

## บทที่ 1

# ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร (Power distribution system in factory/building)

### ความสำคัญของเนื้อหาวิชา (Overview)

หลักการที่สำคัญของระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร เริ่มตั้งแต่การออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยเลือกการจ่าย และการควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งานรวมถึงความปลอดภัยในการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่ใช้มีหลายระบบ ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกัน ความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละระบบก็แตกต่างกันนอกจากการออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้าที่ดีแล้วการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์การจ่ายไฟฟ้า และวางแผนปรับเวลาการใช้โหลดนั้นสามารถลดการเกิดพลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้สุดท้ายการตรวจสอบระบบการจ่ายไฟฟ้าอย่างถูกต้อง และสม่ำเสมอจะทำให้สามารถใช้งานระบบการจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมั่นคง และปลอดภัย

### วัตถุประสงค์ (Objective)

1. อธิบายหลักการวางระบบการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร
2. อธิบายวิธีการอนุรักษ์พลังงานในระบบการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร
3. อธิบายวิธีการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร
4. อธิบายวิธีการตรวจสอบระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า
5. คำนวณการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์
6. อธิบายวิธีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด
7. อธิบายวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบภาระไฟฟ้า

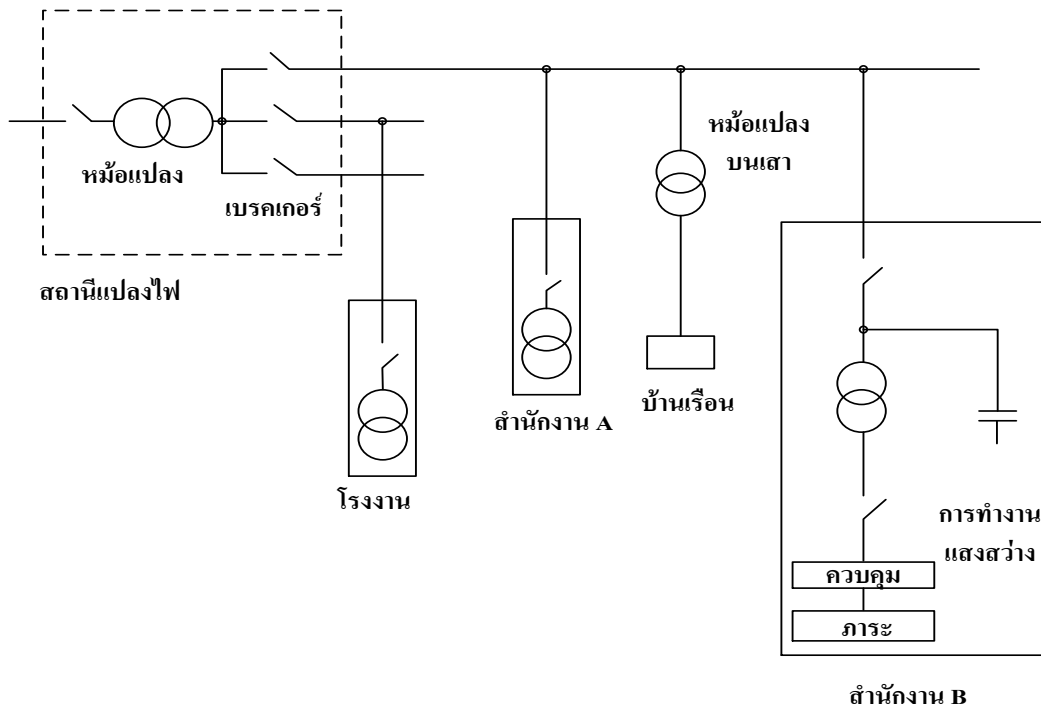
### บทนำ (Introduction)

เนื้อหาในบทนี้จะแนะนำถึงประเภท วิธีการ และหลักการตลอดจนการตรวจสอบดูแลระบบการจ่ายไฟฟ้าให้มีความมั่นคง และปลอดภัยต่อการใช้งานได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการประหยัดพลังงานด้วยการควบคุม และการวางแผนการใช้หรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าในตอนท้ายจะเป็นการนำเสนอกรณีศึกษา

## 1.1 ระบบการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร (Power distribution system in factory/building)

### 1.1.1 ระบบจ่ายไฟฟ้า

แผนผังทั่วไปของระบบจ่ายไฟฟ้าแสดงไว้ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังระบบการจ่ายไฟฟ้าทั่วไป

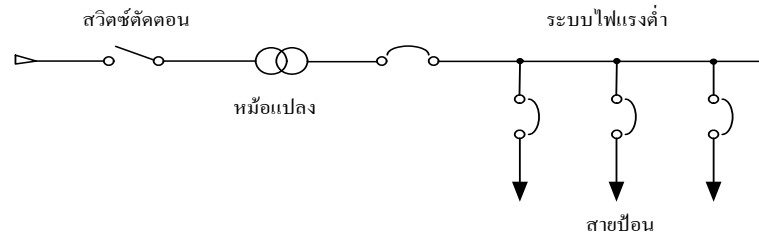
ระบบจ่ายไฟฟ้าเริ่มจากสถานีย่อยซึ่งมีสายไฟหลายเส้นต่อผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกมาสู่ลูกค้าที่บริเวณต่างๆ สายจ่ายไฟจะต่อเข้ากับอุปกรณ์รับไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารสำนักงาน อุปกรณ์รับไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีอุปกรณ์ป้องกันต่ออยู่เมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือเกิดลัดวงจรขึ้นเบรกเกอร์จะทำการตัดไฟฟ้าเพื่อแยกอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และจำกัดความเสียหายไว้เฉพาะอุปกรณ์ที่เกิดอุบัติเหตุเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น หากเกิดอุบัติเหตุไฟฟาลัดวงจรขึ้นในโรงงานหรือสำนักงาน กระแสไฟฟ้า นั้นจะไหลในสถานีไฟฟ้าย่อยด้วย แต่อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าของโรงงานหรืออาคารสำนักงานจะต้องทำงานเร็วกว่าสถานีไฟฟ้าย่อย และทำการตัดวงจรออกไป ทั้งนี้จำเป็นต้องตั้งค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า กระแสไฟฟ้า และเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้มีความแตกต่างกันระหว่างโรงงานและสถานีไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ให้เหลือน้อยที่สุดรวมทั้งป้องกันไม่ให้อุบัติเหตุส่งผลกระทบต่อสถานีไฟฟ้าอีกด้วย มาตรการนี้เรียกว่าการจัดความสัมพันธ์ของการป้องกัน (Protection co-ordination)

หากอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าไม่ทำงานตามปกติเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นในโรงงานหรือสำนักงาน เบรกเกอร์ของสถานีไฟฟ้าย่อยจะทำงานพร้อมๆ กับการเกิดอุบัติเหตุ ทำให้สำนักงานหรือบ้านเรือนอื่นๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับสายจ่ายไฟฟ้าเดียวกันไฟดับไปด้วย ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า อุบัติเหตุต่อเนื่อง

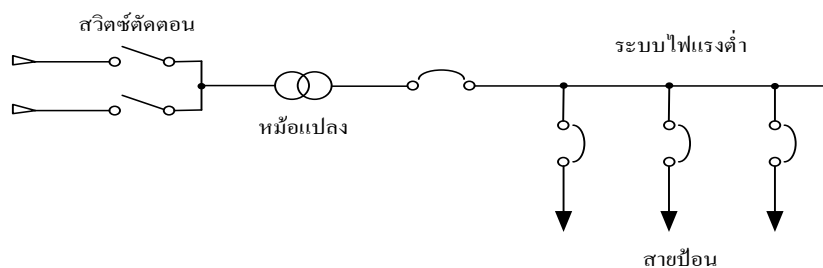
สถานีไฟฟ้าย่อยหรือระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีอยู่ 4 แบบด้วยกัน คือ ระบบสายประธานเดี่ยว ระบบสายประธานคู่ ระบบสายประธานสองชุด และระบบสปอตเน็ตเวิร์ค (Spot network)

(1) ระบบสายประธานเดี่ยว (Simple radial) เป็นระบบจ่ายไฟสายประธานเดี่ยว (Single primary service) และจ่ายเข้าหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังผ่านเข้าสู่สายป้อน (Feeder) ดังรูปที่ 1.2 ข้อดีของระบบนี้คือ เป็นระบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุด สะดวกต่อการป้องกันการจลลัดดับเวลาการทำงาน (Co-ordinate) ระบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานขนาดย่อมที่สามารถหยุดการผลิตได้ในบางเวลา



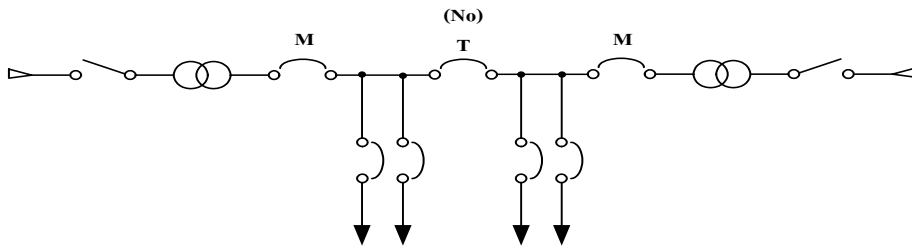
รูปที่ 1.2 ระบบสายประธานเดี่ยว

(2) ระบบสายประธานคู่ (Primary selective radial) เป็นระบบที่เหมือนกับระบบสายประธานเดี่ยว เพียงแต่เพิ่มวงจรสำรองให้รับไฟเป็นวงจรคู่ ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องซ่อมแซมสายไฟฟ้าแรงสูงชุดหนึ่งชุดใด ข้อดีของระบบจ่ายไฟนี้คือ ระบบมีความน่าเชื่อถือดีขึ้น



รูปที่ 1.3 ระบบสายประธานคู่

(3) ระบบสายประธานสองชุด (Secondary selective) ระบบนี้จะทำงานเป็นแบบระบบสายประธานเดี่ยว 2 ชุด ดังรูปที่ 1.4 แต่ละชุดจะถูกเชื่อมโยง (Tie) ด้วยตัวตัดตอนอัตโนมัติ (T) ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดเสียหาย สวิตช์ตัดตอน (M) จะปลดวงจรชุดนั้น (Open) และสวิตช์ตัดตอน (T) จะเชื่อมต่อวงจร (Close) ถึงกันทันที ซึ่งอาจจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติก็ได้ ระบบสายประธานสองชุดเป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากในขณะนี้ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวที่เหลือจะต้องจ่ายโหลดทั้งหมด เพื่อให้หม้อแปลงทำงานได้ดีจำเป็นต้องพิจารณาต่อไป

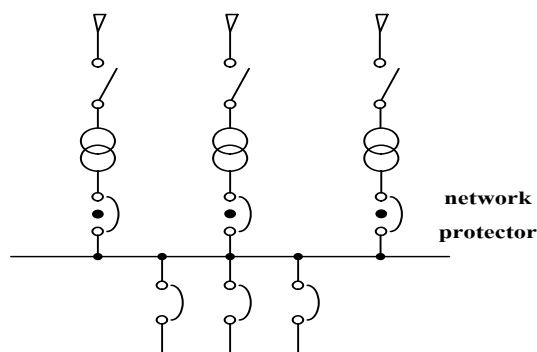


รูปที่ 1.4 ระบบสายประธานสองชุด

- 1) หม้อแปลงทั้งสองตัวจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้แต่ละตัวสามารถรับโหลดได้ทั้งหมด
- 2) ต้องจัดหาพัดลมระบายความร้อนสำหรับหม้อแปลงในช่วงสภาวะฉุกเฉิน
- 3) ปลดโหลดที่ไม่จำเป็นในช่วงสภาวะฉุกเฉิน
- 4) ใช้ขนาดอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินตามความสามารถของหม้อแปลง และสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงลดลง

สำหรับข้อดีของระบบนี้คือ หม้อแปลงไม่ได้ต่อขนานกันวิสัยสามารถตัดกระแส (Interrupting capacity หรือ IC) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) มีค่าเท่ากับแบบระบบสายประธานเดี่ยวระบบนี้มีความเชื่อถือสูง

(4) สปอตเน็ตเวิร์ค (Spot network) ระบบนี้จะประกอบด้วยหม้อแปลงจ่ายไฟ 2 ชุด หรือมากกว่า ต่อแยกเป็นอิสระกัน ส่วนทางด้านแรงต่ำจะต่อขนานโดยผ่านสวิตช์ตัดตอนชนิดพิเศษ เรียกว่า Network protector ดังรูปที่ 1.5 ถ้าสายป้อนแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้องกำลังไฟฟ้าจะถูกป้อนผ่านหม้อแปลงตัวอื่นและผ่าน Network protector ไปยังจุดที่ขัดข้อง พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนกลับเป็นเหตุให้ Network protector เปิดวงจร และปลดแหล่งจ่ายออกจากวงจรแรงดันต่ำ สำหรับระบบจ่ายไฟนี้มีราคาแพงเพราะ Network protector มีราคาสูง และวิสัยสามารถตัดกระแส (IC) เพิ่มขึ้นเนื่องจากหม้อแปลงขนานกัน แต่ความสม่ำเสมอของแรงดันดี

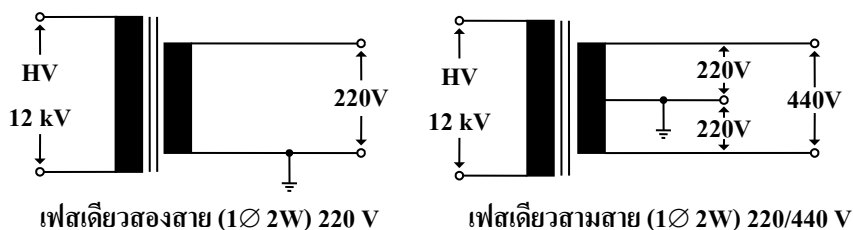


รูปที่ 1.5 สปอตเน็ตเวิร์ค

### 1.1.2 ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ

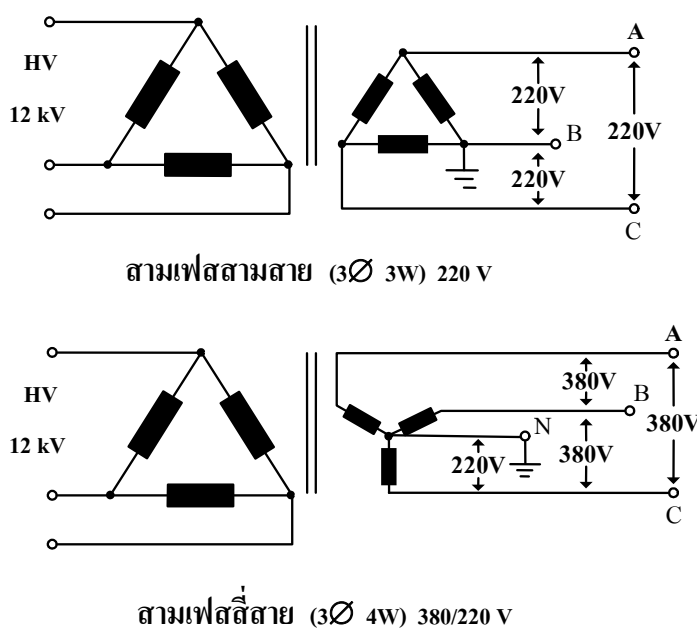
ระดับแรงดันมาตรฐานของระบบจำหน่ายแรงดันต่ำในประเทศไทยแบ่งออกเป็นระบบจำหน่ายเฟสเดียว (Single phase) และระบบจำหน่ายสามเฟส (Three phase)

- (1) ระบบจำหน่ายเฟสเดียว จะจำหน่ายเป็นชนิดเฟสเดียวสองสาย ( $1\phi 2W$ ) 220 V และชนิดเฟสเดียวสามสาย ( $1\phi 3W$ ) 220/440 V ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ระบบจำหน่ายเฟสเดียว

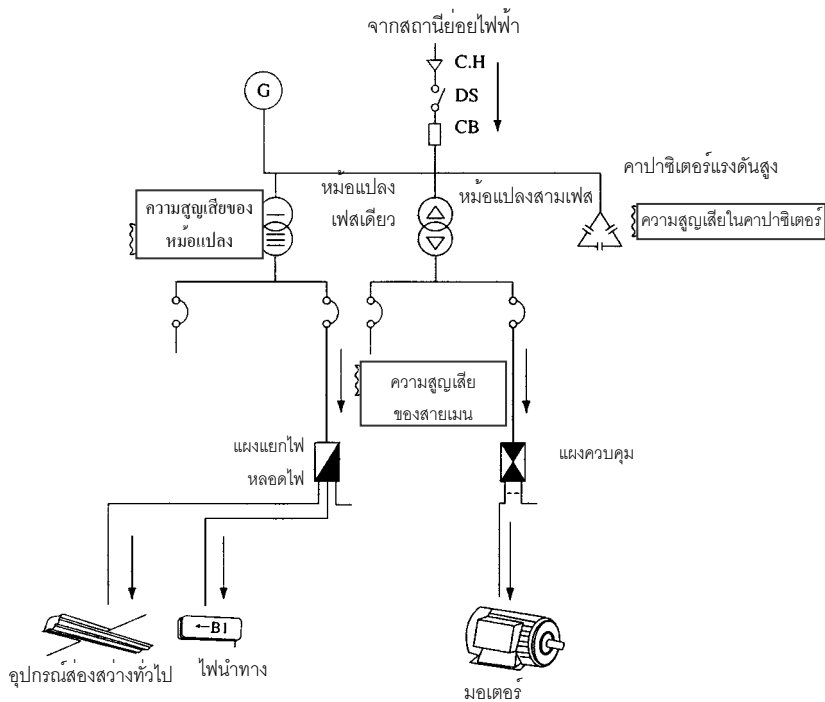
(2) ระบบจำหน่ายสามเฟส จะจำหน่ายเป็นชนิดสามเฟสสามสาย (3Ø 3W) 220 V และชนิดสามเฟสสี่สาย (3Ø 4W) 380/220 V ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ระบบจำหน่ายสามเฟส

## 1.2 การออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง (Design of power system)

พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารจะต้องผ่านอุปกรณ์รับและแปลงไฟฟ้า สายเมน ไปที่อุปกรณ์ควบคุมไฟ สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้า และแสงสว่าง แล้วจ่ายให้ภาระที่ต้องการพลังงานไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ อุปกรณ์ส่องสว่าง เป็นต้น ดังรูปที่ 1.8 ซึ่งในโรงงานก็จะใช้วิธีเดียวกัน



รูปที่ 1.8 การไหลของพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

ในรูปที่ 1.8 สิ่งที่สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด ได้แก่ ภาระพวกมอเตอร์ และอุปกรณ์ แสงสว่าง อย่างไรก็ตาม ในเส้นทางจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังภาระ กล่าวคือ ในหม้อแปลง สายเมน ฯลฯ ก็ยังมีความสิ้นเปลืองพลังงานในรูปความสูญเสียอีกด้วย

การอนุรักษ์พลังงานของระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับกรอบแบบการจัดการการใช้งานก็มีบทบาทที่สำคัญเช่นกันการจัดการพลังงานของระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องเข้าใจหลักการของการอนุรักษ์พลังงานตามเจตนารมณ์ของผู้ออกแบบ แล้วนำมาปฏิบัติในการจัดการการใช้งาน

วิธีลดกำลังสูญเสียในสายไฟทำได้ดังต่อไปนี้ในการออกแบบต้องเลือกใช้แรงดันที่เหมาะสม (ลดกระแสในสาย) เลือกขนาดของสายไฟที่เหมาะสม (ลดความต้านทาน) และเลือกวงจรจ่ายโหลดที่ทำให้แหล่งจ่ายไฟอยู่ที่ศูนย์กลางของโหลด (ลดระยะทาง) นอกจากนี้ ในการเดินเครื่องต้องพยายามเลือกวงจรที่ทำให้กระแสของโหลดสมดุลที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้รวมทั้งการเดินเครื่องให้เหมาะสมสภาพโหลด เช่น การปลดหม้อแปลงบางลูกในแบงค์เพื่อลดกำลังสูญเสียจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก หรือการย้ายโหลด เป็นต้น ต่อไปนี้จะอธิบายวิธีลดกำลังสูญเสียในอุปกรณ์แต่ละประเภท

### 1.2.1 การออกแบบทางไฟฟ้า

(1) การจัดโหนดของหม้อแปลงไฟฟ้าให้สมดุลกันทุกเฟส

โหลดในระบบไฟฟ้า 3 เฟสมีทั้งที่เป็นโหลดสมดุลกับโหลดไม่สมดุล กล่าวคือ โหลดไม่สมดุล หมายความว่า อิมพีแดนซ์ที่นำมาต่อในแต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้กระแสรวมของโหลดทางเวกเตอร์มี ผลลัพธ์ไม่เป็นศูนย์ถ้าโหลดนั้นต่อแบบสตาร์จะมีกระแสไหลในสายนิวทรัลด้วยจะทำให้ขดลวดของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า หรือหม้อแปลงไฟฟ้าชำรุดเสียหายได้โดยเฉพาะในระบบที่โหลดต่อแบบเดลต้าจะทำให้มีกระแสไหลวนใน วงรอบในลักษณะที่เป็นภาระพึ่งพิงต่อกันระหว่างเฟส ในทางปฏิบัติการที่จะทำให้โหลดสมดุลนั้นเป็นไปได้ยาก มากหรือแทบเป็นไปไม่ได้เลยเพียงแต่ว่าทำอย่างไรจึงจะออกแบบและควบคุมระบบไฟฟ้ามิให้เกิดปรากฏการณ์ โหลดไม่สมดุล

### ออกแบบและควบคุมระบบไฟฟ้ามิให้เกิดปรากฏการณ์โหลดไม่สมดุล

1. พิจารณาโหลดที่ใช้ไฟฟ้า 1 เฟส เป็นพิเศษ เช่น การทำงาน ขนาด และความสำคัญ
2. ควรมีเครื่องมือตรวจวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ
3. ควรมีการบันทึกการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า
4. นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางในการจัดโหลดให้สมดุลกันทุกเฟส

### ตารางโหลด (Load Schedule)

การจัดทำตารางโหลด (Load Schedule) มีความจำเป็นมาก เพราะจะแสดงรายละเอียดต่างๆ ที่ไม่สามารถแสดงในแบบได้ และยังช่วยให้การออกแบบสะดวก ผู้ใช้งานหรือผู้ที่ทำการประมาณราคาและติดตั้งจะดูแบบได้ง่ายขึ้น ประโยชน์ที่ได้จากการจัดทำตารางโหลดพอสรุปได้ดังนี้

1. สามารถจัดการสมดุลของโหลดแต่ละเฟสได้ดี (Balanced Load) โดยเฉพาะที่โหลดส่วนใหญ่เป็นโหลด 1 เฟส
2. การคำนวณโหลดทำได้ง่าย และสะดวกขึ้นไม่ว่าจะเป็นการหาผลรวมของโหลดทั้งหมด หรือ บางส่วนในวงจรเช่นแต่ละแผงสวิตช์ก็ตาม
3. แสดงรายละเอียดที่ไม่ปรากฏในแบบได้ เช่น ชนิดและขนาดสายไฟฟ้า รายละเอียดของท่อร้อยสายหมายเลขวงจรและไดอะแกรมเส้นเดียว เป็นต้น

ตารางโหลดอาจมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน แต่ตารางโหลดที่ดีจะต้องเป็นตารางโหลดที่แสดงรายละเอียดที่จำเป็นได้ครบมากที่สุด ตารางโหลดอาจแยกออกเป็นสำหรับโหลด 1 เฟส และโหลด 3 เฟส จากตารางโหลดข้างล่างนี้ ผู้ใช้งานอาจปรับปรุงให้ตรงตามความต้องการใช้งานได้ ตารางโหลดควรทำทุกๆ แผงวงจรย่อยเพื่อสะดวกในการหาโหลดรวม

ตารางที่ 1.1 ตารางโหลด

| วงจรที่ | รายการโหลด | โหลด (VA) |       |       | เบรกเกอร์  |    |    | สายไฟฟ้า และท่อร้อยสาย | ไดอะแกรม |
|---------|------------|-----------|-------|-------|------------|----|----|------------------------|----------|
|         |            | เฟส A     | เฟส B | เฟส C | ขั้ว       | AF | AT |                        |          |
|         |            |           |       |       |            |    |    |                        |          |
|         |            |           |       |       |            |    |    |                        |          |
|         |            |           |       |       |            |    |    |                        |          |
|         |            |           |       |       |            |    |    |                        |          |
|         |            |           |       |       |            |    |    |                        |          |
|         |            |           |       |       |            |    |    |                        |          |
|         | รวม        |           |       |       | Main CB    |    |    |                        |          |
|         |            |           |       |       | Main Cond. |    |    |                        |          |

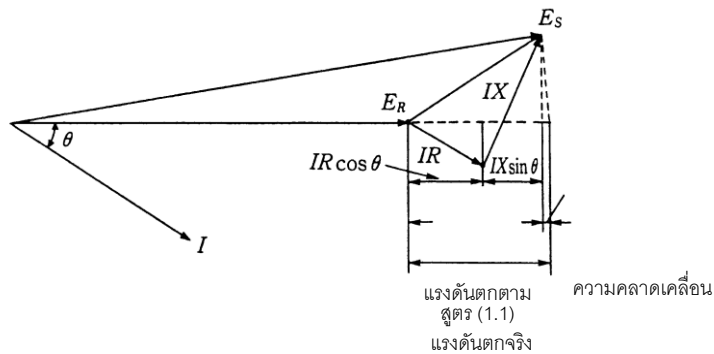
### (2) การคำนวณแรงดันตก

หากให้แรงดันเฟส (แรงดันเทียบกับสายนิวทรัล) ด้านแหล่งจ่ายไฟ เป็น  $E_s$  และให้แรงดันเฟส (แรงดันเทียบกับสายนิวทรัล) ด้านโหลดเป็น  $E_R$  แล้ว จากเวกเตอร์ในรูปที่ 1.9 แรงดันตก  $\Delta E$  จะมีค่าดังต่อไปนี้

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

$$\Delta E = E_S - E_R = \sqrt{(E_R \cos \theta + IR)^2 + (E_R \sin \theta + IX)^2} - E_r \quad (1.1)$$

ทั้งนี้  $I$  คือ กระแสในวงจร [A]  
 $R$  คือ ความต้านทานต่อ 1 เฟสของวงจร [ $\Omega$ ]



รูปที่ 1.9 เวกเตอร์ของแรงดัน

กำหนด  $X$  คือ รีแอกแตนซ์ต่อ 1 เฟสของวงจร [ $\Omega$ ]  
 $\cos \theta$  คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์

แต่ถ้ากรณีที่แรงดันตกน้อยมาก จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\Delta E \cong I (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (1.2)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วสูตรข้างต้นก็เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้น แรงดันระหว่างสายของวงจร 3 เฟสที่ตกลงไป  $\Delta V$  จะเท่ากับ  $\sqrt{3}$  เท่าของแรงดันเฟสที่ตกลงไป

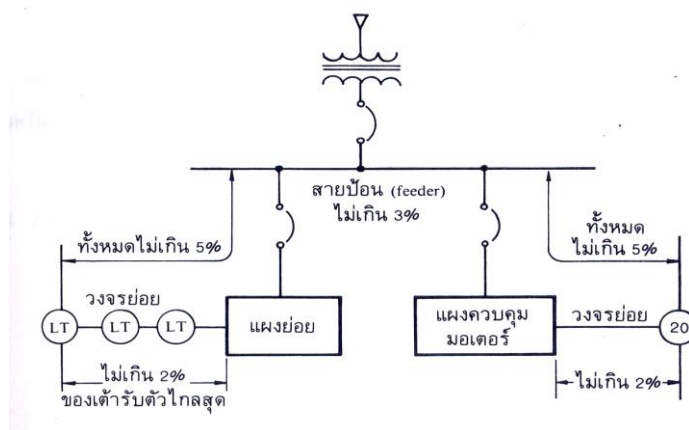
$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (1.3)$$

และอัตราแรงดันตก  $\mathcal{E}$  จะเท่ากับ

$$\mathcal{E} = \frac{E_S - E_R}{E_R} \times 100 [\%] \quad (1.4)$$

แรงดันตกเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบขนาดสายไฟฟ้า ความแตกต่างระหว่างไฟฟ้าที่จุดแหล่งจ่ายต้นทางและจุดรับไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันตก ค่าแรงดันตกสามารถแก้ไขให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มขนาดสายหรือลดความยาวของสายไฟ





รูปที่ 1.10 แสดงเปอร์เซ็นต์แรงดันตกตาม ว.ส.ท. 202 - 3

## (3) การคำนวณกำลังสูญเสีย

(ก) กำลังสูญเสียในสายไฟ

กำลังสูญเสียในสายไฟ  $W$  แสดงได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$W = NrI^2\ell \text{ [W]} \quad (1.5)$$

|         |                |                |                                                    |
|---------|----------------|----------------|----------------------------------------------------|
| ทั้งนี้ | $I$            | คือ            | กระแสในวงจร [A]                                    |
|         | $r$            | คือ            | ความต้านทานต่อ 1 เมตรของวงจร 1 วงจร [ $\Omega$ /m] |
|         | $\ell$         | คือ            | ความยาวของวงจรจ่ายไฟ [m]                           |
|         | $N$            | คือ            | ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับประเภทของวงจร                   |
|         | ไฟ 1 เฟส 2 สาย | ไฟ 1 เฟส 3 สาย | $N = 2$                                            |
|         | ไฟ 3 เฟส 3 สาย | ไฟ 3 เฟส 4 สาย | $N = 3$                                            |

## (ข) กำลังสูญเสียในหม้อแปลง

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงแบ่งได้เป็น Iron loss หรือ Core loss กับ Copper loss

Iron loss : เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันเข้ามาไม่ว่าจะมีโหลดหรือไม่ก็ตาม เป็นองค์ประกอบสำคัญของกำลังสูญเสียในสภาวะไม่มีโหลด เมื่อแรงดันเปลี่ยนไปกำลังสูญเสียจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

Copper loss : เป็นกำลังสูญเสียจากความต้านทานของขดลวดเนื่องจากกระแสของโหลด แปรผันตรงกับกำลังสองของกระแส

$$W = W_i + W'_c = \frac{P(100 - \eta)}{\eta} \quad (1.6)$$

$$\eta = \frac{P}{P + W} \times 100 \quad (1.7)$$

$$W_i = K_1 V^2 \quad (1.8)$$

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

$$W'_c = \left( \frac{P}{T \cos \theta} \right)^2 W_c = K_2 I^2 \quad (1.9)$$

|         |               |     |                                     |
|---------|---------------|-----|-------------------------------------|
| ทั้งนี้ | T             | คือ | พิกัดของหม้อแปลง [kVA]              |
|         | P             | คือ | กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง [kW]          |
|         | I             | คือ | กระแสขั้วปฐมภูมิที่กำลังไฟฟ้า P [A] |
|         | $W_i$         | คือ | Iron loss ที่กำลังไฟฟ้า P [kW]      |
|         | $W'_c$        | คือ | Copper loss ที่กำลังไฟฟ้า P [kW]    |
|         | $\eta$        | คือ | ประสิทธิภาพที่กำลังไฟฟ้า P [%]      |
|         | $\cos \theta$ | คือ | เพาเวอร์แฟกเตอร์                    |
|         | V             | คือ | แรงดันที่ขั้ว [V]                   |
|         | $K_1, K_2$    | คือ | ค่าคงที่                            |

ดังนั้น พิกัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด  $P_e$  [kVA] จะเท่ากับ

$$P_e = T \sqrt{\frac{W_i}{W_c}} \quad (1.10)$$

นอกจากนี้ กรณีที่เดินเครื่องหม้อแปลง 2 ลูกขนานกัน โหลดที่หม้อแปลงแต่ละลูกต้องรับจะแสดงได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$P_A = \frac{KZ_B}{Z_A + KZ_B} \times P \quad (1.11)$$

$$P_B = \frac{Z_A}{Z_A + KZ_B} \times P \quad (1.12)$$

|         |       |     |                             |
|---------|-------|-----|-----------------------------|
| ทั้งนี้ | $P_A$ | คือ | พิกัดของหม้อแปลง A [kVA]    |
|         | $P_B$ | คือ | พิกัดของหม้อแปลง B [kVA]    |
|         | $Z_A$ | คือ | อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง A [%] |
|         | $Z_B$ | คือ | อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง B [%] |

$$P = P_A + P_B$$

$$K = \frac{P_A}{P_B}$$

## (4) การติดตั้งสายดิน

สายดินคือ สายไฟเส้นที่มีไว้เพื่อความปลอดภัยต่อการใช้ไฟฟ้าโดยจะต่อเข้ากับวัตถุหรือส่วนโครงภายนอกของเครื่องไฟฟ้าเพื่อให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์หรือเท่ากับพื้นดินกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าจะไหลลงดินทางสายดินโดยไม่ผ่านร่างกายผู้สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าช็อต และ/หรือ ไฟฟ้ารั่วจะตัดกระแสไฟฟ้าออกทันทีของสายไฟฟ้าเส้นที่แสดงว่าเป็นสายดินคือ สีเขียวหรือสีเขียวสลับ

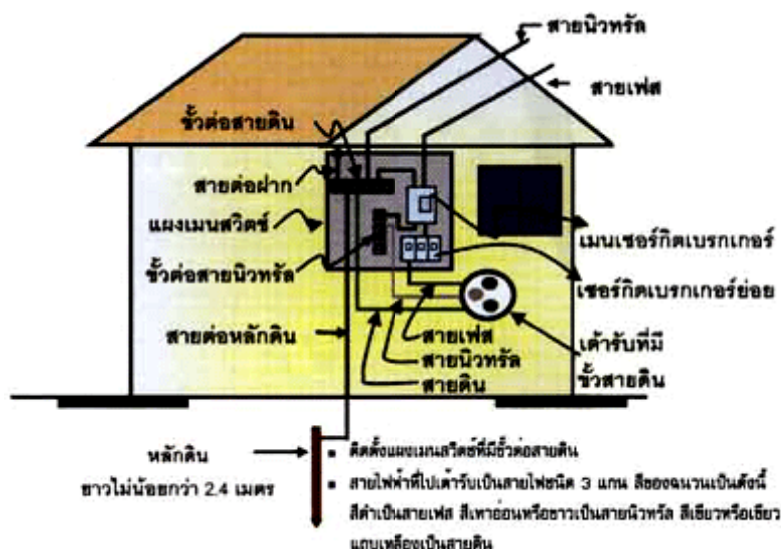
การต่อสายดินที่ถูกต้อง จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนดโดยมีการต่อลงดินเพียงตำแหน่งเดียวที่ตู้เมนสวิตช์ เช่น ใช้สายทองแดงขนาดไม่ต่ำกว่า 10 ตารางมิลลิเมตร ต่อจากขั้วสายดินที่ตู้เมนสวิตช์แล้วต่อเชื่อมด้วยวิธีหลอมละลายกับแท่งทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 2.40 เมตรที่ฝังลึกจมลงไปในดิน เป็นต้น

## สำหรับขั้นตอนการติดตั้งระบบสายดินมีดังนี้

1. จุดต่อลงดินของระบบต้องอยู่ด้านไฟเข้าของเครื่องตัดวงจรตัวแรกของตู้เมนสวิตช์
2. ภายในอาคารหลังเดียวกันไม่ควรมีจุดต่อลงดินมากกว่า 1 จุด
3. สายดินและสายศูนย์สามารถต่อร่วมกันได้เพียงแห่งเดียว ที่จุดต่อลงดินภายในตู้เมนสวิตช์ ห้ามต่อร่วมกันในที่อื่นๆ อีก เช่น ในแผงสวิตช์ย่อยจะต้องมีขั้วสายดินแยกจากขั้วต่อสายศูนย์ และห้ามต่อถึงกัน โดยมีฉนวนกันระหว่างขั้วต่อสายศูนย์กับตัวตู้ ซึ่งต่อกับขั้วต่อสายดิน
4. ตู้เมนสวิตช์สำหรับห้องชุดของอาคารชุดและตู้แผงสวิตช์ประจำชั้นของอาคารสูงให้ถือว่า เป็นแผงสวิตช์ย่อย จึงห้ามต่อสายศูนย์ และสายดินร่วมกัน
5. ไม่ควรต่อโครงโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรง แต่ถ้าได้ดำเนินการไปแล้วให้แก้ไข โดยมีการต่อลงดินที่เมนสวิตช์อย่างถูกต้อง แล้วเดินสายดินจากเมนสวิตช์มาต่อร่วมกับสายดินที่ใช้อยู่เดิม

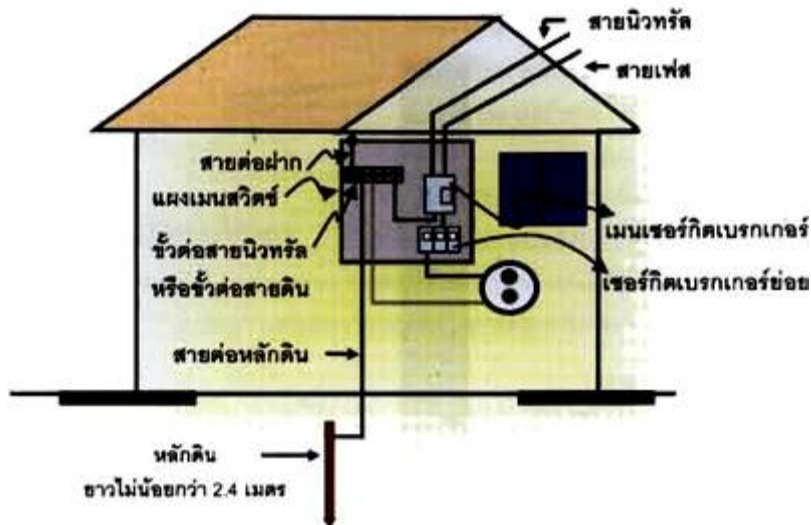
## ประกาศบังคับให้ผู้ใช้ไฟ ติดตั้งระบบสายดิน ตั้งแต่ 1 ต.ค.2546 ดังนี้ :

1. สำหรับผู้ใช้ไฟรายใหญ่ใหม่ทุกราย ทุกประเภท ต้องมีระบบสายดิน และมีการต่อลงดินตามมาตรฐาน ยกเว้นผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัยที่อยู่นอกเขตเทศบาล หรือ ผู้ใช้ไฟในเขตชนบท ซึ่งติดตั้งมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 5(15) แอมป์ จะมีระบบสายดินหรือไม่ก็ได้



รูปที่ 1.11 การติดตั้งสายดิน

2. สำหรับผู้ใช้ไฟรายเดิมที่มีการขอเพิ่มขนาดมิเตอร์ ให้ทำการต่อลงดินที่แผงเมนสวิตช์ (อุปกรณ์ประธาน) เท่านั้น ไม่ต้องทำระบบสายดินใหม่ก็ได้



รูปที่ 1.11 การติดตั้งสายดิน (ต่อ)

(5) การออกแบบฉนวนไฟฟ้า

แนวคิดพื้นฐานของการออกแบบฉนวนไฟฟ้า ได้แก่ ต้องให้สามารถทนแรงดันกระแสสลับตามปกติ และทนแรงดันผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบได้ และใช้เครื่องป้องกันฟ้าผ่าหรืออื่นๆ ร่วมกับฉนวนไฟฟ้าเพื่อป้องกันเสิร์จจากฟ้าผ่า นอกจากนี้ ในเขตที่มีมลพิษยังต้องมีมาตรการป้องกันความเสียหายจากมลพิษนั้นให้เพียงพอด้วย

(6) ความเชื่อถือได้

การทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูง จำเป็นต้องให้อุปกรณ์ทุกชิ้นมีความเชื่อถือได้สูงไปด้วย โดยทั่วไปสาเหตุของอุบัติเหตุมักจะเกิดจากการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติ การซ่อมบำรุงไม่ดี การออกแบบผลิต หรือติดตั้งไม่สมบูรณ์ การเดินเครื่องผิดพลาด และภัยธรรมชาติ แต่อุบัติเหตุอื่นๆ นอกเหนือจากภัยธรรมชาติ สามารถป้องกันได้โดยตรวจสอบซ่อมบำรุงเป็นประจำ

### 1.2.2 ปัจจัยพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า

ระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power distribution system) ที่ดีที่สุด สำหรับอาคารหลังหนึ่งๆ คือ ระบบซึ่งจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างปลอดภัย และเพียงพอสำหรับโหลดในปัจจุบันและอนาคต เนื่องจากอาคารแต่ละหลังมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องวิเคราะห์ความต้องการดังกล่าวอย่างรอบคอบแล้วนำข้อสรุปมาออกแบบระบบไฟฟ้านั้นๆ ปัจจัยพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้า คือ

(1) ความปลอดภัย (Safety) ความปลอดภัยช่วยทำให้อายุของอุปกรณ์ไฟฟ้ายืนยาวขึ้น และเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และจะต้องไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อบุคคล สิ่งที่จะต้องพิจารณาในเรื่องระบบความปลอดภัยคือ การเลือกชนิดของวัสดุตามมาตรฐานและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้

(2) ความเชื่อถือได้ (Reliability) ในบางครั้ง ระบบไฟฟ้าอาจจะตัดกระแสไฟฟ้าในขณะที่เราต้องการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องทำให้จุดบกพร่องเหล่านี้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เพื่อให้มั่นใจในระบบได้สูงสุด และมีราคาพอสมควร

(3) ความง่ายในการใช้งาน (Simplicity of operation) ความง่ายในการใช้งานนับเป็นสิ่งสำคัญมากเพื่อความปลอดภัย และสามารถทำงานที่เชื่อถือได้ ข้อสำคัญคือการทำงานของระบบจะต้องพยายามทำให้เป็นแบบที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และให้ตรงความต้องการของการผลิต

(4) ความสม่ำเสมอของแรงดัน (Voltage regulation) แรงดันที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้อายุของอุปกรณ์ไฟฟ้าสั้นลง แรงดันที่เป็นประโยชน์ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องรักษาไม่ให้เกินขีดจำกัดภายใต้สภาวะโหลดปกติ

(5) การดูแลรักษา (Maintenance) ในการออกแบบระบบไฟฟ้า จะต้องให้ระบบการจ่ายไฟฟ้าสามารถดูแลรักษา ตรวจสอบ ซ่อมแซม และทำความสะอาดได้ง่าย

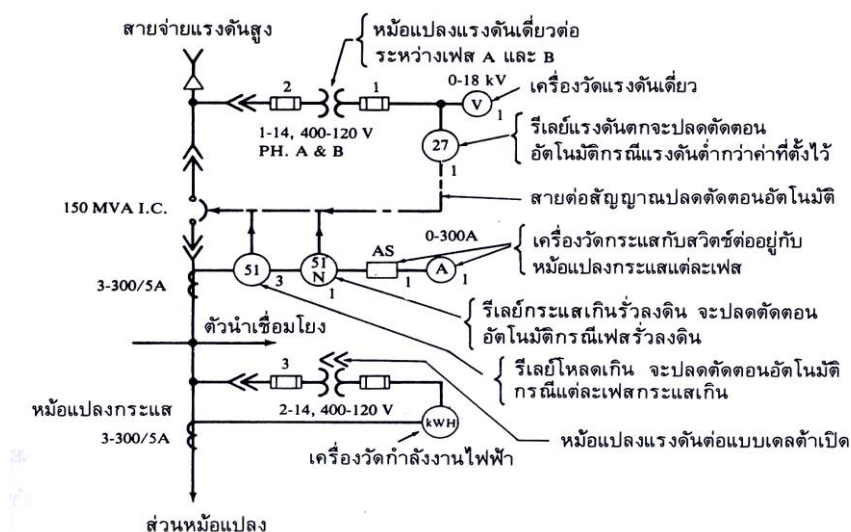
(6) ความคล่องตัว (Flexibility) ระบบไฟฟ้าจะต้องสามารถดัดแปลง ปรับปรุง และขยายได้ในอนาคต ข้อที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ แรงดันไฟฟ้า และเผื่อที่ว่างสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับโหลดที่จะมีเพิ่มขึ้น

(7) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First cost) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นนับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ ความสม่ำเสมอของแรงดัน การดูแลรักษา และเพื่อการขยายในอนาคต ดังนั้นจะต้องพิจารณาเลือกแบบที่ดีที่สุดเพื่อลดต้นทุน

### 1.3 การควบคุมการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร (Control of power distribution system in factory/building)

#### 1.3.1 ระบบอุปกรณ์ประธาน

ประกอบด้วยตัวนำประธาน เครื่องปลดวงจร และเครื่องวัดไฟฟ้า หรือรีเลย์ สำหรับรีเลย์จะเป็นตัวจำกัดแรงดันตก (Undervoltage) และกระแสเกิน (Overcurrent) ส่วนเครื่องวัดไฟฟ้าจะเป็นตัวชี้บอกค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส ค่ากำลังไฟฟ้าจะอ่านไฟฟ้าจากมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (kWh) ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 ระบบอุปกรณ์ประธาน รีเลย์ และเครื่องวัดไฟฟ้า

### 1.3.2 สถานีจ่ายไฟย่อย (UNIT SUBSTATION) หรือ (TRANSFORMER LOAD CENTER)

Unit substation หรือ Transformer load center คือเป็นชื่อเรียกอุปกรณ์รับไฟแรงสูงแบบตู้ส่วนใหญ่ใช้เป็นอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ โดยรับไฟฟ้าเข้ามาใช้ภายในอาคารสถานที่ ชนิดของ สถานีจ่ายไฟย่อยมาตรฐาน JIS C 4620 แบ่งตาม Switch gear ออกได้เป็น 3 ชนิด คือ แบบ PF-S แบบ PF-CB และแบบ CB

ตารางที่ 1.2 ชนิดของสถานีจ่ายไฟย่อยมาตรฐาน JIS C 4620 แบ่งตาม Switch gear

|       | แบบ         | ขนาดของ<br>อุปกรณ์รับไฟ | ขนาดทั้งหมด<br>ของ Static<br>capacitor | อุปกรณ์ตัดวงจรที่ใช้                                                               |
|-------|-------------|-------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| PF.S  | ใช้ในอาคาร  | ต่ำกว่า 300<br>kVA      | ต่ำกว่า 100<br>kVA                     | อุปกรณ์ตัดวงจรหลัก คือ Power<br>fuse (PF) และสวิตช์ไฟแรงสูง (S)<br>ใช้ประกอบกัน    |
|       | ใช้นอกอาคาร |                         |                                        |                                                                                    |
| PF.CB | ใช้ในอาคาร  | ต่ำกว่า 500<br>kVA      | ต่ำกว่า 300<br>kVA                     | อุปกรณ์ตัดวงจรหลัก คือ Power<br>fuse (PF) และ Circuit breaker<br>(CB) ใช้ประกอบกัน |
|       | ใช้นอกอาคาร |                         |                                        |                                                                                    |
| CB    | ใช้ในอาคาร  | ต่ำกว่า 500<br>kVA      | ต่ำกว่า 300<br>kVA                     | อุปกรณ์ตัดไฟหลัก คือ Circuit<br>breaker (CB)                                       |
|       | ใช้นอกอาคาร |                         |                                        |                                                                                    |

#### 1.3.2.1 สถานีจ่ายไฟย่อย แบบ PF-S

สถานีจ่ายไฟย่อยแบบ PF-S มีอุปกรณ์ตัดไฟหลัก ประกอบด้วย Power fuse (PF) กับ High voltage switch (S) เวลาเกิดอุบัติเหตุลัดวงจรขึ้นภายใน Cubicle PF จะตัดวงจร ส่วนการปิดเปิดกระแสไหลนั้น กระทำโดยสวิตช์ไฟแรงสูง (S)

#### ความสามารถในการตัดวงจรของ PF-S และ Protection co-ordination

สถานีจ่ายไฟย่อย แบบ PF-S เป็นอุปกรณ์สำหรับตัดไฟที่ไม่ใช่ Circuit breaker แต่ใช้ Power fuse และ High voltage switch แทนเนื่องจากใช้กับอุปกรณ์รับไฟฟ้า Capacity ต่ำ (300 kVA ลงมา) ทางด้านปฐมภูมิจึงพยายามทำให้ง่ายที่สุด เช่น ไม่ติดตั้งพวก Relay CT PT เอาไว้ เป็นต้น High voltage switch ที่ใช้จะใช้ชนิดที่มีกลไกเปิดวงจรได้โดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันในกรณีเกิด Ground fault ขึ้น

ในกรณีที่ไม่มีอุปกรณ์ตัด Over current อยู่ด้วย เพื่อป้องกันอันตราย ใช้วิธีการ

1. เลือกใช้ Power fuse ที่สามารถตัดวงจรได้เวลาเกิดกระแสสูงกว่ากระแสต่ำสุดที่ทำให้ Fuse ละลาย
2. เลือกใช้ High voltage switch ชนิดที่มีกลไกตัดวงจรได้เมื่อเกิด Overcurrent โดยต่อไว้เป็นวงจรอัตโนมัติและทำงานที่กระแสต่ำกว่า Interrupting current ของ PF
3. ในกรณีที่ใช้สวิตช์ที่มีกลไกเปิดวงจรอัตโนมัติเพื่อป้องกัน Ground fault แต่ไม่สามารถเปิดวงจรหากเกิด Overcurrent ให้ทำการ Lock switch และใช้ Power fuse ในการป้องกันวงจรเหมือนข้อ (1)

### 1.3.2.2 สถานีจ่ายไฟย่อย แบบ PF-CB

สถานีจ่ายไฟย่อย แบบ PF-CB เป็นชื่อเรียกอุปกรณ์ตัดไฟที่ประกอบด้วย Power fuse และ Circuit breaker ประกอบกัน

#### ความสามารถในการตัดวงจรของ PF-CB (อุปกรณ์ตัดวงจรหลัก)

เมื่อเกิดการลัดวงจรฝั่งไฟแรงสูง Power fuse จะตัดวงจร เมื่อเกิด Overload และ Round fault ขึ้น Circuit breaker จะตัดวงจรโดยอัตโนมัติ โดยทั่วไปจะใช้ Circuit breaker ที่มี Interrupting capacity น้อยกว่า Power fuse เมื่อเกิดการลัดวงจรด้านไฟแรงสูงขึ้น ก่อนที่ CB จะทำงาน PF จะละลายตัดวงจรออกก่อน

#### Protection co-ordination

- 1 ) ให้ Power fuse มีค่า Interrupting current สูงกว่า Short circuit current ณ จุดรับไฟ (Short circuit current ณ จุดติดตั้ง Cubicle)
- 2 ) เพื่อความปลอดภัยในขณะปิดวงจรของ Circuit breaker making capacity ของ Circuit breaker ต้องสูงกว่าค่า Current limiting value ของ Power fuse ในขณะเกิด Short circuit current
- 3) ในวงจร Circuit breaker มีการติดตั้ง Overcurrent relay และ Ground fault relay อยู่ด้วย ในการป้องกันการลัดวงจร Power fuse จะถูกตั้งให้ทำการตัดวงจรก่อน Circuit breaker

### 1.3.2.3 สถานีจ่ายไฟย่อย แบบ CB

สถานีจ่ายไฟย่อย แบบ CB ใช้ Circuit breaker เป็นอุปกรณ์หลักในการตัดวงจร และโดยการใช้ Overcurrent relay (OCR) Ground relay (GR) และ Circuit breaker (CB) ประกอบกัน จะสามารถป้องกันอุบัติเหตุอันเกิดจากการลัดวงจร Overload ground fault และอื่นๆ อย่างได้ผลเต็มที่

- Circuit breaker ที่มี Interrupting current สูงกว่า Short circuit current ณ จุดรับไฟ
- ปกติจะติดตั้ง Overcurrent relay และ Ground relay คู่กับ Circuit breaker ไว้ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้อุบัติเหตุลุกลามไปถึง Power source และเพื่อป้องกันเครื่องจักร และสายไฟต่างๆ ด้วย

## 1.4 การตรวจสอบระบบการผลิตและจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Inspection of power generation and distribution system )

### 1.4.1 การเดินตรวจตราตามปกติ

เป็นการเดินตรวจประจำวัน ส่วนใหญ่ใช้ในการดูแลความเรียบร้อยของอุปกรณ์ไฟฟ้า อ่านปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากมิเตอร์ต่างๆ และดูว่าสภาพอาคารที่ตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าเรียบร้อยหรือไม่จำนวนคนที่ใช้ในการเดินตรวจตราก็แล้วแต่ขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า อาจแบ่งเป็นหลายกรู๊ปก็ได้ ถ้ามีความจำเป็นผลของการเดินตรวจตราต้องจดบันทึกไว้ในรายงานประจำวัน หากพบสิ่งผิดปกติไม่ว่าเล็กหรือใหญ่ก็ตาม ต้องบันทึกไว้ด้วยเพื่อติดตามสังเกตต่อไปว่าความผิดปกตินั้นเพิ่มมากขึ้นหรือไม่ หากจำเป็นอาจต้องทำการตรวจสอบฉุกเฉิน

#### 1.4.2 การตรวจตราประจำ

เป็นการตรวจสอบประจำรายปี รายเดือน หรืออาจจะรายวันด้วย โดยมีหัวหน้าวิศวกร รับผิดชอบ

- 1) การตรวจสอบประจำรายเดือน โดยทั่วไปจะไม่ใช้เครื่องมือวัด ส่วนใหญ่จะทำการสังเกตตรวจสอบสภาพภายนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่
- 2) การตรวจสอบประจำรายปี จะกระทำโดยเปิดวงจรของสวิตช์ตัดตอนทางเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแล้วทำการตรวจสอบ และสังเกตโดยใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ทำการวัดและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า
- 3) ถ้าหากพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าผิดปกติ ต้องรีบทำการตรวจสอบฉุกเฉินโดยด่วน

#### 1.4.3 การตรวจตราฉุกเฉิน

การตรวจตราฉุกเฉินเป็นการตรวจสอบพิเศษในกรณีที่พบว่ามี ความผิดปกติ หรือคิดว่าอาจเกิด ความผิดปกติขึ้นได้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า และในกรณีที่ดินฟ้าอากาศแปรปรวน เช่น ฤดูที่ได้ฝนเข้ามา เป็นต้น

- 1) ในกรณีที่คิดว่าฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเสียหายจะเกิดการลัดวงจร ให้ทดสอบความต้านทานของฉนวน และความคงทนต่อแรงดันไฟ (ทางด้านแรงดันไฟสูง)
- 2) ในกรณีที่ CB ทางด้านรับไฟ (รวมทั้งฟิวส์) ทำงานคือ ทำการตัดวงจรให้ตรวจสอบดูอุปกรณ์นั้นๆ เพื่อหาสาเหตุ และทำการทดสอบความต้านทานของฉนวนและความคงทนต่อแรงดันไฟ (เฉพาะทางด้านแรงดันไฟสูง)
- 3) ตรวจสอบรอยรั่วของลูกถ้วยเป็นกรณีพิเศษในฤดูที่ฝนชุกหรือมีพายุได้ฝน

#### 1.4.4 เครื่องป้องกันอันตรายที่ใช้ในงานตรวจตราและซ่อมบำรุง

ในการเดินสำรวจ ตรวจสอบ และทดสอบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องมือทดสอบ หรือเกิดอันตรายแก่คนได้ จึงจำเป็นต้องเตรียมอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

**หมวกกันน็อก** หมวกกันน็อกที่ใช้ในงานเป็นหมวกทำด้วยฉนวนใช้สำหรับป้องกันศีรษะและยังใช้ป้องกันศีรษะเวลามีของตกลงมาได้ เชือกรัดต้องผูกให้แน่น



**ถุงมือยาง** ถุงมือยางเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้กันมากที่สุด มีทั้งชนิดไฟแรงสูงและ ไฟแรงต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้ถุงมือยางชำรุดเสียหายควรสวมถุงมือหนังทับไว้อีกทีหนึ่ง

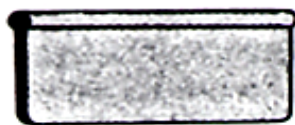




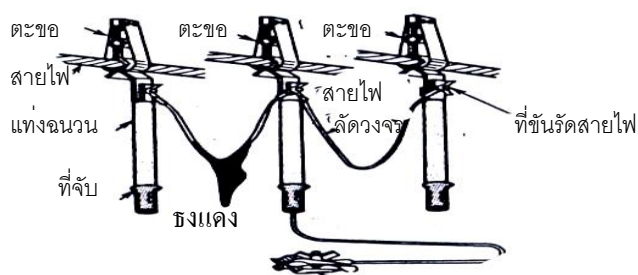
**รองเท้ายาง** รองเท้ายางหุ้มส้นเป็นรองเท้ายางใช้ใส่เมื่อเวลาซ่อมแซมไฟฟ้าแรงสูง สำหรับป้องกันอันตรายจากการถูกไฟดูด



**แผ่นยางพับ** แผ่นยางพับได้ ใช้เป็นฉนวนป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า

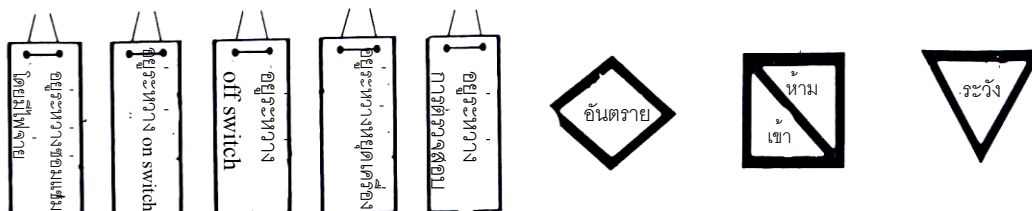


**เครื่องมือลัดวงจรต่อลงดิน** ใช้ป้องกันอันตรายจากการถูกไฟดูดอันเนื่องจากความ เผลอเลอ หรือ สายไฟแตะกัน โดยใช้เครื่องมือนี้เกี่ยวลัดวงจรสายไฟทั้งหมดแล้วต่อลงดิน



คลิปต่อสาย เอาไว้ต่อกับสายดินหรือแท่งขั้วดิน

**แผ่นป้ายเตือนภัย** เลือกใช้ตามแต่จุดประสงค์



**แผ่นป้ายเตือนภัย**

รูปที่ 1.13 แสดงเครื่องป้องกันอันตรายที่ใช้ในงานตรวจตราและซ่อมบำรุง

#### 1.4.5 วิธีตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

- 1) การตรวจสอบปลอกนำสาย (Bushing)
  - ก. มีรอยแตกเสียหายหรือไม่มีฝุ่นหรือคราบเกลือจับที่ผิวหรือไม่ ทำความสะอาดผิวด (รายปี)
- 2) การตรวจสอบสายนำออก
  - ก. ขั้วต่อสายไฟร้อนเกินไปหรือไม่
  - ข. ส่วนต่อของสายเมนและสายนำออกจำขั้วแรงดันไฟต่ำร้อนเกินไปหรือไม่ ดูได้จากรอยไหม้หรือการเปลี่ยนสี
- 3) การตรวจสอบน้ำมันฉนวน
  - ก. ปริมาณน้ำมันเพียงพอเหมาะสมหรือไม่ดูได้จากขีดบอกปริมาณน้ำมัน
  - ข. น้ำมันมีความคงทนต่อแรงดันไฟดีหรือไม่ (รายปี)
  - ค. ระดับ pH ของน้ำมันดีหรือไม่ (รายปี)
- 4) การทดสอบความต้านทานฉนวน
  - ก. วัดค่าความต้านทานของฉนวน (รายปี)  
ระหว่างกราวด์กับด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ  $30\text{ M}\Omega$   
ระหว่างกราวด์กับด้านทุติยภูมิ  $5\text{ M}\Omega$  ที่  $55^{\circ}\text{C}$
- 5) การตรวจสอบสายดิน
  - ก. สายดินขาด หรือหลุดหรือไม่
  - ข. ขั้วต่อสายดินหลวมหรือไม่
- 6) การตรวจสอบลักษณะการติดตั้ง
  - ก. ลักษณะการติดตั้งดีหรือไม่ มีร่องรอยเสียหายหรืออยู่ในสภาพอันตรายหรือไม่
- 7) การตรวจสอบสภาพภายนอก
  - ก. ตัวถังมีรอยบิดเบี้ยวหรือเกิดสนิมเสียหายหรือไม่
  - ข. ตัวถังร้อนเกินไปหรือไม่
  - ค. น้ำมันรั่วหรือไม่
  - ง. มีเสียงหรือกลิ่นผิดปกติหรือไม่
  - จ. สารดูดความชื้นเปลี่ยนสีหรือไม่
- 8) การตรวจสอบอุณหภูมิ
  - ก. ในกรณีที่ไม่มีเทอร์โมมิเตอร์ ให้ใช้มือแตะวัดความร้อนดูหลังจากที่ได้ทดสอบให้แน่ใจว่าไม่มีกระแสแล้ว หรือถ้ามีแผ่นเทปบอกอุณหภูมิติดอยู่ อาจดูได้จากสีของแผ่นเทปที่เปลี่ยนไป
  - ข. ในกรณีจำเป็น อาจวัดอุณหภูมิดูในขณะที่หม้อแปลงมีโหลดเต็มที่
  - ค. ถ้าหม้อแปลงร้อนเป็นบางส่วน แสดงว่าภายในผิดปกติ ให้ตรวจสอบดู
- 9) วิธีตรวจสอบ Static capacity
  - ก. การตรวจสอบปลอกนำสายมีรอยแตกเสียหายหรือไม่มีฝุ่นหรือคราบเกลือจับที่ผิวหรือไม่ ทำความสะอาดผิวปลอกนำสาย (รายปี)

คำอธิบาย

ในการทำความสะอาดปลอกนำสาย ห้ามใช้ใบมีดขูดรอยสกปรกที่แข็งจับตัวบนผิวของปลอกนำสาย ให้ใช้ผ้าเช็ดอย่างบรรจง

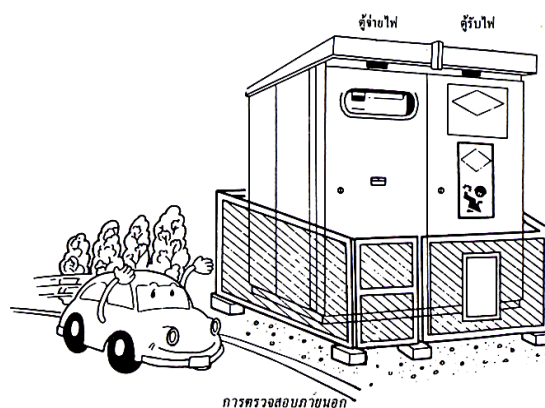
- ก. การทดสอบความต้านทานของฉนวน
  - วัดความต้านทานของฉนวนระหว่างขั้วต่อต่างๆ กับตัวถัง (กราวนด์) (รายปี)
    - ความต้านทานตามผิวของปลอกนำสายมีผลต่อค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างขั้วต่อต่างๆ กับตัวถัง
    - ใช้วัดด้วยเมกเกอร์ขนาด 1,000 V
- ข. การทดสอบความต้านทานต่อลงดิน
  - วัดค่าความต้านทานต่อลงดิน (รายปี)
  - การต่อลงดินชนิดที่ 1
- ค. การตรวจสอบสภาพภายนอก (ตัวถัง)
  - ตัวถังบิดเบี้ยวเสียหาย หรือเป็นสนิมหรือไม่
  - ตัวถังป่องออกมาผิดปกติหรือไม่
  - ตัวถังร้อนเกินไปหรือไม่
  - น้ำมันรั่วหรือไม่
  - มีเสียง หรือกลิ่นผิดปกติหรือไม่
  - ขั้วต่อสายร้อนเกินไปหรือไม่
  - สายดินขาดหรือหลุดหรือไม่
  - ขั้วสายดินหลวมเกินไปหรือไม่

คำอธิบาย

- สภาพที่ตัวถังร้อนเกิน ดูได้จากรอยบิดเบี้ยวหรือสีที่เปลี่ยนไป
- ถ้าผิวของตัวถังมีน้ำมันซึมออกมาเล็กน้อยไม่เป็นไร แต่ถ้ารั่วให้รีบจัดการเปลี่ยนเสีย
- สภาพที่ขั้วต่อร้อนเกิน ดูได้จากรอยไหม้หรือสีที่เปลี่ยนไป
- ใช้มือลองจับสายดินดู หากว่าโยกหลวมเกินไปให้ขันขั้วต่อสายดินให้แน่น

## 10) วิธีตรวจสอบ สถานีจ่ายไฟย่อย

- ก. การตรวจสอบตู้โลหะ
  - เป็นสนิมหรือเสียหายหรือไม่
  - ประตูเปิดปิดได้เหมือนปกติหรือไม่
  - มีรอยน้ำซึมที่พื้นตู้หรือไม่
  - มีรอยหนูเข้าไปทำรังหรือไม่
  - มีรอยฝนรั่วหรือไม่
  - อุณหภูมิในตัวร้อนเกินไปหรือไม่
  - รอบๆ ตู้โลหะเป็นระเบียบเรียบร้อย หรือไม่



รูปที่ 1.14 สถานีจ่ายไฟย่อย ชนิดกลางแจ้ง

คำอธิบาย

- ถ้าตู้โลหะเกิดเสียหาย ผุเปื่อย สีสลอก น้ำฝน หรือฝุ่นเข้าไป อาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดปกติได้
- ประตูอาจถูกเปิดออกโดยลมฝน ทำให้น้ำเข้าไปข้างในได้ เมื่อมีร่องรอยที่หนูเข้ามา ต้องปิดรูที่หนูเข้ามาเสียให้แล้ว อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุได้
- ถ้าหาก Cubicle ตั้งอยู่ที่โล่งแจ้ง ถูกแดดส่องอยู่ตลอดเวลา ควรระวังอุณหภูมิภายในตู้

11) การตรวจสอบตู้รับไฟ และตู้จ่ายไฟ

ก. ไฟสัญญาณ (Pilot lamp) ของอุปกรณ์รับไฟและอุปกรณ์จ่ายไฟติดหรือไม่

- ไฟสัญญาณของ OCB ติดหรือไม่
- โวลต์มิเตอร์ ปกติดีหรือไม่
- แอมมิเตอร์ ปกติดีหรือไม่
- สวิตช์สับเปลี่ยนของอุปกรณ์วัดปกติดีหรือไม่
- ขั้วต่อสายไฟของตู้จ่ายไฟหลวมหรือไม่

ข. การตรวจสอบเครื่องป้องกัน

- รั้วป้องกันเรียบร้อยหรือไม่
- แผ่นป้าย “ห้ามเข้า” และ “อันตราย” แตกเสียหายหรือไม่
- มีเครื่องดับเพลิงอยู่ในบริเวณใกล้ๆ หรือไม่
- ดูว่ารั้วกันผุเปื่อย หรือเป็นสนิมหรือไม่

ค. การตรวจสอบสวิตช์เปิดปิดพร้อมฟิวส์ทางด้านโหลด

- ลูกถ้วยที่รองรับมีรอยแตกหรือบิ่นหรือไม่
- มีฝุ่น หรือคราบเกลือมาจับที่ผิวหรือไม่
- ส่วนสัมผัสของขั้วใบมีดและขั้วรองรับใบมีดมีรอย

ง. เสียหายหรือร้อนเกินไปหรือไม่

- การสับสวิตช์เป็นไปอย่างเรียบร้อยหรือไม่
- ตะปูเกลียวตามขั้วต่อต่างๆ หลวมหรือไม่
- ฟิวส์ลัดมีรอยแตก เสียหาย หรือเปลี่ยนสีหรือไม่

จ. การตรวจสอบหม้อแปลงแรงดันไฟสูง

- หม้อแปลงทำงานเกินกำลังหรือไม่
- ตัวถังร้อนเกินไปหรือไม่
- มีเสียงหรือกลิ่นผิดปกติหรือไม่
- น้ำมันรั่วหรือไม่
- ปลอกนำสายเสียหาย สกปรกหรือไม่
- มีฝุ่นหรือคราบเกลือจับที่ผิวของปลอกนำสายหรือไม่
- ตะปูเกลียวที่ยึดหลวมหรือไม่

ฉ. การตรวจสอบ Static Capacitor

- ตัวถังปองออกมาผิดปกติหรือไม่
- ตัวถังร้อนเกินไปหรือไม่
- น้ำมันรั่วหรือไม่
- มีเสียงหรือกลิ่นผิดปกติหรือไม่

- ขั้วต่อสายไฟร้อนเกินไปหรือไม่
- ปลอกนำสายมีรอยแตก เสียหาย หรือสกปรกหรือไม่
- มีฝุ่นหรือคราบเกลือจับที่ผิวของปลอกนำสายหรือไม่

ข. หัวข้อการทดสอบสำหรับการตรวจสอบประจำ

- การทดสอบความต้านทานของฉนวน
- การทดสอบความต้านทานต่อลงดิน
- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟและการวัดระดับ pH (ในกรณีจำเป็น) ของน้ำมันฉนวนในหม้อแปลง

## 1.5 การอนุรักษ์พลังงานในระบบจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร (Energy conservation in power distribution system in factory/building)

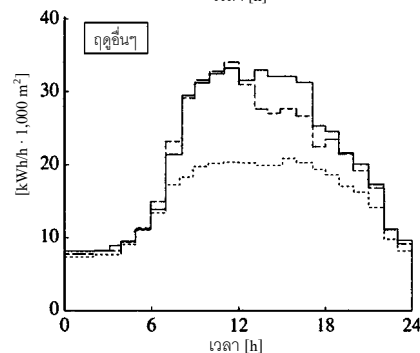
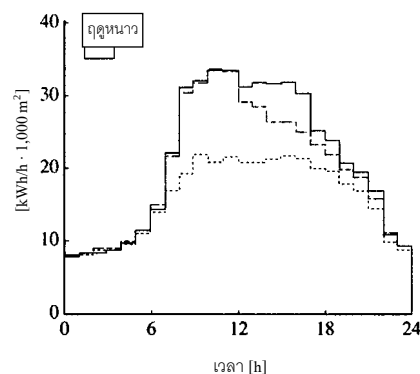
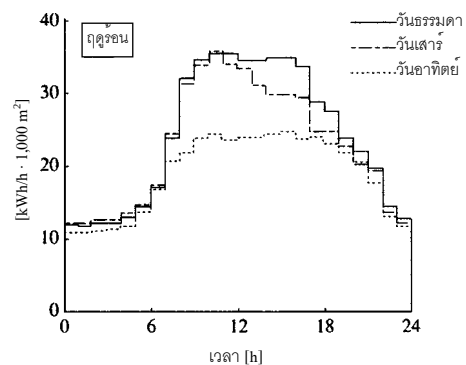
ระบบปรับและจ่ายไฟฟ้า เป็นระบบที่รับพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า แล้วแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระภายในอาคารอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบหลัก ได้แก่ หม้อแปลงคาปาซิเตอร์สำหรับเพิ่มเพาเวอร์แฟกเตอร์ รีแอกเตอร์อนุกรม ฯลฯ และ เบรกเกอร์เพื่อปกป้องทางไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์เหล่านี้กับสายเมนไปยังภาระ

การจัดการการใช้พลังงานของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟฟ้าจะเทียบเท่ากับการจัดการกำลังไฟฟ้าของโรงงาน ซึ่งมีเป้าหมายคือการลดความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของทั้งอาคาร การใช้อุปกรณ์รับและจ่ายไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูง การจำกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด การเฉลี่ยภาระไฟฟ้า การปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้เหมาะสม เป็นต้น วิธีการจัดการอย่างเป็นรูปธรรม ประกอบด้วย การจัดการภาระ การจัดการแรงดันไฟฟ้า การจัดการเพาเวอร์แฟกเตอร์ เป็นต้น

### (1) การจัดการภาระ

วัตถุประสงค์ของการจัดการภาระ ได้แก่ การตรวจสอบสภาพความสิ้นเปลืองไฟฟ้าของทั้งอาคาร การจะทำเช่นนั้นได้ นอกจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับคิดค่าไฟฟ้าแล้ว ยังต้องติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงแต่ละตัว ที่สายเมนแต่ละเส้น บันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาทีหรือทุก 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ช่วงเวลาที่เกิดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และ Load factor เป็นต้น

รูปที่ 1.15 แสดงเส้นกราฟภาระกำลังไฟฟ้าตลอดวันของโรงพยาบาลตามความเป็นจริงการติดตั้งเครื่องเฝ้าติดตามและควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิผลในการป้องกันกำลังไฟฟ้าเกิน เครื่องเฝ้าติดตามและควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า



หมายเหตุ ไม่รวมความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น

รูปที่ 1.15 ตัวอย่างเส้นกราฟภาระกำลังไฟฟ้าตลอดวันของโรงพยาบาล

สูงสุดเป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที และเฝ้าติดตามว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงนั้นจะไม่เกินค่ากำลังไฟฟ้าตามที่กำหนด กรณีที่กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอาจจะสูงกว่ากำลังไฟฟ้าตามที่กำหนดเครื่องจะส่งเสียงเตือนหรือปิดภาระที่มีความสำคัญในการเดินเครื่องต่ำตามที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว นอกจากนั้น การเพิ่ม Load factor ก็จะทำให้ใช้อุปกรณ์รับ-จ่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหม้อแปลงที่มี Load factor ต่ำมากเป็นเวลานานจึงควรพิจารณานำไปรวมกับหม้อแปลงอื่นหรือใช้วิธีควบคุมจำนวนเครื่อง เป็นต้น

## (2) การจัดการแรงดันไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ อุปกรณ์ส่องสว่าง ฯลฯ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้งานที่แรงดันพิกัด หากแรงดันไฟฟ้าตกมากหรือกระเพื่อมมาก จะทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่ำลง นอกจากนั้นแรงดันตกยังทำให้ความสูญเสียเนื่องจากความต้านทาน (ความสูญเสียเป็นในรูปของความร้อน) ในสายจ่ายไฟจึงต้องรักษาให้แรงดันตกหรือกระเพื่อมมีค่าไม่เกินค่าที่เหมาะสม

ควรตรวจสอบแรงดันของภาระไฟฟ้า ณ จุดที่อยู่ใกล้กับตัวภาระ กล่าวคือ ในกรณีของมอเตอร์ให้ตรวจสอบที่ตู้ควบคุมมอเตอร์ กรณีของอุปกรณ์ส่องสว่างให้ตรวจสอบที่ตู้แยกไฟหลอดไฟ มาตรการรองรับแรงดันตกหรือกระเพื่อม มีดังต่อไปนี้

- (1) ภาระที่มีผลต่อแรงดันตกมาก ให้เปลี่ยนไปใช้สายจ่ายไฟเฉพาะตัว
- (2) พิจารณาวิธีจ่ายไฟโดยคำนึงถึงประเภทและ ขนาดของภาระ
- (3) จ่ายไฟฟ้าด้วยแรงดันสูงจนถึงใกล้ๆ กับตัวภาระ
- (4) พิจารณาเปลี่ยนวิธีสตาร์ทมอเตอร์ที่มีขนาดหรือพิกัดในการสตาร์ทสูง
- (5) วัดแรงดันระหว่างเฟสและกระแสเฟสของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ตรวจสอบให้ระหว่างเฟสได้สมดุลอยู่ตลอดเวลา

## (3) การจัดการเพาเวอร์แฟกเตอร์

กำลังไฟฟ้าประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟกำลังไฟฟ้าจริงหากเป็นกรณีของมอเตอร์หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่นำไปใช้ในการทำงานเป็นกำลังขาออกของเพลลาของมอเตอร์ ส่วนกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเป็นกำลังไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ หากเพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าสูง กระแสไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้าเสมือน) ที่ต้องจ่ายให้จากแหล่งจ่ายไฟจะมีค่าต่ำลงจึงดีสำหรับการผลิตไฟฟ้า นอกจากนั้นความสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้า ความสูญเสียในระบบรับ และจ่ายไฟฟ้าและสายเมนของอาคารยังมีค่าต่ำลงอีกด้วย

โดยทั่วไปขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ บัลลาสต์ของอุปกรณ์ส่องสว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเป็นภาระเหนี่ยวนำ ดังนั้นในการเพิ่มเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยทั่วไปจะใช้คาปาซิเตอร์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ที่เพิ่มขึ้นจะเกิดขึ้นตั้งแต่ตำแหน่งของคาปาซิเตอร์ไปทางด้านแหล่งจ่ายไฟเท่านั้น แต่เพาเวอร์แฟกเตอร์ของภาระจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในแง่ของการอนุรักษ์พลังงานแล้ว จึงควรติดตั้งคาปาซิเตอร์ให้ใกล้กับภาระให้มากที่สุด แต่โดยทั่วไปจะติดตั้งรวมศูนย์เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับ-จ่ายไฟฟ้าไปเลย

ขนาดที่ติดตั้งของคาปาซิเตอร์จะออกแบบไว้ให้สอดคล้องกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร ดังนั้น ในเวลาที่มีภาระต่ำ เช่น กลางคืนหรือวันหยุด ฯลฯ เพาเวอร์แฟกเตอร์จะมีคุณสมบัติ ที่นำหน้า ( Leading ) ซึ่งทำให้เกิดแรงดันเกินได้ ดังนั้น จึงต้องบันทึก และควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ในแต่ละช่วงเวลา และแต่ละวันในสัปดาห์อย่างถูกต้อง กรณีที่เกิดเพาเวอร์แฟกเตอร์ นำหน้า (Leading) มากเกินไปจะต้องทำการควบคุมจำนวนเครื่องของคาปาซิเตอร์ด้วยอุปกรณ์ปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ (อุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ) นอกจากนี้ การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงยังอาจทำให้หม้อแปลงมีพิกัดเหลือเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ระบบรับและจ่ายไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะช่วยประหยัดพลังงานได้ อุตสาหกรรม และ อาคารทุกแห่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก โดยอาจแปรสภาพเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆ ตามความต้องการ ดังนั้น หากระบบรับและจ่ายไฟฟ้าที่ใช้มีประสิทธิภาพก็จะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี การออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดีนั้น ผู้ออกแบบต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม และได้มาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงหรือภูมิภาคซึ่งจะทำให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยและสามารถใช้งานได้ยาวนาน

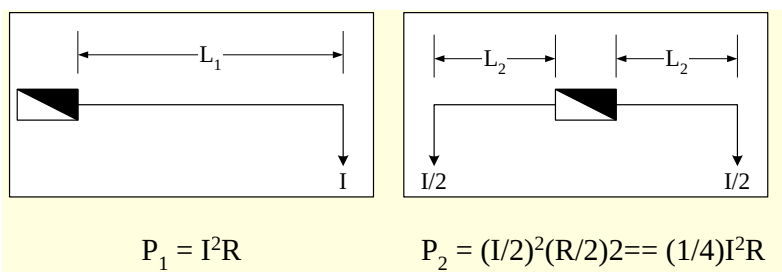
### 1.5.1 ห้องรับและจ่ายไฟฟ้าหลัก (Main distribution board)

ในโรงงานอุตสาหกรรม และอาคารขนาดใหญ่ ต้องมีห้องรับและจ่ายไฟฟ้าหลัก เป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องออกแบบติดตั้งห้องรับและจ่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม และช่วยในการประหยัดพลังงาน สำหรับโรงงานหรืออาคารขนาดเล็ก ห้องรับและจ่ายไฟฟ้า ก็คือ ตู้จ่ายไฟฟ้าที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ ในห้องทำงานที่ต้องใช้ไฟฟ้านั่นเอง

การติดตั้งควรให้อยู่บริเวณศูนย์กลางของภาระ (Load) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

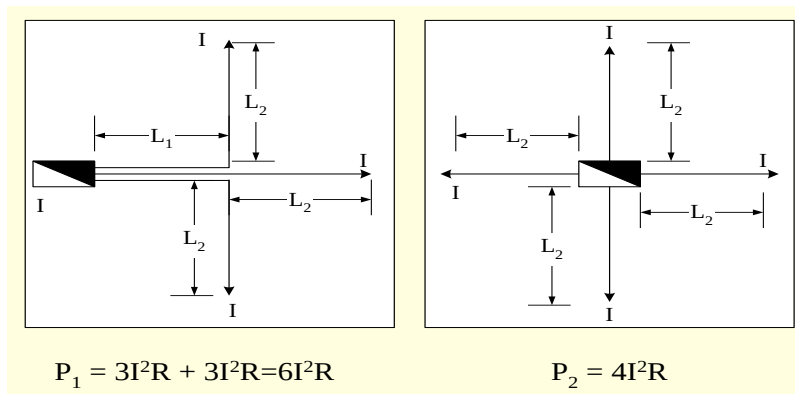
ห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากรูปที่ 1.16 ก. เป็นการติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าให้อยู่บริเวณด้านใดด้านหนึ่งของห้องเมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งบริเวณกลางห้อง ดังรูปที่ 1.16 ข. จะพบว่าพลังงานสูญเสียในสายลดลงเป็น 1/4 เท่า

|          |   |     |                                          |
|----------|---|-----|------------------------------------------|
| กำหนดให้ | R | คือ | ความต้านทาน (Resistance) ของตัวนำ 1 เส้น |
|          | I | คือ | กระแสโหลด (Load Current)                 |
|          | L | คือ | ความยาวของตัวนำ                          |



รูปที่ 1.16 การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าในห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากรูปที่ 1.17 ก. เป็นการติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าให้อยู่บริเวณด้านใดด้านหนึ่งของห้องเมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งบริเวณกลางห้อง ดังรูปที่ 1.17 ข. จะพบว่าพลังงานสูญเสียในสายลดลงเป็น 2/3 เท่า



ก. การติดตั้งทางด้านข้างของห้อง

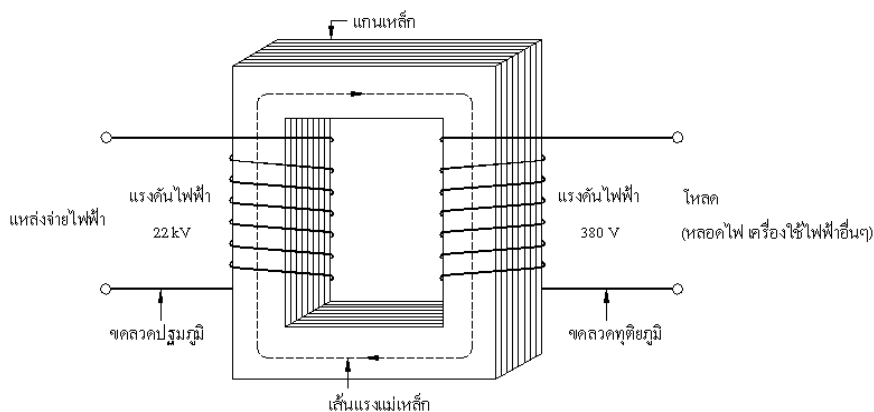
ข. การติดตั้งบริเวณกลางของห้อง

รูปที่ 1.17 การติดตั้งตู้จ่ายไฟฟ้าในห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัส

นอกจากพิจารณาตำแหน่งติดตั้งให้อยู่บริเวณศูนย์กลางของภาระแล้วจะต้องพิจารณาตำแหน่งที่สามารถควบคุมได้สะดวกหรือง่ายต่อการควบคุม และต้องมีการดูแลหรือบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ โดยมีการตรวจสอบความเรียบร้อยต่างๆ ภายใน ตู้รับและจ่ายไฟฟ้า เช่น สังเกตจุดต่อต่างๆ ซึ่งอาจจะมีการหลวมหรือไม่มั่นคง หากปล่อยทิ้งไว้นานๆ จะเกิดการสูญเสียในลักษณะของพลังงานความร้อน นอกจากนี้ อาจเกิดอัคคีภัยขึ้นได้ภายในห้องจ่ายไฟฟ้าหรือตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก จึงควรมีอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ซึ่งจะทำให้ทราบจุดบกพร่องต่างๆ ได้

### 1.5.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันสูงไปสู่แรงดันต่ำกว่าตามความต้องการใช้งาน หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ “ขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ” พันอยู่รอบแกนเหล็ก (เป็นแผ่นเหล็กจำนวนมากที่วางซ้อนทับกัน) ขดลวดทั้ง 2 ชุดนี้ไม่ได้ต่อกันโดยตรงทางไฟฟ้าหากแต่ถูกกันด้วยฉนวน เมื่อให้แรงดันไฟฟ้ากับขดลวดปฐมภูมิทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่ขดลวดนี้และเกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า โดยมีแกนเหล็กเป็นตัวนำเส้นแรงแม่เหล็ก และเกิดการเหนี่ยวนำไปยังขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ อัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดที่ขดลวดทุติยภูมินั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนจำนวนรอบที่พันของขดลวดทั้งสองซึ่งมีขนาดของขดลวดเป็นตัวกำหนดความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1.18 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า



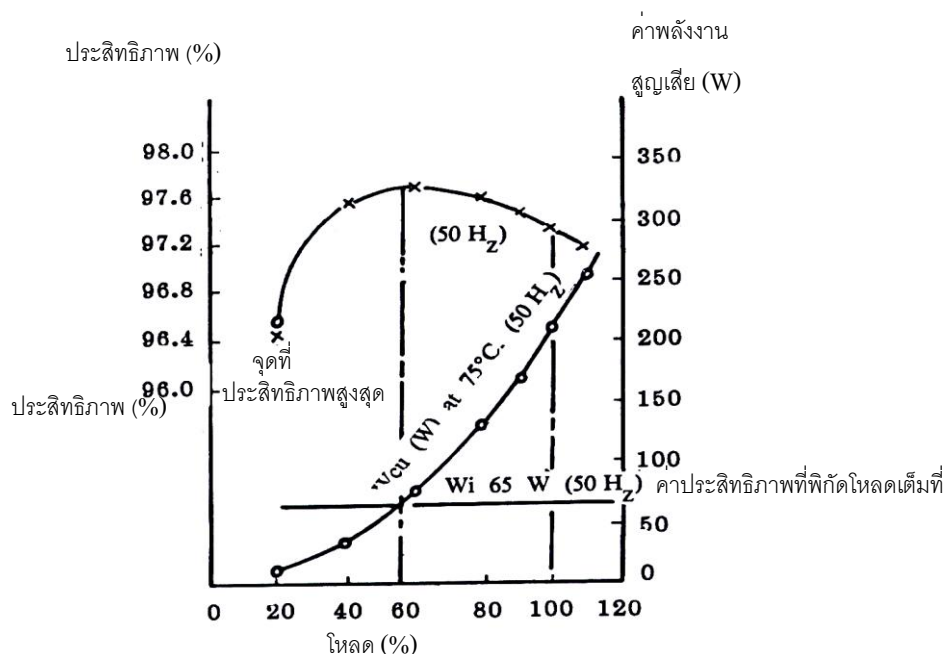
### 1.5.2.1 กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วย

**กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (No load loss)** หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่จ่ายโหลด กำลังสูญเสียนี้เกิดขึ้นในแกนเหล็กเรียกว่า Iron loss หรือ Core loss ซึ่งค่า Iron loss นั้นมีค่าเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กั้กับโหลดแต่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กและขึ้นอยู่กั้กับความถี่ความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กคุณภาพของเหล็กปริมาตรหรือน้ำหนักของแกนเหล็ก

**กำลังสูญเสียเนื่องจากโหลด (Load loss)** หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลด กำลังสูญเสียนี้เรียกว่า Copper loss

ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียในขณะไม่มีโหลด และในขณะที่มีโหลด และประสิทธิภาพของหม้อแปลงแสดงได้ ดังรูปที่ 1.19



ที่มา : การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 1.19 คุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า

การหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าควรคำนึงถึงเวลาใช้งานตลอดทั้งวัน เป็นการหาประสิทธิภาพแบบพลังงาน ซึ่งก็คืออัตราส่วนของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ไปจริงในแต่ละวันต่อพลังงานทั้งหมดที่ได้รับในหนึ่งวัน โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งวัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชม.ที่จ่ายไฟแต่ละวัน}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่าย} \times \text{ชม.ที่จ่ายไฟแต่ละวัน} \times (\text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะไม่มีโหลด} \times 24) + (\text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปขณะมีโหลด} \times \text{ชม.ที่จ่ายไฟแต่ละวัน})}$$

#### 1.5.2.2 การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

- 1) ปรับปรุงการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีวิธีการดังนี้
  - การลดกำลังสูญเสียไม่มีโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการปลดแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (ด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโหลด และย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกัน เพื่อเพิ่มโหลดแพกเตอร์)
  - การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงต่ำ) ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ระดับที่เหมาะสม
  - การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลงไฟฟ้า
- 2) เลือกซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประสิทธิภาพสูงและมีขนาดเหมาะสมกับโหลด

#### 1.5.2.3 การลดกำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียไม่มีโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss or Iron loss) กำลังสูญเสียนี้นี้จะมีค่าเท่าเดิมตลอดไม่ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะจ่ายโหลดมากหรือน้อยหรือไม่จ่ายโหลดเลย ดังนั้น สำหรับสถานประกอบการที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ามากกว่า 1 ตัว เช่น ระบบการจ่ายไฟฟ้าแบบ (Secondary selective) เวลาหยุดทำงานหรือในวันหยุดสามารถประหยัดพลังงานได้โดยการตัดหม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งออกจากวงจรทั้งทางด้านแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (ด้านแรงสูง : HV) และ ด้านแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงต่ำ : LV) ถ้าจะใช้วิธีดังกล่าวจะต้องตัดวงจรทางด้านแรงดันไฟฟ้าด้าน HV บ่อยครั้ง ดังนั้น ทางด้าน HV ควรติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ เช่น Vacuum CB หรือ GAS CB เพื่อทำหน้าที่ปิด-เปิดวงจร และถ้ามีการออกแบบโดยคำนึงการประหยัดพลังงานตั้งแต่แรกด้วยการแยกหม้อแปลงไฟฟ้าตัวเล็กสำหรับใช้ในด้านการความปลอดภัย (Security system) ก็จะประหยัดพลังงานได้มาก

#### 1.5.2.4 การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงต่ำ) ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ระดับที่เหมาะสม

การปรับแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ใช้กันอย่างเหมาะสม สามารถทำได้โดยการปรับ TAP ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยปกติแล้วอุปกรณ์ไฟฟ้าจะกำหนดระดับแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งานไว้ แต่ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ดังกล่าว อาจใช้กับระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงหรือต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดมาได้ แต่อาจทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าวสั้นลงกว่าที่ควร ส่งผลให้กระบวนการผลิตของโรงงานได้รับความเสียหาย และก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม การกำหนดแรงดันไฟฟ้าของระบบจ่ายไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปขณะที่ต่อโหลดซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงดันตก ดังนั้นเมื่อต้องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้ได้ผลจริงจึง จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบสภาพแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่างๆ ในระบบจ่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมทั้งตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขณะเริ่มเดินเครื่องและขณะเดินเครื่อง เมื่อพบสิ่งผิดปกติก็ต้องรีบทำการแก้ไขให้อยู่ในสภาพปกติที่เหมาะสม

ตัวอย่างเช่น กรณีของมอเตอร์สตาร์ทโดยการป้อนแรงดันโดยตรง (Direct-on-line) ค่ากระแสขณะสตาร์ทจะมีค่าประมาณ 6 เท่าของค่ากระแสปกติ เพราะฉะนั้นการตรวจสอบค่าแรงไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นมาก โดยเฉพาะในกรณีที่โหลดมีความเฉื่อย (Moment of inertia) สูงต่ออยู่ ทั้งนี้เนื่องจากค่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าตกลงไปอีกเนื่องจากการไหลของกระแสทำให้แรงบิดตอนสตาร์ทของมอเตอร์มีค่าน้อยลง ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการสตาร์ทและการสตาร์ททำได้ลำบากขึ้น นอกจากนั้นค่ากำลังสูญเสียก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นนั่นเอง พิจารณาจากตารางที่ 1.3

## ตารางที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเปลี่ยนแปลงไป

| รายการตรวจวัด                                                         | การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ( Voltage fluctuation ) |                        |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
|                                                                       | แรงดันตก 10 %                                   | แรงดันเพิ่ม 10 %       |
| แรงบิดตอนสตาร์ท (Starting torque)                                     | -19%                                            | +21%                   |
| แรงบิดสูงสุด (Maximum torque)                                         |                                                 |                        |
| ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed)                                 | ไม่มีการเปลี่ยนแปลง                             | ไม่มีการเปลี่ยนแปลง    |
| % สลิป (Slip)                                                         | +23%                                            | -17%                   |
| ความเร็วรอบที่เต็มพิกัดโหลด (Speed at full-load)                      | -15%                                            | +1%                    |
| ประสิทธิภาพ (Full load)                                               | -2%                                             | เพิ่มขึ้นเล็กน้อย      |
| เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Full load)                                          | +1%                                             | -3%                    |
| กระแสเต็มพิกัดโหลด (Full load current)                                | +11%                                            | -7%                    |
| กระแสตอนสตาร์ท (Starting current)                                     | -10% ถึง -12%                                   | +10% ถึง +12%          |
| การเพิ่มของอุณหภูมิที่โหลดเต็มพิกัด (Temperature rising at full load) | +6 ถึง +7 องศาเซลเซียส                          | -1 ถึง -2 องศาเซลเซียส |
| การรบกวนของสนามแม่เหล็ก (Magnetic noise)                              | ลดลงเล็กน้อย                                    | เพิ่มขึ้นเล็กน้อย      |

ในกรณีของไฟฟ้าแสงสว่างไม่ว่าจะเป็นหลอดแบบฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดไอปรอทความดันไอสูง (High pressure mercury lamp) อายุการใช้งานจะสั้นลงอย่างเห็นได้ชัด ถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าแรงดันพิกัด ในกรณีของหลอดไส้ธรรมดา (Incandescent) อายุการใช้งานจะแปรผกผันกับค่าแรงดันยกกำลัง 2 สำหรับอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electric heater) ปริมาณความร้อนจะเปลี่ยนไปตามค่ากำลังสองของแรงดัน นั่นคือ การใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่ให้ปริมาณความร้อนน้อยกว่า

การให้หม้อแปลงไฟฟ้าไฟฟ้าแรงต่ำหรือสายเมนซึ่งมีโหลดต่ออยู่มากมายจ่ายแรงดันให้พอดีกับแรงดันพิกัดของโหลดทุกตัวนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก อย่างไรก็ตามการเลือกให้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแท็ป (Tap) และการวางตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสมจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ ซึ่งจะช่วยในการระบายความร้อนและบำรุงรักษาได้ง่ายจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก

ดังนั้น การที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าไม่เหมาะสมจะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ตัวหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ หากพิจารณาการใช้มอเตอร์ในโรงงานทั่วไป จะพบว่ามอเตอร์ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพโหลด 50-80% ของพิกัด ส่วนมอเตอร์ที่ใช้งานเต็มพิกัดโหลด (Full load) จะมีน้อย ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน จะมีผลต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สภาพโหลดต่างๆ กันอีกด้วย ซึ่งดูได้จากตารางที่ 1.4

## ตารางที่ 1.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ที่มีผลต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สภาพโหลดต่างกัน

| รายการตรวจวัด                   |                    | การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (Voltage fluctuation) |                   |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
|                                 |                    | แรงดันตก 10%                                  | แรงดันเพิ่ม 10%   |
| ประสิทธิภาพ (Efficiency)        | โหลดเต็มพิกัด      | -2 %                                          | เพิ่มขึ้นเล็กน้อย |
|                                 | ¾ ของโหลดเต็มพิกัด | ไม่เปลี่ยนแปลง                                | ไม่เปลี่ยนแปลง    |
|                                 | ½ ของโหลดเต็มพิกัด | +1 ถึง +2 %                                   | -1 ถึง -2 %       |
| เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) | โหลดเต็มพิกัด      | -1 %                                          | -3 %              |
|                                 | ¾ ของโหลดเต็มพิกัด | +2 ถึง +3 %                                   | -4 %              |
|                                 | ½ ของโหลดเต็มพิกัด | +4 ถึง +5 %                                   | -5 ถึง -6 %       |

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับความไม่สมดุลของแรงไฟฟ้าในระบบด้วย เพราะความไม่สมดุลของแรงไฟฟ้าจะส่งผลมาก โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ

การที่ให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าน้อยลงอาจทำได้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าและสายไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เพียงพอหรืออาจติดตั้งคาปาซิเตอร์ไว้ที่ปลายสายจ่ายก่อนเข้าโหลด เพื่อเป็นการลดค่ากระแสรีแอกทีฟก็ได้

ในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงของแรงดันมีค่าสูงจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระพริบ (Flicker) และมอเตอร์จะมีค่าสลิปสูง ขณะเดียวกันอาจทำให้สวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรได้ก่อให้เกิดปัญหาในการเดินเครื่อง

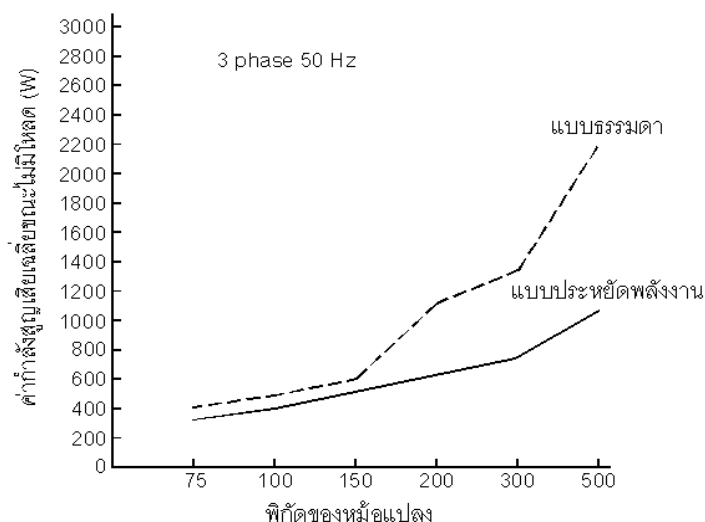
นอกจากนี้การเกิดสภาพไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า ยังทำให้ค่ากำลังสูญเสียในขดลวด และในแกนเหล็กของมอเตอร์สูงขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น เสียงจะดังขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงส่งผลให้มอเตอร์ชำรุดในที่สุด

#### 1.5.2.5 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลงไฟฟ้า

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลงไฟฟ้าช่วยลดการสูญเสียภายในหม้อแปลงไฟฟ้าทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีควรติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เช่น ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ไว้ในตำแหน่งที่ใกล้กับโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

#### 1.5.2.6 การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประสิทธิภาพสูง

หากโรงงานกำลังพิจารณาซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่ ควรเลือกซื้อชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงหรือเป็นแบบประหยัดพลังงาน ซึ่งจะมีการสูญเสียใน Core loss ต่ำกว่าแบบธรรมดา และควรเลือกขนาดที่เหมาะสมกับโหลด หากพิจารณาจากคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าในรูปที่ 1.20 แล้ว จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะแปรผันตามค่าโหลด ดังนั้นถ้าโรงงานจะซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้โหลดแฟกเตอร์ต่ำและประสิทธิภาพก็ต่ำด้วย ในขณะเดียวกันหากโหลดไฟฟ้าของสถานประกอบการมีค่าสูงในระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง ส่วนเวลาที่เหลือของวันหนึ่งๆ มีโหลดน้อยมาก ดังนั้นการเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะทำให้ประหยัดพลังงานได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 1.20



ที่มา : การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 1.20 กราฟแสดงกำลังสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า แบบธรรมดากับชนิดประหยัดพลังงาน

บริษัทผู้ผลิตได้ออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประสิทธิภาพสูงซึ่งก็คือหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีค่ากำลังสูญเสียน้อย เมื่อมีโหลดต่ำดังในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 เปรียบเทียบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dry type cast resin ชนิดที่มีกำลังสูญเสียปกติ (Standard loss) และชนิดประหยัดพลังงาน (High efficiency) ใช้กับระบบแรงดันไฟฟ้า 22kV/400-230 V

ที่มา : การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน

| kVA  | Rate A<br>Voltage<br>(kV / V) | Loss ( W ) |             | % Loss    |             | Eff % |
|------|-------------------------------|------------|-------------|-----------|-------------|-------|
|      |                               | Core loss  | Copper loss | Core loss | Copper loss |       |
| 50   | 22 / 400                      | 210        | 1050        | 0.17      | 0.83        | 97.48 |
| 100  | 22 / 400                      | 340        | 1750        | 0.16      | 0.84        | 97.91 |
| 160  | 22 / 400                      | 480        | 2350        | 0.17      | 0.83        | 98.23 |
| 250  | 22 / 400                      | 670        | 3252        | 0.17      | 0.83        | 98.43 |
| 315  | 22 / 400                      | 900        | 3900        | 0.19      | 0.81        | 98.47 |
| 400  | 22 / 400                      | 980        | 4600        | 0.18      | 0.82        | 98.60 |
| 500  | 22 / 400                      | 1150       | 5500        | 0.17      | 0.83        | 98.77 |
| 630  | 22 / 400                      | 1350       | 6500        | 0.17      | 0.83        | 98.75 |
| 800  | 22 / 400                      | 1600       | 11000       | 0.13      | 1.87        | 98.43 |
| 1000 | 22 / 400                      | 1900       | 13500       | 0.12      | 0.88        | 98.56 |
| 1250 | 22 / 400                      | 2300       | 16400       | 0.12      | 0.88        | 98.50 |
| 1500 | 22 / 400                      | 2800       | 19800       | 0.12      | 0.88        | 98.50 |
| 2000 | 22 / 400                      | 3250       | 24000       | 0.12      | 0.88        | 98.63 |

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาความสูญเสียของหม้อแปลง

$$\text{Copper loss ของ } Tr_2 \text{ ลดลง} = \text{Copper loss ตัวที่ 2} \times \left( \frac{kVA_{act} Tr_2}{KVA_{rate} Tr_2} \right)^2 \times \text{ชม.ปฏิบัติงานใน 1 ปี}$$

$$\text{Core loss ลดลง} = (\text{Core loss} \times \text{จำนวนหม้อแปลง}) \times \text{ชม.ใน 1 ปี}$$

พลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ควรพิจารณาขนาด ที่เหมาะสมกับโหลดและมีประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนการจัดหม้อแปลงไฟฟ้าให้สามารถหยุดได้เป็นส่วนๆ และตัดหม้อแปลงไฟฟ้าออกจากระบบในขณะที่ไม่มีโหลด ทั้งนี้ต้องไม่กระทบกระเทือนต่อการผลิตภายในโรงงาน

#### 1.5.2.7 การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า (ขนาดเท่ากัน) หลายตัวเข้าด้วยกัน (Banking)

กรณีที่ใช้ไฟฟ้า เช่น โรงงาน หรือ อาคาร มีหม้อแปลงไฟฟ้า (ขนาดเท่ากัน) หลายตัว เนื่องจากการขยายกิจการหรือขยายการใช้ไฟฟ้าทำให้มีจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการใช้งานรวมสูงสุด (kVA) มีค่าสูงจนทำให้ไม่สามารถตัดหม้อแปลงไฟฟ้าบางตัวออกจากระบบได้ การขนานหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกันจะช่วยลดการสูญเสียโดยรวม ซึ่งเกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวได้

### 1.6 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor improvement)

#### 1.6.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

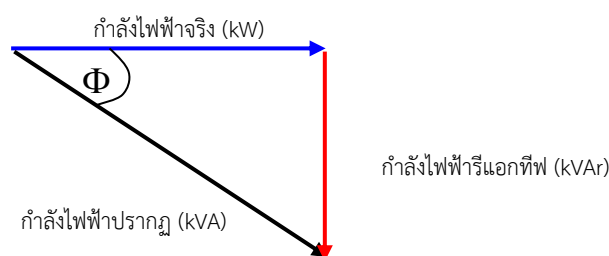
ในระบบกระแสไฟฟ้าสลับ การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสามารถวัดแยกออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าจริง (P) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ หรือกิโลวัตต์
2. กำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก

มีหน่วยวัดเป็นวาร์หรือกิโลวาร์

กำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนสามารถรวมเข้าด้วยกันทางเฟสเซอร์ เป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) มีหน่วยเป็นโวลต์แอมป์ หรือ เควีเอ ดังรูปที่ 1.21

$$kVA = \sqrt{(kW)^2 + (kVA_r)^2}$$



รูปที่ 1.21 ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

### 1.6.2 คำจำกัดความของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง มีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ มีหน่วยเป็นโวลต์-แอมป์ ซึ่งอยู่ในรูปของ  $\cos \Phi$  เราสามารถเขียนสมการตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ}} \\ \cos &= \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \\ \text{หรือ} & \\ \text{kW} &= \text{kVA} \cos \\ \text{kVA} &= \text{kVA} \sin \Phi \quad \text{หรือ} \quad \text{kW} \tan \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 1.1** โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ระบบแรงดัน 3 เฟส 380 V อ่านกระแสจากมิเตอร์ได้ 1,266 A อ่านกำลังไฟฟ้าจริงจากมิเตอร์ได้ 500 kW ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโรงงานแห่งนี้มีค่าเท่าใด

**วิธีทำ**

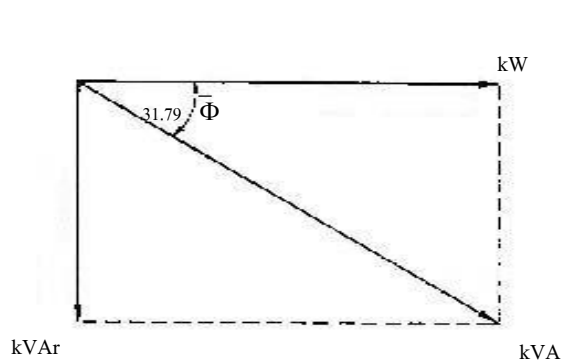
$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ} &= \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 1266}{1,000} = 833 \text{ kVA} \\ \text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า} &= \frac{500}{833} = 0.60 \\ &= 60\% \quad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

### 1.6.3 อัตราค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ในบิลค่าไฟฟ้า

จากอนุสนธิคุณรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 16 เมษายน 2528 เห็นชอบในหลักการให้สิ่งจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 0.85 การไฟฟ้าจะคิดเงินส่วนลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป็นโบนัสให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 0.85 ตามสูตรดังนี้

$$\text{เงินส่วนลดหรือเพิ่มค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าประจำเดือน} = K \times \text{Max.kW} \times \text{DC} \times \left[ 1 - \frac{0.85}{\cos \Phi} \right] \text{บาท}$$

ปัจจุบัน การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้สูตรค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเลิกให้โบนัสจากสมการ โดยปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใหม่คือ ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ามีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 0.85 โดยที่ในรอบเดือนถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่า 61.97 เปอร์เซนต์ของความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้วเฉพาะส่วนที่เกินต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา กิโลวาร์ละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้นเศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้งตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์



$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \cos^{-1} 0.85 &= 31.79^\circ \\ \frac{\text{kVAr}}{\text{kW}} &= \tan \Phi \\ \text{kVAr} &= \text{kW} \tan \Phi \\ &= \text{kW} \tan 31.79 \\ &= 0.6197 \text{ kW} \end{aligned}$$

รูปที่ 1.22 มุม  $\Phi$  ของค่าตัวประกอบกำลัง

**ตัวอย่างที่ 1.2** กำลังไฟฟ้าจริงอ่านจากมิเตอร์ 500 kW ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานมีค่า 0.6 ในปัจจุบันนี้การไฟฟ้าฯ เรียกเก็บค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 0.85 เป็นเงินเท่าใด

**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{kVAr} &= \text{kW} \times \tan \Phi \\ \Phi &= \cos^{-1} 0.6 \\ &= 53.13^\circ \\ \text{kVAr} &= 500 \times \tan 53.13^\circ \\ &= 667 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

ในรอบเดือนถ้าผู้ใช้ กิโลวาร์สูงสุดเกินกว่า 61.97 เปอร์เซ็นต์ของกิโลวัตต์สูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาที เฉพาะส่วนที่เกินต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากิโลวาร์ละ 14.02 บาท

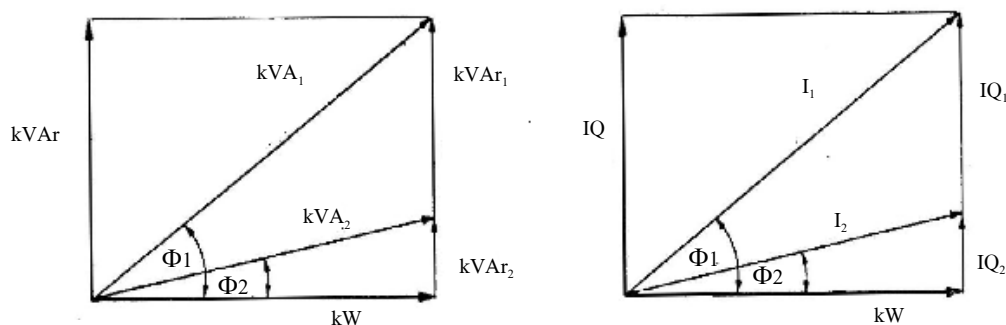
$$\begin{aligned} 0.6197 \times 500 &= 309.85 \text{ kVAr} \\ \text{กิโลวาร์ส่วนที่เกิน} &= 667 - 309.85 = 357 \text{ kVAr} \\ \text{ต้องเสียค่าปรับ} &= 357 \times 14.02 = 5,005 \text{ บาท (ยังไม่รวม VAT 7\%)} \end{aligned}$$

#### 1.6.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

##### ผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้งานคงที่ ถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ายิ่งต่ำ (มุม  $\Phi$  ยิ่งมาก) ทำให้กำลังไฟฟ้าปรากฏและกระแสมีค่ามากขึ้น ในทำนองเดียวกันถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ายิ่งสูง (มุม  $\Phi$  ลดลง) ทำให้กำลังไฟฟ้าปรากฏและกระแสมีค่าลดลง





รูปที่ 1.23 ผลของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงและต่ำ

$$\cos \Phi_1 = \frac{kW}{kVA_1} ; \cos \Phi_2 = \frac{kW}{kVA_2}$$

$$I_2 = I_1 \frac{\cos \Phi_1}{\cos \Phi_2}$$

ที่กำลังไฟฟ้าจริงคงที่โหลดแรกมีกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ  $kVA_r_1$  ที่กำลังไฟฟ้าปรากฏ  $kVA_1$  ทำให้มุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ  $\Phi_1$  ในทำนองเดียวกันถ้ามุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ  $\Phi_2$  ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏจะลดลงเท่ากับ  $kVA_2$

$$\text{กระแสของโหลดแรก}(I_1) = \frac{kVA_1}{V} \quad \text{จะมากกว่ากระแสโหลดที่สอง} = \frac{kVA_2}{V} \quad \text{หรือ} \quad I_1 > I_2$$

**ตัวอย่างที่ 1.3** จากตัวอย่างที่ 1.1 ถ้าเพิ่มตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.95 กระแสอ่านจากมิเตอร์จะลดลงเหลือเท่าใด

**วิธีทำ**

$$I_1 = 1266 \text{ A} ; P = 500 \text{ kW}$$

$$\text{จาก } kVA = \frac{kW}{\cos \Phi}$$

$$kVA_2 = \frac{500}{0.95} = 526.3 \text{ kVA}$$

$$kVA = \frac{\sqrt{3} IV}{1000} \quad [\text{ระบบไฟฟ้า 3 เฟส}]$$

$$I_2 = \frac{526.3 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$= 800 \text{ A}$$

$$\text{หรือ } I_2 = \frac{I_1 \cos \Phi_1}{\cos \Phi_2}$$

$$= \frac{1266 \times 0.6}{0.96}$$

$$= 800 \text{ A}$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ายิ่งสูงกระแสก็ยิ่งมีค่าต่ำและย่อมมีผลดี ตอบ

**ถ้าทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงจะทำให้มีผลดีดังนี้**

**1. ประหยัดค่าไฟฟ้า** ตั้งแต่ปลายปี 2530 จนถึงปัจจุบัน การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเล็กใช้สูตรค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเลิกให้โบนัสจากสมการแต่หันมาปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใหม่คือ ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ามีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลังต่ำกว่า 0.85 โดยที่ในรอบเดือนถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่า 61.97 เปอร์เซนต์ของความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 14.02 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้วเฉพาะส่วนที่เกินต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา กิโลวาร์ละ 15 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้นเศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

**2. ลดค่ากำลังสูญเสียในสาย** การเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำให้กำลังสูญเสียในสายลดลง และกำลังสูญเสียในสายสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว} : \text{กำลังสูญเสีย} = 2I^2 R$$

$$\text{ระบบไฟฟ้าสามเฟส} : \text{กำลังสูญเสีย} = 3I^2 R$$

**ตัวอย่างที่ 1.4** มอเตอร์ขนาด 50 HP 3 เฟส 380 V PF 0.72 ใช้สายขนาด 35 mm ยาว 180 m ระยะเวลาที่ใช้งานรวม 160 ชั่วโมงต่อเดือน ถ้าค่าไฟหน่วยละ 2.75 บาท (1 UNIT = 1 kWh) สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าหลังจากปรับปรุง PF เป็น 0.95 ได้กี่บาทต่อปี เมื่อความต้านทานของสาย = 0.0005 โอห์มต่อเมตร (1 HP = 746 W)

**วิธีทำ**

$$\text{PF } 0.72 \quad I = \frac{50 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.72}$$

$$= 78.7 \text{ A}$$

$$\text{PF } 0.95 \quad I = \frac{50 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.952}$$

$$= 59.5 \text{ A}$$

$$\text{PF } 0.72 \quad \text{กำลังสูญเสีย} = 3I^2 R$$

$$= 3 \times (78.7)^2 \times 0.0005 \times 180$$

$$= 1,672 \text{ W}$$

$$\text{PF } 0.95 \quad \text{กำลังสูญเสีย} = 3I^2 R$$

$$= 3 \times (59.5)^2 \times 0.0005 \times 180$$

$$= 955 \text{ W}$$

$$\text{กำลังสูญเสียลดลง} = 1,672 - 955 \text{ W}$$

$$= 717 \text{ W}$$

$$\text{หน่วยไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี} = \frac{717 \times 160 \times 12}{1,000}$$

$$= 1,376.6 \text{ kW-hr}$$

ถ้าค่าไฟหน่วยละ 2.75 บาท

$$\text{ปีหนึ่งจะประหยัดค่าไฟฟ้า} = 1,376.6 \times 2.75$$

$$= 3,785.76 \text{ บาทต่อปี}$$

ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำให้ลดความสูญเสียในสายลงได้ดังนี้

$$I_1 \cos \Phi_1 = I_2 \cos \Phi_2 \quad (\text{เมื่อกำลังไฟฟ้าเท่ากัน})$$

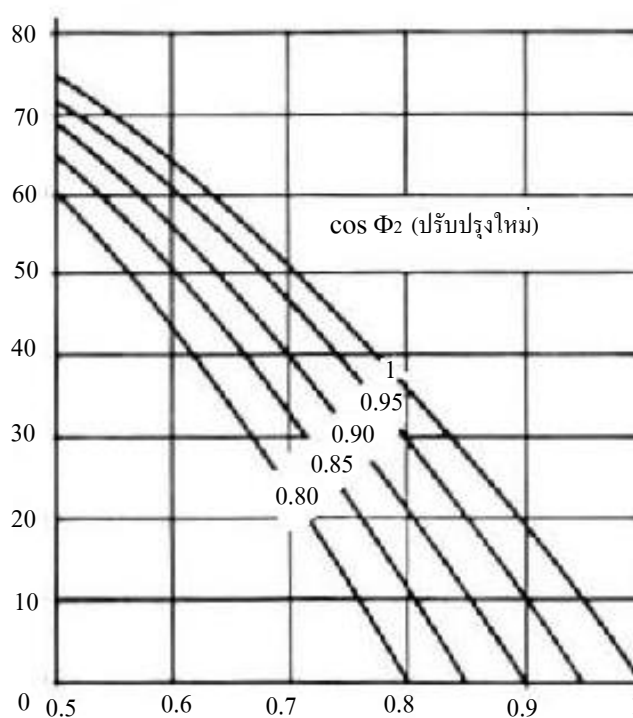
$$I_2 = I_1 \frac{\cos \Phi_1}{\cos \Phi_2} \quad (\text{เมื่อกำลังสูญเสียเท่ากับ } I^2 R)$$

$$\frac{I_1^2 R - I_2^2 R}{I_1^2 R} = 1 - \left( \frac{\cos \Phi_1}{\cos \Phi_2} \right)^2$$

$$\text{กำลังสูญเสียที่ลดลง} = \left\{ 1 - \left( \frac{\cos \Phi_1}{\cos \Phi_2} \right)^2 \right\} \times 100\%$$

เปอร์เซ็นต์กำลังสูญเสียในสายที่ลดลง สามารถดูได้จากรูปที่ 1.24

เปอร์เซ็นต์กำลังสูญเสียในสายลดลง



รูปที่ 1.24 การหาค่ากำลังสูญเสียในสายด้วยกราฟ

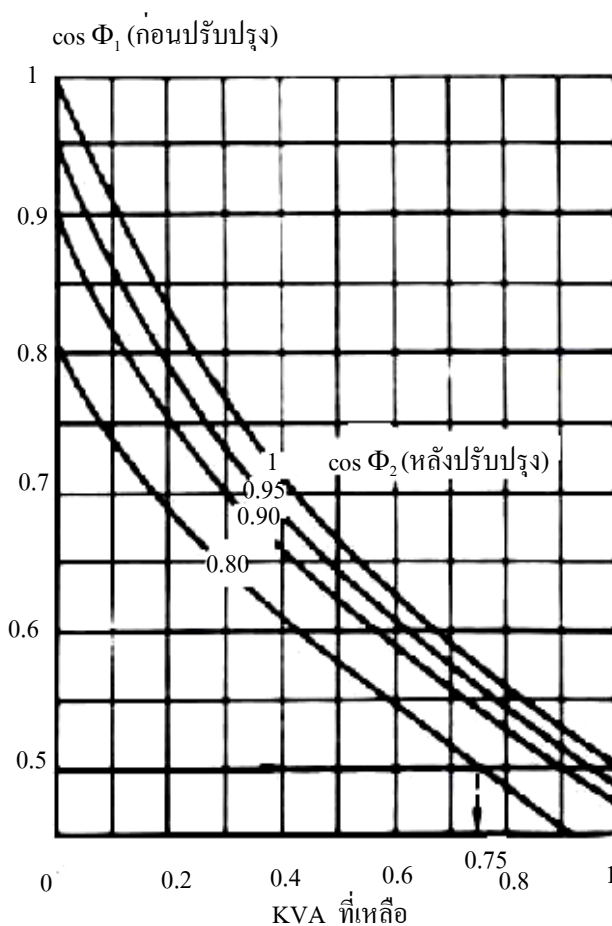
$$\text{จากกราฟ รูปที่ 1.24 หรือในสมการ กำลังสูญเสียที่ลดลง} = \left\{ 1 - \left( \frac{\cos\Phi_1}{\cos\Phi_2} \right)^2 \right\} \times 100\%$$

PF 0.6 แก้เป็น 0.8 กำลังสูญเสียในสายจะลดลง 44 เปอร์เซ็นต์

PF 0.6 แก้เป็น 1.0 กำลังสูญเสียในสายจะลดลง 64 เปอร์เซ็นต์

**3. ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดเพิ่มมากขึ้น** การปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำให้กระแสของระบบลดลง เนื่องจากหม้อแปลงจ่ายโหลดทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเมื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้น้อยลงก็จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้น

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



รูปที่ 1.25 จากกราฟถ้าปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจะทำให้ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น

**ตัวอย่างที่ 1.5** หม้อแปลง 400 kVA จ่ายโหลด 200 kW ที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.5 ถ้าปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็น 0.8 หม้อแปลงยังมีกำลังเหลือใช้อีกเท่าใด

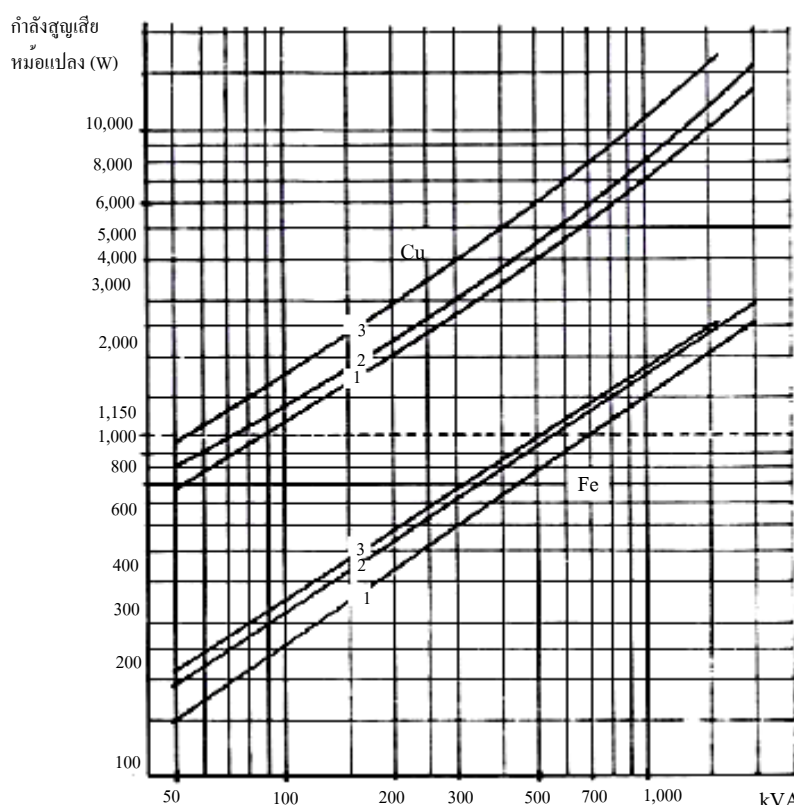
**วิธีทำ**

$$\text{kVA (เหลือ)} = 200 \left( \frac{1}{0.5} - \frac{1}{0.8} \right) = \left( \frac{200}{0.5} - \frac{200}{0.8} \right)$$

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

หรือหาได้จากกราฟรูปที่ 1.25 ที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง ( $\cos \Phi_1$ ) เท่ากับ 0.5 และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าปรับปรุงใหม่ ( $\cos \Phi_2$ ) เท่ากับ 0.8 จะได้ kVA ที่เหลือมีค่า 0.75 และที่โหลด 200 kW หม้อแปลงยังมีกำลังเหลือใช้  $0.75 \times 200 = 150 \text{ kVA}$  **ตอบ**

**4. ลดค่ากำลังสูญเสียในหม้อแปลง** กำลังสูญเสียในหม้อแปลงประกอบด้วยกำลังสูญเสียในลวดทองแดง ซึ่งขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงโดยคิดค่าจาก  $I^2 R$  และกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยประมาณกรณีไม่มีโหลดสำหรับค่ากำลังสูญเสียในแกนเหล็กไม่ขึ้นกับโหลดจึงมีค่าเกือบคงที่ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน และกำลังสูญเสียที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กค้าง



**รูปที่ 1.26** แสดงค่ากำลังสูญเสียในแกนเหล็กและลวดทองแดง

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

สำหรับกำลังสูญเสียในหม้อแปลงอาจหาได้จากกราฟ ดังรูปที่ 1.26 ค่า Cu หมายถึง ค่าการสูญเสียในลวดทองแดง และค่า Fe หมายถึง ค่ากำลังสูญเสียในแกนเหล็ก ในทำนองเดียวกันกราฟเส้นที่ 3 เป็นหม้อแปลงกรณีกำลังสูญเสียธรรมดากราฟเส้นที่ 2 เป็นหม้อแปลงกรณีกำลังสูญเสียต่ำ และกราฟเส้นที่ 1 เป็นหม้อแปลงกรณีกำลังสูญเสียต่ำเป็นพิเศษ

$$\text{เมื่อ } I_2 = I_1 \frac{\cos\Phi_1}{\cos\Phi_2} \quad (\text{เมื่อกำลังสูญเสียเท่ากับ } I^2 R)$$

$$I_2^2 R = I_1^2 R \left( \frac{\cos\Phi_1}{\cos\Phi_2} \right)^2$$

กำหนดให้  $I_1^2 R$  คือ กำลังสูญเสียในลวดทองแดงก่อนปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$I_2^2 R$  คือ กำลังสูญเสียในลวดทองแดงหลังปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

**ตัวอย่างที่ 1.6** หม้อแปลงแบบกำลังสูญเสียธรรมดาขนาด 500 kVA จ่ายโหลดขนาด 300 kW ที่ PF 0.6 ระยะเวลาที่ใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ถ้าค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.75 บาท ถ้าต้องการปรับปรุง PF เป็น 0.95 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้กี่บาทต่อปี

**วิธีทำ** กรณี PF 0.6 จากกราฟรูปที่ 1.25

$$\text{กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก} = 1,150 \text{ W}$$

$$\text{กำลังสูญเสียในลวดทองแดง} = 6,000 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{กำลังสูญเสียในหม้อแปลง} &= 1,150 + 6,000 \\ &= 7,150 \text{ W} \end{aligned}$$

กรณี PF 0.95

$$\text{กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก} = 1,150 \text{ W}$$

$$\text{กำลังสูญเสียในลวดทองแดง} = 6,000 \left( \frac{0.6}{0.95} \right)^2 = 2,393 \text{ W}$$

$$\text{กำลังสูญเสียในหม้อแปลง} = 1,150 + 2,393 = 3,543 \text{ W}$$

$$\text{กำลังสูญเสียลดลง} = 7,150 - 3,543 = 3,607 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{ปีหนึ่งจะประหยัดไฟฟ้า} &= \frac{3,607 \times 8 \times 365 \times 2.75}{1,000} \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$= 28,964.21 \text{ บาทต่อปี} \quad \text{ตอบ}$$

**5. ระดับแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น** เมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น แรงดันตกในสายจะลดลง

$$\Delta V = I (R \cos \Phi + X_L \sin \Phi)$$

กำหนดให้ R คือ ความต้านทานของสาย

$X_L$  คือ รีแอกแตนซ์ของสาย ประมาณ 0.4 – 0.9  $\mu\text{H/m}$

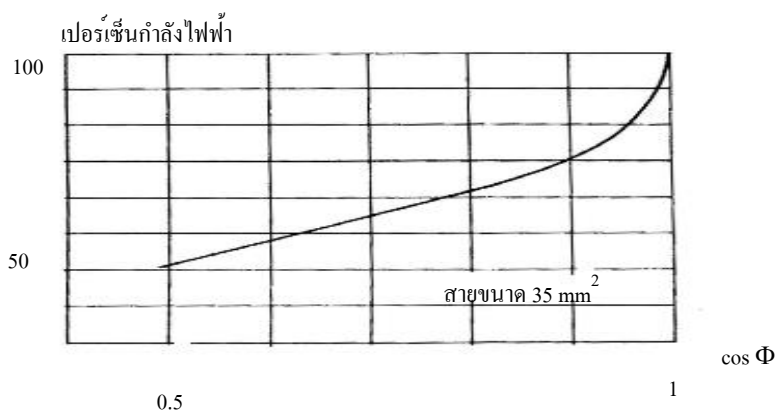
กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านสายได้โดยมี  $n$  เป็นเปอร์เซ็นต์ แรงดันไฟฟ้าตกสูงสุดที่ยอมได้เป็นดังนี้

$$P = \sqrt{3} VI \cos \Phi \quad (\text{ระบบ 3 เฟส})$$

$$\Delta V = \frac{nV}{\sqrt{3}}$$

$$P = \frac{nV^2}{R + XL \tan \Phi}$$

โดยทั่วไป  $n$  จะอยู่ระหว่าง 5-10 เปอร์เซ็นต์

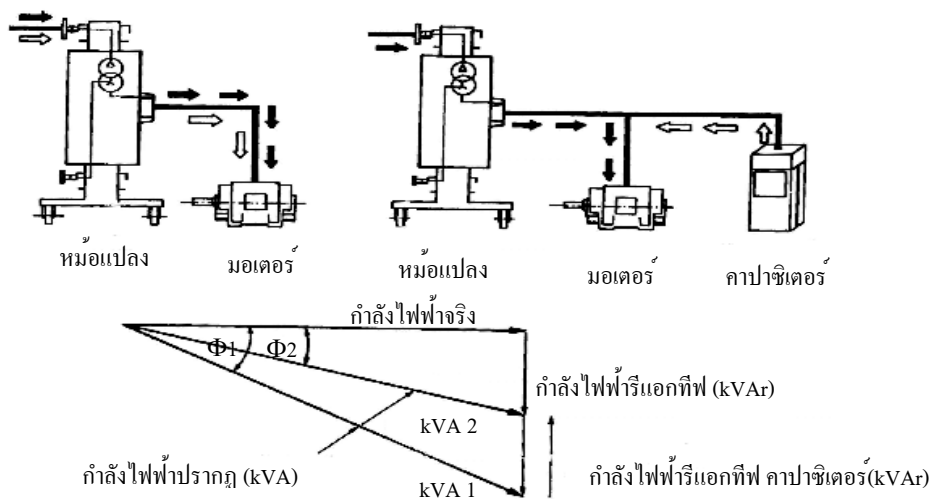


รูปที่ 1.27 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์กับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของขนาดสาย 35 mm<sup>2</sup>

รูปที่ 1.27 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์กับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของขนาดสาย 35 mm<sup>2</sup> จะเห็นได้ว่าถ้าเพิ่ม PF จาก 0.5 เป็น 1.0 กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มเป็นเท่าตัว

### 1.6.5 วิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตามที่กล่าวแล้วว่าผลดีของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงมีมาก แต่เนื่องจากอุปกรณ์ประเภทเครื่องจักรกล หม้อแปลง เครื่องเชื่อม เต้าเผาแบบอาร์ก และบัลลาสต์ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้านอกที่ฟช่วยจ่ายให้ได้แก่ ชิงโครนสมอเตอร์ และคาปาซิเตอร์ คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายกำลังไฟฟ้านอกที่ฟชนิดหนึ่งที่ราคาถูก และนิยมใช้กันมาก ดังรูปที่ 1.28



รูปที่ 1.28 แสดงการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้วยคาปาซิเตอร์

|                      |                        |        |   |                                  |
|----------------------|------------------------|--------|---|----------------------------------|
| จากสมการ             | ;                      | $kVAr$ | = | $kW \tan \Phi$                   |
| กิโลวาร์ก่อนปรับปรุง |                        | $PF$   | = | $kW \tan \Phi_1$                 |
| กิโลวาร์ปรับปรุง     |                        | $PF$   | = | $kW \tan \Phi_2$                 |
| ดังนั้น              | กิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์ |        | = | $kW (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2)$ |

**ตัวอย่างที่ 1.7** จากตัวอย่างที่ 1.1 โหลดขนาด 500 kW ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.60 ล้าหลัง ถ้าต้องการปรับปรุง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.95 ล้าหลัง จะต้องเลือกขนาดคาปาซิเตอร์เท่าใด

**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \cos \Phi_1 &= 0.60 ; \quad \Phi_1 = 53.13^\circ \\ \cos \Phi_2 &= 0.95 ; \quad \Phi_2 = 18.19^\circ \\ \text{กิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์} &= 500 (\tan 53.13^\circ - \tan 18.19^\circ) \\ &= 500 (1.333 - 0.3285) = 500 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

เพื่อความสะดวกในการหาขนาดกิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์ อาจหาได้จากตารางที่ 1.6 ที่โหลด 500 kW

$$\begin{aligned} \cos \Phi_1 &= 0.60 \\ \cos \Phi_2 &= 0.95 \\ \text{ค่าแฟกเตอร์จากตาราง} &= 1.01 \\ \text{กิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์} &= 500 \times 1.01 \\ &\simeq 500 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

**ตอบ**

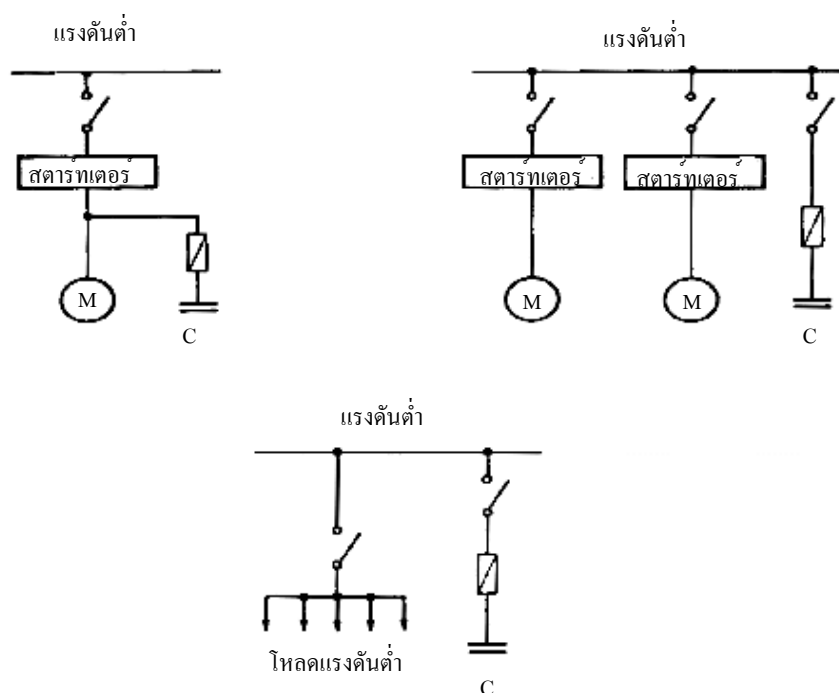


อย่างไรก็ตามการติดตั้งคาปาซิเตอร์จำเป็นต้องลงทุนราคาประมาณกิโลวาร์ละ 200 ถึง 300 บาท ดังนั้นที่ 500 กิโลวาร์ จึงราคาประมาณ  $300 \times 500$  เท่ากับ 150,000 บาท แต่ในตัวอย่างที่ 3.2 ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.95 เจ้าของโรงงานสามารถประหยัดค่าไฟได้ 5,005 บาทต่อเดือน ในเวลา  $(150,000/5,280)$  เท่ากับ 30 เดือน จึงจะคืนทุน

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ ดังรูปที่ 1.29 การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ตำแหน่งใดจึงจะเหมาะสมนั้นต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกันตั้งแต่ด้านเศรษฐศาสตร์ ทางเทคนิค และการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่หรือติดตั้งใหม่

คาปาซิเตอร์สามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร ชนิดของการติดตั้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 อย่างดังนี้

1. การติดตั้งที่โหลดแต่ละชุด
2. การติดตั้งที่กลุ่มของโหลด
3. การติดตั้งแบบศูนย์กลาง
4. การติดตั้งแบบผสม



รูปที่ 1.29 แสดงแบบการติดตั้งคาปาซิเตอร์

ตารางที่ 1.6 การหาขนาดกิโลวัตต์ค่าปาดด้วยตาราง

| cos $\Phi_1$ | ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า cos $\Phi_2$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 0.70                             | 0.75 | 0.80 | 0.82 | 0.85 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.98 | 1.00 |
| 0.20         | 3.88                             | 4.02 | 4.15 | 4.19 | 4.28 | 4.33 | 4.41 | 4.46 | 4.51 | 4.57 | 4.59 | 4.69 | 4.90 |
| 0.25         | 2.85                             | 2.99 | 3.17 | 3.12 | 3.25 | 3.32 | 3.38 | 3.45 | 3.50 | 3.54 | 3.58 | 3.66 | 3.87 |
| 0.30         | 2.16                             | 2.30 | 2.43 | 2.48 | 2.56 | 2.62 | 2.69 | 2.75 | 2.81 | 2.85 | 2.88 | 2.97 | 3.18 |
| 0.35         | 1.66                             | 1.79 | 1.93 | 1.98 | 2.06 | 2.12 | 2.19 | 2.25 | 2.31 | 2.35 | 2.38 | 2.47 | 2.68 |
| 0.40         | 1.27                             | 1.41 | 1.54 | 1.59 | 1.67 | 1.72 | 1.80 | 1.86 | 1.93 | 1.96 | 2.00 | 2.08 | 2.29 |
| 0.42         | 1.14                             | 1.28 | 1.41 | 1.46 | 1.54 | 1.59 | 1.68 | 1.74 | 1.80 | 1.83 | 1.87 | 1.95 | 2.16 |
| 0.44         | 1.02                             | 1.16 | 1.29 | 1.34 | 1.42 | 1.47 | 1.56 | 1.62 | 1.67 | 1.71 | 1.75 | 1.83 | 2.04 |
| 0.46         | 0.91                             | 1.05 | 1.18 | 1.23 | 1.31 | 1.36 | 1.45 | 1.50 | 1.56 | 1.60 | 1.64 | 1.72 | 1.93 |
| 0.48         | 0.80                             | 0.95 | 1.08 | 1.13 | 1.20 | 1.26 | 1.33 | 1.40 | 1.47 | 1.49 | 1.54 | 1.61 | 1.82 |
| 0.50         | 0.71                             | 0.85 | 0.98 | 1.03 | 1.11 | 1.18 | 1.25 | 1.31 | 1.37 | 1.40 | 1.44 | 1.52 | 1.73 |
| 0.52         | 0.62                             | 0.76 | 0.89 | 0.94 | 1.02 | 1.08 | 1.16 | 1.22 | 1.28 | 1.31 | 1.35 | 1.43 | 1.64 |
| 0.54         | 0.54                             | 0.68 | 0.81 | 0.86 | 0.94 | 0.99 | 1.07 | 1.13 | 1.19 | 1.23 | 1.20 | 1.35 | 1.56 |
| 0.56         | 0.46                             | 0.60 | 0.73 | 0.78 | 0.86 | 0.91 | 1.00 | 1.05 | 1.12 | 1.15 | 1.18 | 1.27 | 1.48 |
| 0.58         | 0.38                             | 0.52 | 0.65 | 0.70 | 0.78 | 0.85 | 0.92 | 0.98 | 1.04 | 1.07 | 1.11 | 1.19 | 1.40 |
| 0.60         | 0.31                             | 0.45 | 0.58 | 0.64 | 0.71 | 0.78 | 0.85 | 0.91 | 0.98 | 1.01 | 1.05 | 1.13 | 1.34 |
| 0.62         | 0.24                             | 0.38 | 0.52 | 0.57 | 0.65 | 0.70 | 0.78 | 0.84 | 0.90 | 0.93 | 0.97 | 1.06 | 1.26 |
| 0.64         | 0.18                             | 0.32 | 0.45 | 0.50 | 0.58 | 0.63 | 0.72 | 0.77 | 0.83 | 0.87 | 0.90 | 0.99 | 1.20 |
| 0.66         | 0.12                             | 0.26 | 0.39 | 0.44 | 0.52 | 0.57 | 0.65 | 0.71 | 0.77 | 0.81 | 0.85 | 0.93 | 1.14 |
| 0.68         | 0.06                             | 0.20 | 0.33 | 0.38 | 0.46 | 0.51 | 0.59 | 0.65 | 0.71 | 0.75 | 0.77 | 0.87 | 1.08 |
| 0.70         |                                  | 0.14 | 0.27 | 0.32 | 0.40 | 0.45 | 0.53 | 0.59 | 0.66 | 0.69 | 0.73 | 0.81 | 1.02 |
| 0.72         |                                  | 0.08 | 0.21 | 0.27 | 0.34 | 0.40 | 0.48 | 0.54 | 0.60 | 0.63 | 0.67 | 0.76 | 0.96 |
| 0.74         |                                  | 0.03 | 0.16 | 0.21 | 0.29 | 0.35 | 0.42 | 0.48 | 0.55 | 0.58 | 0.62 | 0.70 | 0.90 |
| 0.76         |                                  |      | 0.10 | 0.16 | 0.24 | 0.29 | 0.37 | 0.43 | 0.49 | 0.52 | 0.56 | 0.65 | 0.85 |
| 0.78         |                                  |      | 0.05 | 0.10 | 0.18 | 0.24 | 0.31 | 0.38 | 0.44 | 0.47 | 0.51 | 0.59 | 0.80 |
| 0.80         |                                  |      |      | 0.05 | 0.13 | 0.18 | 0.26 | 0.32 | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.54 | 0.75 |
| 0.82         |                                  |      |      |      | 0.08 | 0.13 | 0.21 | 0.27 | 0.33 | 0.37 | 0.40 | 0.49 | 0.69 |
| 0.84         |                                  |      |      |      | 0.03 | 0.09 | 0.16 | 0.22 | 0.28 | 0.32 | 0.35 | 0.44 | 0.64 |
| 0.86         |                                  |      |      |      |      | 0.03 | 0.11 | 0.17 | 0.23 | 0.26 | 0.30 | 0.39 | 0.59 |
| 0.88         |                                  |      |      |      |      |      | 0.06 | 0.11 | 0.18 | 0.21 | 0.25 | 0.33 | 0.54 |
| 0.90         |                                  |      |      |      |      |      |      | 0.06 | 0.12 | 0.15 | 0.19 | 0.27 | 0.48 |
| 0.92         |                                  |      |      |      |      |      |      |      | 0.06 | 0.09 | 0.13 | 0.22 | 0.42 |
| 0.94         |                                  |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.03 | 0.07 | 0.16 | 0.36 |
| 0.96         |                                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.09 | 0.28 |
| 0.98         |                                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.21 |

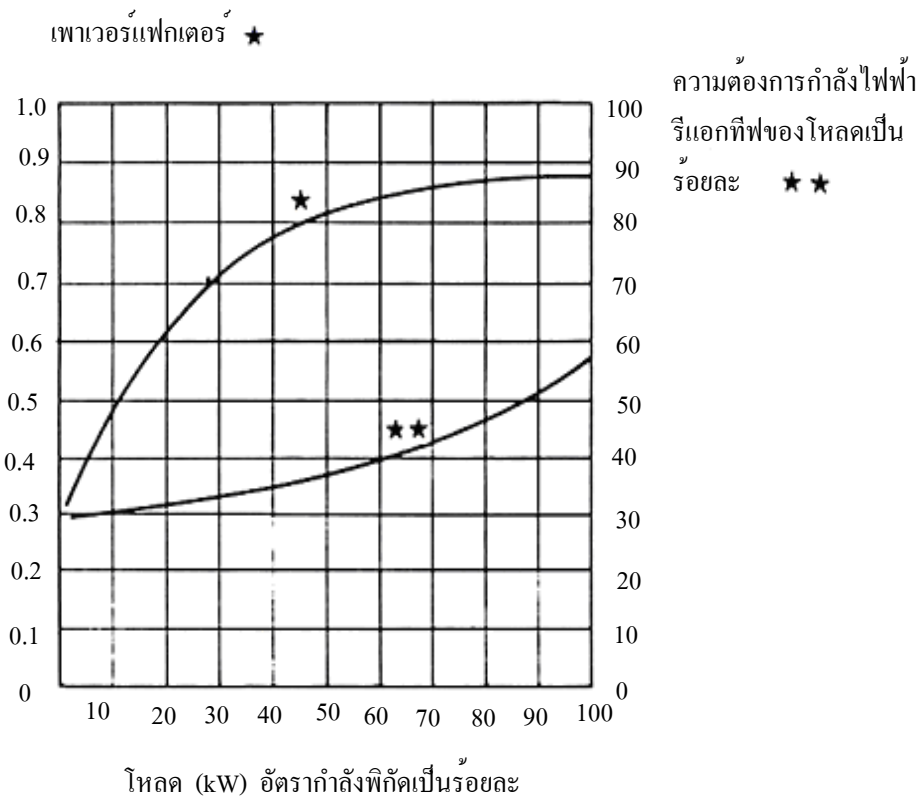
สำหรับตารางที่ 1.7 แสดงคุณลักษณะข้อดีและข้อเสียในการติดตั้งคาปาซิเตอร์แต่ละแบบ

ตารางที่ 1.7 แสดงคุณลักษณะข้อดีและข้อเสียในการติดตั้งคาปาซิเตอร์แต่ละแบบ

| การติดตั้ง      | คุณลักษณะ                                                                                             | ข้อดี                                                                                                                                                                                                                 | ข้อเสีย                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ที่โหลดแต่ละชุด | เป็นการเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ต่อเข้ากับโหลดแต่ละตัว และจะสวิตช์พร้อมกับการเดินมอเตอร์                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่จุดโหลด</li> <li>- ลดการสูญเสียและแรงดันตกในสายวงจรย่อย</li> <li>- ประหยัดการใช้อุปกรณ์สวิตช์ขนาดใหญ่</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้คาปาซิเตอร์ตัวเล็กหลายตัว แพงกว่าตัวใหญ่เพียงตัวเดียว</li> <li>- ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของคาปาซิเตอร์ต่ำ สำหรับมอเตอร์ที่ไม่ได้ใช้งานบ่อย ๆ</li> </ul> |
| ที่กลุ่มของโหลด | มอเตอร์หลายตัวต่อเข้ากับคาปาซิเตอร์ และคาปาซิเตอร์จะถูกใช้งานสอดคล้องกับขนาดโหลดที่ใช้                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ลดราคาคาปาซิเตอร์</li> <li>- ลดการสูญเสียและแรงดันตกที่สายป้อนหรือสายจ่าย</li> </ul>                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- โหลดที่สายป้อนหรือสายจ่ายอาจไม่แน่นอน</li> </ul>                                                                                                                 |
| แบบศูนย์กลาง    | โดยการสร้างกำลังรีแอกทีฟที่จุดใดจุดหนึ่งจะต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบเมื่อทำงานและปลดออกเมื่องานสิ้นสุด | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของคาปาซิเตอร์ที่ดีที่สุด</li> <li>- ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ</li> <li>- ปรับปรุงระดับแรงดันทั่วๆ ไปดีขึ้น</li> <li>- ดูแลรักษาได้ง่าย</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- โหลดที่สายเมนและสายป้อนอาจไม่แน่นอน</li> </ul>                                                                                                                   |
| แบบผสม          | โหลดขนาดใหญ่ติดตั้งที่โหลดแต่ละชุด ส่วนโหลดอื่น ๆ จะติดตั้งเป็นกลุ่มหรือศูนย์กลาง                     |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                           |

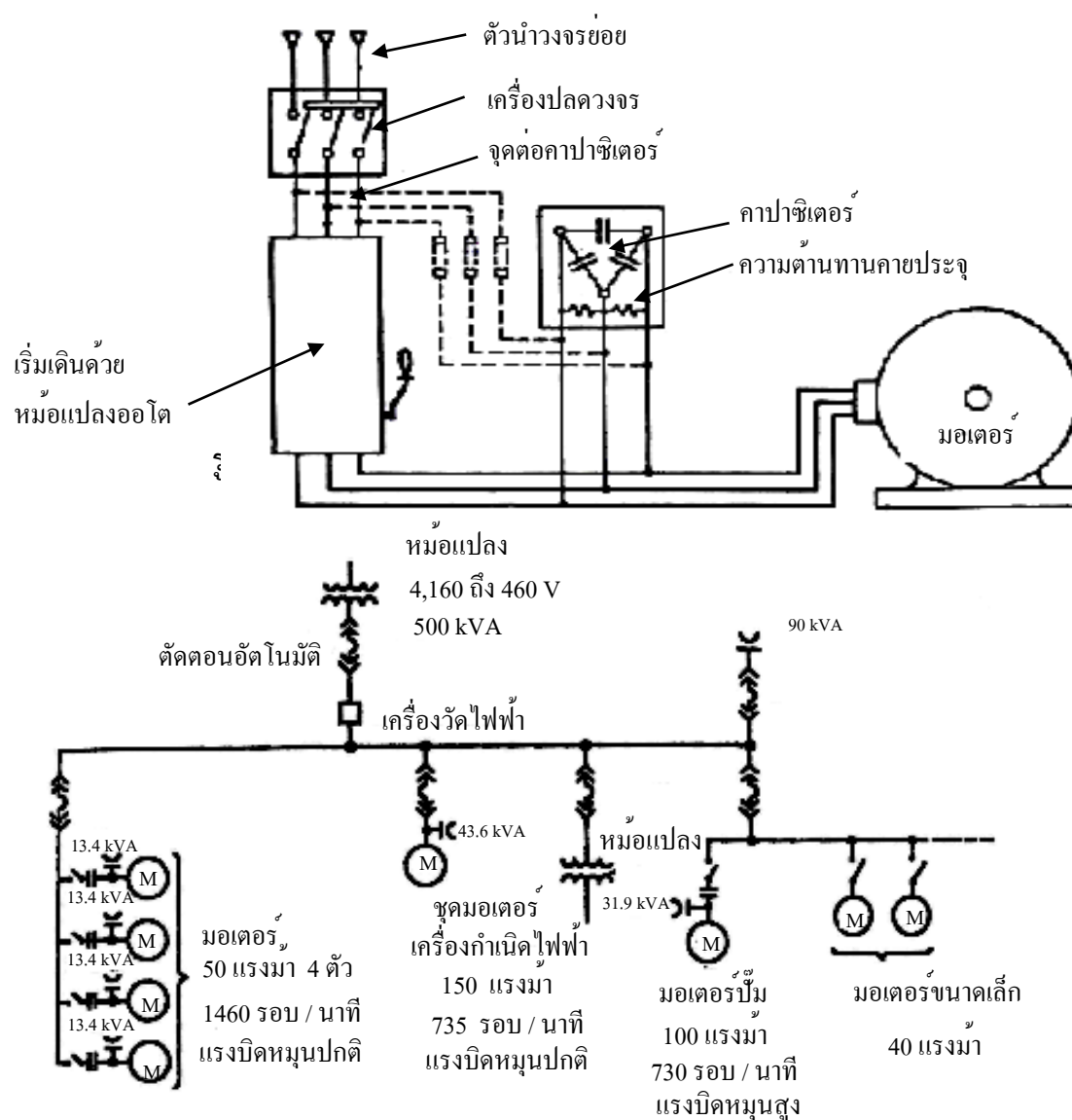
#### การติดตั้งที่โหลดแต่ละชุด

1. ขนาดคาปาซิเตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ มอเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแบบเหนี่ยวนำ และมอเตอร์ประเภทนี้ต้องการกำลังไฟฟ้าจริง เพื่อให้งานทางกลออกมา ในขณะเดียวกันก็ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพื่อไปสร้างสนามแม่เหล็กให้กับขดลวด กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟนี้ไม่ขึ้นอยู่กับโหลดมอเตอร์ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏเพิ่มมากขึ้นตามโหลดที่เพิ่มและตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 1.30



รูปที่ 1.30 อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏเพิ่มมากขึ้นตามโหลดที่เพิ่ม และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้น

เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์กระแสที่สร้างสนามแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าลดลงมอเตอร์ขนาดเดียวกันทำงานที่ความเร็วต่ำต้องการกระแสสร้างสนามแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ความเร็วสูง ดังนั้นมอเตอร์ที่มีความเร็วต่ำจะมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าความเร็วสูง สำหรับในตารางที่ 1.8 แสดงขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ส่วนรูปที่ 1.31 แสดงการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อคาปาซิเตอร์ที่โหลดแต่ละชุด



รูปที่ 1.32 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละชุด (ต่อ)

ตารางที่ 1.8 ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

| 3 เฟส กรงกระรอก เริ่มเดินโดย<br>รับแรงดันเต็มที |        |              | 3 เฟส กรงกระรอก เริ่มเดิน<br>ระบบ Y- $\Delta$ หรือผ่านหม้อแปลง<br>อโต้ |        |              | 3 เฟส โรเตอร์พันขดลวด |        |              |
|-------------------------------------------------|--------|--------------|------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-----------------------|--------|--------------|
| H.P.                                            | r.p.m. | Cap.<br>kVAr | H.P.                                                                   | r.p.m. | Cap.<br>kVAr | H.P.                  | r.p.m. | Cap.<br>kVAr |
| 1.0                                             | 2900   | 0.63         | 1.0                                                                    | 2900   | 0.56         | 5.0                   | 1400   | 2.48         |
|                                                 | 1420   | 0.63         |                                                                        | 1420   | 0.56         |                       | 920    | 2.96         |
|                                                 | 940    | 0.73         |                                                                        | 940    | 0.65         |                       | 700    | 3.59         |
|                                                 | 700    | 0.81         |                                                                        | 700    | 0.73         | 6.0                   | 1400   | 2.7          |
| 1.5                                             | 2900   | 0.84         | 1.5                                                                    | 2900   | 0.75         |                       | 920    | 3.28         |
|                                                 | 1430   | 0.90         |                                                                        | 1430   | 0.81         |                       | 700    | 4.42         |
|                                                 | 940    | 1.0          |                                                                        | 940    | 0.90         | 7.5                   | 1400   | 3.4          |
|                                                 | 710    | 1.15         |                                                                        | 710    | 1.03         |                       | 935    | 4.0          |
| 2.0                                             | 2900   | 1.08         | 2.0                                                                    | 2900   | 0.97         |                       | 700    | 4.6          |
|                                                 | 1430   | 1.08         |                                                                        | 1430   | 0.97         | 10                    | 1420   | 4.4          |
|                                                 | 940    | 1.26         |                                                                        | 940    | 1.13         |                       | 930    | 4.9          |
|                                                 | 710    | 1.52         |                                                                        | 710    | 1.37         |                       | 710    | 5.6          |
| 2.5                                             | 2900   | 1.35         | 2.5                                                                    | 2900   | 1.21         | 12.5                  | 1420   | 4.7          |
|                                                 | 1430   | 1.25         |                                                                        | 1430   | 1.12         |                       | 930    | 6.2          |
|                                                 | 940    | 1.65         |                                                                        | 940    | 1.48         |                       | 710    | 6.6          |
|                                                 | 710    | 1.83         |                                                                        | 710    | 1.65         |                       | 560    | 7.8          |
| 3.0                                             | 2900   | 1.51         | 3.0                                                                    | 2900   | 1.36         | 15                    | 1420   | 5.7          |
|                                                 | 1430   | 1.5          |                                                                        | 1430   | 1.35         |                       | 930    | 6.2          |

ตารางที่ 1.8 ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (ต่อ)

| 3 เฟส กรงกระรอก เริ่มเดินโดย<br>รับแรงดันเต็มที่ |        |              | 3 เฟส กรงกระรอก เริ่มเดินระบบ<br>Y- $\Delta$ หรือผ่านหม้อแปลงออตโต้ |        |              | 3 เฟส โรเตอร์พันขดลวด |        |              |
|--------------------------------------------------|--------|--------------|---------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-----------------------|--------|--------------|
| H.P.                                             | r.p.m. | Cap.<br>kVAr | H.P.                                                                | r.p.m. | Cap.<br>kVAr | H.P.                  | r.p.m. | Cap.<br>kVAr |
|                                                  | 940    | 1.97         |                                                                     | 940    | 1.77         |                       | 710    | 7.8          |
|                                                  | 710    | 2.18         |                                                                     | 710    | 1.96         |                       | 560    | 8.8          |
| 4.0                                              | 2900   | 1.58         | 4.0                                                                 | 2900   | 1.42         | 20                    | 1420   | 6.4          |
|                                                  | 1430   | 1.72         |                                                                     | 1430   | 1.55         |                       | 940    | 7.7          |
|                                                  | 940    | 1.92         |                                                                     | 940    | 1.73         |                       | 710    | 9.5          |
|                                                  | 720    | 2.66         |                                                                     | 720    | 2.4          |                       | 565    | 11.6         |
| 5.0                                              | 2900   | 1.85         | 5.0                                                                 | 2900   | 1.66         |                       | 470    | 12.6         |
|                                                  | 1430   | 2.15         |                                                                     | 1430   | 1.93         | 25                    | 1430   | 7.0          |
|                                                  | 940    | 2.41         |                                                                     | 940    | 2.17         |                       | 940    | 9.6          |
|                                                  | 720    | 3.33         |                                                                     | 720    | 3.0          |                       | 710    | 12.2         |
| 6.0                                              | 2920   | 2.05         | 6.0                                                                 | 2920   | 1.84         |                       | 565    | 14.2         |
|                                                  | 1430   | 2.48         |                                                                     | 1430   | 2.23         |                       | 470    | 15.3         |
|                                                  | 940    | 2.93         |                                                                     | 940    | 2.64         | 30                    | 1430   | 8.7          |
|                                                  | 725    | 3.9          |                                                                     | 725    | 3.5          |                       | 950    | 11.0         |
| 7.5                                              | 2920   | 2.57         | 7.5                                                                 | 2920   | 2.91         |                       | 710    | 12.0         |
|                                                  | 1430   | 3.1          |                                                                     | 1430   | 2.78         |                       | 570    | 15.8         |
|                                                  | 940    | 3.66         |                                                                     | 940    | 3.3          |                       | 475    | 18.6         |
|                                                  | 715    | 4.58         |                                                                     | 715    | 4.12         | 35                    | 1440   | 10.3         |
| 10                                               | 2920   | 3.5          | 10                                                                  | 2920   | 3.1          |                       | 955    | 12.8         |
|                                                  | 1440   | 3.8          |                                                                     | 1440   | 3.4          |                       | 710    | 14.0         |
|                                                  | 940    | 4.4          |                                                                     | 940    | 3.9          |                       | 570    | 17.7         |
|                                                  | 720    | 5.9          |                                                                     | 720    | 5.3          |                       | 475    | 18.4         |
|                                                  | 570    | 6.4          |                                                                     | 570    | 5.7          | 40                    | 1440   | 11.6         |
| 12.5                                             | 1440   | 4.5          | 12.5                                                                | 1440   | 4.0          |                       | 960    | 14.4         |
|                                                  | 950    | 5.0          |                                                                     | 950    | 4.5          |                       | 715    | 15.0         |
|                                                  | 720    | 6.1          |                                                                     | 720    | 5.5          |                       | 570    | 19.6         |
|                                                  | 570    | 7.5          |                                                                     | 570    | 6.7          |                       | 475    | 20.5         |
| 15                                               | 1440   | 4.9          | 15                                                                  | 1440   | 4.4          |                       | 365    | 24.9         |
|                                                  | 950    | 6.0          |                                                                     | 950    | 5.4          | 45                    | 1440   | 13.1         |
|                                                  | 725    | 7.3          |                                                                     | 725    | 6.5          |                       | 960    | 15.0         |
|                                                  | 570    | 9.1          |                                                                     | 570    | 8.2          |                       | 715    | 16.7         |
| 20                                               | 1460   | 6.2          | 20                                                                  | 1460   | 5.5          |                       | 575    | 21.5         |
|                                                  | 960    | 7.3          |                                                                     | 960    | 6.5          |                       | 475    | 23.0         |
|                                                  | 730    | 8.7          |                                                                     | 730    | 7.8          |                       | 360    | 26.5         |

ตารางที่ 1.8 ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (ต่อ)

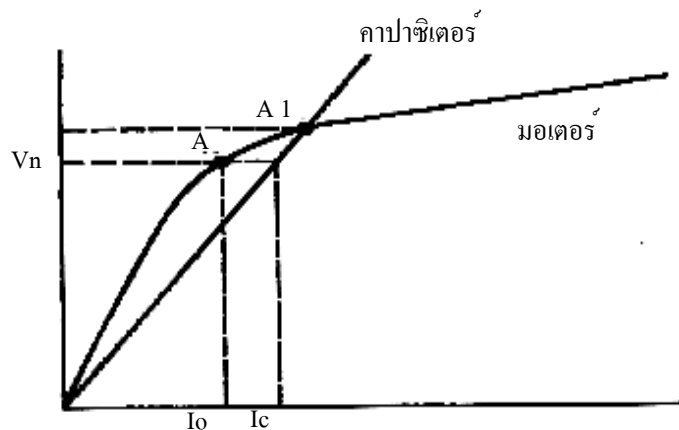
| 3 เฟส กรงกระรอก เริ่มเดินโดย<br>รับแรงดันเต็มที่ |        |           | 3 เฟส กรงกระรอก เริ่มเดินระบบ<br>Y- $\Delta$ หรือผ่านหม้อแปลงอโต้ |        |           | 3 เฟส โรเตอร์พันขดลวด |        |           |
|--------------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-----------------------|--------|-----------|
| H.P.                                             | r.p.m. | Cap. kVAr | H.P.                                                              | r.p.m. | Cap. kVAr | H.P.                  | r.p.m. | Cap. kVAr |
|                                                  | 575    | 11.5      |                                                                   | 575    | 10.3      | 50                    | 1450   | 13.8      |
|                                                  | 470    | 12.6      |                                                                   | 470    | 11.3      |                       | 960    | 16.7      |
| 25                                               | 1460   | 7.3       | 25                                                                | 1460   | 6.5       |                       | 715    | 18.4      |
|                                                  | 960    | 8.4       |                                                                   | 960    | 7.5       |                       | 575    | 24.0      |
|                                                  | 735    | 10.7      |                                                                   | 735    | 9.6       |                       | 480    | 24.3      |
|                                                  | 575    | 14.2      |                                                                   | 575    | 12.8      |                       | 360    | 28.5      |
|                                                  | 470    | 15.3      |                                                                   | 470    | 13.7      | 60                    | 1460   | 16.5      |
| 30                                               | 1460   | 8.0       | 30                                                                | 1460   | 7.2       |                       | 965    | 18.6      |
|                                                  | 960    | 10.1      |                                                                   | 960    | 9.1       |                       | 720    | 20.0      |
|                                                  | 735    | 12.8      |                                                                   | 735    | 11.5      |                       | 580    | 24.7      |
|                                                  | 575    | 15.8      |                                                                   | 575    | 14.2      |                       | 485    | 27.2      |
|                                                  | 475    | 18.6      |                                                                   | 475    | 16.7      |                       | 365    | 31.1      |
| 35                                               | 1460   | 9.3       | 35                                                                | 1460   | 8.3       | 75                    | 965    | 23.1      |
|                                                  | 960    | 11.8      |                                                                   | 960    | 10.3      |                       | 720    | 24.7      |
|                                                  | 710    | 14.0      |                                                                   | 710    | 12.6      |                       | 580    | 29.3      |
|                                                  | 570    | 17.6      |                                                                   | 570    | 15.8      |                       | 485    | 32.2      |
|                                                  | 475    | 18.3      |                                                                   | 475    | 16.5      |                       | 365    | 36.4      |
| 40                                               | 1460   | 10.7      | 40                                                                | 1460   | 9.6       | 100                   | 730    | 31.9      |
|                                                  | 960    | 13.3      |                                                                   | 960    | 12.0      |                       | 575    | 38.5      |
|                                                  | 715    | 15.0      |                                                                   | 715    | 13.5      |                       | 485    | 41.6      |
|                                                  | 570    | 19.6      |                                                                   | 570    | 17.6      |                       | 365    | 47.1      |
|                                                  | 475    | 20.5      |                                                                   | 475    | 18.4      | 150                   | 735    | 43.6      |
|                                                  | 365    | 24.8      |                                                                   | 365    | 22.3      |                       | 585    | 48.5      |
| 45                                               | 1460   | 12.0      | 45                                                                | 1460   | 10.8      |                       | 490    | 55.0      |
|                                                  | 960    | 15.0      |                                                                   | 960    | 13.5      | 200                   | 735    | 58.3      |
|                                                  | 715    | 16.7      |                                                                   | 715    | 15.0      |                       | 585    | 62.5      |
|                                                  | 575    | 21.5      |                                                                   | 575    | 19.3      |                       |        |           |
|                                                  | 475    | 22.9      |                                                                   | 475    | 20.6      |                       |        |           |
|                                                  | 360    | 26.4      |                                                                   | 360    | 23.7      |                       |        |           |
| 50                                               | 1460   | 13.4      | 50                                                                | 1460   | 12.0      |                       |        |           |
|                                                  | 960    | 16.6      |                                                                   | 960    | 14.9      |                       |        |           |
|                                                  | 715    | 18.3      |                                                                   | 715    | 16.5      |                       |        |           |
|                                                  | 575    | 23.9      |                                                                   | 575    | 21.5      |                       |        |           |
|                                                  | 480    | 24.1      |                                                                   | 480    | 21.7      |                       |        |           |
|                                                  | 360    | 28.3      |                                                                   | 360    | 25.4      |                       |        |           |



### ข้อควรระวังในการใช้คาปาซิเตอร์กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ก. คาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ที่ต่อขนานกับมอเตอร์อาจทำให้เกิดเอ็กไซเตชันสร้างแรงดันได้เอง เมื่อหยุดเดินมอเตอร์โดยที่คาปาซิเตอร์ยังต่อคร่อมมอเตอร์อยู่ดังกราฟ รูปที่ 1.33

จากกราฟ ที่จุด A สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ที่จุด A เป็นจุดที่มอเตอร์ทำงานขณะไม่มีโหลดที่แรงดันไฟฟ้า  $V_n$  ขณะที่กระแสมีค่า  $I_o$  เมื่อใช้คาปาซิเตอร์ต่อคร่อมกระแสจะผ่านคาปาซิเตอร์  $I_c$  เมื่อหยุดเดินมอเตอร์ทำให้แรงดันไฟฟ้าไปอยู่ที่  $A_1$  เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นลวดทองแดง และแกนเหล็กในมอเตอร์จะดึงพลังงานทำให้เกิดการเบรคมอเตอร์ที่โรเตอร์กรณีมีความเฉื่อยของมอเตอร์ และประกอบกับแรงดันไฟฟ้าเกิดเพิ่มขึ้นในระยะสั้นๆ ในทางปฏิบัติปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยให้ขนาดกระแสของคาปาซิเตอร์เท่ากับหรือน้อยกว่ากระแสสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ ค่าดังกล่าวโดยทั่วไปใช้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของกระแสมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด



รูปที่ 1.33 การเกิดเอ็กไซเตชัน

$$\text{กรณีเฟสเดียว} \quad \text{kVar} = \frac{0.9 \times I_o \times V_n}{1000}$$

$$\text{กรณีสามเฟส} \quad \text{kVar} = \frac{0.9 \times I_o \times V_n \times \sqrt{3}}{1000}$$

กำหนดให้  $I_o$  คือ กระแสขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด

$V_n$  คือ แรงดันปกติ

**ตัวอย่างที่ 1.8** มอเตอร์ขนาด 20 HP 380 V 3 เฟส กระแสโหลดเต็มที่ 33 A กระแสไม่มีโหลด 10 A จงหาขนาดคาปาซิเตอร์ที่ไม่เกิดเอ็กไซเตชันจนมอเตอร์เสียหาย

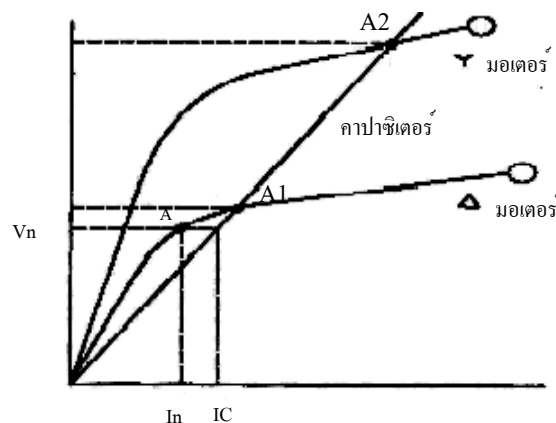
**วิธีทำ** ในสมการกรณีสามเฟส

$$\text{kVar} = \frac{0.9 \times 10 \times 380 \times \sqrt{3}}{1000}$$

$$= 5.9 \quad \text{kVar}$$

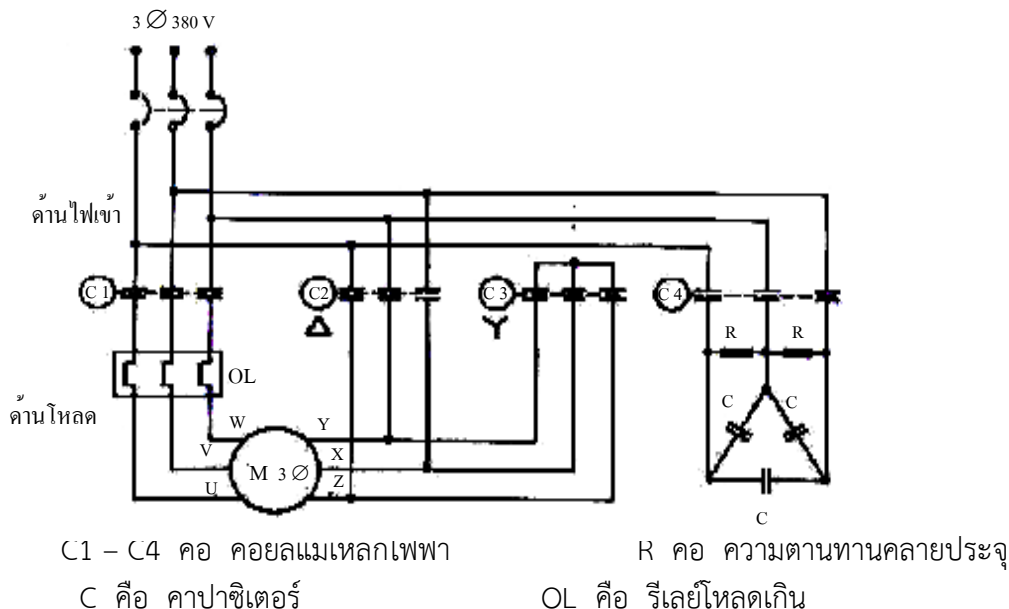
ตอบ

ข. กรณีต่อคาปาซิเตอร์กับมอเตอร์เริ่มเดินด้วยสตาร์-เดลต้า แรงดันเกินจะเกิดขึ้นมีค่าสูงมากกรณีที่ปล่อยให้คาปาซิเตอร์ต่อคร่อมขดลวดแบบ Y เมื่อเอาแหล่งจ่ายออกจะทำให้แรงดันไฟฟ้าไปอยู่ที่ A2 จะทำให้เกิดแรงดันเกิน 2 ถึง 3 เท่าของแหล่งจ่ายดังรูปที่ 1.34 วิธีการแก้ไขคือขณะตำแหน่งหยุดเดินมอเตอร์ขดลวดทั้งสามของมอเตอร์ควรแยกอิสระออกจากกัน และคาปาซิเตอร์ควรต่ออยู่ทางด้านไฟเข้าของคอนแทคเตอร์ดังรูปที่ 1.35



รูปที่ 1.34 การเกิดเอ็กซีเตชันกรณีมอเตอร์เริ่มเดินด้วยระบบสตาร์-เดลต้า

- ค. ไม่ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับมอเตอร์ที่ต้องการหมุนกลับทิศทาง
- ง. ไม่ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับบรอกปั่นจั่นไฟฟ้า และมอเตอร์ลิฟต์
- จ. ต้องไม่เดินมอเตอร์ใหม่อีกครั้งขณะที่มอเตอร์ยังไม่หยุดหมุน



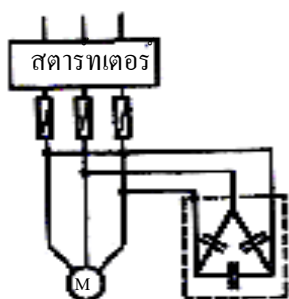
รูปที่ 1.35 คาปาซิเตอร์ควรต่ออยู่ทางด้านไฟเข้าของคอนแทคเตอร์

ตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์ การติดตั้งคาปาซิเตอร์กับมอเตอร์ทำได้หลายวิธีดังรูปที่ 1.36

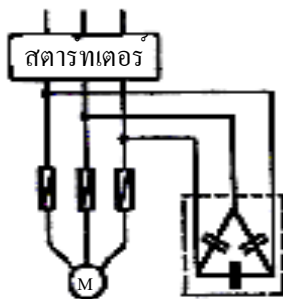
(ก) คาปาซิเตอร์ต่อหลังรีเลย์โหลดเกินของมอเตอร์

(ข) คาปาซิเตอร์ต่อหน้ารีเลย์โหลดเกินของมอเตอร์

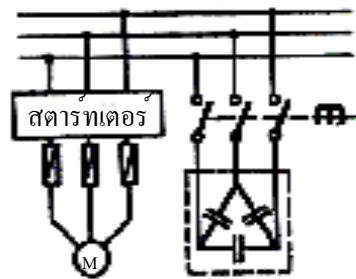
(ค) คาปาซิเตอร์ต่อเข้ากับระบบอย่างถาวร



(ก) คาปาซิเตอร์ต่อหลังรีเลย์  
โหลดเกินของมอเตอร์



(ข) คาปาซิเตอร์ต่อหน้ารีเลย์  
โหลดเกินของมอเตอร์



(ค) คาปาซิเตอร์ต่อเข้ากับ  
ระบบอย่างถาวร

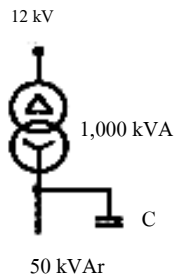
รูปที่ 1.36 การติดตั้งคาปาซิเตอร์กับมอเตอร์

รูปที่ 1.36 (ก) เป็นการต่อคาปาซิเตอร์หลังรีเลย์โหลดเกินของมอเตอร์ ดังนั้นกระแสไหลผ่านรีเลย์โหลดเกินจะลดลง ทำให้ใช้หรือปรับรีเลย์โหลดเกินให้ต่ำลง

รูปที่ 1.36 (ข) คาปาซิเตอร์ต่อหน้ารีเลย์โหลดเกินของมอเตอร์ กระแสที่ไหลผ่านรีเลย์โหลดเกินจะไม่ลดลง วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับใช้ติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบที่มีอยู่เดิมแล้ว

รูปที่ 1.36 (ค) เป็นการต่อคาปาซิเตอร์ต่อเข้ากับระบบอย่างถาวร การติดตั้งแบบนี้ต้องมีสวิตช์ฟิวส์หรือตัดตอนอัตโนมัติสำหรับคาปาซิเตอร์

2. ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับหม้อแปลงดังรูปที่ 1.37 โหลดของหม้อแปลงจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและความต้องการของผู้ใช้ ขณะเดียวกันเมื่อไม่ได้ใช้โหลดแต่หม้อแปลงก็ต้องสร้างสนามแม่เหล็กที่เป็นกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ดังนั้นการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อลดกำลังรีแอกทีฟในช่วงไม่มีโหลด โดยต่อตรงเข้าทางทุติยภูมิของหม้อแปลงอย่างถาวร ในขณะเดียวกันก็เป็นการลดขนาดคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบอีกด้วย ซึ่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์จะเป็นแบบผสม กล่าวคือโหลดใหญ่ๆ แต่ละโหลดจะติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่โหลดแต่ละชุด ส่วนโหลดอื่นๆ จะติดตั้งแบบกลุ่มหรือแบบศูนย์กลาง ส่วนคาปาซิเตอร์ที่ติดตั้งที่หม้อแปลงเป็นเพียงแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงเท่านั้น ขนาดของคาปาซิเตอร์ 3-10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดหม้อแปลงหรือสามารถเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ได้ในตารางที่ 1.9



รูปที่ 1.37 คาปาซิเตอร์สำหรับหม้อแปลง

อย่างไรก็ตามการเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ต้องแน่ใจว่าห่างจากความถี่เรโซแนนซ์ระหว่างความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ที่ความถี่ฮาร์โมนิก 3, 5, 7 ที่เกิดขึ้น และความถี่เรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_r = f_o \times \sqrt{\frac{kVA (sc)}{kVAr}}$$

กำหนดให้  $f_r$  คือ ความถี่เรโซแนนซ์  
 $f_o$  คือ ความถี่ปกติ  
 $kVA (sc)$  คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนลัดวงจรหม้อแปลง  
 $kVAr$  คือ กำลังไฟฟ้าคาปาซิเตอร์

ตารางที่ 1.9 ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับต่อโดยตรงที่หม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด

| ขนาดหม้อแปลง kVA | ขนาดคาปาซิเตอร์ kVAr |          | ขนาดหม้อแปลง kVA | ขนาดคาปาซิเตอร์ kVAr |          |
|------------------|----------------------|----------|------------------|----------------------|----------|
|                  | 15/20 kV             | 25/30 kV |                  | 15/20 kV             | 25/30 kV |
| 10               | 1.5                  | 1.7      | 315              | 20                   | 24       |
| 20               | 2.5                  | 3        | 400              | 22                   | 28       |
| 25               | 3                    | 4        | 500              | 25                   | 30       |
| 50               | 5                    | 6        | 630              | 32                   | 40       |
| 75               | 6                    | 7        | 1000             | 50                   | 55       |
| 100              | 8                    | 10       | 1250             | 55                   | 60       |
| 160              | 12.5                 | 15       | 1600             | 60                   | 70       |
| 200              | 14                   | 18       | 2000             | 85                   | 90       |
| 250              | 18                   | 22       | 5000             | 170                  | 200      |

3. ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับเครื่องเชื่อมอาร์ก ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับเครื่องเชื่อมอาร์ก กระแสสลับสามารถเลือกได้ในตารางที่ 1.10

ตารางที่ 1.10 ขนาดคาปาซิเตอร์ที่แนะนำสำหรับเครื่องเชื่อมอาร์กกระแสสลับ

| เครื่องเชื่อมเฟสเดียว<br>kVA | ขนาดคาปาซิเตอร์<br>kVAr | เครื่องเชื่อม 3 เฟส<br>kVA | ขนาดคาปาซิเตอร์<br>kVAr |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 9                            | 4                       | 95                         | 16.5                    |
| 12                           | 6                       | 190                        | 30                      |
| 18                           | 6                       | 285                        | 45                      |
| 24                           | 12                      | 380                        | 60                      |
| 30                           | 15                      | -                          | -                       |
| 36                           | 18                      | -                          | -                       |

4. ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับหลอดบรรจุก๊าซ บัลลาสต์สำหรับหลอดบรรจุก๊าซมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำมากขนาดคาปาซิเตอร์แสดงไว้ที่ตารางที่ 1.11

ตารางที่ 1.11 ขนาดคาปาซิเตอร์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 220 V

| หลอด         | จำนวน<br>หลอด | ขนาดบัล<br>ลาสต์ (W) | เพาเวอร์<br>แฟก<br>เตอร์ | แรงดัน<br>ปกติ<br>(V) | กระแส<br>เริ่มติด | กระแส<br>ใช้งาน | ต่อคาปาซิ<br>เตอร์ขนาด<br>( $\mu$ F) |
|--------------|---------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|
| “TL” 20<br>W | 1<br>2        | 20<br>40             | 0.35<br>0.50             | 220<br>220            | 0.42<br>0.58      | 0.37<br>0.42    | 4.7<br>4.2                           |
| “TL” 20<br>W | 1<br>1        | 40<br>65             | 0.50<br>0.50             | 220<br>220            | 0.60<br>0.95      | 0.43<br>0.67    | 4.2<br>6.5                           |
| “TL” 40<br>W |               |                      |                          |                       |                   |                 |                                      |
| “TL” 65<br>W |               |                      |                          |                       |                   |                 |                                      |

การหาขนาดคาปาซิเตอร์เพื่อแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งระบบในการหาขนาดคาปาซิเตอร์เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งระบบสามารถทำได้โดยการประมาณเท่านั้น เนื่องจากการใช้หลอดแต่ละเวลาไม่แน่นอน ดังนั้น คาปาซิเตอร์ที่ใช้ควรเป็นชนิดปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้คือเป็นแบบอัตโนมัติ ส่วนขนาดคาปาซิเตอร์หาได้โดยประมาณการได้จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าที่บอกหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง และความ ต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ เพื่อให้ได้ตัวเลขที่แน่นอนควรเอาค่าในใบเสร็จมาคิดหลายๆ เดือนและหลายๆ ฤดูกาล สำหรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุงสามารถหาได้จากสูตร

$$\cos \Phi_1 \text{ (ก่อนปรับปรุง)} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\text{kVAr} - \text{hr}}{\text{kW} - \text{hr}}\right)^2 + 1}}$$

**ตัวอย่างที่ 1.9** จากใบเสร็จค่าไฟฟ้ารวม 3 เดือน ได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริง 311,850 kW-hr และค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (เมื่อคิดจำนวนชั่วโมงทำงานแล้วมีค่า) 415,799 kVar-hr โรงงานแห่งนี้ทำงานวันละ 7 ชั่วโมง ให้ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็น 0.95

**วิธีทำ**

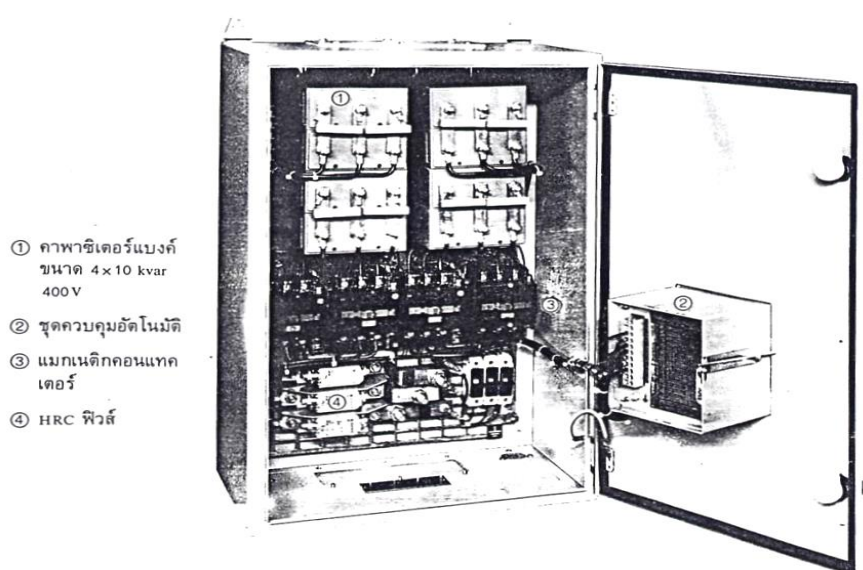
$$\begin{aligned}\cos \Phi_1 \quad (\text{ก่อนปรับปรุง}) &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{415,799}{311,850}\right)^2 + 1}} \\ &= \frac{1}{1.6666} = 0.6 \\ \text{ชั่วโมงการทำงาน} &= 7 \times 30 \times 3 = 630 \quad \text{hr} \\ \text{กำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย} &= \frac{311,850}{630} = 495 \quad \text{kW}\end{aligned}$$

ในตารางที่ 1.6 เมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง  $\cos \Phi_1$  เท่ากับ 0.6 และปรับปรุงใหม่  $\cos \Phi_2$  เท่ากับ 0.95 แฟคเตอร์เท่ากับ 1.01

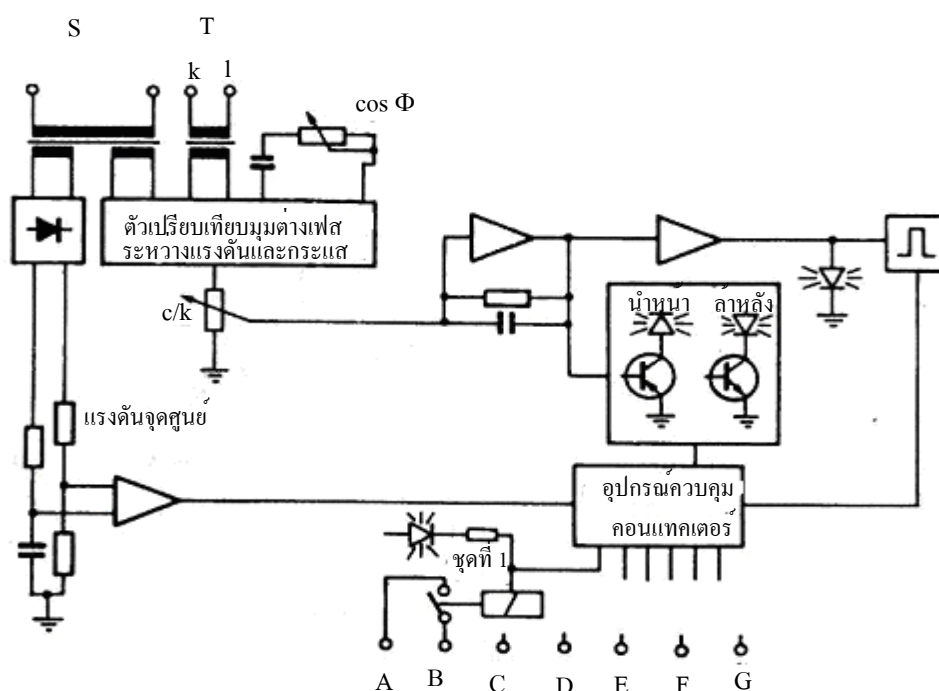
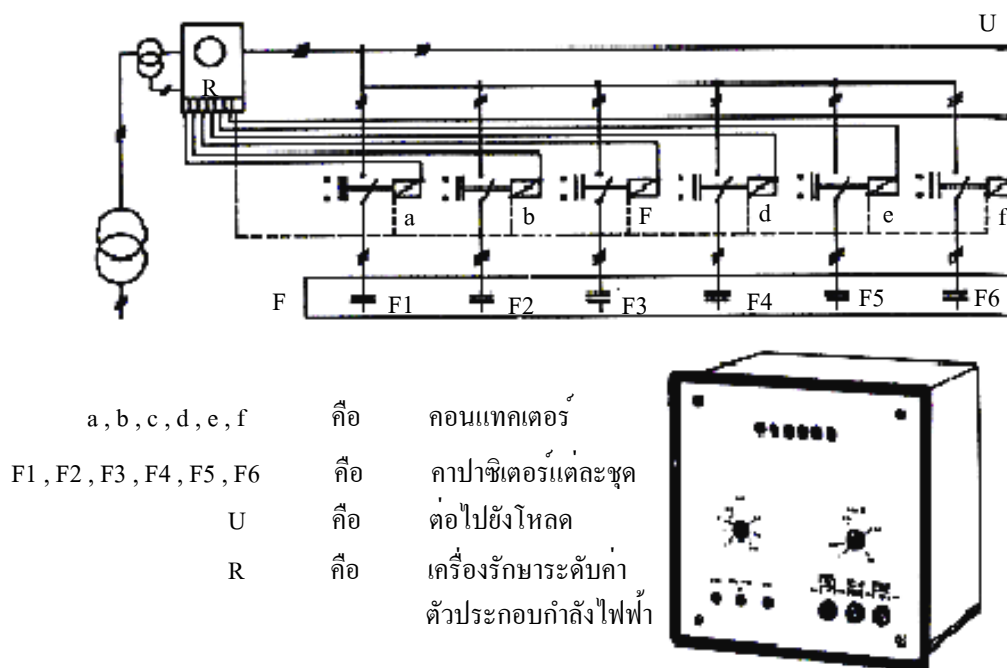
$$\text{ขนาดคาปาซิเตอร์ที่ใช้} = 1.01 \times 495 = 500 \quad \text{kVar} \quad \text{ตอบ}$$

**การติดตั้งแบบศูนย์กลาง** ด้วยระบบควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบโดยการใช้คาปาซิเตอร์แบบต่อคงที่เหมาะสมสำหรับติดตั้ง คาปาซิเตอร์ที่โหลด แต่ละชุด แต่ถ้าติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบกลุ่มหรือแบบศูนย์กลาง ถ้าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟไม่คงที่ ทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นวิธีการควบคุมหรือปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าสูงและคงที่ตามต้องการขนาดคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในระบบก็ควรเปลี่ยนแปลงตามขนาดของโหลดโดยการต่อคาปาซิเตอร์เข้าหรือปลดออกเป็นชุดๆ แต่ละชุดถูกควบคุมด้วยคอนแทคเตอร์หรืออาจใช้ไทรสเตอร์

1. การควบคุมคาปาซิเตอร์ด้วยคอนแทคเตอร์ ดังรูปที่ 1.38 ถึง 1.40



รูปที่ 1.38 คาปาซิเตอร์ ขนาด 4 x 10 kVar 400 V ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติติดตั้งกับผนัง

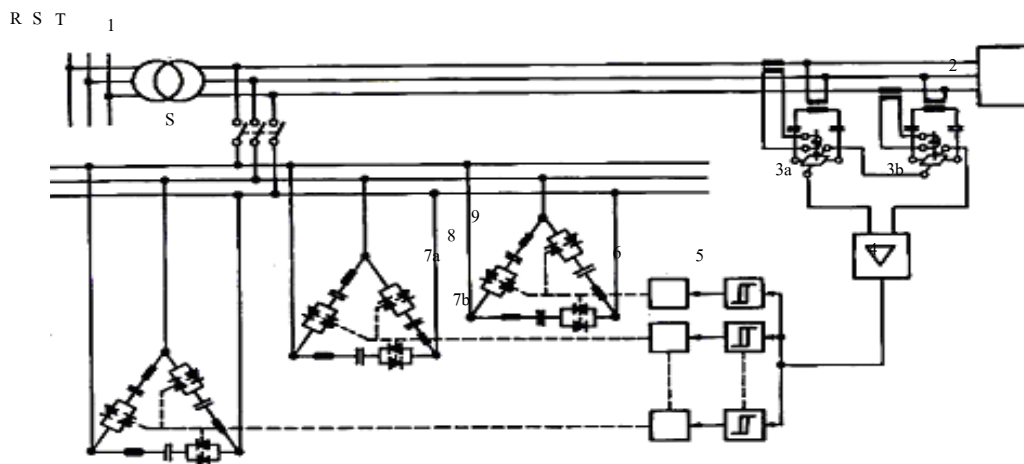


รูปที่ 1.40 การทำงานของคาปาซิเตอร์ด้วยคอนแทกเตอร์อัตโนมัติ

2. การควบคุมคาปาซิเตอร์ด้วยไทรสเตอร์การควบคุมด้วยวิธีนี้มีผลดีหลายประการ เช่น การต่อคาปาซิเตอร์ไม่เกิดทรานเซียนต์ โดยต่อเข้าระบบในช่วงที่สัญญาณกระแสอยู่ตรงหรือใกล้ศูนย์ การใช้ไทรสเตอร์ช่วยให้ต่อเข้าระบบรวดเร็วตามการเปลี่ยนแปลงของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอุปกรณ์ไทรสเตอร์ไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดเคลื่อนที่จึงลดการสึกหรอ และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแต่ละเฟสที่ไม่เท่ากันสามารถต่อคาปาซิเตอร์เฟสหนึ่งเฟสใดเป็นชุดๆ ได้ดังรูปที่ 1.41

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

- |                       |                     |                |
|-----------------------|---------------------|----------------|
| 1. หม้อแปลง           | 4. ภาคขยาย          | 7. ไทริสเตอร์  |
| 2. โหลด               | 5. วงจรตรวจจับระดับ | 8. คาปาซิเตอร์ |
| 3. เครื่องกำเนิดฮอลล์ | 6. กลุ่มควบคุม      | 9. อินดักแทนซ์ |



- |                      |                    |               |
|----------------------|--------------------|---------------|
| 1 หม้อแปลง           | 4 ภาคขยาย          | 7 ไทริสเตอร์  |
| 2 โหลด               | 5 วงจรตรวจจับระดับ | 8 คาปาซิเตอร์ |
| 3 เครื่องกำเนิดฮอลล์ | 6 กลุ่มควบคุม      | 9 อินดักแทนซ์ |

รูปที่ 1.41 การควบคุมคาปาซิเตอร์ด้วยไทริสเตอร์

สำหรับการปลดคาปาซิเตอร์ออกจากระบบทำได้โดยการใส่พัลส์เข้าไปที่ไทริสเตอร์เพื่อหยุดการนำกระแสของไทริสเตอร์ขณะที่กระแสใกล้เคียงศูนย์ทำให้คาปาซิเตอร์ที่ถูกสวิตช์ออกจะประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงสุดและพร้อมที่จะต่อเข้ากับระบบครั้งต่อไปได้ ช่วงเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มมีคำสั่งให้ต่อเข้าระบบหรือตัดออกจากระบบจนกระทั่งเริ่มมีการทำงานจะใช้เวลาประมาณ 0-20 ms

3. จำนวนชุดของคาปาซิเตอร์การต่อคาปาซิเตอร์เป็นชุดๆ เข้ากับระบบเพื่อแก้ปัญหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าคงที่มากที่สุดนั้น ต้องพิจารณาถึงแรงดันไฟฟ้าที่จะเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่มีการต่อคาปาซิเตอร์เข้าไปหรือออกจากระบบการที่แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมีผลต่อระดับความสว่างที่อาจรบกวนสายตาในการวิจัยปรากฏว่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงสูงสุด 0.3 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีผลต่อสายตา ดังนั้นขนาดคาปาซิเตอร์แต่ละชุดสามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta \text{ kVar} = \frac{0.003 \times \text{kVA}}{\% \text{zk}}$$

% zk คือ เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์หม้อแปลง



**ตัวอย่างที่ 1.10** หม้อแปลง 100 kVA 6 เพอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ จงหาขนาดคาปาซิเตอร์แต่ละชุด  
**วิธีทำ**

$$\Delta \text{ kVAr} = \frac{0.003 \times 100}{0.06}$$

$$= 50 \text{ kVAr}$$

จากตัวอย่างที่ 1.9 ขนาดคาปาซิเตอร์ เท่ากับ 500 kVAr

$$\text{จำนวนชุด} = \frac{500}{50} = 10 \text{ ชุด} \quad \text{ตอบ}$$

4. ความไวการต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาถ้าความไวของระบบสูงมากจะทำให้การต่อเข้าและตัดออกของคาปาซิเตอร์ในระบบเป็นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจำเป็นต้องห้วงกระแสคาปาซิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างน้อย  $\frac{2}{3}$  ของกระแส

คาปาซิเตอร์แต่ละชุดสำหรับป้อนที่ใช้ปรับคือ  $c/k$

$$\frac{c}{k} = \frac{\frac{2}{3} \times \frac{\text{kVAr} \times 10^3}{\sqrt{3} E_k}}{360 \frac{\text{kVAr}}{E_k}}$$

กำหนดให้ E คือ แรงดันไฟฟ้า

k คือ ทรานส์ฟอเมอร์เรโซ

**ตัวอย่างที่ 1.11** จากตัวอย่างที่ 1.10 คาปาซิเตอร์แต่ละชุด 50 kVAr. ที่แรงดัน 400 V 3 เฟส ถ้าใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ขนาด 1500/5 A จงหาขนาดการปรับความไว

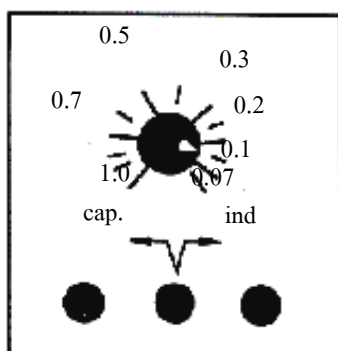
**วิธีทำ**

ในสมการจะได้

$$\frac{c}{k} = \frac{360 \times 50}{400 \times \frac{1500}{5}}$$

$$= \frac{360 \times 50 \times 5}{400 \times 1500}$$

$$= 0.15 \quad \text{ตอบ}$$



รูปที่ 1.42 การปรับขนาดความไวต่อคาปาซิเตอร์

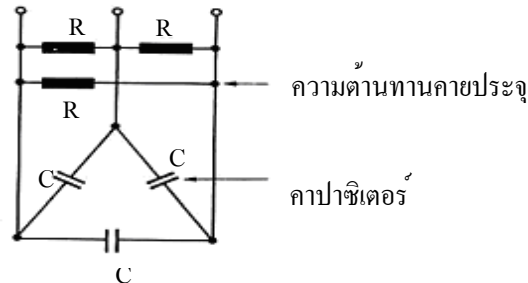
ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

สำหรับขนาดการปรับค่าอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1.12

ตารางที่ 1.12 แสดงค่า c/k สำหรับคาปาซิเตอร์แต่ละชุด ที่แรงดัน 230 V และ 400 V

| KVAr 230V  |     | 6.6  |      | 10   |      | 13.3 |      | 20   |      | 26   |      | 30   |      | 40   |
|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| kVAr 400 V |     |      | 10   |      | 20   |      | 30   |      | 40   |      | 50   |      | 60   |      |
| C T        | K   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 50/5       | 10  | 1    | 0.90 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 100/5      | 20  | 0.52 | 0.45 | 0.78 | 0.90 | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 150/5      | 30  | 0.34 | 0.30 | 0.52 | 0.60 | 0.69 | 0.90 | 1    |      |      |      |      |      |      |
| 200/5      | 40  | 0.26 | 0.23 | 0.39 | 0.45 | 0.52 | 0.68 | 0.78 | 0.90 | 1    |      |      |      |      |
| 300/5      | 60  | 0.17 | 0.15 | 0.26 | 0.30 | 0.35 | 0.45 | 0.52 | 0.60 | 0.68 | 0.75 | 0.78 | 0.9  | 1    |
| 400/5      | 80  | 0.13 | 0.11 | 0.20 | 0.23 | 0.26 | 0.34 | 0.39 | 0.45 | 0.51 | 0.56 | 0.59 | 0.68 | 0.78 |
| 500/5      | 100 | 0.10 |      | 0.16 | 0.18 | 0.21 | 0.27 | 0.31 | 0.36 | 0.41 | 0.45 | 0.47 | 0.54 | 0.63 |
| 600/5      | 120 |      |      | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.13 | 0.26 | 0.30 | 0.34 | 0.38 | 0.39 | 0.45 | 0.52 |
| 800/5      | 160 |      |      | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.29 | 0.34 | 0.39 |
| 1000/5     | 200 |      |      |      |      | 0.10 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.23 | 0.25 | 0.27 | 0.31 |
| 1500/5     | 300 |      |      |      |      |      |      | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.21 |
| 2000/5     | 400 |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.14 | 0.16 |
| 3000/5     | 600 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.10 |

5. ความต้านทานกายประจุ ว.ส.ท. 408 การติดตั้งคาปาซิเตอร์ในวงจรไฟฟ้าจำเป็นต้องจัดให้มีการคายประจุของคาปาซิเตอร์เมื่อถูกปลดออกจากวงจรไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.43



รูปที่ 1.43 ความต้านทานกายประจุของคาปาซิเตอร์

ระบบแรงดันไม่เกิน 600 V การคายประจุต้องลดลงเหลือ 50 V ในเวลา 1 นาที (60 วินาที)  
 ระบบแรงดันไม่เกิน 600 V การคายประจุต้องลดลงเหลือ 50 V ในเวลา 5 นาที (300 วินาที)  
 สำหรับขนาดความต้านทานกายประจุหาได้จากสมการ

$$E_o = E_m e^{-t/RC}$$

ตามมาตรฐาน IEC No.70 คาปาซิเตอร์สามารถรับแรงดันไม่เกิน 1.1 เท่าของแรงดันปกติเมื่อแรงดันไม่เกิน 600 V

$$50 = 1.1 \times \sqrt{2} \times E e^{-60/RC}$$

**ตัวอย่างที่ 1.12** จากตัวอย่างที่ 1.10 คาปาซิเตอร์แต่ละชุด 50 kVar 415 V 3 เฟส 50 Hz  
จงหาขนาดความต้านทานคายประจุ

**วิธีทำ**

$$50 = 1.1 \times \sqrt{2} \times 415 \times e^{-60/RC}$$

$$\log 50 = \log 645.6 - \frac{60}{RC} \log e$$

$$\log 50 = \log 645.6 - \frac{60}{RC} \log 2.718$$

$$1.699 = 2.8097 - \frac{60}{RC} (0.43429)$$

$$RC = 23.46 \quad \Omega$$

$$QC = \frac{3E^2}{XC}$$

$$= 3 \times 2 \pi f C E^2$$

$$C = \frac{Qc}{3 \times 2 \pi f E^2}$$

$$= \frac{50000}{3 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 415 \times 415}$$

$$= 3.0819 \times 10^{-4} \text{ F}$$

$$= 3.0819 \times 10^{-4} \times 10^6$$

$$= 308 \quad \mu F$$

$$RC = 23.46 \Omega \text{ เมื่อ } C = 3.0819 \times 10^{-4}$$

$$R = \frac{23.46}{3.0819 \times 10^{-4}}$$

$$= 76 \quad k\Omega$$

$$P = \frac{E^2}{R}$$

ขนาดวัตต์ตาม IEC  $P = \frac{(1.1 \times E)^2}{R}$

$$= \frac{(1.1 \times 415)^2}{76000}$$

$$= 2.74 \quad W$$

**ตอบ**

ขนาดตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินคาปาซิเตอร์ ขนาดตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินมี  
ขนาดไม่ต่ำกว่าตารางที่ 1.13

ตารางที่ 1.13 ขนาดตัวนำและอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินคาปาซิเตอร์

| อุปกรณ์ไฟฟ้า         | ตัวคูณพิกัด<br>กระแสคาปาซิเตอร์ | ค่ากระแสสมมูลต่อ kVAr |       |       |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------|-------|-------|
|                      |                                 | 240 V                 | 400 V | 415 V |
| ตัวนำไฟฟ้า           | 1.35                            | 3.25                  | 1.95  | 1.88  |
| ตัดตอนอัตโนมัติ      | 1.35                            | 3.25                  | 1.95  | 1.88  |
| คอนแทคเตอร์          | 1.5                             | 3.61                  | 2.17  | 2.09  |
| เครื่องปลดวงจร       | 1.35                            | 3.25                  | 1.95  | 1.88  |
| เซฟตี้สวิตช์ (ฟิวส์) | 1.65                            | 3.98                  | 2.38  | 2.30  |

ตัวอย่างที่ 1.13 จากตัวอย่างที่ 1.10 และ 1.11 ขนาดคาปาซิเตอร์ 500 kVAr 10 ชุด ชุดละ 50 kVAr 3 เฟส 400 V จงหาขนาดสาย อุปกรณ์ตัดตอนอัตโนมัติ และคอนแทคเตอร์ ดังรูปที่ 1.44

วิธีทำ

ขนาดตัวนำไฟฟ้า

คาปาซิเตอร์แต่ละชุด 50 kVAr

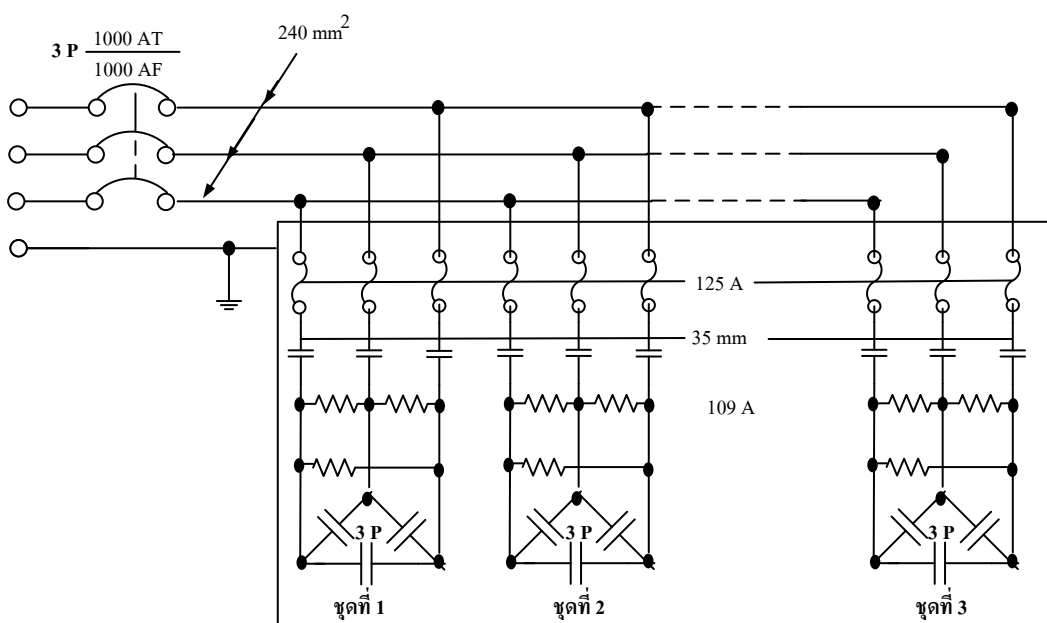
$$\text{ขนาดตัวนำ} = 1.95 \times 50 = 97.5 \text{ A}$$

ในตารางเทียบขนาดสายไฟ เลือกใช้สายขนาด  $35 \text{ mm}^2$   $75^\circ\text{C}$

คาปาซิเตอร์ทั้งระบบ 500 kVAr

$$\text{ขนาดตัวนำ} = 1.95 \times 500 = 975 \text{ A}$$

ในตารางเทียบขนาดสายไฟ เลือกใช้สายขนาด  $240 \text{ mm}^2$  จำนวน 3 ชุด ( $325 \times 3 = 975 \text{ A}$ )



รูปที่ 1.44 ขนาดสายและตัดตอนอัตโนมัติป้องกันคาปาซิเตอร์

## อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

คาปาซิเตอร์แต่ละชุด 500 kVAr

$$\text{ขนาดฟิวส์} = 2.38 \times 50 = 119 \text{ A}$$

เลือกฟิวส์ขนาด 125 A

คาปาซิเตอร์ทั้งระบบ 500 kVAr

$$\text{ขนาด CB} = 1.95 \times 500 = 975 \text{ A}$$

เลือกขนาด CB 1000 AT

ขนาดแมกเนติกคอนแทคเตอร์

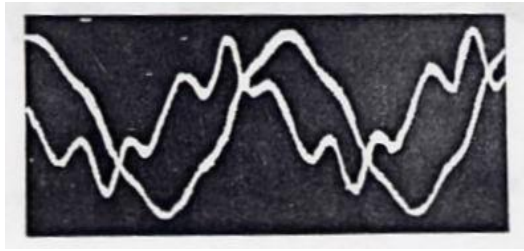
$$\text{ขนาดคอนแทคเตอร์แต่ละชุด} = 2.17 \times 50 = 109 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

เรโซแนนซ์ และฮาร์โมนิกในกรณีปัญหาของฮาร์โมนิกไม่ค่อยมีผลต่อคาปาซิเตอร์เนื่องมาจากคาปาซิเตอร์ที่ผลิตสามารถทนแรงดันไฟฟ้าที่เกินและรับกำลังเกินอัตราที่กำหนดได้บ้างแต่ปัญหาที่เกิดขึ้นจากฮาร์โมนิกและมีผลเสียต่อระบบอย่างมากก็ต่อเมื่อมีเรโซแนนซ์เกิดขึ้นสำหรับแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดฮาร์โมนิกได้แก่ อุปกรณ์ที่มีการอิมิตตัวของแกนเหล็กวงจรเรียงกระแส และเตาเผาแบบอาร์ก และฮาร์โมนิกที่จะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ขึ้นคือฮาร์โมนิกที่ 5 7 11 13 17 19 23 25 ... แหล่งกำเนิด ดังกล่าวนี้นี้จะไม่ทำให้เกิดฮาร์โมนิกคู่คือ 2 4 6 8 10 12 14 ... จึงไม่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์

สำหรับระบบที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเรโซแนนซ์ และฮาร์โมนิกควรต้องปรึกษาวิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญเพื่อแก้ปัญหาได้ถูกต้อง เหมาะสมกับระบบและความปลอดภัยในการทำงาน

## ข้อควรระวังในการใช้คาปาซิเตอร์

- อย่าลืมว่าเมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้าไปที่จุดใดแล้วแรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดฟิวส์แรงดันของคาปาซิเตอร์จะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
- จุดที่จะติดตั้งคาปาซิเตอร์ควรจะมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะความร้อนที่สูงจะทำให้อายุใช้งานของคาปาซิเตอร์ยิ่งสั้นลง
- การติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้ากับมอเตอร์โดยตรงต้องเลือกคาปาซิเตอร์ให้มีขนาดเหมาะสม และต้องดำเนินการติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้
- ถ้าจะติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการต่อคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบมากเกินไป
- ควรมีการตรวจสอบอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าให้กับคาปาซิเตอร์เช่น คอนแทคเตอร์ สายไฟฟ้า ว่ามีการชำรุดหรือไม่ ที่พบมากส่วนใหญ่ฟิวส์จะขาดบางเฟส ทำให้การควบคุมการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่ถูกต้อง
- อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแส และเตาเผาแบบอาร์กจะสร้างฮาร์โมนิกเข้าไปในระบบ ดังรูปที่ 1.45 เมื่อต้องการติดตั้งคาปาซิเตอร์ก็ต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์โมนิกเรโซแนนซ์จะทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายทันทีในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดคาปาซิเตอร์พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษสำหรับระบบนั้น



รูปที่ 1.45 การเกิดฮาร์โมนิกทั้งแรงดันและกระแสปะปนอยู่ในรูปคลื่นไซน์

#### การตรวจสอบ

เมื่อทำการวัดค่าเพอร์เวอร์แฟกเตอร์แล้วปรากฏว่ามีค่าต่ำกว่า 0.7 ต้องมีการตรวจสอบคาปาซิเตอร์ ทั้งที่เป็นการตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษาหรือว่าต้องการตรวจสอบเนื่องจากมีปัญหาในการใช้งาน เราอาจมีการตรวจสอบดังนี้

##### การตรวจสอบสภาพทั่วไป

เป็นการตรวจสอบลักษณะภายนอกซึ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆของคาปาซิเตอร์ดังนี้

**ตัวถัง** ถ้าปรากฏว่ามีตัวถังบวมหรือแตกและมีรอยไหม้หรือมีสีเปลี่ยนจากเดิมแสดงว่าคาปาซิเตอร์เกิดความผิดปกติขึ้นภายใน

**ขั้วต่อสาย** ตรวจสอบขั้วต่อสายซึ่งเป็นจุดต่อว่าหลวมหรือสกปรกหรือไม่การที่ขั้วหลวมหรือหน้าสัมผัสสกปรกจะทำให้กระแสไหลผ่านไม่สะดวกเกิดความร้อนสะสมอาจทำให้คาปาซิเตอร์ชำรุดเนื่องจากความร้อนสะสมถ้าพบกรณีดังกล่าวควรทำสะอาดจุดสัมผัสอาจใช้คอมแปดทาช่วยให้จุดสัมผัสสะอาด และนำกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้น และการขันจุดต่อตรงขั้วสายให้แน่น โดยใช้แรงบิด (Torque) ตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

##### การตรวจสอบค่าทางไฟฟ้า

เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ ซึ่งมีการตรวจสอบดังนี้

1. การตรวจสอบค่าความเป็นฉนวน
2. การตรวจสอบค่ากระแสคาปาซิเตอร์
3. การตรวจสอบค่าคาปาซิแตนซ์

##### การตรวจสอบค่าความเป็นฉนวน

วิธีการตรวจสอบจะต้องทำโดยปลดคาปาซิเตอร์ออกจากกระบบรอเวลาให้คาปาซิเตอร์คายประจุประมาณ 5 นาที แล้วทำการตรวจสอบโดยใช้ เมกกะโอมท์ที่แรงดันขนาด 500 VDC แล้วทำการทดสอบระหว่างขั้วของคาปาซิเตอร์กับตัวถังคาปาซิเตอร์แรงต่ำชนิด SELF HEALING TYPE ควรมีค่าความเป็นฉนวนไม่ต่ำกว่า 1 เมกกะโอม์

##### การตรวจสอบค่ากระแสคาปาซิเตอร์

วิธีการตรวจสอบชนิดนี้ทำโดยวัดค่ากระแสคาปาซิเตอร์ขณะใช้งาน โดยแอมป์มิเตอร์ ชนิดแคลมป์มิเตอร์นำไปคล้องกับสายเฟสของคาปาซิเตอร์ ค่าที่อ่านได้จะเป็นกระแสเฟสของคาปาซิเตอร์ โดยสามารถคำนวณกระแสของคาปาซิเตอร์ปกติได้ เช่น ถ้าเป็นคาปาซิเตอร์แบบ 3 เฟส แรงดัน 400 V จะคำนวณกระแสได้จากสูตร (โดยประมาณ)

$$I = \frac{VAr}{\sqrt{3} \cdot 400} \quad A.$$

หรือถ้าเป็นคาปาซิเตอร์แบบ 1 เฟส แรงดัน 220 V จะใช้สูตร

$$I = \frac{VAr}{220}$$

ค่าแรงดันเป็นค่าแรงดันจริงของระบบขณะวัด ส่วนค่า VAr อ่านได้จากเนมเพลท ค่ากระแสที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -5% ถึง 10% ของค่าที่คำนวณได้เป็นคาปาซิเตอร์ใหม่ที่ยังไม่เคยใช้งาน ถ้าค่าที่อ่านได้มีค่าต่ำแสดงว่าคาปาซิเตอร์มีการเสื่อมสภาพมากจนค่า PF ของระบบต่ำกว่าที่ต้องการจึงควรเปลี่ยนใหม่ ถ้าที่ค่าอ่านได้มีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณแสดงว่าเกิดโอเวอร์โวลต์ที่สามารถทำให้ค่าคาปาซิเตอร์เสื่อมเร็วกว่าปกติได้ ควรหาสาเหตุให้พบแล้วทำการแก้ไข ตัวอย่างของสาเหตุที่เกิดการโอเวอร์โวลต์คือ มีปัญหาฮาร์มอนิกหรือแรงดันระบบสูงเกินพิกัดของคาปาซิเตอร์

หมายเหตุ เนื่องจากการตรวจสอบกระแสจะต้องทำการวัดค่าขณะคาปาซิเตอร์ใช้งานอยู่ ซึ่งต้องระมัดระวังอันตรายจากไฟฟ้าดูดโดยสวมถุงมือป้องกันไฟทุกครั้ง และวิธีการแคลมป์มิเตอร์นี้ห้ามใช้กับแรงดันเกินกว่า 600 V เนื่องจากเครื่องมือโดยส่วนใหญ่จะทนแรงดันได้ไม่สูงนักเพื่อเป็นความปลอดภัยในการวัด

#### การตรวจสอบค่าคาปาซิแตนซ์

วิธีการวัดค่าคาปาซิเตอร์แรงต่ำจะต้องทำการวัดขณะคาปาซิเตอร์ไม่จ่ายไฟและต้องดิสชาร์จคาปาซิเตอร์ไม่ให้มีประจุค้างเหลืออยู่ในคาปาซิเตอร์ โดยอาจวัดแรงดันที่ค้างอยู่ในคาปาซิเตอร์ซึ่งเป็นแรงดันไฟตรง ถ้ามีแรงดันค้างอยู่ควรดิสชาร์จแรงดันทิ้งโดยใช้กราวด์ สำหรับเครื่องมือที่ใช้มักเป็นมิเตอร์ที่อ่านค่าคาปาซิแตนซ์ได้การวัดจะต้องปลดคาปาซิเตอร์ไม่ให้อั้วร่วมกับวงจรอื่นในกรณีที่มีการใช้คาปาซิเตอร์แบบ 3 เฟส จะต้องวัดค่าในลักษณะเฟสต่อเฟส (Phase to Phase or line to line ) เช่น

$$C_{RS}, C_{ST}, C_{TR}$$

รวมค่าทั้ง 3 ค่า ค่าที่อ่านได้จะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ระหว่าง -5% ถึง 10% ของค่าพิกัดตามตาราง ตัวอย่าง เมื่อผ่านการใช้งาน ค่าคาปาซิแตนซ์นี้จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ถ้าที่อ่านได้มีค่าต่ำมากจนค่า PF ของระบบต่ำกว่าที่ต้องการ จึงควรเปลี่ยน

ตารางที่ 1.14 ค่ามาตรฐานกระแส , แรงดันและ ค่าคาปาซิแตนซ์

| ขนาด kVAr | ค่ากระแส Amp | ค่าแรงดัน Volt | ค่าคาปาซิแตนซ์ Microfarad |
|-----------|--------------|----------------|---------------------------|
| 15        | 20.9         | 400            | 149.2                     |
| 20        | 27.8         | 400            | 198.9                     |
| 30        | 41.7         | 400            | 298.8                     |
| 50        | 69.6         | 400            | 497.3                     |
| 75        | 104.3        | 400            | 746.0                     |

หมายเหตุ : ค่าคาปาซิแตนซ์ ที่คำนวณจากคาปาซิเตอร์แบบแรงต่ำที่ต่อวงจรแบบเดลตา

ในทางปฏิบัติการจะดูว่าคาปาซิเตอร์เสื่อมมากเพียงใด ควรพิจารณาถึงค่ากระแสและค่าคาปาซิแตนซ์รวมกัน เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดความผิดพลาดในการวัด อัตราเสื่อมของคาปาซิเตอร์ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน และคุณภาพของคาปาซิเตอร์เอง สำหรับการตัดสินใจว่าควรเปลี่ยนคาปาซิเตอร์เมื่อไรนอกจากดูค่า PF โดยรวมแล้วยังขึ้นกับสะดวกในการเปลี่ยนแปลงอีกด้วยเช่น หากการดับไฟเพื่อเปลี่ยนทำได้ยาก จึงอาจเปลี่ยน

คาปาซิเตอร์ที่หลายๆ ตัวพร้อมกัน ทั้งตัวเสื่อมมากและเสื่อมน้อยเพื่อให้แน่ใจว่ามีคาปาซิเตอร์เพียงพอตลอดเวลาในอนาคต

### การดูแลรักษา

ในการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้านั้นจะช่วยให้ค่าเพอร์เวอร์แฟกเตอร์และประสิทธิภาพของการจ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นดีขึ้นซึ่งเป็นการปรับปรุงค่าเพอร์แฟกเตอร์เบื้องต้นนั่นเอง การบำรุงรักษาประกอบด้วย

#### 1. การบำรุงรักษาประจำปีจะต้องตรวจสอบดังนี้

- 1.1 ทำความสะอาดฝุ่นและคราบสกปรกทุกๆชิ้นส่วนของอุปกรณ์
- 1.2 ตรวจสอบความแน่นของจุดต่อสายไฟทุกจุด
- 1.3 ตรวจสอบสภาพของตัวคายประจุ
- 1.4 ตรวจอุณหภูมิโดยรวม

2. นำคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบและวัดกระแสของคาปาซิเตอร์ด้วย คลิป-ออน มิเตอร์ (Clip-on Meter) และวัดค่า kVAR เอาท์พุทของคาปาซิเตอร์ ถ้าค่าเอาท์พุทลดลงจาก Nameplate มากกว่า 10 % แสดงว่าคาปาซิเตอร์เริ่มเสื่อมสภาพการใช้งานแล้ว ซึ่งอาจมีหลายสาเหตุ เช่น เป็นการเสื่อมสภาพการใช้งานตามปกติหรือเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ เนื่องจากอุณหภูมิใช้งานสูงเกินไป แรงดันระบบสูงเกินไปหรือมีฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า หากพบว่าคาปาซิเตอร์เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ ควรหาสาเหตุให้พบแล้วทำการแก้ไขตามสาเหตุต่อไป

### 1.6.6 การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับการปรับปรุงค่า PF

#### 1.6.6.1 การวิเคราะห์ผลการประหยัดของการติดตั้งคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้า

การคำนวณหาผลของการประหยัดเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้าของโรงงาน/ อาคาร วิธีกรณนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์ถึงผลกำไรที่โรงงาน/อาคารจะได้รับซึ่งอาจจะแตกต่างไปจากวิธีที่ปรากฏในตำราเศรษฐศาสตร์บางเล่มบ้างแต่ก็ได้ยึดหลักปฏิบัติที่นิยมใช้อยู่ในกิจการไฟฟ้าต่างๆ

#### ผลที่ได้รับจากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ผลจากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากผลตอบแทนและการลงทุนดังนี้

- ถ้า Q คือ จำนวนกิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์ที่ต่อเข้ากับระบบ  
C คือ ราคาคาปาซิเตอร์ขนาน (บาท/กิโลวาร์)  
i คือ อัตราดอกเบี้ย (ร้อยละ ต่อปี)  
n คือ อายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์ขนาน

$$a \text{ คือ } \text{ตัวประกอบการลงทุน, } a = \frac{i(1+i)^2}{(1+i)^2 - 1}$$

OM&A คือ ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ บำรุงรักษา และการดำเนินงาน เป็นร้อยละของเงินลงทุน ดังนั้นเงินลงทุนติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาน จำนวน Q กิโลวาร์ = CQ (บาท)

$$\text{และคิดเป็นค่าใช้จ่ายประจำปี} = \frac{i(1+i)^2}{(1+i)^2 - 1} + \text{OM \& A(\%)} = CQ \left[ \frac{i(1+i)^2}{(1+i)^2 - 1} + \text{OM \& A(\%)} \right]$$



**ตัวอย่างที่ 1.14** โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งจ่ายโหลด 3 เฟส ต่อแบบ Y มีโหลดทั้งสิ้น 2,000 kW มี PF เป็น 0.65 ถ้าหลังดำเนินการแก้ไข PF เป็น 0.90 ภายหลัง โรงงานจะต้องลงทุนเท่าไร และจะประหยัดเงินในการซื้อพลังงานไฟฟ้าเท่าไรถ้าราคาค่าปาซิเตอร์บวกค่าติดตั้งกิโวลาร์ละ 350 บาท เสียดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7 อายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์ 20 ปี

วิธีทำ

การคำนวณหาค่ากิโวลาร์ ที่จะต้องนำมาต่อเข้ากับระบบสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 จากการคำนวณ โดยพิจารณาในขณะที่โหลดมีค่า PF เท่ากับ 0.65 และ 0.90 แล้วหาผลต่างที่ PF = 0.65

$$\theta_1 = (\cos^{-1} 0.65) = 49.458^\circ$$

$$S_1 = \frac{2000\text{kW}}{0.65} = 3,076.9\text{kVA}$$

$$Q_1 = 3,076.9\text{kVA} \times \sin(49.458^\circ) = 2338.2\text{ kVAr}$$

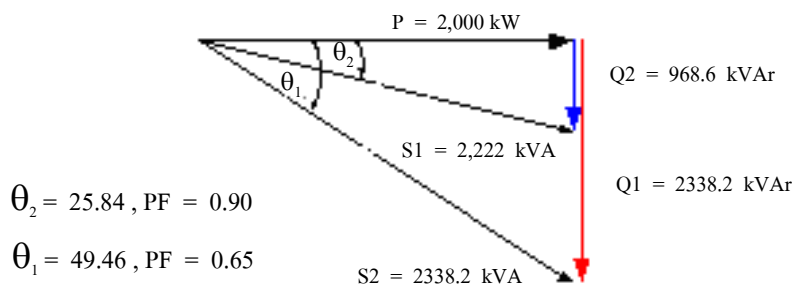
ที่ PF = 0.90

$$\theta_2 = (\cos^{-1} 0.90) = 25.842^\circ$$

$$S_2 = \frac{2,000\text{kW}}{0.90} = 2,222.2\text{kVA}$$

$$Q_2 = 2,222.2\text{kVA} \times \sin(25.842^\circ) = 968.64\text{kVAr}$$

ดังนั้นผลต่างก็คือค่าของคาปาซิเตอร์ที่จะต้องใส่ เท่ากับ  $2338.2 - 968.64 = 1369.6\text{ kVAr}$  ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 1.46



**รูปที่ 1.46 ความสัมพันธ์ของระบบที่ค่า PF = 0.65 และ ค่า PF = 0.9**

วิธีที่ 2 จากตารางที่ 1.6 ต้องการแก้ PF จาก 0.65 เป็น 0.9 จะได้ ตัวคูณจากตารางที่ 1.6 เท่ากับ 0.685

$$\therefore \text{ขนาดคาปาซิเตอร์ (kVA)} = \text{kW} \times \text{ตัวคูณจากตารางที่ 1.6}$$

$$= 2,000 \times 0.685 = 1,370.0\text{ kVAr}$$

ในกรณีนี้ อาจเลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 1,400 kVAr

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ค่าติดตั้ง + ราคาคาปาซิเตอร์) =  $1400 \times 350 = 490,000$  บาท

(ราคาคาปาซิเตอร์กิโวลาร์ ละ 300 บาท คิดค่าติดตั้ง 15%)

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายประจำปี} = CQ \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \text{OM \& A(\%)} \right]$$

$$= 490,000 \times 0.1547 = 75,804 \text{ บาท/ปี}$$

$$= 6,317 \text{ บาท/เดือน}$$

$$= 75,804 \text{ บาท/ปี}$$

### การคำนวณค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

1. ค่ากิโลวาร์ (จากอัตราของ กฟน.) ถ้าโรงงานใช้ค่ากิโลวาร์ สูงสุดเกิน 61.97% ของค่ากิโลวัตต์สูงสุด ส่วนที่เกินจะต้องเสียค่ากิโลวาร์ละ 14.02 บาท

ดังนั้น 63% ของ 2,000 kW =  $\frac{2,000 \times 61.97}{100} = 1,239.4 \text{ kVAr}$  และ โรงงานใช้เกินไป  
 $= 2,338 - 1,239.4 = 1,098.6 \text{ kVAr}$  ต้องเสียค่ากิโลวาร์  $1,098.6 \times 14.02 = 15,402.37 \text{ kVAr}$  แต่ถ้าโรงงานแก้ PF แล้ว โรงงานจะเหลือค่ากิโลวาร์ = 968.6 ซึ่งไม่เกิน 61.97% ของ กิโลวาร์ สูงสุด จึงไม่ต้องเสียค่ากิโลวาร์จึงทำให้ประหยัดเงินค่ากิโลวาร์ ได้เท่ากับ 15,402.37 บาท

2. ค่า kWh ในกรณีนี้พิจารณาจากขนาดหม้อแปลง

ถ้าขนาดพิกัดหม้อแปลง = 3,500 kVA

ประสิทธิภาพ = 98.5 %

กระแสฟลักซ์ = 5,318 A

กระแสที่ PF 0.65 = 4,675 A

กระแสที่ PF 0.90 = 3,376 A

พลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก = 0.8 : 0.2

เฉลี่ยอัตราค่าไฟฟ้า kWh ละ = 2.75 บาท

เวลาการทำงาน = 24 ชั่วโมง

ภายใน 1 เดือน โรงงานทำงาน = 26 วัน

ความสูญเสียเมื่อยังไม่แก้ PF =  $3500 \times (1 - 0.985) \times 0.8 \times \left[ \frac{4675}{5318} \right]^2 = 32.45 \text{ kW}$

ความสูญเสียเมื่อหลังจากแก้ PF =  $3500 \times (1 - 0.985) \times 0.8 \times \left[ \frac{3376}{5318} \right]^2 = 17 \text{ kW}$

ดังนั้นพลังงานสูญเสียลดลง =  $(32.45 - 17) \text{ kW} = 15.45 \text{ kW}$

คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ =  $(15.45 \times 24 \times 26 \times 2.75) = 26,512.2 \text{ บาทต่อเดือน}$

### สรุปผลที่ประหยัดได้

1. ค่า kVAr เท่ากับ 15,114 บาท/เดือน

2. ค่า kWh เท่ากับ 17,353 บาท/เดือน

รวมเท่ากับ 32,467 บาท/เดือน = 389,604 บาท/ปี

ผลตอบแทนการลงทุน = ผลที่ประหยัดได้ / ค่าใช้จ่ายประจำปี =  $\frac{389604}{75804} = 5.14$

(หมายถึงการลงทุน 100 บาท จะให้ผลตอบแทน 514 บาท)

## 1.7 การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand control)

### 1.7.1 อัตราค่าไฟฟ้า

รายละเอียดของอัตราค่าไฟฟ้าที่จะกล่าวถึงนี้ เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้มาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2543 และใช้กับผู้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 ประเภทที่ 4 ประเภทที่ 5 ประเภทที่ 6 (เลือกใช้อัตรา TOU) และประเภทที่ 7 (เลือกใช้อัตรา TOU) เท่านั้น

#### ก. อัตราปกติ

ใช้กับผู้ไฟฟ้าประเภทที่ 3.1 คือเป็นผู้ไฟฟ้ารายเดิมที่ติดตั้งเครื่องวัด(หรือใช้ไฟฟ้า) มาก่อนเดือนตุลาคม 2543 มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 999 กิโลวัตต์ หรือปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1.15

ตารางที่ 1.15 อัตราปกติ

| ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขอใช้<br>( กิโลโวลต์ ) | ค่าความต้องการ<br>กำลังไฟฟ้า<br>( บาทต่อกิโลวัตต์ ) | ค่าพลังงานไฟฟ้า<br>( บาทต่อหน่วย ) |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| ≥ 69                                      | 175.70                                              | 1.6660                             |
| 12 – 33                                   | 196.26                                              | 1.7034                             |
| < 12                                      | 221.50                                              | 1.7314                             |

#### ข. อัตราตามช่วงเวลาของวัน ( อัตรา TOD )

ใช้กับผู้ไฟฟ้าประเภทที่ 4.1 คือเป็นผู้ไฟฟ้ารายเดิมที่ติดตั้งเครื่องวัดชนิด TOD มาก่อนเดือนตุลาคม 2543 อัตราค่าไฟฟ้าจะถูกกำหนดราคาตามช่วงเวลาของวันโดยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงในแต่ละวันจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วง ON – PEAK ระหว่างเวลา 18:30 – 21:30 น. ( 3 ชม. )
2. ช่วง PARTIAL – PEAK ระหว่างเวลา 08:00 – 18:30 น. ( 10.5 ชม. )
3. ช่วง OFF – PEAK ระหว่างเวลา 21:30 – 08:00 น. ( 10.5 ชม. )

รายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 1.16

ตารางที่ 1.16 อัตรา TOD

| ระดับแรงดัน<br>ไฟฟ้าที่ขอใช้<br>( กิโลโวลต์ ) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ( บาทต่อกิโลวัตต์ ) |                    |            | ค่าพลังงาน<br>ไฟฟ้า<br>( บาทต่อหน่วย ) |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|------------|----------------------------------------|
|                                               | ON - PEAK                                    | *PARTIAL -<br>PEAK | OFF - PEAK |                                        |
| ≥ 69                                          | 224.30                                       | 29.91              | 0.0        | 1.6660                                 |
| 12 – 33                                       | 285.05                                       | 58.88              | 0.0        | 1.7034                                 |
| <12                                           | 332.71                                       | 68.22              | 0.0        | 1.7314                                 |

หมายเหตุ \*คิดเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง ON – PEAK เท่านั้น

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

ค. อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ( TOU )

ใช้กับผู้ไฟฟ้าประเภทที่ 3.2 ประเภทที่ 4.2 ประเภทที่ 5.2 ประเภทที่ 6.2 และประเภทที่ 7.2 ที่ติดตั้งเครื่องวัด TOU อัตราค่าไฟฟ้าจะถูกกำหนดราคาตามช่วงเวลาของการใช้ โดยในแต่ละสัปดาห์จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วง ON – PEAK ระหว่างเวลา 09:00 – 22:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการตามปกติ
- 2 ช่วง OFF – PEAK ระหว่างเวลา 22:00 – 09:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการตามปกติ
3. ช่วง OFF – PEAK ระหว่างเวลา 00:00 – 24:00 น. ของวันเสาร์-วันอาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ

รายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 1.17

ตารางที่ 1.17 อัตรา TOU

| ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ( กิโลโวลต์ ) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาทต่อ กิโลวัตต์ ) |            | ค่าพลังงานไฟฟ้า ( บาทต่อหน่วย ) |            | ค่าบริการ ( บาท ) |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|------------|---------------------------------|------------|-------------------|
|                                      | ON - PEAK                                    | OFF - PEAK | ON - PEAK                       | OFF - PEAK |                   |
| ≥ 69                                 | 74.14                                        | 0.00       | 2.6136                          | 1.1726     | 228.17            |
| 12 – 33                              | 132.93                                       | 0.00       | 2.6950                          | 1.1914     | 228.17            |
| < 12                                 | 210.00                                       | 0.00       | 2.8408                          | 1.2246     | 228.17            |

### 1.7.2 การคิดค่าไฟฟ้า

แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์เฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้าที่ซื้อไฟฟ้าจากระดับแรงดัน 12 – 33 kV เท่านั้น

ก. อัตราปกติ

|            |     |                                              |       |
|------------|-----|----------------------------------------------|-------|
| กำหนดให้ C | คือ | ค่าไฟฟารวม ( บาท )                           |       |
| P          | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ( kW )           |       |
| Q          | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟารีแอกทีฟสูงสุด ( kVAr )  |       |
| $\Delta Q$ | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟารีแอกทีฟส่วนเกิน( kVAr ) |       |
| E          | คือ | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ( หน่วย )           |       |
| Ft         | คือ | อัตรา $F_t$ ( บาทต่อหน่วย )                  |       |
| $\Delta Q$ | =   | $Q - 0.6197P$                                | 1.13) |

$\Delta Q$  หากติดลบให้ปรับค่าเป็น 0.0 หากมีทศนิยมให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม ถ้าไม่ถึง 0.5 ให้ปัดทั้งตั้งแต่ 0.5 ให้ปัดขึ้น

$$C = [196.26P + (1.7034 + Ft)E + 14.02\Delta Q]1.07 \quad (1.14)$$

$$\frac{C}{E} = \left[ \frac{196.26P}{E} + 1.7034 + Ft + \frac{14.02\Delta Q}{E} \right] 1.07 \quad (1.15)$$

สมการที่ (1.15) แสดงค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่รวมค่าไฟฟ้าทุกส่วนแล้วประกอบด้วยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าค่าพลังงาน ค่า Ft ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ( VAT )

ข. อัตรา TOD

|            |     |                                                      |
|------------|-----|------------------------------------------------------|
| กำหนดให้ C | คือ | ค่าไฟฟ้ารวม ( บาท )                                  |
| P          | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง ON-PEAK (kW)         |
| PP         | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง PARTIAL –PEAK ( kW ) |
| Q          | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุด ( kVAr )         |
| $\Delta Q$ | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟส่วนเกิน( kVAr )        |
| E          | คือ | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ( หน่วย )                   |
| Ft         | คือ | อัตรา Ft ( บาทต่อหน่วย )                             |

กรณีที่  $P \geq PP$

$$\Delta Q = Q - 0.6197P \quad (1.16)$$

$$\Delta Q \geq 0.00 \quad \text{และเป็นจำนวนเต็ม}$$

$$C = [ 285.05P + (1.7034 + Ft)E + 14.02\Delta Q ] 1.07 \quad (1.17)$$

$$\frac{C}{E} = \left[ \frac{285.05P}{E} + 1.7034 + Ft + \frac{14.02\Delta Q}{E} \right] 1.07 \quad (1.18)$$

สมการที่ (1.18) แสดงค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่รวมค่าไฟฟ้าทุกส่วนแล้วทั้งค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ( ช่วง ON – PEAK ) ค่าพลังงาน ค่า Ft ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ( VAT )

กรณีที่  $P < PP$

$$\Delta Q = Q - 0.6197PP \quad (1.19)$$

$$\Delta Q \geq 0.00 \quad \text{และเป็นจำนวนเต็ม}$$

$$C = [ 285.05P + 58.88(PP - P) + (1.7034 + Ft)E + 14.02\Delta Q ] 1.07$$

$$C = [ 226.17P + 58.88PP + (1.7034 + Ft)E + 14.02\Delta Q ] 1.07 \quad (1.20)$$

$$\frac{C}{E} = \left[ \frac{226.17P}{E} + \frac{58.88PP}{E} + 1.7034 + Ft + \frac{14.02\Delta Q}{E} \right] 1.07 \quad (1.21)$$

สมการที่ (1.21) แสดงค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่รวมค่าไฟฟ้าทุกส่วนแล้วทั้งค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (ทั้งช่วง ON – PEAK และช่วง PARTIAL – PEAK ) ค่าพลังงาน ค่า Ft ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ( VAT )

ค. อัตรา TOU

|          |            |     |                                                   |
|----------|------------|-----|---------------------------------------------------|
| กำหนดให้ | C          | คือ | ค่าไฟฟ้ารวม ( บาท )                               |
|          | P          | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง ON-PEAK (kW)      |
|          | OP         | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง OFF – PEAK ( kW ) |
|          | Q          | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้านอกที่ฟสูงสุด ( kVAr )       |
|          | $\Delta Q$ | คือ | ความต้องการกำลังไฟฟ้านอกที่ฟส่วนเกิน ( kVAr )     |
|          | Ep         | คือ | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ช่วง ON-PEAK ( หน่วย )    |
|          | Eop        | คือ | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ช่วง OFF-PEAK (หน่วย)     |
|          | E          | คือ | ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด ( หน่วย )         |
|          | Ft         | คือ | อัตรา Ft ( บาทต่อหน่วย )                          |

$$\text{ถ้า } P \geq OP \text{ ให้ } \Delta Q = Q - (0.6197 \times P) \quad (1.22)$$

$$\text{ถ้า } P < OP \text{ ให้ } \Delta Q = Q - (0.6197 \times OP) \quad (1.23)$$

$\Delta Q \geq 0.00$  และเป็นจำนวนเต็ม

$$C = [132.93P + 2.695Ep + 1.1914Eop + Ft \cdot E + 14.02\Delta Q + 228.17]1.07 \quad (1.24)$$

$$C = [132.93P + (1.5036 + 1.1914)Ep + 1.1914Eop + Ft \cdot E + 14.02\Delta Q + 228.17]1.07$$

$$C = [132.93P + 1.5036Ep + (1.1914 + Ft)E + 14.02\Delta Q + 228.17]1.07 \quad (1.25)$$

$$\frac{C}{E} = \left[ \frac{132.93P}{E} + \frac{1.5036Ep}{E} + 1.1914 + Ft + \frac{14.02\Delta Q}{E} + \frac{228.17}{E} \right]1.07 \quad (1.26)$$

สมการที่ (1.26) แสดงค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่รวมค่าไฟฟ้าทุกส่วนแล้ว ทั้งค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ( ช่วง ON – PEAK ) ค่าพลังงานไฟฟ้า ( ทั้งช่วง ON – PEAK และช่วง OFF – PEAK ) ค่า Ft ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ค่าบริการ และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ( VAT )

### 1.7.3 แนวทางการลดค่าไฟฟ้า

ก. อัตราปกติ

จากสมการที่ (1.15) เอา 1.07 คูณเข้าไปในวงเล็บจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{C}{E} = \frac{210P}{E} + 1.822638 + 1.07Ft + \frac{15\Delta Q}{E} \quad (1.27)$$

จากสมการที่ (1.27) พบว่าค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่รวมค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้วประกอบด้วยค่าไฟฟ้าทั้งหมด 4 ส่วน คือ

$$\text{ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า } P = \frac{210P}{E} \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า } E = 1.822638 \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{ค่า } Ft = 1.07Ft \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ } \Delta Q = \frac{15\Delta Q}{E} \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

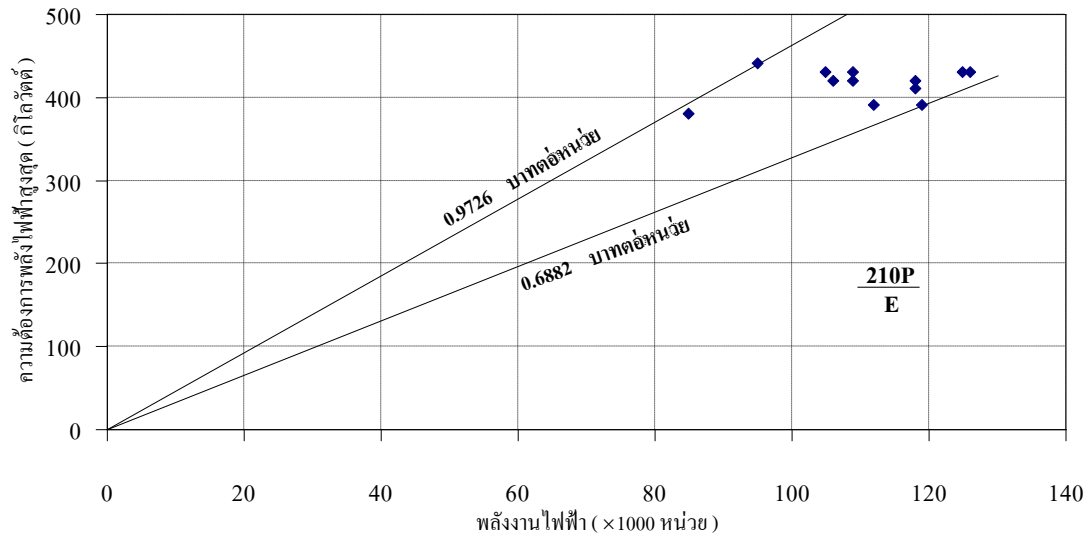
พบว่าค่าไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถบริหารจัดการเองเพื่อลดค่าไฟฟ้าได้ คือค่าพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวเลขตายตัวไปแล้ว และค่า Ft เพราะมีคณะกรรมการกำกับดูแลเพื่อปรับค่า ให้สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าทุกกรอบ 4 เดือน

มีค่าไฟฟ้าอีก 2 ส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการได้เองเพื่อลดค่าไฟฟ้าให้ถูกลง คือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าโดยการควบคุมอัตราส่วนของ  $\frac{P}{E}$  ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ โดยการทำให้  $\Delta Q$  เป็น 0 ด้วยการติดตั้งชุดคาปาซิเตอร์ใช้งานเอง

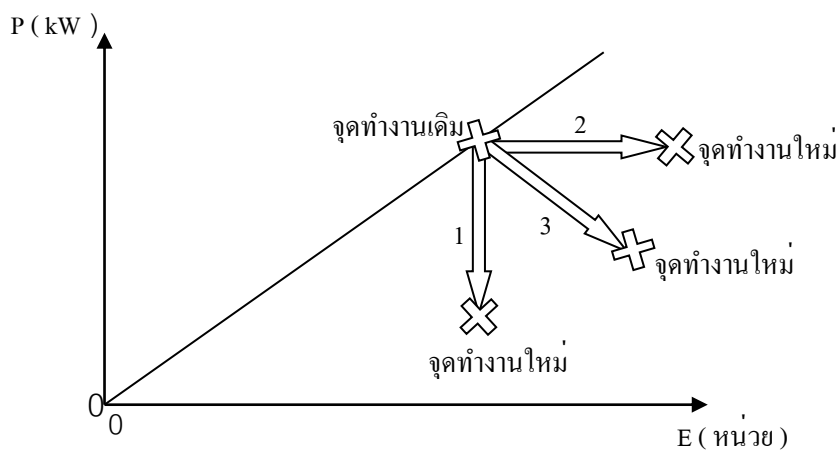
ตารางที่ 1.18 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามอัตราปกติเฉพาะส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหน่วยไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ายาวหนึ่ง พบว่าค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเฉลี่ยเป็นต่อหน่วยไฟฟ้าที่ใช้และรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้วจะมีค่าแปรเปลี่ยนในแต่ละเดือนอยู่ระหว่าง 0.6882 บาทต่อหน่วยถึง 0.9726 บาทต่อหน่วย ต่างกันถึง 0.2844 บาทต่อหน่วย หรือคิดเป็น 35.6% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย เมื่อนำข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 1.47 พบว่าเดือนพฤศจิกายนมีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหน่วยแพงที่สุดเพราะกราฟมีความชัน ( หรืออัตราส่วนของ  $P/E$  ) สูงที่สุด และเดือนกรกฎาคมมีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหน่วยถูกที่สุดเพราะกราฟมีความชันต่ำที่สุด

ตารางที่ 1.18 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามอัตราปกติ

| ข้อมูลจากใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า |                                   |                           | ผลการวิเคราะห์         |                                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| เดือน                           | กำลังไฟฟ้าสูงสุด<br>( กิโลวัตต์ ) | พลังงานไฟฟ้า<br>( หน่วย ) | $\frac{P}{E}(10^{-3})$ | ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อ<br>หน่วย ( บาทต่อหน่วย ) |
| มกราคม                          | 390                               | 112,000                   | 3.4821                 | 0.7312                                            |
| กุมภาพันธ์                      | 430                               | 109,000                   | 3.9449                 | 0.8284                                            |
| มีนาคม                          | 410                               | 118,000                   | 3.4746                 | 0.7297                                            |
| เมษายน                          | 420                               | 106,000                   | 3.9623                 | 0.8321                                            |
| พฤษภาคม                         | 430                               | 126,000                   | 3.4127                 | 0.7167                                            |
| มิถุนายน                        | 430                               | 125,000                   | 3.4400                 | 0.7224                                            |
| กรกฎาคม                         | 390                               | 119,000                   | 3.2773                 | 0.6882 (min.)                                     |
| สิงหาคม                         | 420                               | 118,000                   | 3.5593                 | 0.7475                                            |
| กันยายน                         | 420                               | 109,000                   | 3.8532                 | 0.8092                                            |
| ตุลาคม                          | 430                               | 105,000                   | 4.0952                 | 0.8600                                            |
| พฤศจิกายน                       | 440                               | 95,000                    | 4.6316                 | 0.9726 (max.)                                     |
| ธันวาคม                         | 380                               | 85,000                    | 4.4706                 | 0.9388                                            |
| เฉลี่ย                          |                                   |                           |                        | 0.7981                                            |



รูปที่ 1.47 ความสัมพันธ์ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 1.48 แนวทางการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การลดค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าอัตราปกติ สามารถแสดงเป็นแนวคิดได้ดังรูปที่ 1.48 คือการลดความชันของเส้นกราฟ (หรืออัตราส่วน  $P/E$ ) ให้ต่ำลง สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. ลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P) ให้ต่ำลงโดยที่ยังคงใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (E) เท่าเดิม
2. เพิ่มปริมาณพลังงานไฟฟ้า (E) ที่ใช้ให้มากขึ้น แต่ยังคงใช้ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P) เท่าเดิม หมายถึง การทำงานมากขึ้น เช่น จาก 1 กะ เป็น 2 กะ หรือจาก 5 วันเป็น 6 วัน เป็นต้น
3. ทำทั้ง 2 ข้อดังกล่าวข้างต้นพร้อมกัน คือลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P) ให้ต่ำลง และเพิ่มปริมาณพลังงานไฟฟ้า (E) ให้มากขึ้น



จากแนวคิดทั้ง 3 ข้อนี้ เมื่อย้อนกลับไปพิจารณารูปที่ 1.47 ณ เดือนพฤศจิกายน จะพบว่าสามารถใช้แนวคิดข้อที่ 2 และข้อที่ 3 ในการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานเพื่อให้ค่าไฟฟ้าถูกลงได้

#### ข. อัตรา TOD

จากสมการที่ (1.21) เอา 1.07 คูณเข้าไปในวงเล็บจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{C}{E} = \frac{242P}{E} + \frac{63PP}{E} + 1.822638 + 1.07Ft + \frac{15\Delta Q}{E} \quad (1.28)$$

จากสมการที่ (1.28) พบว่าค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่รวมค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้วของอัตรา TOD แบบ P<PP จะประกอบด้วยค่าไฟฟ้าทั้งหมด 5 ส่วน คือ

$$\text{ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า } P = \frac{242P}{E} \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า } PP = \frac{63PP}{E} \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า } E = 1.822638 \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{ค่า } Ft = 1.07Ft \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

$$\text{ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ } \Delta Q = \frac{15\Delta Q}{E} \quad (\text{บาทต่อหน่วย})$$

และจากสมการที่ (1.18) เอา 1.07 คูณเข้าไปในวงเล็บจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{C}{E} = \frac{305P}{E} + 1.822638 + 1.07Ft + \frac{15\Delta Q}{E} \quad (1.29)$$

ซึ่งสามารถดัดแปลงให้มีรูปสมการเหมือนสมการที่ (1.28) ได้ดังนี้

$$\frac{C}{E} = \frac{242P}{E} + \frac{63P}{E} + 1.822638 + 1.07Ft + \frac{15\Delta Q}{E} \quad (1.30)$$

พบว่ามีส่วนประกอบค่าไฟฟ้า 5 ส่วน เช่นกัน ซึ่งค่าไฟฟ้า 5 ส่วนตามอัตรา TOD นี้ มีอยู่ 2 ส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถบริหารจัดการเองได้คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า ( เพราะเป็นตัวเลขตายตัวแล้ว ) และค่า Ft แต่อีก 3 ส่วนที่เหลือผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการเองได้ คือค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยการทำให้ค่า  $\Delta Q$  เป็น 0.0 และค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการทำให้อัตราส่วน P/E หรือ PP/E อยู่ในระดับที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในการควบคุมค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นจะเน้นเฉพาะในช่วงเวลา ON – PEAK ( 18:30 – 21:30 น. ของทุกวัน ) เท่านั้น ไม่เน้นในช่วง PARTIAL- PEAK เพราะเหตุผล 2 ประการ คือ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง ON – PEAK แพงกว่าช่วง PARTIAL – PEAK อยู่ประมาณ 3.84 เท่าตัว ( 242/63 ) และการควบคุมใช้เวลาสั้นเพียงวันละ 3 ชั่วโมงเท่านั้น ในขณะที่ช่วงเวลา PARTIAL – PEAK ต้องใช้เวลาควบคุมนานถึง 10.5 ชั่วโมงทุกวัน

แนวคิดในการลดค่าไฟฟ้าจากส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง ON – PEAK จึงเหมือนของผู้ใช้ไฟฟ้าอัตราปกติ โดยประยุกต์ใช้รูปที่ 1.48

ค. อัตรา TOU

จากสมการที่ (1.26) เอา 1.07 คูณเข้าไปในวงเล็บจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{C}{E} = \frac{142.2351P}{E} + \frac{1.608852E_p}{E} + 1.274798 + 1.07F_t + \frac{15\Delta Q}{E} + \frac{244.1419}{E} \quad (1.31)$$

จากสมการที่ (1.29) พบว่าค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่รวมค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้วของอัตรา TOU จะประกอบด้วยค่าไฟฟ้าทั้งหมด 6 ส่วนย่อยคือ

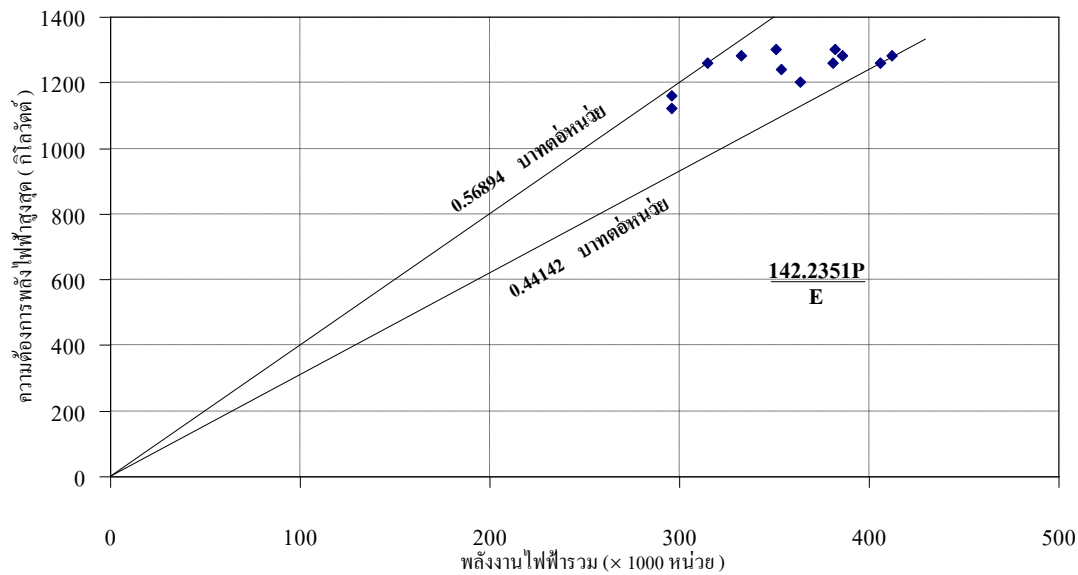
|                                |   |                         |               |
|--------------------------------|---|-------------------------|---------------|
| ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า P     | = | $\frac{142.2351P}{E}$   | (บาทต่อหน่วย) |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า E <sub>p</sub> | = | $\frac{1.608852E_p}{E}$ | (บาทต่อหน่วย) |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า E              | = | 1.274798                | (บาทต่อหน่วย) |
| ค่า F <sub>t</sub>             | = | 1.07 F <sub>t</sub>     | (บาทต่อหน่วย) |
| ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ΔQ         | = | $\frac{15\Delta Q}{E}$  | (บาทต่อหน่วย) |
| ค่าบริการ                      | = | $\frac{244.1419}{E}$    | (บาทต่อหน่วย) |

จากค่าไฟฟ้าทั้ง 6 ส่วนย่อยนี้ ค่าบริการต่อหน่วยจะถูกเฉลี่ยเรื่อยๆ เมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สามารถทำให้หมดไปได้เมื่อปรับให้ค่า  $\Delta Q$  เป็น 0.0 ค่า Ft เป็นส่วนที่บริหารจัดการเองไม่ได้ และมีค่าคงตัวถูกรอบ 4 เดือน ค่าพลังงานไฟฟ้าทุกหน่วยที่ใช้คิดที่ 1.274798 บาทต่อหน่วยคงที่ตลอด ค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK สามารถทำให้ลดลงได้โดยการควบคุมค่า Ep/E ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็สามารถทำให้ลดลงได้โดยการทำให้อัตราส่วน P/E อยู่ในระดับที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาอย่างละเอียดพบว่าค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU นั้นผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการได้ 2 ส่วน คือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง ON – PEAK และค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติควรเลือกการควบคุมอัตราส่วน Ep/E เพื่อการลดค่าไฟฟ้ามากกว่าการควบคุมอัตราส่วน P/E เพราะการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นต้องใช้เวลาควบคุมถึงวันละ 13 ชั่วโมง ( 09:00 – 22:00 น ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการตามปกติ )

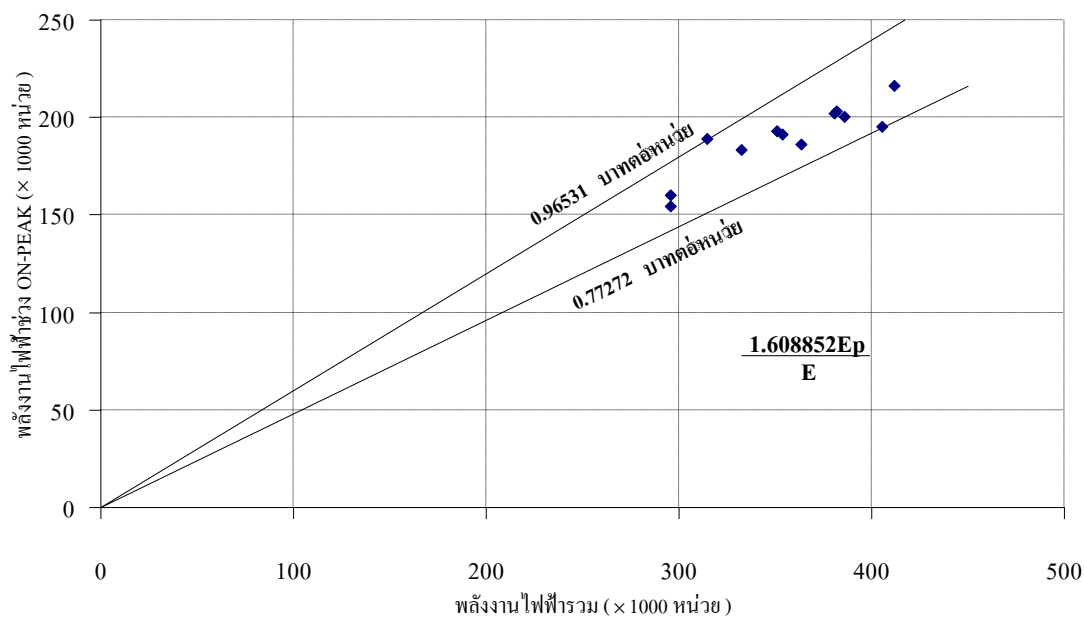
ตารางที่ 1.19 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามอัตรา TOU ในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหน่วยไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK ต่อหน่วยไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายหนึ่ง พบว่าค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเฉลี่ยเป็นต่อหน่วยไฟฟ้าที่ใช้และรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้วจะมีค่าแปรเปลี่ยนในแต่ละเดือนอยู่ในช่วง 0.44142 บาทต่อหน่วย ถึง 0.56894 บาทต่อหน่วยแตกต่างกัน 0.12752 บาทต่อหน่วย คิดเป็น 25.4% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย แนวคิดในการลดค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ ทำได้เช่นเดียวกับผู้ใช้ไฟฟ้าอัตราปกติ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดตามรูปที่ 1.48 ความสัมพันธ์ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แสดงในรูปที่ 1.49 พบว่าความต้องการกำลังไฟฟ้ายิ่งแตกต่างกันพอสมควร หากผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวางแผนการผลิตระยะยาวได้ทั้งปี โดยปรับการใช้ไฟฟ้าแต่ละเดือนให้ไปอยู่ที่ประมาณ 400,000 หน่วยต่อเดือนก็จะสามารถลดค่าไฟฟ้าที่เกิดจากส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้

ตารางที่ 1.19 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามอัตรา TOU

| ข้อมูลจากใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า |          |                 |                | ผลการวิเคราะห์              |        |                                           |         |
|---------------------------------|----------|-----------------|----------------|-----------------------------|--------|-------------------------------------------|---------|
| เดือน                           | P ( kW ) | Ep<br>( หน่วย ) | E<br>( หน่วย ) | P/E<br>( $\times 10^{-3}$ ) | Ep/E   | ค่าไฟฟ้าจาก<br>ส่วนของ<br>( บาทต่อหน่วย ) |         |
|                                 |          |                 |                |                             |        | P/E                                       | Ep/E    |
| มกราคม                          | 1,120    | 160,000         | 296,000        | 3.7838                      | 0.5405 | 0.53819                                   | 0.86965 |
| กุมภาพันธ์                      | 1,160    | 154,000         | 296,000        | 3.9189                      | 0.5203 | 0.55741                                   | 0.83704 |
| มีนาคม                          | 1,280    | 216,000         | 412,000        | 3.1068                      | 0.5243 | 0.44190                                   | 0.84348 |
| เมษายน                          | 1,280    | 200,000         | 386,000        | 3.3161                      | 0.5181 | 0.47166                                   | 0.83360 |
| พฤษภาคม                         | 1,300    | 203,000         | 382,000        | 3.4031                      | 0.5314 | 0.48405                                   | 0.85497 |
| มิถุนายน                        | 1,260    | 189,000         | 315,000        | 4.0000                      | 0.6000 | 0.56894                                   | 0.96531 |
| กรกฎาคม                         | 1,240    | 191,000         | 354,000        | 3.5028                      | 0.5395 | 0.49822                                   | 0.86805 |
| สิงหาคม                         | 1,300    | 193,000         | 351,000        | 3.7037                      | 0.5499 | 0.52680                                   | 0.88464 |
| กันยายน                         | 1,260    | 195,000         | 406,000        | 3.1034                      | 0.4803 | 0.44142                                   | 0.77272 |
| ตุลาคม                          | 1,200    | 186,000         | 364,000        | 3.2967                      | 0.5110 | 0.46891                                   | 0.82211 |
| พฤศจิกายน                       | 1,260    | 202,000         | 381,000        | 3.3071                      | 0.5302 | 0.47038                                   | 0.85299 |
| ธันวาคม                         | 1,280    | 183,000         | 333,000        | 3.8438                      | 0.5495 | 0.54673                                   | 0.88414 |
|                                 |          |                 |                |                             | เฉลี่ย | 0.50122                                   | 0.85739 |

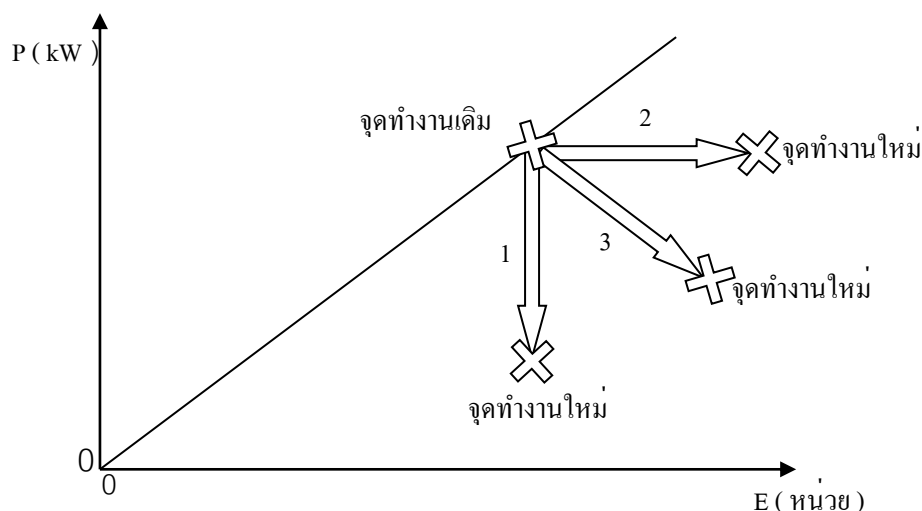


รูปที่ 1.49 ความสัมพันธ์ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 1.50 ความสัมพันธ์ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าช่วง ON – PEAK กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

จากตารางที่ 1.19 ค่าไฟฟ้าในส่วนของคุณค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK เมื่อเฉลี่ยเป็นต่อหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ และรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%แล้วจะมีค่าแปรเปลี่ยนในแต่ละเดือนอยู่ในช่วง 0.77272 บาทต่อหน่วย ถึง 0.96531 บาทต่อหน่วยแตกต่างกันถึง 0.19259 บาทต่อหน่วย หรือคิดเป็น 22.5 % ของค่าเฉลี่ย ความสัมพันธ์ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าช่วง ON – PEAK และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดแสดงในรูปที่ 1.50 พบว่าเดือนมิถุนายนมีค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง ON – PEAK แพงที่สุด เพราะความชันของเส้นกราฟมีค่าสูงสุด และเดือนกันยายนมีค่าพลังงานไฟฟ้า ช่วง ON – PEAK ถูกที่สุด เพราะกราฟมีค่าความชันต่ำที่สุด



รูปที่ 1.51 แนวทางการลดค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK

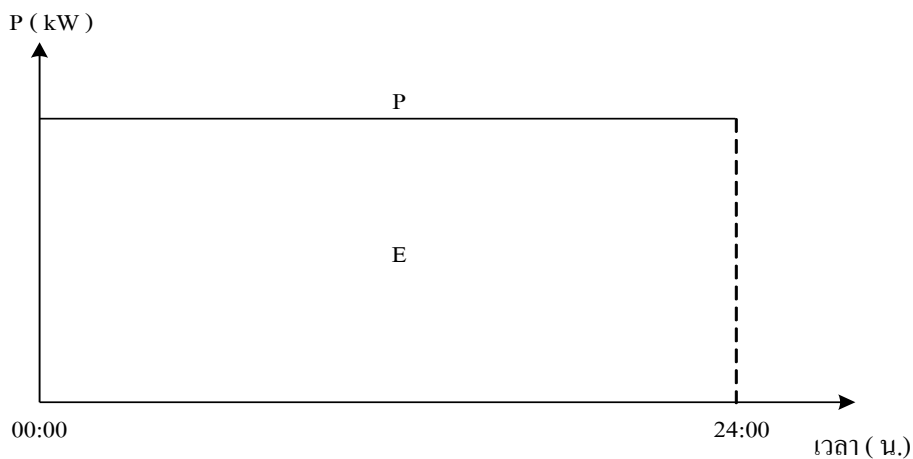
การลดค่าไฟฟ้าในส่วนของคุณค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK ของผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOU สามารถแสดงเป็นแนวคิดได้ดังรูปที่ 1.51 คือการลดความชันของเส้นกราฟหรือลดอัตราส่วน  $E_p/E$  ให้ต่ำลง สามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1. ลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง ON – PEAK ( $E_p$ ) ให้ต่ำลง โดยยังคงใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ( $E$ ) เท่าเดิม
2. เพิ่มปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด ( $E$ ) ให้มากขึ้น แต่ยังคงใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK ( $E_p$ ) เท่าเดิม หมายถึงใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 09:00 – 22:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการตามปกติเท่าเดิม แต่ใช้พลังงานในช่วงเวลาอื่น เช่น กลางคืน หรือวันหยุดให้มากขึ้นด้วยการปรับกิจกรรมการทำงานใหม่ให้มีการเพิ่มปริมาณการผลิตโดยการหาตลาดระบายสินค้ามากขึ้น
3. ทำทั้ง 2 ข้อดังกล่าวข้างต้นไปพร้อมๆ กันเพื่อลดอัตราส่วนของ  $E_p/E$  ให้ต่ำลงก็จะช่วยลดค่าไฟฟ้าลงได้

#### 1.7.4 แนวปฏิบัติในการลดค่าไฟฟ้า

แนวปฏิบัติในการลดค่าไฟฟ้า คือ ต้องใช้ไฟฟ้าในลักษณะที่สอดคล้องกับวิธีการคิดเงินค่าไฟฟ้า คือ ต้องดูว่าเสียค่าไฟฟ้าแบบใด เป็นแบบอัตราปกติ อัตรา TOD หรืออัตรา TOU แล้วปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับวิธีการคิดเงินก็จะทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้

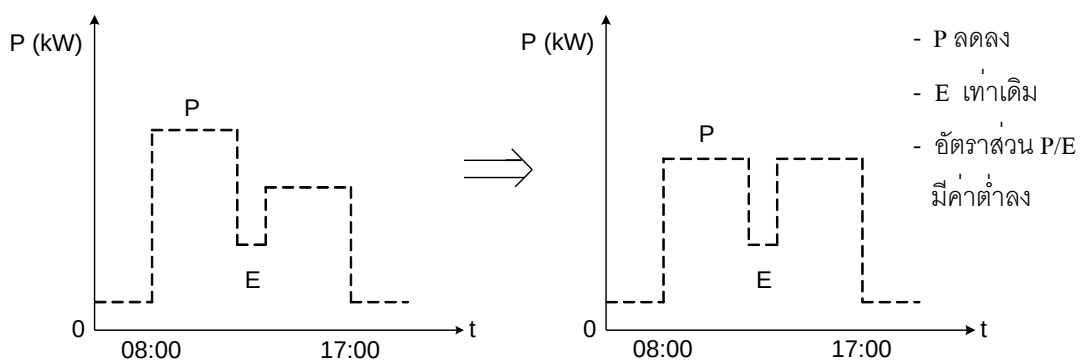
ก. อัตราปกติ



รูปที่ 1.52 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าตามอัตราปกติ

อัตราปกติต้องใช้ไฟฟ้าให้มีความสม่ำเสมอให้มากที่สุดเพื่อให้อัตราส่วน  $P/E$  มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะค่าไฟฟ้าส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ คิดจาก  $210P/E$  ( บาทต่อหน่วย )

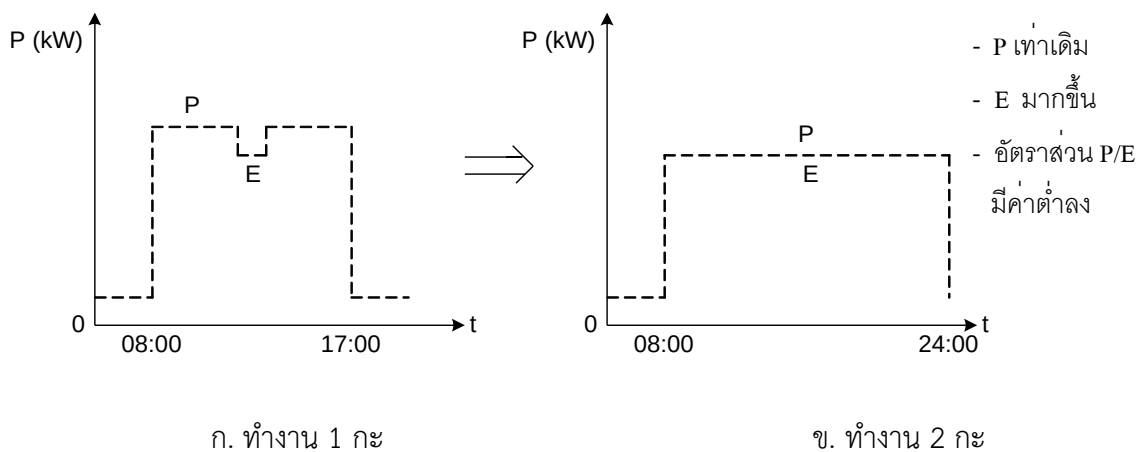
- ทำงาน 1 กะ ต้องกระจายโหลดให้เท่ากันทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่ายหลีกเลี่ยงการทำงานพิเศษซ้อนทับการทำงานปกติ
- ทำงาน 2 กะ ต้องกระจายโหลดให้เท่ากันทั้ง 2 กะ
- ทำงาน 3 กะ ต้องกระจายโหลดให้เท่ากันทั้ง 3 กะ
- ทำงาน 2 กะ ดีกว่าทำงาน 1 กะ ( เน้นการตลาดมากขึ้น )
- ทำงาน 3 กะ ดีกว่าทำงาน 2 กะ ( เน้นการตลาดมากขึ้นไปอีก )
- ทำงาน 6 วัน ดีกว่าทำงาน 5 วัน



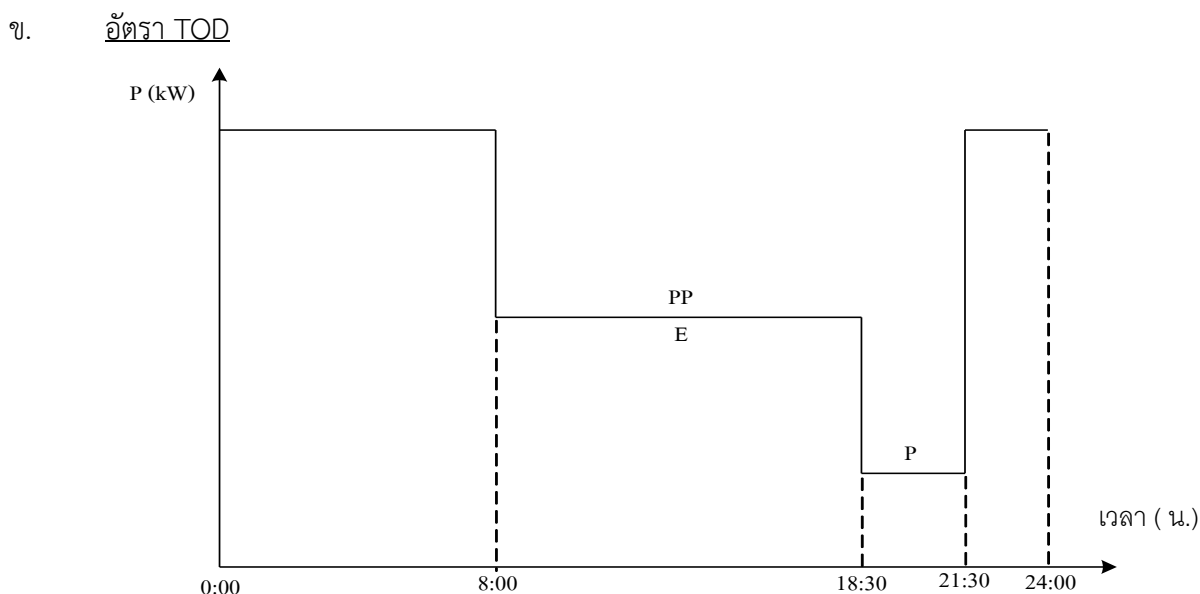
ก. สภาพเดิม

ข. ปรับสภาพการทำงานใหม่

รูปที่ 1.53 การทำงานแบบ 1 กะ



รูปที่ 1.54 การทำงานแบบ 2 กะ

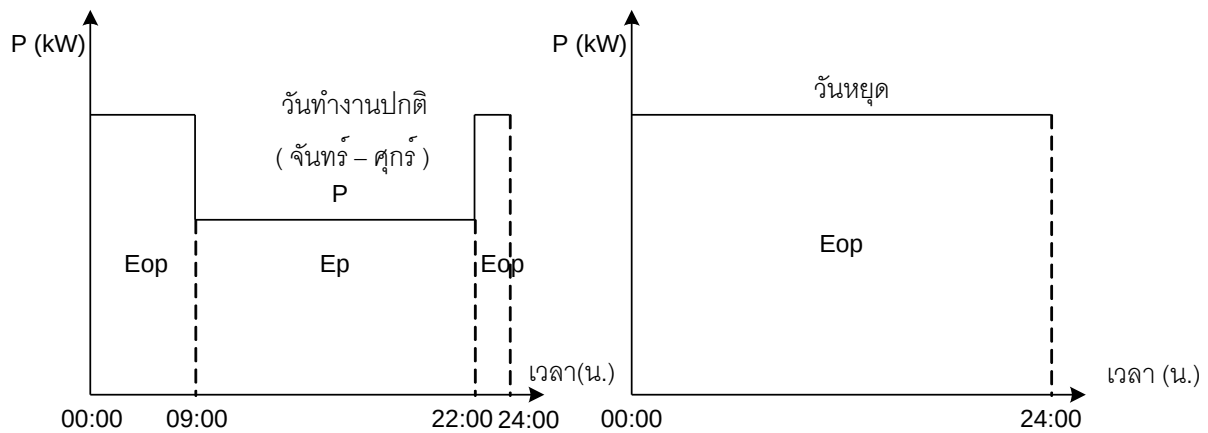


รูปที่ 1.55 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าตามอัตรา TOD

อัตรา TOD ต้องหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าตอนหัวค่ำ ( 18:30 – 21:30 น. วันละ 3 ชั่วโมง ) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะค่าไฟฟ้าส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมให้ลดลงได้ส่วนใหญ่จะคิดมาจาก 242P/E (บาทต่อหน่วย )

- หลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าตอนหัวค่ำ
- ใช้ไฟฟ้าตอนหัวค่ำให้สม่ำเสมอที่สุด เพื่อไม่ให้ P มีค่าสูง
- เน้นกิจกรรมหลักในช่วงกลางคืน ( 21:30 – 08:00 น.) แทนกิจกรรมตอนกลางวันหรือหัวค่ำ
- ใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางวันให้สม่ำเสมอมากที่สุดเพื่อไม่ให้ PP มีค่าสูง
- หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าตอนหัวค่ำได้ควรพิจารณาเปลี่ยนไปใช้อัตรา TOU แทน (ต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมก่อนดำเนินการ)

ค. อัตรา TOU

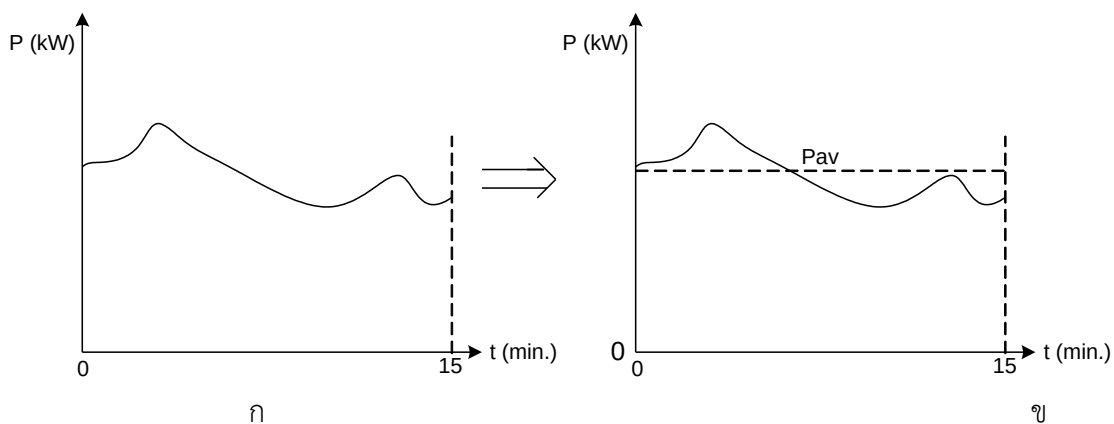


รูปที่ 1.56 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าตามอัตรา TOU

อัตรา TOU ต้องหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในช่วง ON – PEAK ( 09:00 – 22:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการตามปกติ ) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด  $P$  และปริมาณพลังงานไฟฟ้า  $E_p$  ให้ต่ำลง เนื่องจากค่าไฟฟ้าส่วนที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตามอัตรา TOU สามารถควบคุมให้ลดลงได้จะคิดมาจาก  $142.2351P/E$  และ  $1.608852E_p/E$  ( บาทต่อหน่วย )

- หลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในตอนกลางวันถึงช่วงหัวค่ำ ( 09:00 – 22:00 น. ) ของวันทำการปกติ
- หลีกเลี่ยงการทำงานพิเศษเป็นครั้งคราวในช่วงกลางวันถึงหัวค่ำของวันทำงานตามปกติ
- ใช้ไฟฟ้าตอนกลางวันถึงช่วงหัวค่ำของวันทำการปกติให้สม่ำเสมอที่สุด เพื่อไม่ให้  $P$  มีค่าสูง
- เน้นกิจกรรมหลักในช่วงกลางคืนถึงตอนเช้า ( 22:00 – 09:00 น. ) ของวันทำการปกติ
- เน้นกิจกรรมหลักในวันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติทั้งวันตลอด 24 ชั่วโมง
- หากไม่ทำงาน 7 วันต่อสัปดาห์ ให้หยุดงานวันธรรมดาแทนวันเสาร์ วันอาทิตย์

### 1.7.5 การวัดความต้องการกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 1.57 การหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (  $P_{av}$  )



พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา T ใด ๆ หาได้จาก

$$E = \int_0^T P(t)dt \quad (1.32)$$

เมื่อ E คือ พลังงานไฟฟ้า ( หน่วย หรือ kWh )

T คือ คาบเวลาที่สนใจ ( ชั่วโมง )

P(t) คือ กำลังไฟฟ้าขณะเวลาใดๆ ( kW )

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลา T หาได้จาก

$$P_{av} = \frac{E}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)dt \quad (1.33)$$

หากกำหนดให้ T เป็น  $\frac{1}{4}$  ชั่วโมง หรือ 15 นาที จะได้

$$P_{av} = 4 \int_0^{1/4} P(t)dt = 4 \times E_{15min} \quad (1.34)$$

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย  $P_{av}$  ในสมการที่ 1.34 คือความต้องการกำลังไฟฟ้าใน 15 นาทีใดๆ คิดมาจาก 4 เท่าของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้หรือใช้ไปในช่วงเวลา 15 นาที จึงเรียกว่า 15 Minute demand

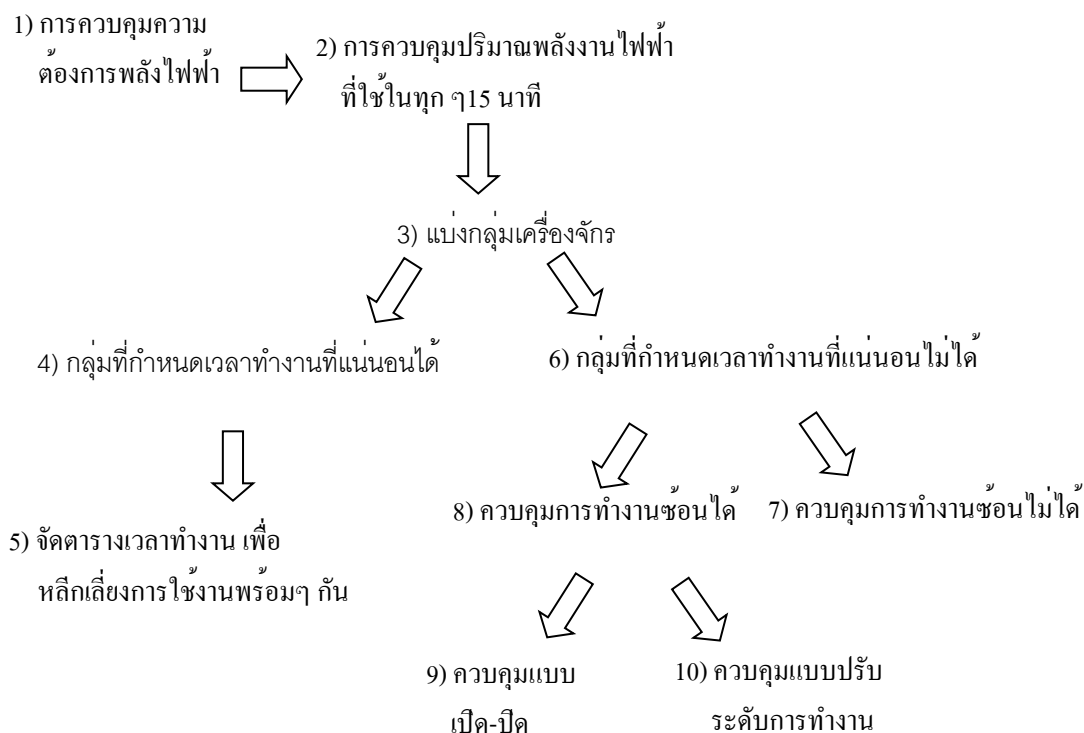
|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| 15 นาที   | วัด Demand ได้ 1 ครั้ง    |
| 1 ชั่วโมง | วัด Demand ได้ 4 ครั้ง    |
| 1 วัน     | วัด Demand ได้ 96 ครั้ง   |
| 1 สัปดาห์ | วัด Demand ได้ 672 ครั้ง  |
| 31 วัน    | วัด Demand ได้ 2976 ครั้ง |

หากเสียค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ ในเดือนที่มี 31 วันจะใช้ Demand ครั้งที่วัดได้สูงที่สุดในจำนวน 2976 ครั้ง ที่เรียกว่า Maximum Demand หรือความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไปคิดเงินค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ( อัตรา 210 บาทต่อกิโลวัตต์ เมื่อรวม VAT 7% แล้ว )

หากเสียค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOD ในเดือนที่มี 31 วันจะใช้ Demand ช่วงหวัค่าครั้งที่วัดได้สูงที่สุดในจำนวน 372 ครั้ง (  $4 \times 3 \times 31$  ) ที่เรียกว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง ON – PEAK ไปคิดเงินในอัตรา 305 บาทต่อกิโลวัตต์ ( รวม VAT 7% แล้ว )

จากความหมายของการวัดความต้องการกำลังไฟฟ้าจะพบว่าสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในทุกๆ 15 นาที การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าจึงเป็นการควบคุมปริมาณพลังงาน ไฟฟ้าที่จะยอมให้ใช้ในช่วงเวลา 15 นาที เช่นหากกำหนดให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีค่าไม่เกิน 1,000 กิโลวัตต์หมายความว่าทุกๆ 15 นาที จะยอมให้ใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้ไม่เกิน 250 หน่วย ซึ่งหน่วยพลังงานที่ใช้นี้จะไปสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการผลิตสินค้าด้วย

### 1.7.6 การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 1.58 แนวคิดการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า

- 1) การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า
  - กำหนดระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการควบคุม เช่น ไม่เกิน 1,000 กิโลวัตต์
- 2) การควบคุมปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในทุกๆ 15 นาที
  - จากระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการควบคุมให้แปลงเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ยอมให้ใช้ในทุกๆ 15 นาที เช่น แปลงจาก 1,000 กิโลวัตต์เป็น 250 หน่วย
- 3) แบ่งกลุ่มเครื่องจักร
  - ทำการสำรวจลักษณะการทำงานของเครื่องจักรแล้วแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงาน คือ กลุ่มที่กำหนดเวลาทำงานที่แน่นอนได้ เช่น ทำงานเป็นวัฏจักรมีแบบแผนชัดเจน กับกลุ่มที่กำหนดเวลาทำงานที่แน่นอนไม่ได้
- 4) กลุ่มที่กำหนดเวลาทำงานที่แน่นอนได้
  - สำรวจวัฏจักรการทำงาน ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานแต่ละคาบ
  - แบ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละคาบออกเป็นทุกๆ ช่วง 15 นาที

## 5) จัดตารางเวลาทำงานเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานพร้อม ๆ กัน

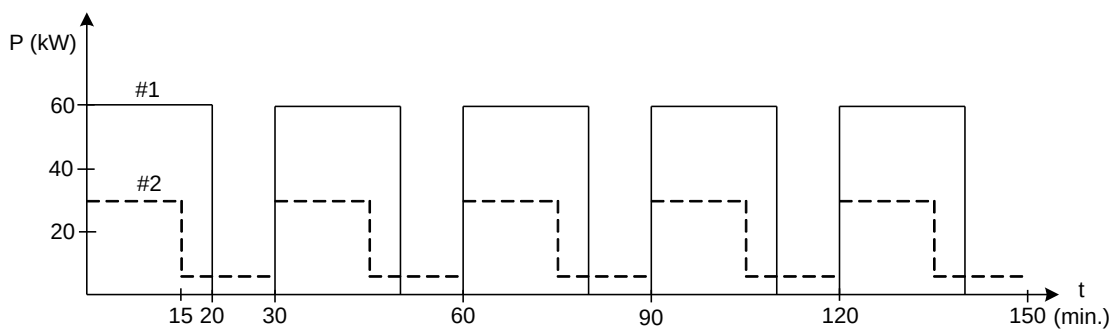
- การใช้งานพร้อม ๆ กัน ในที่นี้หมายถึง การใช้พลังงานในปริมาณมากๆ พร้อมๆ กันในแต่ละคาบเวลา 15 นาที
- ทดลองปรับเปลี่ยนเวลาทำงานให้หลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากๆ พร้อมกันในแต่ละคาบเวลา 15 นาที

## อุปกรณ์ตัวที่ 1

- ทำงานเป็นวัฏจักร 30 นาที
- ทำงาน 20 นาที กินไฟ 60 กิโลวัตต์
- หยุดพัก 10 นาที กินไฟ 0 กิโลวัตต์

## อุปกรณ์ตัวที่ 2

- ทำงานเป็นวัฏจักร 30 นาที
- ทำงาน 20 นาที กินไฟ 30 กิโลวัตต์
- หยุดพัก 10 นาที กินไฟ 6 กิโลวัตต์

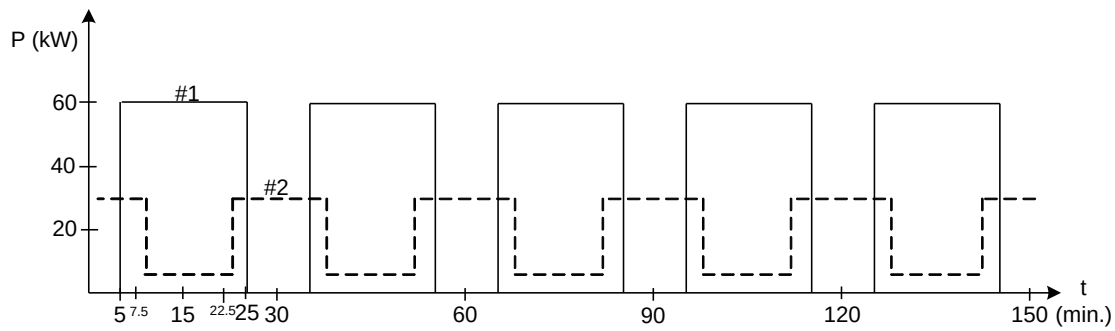


รูปที่ 1.59 การจัดการทำงานรูปแบบที่ 1

รูปที่ 1.59 แสดงรูปแบบการจัดการการทำงานของอุปกรณ์รูปแบบที่ 1 พบว่าในคาบ 15 นาทีแรก จะใช้พลังงานไปทั้งหมด  $(60 \times \frac{1}{4}) + (30 \times \frac{1}{4}) = 22.5$  หน่วย คิดเป็นความต้องการกำลังไฟฟ้าได้

$$4 \times 22.5 = 90 \text{ กิโลวัตต์ และคาบ 15 นาทีต่อมา จะใช้พลังงานไปทั้งหมด } (60 \times \frac{5}{60}) + (6 \times \frac{1}{4}) = 6.5$$

หน่วยแปลงเป็นความต้องการกำลังไฟฟ้าได้  $4 \times 6.5 = 26$  กิโลวัตต์ แสดงให้เห็นว่าถ้าเลื่อนเวลาทำงานของอุปกรณ์ 2 ตัวนี้ให้เหมาะสมสามารถทำให้ความต้องการกำลังไฟฟาลดลงจาก 90 กิโลวัตต์มาอยู่ที่ประมาณ  $\frac{90 + 26}{2} = 58$  กิโลวัตต์ได้ ลดลงไปประมาณ 32 กิโลวัตต์



รูปที่ 1.60 การจัดการทำงานในรูปแบบที่ 2

รูปที่ 1.60 แสดงรูปแบบการจัดการการทำงานของอุปกรณ์รูปแบบที่ 2 พบว่าในคาบ 15 นาทีแรกจะใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งหมด  $(60 \times \frac{10}{60}) + (30 \times \frac{7.5}{60}) + (6 \times \frac{7.5}{60}) = 14.5$  หน่วย คิดเป็นความต้องการกำลังไฟฟ้าได้  $4 \times 14.5 = 58$  กิโลวัตต์ และคาบ 15 นาทีที่ 2 จะใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งหมด  $(60 \times \frac{10}{60}) + (6 \times \frac{7.5}{60}) + (30 \times \frac{7.5}{60}) = 14.5$  หน่วย คิดเป็นความต้องการกำลังไฟฟ้าได้  $4 \times 14.5 = 58$  กิโลวัตต์ ซึ่งเท่ากับที่คิดได้จากคาบ 15 นาทีแรก

6) กลุ่มที่กำหนดเวลาทำงานที่แน่นอนไม่ได้

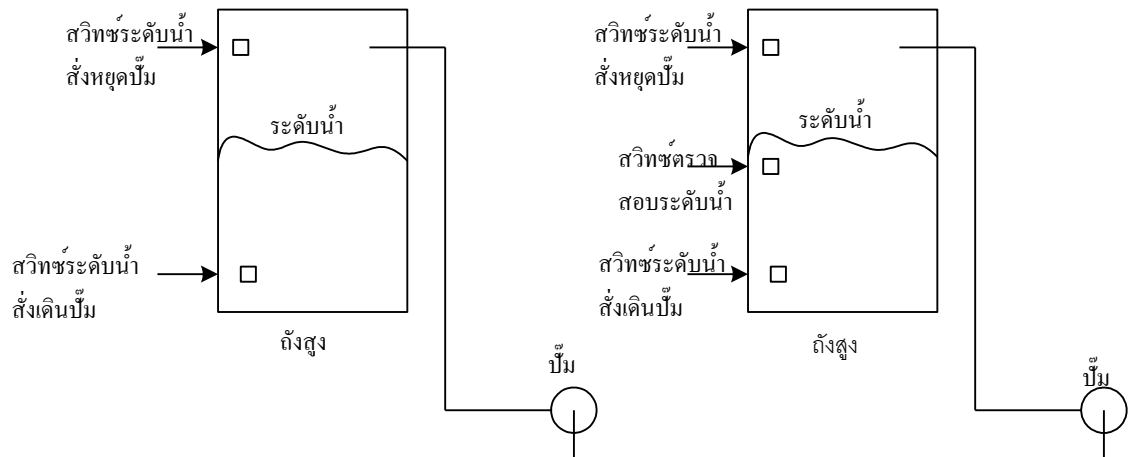
- เป็นอุปกรณ์ที่การทำงานไม่เป็นวัฏจักร ตัวอย่างอุปกรณ์ในสำนักงานได้แก่ลิฟต์ บันไดเลื่อน
- ทำการสำรวจ แล้วแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ควบคุมการทำงานซ้อนไม่ได้กับกลุ่มที่ควบคุมการทำงานซ้อนได้

7) ควบคุมการทำงานซ้อนไม่ได้

- การควบคุมการทำงานซ้อน คือ การควบคุมเพิ่มเติมจากสภาพการทำงานตามปกติ
- กลุ่มอุปกรณ์ที่ไม่สามารถควบคุมการทำงานซ้อนได้ เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายในการทำงาน หรือสภาพการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น ขณะที่ลิฟต์หรือบันไดเลื่อนกำลังทำงานอยู่ตามปกติ คงไม่สามารถสั่งหยุดการทำงานกะทันหันได้

8) ควบคุมการทำงานซ้อนได้

- อุปกรณ์กลุ่มนี้จะเป็นอุปกรณ์เป้าหมายที่ใช้ในการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาวิกฤตที่จะเกิดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ เป็นอุปกรณ์อะไรก็ได้ที่เมื่อมีการควบคุมซ้อนเพิ่มเติมเข้าไปจากการควบคุมหลักแล้วไม่เกิดผลเสียในการทำงาน ตัวอย่างเช่น ปั๊มน้ำขึ้นถึงสูง หากน้ำในถังมีระดับสูงพอสมควร เราสามารถสั่งหยุดปั๊มชั่วคราวซ้อนจากการทำงานตามสภาพปกติได้



รูปที่ 1.61 การควบคุมชั้นในระบบปั๊มน้ำขึ้นถึงสูง

## 9) ควบคุมแบบเปิด – ปิด

- การควบคุมแบบนี้คือการสั่งเปิดหรือปิดอุปกรณ์ โดยใช้คอนแทคเตอร์เป็นตัวตัด – ต่ วงจร อุปกรณ์ เช่น การควบคุมมอเตอร์ปั๊ม
- การควบคุมแบบนี้คือการสั่งเปิดหรือปิดอุปกรณ์แบบง่ายไม่ซับซ้อนใช้อุปกรณ์ไม่มาก แต่อาจเกิดผลเสียหากมีการตัด-ต่อวงจรบ่อย ๆ อาจทำให้อุปกรณ์อายุสั้นได้

## 10) ควบคุมแบบปรับระดับการทำงาน

- การควบคุมแบบนี้ใช้เงื่อนไขว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าคิดมาจาก 4 เท่าของปริมาณพลังงานที่ใช้ในเวลา 15 นาที หากในช่วงดังกล่าวสามารถสั่งให้อุปกรณ์ใช้พลังงานลดลง 1 หน่วย ก็จะลดความต้องการกำลังไฟฟ้าได้ 4 กิโลวัตต์
- การควบคุมแบบนี้มีความซับซ้อนและใช้อุปกรณ์เสริมมากกว่าแบบเปิด – ปิด ธรรมดา แต่ให้ ข้อดี คือ เป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง ไม่มีผลกับอายุของอุปกรณ์
- ตัวอย่างการควบคุมแบบนี้ ได้แก่ การใช้อุปกรณ์หรี่แสงในระบบไฟฟ้าแสงสว่างการใช้ระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ขับปั๊ม พัดลม เครื่องอัดอากาศ เครื่องทำความเย็น สายพานลำเลียง เป็นต้น

## 1.8 ตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor)

ในการพิจารณาเพื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับคำว่าตัวประกอบโหลด (Load factor) เสียก่อน ตัวประกอบโหลดเป็นค่าที่ได้จากการวัดความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลด} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในเดือน (kWh)}}{\text{พลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในเดือน (kW)}} \times 100\%$$

หรือ ตัวประกอบโหลด

$$= \frac{\text{จำนวนหน่วยที่ใช้ทั้งหมดใน 1 เดือน (kWh)}}{\text{พลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในเดือน (kW) x จำนวนชั่วโมงใน 1 เดือน (h)}} \times 100\%$$

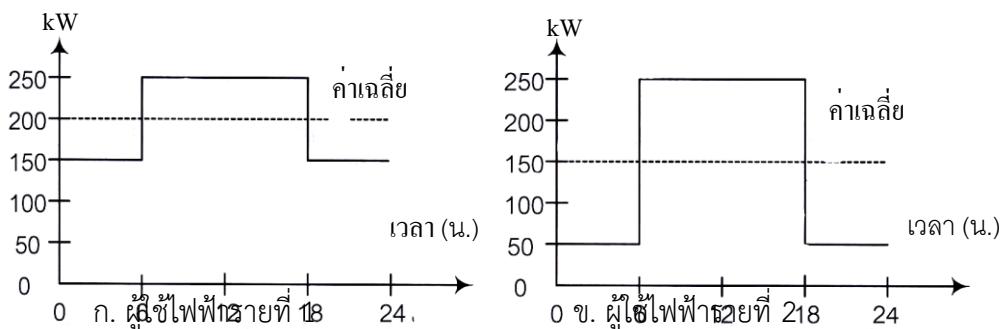
พิจารณาสมการตัวประกอบโหลด จะเห็นว่าตัวแปรที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ตัวประกอบโหลดสูงหรือต่ำจะมีอยู่ 2 ตัวคือ จำนวนหน่วยพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง) และจำนวนกิโลวัตต์สูงสุดหรือความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีการที่จะเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้นสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

(1) ลดจำนวนค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ลง

(2) ปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีความสม่ำเสมอในการใช้งาน เพื่อลดการใช้จำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมงลง เช่น สลับการทำงาน แบ่งกะในการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดความสมดุลกับจำนวนความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ทำให้เพิ่มค่าตัวประกอบโหลด ส่งผลโดยตรงต่อค่าไฟฟ้าที่ลดลง

เป็นการทราบกันโดยทั่วไปว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายมีการใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ผู้ใช้ไฟฟ้าบางกลุ่มจะใช้ไฟฟ้าค่อนข้างจะสม่ำเสมอตลอดเวลา ในขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าอีกกลุ่มหนึ่งอาจใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การที่จะบอกว่าผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอหรือเปลี่ยนแปลงมากสามารถบอกได้โดยใช้ตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าหรือโหลดแฟกเตอร์โดยตัวย่อว่า LF



รูปที่ 1.62 ความต้องการกำลังไฟฟ้าค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนด

ตัวอย่าง 1.15 โหลดแฟกเตอร์ในช่วงเวลา 1 วันของผู้ใช้ไฟฟ้า 2 ราย ที่มีรูปแบบการใช้ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.62 สามารถหาได้ดังนี้

ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ 1 มีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่าเฉลี่ยเป็น 200 kW และมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่าสูงสุดเป็น 250 kW จึงได้

$$LF (\%) = \frac{200 \times 100}{250} = 80\%$$

ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ 2 มีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่าเฉลี่ยเป็น 150 kW และมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่าสูงสุดเป็น 250 kW จึงได้

$$LF (\%) = \frac{150 \times 100}{250} = 60\%$$

การพิจารณาตัวประกอบโหลดรายเดือนก็เพื่อที่จะทราบศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ตัวอย่างเช่น โรงงานแห่งหนึ่งทำงาน 24 ชั่วโมง มีตัวประกอบโหลดรายเดือน 60% แต่ตัวประกอบ

โหลดรายเดือนที่เหมาะสมควรมีไม่น้อยกว่า 80% จึงควรหาวิธีปรับปรุง ตัวประกอบโหลดของโรงงานต่อไป ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตัวประกอบโหลดรายวัน โดยเริ่มจากช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าสูง และช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าต่ำในแต่ละวัน ส่วนในการพิจารณาตัวประกอบโหลดรายวันนั้น ก็เพื่อที่จะใช้ในการวางแผนดำเนินการ ซึ่งจะต้องพิจารณาควบคู่กับตัวประกอบโหลดประจำสัปดาห์ เช่นบางโรงงานสามารถจัดให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างต่อเนื่องใน 7 วัน

#### การคำนวณหาค่าตัวประกอบโหลดรายวัน

**ตัวอย่างที่ 1.16** โรงงานแห่งหนึ่งทำงาน 16 ชั่วโมง มีการบันทึกปริมาณพลังงานไฟฟ้าทุกๆ ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ปรากฏดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 1.20 การบันทึกปริมาณพลังงานไฟฟ้า

| เวลา | ปริมาณพลังงานไฟฟ้า | เวลา  | ปริมาณพลังงานไฟฟ้า | เวลา  | ปริมาณพลังงานไฟฟ้า |
|------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|
| 0-1  | 50                 | 8-9   | 350                | 16-17 | 650                |
| 1-2  | 50                 | 9-10  | 450                | 17-18 | 400                |
| 2-3  | 50                 | 10-11 | 450                | 18-19 | 400                |
| 3-4  | 50                 | 11-12 | 450                | 19-20 | 400                |
| 4-5  | 50                 | 12-13 | 200                | 20-21 | 350                |
| 5-6  | 50                 | 13-14 | 450                | 21-22 | 350                |
| 6-7  | 50                 | 14-15 | 650                | 22-23 | 240                |
| 7-8  | 200                | 15-16 | 650                | 23-24 | 50                 |
| รวม  |                    |       |                    |       | 7040               |

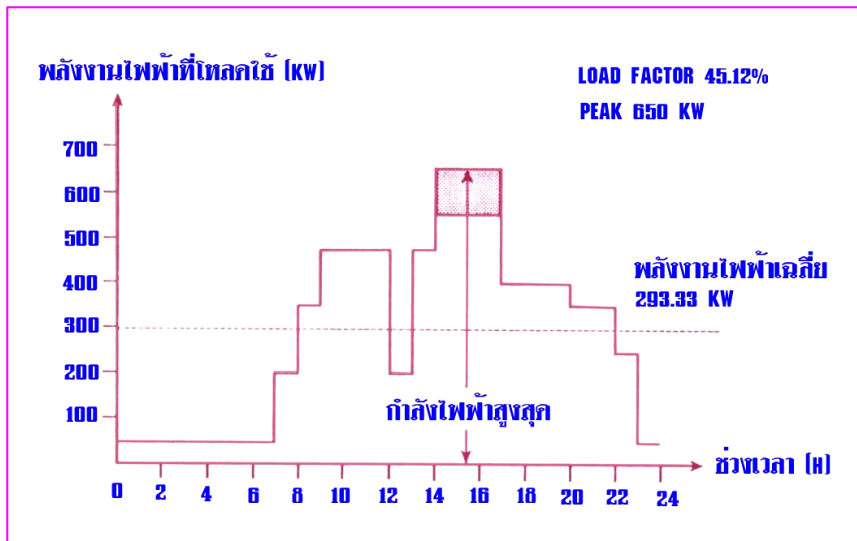
จากตารางข้างบนนี้ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 7,040 kWh

$$\text{พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้} = \frac{7,040}{24} = 293.33 \text{ kW}$$

$$\text{ตัวประกอบโหลดรายวัน} = \frac{293.33}{650} \times 100 = 45.12\%$$

#### การเขียนกราฟโหลด (Load curve)

นำผลจากการบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงมาจัดทำกราฟโหลดจะเห็นว่าในช่วงเวลา 0.00 – 24.00 น. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 50 kWh หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ในช่วงเวลานั้นมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 50 kW นั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลามาจัดทำเป็นกราฟโหลดได้ ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้ทราบโครงสร้างการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 1.63



รูปที่ 1.63 กราฟโหลด (Load curve)

#### วิธีหาค่าตัวประกอบโหลดรายวันที่เหมาะสม

ค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับชั่วโมงปฏิบัติงานของโรงงาน ถ้าทำงานวันละ 24 ชั่วโมง ค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสมควรมีค่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

ถ้าทำงานวันละ 16 ชั่วโมง ค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสมจะมีค่า

$$= \frac{16}{24} \times 80$$

$$= 53.33 \%$$

และถ้าทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสมจะมีค่า

$$= \frac{8}{24} \times 80$$

$$= 26.67 \%$$

ดังนั้น เมื่อสามารถหาค่าตัวประกอบโหลดรายวันที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้แล้ว วิธีที่จะหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้

จากตารางการบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงในตัวอย่างที่ 1.17 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้เท่ากับ 650 kWh หรือจำนวนกิโลวัตต์สูงสุดเท่ากับ 650 kW ดังนั้น ศักยภาพที่จะลดค่าจำนวนกิโลวัตต์สูงสุดลงมาให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมได้โดยใช้สูตรตัวประกอบโหลดรายวัน ดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลดรายวัน} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (kWh)}}{\text{พลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ 24 ชั่วโมง (kW)}} \times 100\%$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดใน 24 ชั่วโมง} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (kW)}}{\text{ตัวประกอบโหลดรายวัน}} \times 100\%$$



จากตัวอย่างที่ 1.17 พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง = 293.33 kW โรงงานทำงานวันละ 16 ชั่วโมง  
ค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสม = 53.33%

$$\text{พลังงานไฟฟ้าสูงสุดใน 24 ชั่วโมง} = \frac{293.33}{53.33} \times 100\%$$

$$= 550 \text{ kW}$$

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสมมีค่า 550 kW

## สรุป

การประหยัดพลังงานในสถานะปัจจุบันนี้ นับว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกฝ่ายต้องร่วมมือกันอย่างจริงจัง ทั้งนี้ก็เพราะว่าทั่วโลกเริ่มขาดแคลนพลังงานมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศจำนวนมากมาผลิตพลังงานไฟฟ้า

วิธีการ และแนวทางแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นวิธีหนึ่งที่โรงงานอุตสาหกรรม/ อาคาร สามารถนำไปใช้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้มาก แต่ต้องมีการลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ซึ่งนับว่าเป็นการลงทุนที่สูงพอสมควร โดยเฉพาะในบางหน่วยงานที่มีความจำเป็นในการแก้ปัญหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า หรือพยายามให้เกิดน้อยที่สุด มักใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาควบคุมและประมวลผล เพื่อควบคุมอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ส่งผลให้การทำงานเป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งยังสามารถพัฒนาระบบได้ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งเป็นผลดีกับเครือข่ายตั้งแต่ขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ การดำเนินการจึงจะต้องทำการพิจารณาอย่างรอบคอบ แต่อย่างไรก็ตามในระยะยาวแล้วการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้านับเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและน่าสนใจมาก

ค่าธรรมเนียมที่คิดจากค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดของเดือนนั้น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีหน่วยบาทต่อกิโลวัตต์ ถูกกำหนดโดยต้นทุนที่ใช้ในการสร้างโรงไฟฟ้า ระบบส่ง และจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าจึงมีความแตกต่างกันในแต่ละประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้า และตามช่วงเวลาของวัน ซึ่งการกำหนดให้มีโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าแตกต่างกันตามประเภทผู้ใช้ ไฟฟ้า เพื่อต้องการให้อัตราค่าไฟฟ้าสอดคล้องกับลักษณะของการใช้ไฟฟ้าและเพื่อสะท้อนถึงต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด รวมทั้งส่งเสริมให้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งให้มีการใช้ไฟฟ้าน้อยลงในช่วงความต้องการสูงสุด

## 1.9 กรณีศึกษา (Case studies)

### กรณีศึกษาที่ 1 การปลดแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงในขณะที่ไม่มีโหลด

โรงงานแห่งหนึ่งมีเวลาการปฏิบัติงานเพียงวันละ 8 ชม. ดังนั้นถ้าเราสามารถลดการใช้งานหม้อแปลง 1000 kVA ทั้ง 2 ตัวออกในช่วงที่ไม่ปฏิบัติงาน โดยให้เหลือหม้อแปลง 500 kVA เพื่อใช้สำหรับด้านแสงสว่าง การลดการใช้งานหม้อแปลงเป็นการลด Core loss ซึ่งมีค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับขนาดของโหลดแต่ขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง ในกรณีนี้สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ประมาณ 22,159 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 61,028 บาท/ปี

#### วิธีการคำนวณ

จากตารางคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส (ดูตารางที่ 1.26) ขนาด 1000 kVA มี Core loss เท่ากับ 1.90 kW ดังนั้น เมื่อตัดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงออกขณะไม่ใช้งาน จะทำให้สามารถประหยัดไฟฟ้า (Core loss) ลดลงได้ดังนี้คือ

ตอนที่ 3 บทที่ 1 ระบบการจ่าย และควบคุมไฟฟ้าในโรงงานอาคาร

$$\begin{aligned}\text{Core loss ลดลง} &= (\text{Core loss} \times \text{จำนวนหม้อแปลง}) \times \text{ชม.ที่ไม่ปฏิบัติงานใน 1 ปี} \\ &= (1.90 \times 2) \times 16 \times 365 \\ &= 22,192 \text{ kWh/ปี}\end{aligned}$$

$$\text{ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} = 2.75 \text{ บาท/เดือน}$$

$$\text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} = 61,028 \text{ บาท/ปี}$$

สำหรับการปลดแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

- 1) ใช้ไม้ชัก Drop fuse ขณะหยุดปฏิบัติงาน
- 2) ติดตั้ง High Voltage Circuit Breaker

**กรณีศึกษาที่ 2** การย้ายโหลดของหม้อแปลงที่มีโหลดน้อยมารวมกันเพื่อเพิ่มโหลดแพกเตอร์

โรงงานแห่งหนึ่งมีผลจากการวัดโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 พบว่ามีการใช้งานต่ำกว่าขนาดพิกัดของหม้อแปลงมาก ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวมีค่าต่ำ เกิดการสูญเสียไฟฟ้า (Core loss) จำนวนมาก ดังนั้น ถ้าสามารถตัดหม้อแปลงตัวที่ 2 ขนาด 1,000 kVA ออกจากระบบ และนำโหลดของหม้อแปลงตัวที่ 2 มารวมที่หม้อแปลงตัวที่ 1 วิธีนี้การนี้มีผลทำให้โรงงานสามารถลดความสูญเสียในหม้อแปลงได้ 9,732.1 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 26,763.27 บาท/ปี

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned}\text{Core loss ของ Tr}_2 \text{ ลดลง} &= \text{Core loss} \times \text{ชม. ใน 1 ปี} \\ &= 1.9 \times 24 \times 365 \\ &= 16,644 \text{ kWh/ปี}\end{aligned}$$

$$\text{Copper loss ของ Tr}_2 \text{ ลดลง} = \text{Copper loss ตัวที่ 2} \times \left( \frac{\text{kVA}_{\text{act Tr}_2}}{\text{KVA}_{\text{rate Tr}_2}} \right)^2 \times \text{ชม.ปฏิบัติงานใน 1 ปี}$$

สำหรับ Copper loss ของ Tr<sub>2</sub> ดูได้จากตารางคุณสมบัติของหม้อแปลงขนาด 1000 kVA ซึ่งเท่ากับ 13.5 kW

$$= 13.5 \times \left( \frac{242}{1000} \right)^2 \times 8 \times 300$$

$$\text{Copper loss ของ Tr}_2 \text{ ลดลง} = 1,897.5 \text{ kWh/ปี}$$

เมื่อนำโหลดของ Tr<sub>2</sub> คือ 100 – j220 มารวมกับหม้อแปลง Tr<sub>1</sub> จะเพิ่มโหลดของ Tr<sub>1</sub> จาก 300 – j350 เป็น 400 – j570 = 696 kVA มีผลทำให้ Copper loss ใน Tr<sub>1</sub> เพิ่มขึ้น

$$\text{Copper loss ของ Tr}_2 \text{ ลดลง} = \text{Copper loss Tr}_1 \times \left\{ \left( \frac{\text{kVA actual Tr}_1 \text{ ที่เพิ่มขึ้น}}{\text{kVA rated Tr}_1} \right)^2 - \left( \frac{\text{kVA actual Tr}_1 \text{ เดิม}}{\text{kVA rated Tr}_1} \right)^2 \right\}$$

x ชม.ปฏิบัติงานใน 1 ปี

$$= 13.5 \times \left\{ \left( \frac{696}{1000} \right)^2 - \left( \frac{461}{1000} \right)^2 \right\} \times 8 \times 300$$

$$= 8,809.4 \text{ kWh/ปี}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Loss ที่ลดลงทั้งหมด} &= 16644 + 1897.5 - 8809.4 \\
 &= \text{Core loss (Tr}_2\text{)} + \text{Copper loss (Tr}_2\text{)} - \text{Copper loss (Tr}_1\text{ ที่เพิ่มขึ้น)} \\
 &= 9,732.1 \quad \text{kWh/ปี} \\
 \text{ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} &= 2.75 \quad \text{บาท/kWh} \\
 \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 26,763.27 \quad \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

### กรณีศึกษาที่ 3 การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในระดับเหมาะสม

จากการวัดแรงดันด้านทุติยภูมิที่หม้อแปลง Tr<sub>1</sub> และ Tr<sub>2</sub> มีค่า 400 V และจุดที่ไกลที่สุดจากหม้อแปลงแต่ละตัวมีค่า 392 V หม้อแปลงที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง Core loss ในตัวหม้อแปลงจะสูงตาม นอกจากนี้ยังทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้ในโรงงานต่ำอายุการใช้งานสั้น ดังนั้นถ้าสามารถลดค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิลงมาเหลือ 390 V จะทำให้โรงงานสามารถลดความสูญเสียในหม้อแปลงได้ 1,729 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด 4,754.75 บาท/ปี

#### วิธีการคำนวณ

เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิให้เท่ากับแรงดันไฟฟ้าปกติของ Machine จะทำให้ Core loss ลดลง เมื่อ V<sub>1</sub> = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จริงด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

$$\text{Core loss ของ Tr}_1 \text{ และ Tr}_2 \text{ ลดลง} = \text{Core loss} \times \left\{ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 - 1 \right\} \times \text{ชม. ใน 1 ปี} \times \text{จำนวนหม้อแปลง}$$

เมื่อ V<sub>1</sub> คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จริงด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง  
V<sub>2</sub> คือ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแก้ไข

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังไฟฟ้าลดลง} &= 1.9 \times \left\{ \left( \frac{400}{390} \right)^2 - 1 \right\} \times 24 \times 365 \times 2 \\
 &= 1,729 \quad \text{kWh/ปี} \\
 \text{Core loss ของ Tr}_1 \text{ และ Tr}_2 &= 1,729 \quad \text{kWh/ปี} \\
 \text{ราคาไฟฟ้าเฉลี่ย} &= 2.75 \quad \text{บาท/kWh} \\
 \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 4,754.75 \quad \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

### การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลง

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลงเป็นการช่วยลดการสูญเสียภายในหม้อแปลงทำให้หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีควรติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เช่น ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ไว้ในตำแหน่งที่ใกล้กับโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

#### กรณีศึกษาที่ 4 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลง

จากโหลดของหม้อแปลง  $Tr_1$  และ  $Tr_2$  จะเห็นว่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ค่อนข้างต่ำมากคือ 0.65 และ 0.41 ตามลำดับ ควรที่จะทำการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้สูงขึ้นเป็น 0.9 โดยติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนาด 200 kVAr ที่หม้อแปลง  $Tr_1$  และ 180 kVAr ที่หม้อแปลง  $Tr_2$  ซึ่งจะทำให้ Copper loss ของหม้อแปลง ทั้ง 2 ตัวลดลง โรงงานสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 4,835 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 13,296.25 บาท/ปี

#### วิธีคำนวณ

โหลด  $Tr_1 = 300 - j350$  มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) 0.65 เมื่อแก้ไขเป็น 0.9 โหลดของ  $Tr_1$  กลายเป็น  $300 - j145$  โดยต้องติดตั้งคาปาซิเตอร์ประมาณ 200 kVAr

โหลด  $Tr_2 = 100 - j220$  มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.41 เมื่อแก้ไขเป็น 0.9 โหลดของ  $Tr_2$  กลายเป็น  $100 - j48$  โดยต้องติดตั้งคาปาซิเตอร์ประมาณ 180 kVAr

เมื่อแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์แล้ว กระแสและ Copper loss ในตัวหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวจะลดลง

$$\begin{aligned} \text{กระแสที่ PF 0.65 ของ } Tr_1 &= \frac{\text{kW} \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos\Phi} \\ &= \frac{300 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.65} \\ &= 666 \text{ A} \end{aligned}$$

สำหรับกระแสที่ PF 0.9 ของ  $Tr_1 = 481 \text{ A}$  (คำนวณเช่นเดียวกับข้างบน)

$$\text{Copper loss } Tr_1 \text{ ที่ลดลง} = \text{Copper loss } Tr_1 \times \left\{ \left( \frac{I_{PF0.65}}{I_{rated}} \right)^2 - \left( \frac{I_{PF0.9}}{I_{rated}} \right)^2 \right\} \times \text{ชม.ปฏิบัติงานใน 1 ปี}$$

หม้อแปลงขนาด 1000 kVA ประสิทธิภาพ 87% พิกัดกระแส ( $I_{rated}$ ) มีค่าเท่ากับ 1,443 A หาได้จาก

$$I_{rated} = \frac{\text{kW} \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos\Phi}$$

$$\text{kVA} = \frac{\text{kW}}{\cos\Phi}$$

$$I_{rated} = \frac{\text{kVA} \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น Copper loss } Tr_1 \text{ ที่ลดลง} &= 13.5 \times \left\{ \left( \frac{666}{1443} \right)^2 - \left( \frac{481}{1443} \right)^2 \right\} \times 8 \times 300 \\ &= 3302 \text{ kWh/ปี} \end{aligned}$$

สำหรับ Copper loss  $Tr_2$  ที่ลดลง = 1,533 kWh/ปี (คำนวณเช่นเดียวกับข้างบน)

|                                 |   |                                         |
|---------------------------------|---|-----------------------------------------|
| Copper loss ที่ลดลงทั้งหมด      | = | Copper loss $Tr_1$ + Copper loss $Tr_2$ |
|                                 | = | 4,835 kWh/ปี                            |
| รวมค่าไฟฟ้าเฉลี่ย               | = | 2.75 บาท/kWh                            |
| รวมเป็นเงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด | = | 13,296.25 บาท/ปี                        |

### การเลือกใช้หม้อแปลงชนิดประสิทธิภาพสูง

ในกรณีที่โรงงานกำลังพิจารณาซื้อหม้อแปลงใหม่ ควรเลือกซื้อชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง หรือเป็นแบบประหยัดพลังงาน ซึ่งจะมีการสูญเสียใน Core loss ต่ำกว่าแบบธรรมดา และควรเลือกขนาดที่เหมาะสมกับโหลด หากพิจารณาคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะแปรผันตามค่าโหลด ดังนั้นถ้าโรงงานจะซื้อหม้อแปลงขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้โหลดแฟคเตอร์ต่ำและประสิทธิภาพก็ต่ำด้วย ในขณะเดียวกันหากโหลดไฟฟ้าของสถานประกอบการมีค่าสูงในระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง เวลาที่เหลือของวันหนึ่งๆ มีโหลดน้อยมาก ดังนั้น การเลือกใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูงจะทำให้ประหยัดพลังงานได้มาก

ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตได้ออกแบบหม้อแปลงชนิดประสิทธิภาพสูง ซึ่งก็คือหม้อแปลงที่มีค่ากำลังสูญเสียน้อยเมื่อมีโหลดต่ำดังในตารางที่ 1.21

ตารางที่ 1.21 เปรียบเทียบหม้อแปลงแบบ Dry type cast resin ชนิดที่มีกำลังสูญเสียปกติ (Standard loss) และชนิดประหยัดพลังงาน (High efficiency) ใช้กับระบบแรงดันไฟฟ้า 22kV/400-230 V

| kVA  | Rate A Voltage (kV/V) | Loss (W)  |             | % Loss    |             | Eff%  |
|------|-----------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
|      |                       | Core loss | Copper loss | Core loss | Copper loss |       |
| 50   | 22 / 400              | 210       | 1050        | 0.17      | 0.83        | 97.48 |
| 100  | 22 / 400              | 340       | 1750        | 0.16      | 0.84        | 97.91 |
| 160  | 22 / 400              | 480       | 2350        | 0.17      | 0.83        | 98.23 |
| 250  | 22 / 400              | 670       | 3252        | 0.17      | 0.83        | 98.43 |
| 315  | 22 / 400              | 900       | 3900        | 0.19      | 0.82        | 98.47 |
| 400  | 22 / 400              | 980       | 4600        | 0.18      | 0.83        | 98.60 |
| 500  | 22 / 400              | 1150      | 5500        | 0.17      | 0.83        | 98.77 |
| 630  | 22 / 400              | 1350      | 6500        | 0.17      | 0.83        | 98.75 |
| 800  | 22 / 400              | 1600      | 11000       | 0.13      | 1.87        | 98.43 |
| 1000 | 22 / 400              | 1900      | 13500       | 0.12      | 0.88        | 98.56 |
| 1250 | 22 / 400              | 2300      | 16400       | 0.12      | 0.88        | 98.50 |
| 1500 | 22 / 400              | 2800      | 19800       | 0.12      | 0.88        | 98.50 |
| 2000 | 22 / 400              | 3250      | 24000       | 0.12      | 0.88        | 98.63 |

ที่มา : การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ,2541

### กรณีศึกษาที่ 5 การปรับปรุงขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

พิจารณาจากการสูญเสียอย่างหม้อแปลงชนิดธรรมดาขนาด 1000 kVA และ 630 kVA ที่โหลด 350 kW หรือ 412 kVA ที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.85 และปฏิบัติงานวันละ 8 ชม. จำนวน 300 วันต่อปี

หม้อแปลงขนาด 1000 kVA

$$\begin{aligned}\text{Core Loss} &= \text{Core Loss} \times \text{ชม. ใน 1 ปี} \\ &= 1.9 \times 24 \times 365 \\ &= 16,644 \text{ kWh/ปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Copper loss} &= \text{Copper loss} \times \left( \frac{\text{kVA}_{\text{act}}}{\text{KVA}_{\text{rate}}} \right)^2 \times \text{ชม.ปฏิบัติงานใน 1 ปี} \\ &= 13.5 \times \frac{412^2}{1000} \times 8 \times 300 \\ &= 5,500 \text{ kWh/ปี}\end{aligned}$$

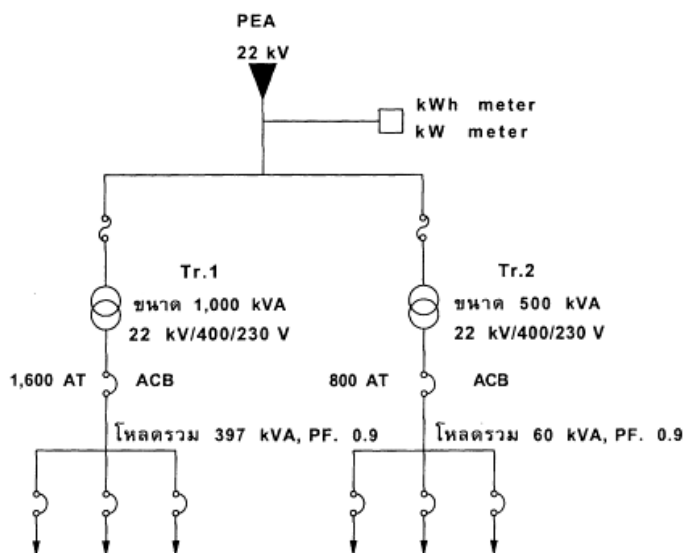
$$\text{Loss ทั้งหมด} = 22,144 \text{ kWh/ปี}$$

หม้อแปลงขนาด 630 kVA มีการสูญเสีย (Loss) ทั้งหมด = 18,493 kWh/ปี (คำนวณเช่นเดียวกับข้างบน) ถ้าเลือกใช้หม้อแปลงขนาด 630 kVA แทนหม้อแปลงขนาด 1000 kVA จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 3,646 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 10,026.5 บาท/ปี (kWh ละ 2.75 บาท)

ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง ควรจะมีการพิจารณาขนาด และประสิทธิภาพของหม้อแปลงให้มีขนาดที่เหมาะสมกับโหลด และมีประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนการจัดหม้อแปลงให้สามารถหยุดได้เป็นส่วนๆ และตัดหม้อแปลงออกจากระบบในกรณีที่ไม่มีโหลด ทั้งนี้ต้องไม่กระทบกระเทือนต่อการผลิตภายในโรงงานด้วย

### กรณีศึกษาที่ 6 การยกเลิกการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

พิจารณาการย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกัน ภายหลังจากการตัดหม้อแปลงไฟฟ้าบางตัวออกจากระบบไฟฟ้าแรงดันสูงอย่างถาวร การสูญเสียโดยรวมก็จะลดลงโรงงานแห่งหนึ่งมีหม้อแปลงอยู่ 2 ตัว ดังรูปที่ 9 โดยที่หม้อแปลง แต่ละตัวมีขนาดและจ่ายโหลดแตกต่างกัน คือ หม้อแปลงขนาด 1000 kVA จ่ายโหลด 397 kVA, PF = 0.9, หม้อแปลงขนาด 500 kVA จ่ายโหลด 60 kVA, PF = 0.9



รูปที่ 1.64 Single line diagram ของโรงงานที่มีหม้อแปลง 2 ตัว

จากระบบไฟฟ้าในรูปที่ 1.64 ถ้าหม้อแปลงทั้งสองตัวมีการจ่ายโหลดสูงสุดขณะทำการผลิตปกติมีค่าดังที่กำหนดไว้ในรูปแล้วหม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดดังนี้คือ

$$\text{หม้อแปลง TR1 : รับโหลดเทียบกับพิกัด} = \frac{397 \text{ kW} \times 100}{1000 \text{ kVA}} = 39.7\%$$

$$\text{หม้อแปลง TR2 : รับโหลดเทียบกับพิกัด} = \frac{60 \text{ kVA} \times 100}{500 \text{ kVA}} = 12\%$$

ข้อเสนอแนะ ทางโรงงานควรตัดหม้อแปลงหมายเลข 2 ออกจากระบบแล้วย้ายโหลดที่ตัดออกไปรวมที่หม้อแปลงหมายเลข 1 จากการรวมโหลดของหม้อแปลงทั้งสองตัวจะได้โหลดรวม

$$= 397 + 60 = 457 \text{ kVA}$$

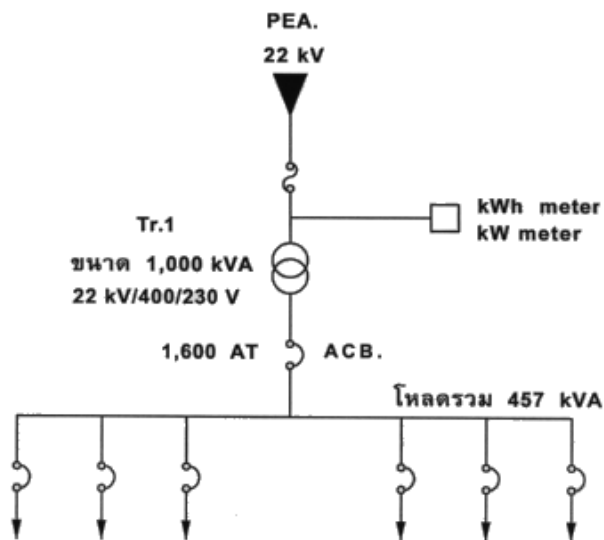
ซึ่งหม้อแปลงหมายเลข 1 ยังสามารถที่จะจ่ายโหลดรวมที่เกิดขึ้นได้อย่างปกติ คิดเป็นภาระใช้งานหม้อแปลงตัวที่ 1 ภายหลังจากรวมโหลด เมื่อเทียบกับพิกัด

$$= \frac{457 \text{ kVA}}{1000 \text{ kVA}} \times 100 = 45.7\%$$

แต่ในการย้ายโหลดจะต้องคำนึงถึงระยะทาง และตำแหน่งติดตั้งระหว่างหม้อแปลงทั้งสองตัวเนื่องจากจะต้องมีการเพิ่มสายไฟทางด้านแรงดันต่ำที่เชื่อมโยงระหว่างโหลด ที่ย้ายไปรวมกับหม้อแปลง รวมทั้งขนาดของอุปกรณ์ Switch gear ที่จะรองรับโหลดรวมทั้งหมดด้วย

### ผลที่ได้รับ

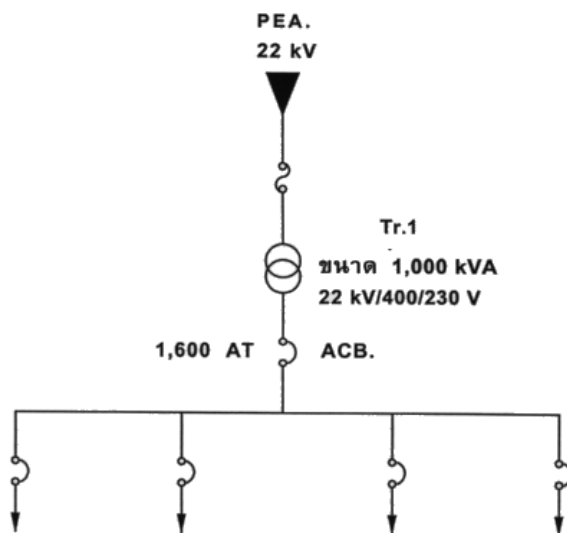
1. สามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กหม้อแปลงตัวที่ 2 ลงได้
2. สามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการจ่ายโหลดเดิม (60 kVA) ลงได้



รูปที่ 1.65 การรวมโหลดหลังจากมีการตัดหม้อแปลงบางตัวออกจากระบบไฟฟ้าแรงสูงอย่างถาวร

กรณีศึกษาที่ 7 การตัดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่ใช้งานออกจากระบบไฟฟ้าแรงดันสูงในช่วงเวลาที่ไม่ปฏิบัติงาน

โรงงานแห่งหนึ่งมีหม้อแปลงที่ใช้งานชั่วคราวอยู่ 1 ตัว ขนาด 1000 kVA พิจารณาจากรูปที่ 1.66 เนื่องจากหม้อแปลงนี้จ่ายโหลดต่อเนื่องกันเพียงแค่ 4 เดือน/ปี หลังจากนั้นก็จะถูกงดใช้งานอีก 8 เดือน/ปี เนื่องจากหม้อแปลงขณะที่ไม่มีโหลดจะมีค่าสูญเสียเกิดขึ้นในแกนเหล็ก (Iron loss) อยู่ประมาณ 1.9 kW ดังนั้น เมื่อตัดหม้อแปลงที่ไม่ได้จ่ายโหลดออกจากระบบ ก็จะสามารถลดความสูญเสียส่วนนี้ออกไปได้ ระยะเวลาที่หม้อแปลงตัวนี้ไม่ได้จ่ายโหลดนานถึง 8 เดือน/ปี หากทางโรงงาน ตัดหม้อแปลงตัวนี้ออกจากระบบไฟฟ้าแรงดันสูงและแรงดันต่ำในช่วง 8 เดือน/ปี



รูปที่ 1.66 One line diagram ของระบบไฟฟ้า



การสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลง =  $1.9 \times 24 \times 30 \times 8 = 10,944 \text{ kWh/ปี}$

ดังนั้นการตัดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่ใช้งานออกจากระบบ จะสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงได้ 10,944 kWh/ปี คิดเป็นเงินได้ประมาณ 30,096 บาท/ปี (kWh ละ 2.75 บาท)

การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า (ขนาดเท่ากัน) หลายตัวเข้าด้วยกัน (Banking)

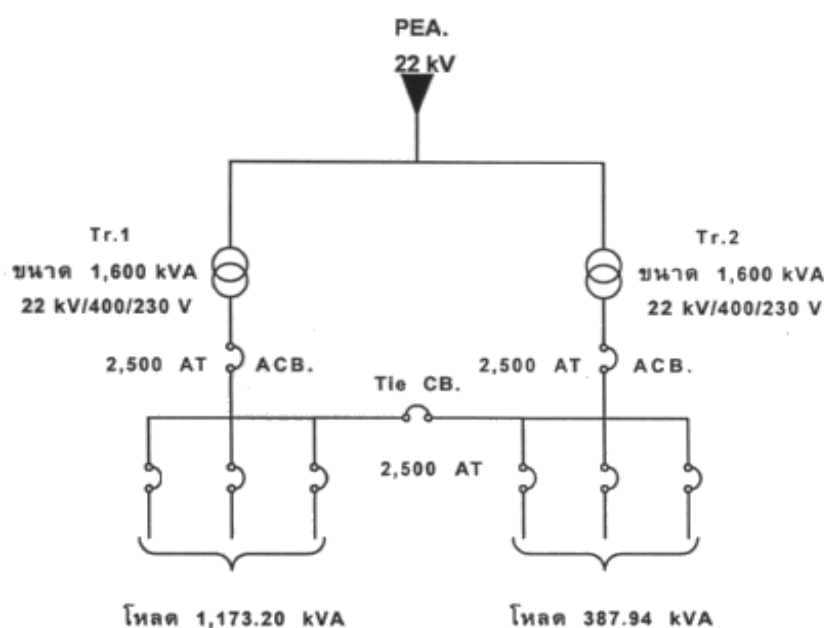
ในกรณีที่ทางผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น โรงงาน หรือ อาคารต่างๆ มีหม้อแปลง (ขนาดเท่ากัน) หลายตัวซึ่งอาจจะเกิดเนื่องจากการขยายกิจการ หรือขยายการใช้ไฟฟ้า ทำให้มีจำนวนหม้อแปลงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการใช้งานรวมสูงสุด (kVA) มีค่าสูงจนทำให้ ไม่สามารถตัดหม้อแปลงบางตัวออกจากระบบได้ ซึ่งการขนานหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน จะช่วยลดการสูญเสียโดยรวมได้ซึ่งเกิดขึ้นในหม้อแปลงแต่ละตัวได้

### กรณีศึกษาที่ 8 การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า (ขนาดเท่ากัน) หลายตัวเข้าด้วยกัน (Banking)

พิจารณาจากระบบไฟฟ้าในรูปที่ 1.67 หม้อแปลงทั้งสองตัวมีการจ่ายโหลดสูงสุด (ขณะทำการผลิต) ที่แตกต่างกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 1.67 ซึ่งอาจพิจารณาได้ดังนี้คือ

$$\text{หม้อแปลง TR1 : รับผิดชอบเทียบกับพิกัด} = \frac{1173.20}{1600} \times 100 = 73.33\%$$

$$\text{หม้อแปลง TR2 : รับผิดชอบเทียบกับพิกัด} = \frac{387.94}{1600} \times 100 = 24.25\%$$



รูปที่ 1.67 การขนานหม้อแปลงไฟฟ้าหลายตัวเข้าด้วยกัน

จากสภาพการใช้งานดังกล่าว จะเห็นได้ว่าทางโรงงานมีความจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงทั้ง 2 ตัวจ่ายโหลดในการผลิต ซึ่งพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหม้อแปลงทั้ง 2 ตัว ทางโรงงานไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

พิจารณาพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย เนื่องจากการจ่ายโหลด (Copper loss ซึ่งค่าสูญเสียนี้จะแปรตามปริมาณของโหลดที่หม้อแปลงต้องจ่าย) ของหม้อแปลงทั้ง 2 ตัว แสดงในตารางที่ 1.22

ตารางที่ 1.22 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากโหลด

| หม้อแปลง        | พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากโหลด “Copper loss” (kWh) |                        |                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                 | สภาพเดิม                                             | ภายหลังจากขนานหม้อแปลง | การเปลี่ยนแปลงภายหลังจากปรับปรุง |
| Tr <sub>1</sub> | 78,231.37                                            | 34,515.64              | ลดลง 43,715.73                   |
| Tr <sub>2</sub> | 8,556.85                                             | 34,515.64              | เพิ่มขึ้น 25,958.79              |
| รวม             | 86,788.22                                            | 69,031.28              | ลดลง 17,756.94                   |

หลังจากพิจารณาปรับปรุงระบบการจ่ายไฟฟ้าโดยการขนานหม้อแปลงแล้ว หม้อแปลงแต่ละตัวจะรับโหลดเฉลี่ยเท่าๆ กันประมาณ 779.14 kVA ผลที่ได้รับ สามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการจ่ายโหลดลงได้ 17,756.94 kWh/ปี คิดเป็นเงินได้ประมาณ 48,831.58 บาท/ปี (kWh ละ 2.75 บาท)

### 1.10 กิจกรรม (Activity)

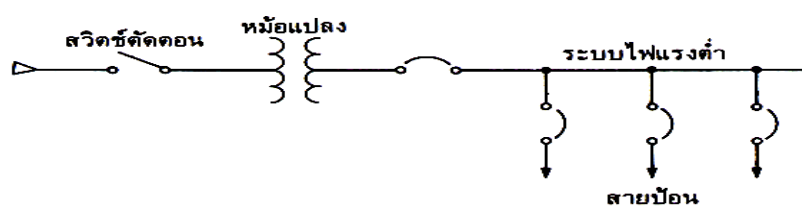
#### แบบฝึกหัด

1. จงวาดรูปแสดงการต่อใช้งานของระบบการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร แบบต่างๆ พร้อมทั้งอธิบายพอสังเขป
2. จงบอกวิธีการทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าพร้อมทั้งอธิบายพอสังเขป

#### เฉลยกิจกรรม

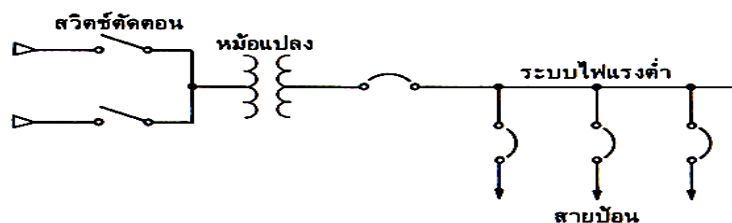
1. จงวาดรูปแสดงการต่อใช้งานของระบบการจ่ายไฟฟ้าในโรงงาน/อาคาร แบบต่างๆ พร้อมทั้งอธิบายพอสังเขป

**ตอบ** ระบบสายประธานเดี่ยว (Simple radial) เป็นระบบจ่ายไฟสายประธานเดี่ยว (Single primary service) และจ่ายเข้าหม้อแปลง จ่ายเข้าสายป้อน (Feeder) ทั้งหมด ดังรูป ข้อดีของระบบนี้คือ เป็นระบบที่ง่ายที่สุด ราคาถูกที่สุด ง่ายในการป้องกันการจลลัมดับเวลาการทำงาน (Co-ordinate) และอุปกรณ์ใช้งานทุกชิ้น ระบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานขนาดย่อมที่สามารถหยุดการผลิตได้



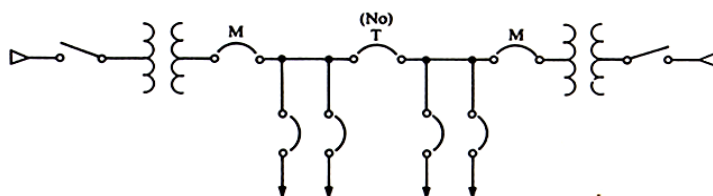
ระบบสายประธานเดี่ยว

**ระบบสายประธานคู่ (Primary selective radial)** เป็นระบบที่เหมือนกับสายประธานเดี่ยว เพียงแต่เพิ่มวงจรสำรองให้รับไฟเป็นวงจรคู่ ดังรูป ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องซ่อมแซมสายไฟฟ้าแรงสูงชุดหนึ่งชุดใด ข้อดีของระบบจ่ายไฟนี้คือ ระบบมีความน่าเชื่อถือดี



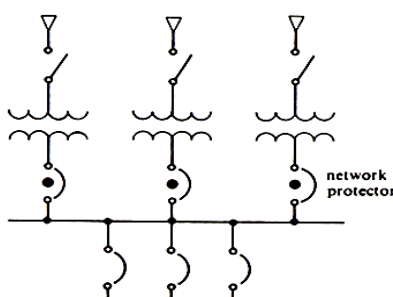
ระบบสายประธานคู่

**ระบบสายประธานสองชุด (secondary selective)** ระบบนี้จะทำงานเป็นแบบระบบสายประธานเดี่ยว 2 ชุด ดังรูป แต่ละชุดจะถูกเชื่อมโยง (Tie) ด้วยตัดตอนอัตโนมัติ (T) ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดเสียหาย ตัดตอนอัตโนมัติ (M) จะปลดวงจรชุดนั้น (Open) และตัดตอนอัตโนมัติเชื่อมโยง (T) จะเชื่อมต่อวงจร (Close) ถึงกันทันที ซึ่งอาจจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติก็ได้ ระบบสายประธานสองชุดเป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากที่สุดในขณะนี้ ถ้าสายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวที่เหลือจะต้องจ่ายโหลดทั้งหมด



ระบบสายประธานสองชุด

**สปอตเน็ตเวิร์ค (Spot network)** ระบบนี้จะประกอบด้วยหม้อแปลงจ่ายไฟ 2 ชุด หรือมากกว่า ต่อแยกเป็นอิสระกันส่วนทางด้านแรงต่ำจะต่อขนานโดยผ่านตัดตอนอัตโนมัติชนิดพิเศษ เรียกว่า Network protector ดังรูปถ้าสายจ่ายไฟแรงสูงหรือหม้อแปลงชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้อง หม้อแปลงตัวอื่นๆ จะป้อนผ่าน Network protector ไปยังจุดที่ขัดข้อง พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนกลับเป็นเหตุให้ Network protector เปิดวงจร และปลดแหล่งจ่ายออกจากวงจรแรงดันต่ำสำหรับระบบจ่ายไฟนี้มีราคาแพงเพราะ Network protector มีราคาสูงและกระแสลัดวงจร (IC) เพิ่มขึ้นเนื่องจากหม้อแปลงขนานกัน แต่ความสม่ำเสมอของแรงดันดี



สปอตเน็ตเวิร์ค

2. จงบอกวิธีการทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในระบบจ่ายไฟฟ้าพร้อมทั้งอธิบายพอสังเขป

**ตอบ** 1. ห้องรับ และจ่ายไฟฟ้า ต้องออกแบบติดตั้งห้องรับและจ่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม และช่วยในการประหยัดพลังงาน สำหรับโรงงานหรืออาคารขนาดเล็ก ห้องรับและจ่ายไฟฟ้า ก็คือ ตู้จ่ายไฟฟ้าที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ ในห้องทำงานที่ต้องใช้ไฟฟ้านั้นเอง การติดตั้งควรให้อยู่บริเวณศูนย์กลางของภาระ (Load)

2. การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ปรับปรุงการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีวิธีการดังนี้

- การลดกำลังสูญเสียไม่มีโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการปลดแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (ด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีโหลด และย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกัน เพื่อเพิ่มโหลดแฟกเตอร์
- การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงต่ำ) ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ระดับที่เหมาะสม
- การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในหม้อแปลงไฟฟ้า
- เลือกซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประสิทธิภาพสูง และมีขนาดเหมาะสมกับโหลด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] คู่มือการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านไฟฟ้า, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น, (JICA), ศูนย์พลังงานแห่งประเทศไทย
- [2] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช ,การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ,การออกแบบระบบไฟฟ้า,กรุงเทพฯ: ซีเ็ด ยูเคชั่น ,2541
- [3] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย,มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 3. มกราคม 2542
- [4] โซจิ โอฮามา.อุปกรณ์รับและจ่ายไฟสำหรับโรงงานและอาคารขนาดใหญ่. แปลโดย ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ และคณะ.พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542
- [5] การแก้ไข Power factor ในโรงงานอุตสาหกรรม (I3),เอกสารเผยแพร่,สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน,กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
- [6] ไชยะ แซ่มซ้อย “คู่มือการลดค่าไฟฟ้า” บริษัทเอ็มแอนดีอี จำกัด , กรุงเทพฯ , 2544
- [7] หม้อแปลงไฟฟ้า ,การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร.เอกสารเผยแพร่, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [8] การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและวิธีควบคุมความต้องการ , เอกสารเผยแพร่, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [9] เอกสารการอนุรักษ์พลังงานของญี่ปุ่น