95	1.81
40	2.29	1.96	1.81	1.67
42	2.16	1.83	1.68	1.54
44	2.04	1.71	1.56	1.42
46	1.93	1.60	1.44	1.31
48	1.83	1.50	1.34	1.21
50	1.73	1.40	1.25	1.11
52	1.64	1.31	1.16	1.02
54	1.56	1.23	1.07	1.94
56	1.48	0.15	0.99	0.86
58	1.40	1.08	0.92	0.78
60	1.33	1.00	0.85	0.71
62	1.27	0.94	0.78	0.65

Power Factor	Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%)			
ในตอนแรก (%)	100	95	90	85
64	1.20	0.87	0.72	0.52
66	1.14	0.81	0.65	0.52
68	1.08	0.75	0.59	0.46
70	1.02	0.69	0.54	0.40
72	0.96	0.64	0.48	0.34
74	0.91	0.58	0.42	0.29
76	0.86	0.53	0.37	0.24
78	0.80	0.47	0.32	0.18
80	0.75	0.42	0.27	0.13
82	0.70	0.37	0.21	0.08
84	0.65	0.32	0.16	0.03
86	0.59	0.27	0.11	-
88	0.54	0.21	0.06	-
90	0.48	0.16	-	-
92	0.43	0.10	-	-
94	0.36	0.03	-	-
96	0.29	-	-	-
98	0.20	-	-	-

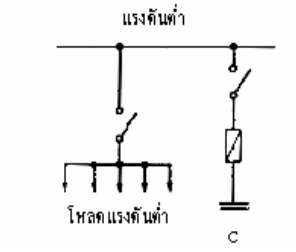
ตารางที่ 2-1.8 ตารางสัมประสิทธิ์เพื่อกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุสำหรับใช้แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ (กรณีที่โหลดมีหน่วยเป็น kVA)

Power Factor ในตอนแรก (%)	Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
30	0.95	0.86	0.97	0.77
32	0.95	0.84	0.81	0.75
34	0.94	0.83	0.78	0.73
36	0.93	0.82	0.76	0.71
38	0.92	0.80	0.74	0.69
40	0.92	0.79	0.72	0.67
42	0.91	0.77	0.71	0.65
44	0.90	0.75	0.69	0.63
46	0.89	0.74	0.67	0.60
48	0.88	0.72	0.65	0.58
50	0.87	0.70	0.62	0.56
52	0.85	0.68	0.60	0.53
54	0.84	0.66	0.58	0.51
56	0.83	0.64	0.56	0.48
58	0.82	0.62	0.53	0.46
60	0.80	0.60	0.51	0.43
62	0.79	0.58	0.49	0.40

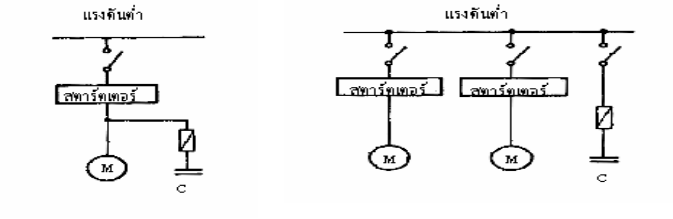
Power Factor ในตอนแรก (%)	Power Factor หลังแก้ไขแล้ว (%)			
	100	95	90	85
64	0.77	0.56	0.46	0.37
66	0.75	0.54	0.43	0.34
68	0.73	0.51	0.40	0.31
70	0.71	0.49	0.38	0.28
72	0.69	0.46	0.35	0.25
74	0.68	0.43	0.32	0.22
76	0.65	0.40	0.28	0.18
78	0.63	0.37	0.25	0.14
80	0.60	0.34	0.21	0.10
82	0.57	0.30	0.18	0.07
84	0.54	0.27	0.14	0.03
86	0.51	0.23	0.10	-
88	0.48	0.19	0.05	-
90	0.44	0.14	-	-
92	0.39	0.09	-	-
94	0.34	0.03	-	-
96	0.28	-	-	-
98	0.20	-	-	-

○ **การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า** ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถจะติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร โดยแบ่งการติดตั้งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1) การติดตั้งแบบศูนย์กลางที่จุดเดียว เพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของโรงงาน (รูปที่ 2-1.16)
2) การติดตั้งเป็นกลุ่มย่อยหรือที่มอเตอร์เป็นรายตัวเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในแต่ละจุด (รูปที่ 2-1.17)



รูปที่ 2-1.16 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบศูนย์กลาง



รูปที่ 2-1.17 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าแยกแต่ละจุด

○ **ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า**

ข้อดี

1. เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%

2. เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
3. มีความยืดหยุ่นมาก สามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
4. ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดัง การเสื่อมสภาพการทำงานต่ำ และไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
5. สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย
6. ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย

1. การเกิดแรงดันเกิน(Over Voltage)เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ
2. การเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิก (Harmonic) ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้นลง

○ **ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า**

1. เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
2. จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อน เพราะความร้อนยิ่งสูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง
3. การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้
4. ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุด (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป
5. อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ก สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที

○ **การใช้ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor)** เป็นการติดตั้งแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้งานอยู่เดิมหรือติดตั้งขึ้นมาใหม่ซิงโครนัสมอเตอร์มีประสิทธิภาพการทำงานสูง เหมาะกับโหลดที่ต้องการประสิทธิภาพด้านความเร็วคงที่สูง มีขนาดอย่างต่ำ 20 แรงม้าขึ้นไป แต่การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะเกิดขึ้นต่อเมื่อซิงโครนัสมอเตอร์เริ่มทำงานเท่านั้น หรือจะใช้ซิงโครนัสมอเตอร์แก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอย่างเดียวโดยไม่ใช้กับโหลดในโรงงานก็ได้ วิธีนี้นิยมใช้กันในระบบที่มีขนาดตั้งแต่ 7,500 kVA ขึ้นไป

(3) ผลที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

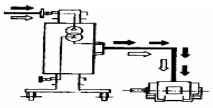
ในอุปกรณ์รับและจ่ายไฟจะติดตั้งตัวเก็บประจุ ซึ่งจะให้ผลดีดังนี้

1) ค่ากำลังสูญเสียในหม้อแปลงและสายไฟลดต่ำลง

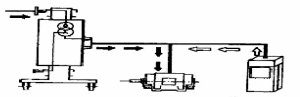
2) เป็นการลดขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในหม้อแปลงและในสายไฟ

3) เป็นการเพิ่มความสามารถในการรับกระแสของหม้อแปลงและอุปกรณ์อื่นๆ

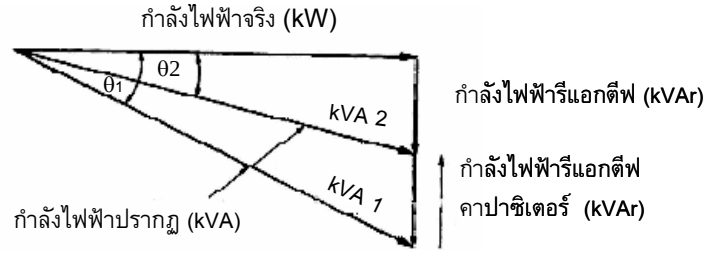
○ การลดค่าการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงและสายไฟ เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุ เข้าไปในระบบ จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ถูกปรับปรุงให้สูงขึ้นจาก $\cos\theta 1$ เป็น $\cos\theta 2$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-1.18 และทำให้กระแสที่ไหลลดลงด้วย



หม้อแปลง มอเตอร์



หม้อแปลง มอเตอร์ คาปาซิเตอร์



รูปที่ 2-1.18 การลดลงของกระแสในสายไฟเมื่อมีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ อ่านกระแสจากมิเตอร์ได้ 1,266 แอมแปร์ อ่านกำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์ได้ 500 กิโลวัตต์ จงหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 แรงดันไฟฟ้า	E	V	380	จากการตรวจวัด
1.2 กระแสไฟฟ้า	I	A	1,266	จากการตรวจวัด
1.3 กำลังไฟฟ้า	P	kW	500	จากการตรวจวัด
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ				
$S = (\sqrt{3} \times V \times I)/1,000$	S	kVA	833.26	
2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า				
PF. = P / S	PF.	-	0.6	

ถ้าปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น กระแสไฟฟ้าก็จะลดลง

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ตามตัวอย่างข้างต้น หากปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นเป็น 0.95 จงหากระแสไฟฟ้าหลังจากทำการติดตั้งตัวเก็บประจุแล้ว

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 แรงดันไฟฟ้า	E	V	380	จากตัวอย่างที่ผ่านมา
1.2 กระแสไฟฟ้าเดิม	I	A	1,266	จากตัวอย่างที่ผ่านมา
1.3 กำลังไฟฟ้า	P	kW	500	จากตัวอย่างที่ผ่านมา
1.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเดิม	PF.1	-	0.60	จากตัวอย่างที่ผ่านมา
1.5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใหม่	PF.2	-	0.95	ค่าที่ต้องการปรับปรุง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ				
S = P / PF.2	S	kVA	526.32	
2.2 กระแสไฟฟ้าหลังติดตั้งตัวเก็บประจุ				
$I_2 = I_1$ x (PF.1 / PF.2)	I_2	A	799.58	

นอกจากนั้นการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งทำให้กระแสในสายมีขนาดลดลง ยังทำให้ค่ากำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงขณะมีโหลดลดลงด้วย ค่ากำลังงานสูญเสียที่ลดลงนี้สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$\Delta W = \left(\frac{100}{\eta} - 1\right) \times K \times \left(\frac{P}{P_O}\right)^2 \times \left[1 - \frac{\cos^2 \phi_O}{\cos^2 \phi}\right] \times P_O$$

โดยที่ ΔW = กำลังงานสูญเสียที่ลดลง (kW)

η = ประสิทธิภาพ (%)

K = อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากมีโหลดกับค่าการสูญเสียรวม (ค่ากำลังงานสูญเสียขณะไม่มีโหลด + ค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากมีโหลด)

P = ขนาดของโหลด (kVA)

P_O = ขนาดของหม้อแปลง (kVA)

ดูตัวอย่างเพื่อเกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ จาก name plate มีการสูญเสียขณะไม่มีโหลด 1,900 วัตต์ การสูญเสียเนื่องจากโหลด 13,500 วัตต์ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 98.46% ขณะทำงานตรวจวัดโหลดได้ 833 กิโลโวลต์แอมแปร์ ที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.6 จงหากำลังการสูญเสียของหม้อแปลงที่ลดลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.95 ถ้าทำงานวันละ 12 ชั่วโมง 300 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.10 บาทต่อหน่วย

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า	P_O	kVA	1,000	ขนาดของหม้อแปลง
1.2 การสูญเสียขณะไม่มีโหลด	NL_{loss}	W	1,900	จาก name plate
1.3 การสูญเสียเนื่องจากโหลด	L_{loss}	W	13,500	จาก name plate
1.4 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	η	%	98.46	จาก name plate
1.5 ขนาดของโหลด	P	kVA	833	จากการตรวจวัด
1.6 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	PF.1	-	0.60	จากการตรวจวัด
1.7 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	PF.2	-	0.95	ค่าที่ต้องการปรับปรุง
1.8 ชั่วโมงทำงานต่อปี	hr	hr/y	3,600.00	จากการใช้งานจริง
1.9 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	EC	B/kWh	3.1	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 การสูญเสียเนื่องจากโหลดจริง				
L_{loss}(จริง) = (P x L_{loss})/ P_O	L_{loss}(จริง)	W	11,245.50	
2.2 อัตราส่วนการสูญเสียมีโหลด				
กับการสูญเสียรวม				
K = L_{loss}(จริง)/(NL_{loss}+ L_{loss}(จริง))	K	-	0.86	
2.3 การสูญเสียที่ลดลง				
W = ((100/η) -1) x K x $(P/P_O)^2$	W	kW	5.61	
x (1- $PF.1^2$/ $PF.2^2$) x P_O				
2.4 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี				
ES = W x hr	ES	kWh/y	20,196	
2.5 ค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี				
SC = ES x EC	SC	B/y	62,608	

- การลดขนาดแรงดันตกในหม้อแปลงและสายไฟ ขนาดของแรงดันตกสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta E = I (R \cos\theta + X \sin\theta)$$

โดยที่ ΔE = ขนาดของแรงดันตก

I = กระแสโหลด

R = ความต้านทานในสายไฟที่รวมความต้องการของหม้อแปลง

X = ค่ารีแอคแตนซ์ (reactance) ในสายไฟที่รวมค่ารีแอคเตอร์ของหม้อแปลง

$\cos\theta$ = ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงและสายไฟ

- การเพิ่มความสามารถในการรับกระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้า

เมื่อติดตั้งค่าแพซิเตอร์เข้าไป ทำให้กระแสรวมและโหลดของหม้อแปลงและสายไฟมีค่าลดต่ำลง ทำให้มีกำลังสำรองในกรณีที่ต้องเพิ่มโหลดในภายหลัง

- การลดค่าปรับ

การไฟฟ้าจะเรียกเก็บค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ส่วนที่ต่ำกว่า 0.85 ในอัตรากิโลวาร์(kVAr)ละ 14.02 บาท หากโรงงานเสียค่าปรับอยู่แล้ว การแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์จะทำให้ไม่ต้องเสียค่าปรับ

ตารางที่ 2-1.9 แสดงค่าปรับ เนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำกว่า 0.85

kW	ค่าปรับ (บาท)									
	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า									
	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
100	-	-	-	183	365	561	772	1,010	1,262	1,557
300	-	-	-	548	1,094	1,683	2,314	2,160	3,786	4,669
500	-	-	-	913	1,825	2,806	3,858	5,007	6,297	7,783
1000	-	-	-	1,827	3,649	5,612	7,715	10,014	12,622	15,566

2.1.4 วิธีประหยัดพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร?

$$\text{Electric Power Consumption of Transformer (kWh)} = \left(\text{No-load Loss (kW) } ❶ + \text{Load Loss (kW) } ❷ \times \frac{\text{Load Factor (\%) } ❸}{100} \right) \times \text{Operating Time (hr) } ❹$$

หมายเลข	แนวทางในการประหยัดพลังงาน	มาตรการที่ดำเนินการ
1	ลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด	● ปลดหม้อแปลงเมื่อไม่ใช้งานเป็นเวลานาน ● ใช้หม้อแปลงให้เหมาะสม ● ปรับแรงดันให้เหมาะสม ● ใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง
2	ลดการสูญเสียเมื่อมีโหลด	● ลดพลังไฟฟ้าสูงสุด ● ใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง ● เลือกขนาดหม้อแปลงให้เหมาะสมกับ Load Factor ● ยุบรวมหม้อแปลงที่มีโหลดน้อย ● ปรับปรุงค่า Power Factor
3	เพิ่มค่า Load Factor	● ลดพลังไฟฟ้าสูงสุด
4	ลดชั่วโมงการทำงาน	● วางแผนการทำงานให้เหมาะสม
อื่น ๆ	ปรับปรุงค่า Power Factor	● ติดตั้งคาปาซิเตอร์ ● ใช้ซิงโครนัสมอเตอร์

หมายเลข 3 ตามสมการเมื่อเพิ่มค่า Load Factor จะทำให้การใช้พลังงานมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากค่าของ Load Factor จะได้ดังนี้

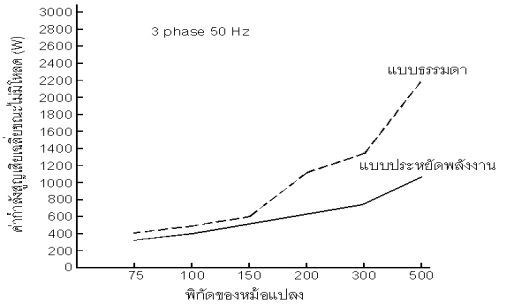
$$\text{L.F.}_{(\text{รายเดือน})} = \frac{\text{kWh}}{\text{kW x จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}}$$

การเพิ่ม L.F. คือการลดค่า kW นั่นคือค่าของพลังไฟฟ้าสูงสุดลดลง ปริมาณกระแสก็จะลดลงเช่นกัน ซึ่งจะทำให้การสูญเสียเมื่อมีโหลดลดลงด้วย

- การใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ให้ประหยัดพลังงานจะต้องคำนึงถึง

1. การใช้หม้อแปลงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ การทำให้กำลังงานสูญเสียขณะไม่มีโหลดเท่ากับกำลังงานสูญเสียเมื่อมีโหลด (Wi = Wc) อย่างไรก็ดี โหลดในโรงงานจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นการยากที่จะทำให้การสูญเสียดังกล่าวเท่ากัน ดังนั้นวิธีที่สะดวกที่สุดคือการเลือกใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง

2. การลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด จะขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า วิธีการจะลดการสูญเสียนี้ได้แก่ 1) ปลดหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน เช่น ในวันหยุด(ปลดวงจรทั้งด้านไฟแรงสูงและแรงต่ำ)จะลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลดลงได้ 2) การใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะมีค่าการสูญเสียน้อยกว่าหม้อแปลงธรรมดา ดังรูปที่ 2-1.19 3) การใช้หม้อแปลงให้เหมาะสมกับโหลด โดยการย้ายโหลดหม้อแปลง ดังกล่าวในตอนต้น การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม ควรจ่ายโหลดอยู่ในช่วง 60% - 80% ของขนาดพิกัด ดังนั้นควรตรวจสอบโหลดของหม้อแปลงแต่ละตัวว่าทำงานอยู่ในช่วงดังกล่าวหรือไม่ หากไม่ใช่ควรจัดการแบ่งโหลดของหม้อแปลงเสียใหม่



รูปที่ 2-1.19 การสูญเสียของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

ดูตัวอย่างเพื่อเกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว ขนาด 500 กิโลโวลต์แอมแปร์ เท่ากัน ตรวจวัดหม้อแปลง TR-1 มีโหลด 3.79 กิโลวัตต์ ที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.33 TR-2 มีโหลด 115.90 กิโลวัตต์ ที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.73 ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU มี On Peak รวม 3,250 ชั่วโมง Off Peak รวม 5,510 ชั่วโมง จงย้ายโหลดหม้อแปลงมารวมกันที่ TR-2 และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี?

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า TR-1	TR1	kVA	500.00	จาก Name Plate
1.2 ขนาดพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า TR-2	TR2	kVA	500.00	จาก Name Plate
1.3 พลังไฟฟ้าสูงสุดของ TR-1	P1	kW	3.79	ตรวจวัด
1.4 พลังไฟฟ้าสูงสุดของ TR-2	P2	kW	155.90	ตรวจวัด
1.5 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงในช่วงเวลา On	hr1	hr/y	3,250.00	สอบถามโรงงาน
1.6 ชั่วโมงการใช้งานหม้อแปลงในช่วงเวลา Off	hr2	hr/y	5,510.00	สอบถามโรงงาน
1.7 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ TR-1	PF1	-	0.33	ตรวจวัด
1.8 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ TR-2	PF2	-	0.73	ตรวจวัด
1.9 Copper Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-1	CP1	kW	5.50	คุณลักษณะหม้อแปลง
1.10 Copper Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-2	CP2	kW	5.50	คุณลักษณะหม้อแปลง
1.11 Core Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-1	CL1	kW	1.10	คุณลักษณะหม้อแปลง
1.12 Core Loss ที่พิกัดหม้อแปลง TR-2	CL2	kW	1.10	คุณลักษณะหม้อแปลง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.13 ค่าพลังไฟฟ้าต่อหน่วย	CP	B/kW	132.93	บิลไฟฟ้า
1.14 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak	CEO	B/kWh	2.70	บิลไฟฟ้า
1.15 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak	CEF	B/kWh	1.19	บิลไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ TR-1				
PA1 = P1 / PF1	PA1	kVA	11.48	
2.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏ TR-2				
PA2 = P2 / PF2	PA2	kVA	213.56	
2.3 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ TR-1				
PR1 = P1 x tan x ($\cos^{-1}$ PF1)	PR1	kVAr	10.84	
2.4 กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ TR-2				
PR2 = P2 x tan x ($\cos^{-1}$ PF2)	PR2	kVAr	145.96	
2.5 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่ Core				
ECO = CL1 x hr1	ECO	kWh/y	3,575.00	
ECf = CL2 x hr2	ECf	kWh/y	6,061.00	
2.6 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่				
EPO = CP1 x (PA1 / TR1)^2 x hr1	EPO	kWh/y	9.42	
EPf = CP1 x (PA1 / TR1)^2 x hr2	EPf	kWh/y	15.98	
2.7 เมื่อนำโหลดหม้อแปลง TR-2 มารวมกับ				
PAN = ((P1 + P2)^2 + (PR1 + PR2)^2)$^{1/2}$	PAN	kVA	223.80	
2.8 พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการสูญเสียที่				
CPIO = CP2 x ((PAN / TR2)^2 - (PA2 /	CPIO	kWh/y	320.22	
CPIf = CP2 x ((PAN / TR2)^2- (PA2 /	CPIf	kWh/y	542.89	
2.9 การสูญเสียที่ลดลงทั้งหมด				
EO = ECO + EPO - CPIO	EO	kWh/y	3,264.20	
Ef = ECf + EPf - CPIf	EF	kWh/y	5,534.09	
2.10 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
CSO = EO x CEO	CSO	B/y	8,797.02	
CEF = Ef x CEf	CEF	B/y	6,593.31	
2.11 พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
PS = CL1 + CP1 x (PA1 / TR1)^2 - CP2	PS	kW	1.00	
2.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
EP = PS x 12 x CP	EP	B/y	1,602.13	
2.13 รวมค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
SE = EP + CSO + CEF	SE	B/y	16,992.47	

3. การปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายด้านแรงต่ำจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น จะต้องเท่ากับพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ อย่างไรก็ดี อุปกรณ์ไฟฟ้าจะติดตั้งอยู่

ในตำแหน่งต่างๆ ที่ห่างจากบัสบาร์ไม่เท่ากัน จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าแต่ละจุดไม่เท่ากัน ควรพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ไกลที่สุดเป็นหลัก ให้แรงดันมีค่าเป็น 380 โวลต์ (โดยการปรับแทปที่หม้อแปลงไฟฟ้า) การปรับแรงดันไฟฟ้าให้ลดลง จะทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

กำลังที่ประหยัดได้ = กำลังที่สูญเสียไม่มีโหลด x $[(V_1/V_2)^2-1]$ kW

เมื่อ V_1 = แรงดันไฟฟ้าก่อนปรับลด

V_2 = แรงดันไฟฟ้าหลังปรับลด

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ตัวที่ไกลสุดได้ 392 โวลต์ หากปรับแรงดันไฟฟ้าที่แทปลดลง 1 ระดับ จงหากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 การสูญเสียขณะไม่มีโหลด	NL_{loss}	W	1,900.00	ข้อมูลจาก name plate
1.2 แรงดันไฟฟ้าก่อนปรับ	E1	V	392.00	จากการตรวจวัด
1.3 แรงดันไฟฟ้าหลังปรับ	E2	V	382.00	ปรับลง 1 ระดับ ~ 10 V
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ W = NLloss x ((E1/E2)2-1) /1000	W	kW	0.101	

2-1.5 แนวทางการตรวจวินิจฉัยและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าทำอย่างไร?

การตรวจสอบประจำวัน เป็นการตรวจสอบด้วยสายตา โดยใช้แบบตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบในการดำเนินการดังนี้

1. ลูกถ้วยแรงสูง, แรงต่ำ
2. ล่อฟ้า
3. ขั้วต่อสายแรงสูง, แรงต่ำ
4. ชุดกรองความชื้น
5. รอยรั่วของน้ำมัน
6. สภาพทั่วไปของตัวกับหม้อแปลง
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. จุดต่อสายดิน
9. ระดับน้ำมัน

การตรวจสอบประจำปี ซึ่งถ้าเป็นไปได้ควรตรวจสอบทุก 6 เดือน หรืออย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เป็นการตรวจสอบที่ต้องปลดหม้อแปลงออกจากวงจร ต้องทดสอบทุกรายการ ตามแบบตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

แบบตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	**ผลการตรวจ**	
1. ลูกถ้วยแรงสูง	☐ สะอาด, ผิวเรียบ ☐ มีฝุ่นจับ ☐ มีรอยบิ่นที่เฟส…… ☐ มีรอยร้าวที่เฟส…..	ลูกถ้วยจะต้องสะอาด มีผิวเรียบ ไม่มีฝุ่นจับ ไม่มีรอยร้าวหรือบิ่น การที่ลูกถ้วยสกปรกหรือผิวมีรอยร้าวรอยบิ่นจะทำให้เกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินได้
2. ลูกถ้วยแรงต่ำ	☐ สะอาด, ผิวเรียบ ☐ มีฝุ่นจับ ☐ มีรอยบิ่นที่เฟส……. ☐ มีรอยร้าวที่เฟส…..	ลูกถ้วยจะต้องสะอาด มีผิวเรียบ ไม่มีฝุ่นจับ ไม่มีรอยร้าวหรือบิ่น การที่ลูกถ้วยสกปรกหรือผิวมีรอยร้าวรอยบิ่นจะทำให้เกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินได้
3. ขั้วต่อสายแรงสูง	☐ สะอาด ☐ ขั้วต่อแน่น	ขั้วต่อสายจะต้องแน่น สะอาด ไม่มีสนิมบริเวณจุดต่อ - ตรวจสอบด้วยสายตา - อุณหภูมิแบบใช้แสง ให้เล็งลำแสงไปยังจุดต่อ อุณหภูมิจะต้องไม่เกินอุณหภูมิแวดล้อม
4. ขั้วต่อสายแรงต่ำ	☐ สะอาด ☐ ขั้วต่อแน่น	เช่นเดียวกับข้อ 3 ขั้วต่อสายต้องไม่ขยับ (ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าตั้งอยู่บนพื้นตรวจสอบโดยจับสายแรงต่ำโยกเล็กน้อย)
5. จุดปรับแรงดัน	☐ แทปอยู่ที่ตำแหน่งที่…..	แทปใช้สำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าด้านสายแรงต่ำการปรับแทป 1 ตำแหน่งจะทำให้แรงดัน ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 10 โวลท์
6. รอยรั่วซึมของน้ำมัน	☐ ไม่มีรอยรั่วซึม ☐ มีรอยซึมที่……..	จะต้องไม่มีการรั่วซึมของน้ำมันจากประเก็นที่ปะกบอยู่ระหว่างรอยต่อของหม้อแปลงหรืออุปกรณ์ ถ้าน้ำมันรั่วซึมตลอดเวลา จะต้องหยุดการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าและรีบแก้ไขโดยด่วน
7. บูชโฮลท์รีเลย์	☐ มี ☐ ไม่มี ☐ ต่อใช้งาน ☐ ไม่ได้ต่อใช้งาน	บู๊ชโฮลท์รีเลย์ ใช้ส่งสัญญาณเมื่อปริมาณของน้ำมันหม้อแปลงต่ำกว่าที่กำหนด ถ้าสัญญาณเช่น หลอดไฟหรือออดทำงานแสดงว่าระดับน้ำมันต่ำกว่าที่กำหนด
8. เทอร์โมมิเตอร์	☐ มี ☐ ไม่มี ☐ แบบหน้าปัทม์ ☐ แบบแท่ง ☐ แสดงผล ☐ ไม่แสดงผล	เทอร์โมมิเตอร์ติดตั้งไว้เพื่อแสดงอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง - ตรวจสอบความถูกต้องของอุณหภูมิที่อ่านได้ - อุณหภูมิต้องไม่เกิน 60 ^{O}C
9. ระดับน้ำมัน	☐ ตรงแนวระดับ	

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	**ผลการตรวจ**	
	☐ สูงกว่าแนวระดับ ☐ ต่ำกว่าแนวระดับ	
10. ล่อฟ้า	☐ สมบูรณ์ ☐ ไม่สมบูรณ์	
11. ชุดกรองความชื้น	☐ มี ☐ ไม่มี ☐ สภาพดี ☐ เสื่อมสภาพ	
12. ตัวถังหม้อแปลง	☐ สภาพดี ☐ บางส่วนมีสีจางเป็นดวงๆ ☐ เริ่มมีคราบสนิม	
13. จุดต่อสายดิน	☐ สมบูรณ์ ☐ หลุด, ขาด ☐ เกิดสนิมทั้งหมด	
14. ค่าฉนวนน้ำมัน	☐ มีรายงานทดสอบ ☐ ไม่มีรายงานทดสอบ	
15. การตรวจสอบความเป็นฉนวนโดยการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซในน้ำมัน	☐ มีรายงานทดสอบ ☐ ไม่มีรายงานทดสอบ	หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดกลาง (500 kVA) ขึ้นไปต้องสอบวินิจฉัยปริมาณก๊าซในน้ำมันที่จะเกิดเป็นเปลวได้ ตามมาตรฐานที่พิจารณา
16. การวัดค่าความต้านทานระหว่างขดลวดและระหว่างขดลวดกับดิน	☐ มีรายงานทดสอบ ☐ ไม่มีรายงานทดสอบ	ตามมาตรฐานที่ใช้พิจารณา
17. ทดสอบการทำงานของรีเลย์	☐ มีรายงานทดสอบ ☐ ไม่รายงานทดสอบ	ตามมาตรฐานที่ใช้พิจารณา
18. ตรวจสอบความผิดปกติอื่นๆ	☐ ปกติ ☐ ไม่ปกติ	ตามมาตรฐานที่ใช้พิจารณา