# การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

# POWER FACTOR CORRECTION FOR HOUSEHOLD APPLIANCES


นายชาญณรงค์ ดิษฐอ่วม รหัส 49360396

นายบรรจง มะลิวัลย์ รหัส 49360990



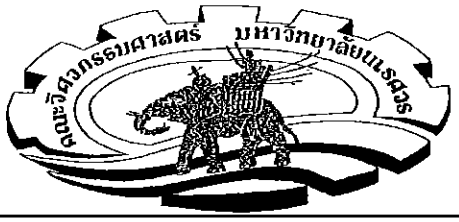
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 19 มี.ค. 2555
เลขทะเบียน 1573819 1
เลขเรียกหนังสือ วิ.ป.
ว489 ก
2552


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552




# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

**ชื่อหัวข้อโครงงาน** การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

**ผู้ดำเนินโครงงาน** นายชาญณรงค์ ดิษฐอ่วม รหัส 49360396

นายบรรจง มะลิวัลย์ รหัส 49360990

**ที่ปรึกษาโครงงาน** ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์

**สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า

**ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

**ปีการศึกษา** 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

..... ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

..... กรรมการ

(ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

..... กรรมการ

(ดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

| | |
|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายชาญณรงค์ ดิษฐอ่วม รหัส 49360396 |
| | นายบรรจง มะลิวัลย์ รหัส 49360990 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ |
| **ปีการศึกษา** | 2552 |

.....

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงงานเกี่ยวกับการเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน วัตถุประสงค์ของโครงงานคือการศึกษาแนวทางการลดค่าไฟด้วยการลดการใช้กำลังปรากฏ (Apparent power) ของอุปกรณ์ที่สนใจ ในขณะที่ความต้องการใช้กำลังจริง (Real power) ของอุปกรณ์ดังกล่าวยังคงเดิม แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power factor correction) จากการศึกษาจะพบว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่สนใจมีค่าต่ำ โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.50-0.80 ในโครงงานนี้จึงได้ออกแบบเพื่อเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลังให้มีค่าประมาณ 0.95 โดยต่อขนานตัวเก็บประจุเข้ากับอุปกรณ์ที่สนใจเพื่อชดเชยกำลังจินตภาพ (Reactive power) ที่อุปกรณ์นั้นต้องการ โดยได้ทำการทดลองวัดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งก่อนและหลังการออกแบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้ยังได้สร้างโปรแกรมขึ้นใน Microsoft Office Excel เพื่อคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง และช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดไฟต่อไป

| | |
|---|---|
| **Project title** | Power Factor Correction for Houschold Appliances |
| **Name** | Mr. Channarong Dituam ID. 49360396 |
| | Mr. Bunjong Maliwan ID. 49360990 |
| **Project advisor** | Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D. |
| **Major** | Electrical Engineering |
| **Department** | Electrical and Computer Engineering |
| **Academic year** | 2009 |

.....


## Abstract

This thesis presents a project that deals with raising the power factors of household appliances. The objective of the project is to find a way of reducing electricity use by decreasing apparent power needed for giving a certain amount of real power. One possibility is to increase the power factor, which is defined as power factor correction (PFC). It showed that the power factors of the household appliances chosen for the study were low (about 0.50-0.80). Hereby, the power factor of 0.95 was targeted and was achieved by connecting appropriate capacitors in parallel so that reactive-power demand of the appliances in question was compensated. Experiments were carried out in both pre- and post stages of the design process. In addition, a program was developed in Microsoft Office Excel for calculating capacitance values required for power factor correction. This program would help to analyse a way to safe electricity.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ร.ต.อ สุเทพ นาควิโรจน์ ที่ให้ใช้สถานที่และเครื่องใช้ไฟฟ้าในการทดลองจนสำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายชาญณรงค์ ดิษฐอ่วม

นายบรรจง มะลิวัลย์

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน ..... 1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการตลอดโครงงานวิจัย ..... 2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2
1.6 งบประมาณ ..... 2

บทที่ 2 หลักการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ..... 3
2.1 กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ..... 3
2.2 ตัวประกอบกำลัง ..... 4
2.3 พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ..... 5
2.4 ผลเสียของค่าตัวประกอบกำลังต่ำ ..... 5
2.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูง ..... 6
2.6 การปรับตั้งค่าตัวประกอบกำลังที่เหมาะสม ..... 13
2.7 ตำแหน่งในการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ..... 18

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 ชนิดของตัวเก็บประจุ ..... 20
2.8.1 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ (Fixed Capacitor) ..... 21
2.8.2 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Capacitor) ..... 25
2.8.3 ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้ (Select Capacitor) ..... 26
2.9 การใช้มอเตอร์ซิงโครนัสแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ..... 27
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากและพิกัดเชิงขั้ว ..... 27
2.11 การหาค่ากระแสไฟฟ้ารวมเมื่อทำการรวมโหลด ..... 28

บทที่ 3 วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ..... 30
3.1 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของพัดลมตั้งพื้นก่อนทำการปรับปรุง ..... 30
3.2 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก่อนทำการปรับปรุง ..... 33
3.3 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของตู้เย็นก่อนทำการปรับปรุง ..... 34
3.4 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของเครื่องซักผ้าก่อนทำการปรับปรุง ..... 36

บทที่ 4 การทดลองและการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ..... 38
4.1 การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่ตัวอุปกรณ์ ..... 38
4.2 การคำนวณค่าไฟฟ้า ..... 42
4.3 การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังเป็นกลุ่ม (กรณีใช้อุปกรณ์พร้อมกันทั้ง 4 ชนิด) ..... 46
4.4 โปรแกรมช่วยคำนวณเพื่อหาแนวทางในการประหยัดค่าไฟ ..... 50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ..... 55
5.1 สรุปผลการทดลอง ..... 55
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข ..... 56
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป ..... 56

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง .....57

ภาคผนวก ก อัตราค่าไฟจำแนกตามกิจการไฟฟ้า .....58

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย .....58

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก .....60

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง .....61

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ .....63

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง .....64

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงกำไร .....66

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร .....68

ประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว .....69

ภาคผนวก ข ตารางแสดงราคาตัวเก็บประจุชนิดโพลีตามขนาดต่าง ๆ .....70

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน .....72

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า


2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ลดลง กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป.....6

2.2 ปริมาณกระแสที่ลดลงต่อโหลด 1 kW จากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง.....8

2.3 กำลังสูญเสีย (%) ที่ลดลงเนื่องจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง.....10

2.4 ค่ากำลังจริงที่เพิ่มขึ้นต่อ kVA จากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....12

2.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังจากค่าเดิม 0.70.....14

2.6 ขนาดกำลังจินตภาพต่อโหลด 1 kW ที่ต้องใช้ชดเชยเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง.....15

2.7 ความเป็นเชิงเส้นของ $Q_{Comp}/P$ กับค่าตัวประกอบกำลังใหม่ (PFเดิม = 0.7).....16

2.8 การเปรียบเทียบผลการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 และ 1.....16

2.9 ตารางการหาค่าการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง.....17

4.1 ผลการทดลองก่อนทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง..... 41

4.2 ผลการทดลองหลังทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง.....42

4.3 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....43

4.4 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....45

4.5 ตารางแสดงเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมโหลดของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดก่อนปรับปรุง.....46

4.6 ตารางแสดงเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมโหลดของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดหลังปรับปรุง.....47

ก.1 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย.....58

ก.2 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย.....59

ก.3 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก.....60

ก.4 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก.....60

ก.5 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง.....61

ก.6 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง.....62

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.7 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOD ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่.....63

ก.8 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่.....63

ก.9 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง.....65

ก.10 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง.....65

ก.11 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กร ไม่แสวงหากำไร.....66

ก.12 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กร ไม่แสวงหากำไร.....67

ก.13 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร.....68

ก.14 อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร.....68

ก.15 อัตราค่าไฟของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว.....69

ข.1 ราคาตัวเก็บประจุชนิดโพลีตามขนาดต่าง ๆ.....70

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ....4
2.2 การลดลงของกระแสเมื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น....8
2.3 กำลังสูญเสีย (%) ที่ลดลงเนื่องจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง....10
2.4 แผนภาพเวกเตอร์แสดงความสามารถในการจ่ายกำลังจริงได้มากขึ้น....11
2.5 กำลังจริงที่เพิ่มขึ้นต่อ kVA จากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง....13
2.6 ความสัมพันธ์ของกำลังส่วนต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังปรับค่าตัวประกอบกำลัง....13
2.7 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ชนิดต่าง ๆ....21
2.8 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโตรไลต์....21
2.9 ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลั่มอิเล็กโตรไลต์....22
2.10 ตัวเก็บประจุชนิดไบโพล่าร์....22
2.11 ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค....23
2.12 ตัวเก็บประจุชนิดไมล่าร์....23
2.13 ตัวเก็บประจุชนิดโพลี....24
2.14 ตัวเก็บประจุชนิดฟีดทรู....24
2.15 ตัวเก็บประจุชนิดโพลีสไตรีน....25
2.16 ตัวเก็บประจุชนิดซิลเวอร์ไมก้า....25
2.17 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้....26
2.18 ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้....26
2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากและพิกัดเชิงขั้ว....27
2.20 แสดงตัวอย่างการคิดกระแสไฟฟ้ารวม....28
3.1 การวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของพัดลมตั้งพื้น....30
3.2 การวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ....33

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.3 การวัดค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็น....35

3.4 การวัดค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องซักผ้า....36

4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 1.5 μF กับพัดลมตั้งพื้น....39

4.2 การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF กับหลอดไฟ....39

4.3 การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 2 μF กับตู้เย็น....40

4.4 การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF กับเครื่องซักผ้า....41

4.5 การวัดค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิด....46

4.6 การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 15 μF กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิด....48

4.7 โปรแกรมช่วยในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง และเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลง....50

4.8 การกรอกข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้....51

4.9 การกรอกข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้รวมถึงคำอธิบายของค่าตัวแปรต่าง ๆ....51

4.10 โปรแกรมช่วยคำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวม และค่ากระแสรวมของโหลดที่จำลอง....52

4.11 การกรอกข้อมูลและผลการคำนวณทั้งก่อนและหลังปรับปรุง....53

4.12 ผลการคำนวณและคำอธิบายของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในโปรแกรม....54

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องจักรกลไฟฟ้าและเครื่องอำนวยความสะดวกได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราอย่างมากโดยเฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และพัดลมทำให้มีการสูญเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากส่วนหนึ่งอยู่ที่ค่าของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่มีค่าต่ำอยู่ที่ประมาณ 0.50-0.80 โดยเฉพาะโหลดประเภทเหนี่ยวนำที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น มอเตอร์ คอมเพรสเซอร์ และบัลลาสต์ ซึ่งล้วนแต่ต้องใช้กำลังจินตภาพเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำและเมื่อมีจำนวนอุปกรณ์มากขึ้นค่าของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก็จะมีค่าลดลงมากทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเกิดขึ้นภายในระบบ

ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ทำการศึกษาในการที่จะทำการแก้ไขค่าของตัวประกอบกำลังให้มีค่าที่ดีขึ้นหรือมีค่าคงที่เมื่อมีการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเพิ่มขึ้นโดยจะทำการออกแบบชุดทดลองในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและทำการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังขึ้นมาเพื่อลดการสูญเสียของพลังงานที่เกิดขึ้นภายระบบไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าไฟฟ้าอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อศึกษาวิธีปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน
2) เพื่อออกแบบ ติดตั้งและทดสอบปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ศึกษาแนวทางการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน
2) ออกแบบ ติดตั้งและทดสอบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สนใจ คือ พัดลมตั้งพื้น หลอดไฟ ตู้เย็น และเครื่องซักผ้า
3) สร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

## 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการตลอดโครงงานวิจัย

| รายละเอียด | ปี 2552 | | | | | | | ปี 2553 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |
| 1. หาข้อมูลทางไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 2. ศึกษาวิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 3. หาข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลัง | | | | ■ | ■ | | | | | |
| 4. ออกแบบการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง | | | | | ■ | ■ | | | | |
| 5. ติดตั้งและทำการทดสอบ | | | | | | | ■ | ■ | | |
| 6. วิเคราะห์และสรุปผล | | | | | | | | ■ | ■ | |
| 7. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ | | | | | | | | | ■ | ■ |

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) ลดค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

2) ลดค่าใช้จ่ายจากค่าไฟฟ้าภายในอาคารบ้านพักที่อยู่อาศัยได้

## 1.6 งบประมาณ

| | |
|---|---|
| 1) ค่าอุปกรณ์ | 1,000 บาท |
| 2) ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่ม | 1,000 บาท |
| รวมเป็นเงิน (สองพันบาทถ้วน) | 2,000 บาท |

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

# บทที่ 2
# หลักการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

โหลดของระบบไฟฟ้ากระแสสลับหลายอย่าง เช่น มอเตอร์ เครื่องเชื่อม นั้นล้วนแต่ต้องใช้กำลังจริง และกำลังจินตภาพ ในการทำงาน ทำให้ระบบไฟฟ้าโดยรวมมีตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ค่อนข้างต่ำ การที่ระบบไฟฟ้ามีตัวประกอบกำลังที่ต่ำส่งผลเสียหลายประการ เช่น กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นต้น ระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุ

## 2.1 กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) กำลังจริง (Real power หรือ Active power) กำลังไฟฟ้าส่วนนี้เป็นส่วนที่ผู้ใช้ได้ประโยชน์จากโหลดโดยตรง มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) เช่น การได้ประโยชน์จากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 30 kW เป็นต้น สามารถหาได้โดยการใช้วัตต์มิเตอร์วัดได้ที่โหลดโดยตรง
2) กำลังจินตภาพ (Reactive power) กำลังไฟฟ้าส่วนนี้เป็นส่วนที่ระบบไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับโหลดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า หรือผ่านช่องว่างอากาศ (Air gap) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นต้น มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR) สามารถวัดค่าได้จากวาร์มิเตอร์
3) กำลังเชิงซ้อน (Complex power) กำลังไฟฟ้าส่วนนี้เป็นผลรวมทางเวคเตอร์ของกำลังจริงและกำลังจินตภาพ และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบจะต้องสำรองไว้เพื่อจ่ายให้กับโหลด มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมแปร์ (VA) สามารถวัดได้จากโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์

เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดได้ดังสมการที่ 2.1

$$\mathbf{S} = P + jQ \tag{2.1}$$

และ

$$S = |\mathbf{S}| = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.2}$$

โดยที่

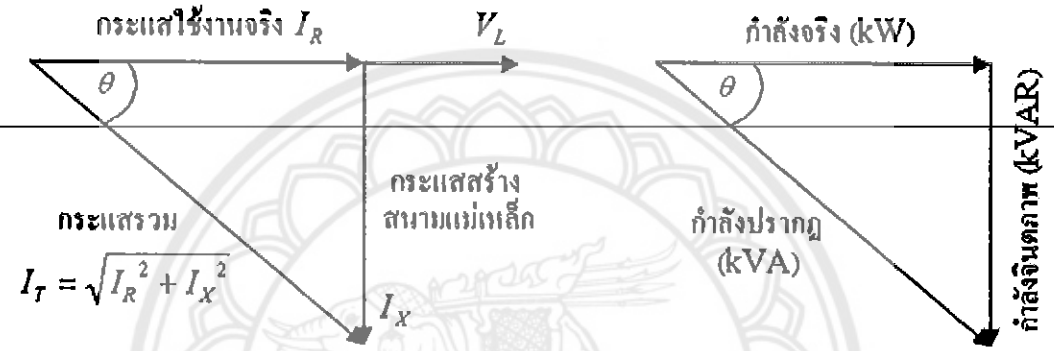
**S** = กำลังเชิงซ้อน มีหน่วย VA

$S$ = กำลังปรากฏ มีหน่วย VA

$P$ = กำลังจริง มีหน่วย W

$Q$ = กำลังจินตภาพ มีหน่วย VAR

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle) ดังรูปที่ 2.1




ก) กระแสและแรงดัน ข) กำลังจริง กำลังจินตภาพ และกำลังปรากฏ

**รูปที่ 2.1** ความสัมพันธ์ของปริมาณทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

## 2.2 ตัวประกอบกำลัง

ตัวประกอบกำลัง (Power factor, PF) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของกำลังจริงต่อกำลังปรากฏ ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่โดยปกติมักกล่าวถึงกันเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{PF} = \frac{P}{S} \tag{2.3}$$

หรือจากรูปที่ 2.1 จะได้

$$\text{PF} = \cos\theta \tag{2.4}$$

โดยที่ $\theta$ = มุมระหว่างแรงดันและกระแส

ตัวประกอบกำลังอาจเป็นแบบล้าหลัง (Lagging) หรือแบบล้ำหน้า (Leading) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกำลังจริงและกำลังจินตภาพ ถ้ากำลังทั้งสองส่วนนี้ไหลไปในทิศทางเดียวกันค่าตัวประกอบกำลังที่จุดนั้นจะเป็นแบบล้าหลัง แต่ถ้าไหลไปคนละทิศทางแล้วค่าตัวประกอบกำลังที่จุดนั้นจะเป็นแบบล้ำหน้า เนื่องจากตัวเก็บประจุเป็นแหล่งกำเนิดกำลังจินตภาพเพียงอย่างเดียว ทำให้ตัวเก็บประจุมีค่าตัวประกอบกำลังเป็นแบบล้ำหน้าเสมอ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าตัวประกอบกำลังเป็นแบบล้าหลัง เพราะมอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการทั้งกำลังจริงและกำลังจินตภาพ (ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับมอเตอร์ซิงโครนัสที่ถูกกระตุ้นเกินขนาด (Overexcited) นั้นสามารถจ่ายกำลังจินตภาพเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ แต่กำลังจริงต้องไหลเข้ามอเตอร์เสมอ ดังนั้นมอเตอร์ซิงโครนัสจึงมีค่าตัวประกอบกำลังเป็นแบบล้ำหน้าได้

## 2.3 พื้นฐานการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

โหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต้องการกำลังจริง และกำลังจินตภาพ ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยที่กำลังจริงจะต้องมาจากแหล่งจ่ายที่แน่นอน ส่วนกำลังจินตภาพอาจมาจากแหล่งจ่ายไฟหรืออุปกรณ์กำลังจินตภาพที่นำมาทำการต่อขนานเข้ากับโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งมีผลให้แหล่งจ่ายไฟจ่ายกำลังปรากฏลดน้อยลง ส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง ค่าตัวประกอบกำลังของระบบมีค่าสูงขึ้น ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังนี้เราจะนำค่าความจุไฟฟ้ามาทำการต่อขนานเข้ากับวงจรเพื่อไปชดเชยกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอยู่ภายในระบบที่มีอยู่แล้ว

## 2.4 ผลเสียของค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

1) เจ้าของสถานประกอบการต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังให้กับการไฟฟ้าทุกเดือน

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลังในรอบเดือนใดที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการกำลังจินตภาพเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่า 61.97% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็น kW แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา kVAR ละ 14.02 บาทให้การไฟฟ้า สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เศษของ kVAR ถ้าไม่ถึง 0.5 kVAR ให้ตัดทิ้งแต่เศษตั้งแต่ 0.5 kVAR คิดเป็น 1 kVAR

2) จำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนที่อ่านจากมิเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ค่าตัวประกอบกำลังที่แตกต่างกันจะมีการสูญเสียในระบบต่างกันยิ่งค่าตัวประกอบกำลังต่ำเท่าใดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าก็จะมีค่ามากขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำทำให้ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นและทำให้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

3) เกิดแรงดันตกในระบบไฟฟ้า

ในระบบที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบต่ำกว่าปกติ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่สูงเป็นผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างสายส่ง

4) ขนาดของสายไฟ หม้อแปลง ตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะทำให้ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดพลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้ขนาดสายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกันขนาดใหญ่ขึ้นด้วยดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ลดลง กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป

| ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (%) | กระแสไฟฟ้าปกติ (A) | กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (%) | ขนาดสายที่เพิ่มขึ้นและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (%) |
|---|---|---|---|
| 100 | 100 | 0 | 0 |
| 90 | 111 | 11 | 23 |
| 80 | 125 | 25 | 56 |
| 70 | 143 | 43 | 104 |
| 60 | 167 | 67 | 179 |
| 50 | 200 | 100 | 300 |
| 40 | 250 | 150 | 525 |

## 2.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูง

เราสามารถพิจารณาประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้ดังนี้

1) ไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่าที่การไฟฟ้ากำหนด

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลังในรอบเดือนใดที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการกำลังจินตภาพเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เกินกว่า 61.97% ของความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็น kW แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา kVAR ละ 14.02 บาทให้การไฟฟ้า สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น เศษของ kVAR ถ้าไม่ถึง 0.5 kVAR ให้ตัดทิ้ง แต่เศษตั้งแต่ 0.5 kVAR คิดเป็น 1 kVAR

จากข้อกำหนดนี้อธิบายได้ว่าเมื่อพิจารณาที่ค่ากำลังจริง 100 kW (คิดเป็น 100%) ผู้ใช้สามารถจะทำให้ระบบไฟฟ้าจ่ายกำลังจินตภาพได้ไม่เกิน 61.69 kVAR เท่านั้น ถ้าผู้ใช้ทำให้ระบบไฟฟ้าจ่ายกำลังจินตภาพเกินกว่านี้จะต้องเสียค่าปรับในอัตรา 14.02 บาทต่อ kVAR เมื่อนำมาเขียนอยู่ในรูปสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าเพื่อหาค่าตัวประกอบกำลังที่เหมาะสมที่จะไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะพิจารณาได้ดังนี้

กำลังจริง $P = 100\,\text{kW}$

กำลังจินตภาพ $Q = 61.97\,\text{kVAR}$

$$\tan\theta = \frac{Q}{P} = \frac{61.97}{100}$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.6197 = 31.78^\circ$$

$$\cos\theta = \cos 31.78^\circ = 0.85$$

หมายความว่า ถ้าผู้ใช้สามารถทำให้ระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการมีค่าตัวประกอบกำลังตั้งแต่ 85% ขึ้นไปไม่ต้องเสียค่าปรับรายเดือนในส่วนนี้

2) ช่วยลดกระแสในระบบไฟฟ้า

เมื่อตัวประกอบกำลังในระบบมีค่าสูงขึ้นจะทำให้กระแสที่ไหลในสายไฟมีค่าลดลง โดยสามารถพิจารณาสมการของระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมดุลได้ดังนี้

สมการกำลังไฟฟ้า $P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \text{PF}$ (2.5)

กำหนดให้แรงดันไฟฟ้า $V_L = 380\,\text{V}$

จะได้ $\frac{\Delta I_L}{P} = \frac{1.52}{\text{PF}}$

กระแสไฟฟ้าที่ลดลงเทียบต่อ 1 kW = กระแสต่อ kW ที่ $\text{PF}_1$ - กระแสต่อ kW ที่ $\text{PF}_2$

$$\frac{\Delta I_L}{P} = \frac{1.52}{\text{PF}_1} - \frac{1.52}{\text{PF}_2}$$

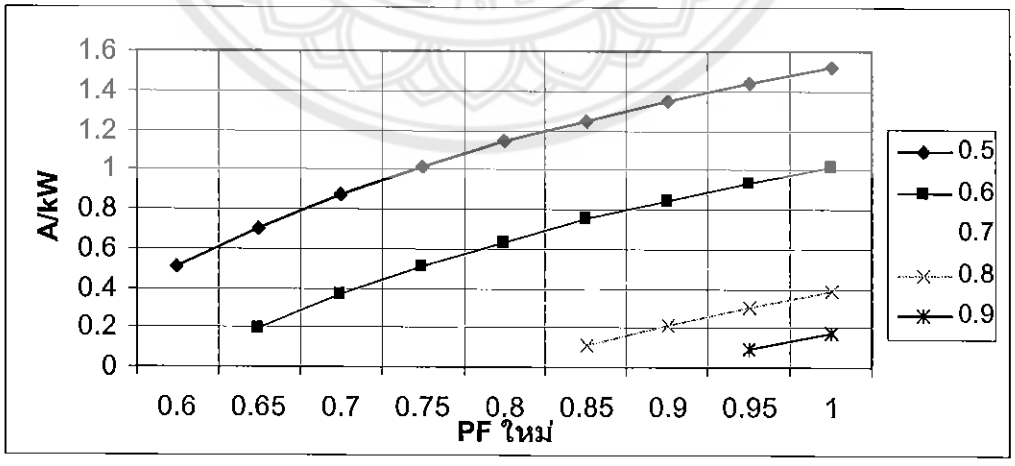
$$\frac{\Delta I_L}{P} = 1.52 \times \left( \frac{1}{\text{PF}_1} - \frac{1}{\text{PF}_2} \right) \quad (2.6)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.6 ไปสร้างเป็นตารางโดยการเปรียบเทียบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ค่าต่าง ๆ จะได้ผลดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ปริมาณกระแสที่ลดลงต่อโหลด 1 kW จากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

| | | $PF_2$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.6 | 0.65 | 0.7 | 0.75 | 0.8 | 0.85 | 0.9 | 0.95 | 1 |
| | 0.5 | 0.51 | 0.70 | 0.87 | 1.01 | 1.14 | 1.25 | 1.35 | 1.44 | 1.52 |
| $PF_1$ | 0.6 | | 0.19 | 0.36 | 0.51 | 0.63 | 0.75 | 0.84 | 0.93 | 1.01 |
| | 0.7 | | | | 0.14 | 0.27 | 0.38 | 0.48 | 0.57 | 0.65 |
| | 0.8 | | | | | | 0.11 | 0.21 | 0.30 | 0.38 |
| | 0.9 | | | | | | | | 0.09 | 0.17 |

จากตารางที่ 2.2 บอกให้ทราบว่าเมื่อมีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้กระแสที่ไหลในสายไฟลดลง เช่น ถ้าก่อนแก้ไขมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.7 หลังการติดตั้งตัวเก็บประจุแล้วค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มเป็น 0.9 อ่านค่าในตารางได้ 0.48 หมายถึงทุก ๆ 1 kW ของโหลดจะมีกระแสลดลง 0.48 A ถ้าโรงงานจ่ายโหลดขนาด 1 MW ก็จะทำให้กระแสในสายไฟลดลงไป 480 A อันจะส่งผลให้ระบบไฟฟ้ารับภาระน้อยลง ความร้อนที่เกิดขึ้นในสายไฟและหม้อแปลงลดลง อายุการใช้งานของอุปกรณ์ก็จะยาวขึ้น และถ้าหากเป็นการติดตั้งระบบใหม่ก็จะช่วยให้สามารถลดขนาดอุปกรณ์รับ-ส่งกระแสไฟฟ้าให้เล็กลงได้ ทำให้เงินลงทุนในการติดตั้งลดลงหรือพิจารณาได้จากกราฟดังรูปที่ 2.2




**รูปที่ 2.2** การลดลงของกระแสเมื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น

3) ช่วยลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Losses) และกำลังงานสูญเสียในขดลวด (Copper Losses) กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าประมาณเท่ากับกำลังงานที่หม้อแปลงดึงจากแหล่งจ่ายขณะไม่มีโหลดซึ่งมีค่าคงที่ ส่วนกำลังงานสูญเสียในขดลวดจะแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าของโหลดยกกำลังสอง จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าตัวประกอบกำลัง นั่นคือเมื่อแก้ไขให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้น กระแสในสายไฟลดลง ความสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าก็จะลดลงไปด้วย พิจารณาจากสมการดังนี้

จากสมการที่ 2.5 $P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \mathrm{PF}$

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงที่ค่า PF1 ก่อนแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

$$P_{Loss1} = 3 \times I_L^{\,2} \times R = \frac{P^2 \times R}{V_L^2 \times \mathrm{PF}_1^2}$$

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงที่ค่า PF2 ก่อนแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

$$P_{Loss2} = 3 \times I_L^{\,2} \times R = \frac{P^2 \times R}{V_L^2 \times \mathrm{PF}_2^2}$$

ความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ลดลง

$$\Delta P_{Loss} = P_{Loss1} - P_{Loss2} = \frac{P^2 \times R}{V_L^2} \times \left( \frac{1}{\mathrm{PF}_1^2} - \frac{1}{\mathrm{PF}_2^2} \right)$$

เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความสูญเสีย

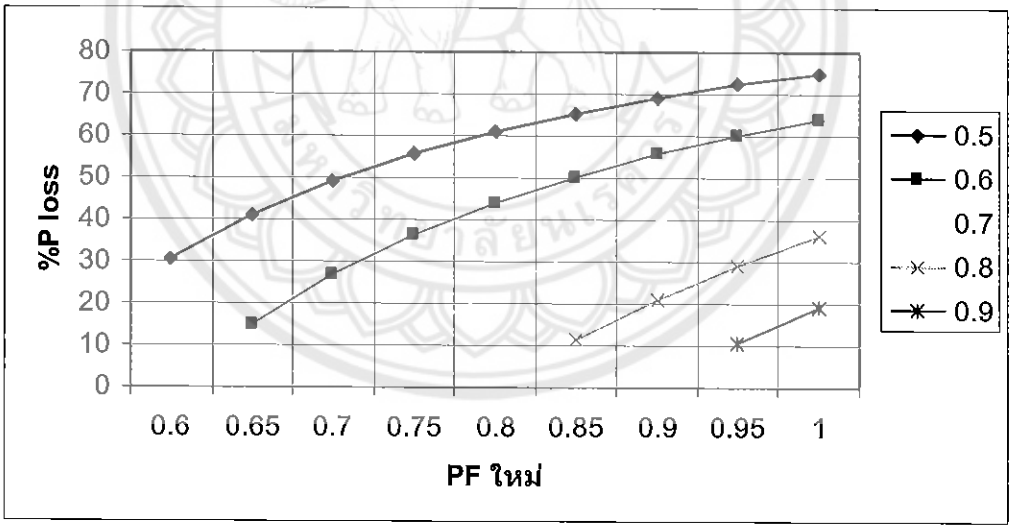
$$\%\Delta P_{Loss} = \left[ 1 - \left( \frac{\mathrm{PF}_1}{\mathrm{PF}_2} \right)^2 \right] \times 100\% \qquad (2.7)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.7 ไปสร้างเป็นตารางโดยการเปรียบเทียบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ค่าต่าง ๆ จะได้ผลดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** กำลังสูญเสีย (%) ที่ลดลงเนื่องจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

| | | $PF_2$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1 |
| | 0.5 | 30.56 | 40.83 | 48.98 | 55.56 | 60.94 | 65.40 | 69.14 | 72.30 | 75.00 |
| $PF_1$ | 0.6 | | 14.79 | 26.53 | 36.00 | 43.75 | 50.17 | 55.56 | 60.11 | 64.00 |
| | 0.7 | | | | 12.89 | 23.44 | 32.18 | 39.51 | 45.71 | 51.00 |
| | 0.8 | | | | | | 11.42 | 20.99 | 29.09 | 36.00 |
| | 0.9 | | | | | | | | 10.25 | 19.00 |

จากตารางที่ 2.3 บอกให้ทราบว่าเมื่อมีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้ความสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลง เช่น ถ้ามีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจากเดิม 0.7 เป็น 0.9 ความสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะลดลงไปจากเดิม 39.5% หรือพิจารณาได้จากกราฟดังรูปที่ 2.3




**รูปที่ 2.3** กำลังสูญเสีย (%) ที่ลดลงเนื่องจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

4) ช่วยลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้า

การติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติการเก็บและคายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเอง ถ้าเป็นการติดตั้งที่โหลดก็จะทำให้ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าจาก

แหล่งจ่ายและโหลดลดลงหรืออาจกล่าวได้ว่าทำให้แรงดันตกในสายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายถึงโหลดลดลงนั่นเอง

$$\%\Delta V = \frac{\text{kVAR} \times \%Z_k}{\text{kVA}} \tag{2.8}$$

เมื่อ

$\%\Delta V$ = เปอร์เซ็นต์ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)

kVAR= ขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุ

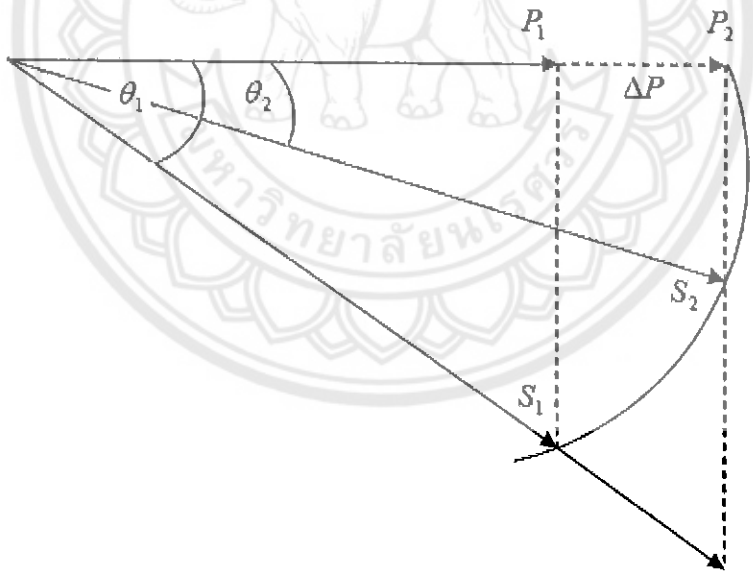
$\%Z_k$ = เปอร์เซ็นต์ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

kVA = ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำมีค่าสูงมากเกินไปก็อาจจะเป็นอันตรายต่อโหลดหรือระบบไฟฟ้าได้ ส่วนการแก้ไขสามารถทำได้โดยการปรับแท็ประดับไฟฟ้าของหม้อแปลง

5) ทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังจริงได้มากขึ้น

เมื่อระบบไฟฟ้ามีกำลังสำรองเพิ่มขึ้นก็สามารถที่จะจ่ายโหลดที่เป็นกำลังงานจริงเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 2.4




**รูปที่ 2.4** แผนภาพเวกเตอร์แสดงความสามารถในการจ่ายกำลังจริงได้มากขึ้น

จากรูปที่ 2.4 จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าดังนี้

$$\cos\theta = \text{PF} = \frac{P}{S}$$

ดังนั้น

$$\frac{P_1}{S_1} = \mathrm{PF}_1$$

$$\frac{P_2}{S_2} = \mathrm{PF}_2$$

กำลังไฟฟ้าปรากฏก่อนและหลังแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากัน

$$S_1 = S_2$$

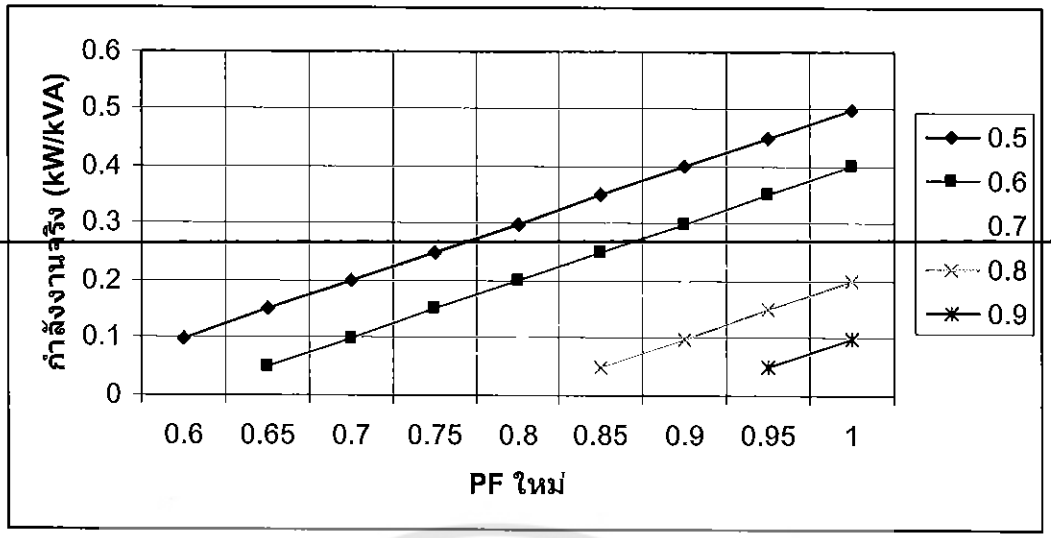
$$\frac{\Delta P}{S} = \left|\mathrm{PF}_1 - \mathrm{PF}_2\right| \qquad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 เป็นสมการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เพิ่มขึ้นต่อ kVA ของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาสร้างเป็นตารางเปรียบเทียบจะได้ผลดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** ค่ากำลังจริงที่เพิ่มขึ้นต่อ kVA จากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

| | | $\mathrm{PF}_2$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.6 | 0.65 | 0.7 | 0.75 | 0.8 | 0.85 | 0.9 | 0.95 | 1 |
| $\mathrm{PF}_1$ | 0.5 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |
| | 0.6 | | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |
| | 0.7 | | | | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| | 0.8 | | | | | | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 |
| | 0.9 | | | | | | | | 0.05 | 0.10 |

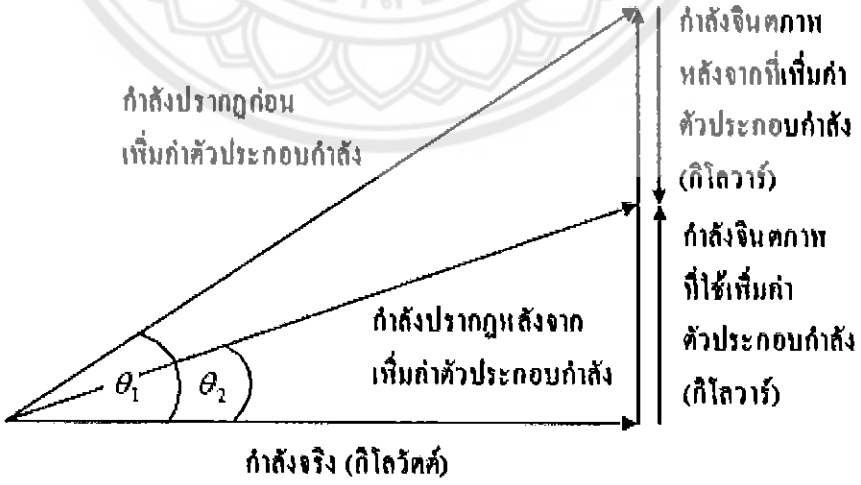
จากตารางที่ 2.4 บอกให้ทราบว่าเมื่อมีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังจริงได้เพิ่มขึ้น โดยไม่เกินพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า เช่นถ้าเดิมผู้ใช้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MVA มีการใช้โหลดอยู่ที่ระดับ 800 kW ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.7 หากมีการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นเป็น 0.9 จะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังจริงที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.9 ได้อีก 0.20 kW/kVA หรือเท่ากับ 200 kW หรือพิจารณาได้จากกราฟดังรูปที่ 2.5




**รูปที่ 2.5** กำลังจริงที่เพิ่มขึ้นต่อ kVA จากการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

## 2.6 การปรับตั้งค่าตัวประกอบกำลังที่เหมาะสม

ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังต้องอาศัยความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ได้แก่ กำลังจริง กำลังจินตภาพ และกำลังปรากฏ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของกำลังส่วนต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังปรับค่าตัวประกอบกำลัง ดังรูปที่ 2.6




**รูปที่ 2.6** ความสัมพันธ์ของกำลังส่วนต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังปรับค่าตัวประกอบกำลัง

พิจารณาจากรูปที่ 2.6 จะได้ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังนี้

$$\cos\theta = \frac{P}{S}$$

$$\tan\theta = \frac{Q}{P}$$

ตามปกติแล้วถ้าโหลดไม่เปลี่ยนแปลง ค่ากำลังจริงจะไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่ากำลังจินตภาพและกำลังปรากฏจะเปลี่ยนไปตามค่าตัวประกอบกำลัง ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณจะจัดให้อยู่ในรูปของกำลังจริง คือ

$$Q = P \times \tan\theta$$

ถ้าจะคำนวณหาขนาดของกำลังจินตภาพที่ใช้ในการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังจะหาได้ดังนี้

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

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

โดยที่

$Q_1$ คือ กำลังจินตภาพก่อนทำการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง

$Q_2$ คือ กำลังจินตภาพหลังทำการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง

$\theta_1$ คือ มุมของค่าตัวประกอบกำลังเดิม

$\theta_2$ คือ มุมของค่าตัวประกอบกำลังใหม่

จากหัวข้อที่ 2.5 ประโยชน์จากการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง จะพบว่าหากปรับค่าตัวประกอบกำลังจากค่าต่ำ ๆ ให้ขึ้นไปเป็น 1 หรือ 100% จะได้รับประโยชน์สูงสุด ดังที่แสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งเกิดจากการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังจากเดิม 0.70 เป็น 0.85, 0.95 และ 1

**ตารางที่ 2.5** ประโยชน์ที่ได้รับจากการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังจากค่าเดิม 0.70

| ประโยชน์ที่ได้รับ | ค่าตัวประกอบกำลังใหม่ | | | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| | 0.85 | 0.95 | 1 | |
| 1) กระแสไฟฟ้าลดลง: $\Delta I / P$ | 0.38 | 0.57 | 0.65 | สมการที่ 2.6 |
| 2) จ่ายโหลดได้มากขึ้น: $\Delta P / S$ | 0.15 | 0.25 | 0.30 | สมการที่ 2.9 |
| 3) กำลังสูญเสียลดลง: $\%\Delta P_{Loss}$ | 32.20 | 45.70 | 51.00 | สมการที่ 2.7 |

อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น ต้องมีการลงทุนซื้อตัวเก็บประจุมาติดตั้งใส่เข้าไปในระบบไฟฟ้า จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมและความคุ้มทุนด้วย ไม่ใช่พิจารณาเฉพาะความเหมาะสมด้านเทคนิคเพียงด้านเดียว การพิจารณาถึงความเหมาะสมจึงต้องพิจารณาถึงเรื่อง

1) ขนาดของตัวเก็บประจุที่จำเป็นต้องใช้

2) ผลตอบแทนที่ได้รับจากการใช้ตัวเก็บประจุ

ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง คือ

$$Q_{Comp} = P \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Q_{Comp} = \frac{V^2}{X_C} = V^2 2\pi f C$$

ดังนั้น

$$C = \frac{Q_{Comp}}{V^2 2\pi f} \qquad (2.10)$$

และทำเป็นตารางสำเร็จรูปได้ดังที่แสดงในตารางที่ 2.6

**ตารางที่ 2.6** ขนาดกำลังจินตภาพต่อโหลด 1 kW ที่ต้องใช้ชดเชยเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง

| $PF_{เดิม}$ | $PF_{ใหม่}$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 0.975 | 1 |
| 0.50 | 0.40 | 0.56 | 0.71 | 0.85 | 0.98 | 1.11 | 1.25 | 1.40 | 1.50 | 1.73 |
| 0.60 | | 0.16 | 0.31 | 0.45 | 0.58 | 0.71 | 0.85 | 1.00 | 1.10 | 1.33 |
| 0.70 | | | | 0.14 | 0.27 | 0.40 | 0.54 | 0.69 | 0.79 | 1.02 |
| 0.80 | | | | | | 0.13 | 0.27 | 0.42 | 0.52 | 0.75 |
| 0.90 | | | | | | | | 0.16 | 0.26 | 0.48 |

จากตารางที่ 2.6 จะพบว่าหากค่าตัวประกอบกำลังยังไม่สูงเกิน 0.95 ปริมาณกำลังจินตภาพที่ต้องใช้ชดเชยเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าตัวประกอบกำลังใหม่ที่ต้องการเพิ่ม เช่น จากค่าตัวประกอบกำลังเดิม 0.70 หากต้องการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังใหม่เป็น 0.80, 0.85, 0.90 และ 0.95 จะต้องใช้ $Q_{Comp} / P$ เป็น 0.27, 0.40, 0.54 และ 0.69 ตามลำดับ จะเห็นว่าหากต้องการค่าตัวประกอบกำลังใหม่สูงกว่า 0.95 จะต้องใช้ $Q_{Comp}$ สูงกว่าปกติมาก และถ้าหากต้องการให้ค่าตัวประกอบกำลังใหม่เป็น 1.00 จะต้องใช้ $Q_{Comp}$ สูงกว่าปกติถึง 25.86% ดังแสดงในตารางที่ 2.7

**ตารางที่ 2.7** ความเป็นเชิงเส้นของ $Q_{Comp} / P$ กับค่าตัวประกอบกำลังใหม่ (PFเดิม = 0.7)

| สมการที่ใช้ | $PF_{ใหม่}$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.925 | 0.95 | 0.975 | 1 |
| $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ | 0.2702 | 0.4004 | 0.5359 | 0.6094 | 0.6915 | 0.7923 | 1.0202 |
| $[PF_{ใหม่} - 0.7] \times 2.702$ | 0.2702 | 0.4053 | 0.5404 | 0.6080 | 0.6755 | 0.7431 | 0.8106 |
| ผลต่าง | 0.00 | -0.0049 | -0.0045 | 0.0014 | 0.016 | 0.0492 | 0.2096 |
| % ผลต่าง | 0.00 | -1.21 | -0.83 | +0.23 | +2.37 | +6.62 | +25.86 |

และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 และ 1 เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมและความคุ้มทุนดังตารางที่ 2.8

**ตารางที่ 2.8** การเปรียบเทียบผลการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 และ 1

| $PF_{เดิม}$ | $PF_{ใหม่} = 0.95$ | | | $PF_{ใหม่} = 1$ | | | $Q_{comp}$ ที่ประหยัดได้ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Delta S/P$ | $Q_{comp}/P$ | $\Delta S/Q_{comp}$ | $\Delta S/P$ | $Q_{comp}/P$ | $\Delta S/Q_{comp}$ | $Q_{comp}/P$ | % |
| 0.70 | 0.3759 | 0.6915 | 0.5436 | 0.4286 | 1.0202 | 0.4201 | 0.3287 | 47.53 |
| 0.75 | 0.2807 | 0.5532 | 0.5074 | 0.3333 | 0.8819 | 0.3780 | 0.3287 | 59.42 |
| 0.80 | 0.1974 | 0.4213 | 0.4684 | 0.2500 | 0.7500 | 0.3333 | 0.3287 | 78.02 |
| 0.85 | 0.1238 | 0.2911 | 0.4255 | 0.1765 | 0.6197 | 0.2847 | 0.3287 | 112.92 |
| 0.90 | 0.0585 | 0.1556 | 0.3757 | 0.1111 | 0.4843 | 0.2294 | 0.3287 | 211.25 |
| 0.95 | - | - | - | 0.0526 | 0.3287 | 0.1601 | 0.3287 | - |

จากตารางที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 และ 1 พบว่าการปรับค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 จะเหมาะสมกว่าเพราะลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุน้อยกว่าถึง 0.3287 kVAR/kW ทุกค่าตัวประกอบกำลังเดิม

เพื่อความสะดวก จึงได้มีการทำตารางไว้สำหรับช่วยหาค่าความจุไฟฟ้าโดยมีวิธีการใช้คือ ทำการอ่านค่าตัวประกอบกำลังก่อนและหลังการแก้ไขจากแนวตั้งและแนวนอนของตารางที่ 2.9 มาตัดกัน ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่ากำลังจินตภาพต่อกำลังจริง (ในหน่วย kVAR/kW) ดังนั้นขนาดที่แท้จริงของตัวเก็บประจุ ซึ่งจะนำมาใช้แก้ไขจะต้องนำค่ากำลังจริงของโหลดมาคูณเข้าไปด้วย

**ตารางที่ 2.9** ตารางการหาค่าการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

| Original Power Factor | Corrected Power Factor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.80 | 0.81 | 0.82 | 0.83 | 0.84 | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.0 |
| 0.50 | 0.982 | 1.008 | 1.034 | 1.060 | 1.088 | 1.112 | 1.139 | 1.165 | 1.192 | 1.220 | 1.248 | 1.276 | 1.305 | 1.337 | 1.369 | 1.403 | 1.440 | 1.481 | 1.529 | 1.589 | 1.732 |
| 0.51 | 0.937 | 0.962 | 0.989 | 1.015 | 1.041 | 1.067 | 1.094 | 1.120 | 1.147 | 1.175 | 1.203 | 1.231 | 1.261 | 1.292 | 1.324 | 1.358 | 1.395 | 1.436 | 1.484 | 1.544 | 1.687 |
| 0.52 | 0.893 | 0.919 | 0.945 | 0.971 | 0.997 | 1.023 | 1.050 | 1.076 | 1.103 | 1.131 | 1.159 | 1.187 | 1.217 | 1.248 | 1.280 | 1.314 | 1.351 | 1.392 | 1.440 | 1.500 | 1.643 |
| 0.53 | 0.850 | 0.876 | 0.902 | 0.928 | 0.954 | 0.980 | 1.007 | 1.033 | 1.060 | 1.088 | 1.116 | 1.144 | 1.174 | 1.205 | 1.237 | 1.271 | 1.308 | 1.348 | 1.397 | 1.457 | 1.600 |
| 0.54 | 0.809 | 0.835 | 0.861 | 0.887 | 0.913 | 0.939 | 0.966 | 0.992 | 1.019 | 1.047 | 1.075 | 1.103 | 1.133 | 1.164 | 1.196 | 1.230 | 1.267 | 1.308 | 1.356 | 1.416 | 1.559 |
| 0.55 | 0.768 | 0.795 | 0.821 | 0.847 | 0.875 | 0.899 | 0.926 | 0.952 | 0.979 | 1.007 | 1.035 | 1.063 | 1.093 | 1.124 | 1.156 | 1.190 | 1.227 | 1.268 | 1.316 | 1.376 | 1.519 |
| 0.56 | 0.730 | 0.756 | 0.782 | 0.808 | 0.834 | 0.860 | 0.887 | 0.913 | 0.940 | 0.968 | 0.996 | 1.024 | 1.054 | 1.085 | 1.117 | 1.151 | 1.188 | 1.229 | 1.277 | 1.337 | 1.480 |
| 0.57 | 0.692 | 0.718 | 0.744 | 0.770 | 0.796 | 0.822 | 0.849 | 0.875 | 0.902 | 0.930 | 0.958 | 0.986 | 1.016 | 1.047 | 1.079 | 1.113 | 1.150 | 1.191 | 1.239 | 1.299 | 1.442 |
| 0.58 | 0.655 | 0.681 | 0.707 | 0.733 | 0.759 | 0.785 | 0.812 | 0.838 | 0.865 | 0.893 | 0.921 | 0.949 | 0.979 | 1.010 | 1.042 | 1.076 | 1.113 | 1.154 | 1.202 | 1.262 | 1.405 |
| 0.59 | 0.619 | 0.645 | 0.671 | 0.697 | 0.723 | 0.749 | 0.776 | 0.802 | 0.829 | 0.857 | 0.885 | 0.913 | 0.943 | 0.974 | 1.006 | 1.040 | 1.077 | 1.118 | 1.166 | 1.226 | 1.369 |
| 0.60 | 0.583 | 0.609 | 0.635 | 0.661 | 0.687 | 0.713 | 0.740 | 0.766 | 0.793 | 0.821 | 0.849 | 0.877 | 0.907 | 0.938 | 0.970 | 1.004 | 1.041 | 1.082 | 1.130 | 1.190 | 1.333 |
| 0.61 | 0.549 | 0.575 | 0.601 | 0.627 | 0.653 | 0.679 | 0.706 | 0.732 | 0.759 | 0.787 | 0.815 | 0.843 | 0.873 | 0.904 | 0.936 | 0.970 | 1.007 | 1.048 | 1.096 | 1.156 | 1.299 |
| 0.62 | 0.516 | 0.542 | 0.568 | 0.594 | 0.620 | 0.646 | 0.673 | 0.699 | 0.726 | 0.754 | 0.782 | 0.810 | 0.840 | 0.871 | 0.903 | 0.937 | 0.974 | 1.015 | 1.063 | 1.123 | 1.266 |
| 0.63 | 0.483 | 0.509 | 0.535 | 0.561 | 0.587 | 0.613 | 0.640 | 0.666 | 0.693 | 0.721 | 0.749 | 0.777 | 0.807 | 0.838 | 0.870 | 0.904 | 0.941 | 0.982 | 1.030 | 1.090 | 1.233 |
| 0.64 | 0.451 | 0.474 | 0.503 | 0.529 | 0.555 | 0.581 | 0.608 | 0.634 | 0.661 | 0.689 | 0.717 | 0.745 | 0.775 | 0.806 | 0.838 | 0.872 | 0.909 | 0.950 | 0.998 | 1.058 | 1.201 |
| 0.65 | 0.419 | 0.445 | 0.471 | 0.497 | 0.523 | 0.549 | 0.576 | 0.602 | 0.629 | 0.657 | 0.685 | 0.713 | 0.743 | 0.774 | 0.806 | 0.840 | 0.877 | 0.918 | 0.966 | 1.026 | 1.169 |
| 0.66 | 0.388 | 0.414 | 0.440 | 0.466 | 0.492 | 0.518 | 0.545 | 0.571 | 0.598 | 0.626 | 0.654 | 0.682 | 0.712 | 0.743 | 0.775 | 0.809 | 0.846 | 0.887 | 0.935 | 0.995 | 1.138 |
| 0.67 | 0.358 | 0.384 | 0.410 | 0.436 | 0.462 | 0.488 | 0.515 | 0.541 | 0.568 | 0.596 | 0.624 | 0.652 | 0.682 | 0.713 | 0.745 | 0.779 | 0.816 | 0.857 | 0.905 | 0.965 | 1.108 |
| 0.68 | 0.328 | 0.354 | 0.380 | 0.406 | 0.432 | 0.458 | 0.485 | 0.511 | 0.538 | 0.566 | 0.594 | 0.622 | 0.652 | 0.683 | 0.715 | 0.749 | 0.786 | 0.827 | 0.875 | 0.935 | 1.078 |
| 0.69 | 0.299 | 0.325 | 0.351 | 0.377 | 0.403 | 0.429 | 0.456 | 0.482 | 0.509 | 0.537 | 0.565 | 0.593 | 0.623 | 0.654 | 0.686 | 0.720 | 0.757 | 0.798 | 0.846 | 0.906 | 1.049 |
| 0.70 | 0.270 | 0.296 | 0.322 | 0.348 | 0.374 | 0.400 | 0.427 | 0.453 | 0.480 | 0.508 | 0.536 | 0.564 | 0.594 | 0.625 | 0.657 | 0.691 | 0.728 | 0.769 | 0.817 | 0.877 | 1.020 |
| 0.71 | 0.242 | 0.268 | 0.294 | 0.320 | 0.346 | 0.372 | 0.399 | 0.425 | 0.452 | 0.480 | 0.508 | 0.536 | 0.566 | 0.597 | 0.629 | 0.663 | 0.700 | 0.741 | 0.789 | 0.849 | 0.992 |
| 0.72 | 0.214 | 0.240 | 0.266 | 0.292 | 0.318 | 0.344 | 0.371 | 0.397 | 0.424 | 0.452 | 0.480 | 0.508 | 0.538 | 0.569 | 0.601 | 0.635 | 0.672 | 0.713 | 0.761 | 0.821 | 0.964 |
| 0.73 | 0.186 | 0.212 | 0.238 | 0.264 | 0.290 | 0.316 | 0.342 | 0.369 | 0.396 | 0.424 | 0.452 | 0.480 | 0.510 | 0.541 | 0.573 | 0.607 | 0.644 | 0.685 | 0.733 | 0.793 | 0.936 |
| 0.74 | 0.159 | 0.185 | 0.211 | 0.237 | 0.263 | 0.289 | 0.316 | 0.342 | 0.369 | 0.397 | 0.425 | 0.453 | 0.483 | 0.514 | 0.546 | 0.580 | 0.617 | 0.658 | 0.706 | 0.766 | 0.909 |
| 0.75 | 0.132 | 0.158 | 0.184 | 0.210 | 0.236 | 0.262 | 0.289 | 0.315 | 0.342 | 0.370 | 0.398 | 0.426 | 0.456 | 0.487 | 0.519 | 0.553 | 0.590 | 0.631 | 0.679 | 0.739 | 0.882 |
| 0.76 | 0.105 | 0.131 | 0.157 | 0.183 | 0.209 | 0.235 | 0.262 | 0.288 | 0.315 | 0.343 | 0.371 | 0.399 | 0.429 | 0.460 | 0.492 | 0.526 | 0.563 | 0.604 | 0.652 | 0.712 | 0.855 |
| 0.77 | 0.079 | 0.105 | 0.131 | 0.157 | 0.183 | 0.209 | 0.236 | 0.262 | 0.289 | 0.317 | 0.345 | 0.373 | 0.403 | 0.434 | 0.466 | 0.500 | 0.537 | 0.578 | 0.626 | 0.685 | 0.829 |
| 0.78 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.130 | 0.156 | 0.182 | 0.209 | 0.235 | 0.262 | 0.290 | 0.318 | 0.346 | 0.376 | 0.407 | 0.439 | 0.473 | 0.510 | 0.551 | 0.599 | 0.659 | 0.802 |
| 0.79 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.130 | 0.156 | 0.183 | 0.209 | 0.236 | 0.264 | 0.292 | 0.320 | 0.350 | 0.381 | 0.413 | 0.447 | 0.484 | 0.525 | 0.573 | 0.633 | 0.776 |
| 0.80 | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.130 | 0.157 | 0.183 | 0.210 | 0.238 | 0.266 | 0.294 | 0.324 | 0.355 | 0.387 | 0.421 | 0.458 | 0.499 | 0.547 | 0.609 | 0.750 |
| 0.81 | | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.131 | 0.157 | 0.184 | 0.212 | 0.240 | 0.268 | 0.298 | 0.329 | 0.361 | 0.395 | 0.432 | 0.473 | 0.521 | 0.581 | 0.724 |
| 0.82 | | | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.105 | 0.131 | 0.158 | 0.186 | 0.214 | 0.242 | 0.272 | 0.303 | 0.335 | 0.369 | 0.406 | 0.447 | 0.495 | 0.555 | 0.698 |
| 0.83 | | | | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.079 | 0.105 | 0.132 | 0.160 | 0.188 | 0.216 | 0.246 | 0.277 | 0.309 | 0.343 | 0.380 | 0.421 | 0.469 | 0.529 | 0.672 |
| 0.84 | | | | | 0.000 | 0.026 | 0.053 | 0.079 | 0.106 | 0.134 | 0.162 | 0.190 | 0.220 | 0.251 | 0.283 | 0.317 | 0.354 | 0.396 | 0.443 | 0.503 | 0.646 |
| 0.85 | | | | | | 0.000 | 0.027 | 0.053 | 0.080 | 0.108 | 0.136 | 0.164 | 0.194 | 0.225 | 0.257 | 0.291 | 0.328 | 0.369 | 0.417 | 0.477 | 0.620 |
| 0.86 | | | | | | | 0.000 | 0.026 | 0.053 | 0.081 | 0.109 | 0.137 | 0.167 | 0.198 | 0.230 | 0.264 | 0.301 | 0.342 | 0.390 | 0.450 | 0.593 |
| 0.87 | | | | | | | | 0.000 | 0.027 | 0.055 | 0.083 | 0.111 | 0.141 | 0.172 | 0.204 | 0.238 | 0.275 | 0.316 | 0.364 | 0.424 | 0.567 |
| 0.88 | | | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.056 | 0.084 | 0.114 | 0.145 | 0.177 | 0.211 | 0.248 | 0.289 | 0.337 | 0.397 | 0.540 |
| 0.89 | | | | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.056 | 0.086 | 0.117 | 0.149 | 0.183 | 0.220 | 0.261 | 0.309 | 0.369 | 0.512 |
| 0.90 | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.058 | 0.089 | 0.121 | 0.155 | 0.192 | 0.233 | 0.281 | 0.341 | 0.484 |
| 0.91 | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.030 | 0.061 | 0.093 | 0.127 | 0.164 | 0.205 | 0.253 | 0.313 | 0.456 |
| 0.92 | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.031 | 0.063 | 0.097 | 0.134 | 0.175 | 0.223 | 0.283 | 0.426 |
| 0.93 | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.032 | 0.066 | 0.103 | 0.144 | 0.192 | 0.252 | 0.395 |
| 0.94 | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.034 | 0.071 | 0.112 | 0.160 | 0.220 | 0.363 |
| 0.95 | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.037 | 0.079 | 0.126 | 0.186 | 0.329 |
| 0.96 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.041 | 0.089 | 0.149 | 0.292 |
| 0.97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.048 | 0.108 | 0.251 |
| 0.98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.060 | 0.203 |
| 0.99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.143 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 |

## 2.7 ตำแหน่งในการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

ตำแหน่งในการติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังเราอาจติดตั้งได้ 4 ลักษณะ คือ การแก้ไขที่ตัวอุปกรณ์ (Individual Compensation) การแก้ไขเป็นกลุ่ม (Group Compensation) การแก้ไขรวม (Central Compensation) และการแก้ไขแบบผสม (Combined Compensation)

1) การแก้ไขที่ตัวอุปกรณ์ (Individual Compensation)

การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบนี้ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญซึ่งต้องการกำลังปรากฏค่อนข้างแน่นอนแต่อุปกรณ์จะได้รับการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้วย ตัวเก็บประจุในขนาดที่เหมาะสมเพื่อชดเชยค่ากำลังปรากฏให้เหมาะสมเพื่อไม่ทำให้ค่าของกระแสนำหน้าแรงดัน

ข้อดีของการแก้ไขที่ตัวอุปกรณ์ คือ

- ตัวเก็บประจุจะจ่ายกำลังปรากฏให้กับจุดที่ต้องการกำลังไฟฟ้านี้ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น
- กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สายไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์ลดลง
- แรงดันตกที่สายลดลง
- อาจใช้อุปกรณ์ตัดต่อร่วมในการตัดต่ออุปกรณ์และตัวเก็บประจุ

ข้อเสียของการแก้ไขที่ตัวอุปกรณ์ คือ

- ต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดเล็กเป็นจำนวนมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก
- ตัวเก็บประจุจะถูกใช้งานเมื่อมีการใช้งานของตัวอุปกรณ์เท่านั้นทำให้การใช้งานของตัวเก็บประจุต่ำ

2) การแก้ไขเป็นกลุ่ม (Group Compensation)

สำหรับกลุ่มโหลดที่ทำงานพร้อมกันการปรับปรุงตัวประกอบกำลังรวมสามารถทำได้โดยการใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ตัวเดียว เช่นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของกลุ่มมอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งทำงานรวมกันในกระบวนการผลิต และการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของกลุ่มดวงโคมหลอดไฟฟ้าใช้ก๊าซ เป็นต้น

ข้อดีของการแก้ไขเป็นกลุ่ม คือ

- ค่าใช้จ่ายสำหรับตัวเก็บประจุและการติดตั้งลดลง เนื่องจากใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่และจำนวนน้อยลง
- สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และแรงดันตกในสายป้อนได้

ข้อเสียของการแก้ไขเป็นกลุ่ม คือ

- ไม่ได้ลดกำลังสูญเสียในวงจรของโหลดแต่ละตัว

3) การแก้ไขรวม (Central Compensation)

สำหรับสถานประกอบการใหญ่ ๆ ซึ่งมีอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก และอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานไม่พร้อมกัน ดังนั้นความต้องการกำลังปรากฏจึงเปลี่ยนแปลงตามเวลา การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของทั้งระบบทำได้โดยการต่อตู้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank) เข้าที่ตำแหน่งของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านขาออก

ข้อดีของการแก้ไขรวม คือ

- สามารถใช้ตัวเก็บประจุได้เต็มความต้องการของโหลด
- การควบคุมตัวประกอบกำลังของทั้งระบบทำได้สะดวก
- แรงดันไฟฟ้าจะดีขึ้น

ข้อเสียของการแก้ไขรวม คือ

- ไม่ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรย่อย

4) การแก้ไขแบบผสม (Combined Compensation)

ในกรณีระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่มีโหลดหลายชนิดเป็นจำนวนมากทั้งที่เป็นโหลดหลัก กลุ่มโหลดที่เหมือนกันและมีการทำงานที่พร้อม ๆ กันกับโหลดที่ทำงานต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเป็นต้น เมื่อคำนึงถึงความต้องการที่จะได้รับประโยชน์สูงสุดในการควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของระบบ อาจใช้การแก้ไขแบบผสม ดังนี้

- แก้ไขที่ตัวอุปกรณ์ สำหรับโหลดหลักและโหลดที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง
- แก้ไขเป็นกลุ่ม สำหรับโหลดที่ทำงานพร้อมกัน
- แก้ไขรวม สำหรับโหลดอื่น ๆ ที่เหลือ และโหลดที่ทำงานไม่ต่อเนื่อง

ในการแก้ไขตัวประกอบกำลังนั้น ตัวเก็บประจุมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของตัวเก็บประจุ

1) ประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
2) สามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ ค่าลงทุนต่ำ
3) ในระบบมีความยืดหยุ่นได้มาก ตัวเก็บประจุสามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
4) ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ไม่มีเสียงรบกวนในการทำงานความเสื่อมราคาต่ำและไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
5) สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย
6) รวดเร็วและง่ายในการต่อและปลดออกจากโหลด สามารถที่จะเปลี่ยนจากโหลดอีกอันหนึ่งไปอีกอันหนึ่งได้

ข้อเสียของตัวเก็บประจุ

ในกรณีที่แก้ตัวประกอบกำลังทั้งระบบในขณะที่ใช้โหลดน้อยและไม่ปลดตัวเก็บประจุออกจะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นเป็นผลต่อระบบวงจร

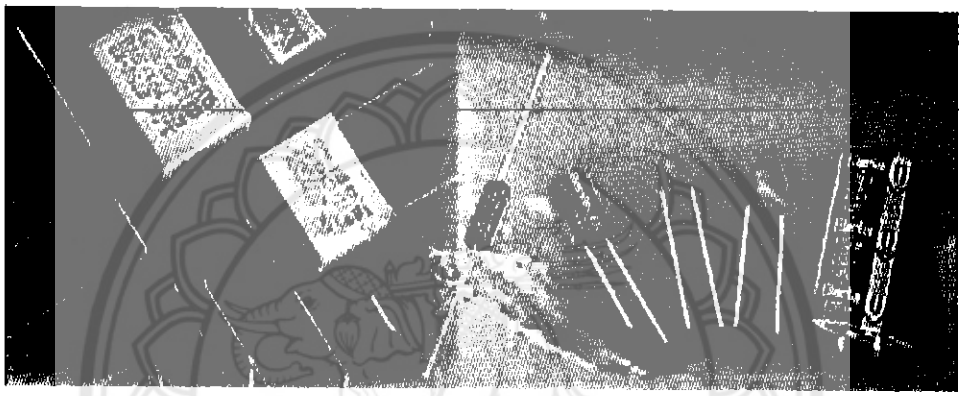
## 2.8 ชนิดของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่ผลิตออกมาในปัจจุบันมีมากมาย เราสามารถแบ่งชนิดของตัวเก็บประจุตามลักษณะทางโครงสร้างหรือตามสารที่นำมาใช้เป็นไดอิเล็กตริก การแบ่งโดยใช้สารไดอิเล็กตริกเป็นวิธีการที่ค่อนข้างละเอียดเพราะว่าค่าไดอีเล็กตริกจะเป็นตัวกำหนดค่าตัวเก็บประจุตัวนั้น ๆ ว่าจะนำไปใช้งานในลักษณะใด ทนแรงดันเท่าใด แต่ถ้าหากแบ่งตามระบบเก่าจะสามารถแบ่งตัวเก็บประจุได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1) ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ (Fixed Capacitor)
2) ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Capacitor)
3) ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้ (Select Capacitor)

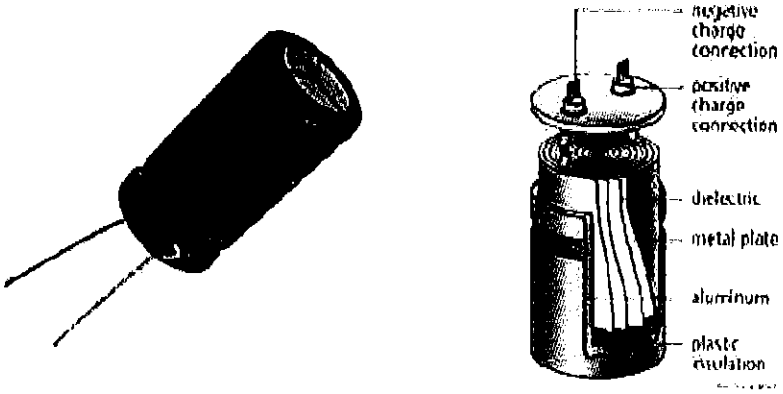
**2.8.1 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ (Fixed Capacitor)**

คือตัวเก็บประจุที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยปกติจะมีรูปลักษณะเป็นวงกลม หรือเป็นทรงกระบอก ซึ่งมักแสดงค่าที่ตัวเก็บประจุ เช่น 5 พิโคฟารัด (pF) 10 ไมโครฟารัด (μF) แผ่นตัวนำมักใช้โลหะและมีไดอิเล็กตริกประเภท ไมก้า เซรามิค อิเล็กโตรไลติกคั่นกลาง เป็นต้น การเรียกชื่อตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่นี้จะเรียกชื่อตามไดอิเล็กตริกที่ใช้ เช่น ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโตรไลติก ชนิดเซรามิค ชนิดไมก้า เป็นต้น ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่มีใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปมีดังนี้คือ



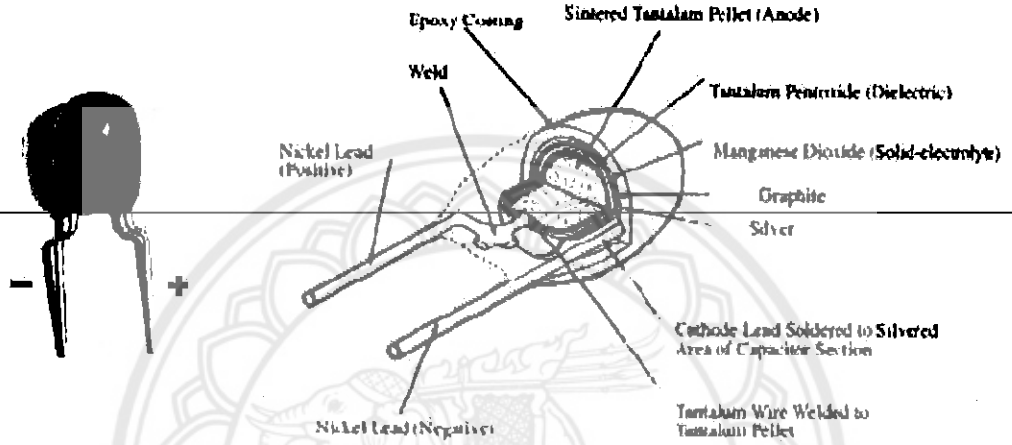
รูปที่ 2.7 ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ชนิดต่าง ๆ

ก) ชนิดอิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte Capacitor) เป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ค่าความจุสูง มีขั้วที่แน่นอนติดไว้ที่ข้างตัวเก็บประจุเวลาใช้งานต้องติดตั้งให้ถูกขั้ว โครงสร้างภายในคล้ายกับแบตเตอรี่ นิยมใช้กับงานความถี่ต่ำหรือใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง มีข้อเสียคือกระแสรั่วไหลและความผิดพลาดสูงมาก



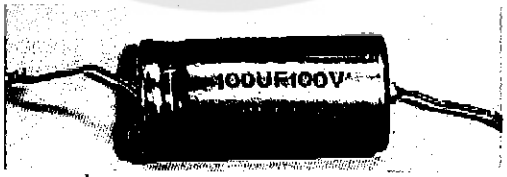

**รูปที่ 2.8** ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโตรไลต์

ข) ชนิดแทนทาลั่มอิเล็กโตรไลด์ (Tantalum Electrolyte Capacitor) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความผิดพลาดน้อยใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่าง มีประสิทธิภาพ มักจะใช้ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลั่มอิเล็กโตรไลต์แทนชนิดอิเล็กโตรไลต์ธรรมดา เพราะให้ค่าความจุสูงเช่นกัน โครงสร้างภายในประกอบด้วยแผ่นตัวนำทำมาจากแทนทาลั่มและแทนทาลั่มเปอร์ออกไซค์อีกแผ่น นอกจากนี้ยังมีแมงกานีสไดออกไซค์ เงิน และเคลือบด้วยเรซินให้คุณภาพดีแต่มีราคาสูง



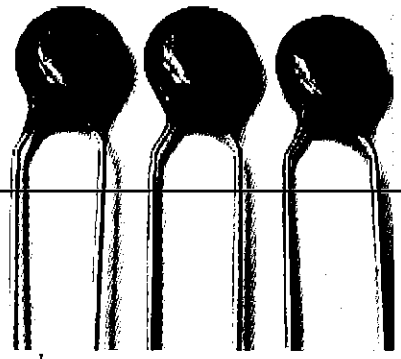

รูปที่ 2.9 ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลั่มอิเล็กโตรไลด์

ค) ชนิดไบโพล่าร์ (Bipolar Capacitor) นิยมใช้กันมากในวงจรภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องขยายเสียง เป็นตัวเก็บประจุจำพวกเดียวกับชนิดอิเล็กโตรไลต์ แต่ไม่มีขั้วบวกลบ บางครั้งเรียกสั้น ๆ ว่า ไบแคป




**รูปที่ 2.10** ตัวเก็บประจุชนิดไบโพล่าร์

ง) ชนิดเซรามิค (Ceramic Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าไม่เกิน 1 μF นิยมใช้กันทั่วไปเพราะมีราคาถูกเหมาะสำหรับวงจรประเภทเชื่อมต่อความถี่วิทยุ ข้อเสียของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคคือมีการสูญเสียมาก

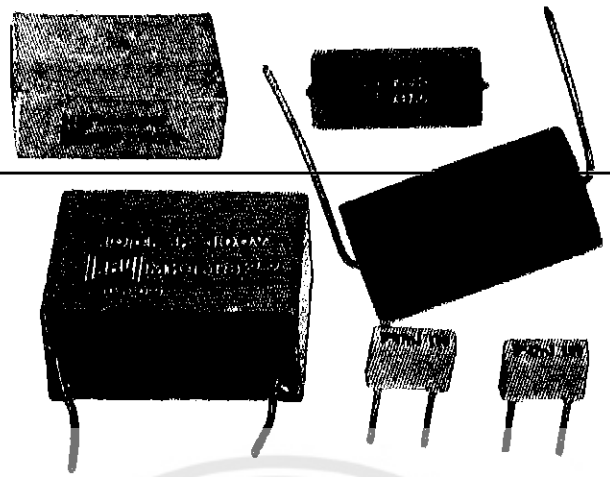


**รูปที่ 2.11** ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค

จ) ชนิดไมล่าร์ (Mylar Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่ามากกว่า 1 μF เพราะฉะนั้นในงานบางอย่างจะใช้ไมล่าร์แทนเซรามิค เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดและการรั่วไหลของกระแสน้อยกว่าชนิดเซรามิค เหมาะสำหรับวงจรกรองความถี่สูง วงจรภาคไอเอฟของวิทยุโทรทัศน์ ตัวเก็บประจุชนิดไมล่าร์จะมีตัวถังที่ใหญ่กว่าเซรามิคในอัตราทนแรงดันที่เท่ากัน

**รูปที่ 2.12** ตัวเก็บประจุชนิดไมล่าร์

ฉ) ชนิดโพลี (Poly Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้สามารถแบ่งได้เป็นหลายแบบเช่น โพลีเอสเตอร์ โพลีคาร์บอนเนต โพลีโพไฟลีน ความจุจะอยู่ในช่วง nF - μF เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุชนิดไมล่าร์การใช้งานแรงดันอยู่ในช่วง 50 – 100 V หรือมากกว่าซึ่งจะเขียนติดไว้ที่ตัวเก็บประจุอยู่แล้วและค่าตัวเก็บประจุจะพิมพ์อยู่บนตัวเก็บประจุเลย ในการใช้งานส่วนมากจะใช้ในระบบเสียง เครื่องเสียง ระบบควบคุม เป็นต้น

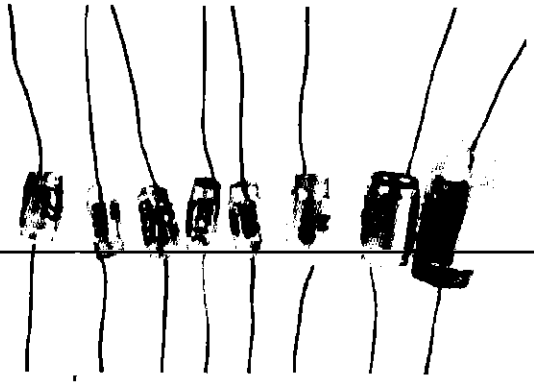


รูปที่ 2.13 ตัวเก็บประจุชนิดโพลี

ช) ชนิดฟีดทรู (Feed-through Capacitor) ลักษณะโครงสร้างเป็นตัวถังทรงกลมมีขาใช้งานหนึ่งหรือสองขา ใช้ในการกรองความถี่รบกวนที่เกิดจากเครื่องยนต์มักใช้ในวิทยุรถยนต์

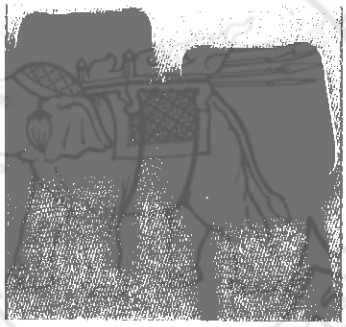
รูปที่ 2.14 ตัวเก็บประจุชนิดฟีดทรู

ซ) ชนิดโพลีสไตรีน (Polystyrene Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยอยู่ในระดับนาโนฟารัด (nF) มีข้อดีคือให้ค่าการสูญเสียและกระแสรั่วไหลน้อยมาก นิยมใช้ในงานเชื่อมต่อความถี่วิทยุและตัวปรับความถี่ (Tuner) ที่ต้องการความละเอียดสูงจัดเป็นตัวเก็บประจุที่ดีมาก



**รูปที่ 2.15** ตัวเก็บประจุชนิดโพลีสไตรีน

ฌ) ชนิดซิลเวอร์ไมก้า (Silver Mica Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่า 10 pF ถึง 10 nF เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อย นิยมใช้กับวงจรความถี่สูง จัดเป็นตัวเก็บประจุที่ดีมากอีกชนิดหนึ่ง

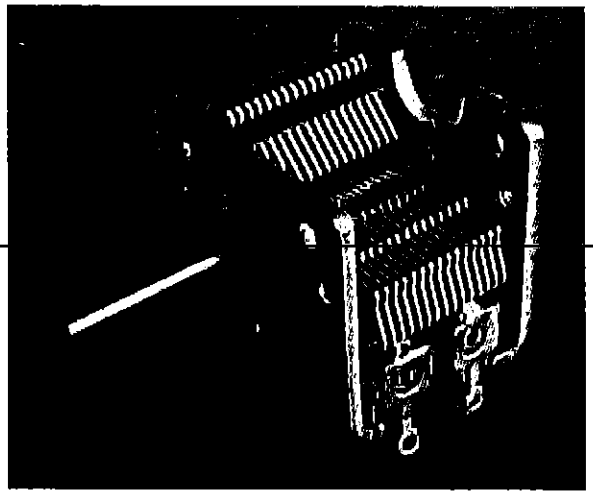


**รูปที่ 2.16** ตัวเก็บประจุชนิดซิลเวอร์ไมก้า

**2.8.2 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Capacitor)**

เป็นตัวเก็บประจุซึ่งการเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ของแกนหมุน ตัวเก็บประจุชนิดนี้ปกติแล้วจะประกอบด้วยอุปกรณ์ภายใน 2 ส่วน ได้แก่ แผ่นที่เคลื่อนที่ได้และแผ่นที่ติดตั้งอยู่กับที่โดยแผ่นทั้งสองจะเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้ากับวงจรภายนอก การแบ่งประเภทของตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้นี้จะแบ่งตามไดอิเล็กตริกที่ใช้ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ อากาศ ไมก้า เซรามิค และพลาสติก

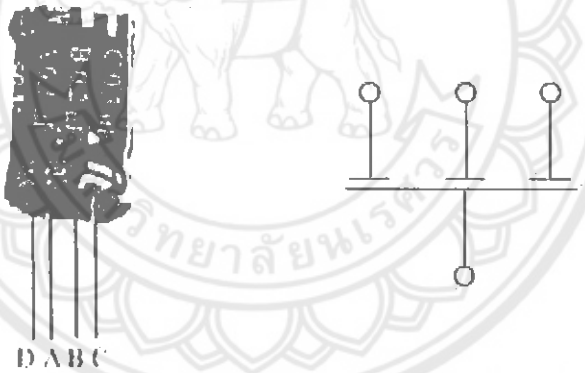
1575195
ว.ร.
T4897
2552



รูปที่ 2.17 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

**2.8.3 ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้ (Select Capacitor)**

คือตัวเก็บประจุในตัวถังเดียว แต่มีค่าให้เลือกใช้งานมากกว่าหนึ่งค่า




รูปที่ 2.18 ตัวเก็บประจุแบบเลือกค่าได้

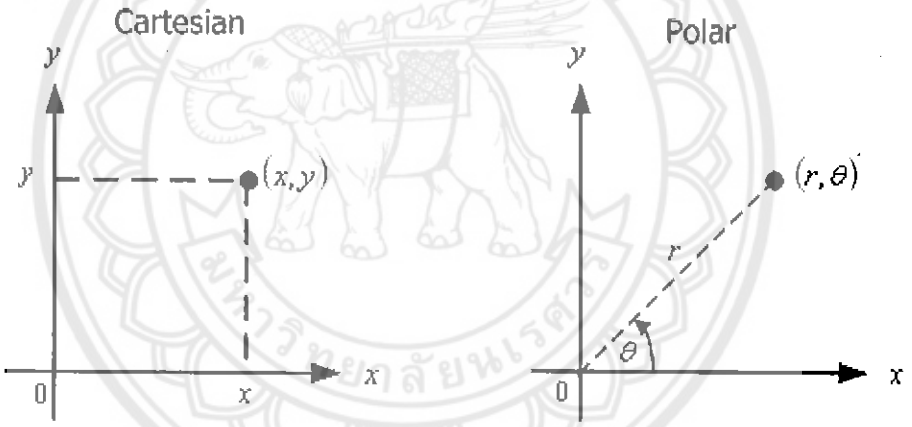
ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดโพลี เนื่องจากค่าความจุและแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่ต้องการ และราคาถูกเหมาะสมในการติดตั้ง

## 2.9 การใช้มอเตอร์ซิงโครนัสแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

โดยใช้มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor) ขับภาระทางกลในโรงงานซึ่งจะเป็นการติดตั้งแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) ที่ใช้เดิมอยู่แล้ว หรือติดตั้งขึ้นมาใหม่เมื่อโรงงานมีการขยายงานเพิ่มขึ้นมอเตอร์ซิงโครนัสจะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงเหมาะสำหรับโหลดที่ต้องการประสิทธิภาพทางด้านความเร็วที่มีความคงที่สูงและมีขนาดอย่างต่ำ 20 HP ขึ้นไป วิธีนี้จะใช้กันในระบบใหญ่ ๆ ที่มีขนาดตั้งแต่ 7,500 kVA ขึ้นไปถ้าเป็นระบบที่เล็กกว่านี้จะเป็นการลงทุนที่สูงกว่าวิธีอื่นมาก

## 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากและพิกัดเชิงขั้ว

ระบบพิกัดแบบมาตรฐานใน 2 มิติ ได้แก่ระบบพิกัดฉาก (Cartesian) และระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar)




รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากและพิกัดเชิงขั้ว

ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากกับพิกัดเชิงขั้วพิจารณาได้จากรูปที่ 2.19 ซึ่งขั้วของระบบพิกัดเชิงขั้วทับกับจุดกำเนิดของระบบพิกัดฉากและแกนเชิงขั้วของระบบพิกัดเชิงขั้วทับกับแกน x ด้านบวกของระบบพิกัดฉาก กำหนดจุดสีแดงให้มีพิกัด (x,y) ในระบบพิกัดฉาก และมีพิกัด $(r,\theta)$ ในระบบพิกัดเชิงขั้วจะเห็นได้จากรูปว่า

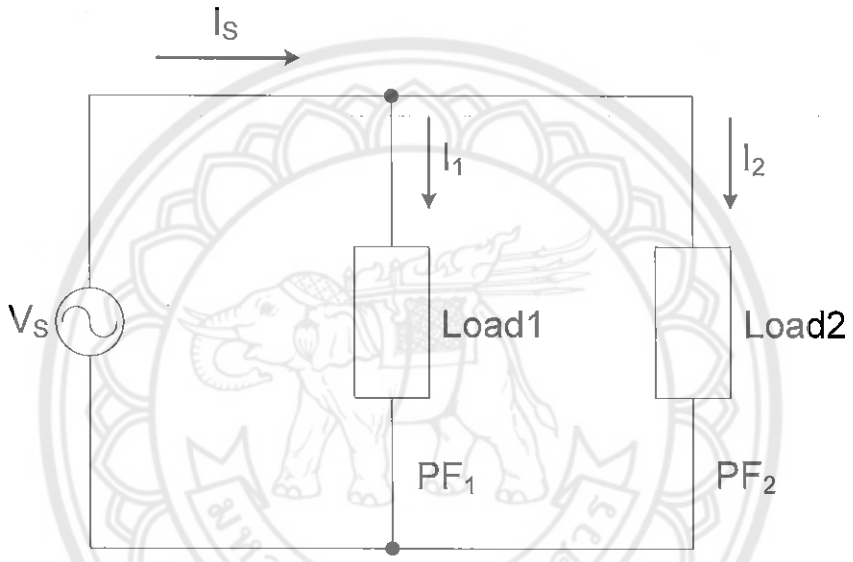
$$x = r\cos\theta \text{ และ } y = r\sin\theta \tag{2.11}$$

ในทางกลับกัน เมื่อทราบพิกัดฉาก เราสามารถหาพิกัดเชิงขั้วได้จาก

$$r^2 = x^2 + y^2 \text{ และ } \tan\theta = \frac{y}{x} \tag{2.12}$$

## 2.11 การหาค่ากระแสไฟฟ้ารวมเมื่อทำการรวมโหลด

ในการหาค่ากระแสไฟฟ้ารวมเมื่อทำการรวมโหลดนั้นสามารถหาได้จากการหาค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดฉากและพิกัดเชิงขั้วของโหลดแต่ละตัวก่อนจากสมการที่ 2.11 และ 2.12 แล้วอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดเชิงขั้วและพิกัดฉากเพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้ารวมของโหลดทั้งหมด โดยคิดมุม $\theta$ จากกำลังจินตภาพแล้วนำมาอ้างอิงกับแหล่งจ่ายไฟ และถ้ามุมของกระแสตามหลังแรงดันจะส่งผลให้มุม $\theta$ มีค่าติดลบดังตัวอย่าง




**รูปที่ 2.20** แสดงตัวอย่างการคิดกระแสไฟฟ้ารวม

จากรูปที่ 2.20 กำหนดให้ Load 1 มีค่า PF = 0.7, $I_1 = 0.15$ A

Load 2 มีค่า PF = 0.8, $I_2 = 0.20$ A

หาค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดเชิงขั้วของ Load 1

หามุม $\theta_1$ จากค่า PF $\quad \theta_1 = \cos^{-1}\text{PF}$

$= \cos^{-1}(0.7)$

$= 45.573^\circ$

กำหนดให้มุมของแหล่งจ่ายไฟเป็นมุมอ้างอิงและเนื่องจากมุม $\theta_1$ เป็นมุมของกระแสตามหลังแรงดันจึงทำให้มุม $\theta_1$ มีค่าติดลบ

$$\theta_1 = -45.573^\circ$$

ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดเชิงขั้วของ Load 1 มีค่าเท่ากับ $0.15 \angle -45.573^\circ$

ทำการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพิกัดฉากจากสมการที่ 2.11

$$x = r\cos\theta$$
$$= 0.15\cos(-45.573) = 0.105$$

และ
$$y = r\sin\theta$$
$$= 0.15\sin(-45.573) = -0.107$$

ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดฉากของ Load 1 มีค่าเท่ากับ $0.105 - j0.107$

หาค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดเชิงขั้วของ Load 2

หามุม $\theta_2$ จากค่า PF
$$\theta_2 = \cos^{-1} \text{PF}$$
$$= \cos^{-1}(0.8)$$
$$= 36.869^\circ$$

กำหนดให้มุมของแหล่งจ่ายไฟเป็นมุมอ้างอิงและเนื่องจากมุม $\theta_2$ เป็นมุมของกระแสตามหลังแรงดันจึงทำให้มุม $\theta_2$ มีค่าติดลบ

$$\theta_2 = -36.869^\circ$$

ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดเชิงขั้วของ Load 2 มีค่าเท่ากับ $0.20 \angle -36.869^\circ$

ทำการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพิกัดฉากจากสมการที่ 2.11

$$x = r\cos\theta$$
$$= 0.20\cos(-36.869) = 0.16$$

และ
$$y = r\sin\theta$$
$$= 0.20\sin(-36.869) = -0.12$$

ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดฉากของ Load 2 มีค่าเท่ากับ $0.16 - j0.12$

และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้ารวม ($I_s$) ได้จากนำค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดฉากของ Load 1 และLoad 2 มารวมกัน

ผลรวมค่ากระแสไฟฟ้าในระบบพิกัดฉากของ Load 1 และLoad 2

$$= (0.105 + 0.16) + j(-0.107 - 0.12)$$
$$= 0.265 - j0.227$$

คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้ารวม

$$= \sqrt{(0.265^2) + (-0.227^2)}$$
$$= 0.136\ \text{A}$$

# บทที่ 3
# วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านนั้นจำเป็นต้องทำการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าแล้วนำมาคำนวณหาขนาดของตัวเก็บประจุที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการติดตั้งในตัวอุปกรณ์ ซึ่งค่าที่ต้องทำการวัดนั้นได้แก่ ค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าก่อนทำการปรับปรุง ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังจริง และค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าที่กล่าวมาข้างต้นสามารถใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าในการวัดค่าออกมาได้และการคำนวณหาขนาดของตัวเก็บประจุนั้นสามารถคำนวณได้ดังที่แสดงต่อไปนี้

## 3.1 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของพัดลมตั้งพื้นก่อนทำการปรับปรุง

ในการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของพัดลมตั้งพื้นนั้น ทำการวัดค่าโดยใช้เครื่อง Power & Harmonics Analyzer ซึ่งสามารถวัดค่าตัวประกอบกำลัง ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังจริง และค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

**รูปที่ 3.1** การวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของพัดลมตั้งพื้น

เปิดสวิตช์หมายเลข 1 (ความเร็วรอบต่ำสุด) วัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 25 W วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 228.5 V วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0.17 A วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.62 และต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง = 0.62

$\theta_1 = 51.68^\circ$

PF หลังปรับปรุง = 0.95

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 25 \times \tan(51.68)$

$= 31.63$ VAR

$Q_2$ (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 25 \times \tan(18.19)$

$= 8.21$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 31.63 - 8.21$

$= 23.42$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{23.42}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

$= 1.434\ \mu F$

เปิดสวิตช์หมายเลข 2 (ความเร็วรอบปานกลาง) วัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 27 W วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 228.5 V วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0.18 A วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.64 และต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง = 0.64

$\theta_1 = 50.21^\circ$

PF หลังปรับปรุง = 0.95

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 27 \times \tan(50.21)$

$= 32.42$ VAR

$Q_2$ (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 27 \times \tan(18.19)$

$= 8.87$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 32.42 - 8.87$

$= 23.55$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{23.55}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

$= 1.43\ \mu F$

เปิดสวิตช์หมายเลข 3 (ความเร็วรอบสูงสุด) วัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 30 W วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 228.5 V วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0.184 A วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.72 และต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง $= 0.72$

$\theta_1 = 43.95^\circ$

PF หลังปรับปรุง $= 0.95$

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 30 \times \tan(43.95)$

$= 28.92$ VAR

$Q_2$ (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 30 \times \tan(18.19)$

$= 9.857$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 28.92 - 9.857$

$= 19.063$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{19.063}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$= 1.162\,\mu F$$

## 3.2 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก่อนทำการปรับปรุง

ในการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W นั้น ทำการวัดค่าโดยใช้เครื่อง Power & Harmonics Analyzer ซึ่งสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้า 30 W ค่าแรงดันไฟฟ้า 228.5 V ค่ากระแสไฟฟ้า 0.36 A ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.36 และต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95 ดังแสดงในรูปที่ 3.2

**รูปที่ 3.2** การวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง = 0.36

$\theta_1 = 68.89^\circ$

PF หลังปรับปรุง = 0.95

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 30 \times \tan(68.89)$

$= 77.71$ VAR

Q2 (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 30 \times \tan(18.19)$

$= 9.86$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 77.71 - 9.86$

$= 67.85$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

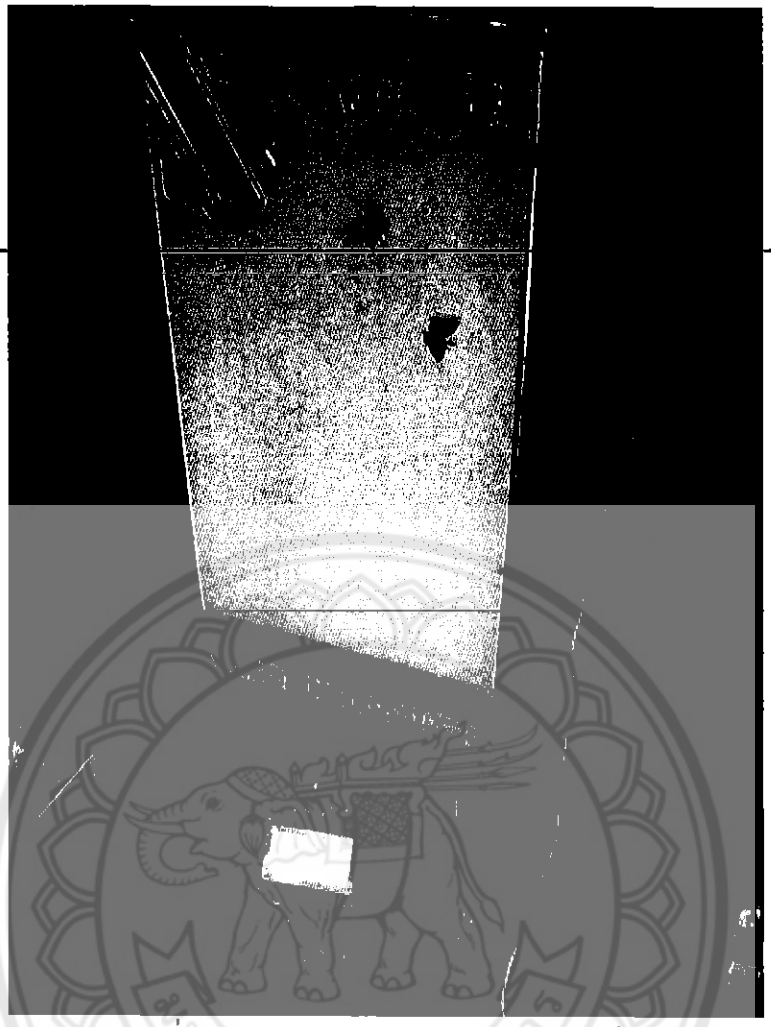
$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{67.85}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

$= 4.14\ \mu F$

## 3.3 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของตู้เย็นก่อนทำการปรับปรุง

ในการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของตู้เย็นนั้นทำการวัดค่าโดยใช้เครื่อง Power & Harmonics Analyzer ซึ่งสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้า 100 W ค่าแรงดันไฟฟ้า 228.5 V ค่ากระแสไฟฟ้า 0.50 A ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.86 และต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95 ดังแสดงในรูปที่ 3.3



**รูปที่ 3.3** การวัดค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็น

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง = 0.86

$\theta_1 = 30.68^\circ$

PF หลังปรับปรุง = 0.95

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 100 \times \tan(30.68)$

$= 59.33$ VAR

$Q_2$ (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 100 \times \tan(18.19)$

$= 32.86$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 59.33 - 32.86$

$= 26.47$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

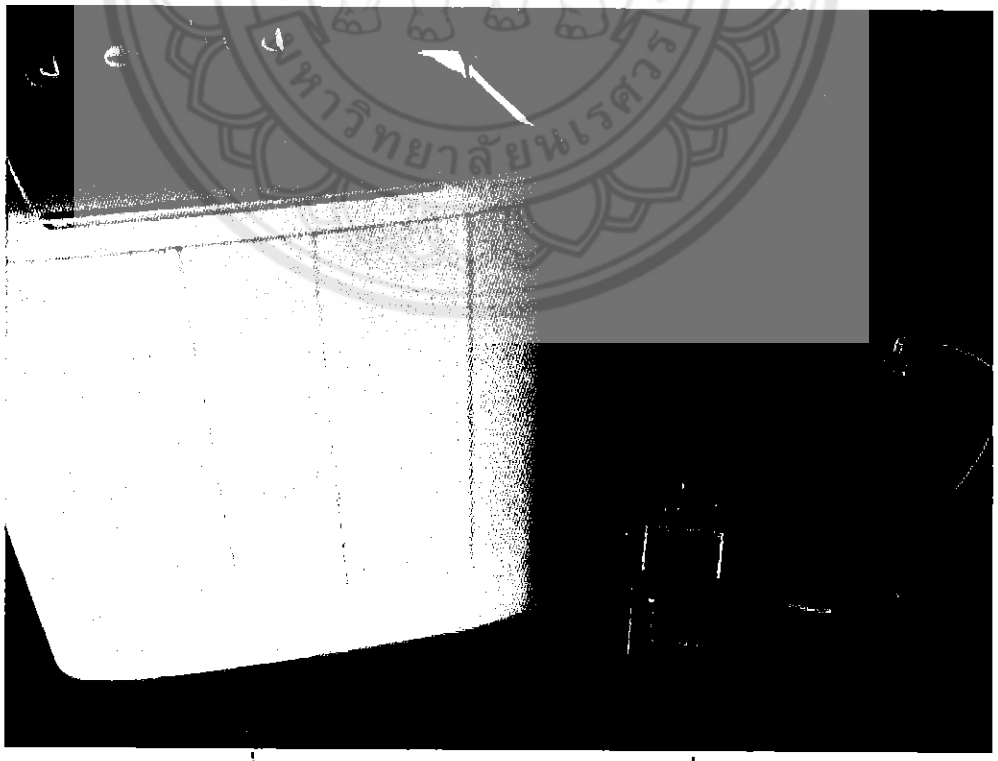
$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{26.47}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

$= 1.61\,\mu F$

## 3.4 คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุของเครื่องซักผ้าก่อนทำการปรับปรุง

ในการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของเครื่องซักผ้าทำการวัดค่าโดยใช้เครื่อง Power & Harmonics Analyzer ซึ่งสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้า 200 W ค่าแรงดันไฟฟ้า 228.5 V ค่ากระแสไฟฟ้า 1.06 A ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.83 และต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95 ดังแสดงในรูปที่ 3.4



**รูปที่ 3.4** การวัดค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องซักผ้า

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง = 0.83

$\theta_1 = 33.9^\circ$

PF หลังปรับปรุง = 0.95

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 200 \times \tan(33.9)$

$= 134.39$ VAR

$Q_2$ (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 200 \times \tan(18.19)$

$= 65.72$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 134.39 - 65.72$

$= 68.67$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{68.67}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

$= 4.19\,\mu F$

# บทที่ 4
# การทดลองและการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

การทดลองนี้เป็นการทดลองและทดสอบการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังกับอุปกรณ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยการทดลองได้ทำการเลือกบ้านตัวอย่างขึ้นมาหนึ่งหลัง เพื่อให้เห็นความแตกต่างเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและค่าไฟฟ้าภายในบ้านก่อนการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและหลังจากที่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ในการทดลองนี้ใช้การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยการนำตัวเก็บประจุต่อขนานเข้ากับโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำการปรับปรุงอยู่ 2 ลักษณะ คือ การปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์ และการปรับปรุงเป็นกลุ่ม

## 4.1 การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่ตัวอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ทำการทดลองมีดังนี้

1) พัดลมตั้งพื้น
2) หลอดไฟ
3) ตู้เย็น
4) เครื่องซักผ้า

โดยมีวิธีการแก้ไขตัวประกอบกำลังที่ตัวอุปกรณ์ดังนี้

1) พัดลมตั้งพื้น ติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 1.5 μF

เปิดสวิทช์พัดลมหมายเลข 1 ค่ากำลังไฟฟ้า 20 W แรงดันไฟฟ้า 228.5 V กระแสไฟฟ้า 0.09 A ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นเป็น 0.911

เปิดสวิทช์พัดลมหมายเลข 2 ค่ากำลังไฟฟ้า 23 W แรงดันไฟฟ้า 228.5 V กระแสไฟฟ้า 0.105 A ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นเป็น 0.94

เปิดสวิทช์พัดลมหมายเลข 3 ค่ากำลังไฟฟ้า 26 W แรงดันไฟฟ้า 228.5 V กระแสไฟฟ้า 0.12 A ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นเป็น 0.948

ซึ่งการติดตั้งตัวประจุสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

**รูปที่ 4.1** การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 1.5 μF กับพัดลมตั้งพื้น

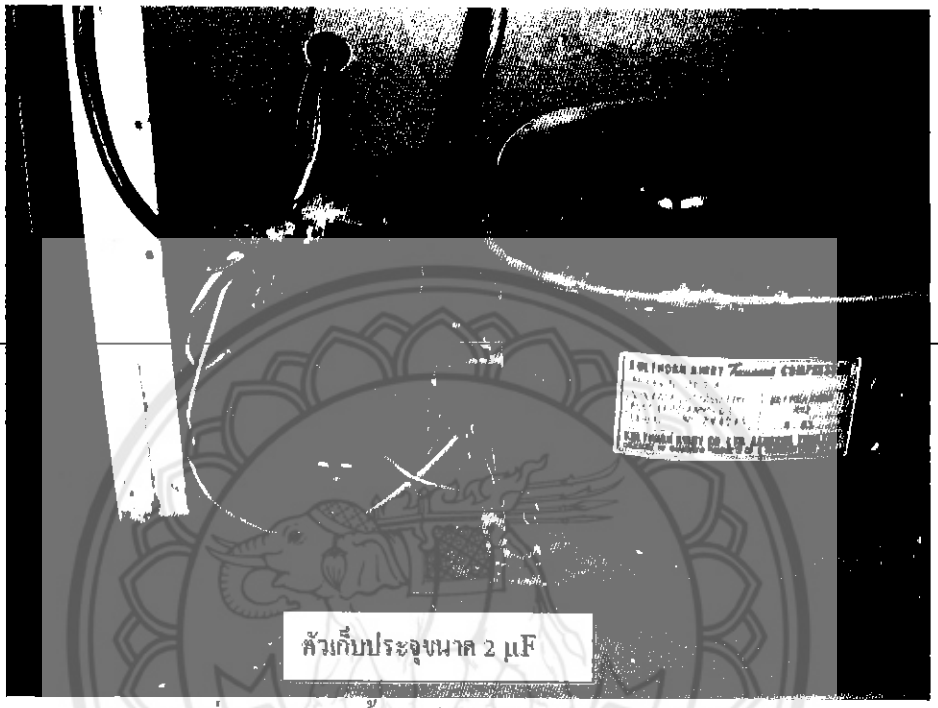
2) หลอดไฟ ติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF

ค่ากำลังไฟฟ้า 20W แรงดันไฟฟ้า 228.5 กระแสไฟฟ้า 0.1 A ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นเป็น 0.90 ดังแสดงในรูปที่ 4.2

**รูปที่ 4.2** การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF กับหลอดไฟ

3) ตู้เย็น ติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 2 μF

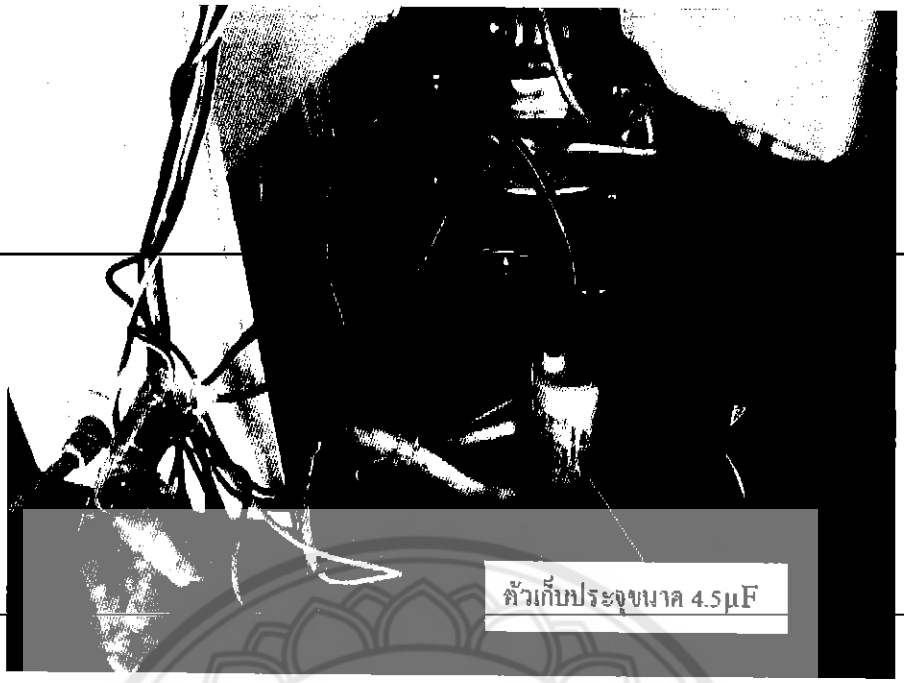
ค่ากำลังไฟฟ้า 90 W แรงดันไฟฟ้า 228.5 V กระแสไฟฟ้า 0.41 A ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นเป็น 0.96 ดังแสดงในรูปที่ 4.3




**รูปที่ 4.3** การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 2 μF กับตู้เย็น

4) เครื่องซักผ้า ติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF

ค่ากำลังไฟฟ้า 160 W ใช้แรงดันไฟฟ้า 228.5 V วัดกระแสได้ 0.75 A ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นเป็น 0.93 ดังแสดงในรูปที่ 4.4




**รูปที่ 4.4** การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF กับเครื่องซักผ้า

**ผลการทดลอง**

ก) ผลการทดลองก่อนทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสามารถแสดงดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการทดลองก่อนทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | ค่ากระแส (A) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กำลังจริง (W) | PF ก่อนปรับปรุง | PF ที่ต้องการ |
|---|---|---|---|---|---|
| พัดลมตั้งพื้น | 0.184 | 228.5 | 30 | 0.72 | 0.95 |
| หลอดไฟ | 0.36 | 228.5 | 30 | 0.36 | 0.95 |
| ตู้เย็น | 0.50 | 228.5 | 100 | 0.86 | 0.95 |
| เครื่องซักผ้า | 1.06 | 228.5 | 200 | 0.83 | 0.95 |

ข) ผลการทดลองหลังทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ผลการทดลองหลังทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | ค่ากระแส (A) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กำลังจริง (W) | PF หลังปรับปรุง | ค่าตัวเก็บประจุ (μF) |
|---|---|---|---|---|---|
| พัดลมตั้งพื้น | 0.12 | 228.5 | 26 | 0.948 | 1.5 |
| หลอดไฟ | 0.10 | 228.5 | 20 | 0.90 | 4.5 |
| ตู้เย็น | 0.41 | 228.5 | 90 | 0.96 | 2 |
| เครื่องซักผ้า | 0.75 | 228.5 | 160 | 0.93 | 4.5 |

## 4.2 การคำนวณค่าไฟฟ้า

เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้านส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานในรูปของไฟฟ้า เราสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเองได้และทำให้เราสามารถวางแผนประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

$$\text{หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน} = \frac{\text{จำนวนวัตต์} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อเดือน}}{1000}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าเพื่อคำนวณว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ใช้งานในแต่ละเดือนใช้ไฟกี่หน่วย และนำมาเปรียบเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าว่าเป็นจำนวนเงินกี่บาท สามารถคำนวณได้ดังนี้

ก) ก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย (พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)

1) พัดลมตั้งพื้น

ขนาด 30 W เปิดใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง

$$\text{หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน} = \frac{30 \times (12 \times 30)}{1000} = 10.8 \text{ หน่วย}$$

2) หลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์

ขนาด 30 W เปิดใช้งานวันละ 6 ชั่วโมง

$$\text{หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน} = \frac{30 \times (6 \times 30)}{1000} = 5.4 \text{ หน่วย}$$

3) ตู้เย็น

ขนาด 100 W เปิดใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง คอมเพสเซอร์ทำงานวันละประมาณ 8 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = $\frac{100 \times (8 \times 30)}{1000} = 24$ หน่วย

4) เครื่องซักผ้า

ขนาด 200 W เปิดใช้งาน 4 ครั้งต่อเดือน ครั้งละ 1 ชั่วโมง เฉลี่ยใช้งานเดือนละ 4 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = $\frac{200 \times 4}{1000} = 0.8$ หน่วย

รวมการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ประมาณเดือนละ = 10.8 +5.4+24+0.8 = 41 หน่วย

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย (พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)

หน่วยที่ 0-5 = 0 บาท

หน่วยที่ 6-15 = (1.3576 × 10) = 13.576 บาท

หน่วยที่ 16-25 = (1.5445 × 10) = 15.445 บาท

หน่วยที่ 26-35 = (1.7968 × 10) = 17.968 บาท

หน่วยที่ 36-41 = (2.18 × 6) = 13.08 บาท

รวมค่าไฟฟ้าเป็นเงิน = 13.576+15.445+17.968+13.08 = 60.069 บาทต่อเดือน (ไม่รวมค่าบริการ)

จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังจริงรวมถึงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดก่อนทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | ค่ากระแส (A) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กำลังจริง (W) | พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) |
|---|---|---|---|---|
| พัดลมตั้งพื้น | 0.184 | 228.5 | 30 | 10.8 |
| หลอดไฟ | 0.36 | 228.5 | 30 | 5.4 |
| ตู้เย็น | 0.50 | 228.5 | 100 | 24 |
| เครื่องซักผ้า | 1.06 | 228.5 | 200 | 0.8 |

ข) หลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย (พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)

1) พัดลมตั้งพื้น

ขนาด 26 W เปิดใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = $\frac{26 \times (12 \times 30)}{1000} = 9.36$ หน่วย

2) หลอดฟลูออเรสเซนต์

ขนาด 20 W เปิดใช้งานวันละ 6 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = $\frac{20 \times (6 \times 30)}{1000} = 4.8$ หน่วย

3) ตู้เย็น

ขนาด 90 W เปิดใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง คอมเพสเซอร์ทำงานวันละประมาณ 8 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = $\frac{90 \times (8 \times 30)}{1000} = 21.6$ หน่วย

4) เครื่องซักผ้า

ตอนซักขนาด 160 W เปิดใช้งาน 4 ครั้งต่อเดือน ครั้งละ 1 ชั่วโมง เฉลี่ยใช้งานเดือนละ 4 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน = $\frac{160 \times 4}{1000} = 0.64$ หน่วย

รวมการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ประมาณเดือนละ = 9.36+4.8+21.6+0.64 = 36.4 หน่วย

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย (พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)

หน่วยที่ 0-5 = 0 บาท

หน่วยที่ 6-15 = (1.3576 × 10) = 13.576 บาท

หน่วยที่ 16-25 = (1.5445 × 10) = 15.445 บาท

หน่วยที่ 26-35 = (1.7968 × 10) = 17.968 บาท

หน่วยที่ 36-37 = (2.18 × 1) = 2.18 บาท

รวมค่าไฟฟ้าเป็นเงิน = 13.576+15.445+17.968+2.18 = 49.169 บาทต่อเดือน (ไม่รวมค่าบริการ)

จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังจริงรวมถึงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดหลังทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | ค่ากระแส (A) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กำลังจริง (W) | พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) |
|---|---|---|---|---|
| พัดลมตั้งพื้น | 0.12 | 228.5 | 26 | 9.36 |
| หลอดไฟ | 0.10 | 228.5 | 20 | 4.8 |
| ตู้เย็น | 0.41 | 228.5 | 90 | 21.6 |
| เครื่องซักผ้า | 0.75 | 228.5 | 160 | 0.64 |

จากการเปรียบเทียบผลในตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้จริง นั่นคือ

รายจ่ายค่าไฟฟ้าก่อนทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า = 60.069 บาทต่อเดือน

รายจ่ายค่าไฟฟ้าหลังทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า = 49.169 บาทต่อเดือน

ดังนั้นสามารถลดค่าไฟฟ้า = 60.069 – 49.169 = 10.9 บาทต่อเดือน

หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ = 18.146 %

เราสามารถคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

ค่าตัวเก็บประจุขนาด 1.5 μF = 15 บาท

ค่าตัวเก็บประจุขนาด 2 μF = 35 บาท

ค่าตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF = 35 บาท

ค่าตัวเก็บประจุขนาด 4.5 μF = 85 บาท

สามารถคืนทุนได้ในเวลา = (15+35+35+85) ÷ 10.9 = 1 ปี 4 เดือน

## 4.3 การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังเป็นกลุ่ม (กรณีใช้อุปกรณ์พร้อมกันทั้ง 4 ชนิด)

ในการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าในกรณีทำการแก้ไขตัวประกอบกำลังเป็นกลุ่มแสดงได้ตามตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** ตารางแสดงเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมโหลดของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดก่อนปรับปรุง

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | ค่ากระแส (A) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กำลังจริง (W) | PF ก่อนปรับปรุง | PF ที่ต้องการ |
|---|---|---|---|---|---|
| พัดลมตั้งพื้น<br>หลอดไฟ<br>ตู้เย็น<br>เครื่องซักผ้า | 2.12 | 228.5 | 358.5 | 0.75 | 0.95 |

ซึ่งการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าเพื่อนำมาทำการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุสามารถวัดค่าได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5

**รูปที่ 4.5** การวัดค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิด

วิธีการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ

PF ก่อนปรับปรุง = 0.75

$\theta_1 = 41.41^\circ$

PF หลังปรับปรุง = 0.95

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$Q_1$ (VAR) ที่ PF ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 358.5 \times \tan(41.41)$

$= 316.17$ VAR

$Q_2$ (VAR) ที่ PF หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_2$

$= 358.5 \times \tan(18.19)$

$= 117.8$ VAR

ดังนั้น กำลังจินตภาพ $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 316.17 - 117.8$

$= 198.37$ VAR

หาค่าตัวเก็บประจุได้จาก

$$C = \frac{Q}{V^2 2\pi f}$$

$$= \frac{198.37}{228.5^2 \times 2\pi \times 50}$$

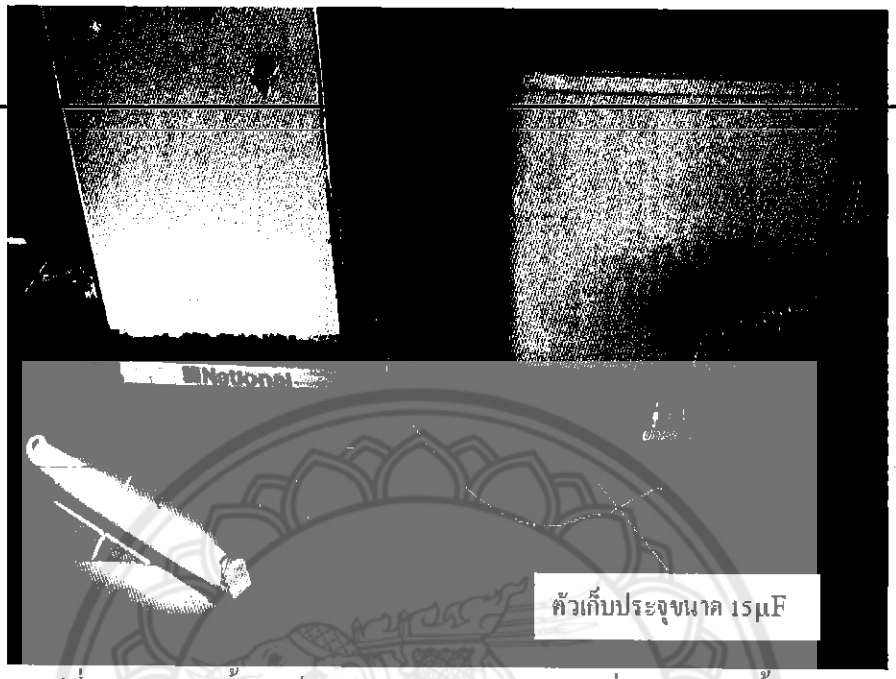
$= 12.1\,\mu F$

ซึ่งผลที่ได้การวัดค่าต่าง ๆ เมื่อทำการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบโหลดรวมสามารถแสดงในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** ตารางแสดงเครื่องใช้ไฟฟ้าโหลดรวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดหลังปรับปรุง

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | ค่ากระแส (A) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กำลังจริง (W) | PF หลังปรับปรุง | ค่าตัวเก็บประจุ (μF) |
|---|---|---|---|---|---|
| พัดลมตั้งพื้น | 1.4 | 228.5 | 302.5 | 0.952 | 15 |
| หลอดไฟ | | | | | |
| ตู้เย็น | | | | | |
| เครื่องซักผ้า | | | | | |

และการติดตั้งตัวเก็บประจุกับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6




**รูปที่ 4.6** การติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 15 μF กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิด

ก) ก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1) พัดลมตั้งพื้น ใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง

2) หลอดไฟ ใช้งานวันละ 6 ชั่วโมง

3) ตู้เย็น เปิดใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง คอมเพสเซอร์ทำงานวันละประมาณ 8 ชั่วโมง

4) เครื่องซักผ้า เปิดใช้งาน 4 ครั้งต่อเดือน ครั้งละ 1 ชั่วโมง เฉลี่ยใช้งานเดือนละ 4 ชั่วโมง

โอกาสที่จะใช้งานร่วมกันประมาณ 6 ชั่วโมง

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน $= \frac{358.5 \times (30 \times 6)}{1000} = 64.53$ หน่วย

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย (พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)

หน่วยที่ 0-5 = 0 บาท

หน่วยที่ 6-15 = $(1.3576 \times 10) = 13.576$ บาท

หน่วยที่ 16-25 = $(1.5445 \times 10) = 15.445$ บาท

หน่วยที่ 26-35 = $(1.7968 \times 10) = 17.968$ บาท

หน่วยที่ 36-65 = $(2.18 \times 30) = 65.4$ บาท

รวมค่าไฟฟ้าเป็นเงิน = 13.576+15.445+17.968+65.4 = 112.389 บาทต่อเดือน (ไม่รวมค่าบริการ)

ข) หลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือน $= \frac{302.5 \times (30 \times 6)}{1000} = 54.45$ หน่วย

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย (พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)

หน่วยที่ 0-5 = 0 บาท

หน่วยที่ 6-15 = $(1.3576 \times 10) = 13.576$ บาท

หน่วยที่ 16-25 = $(1.5445 \times 10) = 15.445$ บาท

หน่วยที่ 26-35 = $(1.7968 \times 10) = 17.968$ บาท

หน่วยที่ 36-55 = $(2.18 \times 20) = 43.6$ บาท

รวมค่าไฟฟ้าเป็นเงิน = 13.576+15.445+17.968+43.6 = 90.589 บาทต่อเดือน (ไม่รวมค่าบริการ)

จากการคำนวณรายจ่ายค่าไฟฟ้าในการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบเป็นกลุ่มจะพบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้จริง นั่นคือ

รายจ่ายค่าไฟฟ้าก่อนทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า = 112.389 บาทต่อเดือน

รายจ่ายค่าไฟฟ้าหลังทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า = 90.589 บาทต่อเดือน

ดังนั้นสามารถลดค่าไฟฟ้า = 112.389 – 90.589 = 21.8 บาทต่อเดือน

หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ = 19.397 %

เราสามารถคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

ค่าตัวเก็บประจุขนาด 15 $\mu$F = 155 บาท

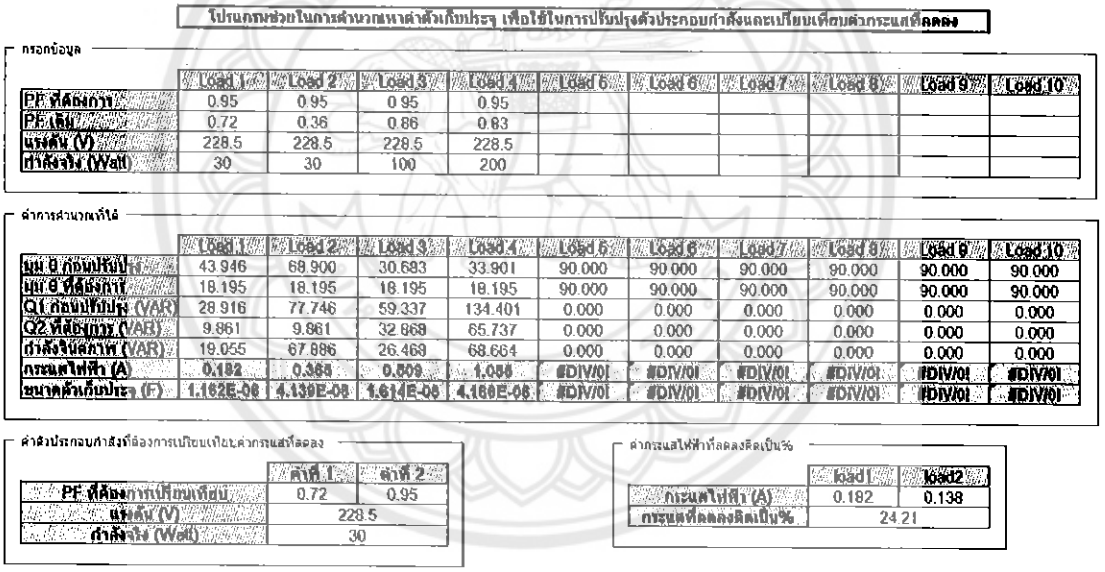
สามารถคืนทุนได้ในเวลา = 155÷21.8 = 8 เดือน

## 4.4 โปรแกรมช่วยคำนวณเพื่อหาแนวทางในการประหยัดค่าไฟ

เพื่อความถูกต้องและความสะดวกในการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดไฟต่อไป ผู้ดำเนินโครงงานจึงได้พัฒนาโปรแกรมช่วยในการคำนวณมีขั้นตอนวิธีการใช้ดังนี้

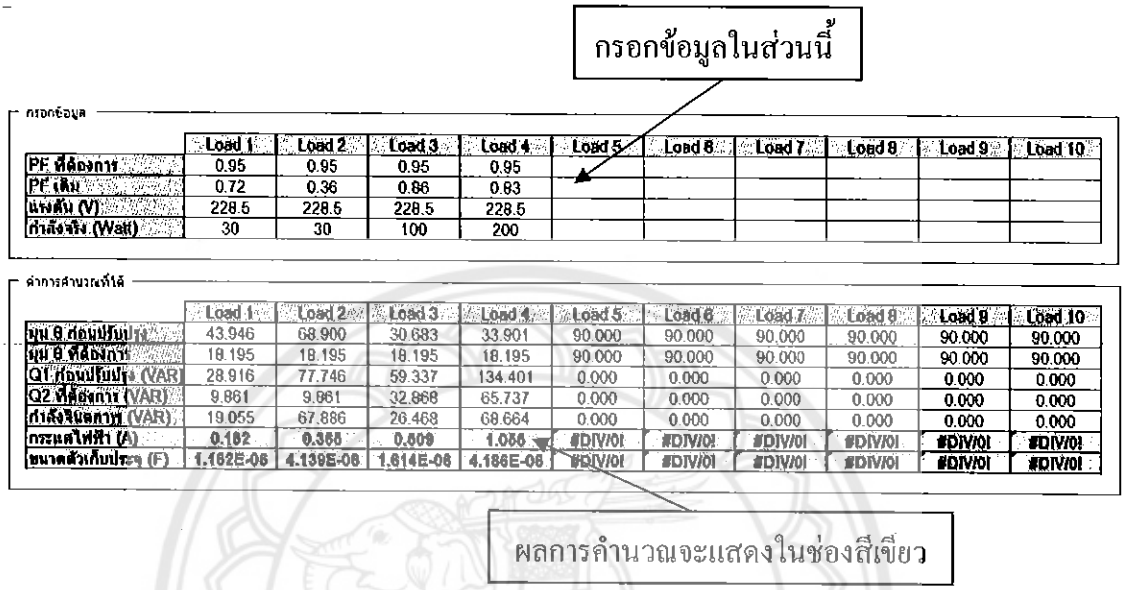
เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะพบหน้าต่างหลักของโปรแกรมที่แบ่งออกเป็น 2 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรมช่วยในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงและโปรแกรมช่วยคำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวม ค่ากระแสรวมและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงของโหลดที่จำลอง

1) โปรแกรมช่วยในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.7



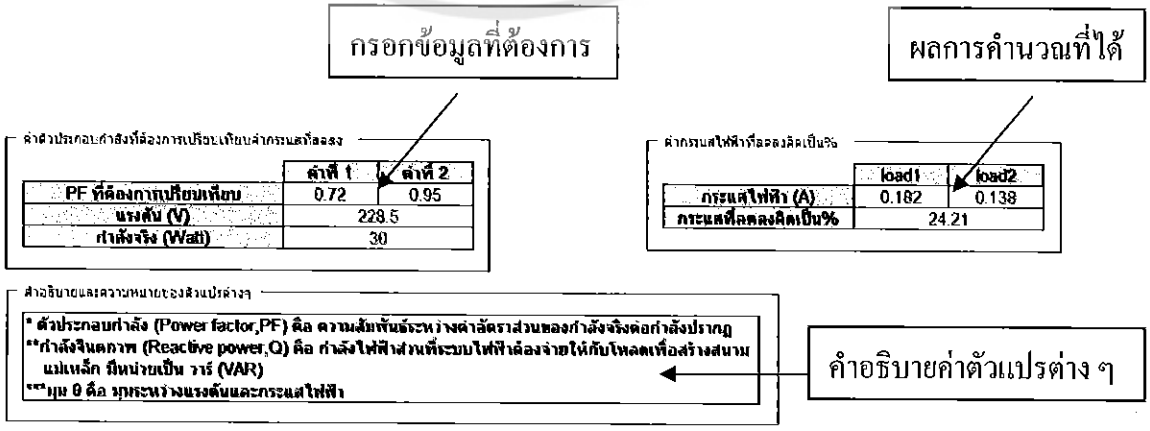

**รูปที่ 4.7** โปรแกรมช่วยในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลง

ในส่วนของโปรแกรมย่อยช่วยในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงนั้น ถ้าต้องการให้โปรแกรมคำนวณหาค่ากระแสและขนาดของตัวเก็บประจุสามารถกรอกข้อมูลลงในส่วนกรอกข้อมูลได้เลยและผลการคำนวณจะแสดงในช่องด้านล่างที่เป็นช่องสีเขียวดังแสดงในรูปที่ 4.8



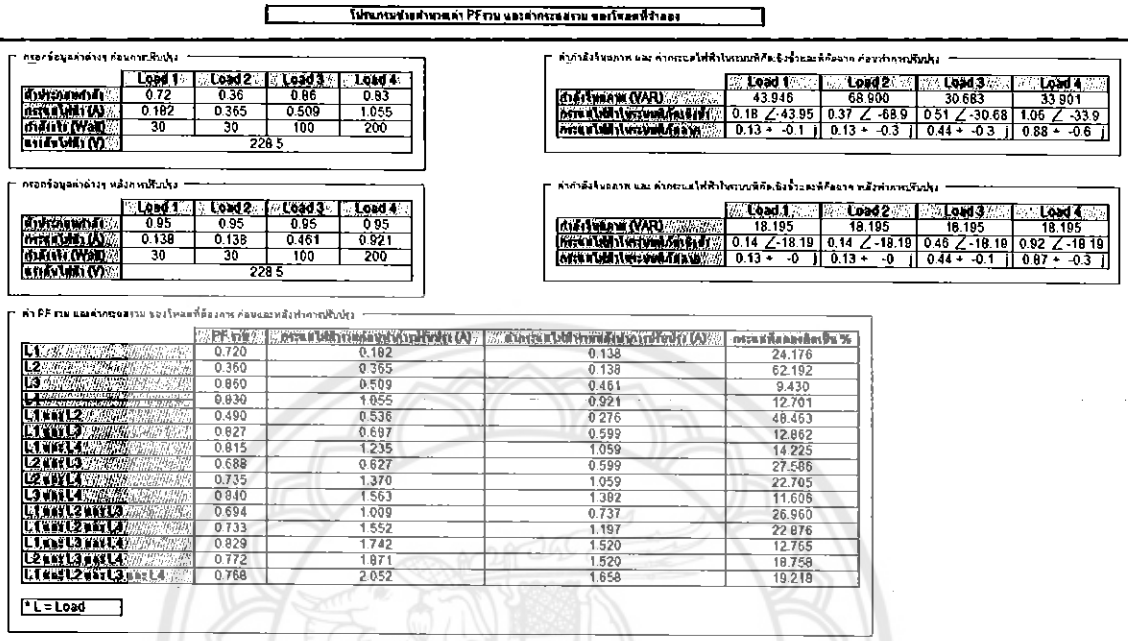

รูปที่ 4.8 การกรอกข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้

ในโปรแกรมย่อยยังสามารถเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์และมีคำอธิบายตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรมเพื่อเพิ่มความเข้าใจของผู้ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.9



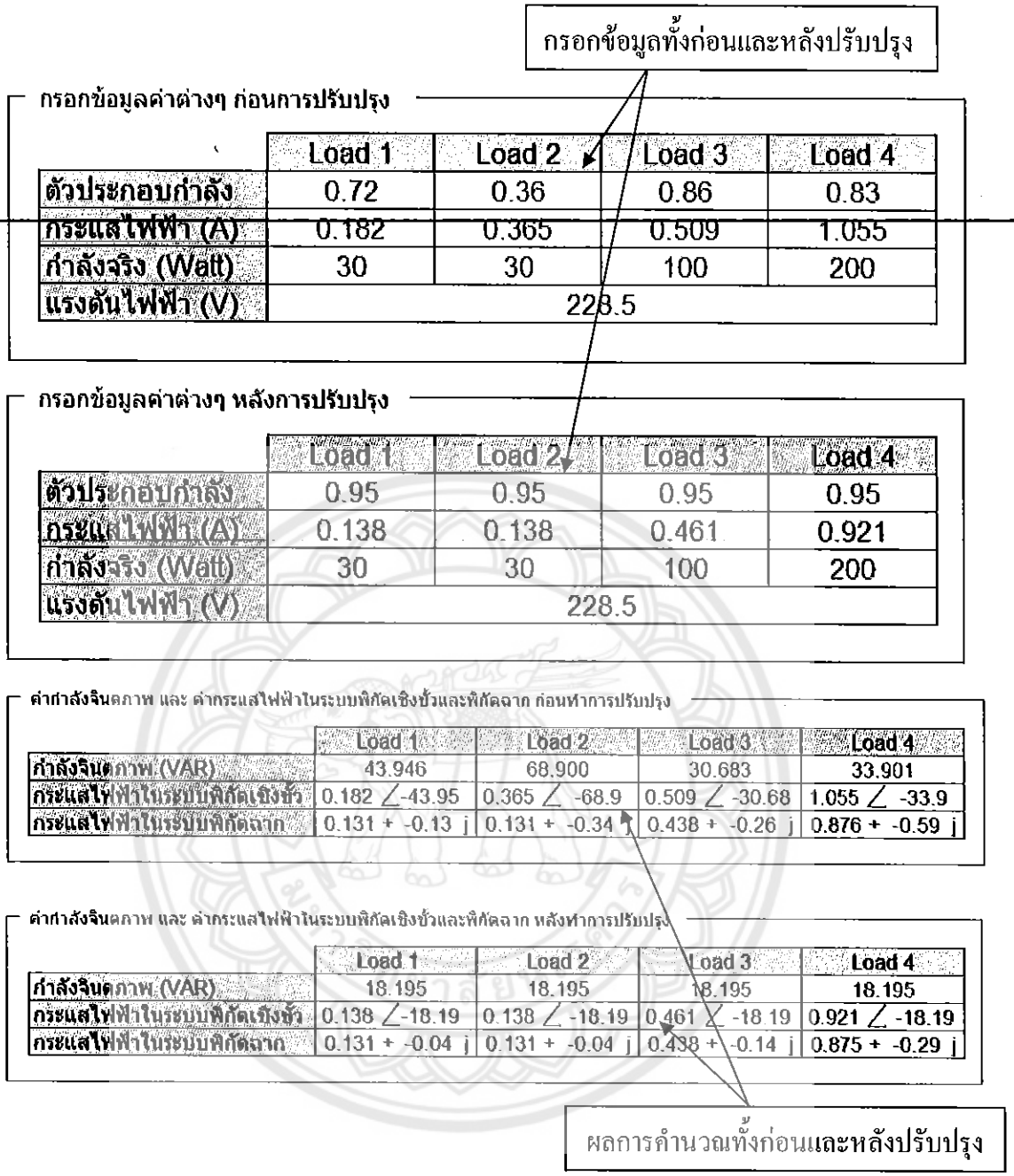

รูปที่ 4.9 การกรอกข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้รวมถึงคำอธิบายของค่าตัวแปรต่าง ๆ

2) โปรแกรมช่วยคำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวม ค่ากระแสรวมและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงของโหลดที่จำลองดังแสดงในรูปที่ 4.10




**รูปที่ 4.10** โปรแกรมช่วยคำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวมและค่ากระแสรวมของโหลดที่จำลอง

ในโปรแกรมย่อยสามารถใช้ช่วยคำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวม ค่ากระแสรวมและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงของโหลดที่จำลองนั้น โดยสามารถกรอกข้อมูลทั้งก่อนและหลังปรับปรุงเพื่อนำไปคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังรวม ค่ากระแสรวมและเปรียบเทียบค่าทั้งก่อนและหลังปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 4.11




**รูปที่ 4.11** การกรอกข้อมูลและผลการคำนวณทั้งก่อนและหลังปรับปรุง

ในโปรแกรมย่อยยังสามารถคำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวม ค่ากระแสรวมและทำการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงของโหลดที่ต้องการและมีคำอธิบายตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรมเพื่อเพิ่มความเข้าใจของผู้ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.12

ค่า PF รวม และค่ากระแสรวม ของโหลดที่ต้องการ ก่อนและหลังทำการปรับปรุง

| | PF รวม | กระแสไฟฟ้ารวมก่อนทำการปรับปรุง (A) | ค่ากระแสไฟฟ้ารวมหลังทำการปรับปรุง (A) | กระแสที่ลดลงคิดเป็น % |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0.720 | 0.182 | 0.138 | 24.176 |
| L2 | 0.360 | 0.365 | 0.138 | 62.192 |
| L3 | 0.860 | 0.509 | 0.461 | 9.430 |
| L4 | 0.830 | 1.055 | 0.921 | 12.701 |
| L1 และ L2 | 0.490 | 0.536 | 0.276 | 48.463 |
| L1 และ L3 | 0.827 | 0.687 | 0.599 | 12.862 |
| L1 และ L4 | 0.815 | 1.235 | 1.059 | 14.225 |
| L2 และ L3 | 0.688 | 0.827 | 0.599 | 27.586 |
| L2 และ L4 | 0.735 | 1.370 | 1.059 | 22.705 |
| L3 และ L4 | 0.840 | 1.563 | 1.392 | 11.606 |
| L1 และ L2 และ L3 | 0.694 | 1.009 | 0.737 | 26.960 |
| L1 และ L2 และ L4 | 0.733 | 1.552 | 1.197 | 22.876 |
| L1 และ L3 และ L4 | 0.829 | 1.742 | 1.520 | 12.765 |
| L2 และ L3 และ L4 | 0.772 | 1.871 | 1.520 | 18.758 |
| L1 และ L2 และ L3 และ L4 | 0.768 | 2.052 | 1.658 | 19.218 |

* L = Load

คำอธิบายและความหมายของตัวแปรต่างๆ

* ตัวประกอบกำลัง (Power factor,PF) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของกำลังจริงต่อกำลังปรากฏ
**กำลังจริง (Real power หรือ Active power,P) คือ กำลังไฟฟ้าส่วนที่ผู้ใช้ได้ประโยชน์จากโหลดโดยตรง มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
***กำลังจินตภาพ (Reactive power,Q) คือ กำลังไฟฟ้าส่วนที่ระบบไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับโหลดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR)

รูปที่ 4.12 ผลการคำนวณและคำอธิบายของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในโปรแกรม

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและทดลองปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน คือ พัดลม หลอดไฟ ตู้เย็น และเครื่องซักผ้า ทำการปรับปรุงที่ตัวอุปกรณ์และการปรับปรุงแบบกลุ่ม โดยทำการต่อตัวเก็บประจุขนานกับวงจรเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อชดเชยกำลังจินตภาพ จากการทดลองพบว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ให้มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.95 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้ พัดลมตั้งพื้นมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.21% หลอดไฟมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.26% ตู้เย็นมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.05% เครื่องซักผ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.105% และค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลง

การคำนวณค่าไฟฟ้าภายในบ้านก่อนและหลังการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่ตัวอุปกรณ์ จากการทดลองพบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 10.9 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 18.146% ในกรณีที่มีการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามที่ได้กำหนดไว้ในการทดลองโดยมีการอ้างอิงจากการใช้งานทั่วไปตามบ้านเรือน (ผลค่าไฟฟ้าอาจมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงไปในกรณีที่มีการใช้งานแตกต่างจากการทดลอง) เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวเก็บประจุในราคา 170 บาท กับค่าไฟฟ้าที่ลดลงสามารถคืนทุนภายใน 1 ปี 4 เดือน

การคำนวณค่าไฟฟ้าภายในบ้านก่อนและหลังการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่กลุ่มโหลด ในกรณีที่อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานพร้อมกันทั้ง 4 ชนิดเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน (ผลค่าไฟฟ้าอาจมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงไปในกรณีที่มีการใช้งานแตกต่างจากการทดลอง) จากการทดลองพบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 21.8 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 19.397% เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวเก็บประจุในราคา 155 บาท กับค่าไฟฟ้าที่ลดลงสามารถคืนทุนภายใน 8 เดือน

โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยเหลือในการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสามารถคำนวณค่าขนาดตัวเก็บประจุ ค่ากระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลง คำนวณค่าตัวประกอบกำลังรวม ค่ากระแสรวมและเปรียบเทียบค่ากระแสที่ลดลงของโหลดที่จำลองได้อย่างถูกต้องสามารถนำไปใช้ในปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดไฟต่อไปได้

## 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

1) ผลการวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าในการทดลองมีค่าไม่คงที่ทั้งค่ากระแสไฟฟ้าส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าไม่คงที่ จึงต้องทำการวัดค่าที่ได้หลาย ๆ รอบเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องมากที่สุด

2) เนื่องจากตัวเก็บประจุที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปมีหลายชนิด จึงต้องพิจารณาในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้งและค่าตัวเก็บประจุที่คำนวณได้กับที่มีขายนั้นขนาดของตัวเก็บประจุอาจไม่มีตามค่าที่คำนวณได้ จึงต้องพิจารณาเลือกค่าที่มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ จึงอาจส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

3) ในการปรับปรุงแบบเป็นกลุ่มนั้น มีข้อจำกัดในการทดลองคืออุปกรณ์ทั้ง 4 ชนิด ต้องทำงานพร้อมกันทั้งหมดซึ่งอาจขัดกับความเป็นจริงในเรื่องเวลาการใช้งาน

4) เวลาในการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิด ได้มาจากการประมาณค่าจากการใช้งานทั่ว ๆ ไปในชีวิตประจำวัน ซึ่งในความเป็นจริงอาจมีการใช้งานมากหรือน้อยกว่านี้ก็ได้

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

1) จากการทดลองสามารถนำหลักการในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไปพัฒนาต่อยอดในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังในโหลดที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ทำการทดลอง เช่น เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม หรือมอเตอร์ต่าง ๆ ได้

2) ออกแบบให้การทดลองปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบเป็นกลุ่มนั้น สามารถครอบคลุมการใช้งานจริงในชีวิตประจำวันและติดตั้งกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่หลากหลายมากขึ้นและศึกษาอัตราในการประหยัดค่าไฟฟ้าว่ามีโอกาสเพิ่มขึ้นหรือลดลงในกรณีที่มีจำนวนชั่วโมงการใช้งานไม่เท่าเดิม

3) โปรแกรมช่วยในการคำนวณสามารถพัฒนาโดยใช้โปรแกรมอื่น ๆ ได้อีกเพื่อสะดวกในการใช้งานและความสวยงามเพิ่มมากขึ้น

# เอกสารอ้างอิง

[1] ไชยะ แช่มย้อย. *คู่มือการลดค่าไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด. 2544.

[2] ชลชัย ธรรมวิวัฒนุกูร. *การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด. 2546.

[3] รศ.ดร. สุธิภณ สมควรพาณิชย์ และรศ. ขนิษฐา แซ่ตั้ง. *หลักการเบื้องทางวงจรไฟฟ้า: Fundamentals of Electric Circuits*. กรุงเทพฯ. บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด. 2553.

# ภาคผนวก ก
# อัตราค่าไฟจำแนกตามกิจการไฟฟ้า

## ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

สำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัยตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และ สถานประกอบศาสนกิจของทุกศาสนา โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ ก.1** อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย

| 1.1 อัตราปกติ | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|
| 1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน | | 8.19 |
| 5 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-5) | 0 | |
| 10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 6-15) | 1.3576 | |
| 10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 16-25) | 1.5445 | |
| 10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 26-35) | 1.7968 | |
| 65 หน่วยแรก (หน่วยที่ 36-100) | 2.1800 | |
| 50 หน่วยแรก (หน่วยที่ 101-150) | 2.2734 | |
| 250 หน่วยแรก (หน่วยที่ 151-400) | 2.7781 | |
| เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | 2.9780 | |
| 1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน | | 40.90 |
| 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-150) | 1.8047 | |
| 250 หน่วยแรก (หน่วยที่ 151-400) | 2.7781 | |
| เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | 2.9780 | |

**ตารางที่ ก.2** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย

| 1.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|
| | Peak | Off Peak | |
| 1.2.1 แรงดัน 22-33 kV | 3.6246 | 1.1914 | 228.17 |
| 1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 4.3093 | 1.2246 | 57.95 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

**หมายเหตุ**

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไม่เกิน 5 A 220 V 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1 แต่หากมีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือนในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดเกิน 5 A 220 V 1 เฟส 2 สาย ให้ใช้อัตราประเภทที่ 1.1.2

3. ประเภทที่ 1.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก 2% เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

4. ประเภทที่ 1.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 1.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่อง TOU หรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

## ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดกว่า 30 kW โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ ก.3** อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

| 2.1 อัตราปกติ | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|
| 2.1.1 แรงดัน 22-33 kV | 2.4649 | 228.17 |
| 2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | | |
| 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 6-15) | 1.8047 | 40.90 |
| 250 หน่วยแรก (หน่วยที่ 16-25) | 2.7781 | |
| เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | 2.9780 | |

**ตารางที่ ก.4** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

| 2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|
| | Peak | Off Peak | |
| 1.2.1 แรงดัน 22-33 kV | 3.6246 | 1.1914 | 228.17 |
| 1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 4.3093 | 1.2246 | 57.95 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

**หมายเหตุ**

1. ประเภทที่ 2.2 การติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก 2% เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไปด้วย

2. ประเภทที่ 2.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 2.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วยภูมิภาคกำหนด

3. เดือนใดมีความต้องการกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป จะจัดอยู่ในประเภทที่ 3-5 แล้วแต่กรณี

**ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง**

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 30 kW แต่ไม่ถึง 1,000 kW และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ ก.5** อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

| 3.1 อัตราปกติ | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/เดือน) |
|---|---|---|
| 3.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 175.70 | 1.6660 |
| 3.1.2 แรงดัน 22-33 kV | 196.26 | 1.7034 |
| 3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 221.50 | 1.7314 |

**ตารางที่ ก.6** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

| 3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| 3.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 74.14 | 2.6136 | 1.1726 | 228.17 |
| 3.2.2 แรงดัน 22-33 kV | 132.93 | 2.6950 | 1.1914 | 228.17 |
| 3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 210.00 | 2.8408 | 1.2246 | 228.17 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

**หมายเหตุ**

1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณ kW และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก 2% เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 เป็นครั้งแรก ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าเดือนตุลาคม 2543

3. ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 3.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU หรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

4. เดือนใดความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 kW ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 kW ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังไม่ถึง 30 kW อีกให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1

## ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ ก.7** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOD ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

| 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Partial | Off Peak | |
| 4.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 224.30 | 29.91 | 0 | 1.6660 |
| 4.1.2 แรงดัน 22-33 kV | 285.05 | 58.88 | 0 | 1.7034 |
| 4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 332.71 | 68.22 | 0 | 1.7314 |

Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

Partial : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)

Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน

**ตารางที่ ก.8** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

| 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| 4.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 74.14 | 2.6136 | 1.1726 | 228.17 |
| 4.2.2 แรงดัน 22-33 kV | 132.93 | 2.6950 | 1.1914 | 228.17 |
| 4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 210.00 | 2.8408 | 1.2246 | 228.17 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

**หมายเหตุ**

1. ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมที่เคยใช้ TOU แล้ว

2. ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ฟ้ารายเดิมประเภทที่ 4.1 เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

3. เดือนใดความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 kW หรือการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าวหากความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 kW ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 kW อีกให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 6.1 แล้วแต่กรณี

## ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรมแรม และกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ ก.9** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

| 5.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| 5.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 74.14 | 2.6136 | 1.1726 | 228.17 |
| 5.1.2 แรงดัน 22-33 kV | 132.93 | 2.6950 | 1.1914 | 228.17 |
| 5.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 210.00 | 2.8408 | 1.2246 | 228.17 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

**ตารางที่ ก.10** อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

| 5.2 อัตราปกติ | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/เดือน) |
|---|---|---|
| 5.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 220.56 | 1.6660 |
| 5.2.2 แรงดัน 22-33 kV | 256.07 | 1.7034 |
| 5.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 276.64 | 1.7314 |

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

**หมายเหตุ**

1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณ kW และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก 2% เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 5.1 เป็นอัตราบังคับ และ 5.2 เป็นอัตราสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ TOU

3. เดือนใดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ถึง 30 kW ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าวหากความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 kW ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังไม่ถึง 30 kW อีกให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1

## ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงกำไร

สำหรับการใช้ไฟฟ้าของหน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน รวมถึงองค์กรที่ไม่ใช่ส่วนราชการ แต่มีวัตถุประสงค์ในการบริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน แต่ไม่รวมหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจ สถานฑูต สถานที่ทำงานของหน่วยราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่** ก.11 อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรไม่แสวงหากำไร

| 6.1 อัตราปกติ | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|
| 6.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 1.9712 | 228.17 |
| 6.1.2 แรงดัน 22-33 kV | 2.1412 | 228.17 |
| 6.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | | 20.00 |
| 10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-10) | 1.3576 | |
| เกิน 10 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป) | 2.4482 | |

**ตารางที่ ก.12** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรไม่แสวงหากำไร

| 6.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| 6.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป | 74.14 | 2.6136 | 1.1726 | 228.17 |
| 6.2.2 แรงดัน 22-33 kV | 132.93 | 2.6950 | 1.1914 | 228.17 |
| 6.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 210.00 | 2.8408 | 1.2246 | 228.17 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

**หมายเหตุ**

1. วัด สถานประกอบศาสนกิจ ที่คิดอัตราประเภทบ้านอยู่อาศัย หากมีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 350 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 6.1 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่ถึง 350 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1

2. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นคุณสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้าให้คำนวณ kW และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก 2% เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

3. ประเภทที่ 6.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 6.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

## ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยราชการ สหกรณ์เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่มเกษตรกร โดยผ่ายเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

**ตารางที่ ก.13** อัตราค่าไฟแบบอัตราปกติของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

| 7.1 อัตราปกติ | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|
| 100 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-100) | 0.6452 | 115.16 |
| เกิน 100 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 101 เป็นต้นไป) | 1.7968 | 115.16 |

**ตารางที่ ก.14** อัตราค่าไฟแบบอัตรา TOU ของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

| 7.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) | ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| 7.2.1 แรงดัน 22-33 kV | 132.93 | 2.6950 | 1.1914 | 228.17 |
| 7.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 kV | 210.00 | 2.8408 | 1.2246 | 228.17 |

Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 09.00 - 22.00 น.

Off Peak : วันจันทร์ - ศุกร์ 22.00 - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

**หมายเหตุ**

1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (เฉพาะที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำประกอบซีที) ให้คำนวณ kW และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีก 2% เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 7.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 7.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

## ประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

สำหรับการใช้ไฟฟ้าของหน่วยงานราชการ หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ และเอกชน เพื่องานก่อสร้าง จัดงานขึ้นเป็นพิเศษชั่วคราว สถานที่ที่ไม่มีทะเบียนบ้านของสำนักงานทะเบียนส่วนท้องถิ่น และการใช้ไฟฟ้าที่ยังปฏิบัติไม่ถูกต้องตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ ก.15 อัตราค่าไฟของกิจการไฟฟ้าประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

| | |
|---|---|
| ค่ากำลังไฟฟ้า (ทุกระดับแรงดัน) | หน่วยละ 4.3093 บาท |

**หมายเหตุ**

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้อัตราประเภทนี้หากมีความประสงค์จะขอเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างอื่นหรือการไฟฟ้าได้ตรวจพบว่าได้เปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างอื่นแล้ว เช่น เพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม บ้านอยู่อาศัย และอื่น ๆ จะต้องยื่นคำร้องขอใช้ไฟฟ้าถาวรต่อการไฟฟ้าในท้องถิ่นนั้น พร้อมกับเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ภายในให้เรียบร้อยถูกต้องตามมาตรฐานและชำระเงินค่าธรรมเนียมการใช้ไฟฟ้าแบบไฟถาวรให้ครบถ้วน ตามหลักเกณฑ์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

# ภาคผนวก ข

# ตารางแสดงราคาตัวเก็บประจุชนิดโพลีตามขนาดต่าง ๆ

**ตารางที่ ข.1** ราคาตัวเก็บประจุชนิดโพลีตามขนาดต่าง ๆ

| ขนาดตัวเก็บประจุ (μF) | ขนาดแรงดัน (V) | ราคา (บาท) |
|---|---|---|
| 0.8 | 250 | 15 |
| 1 | | 15 |
| 1.5 | | 15 |
| 2 | | 15 |
| 2.5 | | 20 |
| 3 | | 20 |
| 4 | | 30 |
| 4.5 | | 35 |
| 5 | | 35 |
| 6 | | 40 |
| 8 | | 45 |
| 10 | | 55 |
| 12 | | 65 |
| 14 | | 65 |
| 15 | | 75 |
| 18 | | 95 |
| 20 | | 95 |
| 1 | 450 | 28 |
| 2 | | 35 |
| 2.5 | | 45 |
| 3 | | 65 |
| 4 | | 85 |

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ)** ราคาตัวเก็บประจุชนิดโพลีตามขนาดต่าง ๆ

| ขนาดตัวเก็บประจุ (μF) | ขนาดแรงดัน (V) | ราคา (บาท) |
|---|---|---|
| 4.5 | | 85 |
| 5 | | 85 |
| 6 | | 85 |
| 8 | | 85 |
| 10 | | 100 |
| 12 | | 125 |
| 14 | 450 | 125 |
| 15 | | 135 |
| 16 | | 135 |
| 18 | | 145 |
| 20 | | 165 |
| 25 | | 185 |
| 30 | | 275 |

ราคาอ้างอิงจากร้านชุมพลอิเล็กทรอนิกส์พิษณุโลก ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2553

# ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายชาญณรงค์ ดิษฐอ่วม

ภูมิลำเนา 38 หมู่ 1 ต. หอไกร อ. บางมูลนาก จ. พิจิตร

ประวัติการศึกษา

— จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก

— ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

Email: **m_mamapapa@hotmail.com**

ชื่อ นายบรรจง มะลิวัลย์

ภูมิลำเนา 17 หมู่ 4 ต. ห้วยแก้ว อ. ภูกามยาว จ. พะเยา

ประวัติการศึกษา

— จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนดงเจนวิทยาคม

— ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

Email: **potter_j02@hotmail.com**