การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

Power Factor Correction by Reactive Power Control Method

ฉัตรพงษ์ บุบผา

Chatpong Boobpa

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2561

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

Power Factor Correction by Reactive Power Control Method

ฉัตรพงษ์ บุบผา

Chatpong Boobpa

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ
Thesis Title	Power Factor Correction by Reactive Power Control Method
ชื่อ นามสกุล	ฉัตรพงษ์ บุบผา
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์)

..... กรรมการและเลขานุการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(อาจารย์ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 3 .....เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

ชื่อ สกุล นายฉัตรพงษ์ บุบผา

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา และคณะ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อใช้ในการทำงาน

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ซึ่งมีจำนวนการทำงาน 6 ลำดับ โดยแบ่งการทำงานเป็น 3 ลำดับแรกเป็นของระบบไฟฟ้า 3 เฟส และอีก 3 ลำดับเป็นของระบบไฟฟ้าซิงเกิ้ลเฟสโดยมีค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ต่างกันไป ลำดับที่ 1 มีค่ารีแอคทีฟ 5 kVAr ลำดับที่ 2และลำดับที่ 3 มีค่ารีแอคทีฟ 2.5 kVAr ลำดับที่ 4 ลำดับที่ 5 และลำดับที่ 6 มีค่ารีแอคทีฟ 0.83 kVAr ควบคุมการทำงานโดยเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์ รุ่น RG3-12 ที่ควบคุมการจ่ายค่ารีแอคทีฟในลำดับต่างๆ

จากผลการทดลองเมื่อไม่ติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง จะทำให้มีค่ากระแสที่สูงและส่วนของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่ากำหนด แต่เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังเข้าที่มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด1 กิโลวัตต์และหลอดขนาด 1,640 วัตต์ ทำให้ค่าของกระแสไฟฟ้าลดลงจาก 14 แอมป์ เหลือ 12 แอมป์ ส่วนค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.929 และเมื่อต่อเข้ากับ มอเตอร์ 3 เฟส 2 ตัว ขนาด 0.8,2.2 กิโลวัตต์ ทำให้กระแสลดลงจาก 2.360 แอมป์ เหลือ 0.942 ส่วนค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.308 เป็น 1.0

คำสำคัญ : ตัวประกอบกำลัง, ระบบไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ, กำลังไฟฟ้าจริง

Thesis title Power Factor Correction by Reactive Power Control Method
Author Chatpong Boobpa
Degree Master Degree
Major program Electrical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year 2018

Abstract

To Improvement the power factor is very important. Because the costs are increased or reduced. To Improvement the power factor, the higher the value, it is necessary to buildings, offices and industrial buildings or the fact that the industry needs real power. And reactive power source to operate.

This paper presents the design and construction of reactive power factor control. Which amounted to 6 working order by the first sequence is divided into three three-phase electrical power system and three consecutive singles phase by active power different. first1 is reactive at 5 kVAr second 2 and third 3 are reactive at 2.5 kVAr forth 4, fifth 5 and sixth 6, precious marine active 0.83 kVAr control. the power factor controller that controls RG3-12 pay Oval active in various sequences.

As a result, when not equipped with reactive power compensation software to control the power factor. This makes the flow of the high and low Power Factor schedule. When equipped compensate reactive power source to power factor control. Single-phase motor 1 kW and light bulb 1,64-watt making the current decline of 14 amps rest 12 amps of the power factor increases from 0.5 to 0.929. When connected to three-phase motor with 2 kW 0.8,2.2 flow down from 2.360 rest 0.942 amps of power factor value up from 0.308 to 1.0.

Keywords: Power Factor, Power System, Reactive Power, Real Power

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จครั้งนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ การเขียนบทความวิชาการ บทความวิจัย ตลอดจนให้ความคำแนะนำในการดำเนินชีวิตจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี วรรณการ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำ และตรวจสอบจุดบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความช่วยเหลือจากคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ที่ขาดไม่ได้เลยคือขอบคุณ บิดา มารดา และ ครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ทั้งเงินทุนการศึกษาและกำลังใจที่หาที่เปรียบไม่ได้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการ องค์ความรู้ คุณธรรมจริยธรรมแก่ข้าพเจ้า และเพื่อนทุกคน ที่ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือ ซึ่งส่งผลทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ดำเนินตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ฉัตรพงษ์ บุบผา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญภาพ	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.3 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	5
2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	10
2.5 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	12
2.6 คาปาซิเตอร์แบงค์	15
2.7 การติดตั้งตัวเก็บประจุ	18
2.8 การเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมกับคาปาซิเตอร์	20
2.9 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	21
2.10 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	22
2.11 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้เหมาะสม	22
2.12 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดคาปาซิเตอร์	23

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	26
3.1 หลักการคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุ	26
3.2 ตัวเก็บประจุ	27
3.3 ตัวต้านทานคายประจุ	27
3.4 การกำหนดขนาดตัวเก็บประจุ	28
3.5 วิธีการติดตั้งคาปาซิเตอร์	32
3.6 ตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์	32
3.7 ขนาดกำลังกำหนดของตัวคาปาซิเตอร์	37
3.8 ความปลอดภัยและการซ่อมบำรุงคาปาซิเตอร์	38
3.9 การแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์	39
3.10 ประโยชน์การแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์	40
3.11 ลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย	41
3.12 ลดค่าแรงดันตก	43
3.13 ลดค่าไฟฟ้ารายเดือน	43
3.14 การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับการปรับปรุงค่า PF	44
3.15 เพิ่มความสามารถในการรับโหลดของหม้อแปลงและสายไฟฟ้า	47
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	49
4.1 บทนำ	49
4.2 การทดลองที่ 1 การทดสอบก่อน–หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ	50
4.3 สรุปผลการทดลอง	54
บทที่ 5 การสรุปผลงานวิจัยปัญหาและข้อเสนอแนะ	55
5.1 บทนำ	55
5.2 การสรุปผลการวิจัย	55
5.3 สรุปผล	55
5.4 ปัญหาการจัดสร้างโครงงาน	56
5.5 ข้อเสนอแนะ	56

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางสรุปอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ 7

2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า 14

2.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ 15

2.4 การเลือกขนาดสายไฟและฟิวส์ระบบ 400 V 3-เฟส 50 Hz ambient temp 35° C 21

3.1 ค่าประกอบการคำนวณหาขนาด kVar ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า(ค่า$\tan\theta 1 - \tan\theta 2$) 27

3.2 ตารางคำนวณขนาดคาปาซิเตอร์ ขนาดเป็น kVAR 30

4.1 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 1 เฟส 51

4.2 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 3 เฟส 53

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า 6

2.2 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดัน กระแส และกำลังของไฟฟ้ากระแสสับ 6

2.3 ลักษณะทางเวคเตอร์ของ R , XL และ XC 8

2.4 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน 8

2.5 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน 8

2.6 ลักษณะเวคเตอร์ของ I และ V ในกรณีของโหลดชนิดต่างๆ 9

2.7 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของ ตัวเหนียวนำ และ ตัวเก็บประจุ 9

2.8 แสดงรูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบกำลัง ต่างๆโดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 10

2.9 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 13

2.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 13

2.11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 14

2.12 โครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์ 16

2.13 วงจรสมมูลก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ 16

2.14 เฟสเซอร์ไดอะแกรมก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ 17

3.1 ความสัมพันธ์ของกิโลวัตต์ เควีเอ และกิโลวาร์ 29

3.2 รูปแบบการติดตั้งตัวเก็บประจุ แบบ 1 เฟส 32

3.3 การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงจรไฟฟ้า 33

3.4 การติดตั้งที่โหลดแต่ละตัว 34

3.5 การติดตั้งที่กลุ่มของโหลด 35

3.6 การติดตั้งแบบศูนย์กลาง 35

3.7 ลักษณะการต่อตัวคาปาซิเตอร์จำนวน 3ชุด ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าที่แผงจ่ายไฟฟ้าหลัก 36

3.8 การเกิดฮาร์โมนิกทั้งแรงดันและกระแสปะปนอยู่ในรูปคลื่นไซน์ 37

3.9 การติดตั้งคาปาซิเตอร์ในการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ 40

3.10 การไหลของกระแสในวงจรที่ม่มีคาปาซิเตอร์และมีคาปาซิเตอร์ 40

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.11 ความสัมพันธ์ของระบบที่ค่า PF = 0.65 และ ค่า PF = 0.9 45

4.1 การต่อโหลดมอเตอร์และหลอดไฟ 1 เฟส 50

4.2 ค่า cosθ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 50

4.3 ค่า cosθ หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 51

4.4 การขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบของโหลดมอเตอร์ 3 เฟส 52

4.5 ค่า cosθ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 52

4.6 ค่า cosθ หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 53

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และ ความสำคัญของปัญหา

เมื่อระบบไฟฟ้ามีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงลดลงและถ้าความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของหม้อแปลงใกล้เต็มแล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ แม้ว่ากำลังไฟฟ้า ที่ใช้อยู่จะยังไม่เต็มก็ตามนอกจากนี้ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้สายไฟยาวมาก ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟมีค่าสูงขึ้นและความร้อนในสายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดค่าสูญเสีย ตามขนาดของกระแสยกกำลังสอง และที่สำคัญผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มให้กับการไฟฟ้า

ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเกิดความเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามลักษณะการเกิดระยะเวลาและขนาดของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเช่น ไฟฟ้าดับ แรงดันเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงตัวประกอบกำลังมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เพื่อใช้ในการทำงาน

จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ต้องมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีความเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีการจ่ายให้กับโหลด ดังนั้นผู้จัดทำจึงจัดทำการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง เพื่อช่วยลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้าทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.2.2 เพื่อเป็นอุปกรณ์ศึกษาคุณลักษณะของการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.2.3 เพื่อศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ปรับปรุงตัวประกอบกำลังไม่ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.85

1.3.2 อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังสามารถแสดงค่ากระแส (A) ก่อน – หลัง การปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

1.3.3 อุปกรณ์ปรับปรุงตัวประกอบกำลังสามารถแสดงค่าแรงดัน (V) ก่อน – หลัง การปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 เก็บรวบรวมโหลดทางไฟฟ้าของอาคารสำนักงานเพื่อนำมาวิเคราะห์

1.4.2 ดำเนินการคำนวณวิเคราะห์โหลดเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ต้องการชดเชย

1.4.3 สรุปผลและวิเคราะห์การลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ออกแบบและสร้างชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.5.2 ได้อุปกรณ์ศึกษาคุณลักษณะการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.5.3 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สำหรับรายละเอียดในบทนี้ จะแสดงถึงทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบฟ้า โดยจะกล่าวถึง กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การปรับปรุงตัวปรับประกอบกำลังไฟฟ้า การติดตั้งตัวเก็บประจุ การเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมกับคาปาซิเตอร์ ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าประโยชน์ของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ให้เหมาะสม การบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดคาปาซิเตอร์และรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการออกแบบและสร้างโครงงานนี้

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทความของธวัช สิริสังกาส [1] , “การหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดของคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงซ้อนของโหดลโดยใช้วิธีกุล่มอนุภาค” การติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟคือสิ่งที่จำเป็นในการวางแผนในระบบจำหน่าย เนื่องจากเป็นการลดความสูญเสียของกำลังไฟฟ้า เพราะว่าประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับจากการสูญเสียดังกล่าวอาจจะมากกว่าค่าใช้จ่ายกับการติดตั้งคาปาซิเตอร์ ปัญหาการติดตั้งคาปาซิเตอร์มี 2 ด้านที่ต้องนำมาพิจารณาพร้อมกัน อย่างแรก คือตำแหน่งและอย่างที่สอง คือ ชนิด จำนวน และขนาด ในบทความนี้ ฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหาคือ ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบซึ่งประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายด้านการลงทุนในส่วนของคาปาซิเตอร์ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูญเสีย และค่าใช้จ่ายด้านกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูญเสีย มีค่าต่ำที่สุด ขณะนี้ยังคงรักษาขนาดของแรงดันของจุดโหลดให้อยู่ภายในขีดจำกัดที่กำหนดสำหรับโหลดหลายๆระดับ การแก้ปัญหาการติดตั้งคาปาซิเตอร์โดยวิธีกลุ่มอนุภาค ขณะที่ความสูญเสียของระบบและแรงดันที่จุดโหลดสามารถคำนวณได้จากการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบย้อนหลับไปข้างหน้า การวิเคราะห์ได้ขยายผลเพื่อคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลดปัจจุบันนี้มีเพิ่มขึ้นอย่างมากอันเนื่องมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้อย่างแพร่หลาย การที่มีอุปกรณ์ดังกล่าวทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกอย่างมากในระบบ ด้วยเหตุผลนี้ ถ้าขนาดและตำแหน่งของคาปาซิเตอร์แบงค์เป็นไปอย่างไม่เหมาะสม คาปาซิเตอร์แบงค์เหล่านี้อาจจะทำลายฉนวนของอุปกรณ์ เพิ่มการล้มเหลวของคาปาซิเตอร์ และรบกวนระบบสื่อสารอันเนื่องมาจากโซแนนซ์ความถี่ฮาร์มอนิกหนึ่งหรือมากกว่า ดังนั้น เงื่อนไขบังคับของฮาร์

มอนิกจึงได้นำมาพิจารณาในปัญหาการหาตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมมเพื่อที่จะได้มั่นใจว่าคำตอบที่ได้รับนั้นจะนำไปสู่ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกที่มากเกินไป

บทความของบรรจง มะลิวัลย์ [2] , “การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ” การเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน วัตถุประสงค์ของโครงงานคือการศึกษาแนวทางการลด ค่าไฟด้วยการลดการใช้กำลังปรากฏ (Apparent power) ของอุปกรณ์ที่สนใจในขณะที่ความต้องการ ใช้กำลังจริง (Real power) ของอุปกรณ์ดังกล่าวยังคงเดิม แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือการปรับปรุง ตัวประกอบกำลัง (Power factor correction) จากการศึกษาจะพบว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่สนใจมีค่าต่าง โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.50-0.80 ในโครงงานนี้จึงได้ ออกแบบเพื่อเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลังให้มีค่าประมาณ 0.95 โดยต่อขนานตัวเก็บประจุเข้ากับ อุปกรณ์ที่สนใจเพื่อชดเชยกำลังจินตภาพ (Reactive power) ที่อุปกรณ์นั้นต้องการ โดยได้ทำการ ทดลองวัดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งก่อนและหลังการออกแบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้ ยังได้สร้างโปรแกรมขึ้นใน Microsoft Office Excel เพื่อคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่จะใช้ในการ ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดไฟต่อไป

บทความของบุญเย็น อุ่นจิตร [3] , “การสร้างและทดสอบประสิทธิ์ภาพชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์” การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนชุดฝึกอบรม การขาดความรู้และทักษะของช่างเทคนิคที่ปฏิบัติงานในส่วนของการติดตั้งและซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าในสถานประกอบการ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือชุดฝึกอบรมเรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 6 หัวข้อเรื่องซึ่งประกอบด้วย คู่มือวิทยากร ได้แก่ แผนการฝึกอบรมใบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ใบเนื้อหา แบบทดสอบหลังการฝึกแต่ละหัวเรื่องพร้อมเฉลย และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การฝึกอบรมพร้อมเฉลย เอกสารสำหรับผู้เข้ารับการฝึกอบรม ได้แก่ ใบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ใบเนื้อหา แบบทดสอบหลังการฝึกแต่ละหัวข้อ และสื่อการฝึกอบรม ได้แก่ สื่อนำเสนอด้วยคอมพิวเตอร์ (Presentation) และชุดสาธิต โดยนำชุดฝึกอบรมไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ซึ่งเป็นช่างเทคนิคที่ปฏิบัติงานในส่วนของการติดตั้งและซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าในสถานประกอบการ โดยก่อนการฝึกอบรมให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทำแบบทดสอบวัดความรู้ (Pre-test) หลังจากทำการฝึกอบรมในแต่ละหัวข้อเสร็จ ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทำแบบทดสอบสำหรับหัวข้อนั้นๆ และเมื่อจบการฝึกอบรมแล้วจึงทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การฝึกอบรม (Fost-test) อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล ผลการวิจัยปรากฏว่า ชุดฝึกอบรมที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.14/82.60 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 80/80 และผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีความรู้ก้าวหน้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

บทความของสันติ มโนวชิรสรรค์ [4] , “การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของ UPS ขนาดเล็ก” ต้องการที่จะศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของ UPS ขนาดเล็กเพื่อหาหนทางเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ UPS ใช้ในการดำเนินงานได้อาศัยเทคนิคการวัดและทดสอบ ตลอดจนการคำนวณและออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะทำการต่อเพิ่มเติมให้แก่ UPS โดยมุ่งเน้นที่จะพิจารณาทางด้านการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อลดการสูญเสียทางไฟฟ้า

บทความของUgur Celteklingil [5] , “การแก้ไขคุณภาพไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังของบขนส่งมวลชน” ผลการวิจัยนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาไดนามิคเพาเวอร์แฟคเตอร์และแรงดันไฟฟ้าในระบบขนส่งมวลชน (ระบบรถไฟฟ้า) สายไฟใต้ดินสำหรับส่งขนาด 34.5KV สถานี้ย่อยก่อให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีปต่ำมาก (P.Fต่ำ) เทคนิคนี้จะมีความจำเพาะเจาะจงกับลูกค้าที่มีความต้องการหลีกเลี่ยงค่าปรับในการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปรับสมดุลของคาปาซิตีฟ รีแอคทีฟเพาเวอร์ ของสายไฟใต้ดินและผลกระทบจากระบบรถไฟ อินดักทีฟและคาปาซิทีฟไม่ความเกินค่าที่กำหนดเพื่อลีกเลี่ยงการปรับซึ่งปัญหาเกิดจากความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้รับการวิเคราะห์สรุปได้ว่าต้องมีการติดตั้ง รีแอกเตอร์ ตัวรีแอคเตอร์จะมีสวิตช์เปิดผ่านไทริสเตอร์ใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติโดยการตรวจจับเพาเวอร์แฟคเตอร์และการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าการคำนวณค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และการสลับค่าความเหนี่ยวนำตามความต้องการ การแก้ปัญหานี้ทำให้เกิดความพึงพอใจเป็นอย่างมากสามสรถหลีกเลี่ยงการเสียค่าปรับตามกฎหมายได้

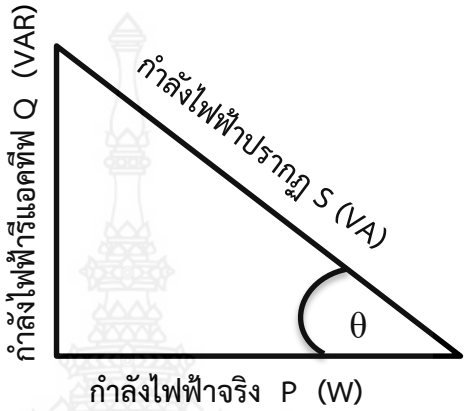
2.3 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ หรือระบบไฟฟ้าที่ใช้กันในอุตสาหกรรม หรือที่อยู่อาศัย มีการวัดกำลังไฟฟ้าหลายหน่วยดังต่อไปนี้

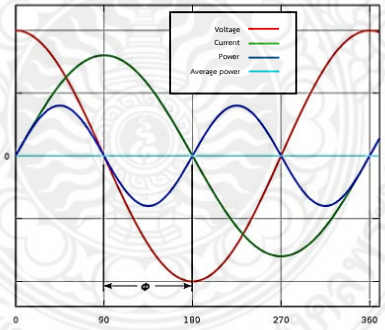
2.3.1. กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปแบบอื่น ได้ เช่น ความร้อน, แสงสว่าง หรือกำลังงานกล

2.3.2. กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR) หรือกิโลวาร์ (kVAR) เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า ต้องใช้กำลังงานรีแอคทีฟนี้เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก

2.3.3. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยเป็น โวลท์-แอมป์ (VA) หรือกิโลโวลท์แอมป์ (kVA) เป็นกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าปรากฏเกิดจากผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2

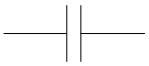


ภาพที่ 2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดัน กระแส และกำลังของไฟฟ้ากระแสสับ

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

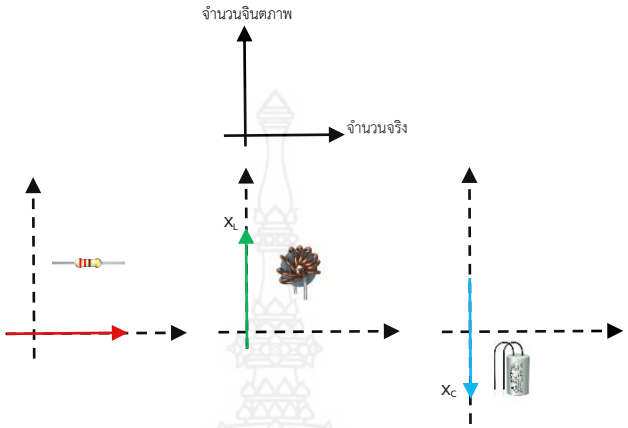
	R **ตัวต้านทาน** **(Resistor)**	L **ตัวเหนี่ยวนำ** **(Inductor)**	C **ตัวเก็บประจุ** **(Capacitor)**
1.สัญลักษณ์			
2.ความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น Ω	R	$X_L = \omega L = 2\pi f L$	$X_C = \frac{1}{\omega L} = \frac{1}{2\pi f L}$
3.ลักษณะทางคณิตศาสตร์	จำนวนจริง	จำนวนจินตภาพ + j	จำนวนจินตภาพ - j
4.วิธีการคำนวณ	แบบเวคเตอร์	แบบเวคเตอร์	แบบเวคเตอร์
5.ผลทางสัญญาณไฟฟ้า	I มีเฟสตรงกับกับ V	I มีเฟสตามหลัง V 90˚ หรือ I lag V 90˚	I มีเฟสตามหน้า V 90˚ หรือ I lead V 90˚
6.ชนิดกำลังไฟฟ้าที่ใช้	วัตต์(W) เป็นจำนวนจริง	วาร์(VAR)เป็นจำนวนจินตภาพ + j	วาร์(VAR)เป็นจำนวนจินตภาพ - j
7.ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้า	ใช้แล้วหมดไป	สะสมแล้วจ่ายคืน	สะสมแล้วจ่ายคืน
8.ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1	0	0
9.ค่าที่วัดได้จาก Wattmeter	I^2R	0 W	0 W

ข้อสังเกตที่พึงทราบ

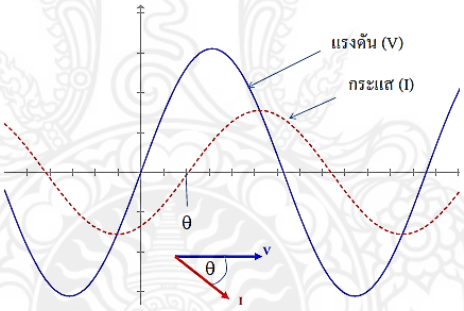
- ตัวเหนี่ยวนำและ ตัวเก็บประจุ ถูกนำมาใช้ในรูปของ ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ มีหน่วยเป็น โอห์ม เช่นเดียวกับ ความต้านทาน แต่เป็นจำนวนจินตภาพที่สามารถหักล้างกันเองได้ เพราะ ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ และ คาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ มีทิศทางตรงข้ามกัน (ทิศทาง + j กับ - j) ดังภาพที่ 2.3 ดังนั้น หากต้องการหักล้างคุณสมบัติของ ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ ก็อาจนำ คาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ ที่เหมาะสมมาต่อในวงจรได้

- เพราะค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ทำให้สัญญาณกระแสล้าหลังหลังแรงดัน 90 ° และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ ทำให้สัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน 90 ° ดังนั้น ถ้าในวงจรมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่มเช่น R+j XL หรือ R-j XC ก็จะทำให้ความต้านทานโดยรวมซึ่งเรียกว่าอิมพีแดนซ์ มีมุมอยู่ระหว่าง -90° ถึง + 90 °

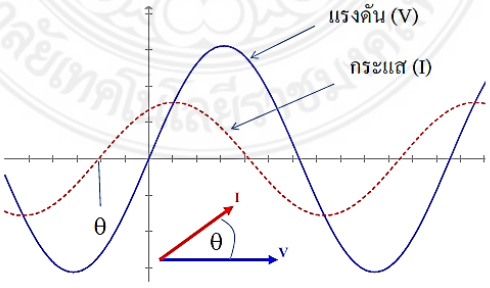
กล่าวคือ โหลด R + j XL ทำให้ กระแสล้าหลังแรงดันดังรูปที่ 2.3 และโหลด R - j XC ทำกระแสนำหน้าแรงดัน ดังรูปที่ 2.4 ส่วนโหลด ความต้านทานนั้นกระแสและแรงดันมีมุมตรงกัน โดยเขียนเป็นภาพเชิงสรุปได้ดังภาพที่ 2.5



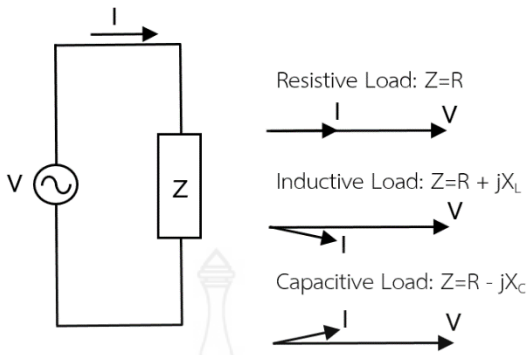
ภาพที่ 2.3 ลักษณะทางเวคเตอร์ของ R , XL และ XC



ภาพที่ 2.4 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน

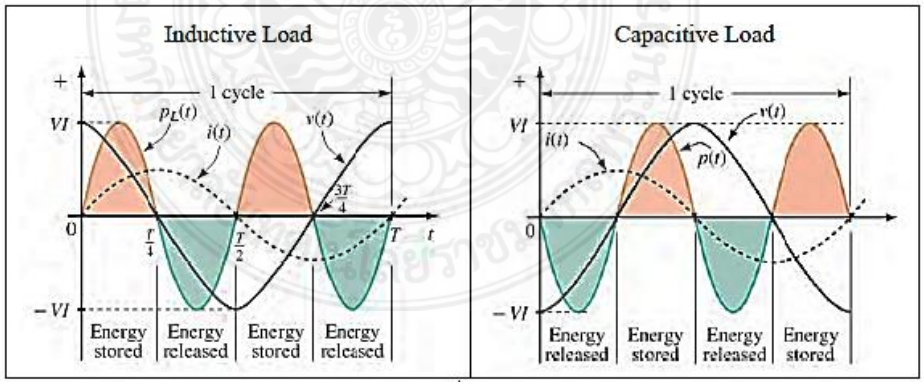


ภาพที่ 2.5 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน



ภาพที่ 2.6 ลักษณะเวคเตอร์ของ I และ V ในกรณีของโหลดชนิดต่างๆ

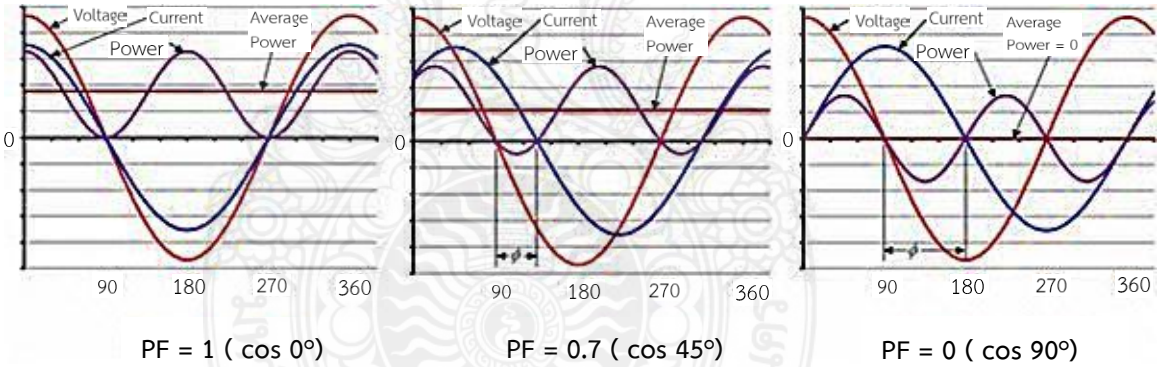
- ตัวเหนียวนำและตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0 W (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = 0 W) แต่ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย VAR ซึ่งเป็นจำนวนจินตภาพ โดย กำลังงานรีแอคทีฟของตัวหนี่ยวนำ มีทิศทางตรงข้ามกับกำลังงานรีแอคทีฟของ ตัวเก็บประจุ ซึ่งทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถหักล้างกันได้ ทั้งนี้ ทั้งตัวเหนียวนำและ ตัวเก็บประจุ มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าคือ สะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าออกมา จึงใช้กำลังไฟฟ้า 0 W ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าจังหวะของการสะสมและคืนพลังงานของโหลดทั้ง 2 ชนิดนั้นไม่ตรงกัน และสอดคล้องกับทางคณิตศาสตร์ที่ว่า กำลังงานรีแอคทีฟ ของ ตัวเหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับกำลังงานรีแอคทีฟของตัวเก็บประจุเมื่อมีทิศทางที่ตรงข้ามกันจึงทำให้สามารถหักล้างกันได้



ภาพที่ 2.7 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของ ตัวเหนียวนำ และ ตัวเก็บประจุ

2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้น คือค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ ซึ่งมีหน่วยเป็น วีเอหรือ โวลท์-แอมป์ โดยสามารถอธิบายให้เข้าใจง่ายได้ว่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ คือตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ประโยชน์หรือเกิดการทำงานจริงกับขนาดของกำลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้าโดยส่วนที่เกินจากกำลังงานที่ใช้ทำงานจริงจะเรียกว่า กำลังงานรีแอคทีฟ ซึ่งมีหน่วยเป็น วาร์ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้นต้องเสียค่าไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังงานรีแอคทีฟซึ่งไม่เกิดประโยชน์นี้ก็จะเป็นภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่งด้วย



ภาพที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบกำลัง ต่างๆ
โดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น

สำหรับแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีเฉพาะความถี่มูลฐานเท่านั้น สำหรับประเทศไทย คือ 50Hz โดยไม่มีความถี่อื่นหรือฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสมาปะปน เนื่องจากในปัจจุบันโหลดที่มีการใช้งานมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบมีส่วนประกอบของกระแสฮาร์มอนิกในปริมาณมาก และเป็นสาเหตุหลักของความเพี้ยนฮาร์มอนิกในขณะเดียวกัน

2.4.1 สาเหตุที่ต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ มีผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วย เนื่องจากประโยชน์ที่จะได้รับจากกำลังไฟฟ้าจริง ในระบบไฟฟ้าจะต่ำกว่า ซึ่งทำให้การไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์จำหน่ายและอุปกรณ์ส่งไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณพลังไฟฟ้าส่วนที่ไม่จำเป็นหรือค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ที่เกิดขึ้นด้วย อันไม่เป็นผลดีต่อประเทศชาติโดยรวม

2.4.2 ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นได้อย่างไร

เราสามารถทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการสร้างสนามแม่เหล็กที่ก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เช่น มอเตอร์ เข้าด้วยกัน กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือการไฟฟ้าจะลดลงหรือหมดไปขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยตัวเก็บประจุไฟฟ้านั้น

2.4.3 ผลประโยชน์ต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและเพิ่มความสามารถในการรับโหลดของอุปกรณ์ต่างๆ ได้เพิ่มขึ้น ทั้งของผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจำหน่าย ระบบส่งไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าและของประเทศชาติโดยรวม อันจะก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถพิจารณาความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า โดยสรุปได้ดังนี้

2.4.4 ผลประโยชน์ที่มีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

1. สามารถประหยัดค่าพลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าประกอกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 0.85 จะต้องเสียค่าปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรา 56.07 บาท/กิโลวาร์ ซึ่งเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่ามากกว่า 0.85 จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ลงได้

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดการลงทุนในการขยายระบบไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากเมื่อมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้วจะเป็นการเพิ่มความสามารถของสายไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าในการรับโหลด ได้เพิ่มขึ้น

3. เมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้ว จะเป็นการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าและหม้อแปลงอีกทั้งแรงดันไฟฟ้าตกจะน้อยลงแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น

2.4.5 ผลประโยชน์ที่มีต่อส่วนรวม

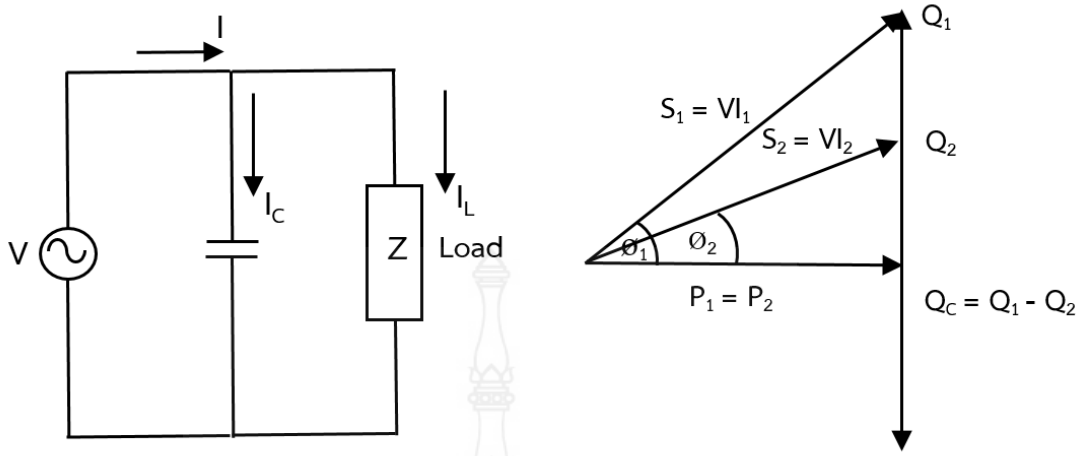
1. การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มากกว่า 0.85 จะทำให้ระบบอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น จะเป็นการประหยัดการลงทุนในการขยายระบบไฟฟ้า

2. ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่อส่วนรวมนั้นก็คือการสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ โดยสามารลดการสูญเสีย พลังงานไฟฟ้าที่เกิดเนื่องจากการลดค่ากระแสไฟฟ้าในสายส่งและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งเป็นการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศได้

2.5 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

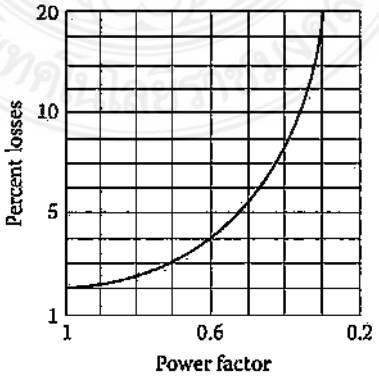
คำว่าการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อให้กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีขนาดใกล้เคียงกับ W (ดูสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าประกอบ) เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้น โหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็น ความต้านทาน ผสม ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้ กระแสล้าหลังแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบที่พบจึงมักจะเป็นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ ตัวเหนียวนำ เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัย อาคารและโรงงาน ต่างก็ใช้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำ ทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยเก็บเงินกับกรณีกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเหนี่ยวนำ ชนิด ล้าหลัง เท่านั้น

ดังนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ ตัวเก็บประจุ ขนานกับโหลดหรือขนานกับแหล่งจ่าย ดังภาพที่ 2-9 เพื่อให้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเหนียวนำ หักล้างกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ ตัวเก็บประจุแล้วเป็นผลให้ กำลังไฟฟ้าปรากฏ ลดลง จากรูปเมื่อใส่ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเก็บประจุ = $QC= Q_1- Q_2$ เพื่อหักล้างกับ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเหนี่ยวนำ (Q_1) ทำให้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ในระบบลดลงเหลือ Q2 แล้วกำลังไฟฟ้าปรากฏ ของระบบจะลดลงจาก S_1 เหลือเป็น S_2 เป็นผลให้กระแสลดลงจาก I_1 เหลือเป็น I_2

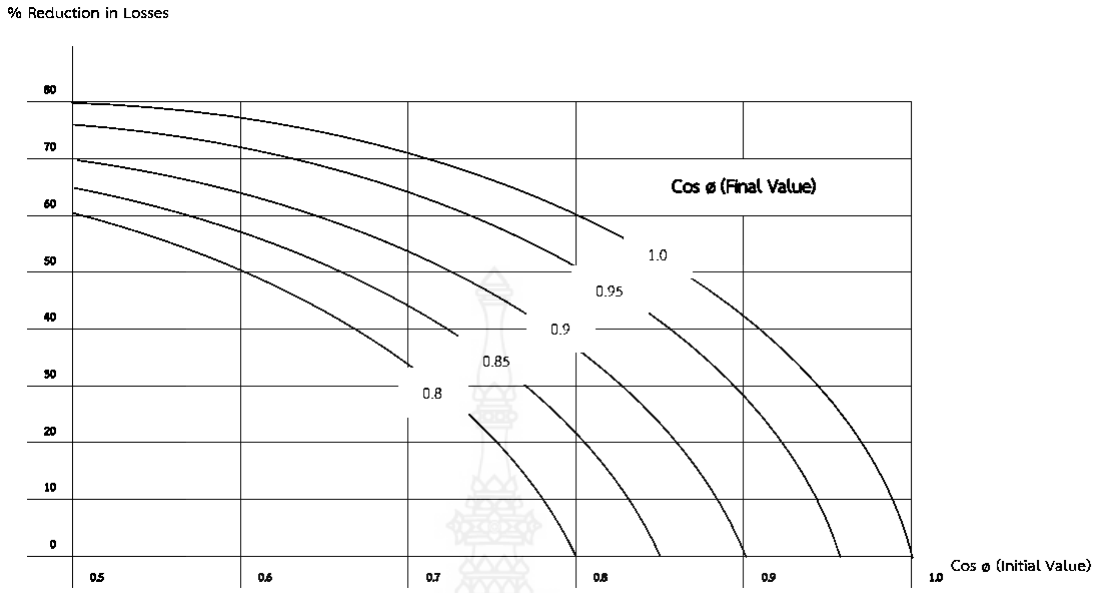


ภาพที่ 2.9 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ข้อสังเกต จากรูปถ้าต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลดกระแสก็จะลดต่ำลงตั้งแต่ตำแหน่งจุดที่ต่อนั้นไปจนถึงแหล่งจ่ายทั้งนี้โหลดยังคงใช้กำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เท่าเดิมทุกประการ เพราะแรงดันที่โหลดได้รับถือว่าไม่ได้เปลี่ยนไป จึงกินไฟเท่าเดิม แต่การที่กระแสในสายจากแหล่งจ่ายลดลง เป็นเพราะกระแสที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุ มีทิศทางของเวคเตอร์หักล้างกับกระแสที่ไหลเข้าโหลด ทำให้ผลรวมทางเวคเตอร์ของ $I_C + I_L$ มีขนาดลดลง หรือจะมองว่า เพราะต่อตัวเก็บประจุ เข้าระบบ แล้วทำให้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ลดลงก็ จึงทำให้กระแสลดลงด้วย จากแผนภาพนี้หากนำ ตัวเก็บประจุไปต่อขนานกับแหล่งจ่าย กระแสก็จะลดต่ำลง เฉพาะตำแหน่งที่แหล่งจ่ายเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าบัสบาร์กับหม้อแปลงมีกระแสไหลน้อยลงแต่ในสายไฟที่เดินไปยังโหลด กระแสยังคงมากอยู่แต่การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อตัวเก็บประจุขนาน กับแหล่งจ่ายนี้เป็นวิธีที่สะดวกและไม่ยุ่งยาก จึงเป็นวิธีที่นิยมทำกัน



ภาพที่ 2.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 2.11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ จะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก ดังนั้น การแก้ให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้นทำให้ค่าไฟฟ้าลดลงแต่การแก้ค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ นี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม จึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วย โดยพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนในการแก้ไขค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์กับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการแก้ไขค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์

อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ จะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแตกต่างกันแล้วแต่โครงสร้างภายในของอุปกรณ์นั้นๆ จึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 2.2 ทำให้โรงงานและอาคารที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างชนิดกันมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย โดยข้อมูลจากการสำรวจเป็นไปดังตารางที่ 2.3 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ นอกจากเกิดจากการใช้โหลดประเภทเหนี่ยวนำ เป็นจำนวนมากแล้ว ยังเกิดจากการที่มอเตอร์ตัวใหญ่ขับโหลดหรือเกิดจากการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิง เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้า	PF (%)
เตาหลอดโลหะแบบเหนี่ยวนำ	30 – 70
เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก	35 – 60
เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน	40 – 60
เครื่องกลึง	40 – 65

เครื่องปั๊มโลหะแบบความเร็วสูง	45 – 60
เครื่องอัด (Compressor)	50 – 80
หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด HID	50 – 70
เครื่องจักรทอผ้า	60 – 70

ตารางที่ 2.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ

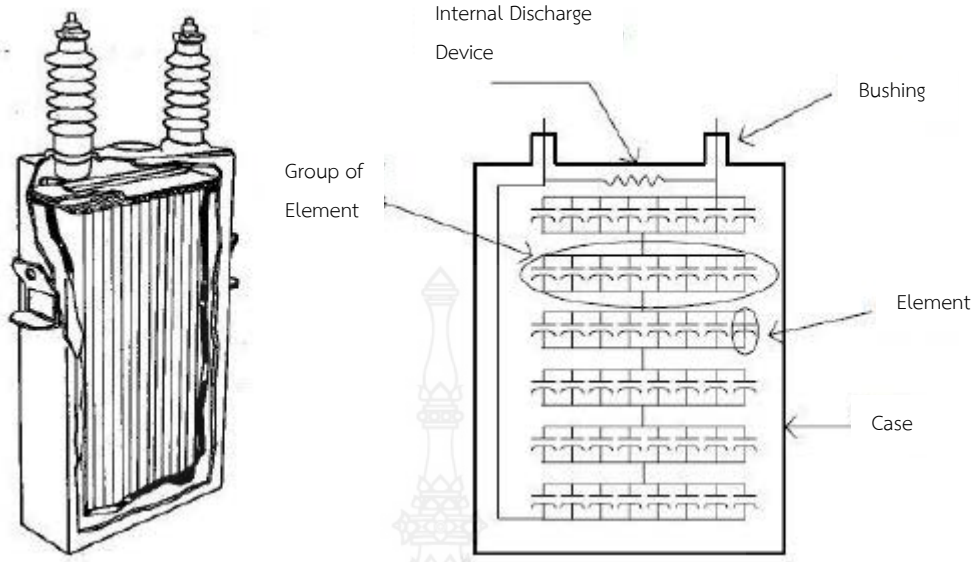
ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	**PF (%)**
เสื้อผ้า	35 – 60
สี	55 – 65
พลาสติก	55 – 70
ขึ้นรูปโลหะ	60 – 70
เครื่องจักรกล	60 – 75
ชุบหรือเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า	65 – 70
เคมี	65 – 75
ทอผ้า	65 – 75
เหล็กกล้า	65 – 75
เหมืองถ่าน	65 – 80
ตีหรือเผาเหล็ก	70 – 80

2.6 คาปาซิเตอร์แบงค์

คาปาซิเตอร์แบงค์ ก็คือตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) ขนาดใหญ่จำนวนหลายชุด ที่ใส่ขนานเข้ามาในระบบไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของระบบให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อที่จะไม่ต้องเสียค่าปรับและลดกำลังงานสูญเสียในระบบ

2.6.1 โครงสร้างของคาปาซิเตอร์

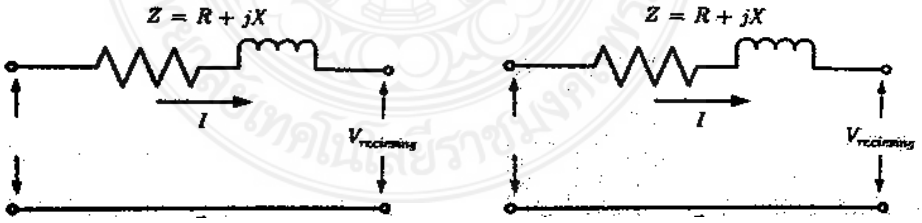
คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้งานทางไฟฟ้า โครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบด้วยไปด้วยแผ่นโลหะบางๆ สองแผ่นวางซ้อนทับกับฉนวนไดอิเล็กตริก ซึ่งในคาปาซิเตอร์หนึ่งตัวจะประกอบไปด้วยส่วนย่อยหลายๆส่วนมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการโดยเทคโนโลยีในการผลิดคาปาซิเตอร์ที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นต้องทำให้คาปาซิเตอร์สามารถทนอยู่ในสภาวะที่มีความเครียดทางไฟฟ้าสูงได้ ภาพที่ 2.13 แสดงถึงโครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์

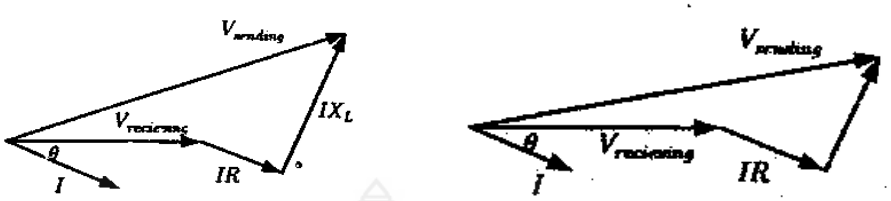
2.6.2 หลักการทำงานพื้นฐานของคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบไฟฟ้า ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์นั้นต้องต่อขนานเข้าไปในระบบ คาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานเข้าไปในระบบจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอินดักทีฟโหลด โดยทำให้กระแสมีเฟสนำหน้าหักล้างกับองค์ประกอบที่เฟสล้าหลังของกระแสอินดักทีฟโหลดในจุดที่มีการติดตั้งคาปาซิเตอร์ จากหลักการข้างต้นสามารถแสดงภาพวงจรสมมูลก่อนแหละหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ได้ตาม ภาพที่ 2.13 และแสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ได้ตามภาพที่ 2.14



ก่อนติดตั้งคาปาซิเตอร์ **หลังติดตั้งคาปาซิเตอร์**

ภาพที่ 2.13 วงจรสมมูลก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์



ก่อนติดตั้งคาปาซิเตอร์ **หลังติดตั้งคาปาซิเตอร์**

ภาพที่ 2.14 เฟสเซอร์ไดอะแกรมก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์

2.6.3 ชนิดของคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์ที่นำไปติดตั้งเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นมี 2 ชนิด ให้เลือกไปใช้งานตามความเหมาะสม คือคาปาซิเตอร์แบบคงที่และคาปาซิเตอร์แบบปรับค่าได้ สามารถอธิบายลักษณะชองคาปาซิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดได้ดังนี้

1. คาปาซิเตอร์แบบคงที่

คาปาซิเตอร์แบบคงที่เป็นคาปาซิเตอร์ที่เมื่อติดตั้งเข้าไปในระบบแล้วจะจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้าสู่ระบบตลอดเวลาโดยไม่สามารถทำการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้

2. คาปาซิเตอร์แบบปรับค่าได้

คาปาซิเตอร์แบบปรับค่าเป็นคาปาซิเตอร์ที่เมื่อติดตั้งเข้าไปในระบบแล้วสามารถปรับค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้ โดยการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟนั้นมีหลายวิธีให้เลือกเช่น การควบคุมด้วยกระแสหรือแรงดันที่จุดติดตั้ง การควบคุมด้วยเวลาเป็นต้นเนื่องจากคาปาซิเตอร์แบบคงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้าสู่ระบบตลอดเวลาดังนั้นเวลาพิจารณาเลือกคาปาซิเตอร์ชนิดนี้ไปใช้งานต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดน้อยด้วยเพราะอาจทำให้เกิดแรงดันเกิดที่จุดติดตั้งได้วิธีแก้ไขคือพิจาณาการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบปรับค่า

2.6.4 หน้าที่หลักของคาปาซิเตอร์แบงค์

1. ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ เครื่องทำความร้อน เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เป็นต้น

2. แก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์อนุกรมกับรีแอคเตอร์ซึ่งเรียกรวมกันว่า ฟิลเตอร์แบงค์

3. แก้ปัญหาไฟกระพริบไฟกระเพื่อมโดยการใช้ไทริสเตอร์ในการตัดต่อคาปาซิเตอร์ ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้อย่างรวดเร็ว

2.7 การติดตั้งตัวเก็บประจุ

ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกัน ทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่ หรือติดตั้งใหม่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจร สามารถทำได้ 5 วิธี

2.7.1 ติดตั้งแบบแยก

ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของอุปกรณ์โดยตรง (เช่น มอเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า) และตัดต่อผ่านเบรกเกอร์หรือคอนแทกเตอร์ของอุปกรณ์นั้นๆ

ข้อดี

- ลดกระแสไฟฟ้าที่สายไฟฟ้าของอุปกรณ์ประมาณ 20-30%
- ลดความสูญเสียของสายไฟฟ้าของอุปกรณ์
- ลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายไฟฟ้าของอุปกรณ์
- ลดกระแสไฟฟ้าและความสูญเสียที่หม้อแปลง และตู้จ่ายไฟ

ข้อเสีย

- ต้องใช้คาปาซิเตอร์จำนวนมากสำหรับอุปกรณ์ แต่ละตัว
- อาจจะไม่ได้ใช้งานคาปาซิเตอร์บางตัว เนื่องจากอุปกรณ์ ไม่ได้ทำงานพร้อมกันทั้งหมดในเวลาเดียวกัน

1. การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่มอเตอร์

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ โดยตรงที่มอเตอร์สามารถติดตั้ง ได้หลายวิธีดังนี้ขนาดคาปาซิเตอร์ต้องไม่เกิน 90% ของรีแอกทีฟเพาเวอร์ ของมอเตอร์เมื่อไม่มีโหลด การใช้ขนาดคาปาซิเตอร์มากเกินไป มีผลต่อการกระตุ้นตัวเองของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์หยุดการทำงาน มีผลทำให้เกิดแรงดันสูงมากเกินพิกัดที่ฉนวนไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยทั่วไปขนาดของคาปาซิเตอร์~ 35% ของ กำลังไฟฟ้าจริงมอเตอร์

- ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยตรง เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด ใช้กับมอเตอร์
- ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยต่อผ่านคอนแทกเตอร์ K5 ใช้กับมอเตอร์ <150 Kw , 3 เฟส 400 V, 50Hz มีคอนแทกเตอร์ตัดต่อคาปาซิเตอร์โดยเฉพาะ ป้องกันไฟย้อนกลับจากคาปาซิเตอร์ไปที่มอเตอร์ ขณะที่มอเตอร์ หยุดการทำงาน

- ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยผ่านคอนแทกเตอร์ K5 และฟิวส์F02 ใช้กับมอเตอร์ทุกขนาด มีคอนแทกเตอร์ตัดต่อคาปาซิเตอร์โดยเฉพาะ ป้องกันไฟย้อนกลับจากคาปาซิเตอร์ขณะที่มอเตอร์หยุดการทำงาน และมีฟิวส์ป้องกัน สำหรับคาปาซิเตอร์โดยตรง

การใช้ตัวคลายประจุไฟฟ้า ร่วมกับคาปาซิเตอร์ช่วยให้คลายประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยใช้เวลา 10 วินาทีถ้าใช้ตัวคลายประจุไฟฟ้าชนิดต้านทานที่ติดมาให้กับตัวคาปาซิเตอร์ก่อนเปิดปิดมอเตอร์ต้องรอการคลาย ประจุไฟฟ้า 1-3 นาที

2.7.2. วิธีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบกลุ่มย่อย ติดตั้งคาปาซิเตอร์ตามกลุ่มย่อยของโหลดผ่านเมนคอน แทกเตอร์หรือเบรกเกอร์ เช่น กลุ่มของหลอดไฟแต่ละชั้นของ อาคาร หรือกลุ่มย่อยของมอเตอร์ที่ติดตั้งแต่ละอาคาร

ข้อดี

- ลดการลงทุนค่าอุปกรณ์คาปาซิเตอร์
- ลดความสูญเสียในสายจ่ายไฟฟ้าย่อย
- ลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายจ่ายไฟฟ้าย่อย
- ใช้คาปาซิเตอร์ได้คุ้มค่ามากขึ้น

ข้อเสีย

- ไม่ช่วยลดกระแส, ความสูญเสีย และแรงดันไฟตก ที่สายไฟฟ้าต่อเข้าอุปกรณ์เช่น มอเตอร์ หลอดไฟฟ้า

2.7.3 วิธีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบศูนย์กลาง

ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบอัตโนมัติ ควบคุมด้วยเพาเวอร์ แฟกเตอร์คอนโทรลเลอร์ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลักใกล้หม้อแปลง

ข้อดี

- ใช้ประโยชน์คาปาซิเตอร์ได้สูงสุด
- เป็นวิธีที่ประหยัดการลงทุนอุปกรณ์คาปาซิเตอร์มากที่สุด
- ดูแลง่าย
- ปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบอัตโนมัติ

2.7.4 ติดตั้งแบบผสม

ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบแยกที่มอเตอร์แต่ละตัว, ติดตั้ง แบบกลุ่มย่อยและติดตั้งที่ศูนย์กลาง ช่วยลดกระแส ความสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้าตกได้ดีที่สุด แต่การลงทุนจะสูงมากขึ้น

2.7.5 ติดตั้งแบบปรับเปลี่ยนตามโหลดทันทีทันใด

เนื่องจากโหลดบางชนิด เช่น ลิฟต์ เครน เครื่องเชื่อม เครื่องม้วนเหล็ก กระดาษ พลาสติก ทำงานไม่ต่อเนื่อง เปิดปิด เร็วมากๆ บางครั้งน้อยกว่า 1 นาที การใช้คอนแทกเตอร์ตัดต่อคาปาซิเตอร์ ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้เร็วตามโหลด ต้องรอเวลา ในการคลายประจุไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ นอกจากนั้นการตัดต่อ คาปาซิเตอร์บ่อยครั้งเกินไปจะทำให้คอนแทกเตอร์และคาปาซิเตอร์ มีอายุใช้งานลดลงอย่างมาก ในกรณีที่โหลดปรับเปลี่ยนเร็วต้องใช้ไทริสเตอร์เป็นตัว ตัดต่อแทนคอนแทกเตอร์

ข้อดี

- ตัดต่อคาปาซิเตอร์ได้ทันทีทันใด
- ลดค่าปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์ – ลดค่าปรับดีมานด์
- ลดความสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้าตก

ข้อเสีย

- ลงทุนค่าอุปกรณ์สูงโดยทั่วไปไทริสเตอร์แพงกว่า คอนแทกเตอร์ประมาณ 5-10 เท่า

2.8 การเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมกับคาปาซิเตอร์

2.8.1 การเลือกตัวคลายประจุต้านทาน

ตัวต้านทานจะติดตั้งมากับคาปาซิเตอร์ เพื่อใช้คลาย ประจุไฟฟ้า ขนาดของตัวต้านทานจะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60831-1+2 กล่าวคือแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์จะลดลงเหลือ 75 V ภายในเวลา 3 นาทีโดยทั่วไปผู้ผลิตจะติดตั้งรีซิสเตอร์ มาที่ขั้วคาปาซิเตอร์ เพื่อคลายประจุไฟฟ้าหลังจากตัดไฟเข้า คาปาซิเตอร์โดยลดแรงดันไฟฟ้าจาก 400 V เหลือ 75 V ภายใน เวลา 1 นาทีเพื่อตัดต่อคาปาซิเตอร์ได้รวดเร็วมากขึ้น

2.8.2 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าและฟิวส์ป้องกันคาปาซิเตอร์

- ข้อแนะนำขนาดสายไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 60831-1+2 คาปาซิเตอร์ต้อง สามารถรับกระแสต่อเนื่องได้1.3 x In เพื่อรองรับแรงดันไฟฟ้า เกิน, ฮาร์โมนิกส์และความคลาดเคลื่อนประจุไฟฟ้าในการผลิต คาปาซิเตอร์+ 10% ดังนั้นขนาดสายไฟฟ้าต้องรับกระแสไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 1.35 x In (In = พิกัดกระแสของคาปาซิเตอร์)

- ข้อแนะนำขนาดฟิวส์ โดยทั่วไปขนาดฟิวส์ = 1.6 - 1.8 เท่าของขนาดกระแส พิกัดของคาปาซิเตอร์เนื่องจากการตัดต่อคาปาซิเตอร์จะมีกระแส ไฟฟ้ากระชากสูงมาก

- กระแสกระชากผ่านคาปาซิเตอร์

การตัดต่อคาปาซิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดต่อคาปาซิเตอร์ ขนานเข้ากับคาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่แล้วภายในระบบ จะทำให้เกิด กระแสกระชากผ่านคาปาซิเตอร์สูงมากถึง 200 เท่า ของกระแส

ปกติ เป็นเหตุให้หน้าคอนแทกของคอนแทกเตอร์หลอมละลาย และลดอายุ การใช้งานของคาปาซิเตอร์ ยิ่งไปกว่านั้นกระแสกระชากที่สูงมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงมากขึ้นทันทีทันใด เป็นเหตุให้ฉนวนไฟฟ้าของอุปกรณ์เสียหาย และอายุการใช้งานสั้นลง การป้องกันกระแสกระชากผ่านคาปาซิเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้ คอนแทกเตอร์ ชนิดมีความต้านทานป้องกันกระแสกระชาก

ตารางที่ 2.4 การเลือกขนาดสายไฟและฟิวส์ระบบ 400 V 3-เฟส 50 Hz ambient temp 35° C

ขนาดคาปาซิเตอร์ kVAR	พิกัดกระแส A	ขนาดฟิวส์ A	ขนาดสายไฟทองแดง ชนิด VSF (Multi strand flexible cables)
5	7.2	16	2.5
10	14.4	25	4
12.5	18	35	6
15	21.6	35	6
20	28.6	50	10
25	36	63	16
30	43.2	80	25
40	57.6	100	35
50	72	125	35
60	86.6	125	50
75	108	160	50
100	144	250	90

2.9 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ข้อดี

- เพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
- เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
- มีความยืดหยุ่นมาก เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
- ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำและไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
- สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย

- ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่าย สามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย

- การเกิดแรงดันเกิน เมื่อปลดโหลดออก ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ

- การเกิดเรโซแนนซ์ เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิกทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหาย ทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้น

2.10 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

2.10.1 เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย

2.10.2 จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควร เพราะความร้อนยิ่งสูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง

2.10.3 การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรง ต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดี และต้องติดตั้งให้ถูกวิธี มิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้

2.10.4 ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุดคาปาซิเตอร์แบงค์ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป

2.10.5 อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์ก สร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิก ซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันที ในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษ

2.11 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้เหมาะสม

2.11.1. ช่วยลดค่าปรับจากการไฟฟ้าเนื่องจากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ต่ำกว่า 0.85

กรณีที่ระบบไฟฟ้ากำลังของผู้ใช้มีค่า P.F. ต่ำ การไฟฟ้าจะต้องรับภาระในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เป็นจำนวนมาก ต้องใช้เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งทรัพยากรที่มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถผลิต กำลังไฟฟ้าทั้งใน ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ตามความต้องการของผู้ใช้ แต่ที่จริงแล้วกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟนั้น ผู้ใช้สามารถสร้างขึ้นเองได้โดยใช้อุปกรณ์คาปาซิเตอร์ ดังนั้น การไฟฟ้าจึงออกกฎเพื่อควบคุมค่า P.F. ของโรงงานต่าง ๆ โดยกำหนดว่า “ หากโรงงานใดมีค่า P.F. ที่ต่ำกว่า 8.5 จะต้องเสียค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์”

2.11.2. ช่วยลดโหลดของหม้อแปลง

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ามีเพิ่มปริมาณโหลดขึ้นเรื่อย ๆ กับหม้อแปลงตัวเดิมจะส่งผลให้หม้อแปลงต้องจ่ายกระแสเกินพิกัด ทางแก้ไขวิธีหนึ่งคือ ติดตั้งหม้อแปลงเพิ่มขึ้น แต่การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ก็สามารถช่วยลดโหลดของหม้อแปลงนั้นได้ คือ จากเดิมหม้อแปลงต้องรับภาระจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเองทั้งหมด ถ้ามีการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ก็จะช่วยรับภาระในส่วนนี้แทน ทำให้หม้อแปลงตัวนั้นมีกำลังเหลือเฟือเพื่อที่จะจ่ายให้กับโหลดส่วนอื่น ๆ เพิ่มเติมได้

2.11.3. ช่วยลดค่าไฟฟ้าที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนในสายไฟและหม้อแปลง

การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์จะช่วยลดกำลังสูญเสียในสายไฟและหม้อแปลงไฟฟ้า จึงเป็นการประหยัดพลังงาน อีกทั้ง ยังลดความร้อนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ แต่ทว่าในประเทศไทยนิยม ติดตั้งตู้ติดกับตู้สวิทช์บอร์ดหรือก็คือใกล้กับหม้อแปลงมาก จึงทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่ในการช่วยลดประมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน

2.12 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดคาปาซิเตอร์

2.12.1 ปลอดภัยไว้ก่อน

ชุดคาปาซิเตอร์จัดเป็นอุปกรณ์ที่สะสมพลังงานไฟฟ้าจึงสามารถทำให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้าดูดจนอาจจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่ขาดความรู้ความเข้าใจและขาดความระมัดระวังเสียชีวิตได้ถึงแม้ว่าจะปลดวงจรชุดคาปาซิเตอร์ออกแล้ว โดยทั่วไปชุดคาปาซิเตอร์จะประกอบด้วยวงจรคาย เมื่อวงจรคายประจุเสียหายไม่ทำงาน อันตรายจากไฟฟ้าดูดก็จะคงมีอยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นเมื่อจำเป็นต้องทดสอบด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดคาปาซิเตอร์ ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ การปฏิบัติงานบำรุงรักษาต้องเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 70E

2.12.2 การตรวจดูด้วยสายตาและการทำความสะอาด

การตรวจดูด้วยสายตาก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เช่นการมองหาว่ามีชิ้นส่วนใดบ้างที่เปลี่ยนสีมีคาปาซิเตอร์ตัวใดบ้างที่บวมหรือรั่ว หรือมีร่องรอยที่เกิดความร้อนเกินหรือมีความชื้นเกิดขึ้นที่คาปาซิเตอร์ ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนชุดกรองอากาศ ของพัดลมระบายอากาศ ทำความสะอาดภายในชุดคาปาซิเตอร์โดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ ห้ามใช้เครื่องเป่าชนิดอัดอากาศเพราะฝุ่นจะกระจายเข้าไปสะสมอยู่ซอกเล็กซอกน้อยภายในตู้ ก่อนจะจ่ายไฟให้กับชุดคาปาซิเตอร์ ต้องทำการทดสอบความเป็นฉนวน ที่บัสบาร์โดยการวัดระหว่างเฟส–เฟส และเฟสกับกราวด์ด้วย

2.12.3 ตรวจสอบอินฟราเรด (Infrared Inspection)

เครื่องมือที่มีคุณค่าในการตรวจหาจุดที่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติของชุดคาปาซิเตอร์ก็คืออุปกรณ์ Thermal Imager ก่อนทำการตรวจวัดต้องจ่ายไฟให้กับชุดคาปาซิเตอร์ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง เริ่มต้นให้ตรวจดูหน้าจอแสดงผลของชุดควบคุมคาปาซิเตอร์ว่าได้ต่อคาปาซิเตอร์ครบทุก Stage ขั้นต่อไป

ตรวจให้แน่ใจว่าพัดลมระบายอากาศทำงานได้ปกติ ต่อจากนั้นก็เริ่มการตรวจด้วยเครื่อง Thermal Imager จากภายนอกตู้ชุดคาปาซิเตอร์ก่อนโดยยังไม่เปิดฝาตู้ ในกรณีนี้ควรประเมินถึงอันตรายที่เกิดไฟฟ้าช๊อตและไฟฟ้าระเบิดด้วย อาจจำเป็นต้องสวมใส่ชุด PPE เมื่อต้องทำงานกับส่วนที่นำไฟฟ้า

ตรวจสอบการเดินสายไฟฟ้ากำลังและสายวงจรควบคุม ด้วยเครื่องมือ Thermal Imager เพื่อหาดูว่ามีขั้วต่อสายใดที่หลวมหรือไม่ เครื่องมือ Thermal Imager จะประมวลผลและแสดงผลของข้อต่อสายที่หลวมออกมาเป็นอุณหภูมิที่สูงผิดปกติเนื่องจากค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นที่ขั้วต่อ โดยทั่วไปการต่อสายที่ดีจะวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 20 °F จากอุณหภูมิแวดล้อม โดยทั่วไปอาจจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยที่ขั้วต่อสายระหว่างเฟสกับเฟส หรือระหว่างคาปาซิเตอร์แต่ละตัว

การประเมินผลด้วยแสงอินฟราเรดของเครื่องวัด Thermal Imager จะช่วยให้เราตรวจหาว่าฟิวส์ควบคุมของคาปาซิเตอร์ตัวใดที่หลอมละลายแล้วโดยการแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างฟิวส์ที่หลอมละลายกับฟิวส์ที่ยังไม่เปิดวงจร ฟิวส์ที่หลอมละลายไปแล้วในชุดคาปาซิเตอร์จะทำให้คาปาซิเตอร์ที่พร้อมจะต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้ากำลังเพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ลดลง ผลการตรวจวัดอุณหภูมิทำให้ระบุได้ว่าคาปาซิเตอร์ใดมีฟิวส์ที่หลอมละลายแล้วอยู่ภายใน เมื่อพบฟิวส์ควบคุมที่หลอมละลายแล้ว ให้ปลดวงจรชุดคาปาซิเตอร์ทั้งชุด และตรวจหาสาเหตุว่าอะไรทำให้ฟิวส์ควบคุมหลอมละลาย อาจจะเกิดจากคาปาซิเตอร์ที่ไม่ดี, ปัญหาจากรีแอกเตอร์ และการต่อสายระหว่างสายไฟฟ้าด้านไฟเข้ากับฟิวส์ หรือระหว่างสายไฟฟ้าด้านโหลดกับฟิวส์ที่ไม่ดี

2.12.4 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

การวัดค่าทางไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การวัดค่ากระแสไฟฟ้าต้องวัดค่าทั้ง 3 เฟสของแต่ละ Stage ที่ปลด–สับคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง การวัดค่าต้องใช้เครื่องมือวัดชนิด มัลติมิเตอร์และคลิปแอมป์โดยใช้มัลติมิเตอร์ เพื่อวัดกระแสไหลเข้าชุดควบคุมอัตโนมัติที่ไหลผ่านหม้อแปลงกระแสที่ติดตั้งอยู่ในตู้เมนไฟฟ้าแรงต่ำ และใช้คลิปแอมป์วัดค่าตัวนำทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส

2.12.5 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

การวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต้องใช้เครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าเหล่านี้ได้พร้อมกันได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และ ดีมานด์ในช่วงเวลาอย่างน้อย 1 วินาที ซึ่งเครื่องมือวัดชนิดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่สามารถใช้วัดได้ ต้องใช้เครื่องมือ วิเคราะห์ คุณภาพไฟฟ้าw/คลิปแอมป์ตรวจวัดค่าที่ต้องการนี้ ค่าที่วัดได้จะเป็นข้อมูลอ้างอิงของระบบไฟฟ้ากำลังของโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องมือวัดชนิด Power Logger ก็เป็นเครื่องมือวัดชนิดคุณภาพไฟฟ้า อีกประเภทหนึ่งซึ่งสามารถใช้

งานได้ ซึ่งสามารถตรวจติดตามวัดค่าทางไฟฟ้าของโหลดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังตลอดช่วงเวลา 30 วัน ทำให้เราสามารถเข้าใจคุณลักษณะของโหลด และการทำงานของโหลดได้ดียิ่งขึ้น

2.12.6 เครื่องวัดค่าคาปาซิแตนซ์

ก่อนจะวัดค่าคาปาซิแตนซ์ ให้ปลดชุดคาปาซิเตอร์ออกจากวงจรไฟฟ้าและรออยู่ช่วงเวลาหนึ่งตามที่ผู้ผลิตแนะนำเพื่อให้ชุดคาปาซิเตอร์คายประจุ ขณะทำการวัดให้สวมชุดป้องกันทำการตรวจวัดดูเครื่องมือวัดที่มีพิกัดที่เหมาะสมว่าไม่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ อยู่ ปฏิบัติตามขั้นตอนของการบำรุงรักษาและซ่อมบำรุงในการติดป้ายและล็อคอุปกรณ์ก่อนวัดค่า ใช้มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีพิกัดที่เหมาะสม ตั้งค่าพิกัดการวัดไปที่ 1,000 VDC ตรวจสอบแต่ละระยะ โดยวัดค่าในกรณี เฟสต่อเฟส และ เฟสต่อกราวด์ ไม่ควรมีค่าแรงดันไฟฟ้าเหลืออยู่ แต่ถ้าวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้แสดงว่าคาปาซิเตอร์อาจจะยังไม่ได้คายประจุ ถ้าวัดค่าแล้วได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ ให้วัดค่าคาปาซิแตนซ์ของชุดคาปาซิเตอร์และเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่ระบุไว้ของผู้ผลิตเพื่อเปรียบเทียบ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 หลักการคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุ

ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จาก PF_1 เป็น PF_2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF_1 = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}_1} = \cos\theta_1 \quad , \quad PF_2 = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}_2} = \cos\theta_2 \qquad (3\text{-}1)$$

$$\tan\theta_1 = \frac{Q_1}{P} \quad , \quad \tan\theta_2 = \frac{Q_2}{P} \qquad (3\text{-}2)$$

$$Q_1 = P \times \tan\theta_1 = kW \times \tan\theta_1 \qquad (3\text{-}3)$$

$$Q_2 = P \times \tan\theta_2 = kW \times \tan\theta_2 \qquad (3\text{-}4)$$

ขนาดของตัวเก็บประจุ

$$(kVAR) = Q_1 - Q_2 = kW \tan\theta_1 - kW \tan\theta_2$$

$$= kW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \qquad (3\text{-}5)$$

ในการนี้ อาจใช้ตารางที่ 2.2 ประกอบการหาค่า $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ ได้โดยสะดวก เช่นต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก

$PF_1 = 0.85$ (PF=85 %) ไปเป็น $PF_2 = 0.95$ (PF = 95%)

$\tan\theta_1 - \tan\theta_2 = 1.248$

ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก

$PF_1 = 0.7$ (PF = 70 %) ไปเป็น $PF_2 = 0.9$ (PF = 90 %)

$\tan\theta_1 - \tan\theta_2 = 0.536$

ต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก

$PF_1 = 0.5$ (PF = 50 %) ไปเป็น $PF_2 = 0.95$ (PF = 95 %)

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

ตารางที่ 3.1 ค่าประกอบการคำนวณหาขนาด kVar ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ค่า $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$)

		ค่า pf ที่ต้องการปรับปรุง												
		0.8	0.85	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
ค่า pf ก่อนปรับปรุง	0.8	0	0.13	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.75
	0.85		0	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.62
	0.9			0	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484
	0.91				0	0.03	0.06	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
	0.92					0	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
	0.93						0	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395
	0.94							0	0.034	0.071	0.112	0.16	0.22	0.363
	0.95								0	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329
	0.96									0	0.041	0.89	0.149	0.292
	0.97										0	0.048	0.108	0.251
	0.98											0	0.061	0.203
	0.99												0	0.142
	1													0

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลงได้ ดังที่แสดงในภาพที่ 2.10 โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียยังขึ้นอยู่กับความต้านทานในสายและความยาวของสาย อีกด้วยส่วนภาพที่ 2.11 แสดงค่า % การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปสู่ค่าต่างๆ

3.2 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ หรือคาปาซิเตอร์ (Capacitor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ปรับค่าเพาเวอร์แฟก-เตอร์ (Power Factor) คาปาซิเตอร์จะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้ารีแอกทีฟ ซึ่งกระแสไฟฟ้ามีทิศทางนำแรงดัน (Leading) เพื่อชดเชยกับกระแสไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งโดยทั่วไปปกติกระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดัน (Lagging) การลดผลกระทบจาก Inductive Load จากอุปกรณ์ประเภทหม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์มอเตอร์ และอุปกรณ์ในระบบส่ง โดยในระบบไฟฟ้า อาจจะมีการ ติดตั้งเฉพาะตัวคาปาซิเตอร์ ที่บริเวณที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งจำเป็นต้องปรับค่า Power Factor ให้เหมาะสม หรือในบางกรณี อาจจำเป็นต้องมีการติดตั้งชุดคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่พร้อมอุปกรณ์สับเปลี่ยน (Switching) ไว้ที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้า หรือสถานีย่อย

3.3 ตัวต้านทานคายประจุ

ตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่ใช้งานร่วมกับคาปาซิเตอร์ เพื่อรับการคายประจุไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์หลังจากที่ปลดคาปาซิเตอร์ออกจากระบบไฟฟ้าแล้ว เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากประจุไฟฟ้าที่ค้างอยู่ภายในคาปาซิเตอร์ กล่าวคือ ตัวต้านทานคายประจุจะรับการคายประจุไฟฟ้า โดยทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 75 V ภายใน 3 นาที สำหรับคาปาซิเตอร์แรงต่ำ (คาปาซิเตอร์แรงดันไม่เกิน

1,000 โวลต์) และภายใน 10 นาที สำหรับคาปาซิเตอร์แรงสูง หลังจากนั้นควรลัดวงจรระหว่างขั้วของคาปาซิเตอร์และลัดวงจรลงดินเพื่อความปลอดภัยโดยสมบูรณ์

3.4 การกำหนดขนาดตัวเก็บประจุ

คาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีหน่วยเป็นกิโลวาร์ (kVAR) เช่น 5, 10, 25 และ 50 กิโลวาร์ ซึ่งเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังสมการที่ 3-6 และ 3-7

$$\mathrm{kVAR}_{1-\text{เฟส}} = 2\pi \mathrm{fCV}^2 \times 10^{-9} \qquad (3\text{-}6)$$

$$\mathrm{kVAR}_{3-\text{เฟส}} = 6\pi \mathrm{fCV}^2 \times 10^{-9} \qquad (3\text{-}7)$$

กำหนดให้

kVAR = ขนาดของคาปาซิเตอร์ เป็น กิโลวาร์ (kVAR)

$\boldsymbol{\pi}$ = ค่าคงที่ = 3.1416

F = ความถี่ในระบบไฟฟ้า เป็นรอบต่อวินาที หรือ (Hz) (ปกติมีค่า 50 Hz)

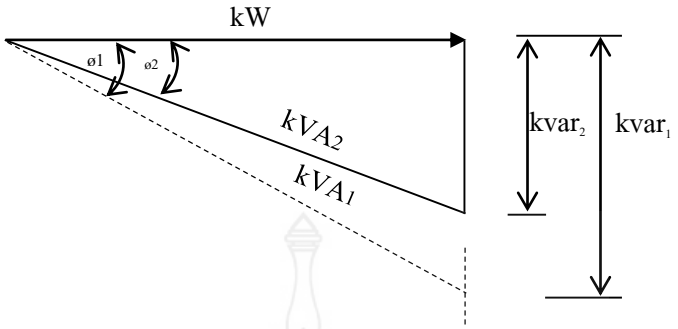
C = ขนาดของคาปาซิเตอร์ เป็น ไมโครฟารัด (μF)

V = แรงดันที่ระบุที่คาปาซิเตอร์ เป็นโวลต์ (V)

จากสมการข้างบนจะพบว่า ถ้านำคาปาซิเตอร์ไปใช้ในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่างไปจาแรงดันที่ระบุที่ตัวคาปาซิเตอร์ ขนาดกิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์ก็จะเปลี่ยนไป และเปลี่ยนมากเนื่องจากค่าแรงดันเป็นตัวเลขยกกำลังสอง การกำหนดขนาดของคาปาซิเตอร์ทำได้ 2 วิธีคือ วิธีการคำนวณและวิธีใช้ตาราง

3.4.1 การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์โดยวิธีคำนวณ

เมื่อต้องการปรับค่า PF ทำได้โดยต่อ Capacitor เข้ากับวงจร kVAR ที่ได้จาก Capacitor มีทิศทางตรงกันข้ามกับ kVAR ของวงจรหรือโหลด (kVAR $_1$) จะทำให้ $kVAR_1$ ลดลงเหลือเป็น $kVAR_2$ ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของกิโลวัตต์ เควีเอ และกิโลวาร์

จากภาพที่ 3.1 เขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3-8

$$\mathrm{kVAR_1 = kW \cdot tan\emptyset_1} \qquad (3\text{-}8)$$

ขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ใส่เข้าไปเพื่อให้ได้ $kVAR_2$ ก็คือ $kVAR_1$- $kVAR_2$ จะได้ขนาดของคาปาซิเตอร์เป็นกิโลวาร์ ดังสมการที่ 3-9

$$\mathrm{kVAR = kVAR_1 - kVAR_2} \qquad (3\text{-}9)$$

กำหนดให้

kVAR = ขนาดของคาปาซิเตอร์ เป็น กิโลวาร์

kW = กำลังไฟฟ้าในวงจร เป็น กิโลวัตต์

ตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลด 500 เควีเอ เพาเวอร์แฟกเตอร์ = 0.8 ถ้าต้องการปรับค่าเพาเวอร์-แฟกเตอร์ เป็น 0.95 จงหาขนาดของคาปาซิเตอร์โดยการคำนวณ

วิธีทำ

kW = 500 x 0.8

= 400 กิโลวัตต์

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ปัจจุบัน = 0.8

จะได้ $\emptyset_1 = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$

$\tan 36.87^\circ = 0.75$

ต้องการปรับเป็น 0.95

จะได้ $\emptyset_2 = \cos^{-1}(0.95) = 18.19^\circ$

$\tan 18.19^{\circ} = 0.329$

kVAR = kW ($\tan\phi_1 - \tan\phi_2$)

kVAR = 400 x (0.75- 0.329) กิโลวาร์

= 168.4 กิโลวาร์

3.4.2 การกำหนดขนาดคาปาซิเตอร์โดยวิธีใช้ตาราง

จากสมการข้างบน ถ้ากำหนดค่ามุม ϕ_1 และ ϕ_2 และคำนวณหาค่า $\tan\phi_1 - \tan\phi_2$ ทำเป็นตารางไว้ตามตาราง เมื่อต้องหาขนาดคาปาซิเตอร์ก็เพียงแต่คูณค่าที่อ่านได้จากตารางด้วยโหลดเป็นกิโลวัตต์เท่านั้น ดังตารางที่ 3.2

ตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีโหลด 500 เควีเอ เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.65 ถ้าต้องการปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 0.85 จงหาขนาดของคาปาซิเตอร์โดยใช้ค่าจากตาราง

วิธีทำ

kW = 500 x 0.65 = 325 กิโลวัตต์

จากตาราง ที่ค่าเพาเวอแฟกเตอร์ปัจจุบัน = 0.65

ต้องการปรับเป็น 0.85 ในตารางช่องซ้ายมือที่ระบุว่า PF. เดิม ดูที่ค่า 0.65

จากจุดนี้เลื่อนไปตามแกน Y ที่ค่า PF. ที่ต้องการ 0.85 จะได้ค่าคงที่ = 0.400

kVAR = 325 x 0.4 กิโลวาร์

= 130 กิโลวาร์

หมายเหตุ ค่า C ที่คำนวณได้อาจไม่ตรงกับขนาดมาตรฐานของคาปาซิเตอร์ตามท้องตลาด การใช้ต้องเลือกให้ตรงกับขนาดมาตรฐาน อาจเลือกค่าที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าก็ได้ ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 3.2 ตารางคำนวณขนาดคาปาซิเตอร์ ขนาดเป็น kVAR

PF.	PF. ที่ต้องการ									
เดิม	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97
0.50	0.982	1.112	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481
0.51	0.937	1.067	1.202	1.231	1.261	1.291	1.324	1.358	1.395	1.436
0.52	0.893	1.023	1.158	1.187	1.217	1.247	1.280	1.314	1.351	1.392
0.53	0.850	0.980	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349
0.54	0.809	0.939	1.074	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308
0.55	0.768	0.899	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268
0.56	0.729	0.860	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229
0.57	0.691	0.822	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191
0.58	0.655	0.785	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154
0.59	0.618	0.749	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118
0.60	0.583	0.714	0.815	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083
0.61	0.549	0.679	0.781	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048
0.62	0.515	0.646	0.748	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015
0.63	0.483	0.613	0.716	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982
0.64	0.451	0.581	0.685	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950
0.65	0.419	0.549	0.654	0.714	0.743	0.774	0.706	0.840	0.877	0.919
0.66	0.388	0.519	0.624	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888
0.67	0.358	0.488	0.594	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857
0.68	0.328	0.459	0.565	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828
0.69	0.299	0.429	0.536	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798
0.70	0.270	0.400	0.508	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770
0.71	0.242	0.372	0.480	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741
0.72	0.214	0.344	0.452	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713
0.73	0.186	0.316	0.425	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686
0.74	0.159	0.289	0.398	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658
0.75	0.132	0.265	0.871	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631
0.76	0.105	0.235	0.344	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605
0.77	0.079	0.209	0.318	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578
0.78	0.052	0.183	0.292	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552
0.79	0.026	0.156	0.266	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525
0.80		0.130	0.240	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499

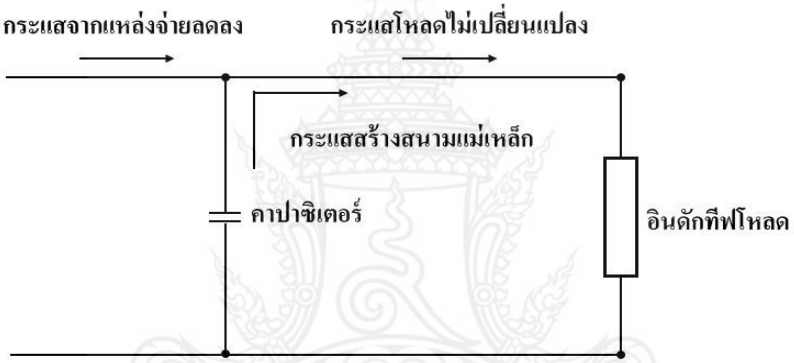
3.5 วิธีการติดตั้งคาปาซิเตอร์

1) ควรติดตั้งบนเสาหรือบนพื้นที่มีรั้วกั้น หรือ ณ ตำแหน่งซึ่งห่างจากการสัมผัสโดยง่าย

2) ขนาดสายของคาปาซิเตอร์จะต้องสามารถรับพิกัดกระแสของคาปาซิเตอร์ได้ไม่ต่ำกว่า 135% ของพิกัดกระแสคาปาซิเตอร์

3) ควรติดตั้งให้ใกล้โหลดมากที่สุด และขณะปลดโหลด P.F. leading จะต้องไม่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากคาปาซิเตอร์

4) จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัด เช่น ฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์กับคาปาซิ-เตอร์ที่มีตัวต้านทานคายประจุติดถาวรอยู่ที่ประมาณ 120% ของพิกัดกระแสของคาปาซิเตอร์ ซึ่งสามารถรับกระแสเนื่องจากทรานเซียนต์ (Transient) ได้ดังรูปที่ 3.2

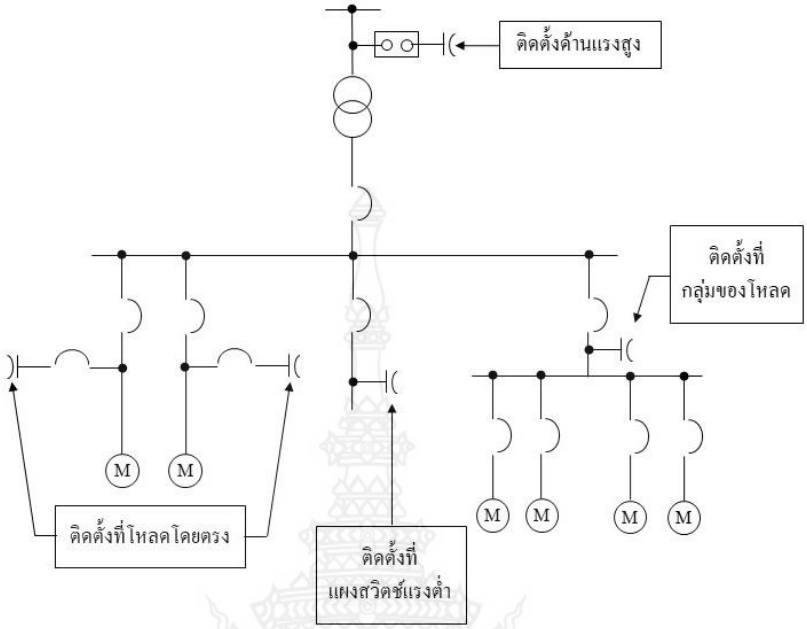


ภาพที่ 3.2 รูปแบบการติดตั้งตัวเก็บประจุ แบบ 1 เฟส

3.6 ตำแหน่งการติดตั้งคาปาซิเตอร์

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ในวงจรไฟฟ้าเพื่อการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ในระบบไฟฟ้าภายในอาคาร และโรงงาน สามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งด้วยกันตามความเหมาะสมในแต่ละตำแหน่งที่ติดตั้งก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ชนิดของการติดตั้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ [3] ดังภาพที่ 3.3

- การติดตั้งที่โหลดแต่ละตัว (Individual Compensation)
- การติดตั้งที่กลุ่มของโหลด (Group Compensation)
- การติดตั้งแบบศูนย์กลาง (Centralized Compensation)
- การติดตั้งด้านแรงสูง



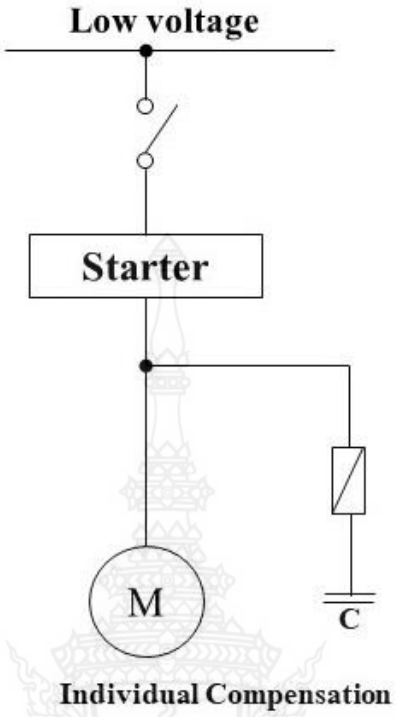
ภาพที่ 3.3 การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงจรไฟฟ้า

3.6.1 การติดตั้งที่โหลดแต่ละตัว (Individual Compensation)

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่โหลดแต่ละตัว หรือ การติดตั้งต่อขนานที่เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยตรง คือ การติดตั้งที่โหลดทุกตัวที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ การติดตั้งจึงต้องใช้คาปาซิเตอร์จำนวนมาก โหลดบางตัวอาจไม่ได้ใช้งานตลอดเวลา จึงต้องติดคาปาซิเตอร์ไว้ทำให้สิ้นเปลือง แต่จะได้ผลดีที่สุด ตรงที่สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าได้มาก และยังทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดดีขึ้นด้วย มักใช้กับโหลดพวกหลอดฟลูออเรสเซนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.4

ข้อดี : ทำให้กระแสที่ไหลในสายไฟฟ้าลดลง จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายลดลง และทำให้แรงดันตกคร่อมในสายลดลง ประหยัดการใช้อุปกรณ์สวิตซ์ขนาดใหญ่

ข้อเสีย : ต้องใช้คาปาซิเตอร์และอุปกรณ์ตัดต่อจำนวนหลายชุด (กรณีมีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายตัวที่ต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบ)



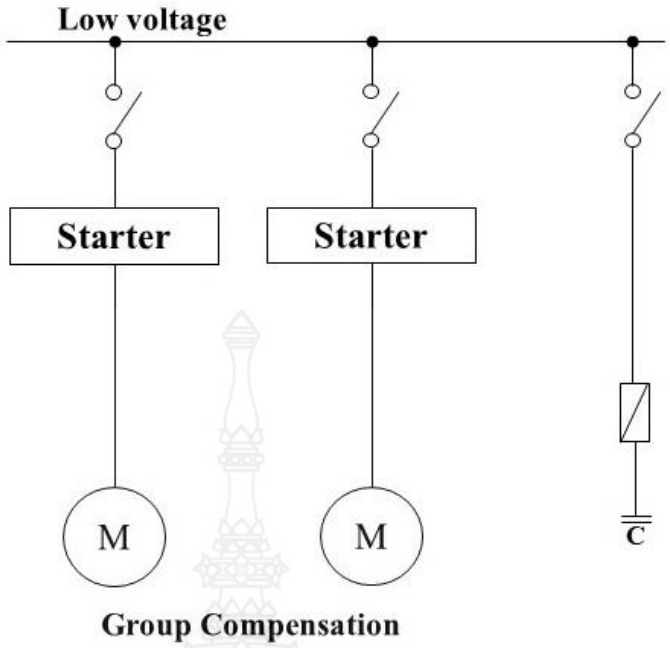
ภาพที่ 3.4 การติดตั้งที่โหลดแต่ละตัว

3.6.2 การติดตั้งที่กลุ่มของโหลด (Group Compensation)

การติดตั้งในลักษณะนี้จะแบ่งโหลดออกเป็นกลุ่ม ๆ หลายกลุ่ม และติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่แต่ละกลุ่มนั้น ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ติดตั้งอาจไม่ต้องคิดโหลดทุกตัวที่อยู่ในกลุ่ม เนื่องจากมีค่าดีมานด์แฟกเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงทำให้ลดขนาดคาปาซิเตอร์ลงได้บ้าง การต่อแบบนี้นิยมใช้เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าถูกใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน มีความต้องการกำลังเฉลี่ยและค่าตัวประกอบกำลังคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการกำลังเฉลี่ยนี้ ต้องไม่ทำให้ค่า Leading Power Factor เพราะค่ากำลังรีแอกตีฟของตัวคาปาซิเตอร์สูงเกินไป (ปกติค่าตัวประกอบกำลังจะเป็นค่า Lagging Power Factor) ดังภาพที่ 3.5

ข้อดี : ทำให้กระแสที่ไหลในสายไฟฟ้าลดลง จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายลดลง และทำให้แรงดันตกคร่อมในสายลดลงด้วย

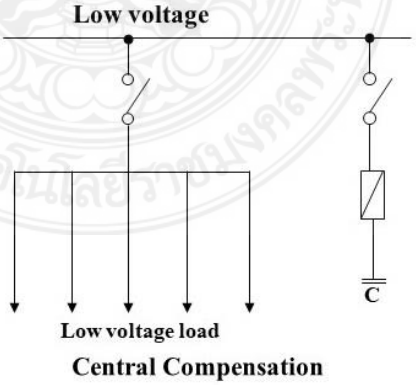
ข้อเสีย : ต้องใช้คาปาซิเตอร์และอุปกรณ์ตัดต่อจำนวนหลายชุด และโหลดที่สายป้อนหรือสายจ่ายอาจไม่แน่นอน



ภาพที่ 3.5 การติดตั้งที่กลุ่มของโหลด

3.6.3 การติดตั้งแบบศูนย์กลาง (Centralized Compensation)

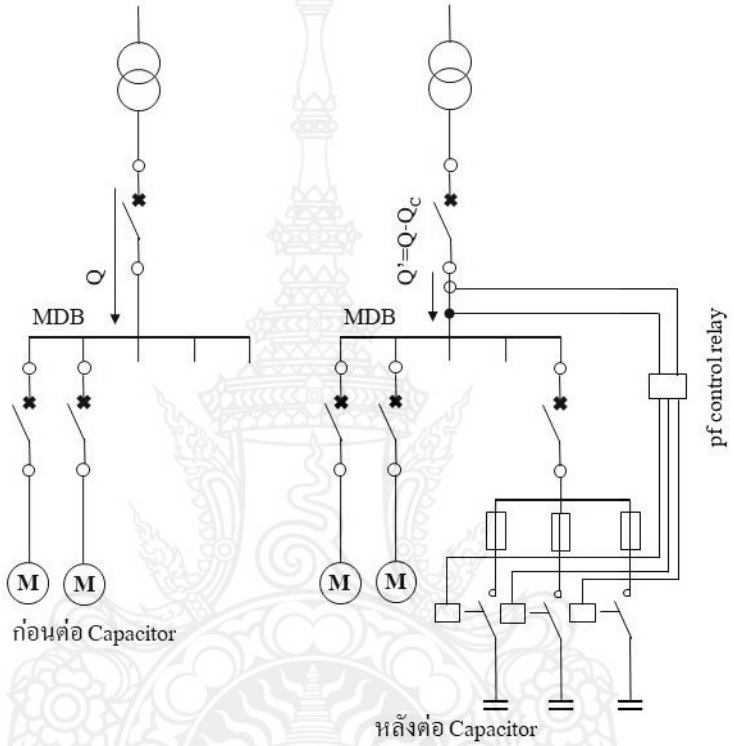
การติดตั้งคาปาซิเตอร์ไว้ที่แผงสวิตช์แรงต่ำรวม (ตู้ MDB) ทำโดยการแบ่งคาปาซิเตอร์ออกเป็นหลายชุด นิยมใช้เมื่อระบบมีความต้องการกำลังเฉลี่ยไม่คงที่ และมีค่าตัวปรกอบไม่คงที่ ดังนั้นเพื่อทำให้ค่ากำลังรีแอกตีฟของตัวคาปาซิเตอร์ มีค่าตรงตามที่ต้องใช้ จึงต้องใช้ตัวคาปาซิเตอร์ตั้งแต่ 3-12 ชุด และใช้รีเลย์ควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Relay) ทำหน้าที่คอยตรวจวัดค่าตัวประกอบกำลัง และควบคุมการต่อ-ปลดตัวคาปาซิเตอร์ เพื่อทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าตามที่ได้ตั้งค่า ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การติดตั้งแบบศูนย์กลาง

3.6.4 การติดตั้งด้านแรงสูง

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ทางด้านแรงสูงจะต้องใช้คาปาซิเตอร์ชนิดแรงสูงด้วย การติดตั้งแบบนี้จะไม่สามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง ประโยชน์ที่ได้จึงน้อยที่สุด ประโยชน์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเกิดกับระบบไฟฟ้า และอาจลดค่าปรับเนื่องจากค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำได้ จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ลักษณะการต่อตัวคาปาซิเตอร์จำนวน 3ชุด ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าที่แผงจ่ายไฟฟ้าหลัก

สำหรับการพิจารณาเพื่อหาว่า ควรใช้ตัวคาปาซิเตอร์จำนวนกี่ชุดนั้น จะต้องพิจารณาจากความต้องการค่ากำลังรีแอกตีฟที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงต่างๆ ประกอบกับความคลาดเคลื่อนของตัวค่าประกอบกำลังที่ต้องการ โดยถ้าเลือกใช้ตัวคาปาซิเตอร์ที่มีค่ากำลังรีแอกตีฟมาก จะทำให้ได้จำนวนชุดของตัวคาปาซิเตอร์น้อย ซึ่งอาจทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ตั้งไว้มีความคลาดเคลื่อนมาก แต่ถ้าเลือก

ใช้ตัวคาปาซิเตอร์ที่มีค่ากำลังรีแอกตีฟน้อย จะทำให้ได้จำนวนชุดของตัวคาปาซิเตอร์มาก ซึ่งทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ตั้งไว้มีความคลานเคลื่อนน้อยลงได้ แต่การเลือกใช้ตัวคาปาซิเตอร์มากชุด ทำให้ต้องใช้เงินลงทุนที่ขึ้น

ดังนั้นในระบบไฟฟ้าบางระบบ จึงได้ออกแบบให้ใช้ตัวคาปาซิเตอร์แบบผสมผสานคือในชุดแรกๆ จะใช้ตัวคาปาซิเตอร์ที่มีค่ากำลังรีแอกตีฟมาก และในชุดหลังๆ จะใช้ตัวคาปาซิเตอร์ที่มีค่ารี

แอกตีฟน้อย (ค่ากำลังรีแอกตีฟของตัวคาปาซิเตอร์มักแตกต่างกันในอัตรา 2:1) เพื่อให้เกิดผลดีทั้งด้านการลงทุน และด้านวิศวกรรม

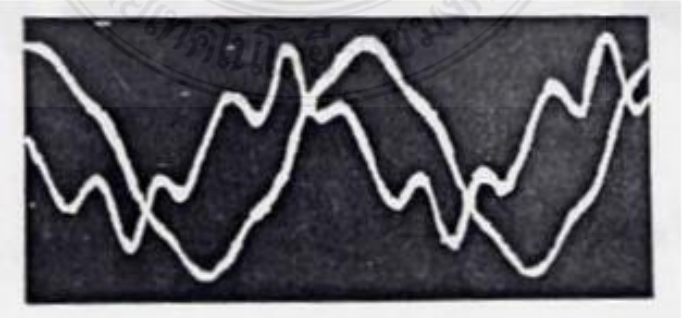
3.7 ขนาดกำลังกำหนดของตัวคาปาซิเตอร์

เพื่อให้การเลือกใช้คาปาซิเตอร์ มีความสอดคล้องกับค่ากำลังรีแอกตีฟที่ต้องการใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง จึงได้ใช้ค่ากำลังรีแอกตีฟเป็นค่ากำลังกำหนดของตัวคาปาซิเตอร์ และเนื่องจากขนาดกำลังรีแอกตีฟที่ต้องการใช้มีค่าสูง จึงนิยมกำหนดให้มีหน่วยนับของกำลังกำหนดเป็น kVAR โดยค่ากำลังกำหนดที่มักพบเห็นมีดังนี้

5 kVAR	10 kVAR	15 kVAR	20 kVAR	25 kVAR
30 kVAR	40 kVAR	45 kVAR	50 kVAR	60 kVAR
70 kVAR	75 kVAR	80 kVAR	100 kVAR	

3.7.1 ข้อควรระวังในการใช้คาปาซิเตอร์

1) เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้าไปที่จุดกำหนด แรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นการเลือกพิกัดแรงดันของคาปาซิเตอร์จะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย
2) จุดที่จะติดตั้งคาปาซิเตอร์ควรจะมีการระบายความร้อนที่ดี เพราะความร้อนยิ่งสูงจะทำให้อายุใช้งานของคาปาซิเตอร์ยิ่งสั้นลง
3) การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ (Capacitor Bank) ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการต่อคาปาซิเตอร์เข้าไปในระบบมากเกินไป
4) อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่าง เช่น วงจรเรียงกระแสเตาเผา แบบอาร์กจะสร้างฮาร์โมนิกเข้าไปในระบบ เมื่อต้องการติดตั้งคาปาซิเตอร์ ควรระวังปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิกเรโซแนนซ์จะทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายทันที ในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดคาปาซิเตอร์พร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การเกิดฮาร์โมนิกทั้งแรงดันและกระแสปะปนอยู่ในรูปคลื่นไซน์

3.8 ความปลอดภัยและการซ่อมบำรุงคาปาซิเตอร์

3.8.1 ความปลอดภัย

เนื่องจากคาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงาน Full Load ตลอดเวลา ในก่อนการซ่อมบำรุงทุกครั้งควรปฏิบัติ ดังนี้

1. การติดตั้งและการซ่อมบำรุงต้องกระทำโดยผู้มีหน้าที่ รู้และเข้าใจเกี่ยวกับคาปาซิเตอร์ โดยอ้างถึงมาตรฐาน IEC 831
2. ปลดวงจรที่จ่ายไฟให้กับคาปาซิเตอร์ ก่อนการซ่อมบำรุงควรมีการปลดวงจรอื่นที่ทำให้มีกระแสไฟย้อนกลับมาสู่คาปาซิเตอร์
3. เมื่อปลดคาปาซิเตอร์แล้วจะต้องรออย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้คาปาซิเตอร์คายประจุไฟฟ้าผ่านดิสชาสรซีสเตอร์จนทำให้แรงดันลดลงมาต่ำกว่า 50 V ซึ่งอาจวัดด้วยมิเตอร์แรงดันทำการลัดวงจรที่ขั้วทุกขั้วของคาปาซิเตอร์ด้วยสายไฟที่มีฉนวน เพื่อให้แน่ใจว่าคาปาซิเตอร์คายประจุหมด ไม่ควรทำการลัดวงจรในขณะที่มีแรงดันค้างในตัวคาปาซิเตอร์ หรือภายหลังปลดคาปาซิเตอร์จากในวงจรทันที เพราะอาจทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายและเกิดอันตรายได้
4. เริ่มทำการซ่อมบำรุงคาปาซิเตอร์

3.8.2 การซ่อมบำรุง

1. ปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยก่อนการซ่อมบำรุงคาปาซิเตอร์
2. การบำรุงรักษาประจำปีจะต้องตรวจสอบ ดังนี้
    2.1 ทำความสะอาดฝุ่น และคราบสกปรกทุกๆชิ้นส่วนของอุปกรณ์
    2.2 ตรวจสอบความแน่นของจุดต่อสายไฟทุกจุด
    2.3 ตรวจสอบสภาพของตัวคายประจุ
    2.4 ตรวจอุณหภูมิโดยรอบ
3. นำคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ และวัดกระแสของคาปาซิเตอร์ด้วย คลิป-ออน มิเตอร์ (Clip-on Meter) และวัดค่า kVAR เอาท์พุทของคาปาซิเตอร์ ถ้าค่าเอาท์พุตลดลงจาก Nameplate มากกว่า 10% แสดงว่าคาปาซิเตอร์เริ่มเสื่อมสภาพการใช้งาน ซึ่งอาจมีหลายสาเหตุ เช่น เป็นการ-เสื่อมสภาพการใช้งานตามปกติ หรือเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ เนื่องจากอุณหภูมิใช้งานสูงเกินไป แรงดันระบบสูงเกินไป หรือมีฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ควรหาสาเหตุให้พบ และทำการแก้ไขตามสาเหตุ

3.8.3 ประโยชน์การติดตั้งคาปาซิเตอร์

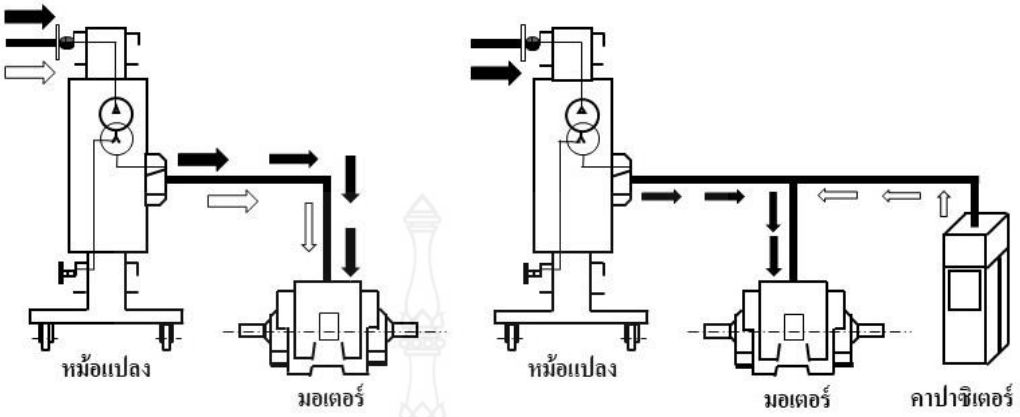
นอกเหนือจากการทำให้กระแสไฟฟ้าในระบบลดลงในขณะที่อุปกรณ์ต่างๆ ยังมีกำลังไฟฟ้าใช้ตามปกติ การติดตั้งคาปาซิเตอร์ยังสามารถ

- ลดกำลังสูญสียในสายไฟและหม้อแปลงไฟฟ้า จึงเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และลดความร้อนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ
- ลดค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการสูญเสีย
- ลดค่าปรับ เนื่องจากเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ
- ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้า สายไฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้ารับโหลดได้มากขึ้น
- ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ผลิตไฟฟ้า
- ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่อาจสูญเสียจากการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้า

การที่คาปาซิเตอร์สามารถทำประโยชน์ได้มากมาย เพราะคาปาซิเตอร์เป็นโหลดชนิดพิเศษในระบบไฟฟ้าที่กินกำลังไฟฟ้าจริงเพียงเล็กน้อย แต่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้ปริมาณมาก อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปในระบบไฟฟ้าจึงสามารถใช้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่คาปาซิเตอร์สร้างขึ้นมาโดยไม่ต้องพึ่งพาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือแหล่งจ่ายไฟ

3.9 การแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์

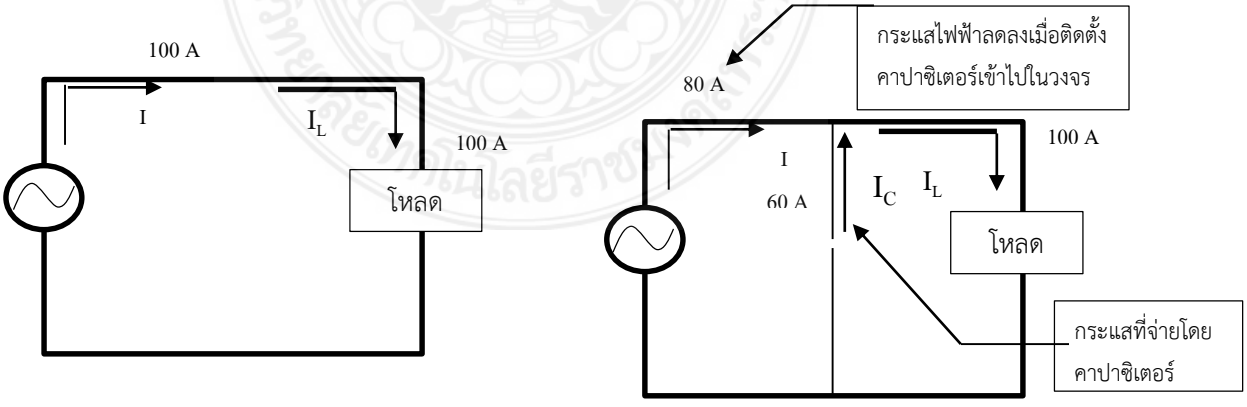
การแก้ไข หรือการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า หมายถึง การควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor Correction) ให้อยู่ในช่วงที่การไฟฟ้ากำหนด คือ มีค่ามากกว่า 0.85 ทั้งนี้เพราะจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่การไฟฟ้าจ่ายมาให้นั้นถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ระบบของการไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดให้แก่ผู้ใช้รายอื่นได้มากขึ้น แต่โดยส่วนมากแล้วค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปโดยเปล่าประโยชน์ในรูปของความร้อนของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการใช้สูงกว่าปกติ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในส่วนของการป้องกัน กล่าวคือจะต้องใช้ขนาดของหม้อแปลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สวิตช์เกียร์ สายส่งและสายป้อนใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การติดตั้งคาปาซิเตอร์ในการแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์

วิธีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่นิยมทั่วไปคือ การติดตั้งคาปาซิเตอร์กำลัง (Power Capacitor) เข้ากับระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดและมีกำลังสูญเสียในตัวเองต่ำมาก อย่างไรก็ตามการติดตั้งคาปาซิเตอร์กำลังเข้ากับระบบไฟฟ้านั้น อาจทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้นในระบบไฟฟ้าและเกิดแรงดันเกินพิกัด (Over Voltage) ดังนั้นจึงต้องพิจารณาให้รอบคอบทั้งขนาดที่ใช้ ตำแหน่งที่ติดตั้ง ตลอดจนการต่อวงจรและขนาดอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ

3.10 ประโยชน์การแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์



(1) วงจรเมื่อไม่มีคาปาซิเตอร์ (2) วงจรเมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์

ภาพที่ 3.10 การไหลของกระแสในวงจรที่ม่มีคาปาซิเตอร์และมีคาปาซิเตอร์

จากภาพที่ 3.10 (1) ถ้าโหลดต้องการกระแส I_L 100 แอมแปร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะต้องจ่ายกระแส100 แอมแปร์ แต่ว่าในรูป3.10 (2) ถ้าต่อคาปาซิเตอร์ที่สามารถจ่ายประแส IC ได้ 60 แอมแปร์ จะเป็นผลให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายกระแสลดลงเหลือ 80 แอมแปร์ เท่านั้น (การรวมค่ากระแสต้องรวมกันทางเวกเตอร์) จากผลที่กระแสลดลงนี้ทำให้ได้รับประโยชน์หลายอย่าง ดังนี้

3.11 ลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ค่าสูญเสียอาจแยกได้หลายอย่าง ดังนี้

1. ค่าสูญเสียในสายไฟฟ้า จากสมการ

$$P_{loss(1-เฟส)} = 2I^2R \qquad (3\text{-}10)$$

$$P_{loss(3-เฟส)} = 3I^2R \qquad (3\text{-}11)$$

กำหนด

P_{loss} = กำลังไฟฟ้าสูญเสีย เป็นวัตต์

I = กระแสไฟฟ้าในวงจร เป็นแอมแปร์

R = ความต้านทานในวงจร เป็นโอห์ม

กำลังไฟฟ้าสูญเสียแปรผันตามค่ากระแสยกกำลังสอง ถ้ากระแสลดลงก็จะทำให้ค่าสูญเสียลดลงเทียบเป็นเปอร์เซ็นจากค่าสูญเสียเดิมได้ดังสมการที่ 3-12

$$\%\text{Cond loss} = \{1 - (\frac{PF_1}{PF_2})^2\} \times 100 \qquad (3\text{-}12)$$

โดยที่

$\%\ Cond_{loss}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าลดลง เป็นเปอร์เซ็น

PF_1 = เพาเวอร์แฟกเตอร์ก่อนปรับค่า

PF_2 = เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังปรับค่าแล้ว

ตัวอย่าง วงจรไฟฟ้ามีโหลด 80 แอมแปร์ 3-เฟส 380/220 โวลต์ เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 0.7 ใช้สายไฟฟ้า ขนาด 50 ตร.มม. ความยาว 100เมตร กำหนดให้ค่าความต้านทานกระแสสลับของสายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.46179 x 10 โอห์ม/เมตร ถ้าปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 0.95 จงคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้าที่ลดลง

วิธีทำ

จากสมการที่ 3-11

$$\% \text{ Cond}_{\text{loss}} = \{1 - (\frac{\text{PF1}}{\text{PF2}})^2\}\text{x}100$$

$$= \{1 - (\frac{0.7}{0.95})^2\}\text{x}100$$

$$= 45.71\%$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าสูญเสีย $= 3\ I^2R$

$= 3 \times 80^2 \times 0.46179 \times 10^{-3} \times 100$

$= 886.6$ วัตต์

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง} = \frac{886.6\ x\ 45.71}{100}$$

$$= 405 \text{ วัตต์}$$

2. ลดการสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า จากสมการที่ 3-13

$$\text{Tr}_{\text{loss}} = \text{Cu}_{\text{loss}}\{1 - \left(\frac{\text{PF}_1}{\text{PF}_2}\right)^2\} \qquad (3\text{-}13)$$

กำหนดให้

Tr_{loss} = ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหม้อแปลงที่ลดลง เป็นวัตต์

Cu_{loss} = ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหม้อแปลงก่อนปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เป็นวัตต์

ปกติค่าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลง (Copper Loss) หรือที่เรียกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจากโหลด (Load Loss) จะบอกมากับตัวหม้อแปลง และค่านี้หมายถึงค่าเมื่อหม้อแปลงใช้งานเต็มที่ หากหม้อแปลงใช้งานไม่เต็มที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียนี้จะเปลี่ยนไป หาได้ดังสมการที่ 3-14

$$\text{Cu}_{\text{loss}} = \text{Cu}_{\text{loss,FL}} \times (\frac{\text{kVA}_{\text{ใช้งาน}}}{\text{kVA}_{\text{หม้อแปลง}}})^2 \qquad (3\text{-}14)$$

กำหนดให้

$\text{Cu}_{\text{loss,FL}}$ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเมื่อโหลดเต็มที่

3.12 ลดค่าแรงดันตก

1. ลดค่าแรงดันตกในสายไฟ สมการแรงดันตกได้ดังสมการที่ 3-15 และ 3-16

$$\mathrm{VD}_{1-\text{เฟส}} = 2\mathrm{I}(\mathrm{R}\cdot\cos\emptyset + \mathrm{jX_L}\cdot\sin\emptyset) \qquad (3\text{-}15)$$

$$\mathrm{VD}_{3-\text{เฟส}} = \sqrt{3}\mathrm{I}(\mathrm{R}\cdot\cos\emptyset + \mathrm{jX_L}\cdot\sin\emptyset) \qquad (3\text{-}16)$$

กำหนดให้

VD = แรงดันตก เป็นโวลต์

I = กระแสไฟฟ้าในวงจร เป็นแอมแปร์

R = ความต้านทานของสายไฟฟ้า เป็นโอห์ม

X_L = รีแอกแตนซ์ของสายไฟฟ้า เป็นโอห์ม

หรือหาเป็นค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นเทียบกับแรงดันของระบบไฟฟ้าได้ดังสมการที่ 3-17

$$\%\mathrm{V}_{\text{เพิ่มขึ้น}} = \frac{\mathrm{kvar}\times\mathrm{X_L}}{10\times\mathrm{kV}^2} \qquad (3\text{-}17)$$

2. ลดค่าแรงดันตกในขดลวดของหม้อแปลง คิดเป็นแรงดันที่เพิ่มขึ้นได้ดังสมการที่ 3-18

$$\%\mathrm{V}_{\text{เพิ่มขึ้น}} = \frac{\mathrm{kvar}\times\mathrm{X_T}}{\mathrm{kVA}} \qquad (3\text{-}18)$$

กำหนดให้

kVAR = ขนาดของคาปาซิเตอร์ เป็นกิโลวาร์

kVA = ขนาดของหม้อแปลง เป็นเควีเอ

X_L = รีแอกแตนซ์ของสายไฟ เป็นโอห์ม

X_T = รีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง เป็นเปอร์เซ็นต์

3.13 ลดค่าไฟฟ้ารายเดือน

การลดค่าไฟฟ้ารายเดือนเป็นผลโดยตรงมาจากค่ากำลังไฟฟ้าสูเสียในระบบไฟฟ้าลดลง ซึ่งจะทำให้หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือนลดลง สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีการคิดเงินค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป็นต่อกิโลวัตต์ เมื่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็จะลดลงด้วย จะเป็นผลให้ค่าไฟลดลงด้วยเช่นกัน

3.14 การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับการปรับปรุงค่า PF

การคำนวณหาผลของการประหยัดเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งคาปาซิเตอร์ในระบบไฟฟ้าของโรงงาน / อาคาร วิธีการนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์ถึงผลกำไรที่โรงงาน / อาคารจะได้รับ ซึ่งอาจจะแตกต่างไปจากวิธีที่ปรากฏในตำราเศรษฐศาสตร์บางเล่มบ้าง แต่ก็ได้ยึดหลักปฏิบัติที่นิยมใช้อยู่ในกิจการไฟฟ้าต่างๆ

ผลที่ได้จากการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาจากการลงทุนดังนี้

ถ้า Q = จำนวนกิโลวาร์ของคาปาซิเตอร์ที่ต่อข้าระบบ

C = ราคาคาปาซิเตอร์-ขนาด (บาท / กิโลวาร์)

i = อัตราดอกเบี้ย (ร้อยละต่อปี)

n = อายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์

a = ตัวประกอบการลงทุนดังสมการที่ 3-19

OM&A = ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการบำรุงรักษาและการดำเนินงานเป็นร้อยละของเงินลงทุน

ดังนั้น เงินลงทุนติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด จำนวน Q กิโลวาร์ = CQ บาท

$$\frac{i(I+i)^2}{(I+i)^2-1}+OM\&A(\%) \qquad (3\text{-}19)$$

$$CQ\left[\frac{i(I+i)^2}{(I+i)^2-1}+OM\&A(\%)\right] \qquad (3\text{-}20)$$

ตัวอย่าง โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งจ่ายโหลด 3 เฟส ต่อแบบ Y มีโหลดทั้งสิ้น 2,000 kW มี PF เป็น 0.65 ล้าหลัง ถ้าต้องการแก้ไข PF เป็น 0.90 ล้าหลัง โรงงานจะต้องลงทุนเท่าไร และจะประหยัดเงินในการซื้อพลังงานไฟฟ้าเท่าไร ถ้าราคาคาปาซิเตอร์บวกค่าติดตั้งกิโลวาร์ ละ 350 บาท เสียดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7 อายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์ 20 ปี

วิธีทำ

การคำนวณหาค่ากิโลวาร์ ที่จะต้องนำมาต่อเข้ากับระบบสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

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

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

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

$$Q_1 = 3{,}076.9\ kVA \times \sin(49.458) = 2{,}338.2\ kVAR$$

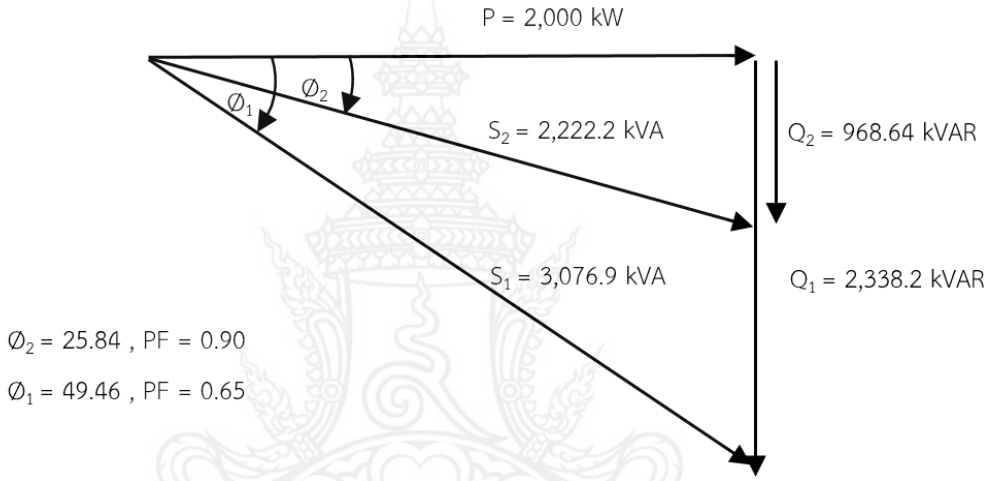
ที่ PF = 0.90

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

$$S_2 = \frac{2000\ kW}{0.90} = 2{,}222.2\ kVA$$

$$Q_1 = 2{,}222.2\ kVA \times \sin(25.842) = 968.64\ kVAR$$

ดังนั้นผลต่างก็คือค่าของคาปาซิเตอร์ที่จะต้องใช้ เท่ากับ 2338. 2 - 968. 64 = 1369. 6 kVAR ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ความสัมพันธ์ของระบบที่ค่า PF = 0.65 และ ค่า PF = 0.9

วิธีที่ 2 จากการเปิดตารางที่ 3.2 ต้องการแก้ PF จาก 0.65 เป็น 0.9 จะได้ ตัวคูณจากตารางที่ 3.2 เท่ากับ 0.685

ขนาดของคาปาซิเตอร์ (kVAR) = kW x (ตัวคูณจากตารางที่ 3.2)

= 2,000 x 0.685 = 1,370.0 kVAR

ในกรณีนี้อาจเลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 1,400 kVAR

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ค่าติดตั้ง + ราคาคาปาซิเตอร์) = 1,400 x 350 = 490,000 บาท

(ราคาคาปาซิเตอร์กิโลวาร์ ละ 300 บาท คิดค่าติดตั้ง 15 %)

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

= 490,000 x 0.1547 = 75,804 บาท / ปี

= 6,317 บาท / เดือน

คำนวณค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

1.ค่ากิโลวาร์ (จากอัตรของ กฟน.) ถ้าโรงงานต้องการใช้ค่ากิโลวาร์สูงสุดเกิน 61.97 % ของกิโลวัตต์สูงสุด ส่วนที่เกินจะต้องเสียค่ากิโลวาร์ละ 14.02 บาท

ดังนั้น 61.97 % ของ 2,000 kW =2,000 x 0.6197 =1,239.4 kVAR

และโรงงานใช้เกินไป =2,338 – 1,239.4 =1,098.6 kVAR ต้องเสียค่ากิโลวาร์ 1,098.6 x 14.02 = 15,402.37 บาท แต่ถ้าโรงงาน แก้ PF แล้วโรงงานจะเหลือค่ากิโลวาร์ = 968.6 ซึ่งไม่เกิน 61.94% ของกิโลวัตต์สูงสุดจึงไม่ต้องเสียค่า กิโลวาร์ จึงทำให้ประหยัดเงินค่ากิโลวาร์ ได้เท่ากับ 15,402.37 บาท

2.ค่า kWh ในกรณีนี้พิจารณาจากขนาดหม้อแปลง

ถ้าขนาดพิกัดหม้อแปลง = 3,500 kVA

ประสิทธิภาพ = 98.5 %

กระแสพิกัด = 5,318 A

กระแสที่ PF = 0.65 = 4,675 A

กระแสที่ PF = 0.90 = 3,376 A

พลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก = 0.8 : 0.2

เฉลี่ยอัตราค่าไฟฟ้า kWh ละ = 2.75 บาท

เวลาการทำงาน = 24 ชั่วโมง

ภายใน 1 เดือน โรงงานทำงาน = 26 วัน

ความสูญเสียเมื่อยังไม่แก้ PF =3,500 x (1-0.985) x 0.8 x $\left[\frac{4675}{5318}\right]^2$ = 32.45 kW

ความสูญเสียเมื่อหลังจากแก้ PF =3,500 x (1-0.985) x 0.8 x $\left[\frac{3376}{5318}\right]^2$ = 17 kW

ดังนั้นพลังงานสูญเสียลดน้อยลง = (32.45 – 17) = 15.45 kW

คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ = 15.45 x 24 x 26 x 2.75 =26,512.2 บาทต่อเดือน

สรุปผลที่ประหยัดได้

1.ค่า kVAR เท่ากับ 15,114 บาทต่อเดือน

2.ค่า kWh เท่ากับ 17,353 บาทต่อเดือน

รวมเท่ากับ 32,467 บาทต่อเดือน = 389,604 บาทต่อปี

ผลการตอบแทนด้านการลงทุน = ผลที่ประหยัด/ค่าใช้จ่ายคิดเป็นรายปี = $\frac{389604}{75804}$ = 5.14

นั้นหมายถึงเมื่อลงทุน 100 บาท จะได้ผลตอบแทน 514 บาท

3.15 เพิ่มความสามารถในการรับโหลดของหม้อแปลงและสายไฟฟ้า

1. หม้อแปลงไฟฟ้ารับโหลดได้เพิ่มขึ้น การที่กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหม้อแปลงมีค่าลดลง เมื่อใช้คาปาซิเตอร์ จะทำให้กำลังไฟฟ้า (เควีเอ) ที่ปรากฏที่หม้อแปลงลดลง หาได้ดังสมการที่ 3-21

$$\mathrm{kVA_{Tr}} = \mathrm{kW} \times \{\left(\frac{1}{\mathrm{PF_1}}\right) - (\frac{1}{\mathrm{PF_2}})\} \qquad (3\text{-}21)$$

กำหนดให้

kVA_{Tr} = เควีเอที่หม้อแปลงเมื่อติดตั้งคาปาซเตอร์แล้ว เป็นเควีเอ

kW = โหลดของหม้อแปลง เป็นกิโลวัตต์

2. สายไฟฟ้ารับโหลดได้เพิ่มขึ้น เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์ในวงจรและเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าลดลงจะทำให้เพิ่มโหลดเข้าไปในวงจรได้อีก หรือในการออกแบบอาจลดขนาดสายไฟฟ้าลงได้ดังสมการที่ 3-22

$$\mathrm{I_2} = \mathrm{I_1} \times \{1 - (\frac{\mathrm{PF_1}}{\mathrm{PF_2}})\} \qquad (3\text{-}22)$$

กำหนดให้

I_1 = กระแสก่อนปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เป็นแอมแปร์

I_2 = กระแสที่ลดลงจากการปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เป็นแอมแปร์

ตัวอย่าง หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1000 เควีเอ จ่ายโหลดเต็มพิกัด เพาเวอร์แฟกเตอร์ = 0.80 ถ้าปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 0.90 จงหาว่าหม้อแปลงจะรับโหลดได้เพิ่มอีกเท่าไหร่

วิธีทำ

kW = 1000 x 0.8 = 800 kW

เมื่อติดตั้งคาปาซิเตอร์แล้ว เควีเอที่หม้อแปลงจะลดลง (โหลดที่หม้อแปลงรับได้เพิ่มขึ้น) มีค่าดังนี้

$$\mathrm{kVA_{Tr}} = \mathrm{kW} \times \{\left(\frac{1}{\mathrm{PF_1}}\right) - (\frac{1}{\mathrm{PF_2}})\}$$

$$= 800 \times \{\left(\frac{1}{0.8}\right) - (\frac{1}{0.9})\}$$

$$= 111.1\ kVA$$

หมายเหตุ ค่าเควีเอที่ลดลงที่หม้อแปลงซึ่งมีค่า 111.1 เควีเอ นี้จะสามารถนำโหลดมาต่อเพิ่มได้อีก

ธนาคารแบ่งตัวเก็บประจุ (หรือธนาคารเก็บประจุ) เป็นชุดของหน่วยเก็บประจุจัดในระบบขนาน ชุดภายในกรงเหล็ก

โดยปกติฟิวส์ จะใช้ในการปกป้องหน่วยเก็บประจุและตั้งอยู่ภายในหน่วยเก็บประจุในแต่ละองค์ประกอบหรือนอกระบบ

ตัวเก็บประจุ HV มีการติดตั้งกลางแจ้ง, ล้อมรอบด้วยรั้วและธนาคาร LV ตัวเก็บประจุมีการติดตั้งในบ้านในเปลือกโลหะ (บอร์ด) ในMV ติดตั้ง ตัวเก็บประจุอาจจะติดตั้งได้ทั้งกลางแจ้ง , ล้อมรอบด้วยรั้วหรือในขั้วของหัวแถว MVหรือในบ้านในเปลือกโลหะ (สวิตช์เกียร์)

ตัวเก็บประจุหรือคอนเดนเซอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บประจุไฟฟ้าจำนวนมาก แม้ว่าความสามารถของตัวนำที่จะถือค่าใช้จ่ายที่มีศักยภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีจำกัด ก็สามารถเพิ่มขึ้น ดังนั้นการจัดเรียงใด ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถของตัวนำเทียมเรียกว่า ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับรูปร่างเช่นแผ่นขนาน, ตัวเก็บประจุทรงกลม และรูปทรงกระบอกเป็นต้น ในตัวเก็บประจุมีสองตัวนำที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากันและตรงข้ามพูด Q +และ-q ดังนั้น q เรียกว่า ค่าของตัวเก็บประจุและความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้นเรียกว่าศักยภาพของตัวเก็บประจุ

การใช้เครื่องปฏิกรณ์ในชุดมีตัวเก็บประจุจะลดผลกระทบค่าในเครือข่ายอำนาจ เช่นเดียวกับผลกระทบจากวงจรอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง เช่นเครือข่ายโทรคมนาคม ทางเลือกของ reactance ควรที่จะให้จำที่ detuning โดยด้านล่างที่ต้องฮาร์โมนิค การให้เส้นทางความต้านทานน้อยที่สุดสำหรับฮาร์โมนิคที่กรองออกจากวงจร

แนวคิดพื้นฐานของวงจรฟิลเตอร์จะทำให้มันตอบสนองต่อกระแสความถี่หนึ่ง และปฏิเสธคอมโพเนนต์ความถี่อื่น ๆ ความถี่ไฟฟ้า วงจรควรทำหน้าที่เป็นโหลดแบบ capacitive และปรับปรุงที่ P.F. ของระบบ

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงส่วนของผลการทดลองอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ซึ่งประกอบด้วย การหาค่าพารามิเตอร์ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบไฟฟ้า หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบไฟฟ้า ทดลองการการขนานคาปาซิเตอร์เข้ากับซิงเกิลเฟส 3 เฟส และทำการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานต่อไป

4.2 การทดลองที่ 1 การทดสอบก่อน–หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของพารามิเตอร์ก่อน – หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ
3. เพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง ให้เกิน 0.85 ขึ้นไป

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส
2. อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง
3. มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 1 กิโลวัตต์
4. มอเตอร์ 3 เฟส 2 ตัว ขนาด 0.8,2.2 กิโลวัตต์
5. หลอดไฟขนาด 1.64 กิโลวัตต์

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเข้าอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง
2. จากอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ต่อเข้ามอเตอร์
3. ตรวจสอบความถูกต้องของวงจร
4. บันทึกค่าที่อ่านได้จากเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรล ลงในตารางที่ 4.1 และ 4.2
5. นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าใช้จ่าย สรุปผลการทดลอง

4.2.1 การทดลองขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบของโหลดมอเตอร์และหลอดไฟ 1 เฟส

ภาพที่ 4-1 การต่อโหลดมอเตอร์และหลอดไฟ 1 เฟส

ภาพที่ 4-2 ค่า cosθ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ

ภาพที่ 4-3 ค่า cosθ หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ

ตารางการทดลองที่ 1 บันทึกค่าจากมิเตอร์ก่อน - หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 1 เฟส

มอเตอร์ 1 เฟส + หลอดไฟ 1640 วัตต์								
	L1		L2		L3		total	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
V	233.4	231.1	-	-	-	-	233.4	231.1
I	14.04	12.33	-	-	-	-	14.04	12.33
W	2592	2548	-	-	-	-	2592	2548
VAR	1840	1126	-	-	-	-	1840	1126
COSθ	0.5	0.929	-	-	-	-	0.5	0.929
VA	3241	2863	-	-	-	-	3241	2863

ตารางที่ 4.1 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 1 เฟส

4.2.2 การทดลองขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบของโหลดมอเตอร์ 3 เฟส

ภาพที่ 4-4 การขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบของโหลดมอเตอร์ 3 เฟส

ภาพที่ 4-5 ค่า cosθ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ

ภาพที่ 4-6 ค่า cosθ หลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ

ตารางการทดลองที่ 2 บันทึกค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์ 3 เฟส								
	L1		L2		L3		total	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
V	237.4	237.3	235.7	235.8	234.9	234.2	236	235.8
I	2.772	0.564	2.760	0.582	1.548	1.680	2.360	0.942
W	184.2	63.0	187.2	33.6	142.2	42.0	514.2	96.6
VAR	627.6	94.8	621.0	106.8	337.2	388.8	1591	592
COSθ	0.294	-0.537	0.297	-0.29	0.378	-0.108	0.308	1.0
VA	625.8	132.6	646.2	133.2	363.6	394.8	1665	661.2

ตารางที่ 4.2 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 3 เฟส

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 และ 4.2 ผลที่ได้เป็นไปตามจุดประสงค์ของการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ค่า cosθ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบเพื่อจ่ายค่ารีแอคทีฟ ค่าที่ได้คือต่ำกว่า 0.85 ส่วนค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าสูง

เพราะค่า cosθ ที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.85 ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบมีมาก ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจึงมีค่าที่สูง หลังจากที่ขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ เมื่อจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะลดลง เช่นค่ากระแส ค่ากำลังไฟฟ้า เพราะค่า cosθ ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.85 ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าในระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้ทดสอบการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ผลที่ได้คือ ก่อนการขนาน คาปาซิเตอร์เข้าระบบเห็นได้ว่าค่ากระแสนั้นสูง ค่า cosθ ต่ำลง แต่หลังจากที่ขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ ค่ากระแสลดลง ค่า cosθ สูงขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงและไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มจากการที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่า 0.85 อีกด้วย จากที่ทดสอบจะเห็นว่า คาปาซิเตอร์ จะทำงานแค่ตัวเดียว เนื่องจากโหลดที่นำมาทดลองมีขนาดเล็ก ทำให้ อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ

บทที่ 5
การสรุปผลงานวิจัยปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในการจัดทำอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

5.2 การสรุปผลการวิจัย

5.3 สรุปผลการวิจัย

5.4 ปัญหาการจัดสร้างโครงงาน

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.2 การสรุปผลการวิจัย

ในการจัดสร้างโครงงานนั้นเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ถ้าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบไฟฟ้าต่ำจะส่งผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วยและถ้าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนดก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม จึงได้ทำการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์ พร้อมทั้งประกอบชิ้นงานทำการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์

5.3 สรุปผล

จากผลการทดลอง การเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ช่วงที่ตัดและช่วงต่อคาปาซิเตอร์จะเห็นได้ว่าช่วงที่ทำการจ่ายค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ให้กับระบบไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ จะมีค่าสูงเนื่องจากรีแอคทีฟต่ำกว่าที่กำหนด และทำให้ค่าcosθ มีค่าต่ำลงไปด้วย เมื่อได้ติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังเข้าไปในระบบไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพาเวอร์ จะลดลงและค่าcosθ จะเพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามที่การไฟฟ้ากำหนดซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า0.85

การให้ระบบชดเชยค่ารีแอคทีฟของระบบคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์ทำงาน ผลการทดลองที่ได้คือระบบคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์จะคำนวณหาค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน เมื่อระบบคอนโทรลเลอร์คำนวณค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ได้แล้วจะทำการชดเชย ค่ารีแอคทีฟที่ค่าเหมาะสมกับค่ารีแอคทีฟที่ต้องการใช้ในระบบไฟฟ้าถ้าคาปาซิเตอร์สเต็ปที่ 1 อยู่ตำแหน่งปิดหรือไม่พร้อมใช้งานระบบควบคุมคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์ก็จะเรียกสเต็ปการทำงานลำดับที่ 2 , 3 , 4 , 5และ 6 ตามลำดับ ถ้าสเต็ปของคาปาซิเตอร์ปิดทั้งหมด 6 สเต็ป

ระบบคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์จะเรียกค่ารีแอคทีฟอยู่เรื่อยๆ ตามเวลาที่ตั้งไว้จนกว่าจะมีสเต็ปของคาปาซิเตอร์พร้อมใช้งานเพื่อให้ได้ค่ารีแอคทีฟที่เพียงพอต่อในระบบไฟฟ้า

5.4 ปัญหาการจัดสร้างโครงงาน

ปัญหาการจัดสร้างโครงงานคือ การหาโหลดมาทดลองเพื่อบันทึกผลการทดลองเพราะโหลดทั่วไปที่ใช้ในปัจจุบันมีมากเกินกว่าอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังที่จัด ใช้คาปาซิเตอร์ที่ต่ำกว่าการใช้งานในปัจจุบัน

5.5 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังนั้นควรคำนวณหาค่ารีแอคทีฟตามความต้องการในระบบไฟฟ้าเพื่อที่เราจะนำอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังไปต่อเข้าระบบเสียก่อนเพื่อจะได้จัดซื้ออุปกรณ์ได้ตามความต้องการของระบบ

บรรณานุกรม

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและวิธีการควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : http://www.ee.eng.cmu.ac.th/~kasin/Courses/252282/TouTod.pdf

การชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : http://eng.rtu.ac.th/ESD/ch12.pdf

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันPowerFactor CorrectionCapacitorsด้วยเครื่องมือThermal InfraredDetector. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้น 19 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=14610&section=9การ

การปรับปรุงค่าPowerFactorในระบบไฟฟ้าด้วยCapacitorBank. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้น 15 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://tescontrol .igetweb.com/index.php?lite=article&qid=42176996

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน. (2552). [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.ecpe.nu.ac.th/niphat/ ProjectStudents-Year2552.htm

ข้อดีของการปรับปรุงค่า PowerFactor&Capacitor การปรับปรุง PowerFactor. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.pitigroup.com/trick/pdf/01_01.pdf

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor : PF)และวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้ดีขึ้น. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2558 เข้าถึงได้จาก :http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=269&pid=110

คาปาซิเตอร์&ฮาโมนิคส. (2550). [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.itm.co.th/Literature/Capacitor_and_Harmonics_Part3.pdf

คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(อาคาร) (2553). **ระบบไฟฟ้ากำลัง.** สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558 เข้าถึงได้จาก https://cdn.fbsbx.com/hphotos-xpa1/v/t59.2708-21/11153960_904949462898829_350790885_n.pdf

ชัด อินทะสี. 2554. **การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ธวัช สิริสังกาส. 2550. **การหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมเพื่อกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลดโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค.** วิยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บุญเย็น อุ่นจิตร์. 2549. **การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.** วิยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ปัญหาคุณภาพทางกำลังไฟฟ้า. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.wp-capacitor.com/index.php?page=articles

ระบบกำลังไฟฟ้า. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th /bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_6.pdf

ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า(Power Distribution). (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้ จาก : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)

Power Factor (PF.). (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : https://cdn.fbsbx.com/hphotos-xap1/v/t59.2708-21/11168249_904949366232172_953944400_n.docx

ภาคผนวก ก

Tips: The schedule for each presentation is for reference only. In order not to miss your presentation, we strongly suggest that you attend the whole session. Please arrive at conference room 10 minutes before the session beginning to upload PPT into conference laptop.

Session 1

Afternoon, August 28, 2018 (Tuesday)
Time: 13:00~15:00
Venue: 3201 (Building 3, Second Floor)
Session 1: 8 presentations-Topic: "Power and Energy Engineering"
Session Chair: Prof. Wallace C.H. Choy

G0019 Presentation 1 (13:00~13:15)

Adaptive Harmonic Current Detection Implemented by Using Digital Signal Processor
Sakhon Woothipatanapan, Chanchai Prugpadee
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Abstract—This paper aims to develop an efficient method for accurate detections of harmonic current distortions in power system for control of an active harmonic filter. The adaptive noise cancellation theory was originally developed for noise signal processing is applied for this control for active harmonic filter. There are many algorithms for adaptive noise cancellation, which lease mean square algorithm and recursive least square algorithm are most used. Since recursive least square algorithms is more effective. Therefore, this research has carried out a real time implementation to detect harmonic current distortion in power system by using digital signal processor kit TMS320C6713 for the adaptive harmonic filter.

G0020 Presentation 2 (13:15~13:30)

Impact of Capacitor Placement on Medium Voltage for Improve the Power Factor
Nattachote Rugthaicharoencheep, Chatpong Boobpa
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Abstract—This paper presents impact of capacitor placement on medium voltage for improve the power factor value to AC motor. In present, the electrical power system has focus on improving the Power Factor significantly because it is the major key to increase or decrease the applicable expenses. The power system that has low power factor will have a lot of loss to system, especially when electrical voltage is on voltage medium. When power factor has been adjusted, the system can take more loads and electrical power loss is decreased. It also decreases voltage in power line and decreases electrical bills at the same time. This article presents the theory to analyze data from motor that needs to adjust a power factor so that it pass electricity authority standard by considering the efficiency of the motor so that the consumers do not have to pay the penalty of the power factor value differences to the Electricity Authority. Furthermore, it can help decrease the bills of unstandardized electrical power which occurred in the system and enable the system to take more loads at the same time.

Address: Unit B, 6/F, Dragon Industrial Building, 93 King Lam Street, Lai Chi Kok, Kowloon, Hong Kong, Email: admin@cbees.org
Tel: +852-3500-0137(HK), +86-28-86528465(CN Branch), +1-206-456-6022 (USA)

Notification of Acceptance of the CGEEE 2018

Kitahiroshima, Japan, August 27-29, 2018

http://www.cgeee.net/

Paper ID : G0020

Paper Title : Impact of Capacitor Placement on Medium Voltage for Improve the Power Factor

Dear N Rugthaicharoencheep and C Boobpa,

First of all, thank you for your concern. 2018 International Conference on Green Energy and Environment Engineering (CGEEE 2018) review procedure has been finished. We are delighted to inform you that your manuscript has been accepted for presentation at 2018 International Conference on Green Energy and Environment Engineering (CGEEE 2018), Kitahiroshima, Japan. Your paper was tripling blind-reviewed and, based on the evaluations. The reviewers' comments are enclosed.

The conference received papers from about 12 different countries and regions during the submission period. And there are about 80 papers accepted by our reviewers who are the international experts from all over the world.The selected papers could be published in the international conference proceeding with high quality. According to the recommendations from reviewers and technical program committees, we are glad to infrom you that your paper identified above have been selected for publication and oral presentation. You are invited to present your paper and studies during our CGEEE conference that would be held on August 27-29, 2018.

The CGEEE 2018 is co-sponsored by Hong Kong Chemical, Biological & Environmental Engineering Society (HKCBEES).

This accepted paper of CGEEE 2018 will be published into International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE, ISSN: 1793-8163), and all papers will be included in EI (INSPEC, IET), Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, EBSCO, ProQuest, and Electronic Journals Library.

(Important Steps for your registration): Please do finish all the 6 steps on time to guarantee the paper published in the proceeding successfully:

1. Revise your paper according to the Review Comments in the attachment carefully. (Five authors at most each paper)

Notification

Address: Unit B, 6/F, Dragon Industrial Building, 93 King Lam Street, Lai Chi Kok, Kowloon, Hong Kong, Email: admin@cbees.org
Tel: +852-3500-0137(HK), +86-28-86528465(CN Branch), +1-206-456-6022 (USA)

2. Format your paper according to the Template carefully.
http://www.ijcee.org/IJCEE_template.doc

3. Download and complete the Registration Form.
http://www.cgeee.net/reg.doc (English)

4. Finish the payment of Registration fee by Credit Card. (The information can be found in the Registration form)
http://www.cgeee.net/reg.doc (English)

5. Finish the Copyright Form
http://www.ijcee.org/IJCEE.Copyright.doc

6. Send your final papers (both .doc and .pdf format), filled registration form (.doc format), copyright form (.jpg format) and the scanned payment (in .jpg format) to us at cgeee@cbees.net. (Before June 30, 2018) (Very important)

CGEEE 2018 will check the format of all the registered papers first, so the authors don't need to upload the paper to the system.After the registration, we will send all qualified papers to the publish house and index organization for publishing directly.

We are looking forward to meeting all the authors in our conference. But if you and your co-author(s) could not attend CGEEE 2018 to present your paper for some reasons, we will send you the journal in electronic version and the scanned receipt after CGEEE 2018.

Please strictly adhere to the format specified in the conference template while preparing your final paper. If you have any problem, please feel free to contact us via **cgeee@cbees.net**. For the most updated information on the conference, please check the conference website at **http://www.cgeee.net/.** The Conference Program will be available at the website in **Early August, 2018**.

Again, congratulations. I look forward to seeing you in Kitahiroshima, Japan.

Yours sincerely,

CGEEE 2018 Organizing Committees

http://www.cgeee.net/
CGEEE

Impact of Capacitor Placement on Medium Voltage for Improve the Power Factor

Nattachote Rugthaicharoencheep[1*], Chatpong Boobpa[2]

[1] Associate Professor, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800 Thailand.
[2] Master Student , Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800 Thailand.
.

* Corresponding author. Tel.: +66 613536426; email: nattachote.r@rmutp.ac.th
Manuscript submitted June 22, 2018; accepted August 27, 2018.
doi:

Abstract: This paper presents impact of capacitor placement on medium voltage for improve the power factor value to AC motor. In present, the electrical power system has focus on improving the Power Factor significantly because it is the major key to increase or decrease the applicable expenses. The power system that has low power factor will have a lot of loss to system, especially when electrical voltage is on voltage medium. When power factor has been adjusted, the system can take more loads and electrical power loss is decreased. It also decreases voltage in power line and decreases electrical bills at the same time. This article presents the theory to analyze data from motor that needs to adjust a power factor so that it pass electricity authority standard by considering the efficiency of the motor so that the consumers do not have to pay the penalty of the power factor value differences to the Electricity Authority. Furthermore, it can help decrease the bills of unstandardized electrical power which occurred in the system and enable the system to take more loads at the same time.

Key words: Capacitor placement, medium voltage, power system, power factor

1. Introduction

The system has a low power factor will result in the ability to power down the transformer. Because of the power transformer to be offset by the power loss that occurs within the system. If the ability to supply power to the load of the transformer is almost full. You will not be able to power the electrical load has increased. Although power the address will not be filled. Moreover, in cases where the electric wires are very long. It will cause electric currents in power lines has increased. And heat in a line up. Result in the power loss. The size of the current squared. And, most importantly, power users will want to add to the cost of electricity.

A fault occurred in the electrical system is causing the change in voltage quicker. The voltage of the electrical system was distorted from the original. The fault of the power system can be classified into several types based on birth. Timing and magnitude of changes in voltage or current. Such as a power outage over voltage drop over current in power systems to improve the power factor is particularly important. As a result, the costs increase or decrease. Power system with low power factor will be lost in the system. Therefore, the equipment used needs to be larger. Making the cost of capital equipment increased. Therefore, to improve the power factor is high, so there is no need for office buildings and industrial plants. Want real power and reactive power. In order to work

From the above reasons, the need for improved power factor, voltage stability of the power system when it is supplied to the load. Thus prepared, therefore, to design a device to compensate reactive power to the power factor control. To reduce the voltage in the power system allows the system to load the real power even more.

2. Power Factor

In power systems to improve the power factor is important. The cost is increased or decreased. Power system with low power factor. Power factor correction with low power losses. The devices require larger. To improve the power factor to a value higher. Are essential to power system. This power is consistent with the real power and reactive power. Improving power factor, Is to improve the power factor to values approaching 1.0. Is to reduce the size of the active power, reactive power appears to have coincided with the real power. In practice, most of the load will feature a mix of resistance inductor. Is made current lags voltage. The Power Series Active in common, it is often a source of reactive power inductors. When considered as a whole, you will find that the power of the reactive capacitance. The overall system power factor is low. To improve power factor by the capacitor in parallel with the load or source. So the reactive power of the power of tough against capacitor. As a result, apparent power decreases. This principle is to improve the power factor by adjusting the reactive power. For the apparent power a similar bundle into real power. Power factor value that is equal to 1.0. The best of power quality. Reduce the power loss.

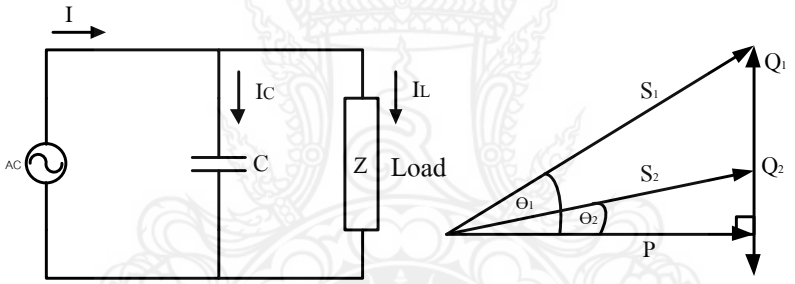


Fig. 1. Connect a capacitor in order to improve the power factor value.

Improvement of power factor compensation. From PF_1 to PF_2 Can calculate the coordinates of the capacitor unit in reactive power from the equation as follows.

$$PF_1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos\theta_1, PF_2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos\theta_2 \quad (1)$$

$$\tan\theta_1 = \frac{Q_1}{P}, \tan\theta_2 = \frac{Q_2}{P} \quad (2)$$

$$Q_1 = P\tan\theta_1 = kW \times \tan\theta_1 \quad (3)$$

$$Q_2 = P\tan\theta_2 = kW \times \tan\theta_2 \quad (4)$$

Therefore, the size of the capacitors from

$$(kVar) = Q_1 - Q_2 = kW\tan\theta_1 - kW\tan\theta_2 = kW(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (5)$$

Using the table 1, which is the value in the table tan θ_1 - tan θ_2 for calculating the size of the capacitor? (kVar) As if want to improve the power factor from PF_1 = 0.85 up to PF_2 = 0.95 Results tan θ_1 – tan θ_2 = 0.291

Table 1. tan θ_1 – tan θ_2 for calculating the size of the capacitor

		tan θ_2												
		0.8	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
	0.80	0	0.13	0.27	0.29	0.32	0.36	0.39	0.42	0.46	0.50	0.55	0.61	0.75
	0.85		0	0.14	0.16	0.19	0.23	0.26	0.29	033	0.37	0.42	0.48	0.62
	0.90			0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23	0.28	0.34	0.48
	0.91				0	0.03	0.06	0.09	0.13	0.16	0.21	0.25	0.31	0.46
tan θ_1	0.92					0	0.03	0.06	0.10	0.13	0.18	0.22	0.28	0.43
	0.93						0	0.03	0.07	0.10	0.15	0.19	0.25	0.40
	0.94							0	0.03	0.0	0.11	0.16	0.22	0.36
	0.95								0	0.04	0.08	0.13	0.19	0.33
	0.96									0	0.04	0.89	0.15	0.29
	0.97										0	0.05	0.11	0.25
	0.98											0	0.06	0.20
	0.99												0	0.14
	1.00													0

3. Design of reactive power compensation

Design and assembly of reactive power compensation device to control factor. Consider the strength and the safety of the user. The layout of the design is shown in Figure 2.

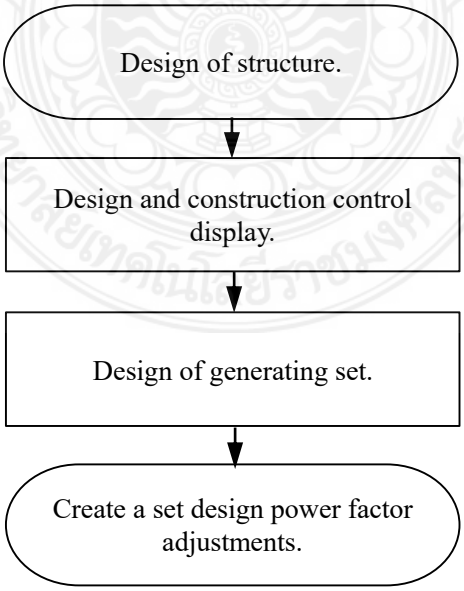


Fig. 2. Diagram of work.

4. Equipment

- Capacitor compensate the reactive power in the circuit it uses a capacitor size 0.83 kVAR the 3 in electrical 1 phase and 2.5 kVAR the 2 , 5 kVAR the 1 in a 3-phase electrical system.
- Magnetically's contactor is used to cut the capacitors to improve power factor.
- Fuse size 4 A surge protector helps in making electrical equipment damaged
- Current Transformer size 30 / 5 A used in measuring current in the circuit to control factor is know in RG3-12C control factors are accurately.
- Circuit breaker 30 A size used in editing main power into the circuit power factor compensation.
- Selector switch used to compensate power factor up both automatic and controlled by the individual.
- Pilot Lamp used to display the status of the capacitor compensation value is in electrical assembly
- Power factor controller model RG3-12C used in processing and improve the power factor of a power up automatically. The input parameters to control power factor can precisely.
- The compensation capacitor if the capacitor that is too high may result in a power factor of 1.0 and may outweigh the potential damage to equipment in the power system. The revised power factor capacitors are required on many measures calculated to select as appropriate. By installing capacitors in series to improve the power factor is used. And a circuit diagram showing the overall improvement of the power factor in this article are shown in Figure 3.

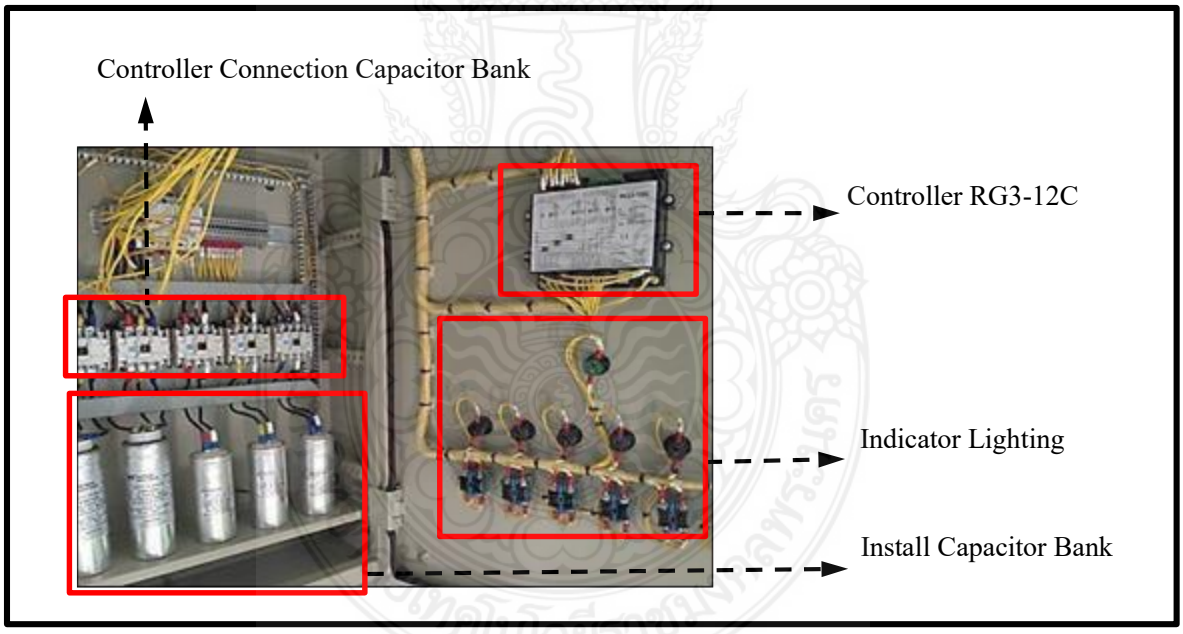


Fig. 3. Control components and power series

5. Case Study

Connect the three phase AC power supply with Equipment to compensate the reactive power .To control the power factor. Examine the accuracy of the circuiting input the parameter to the power factor control RG3-12C. Then connect it to the test load. In this improvement, the central capacitor installation was implemented as it was automatic easy to monitor and record the result in the table. Bring the value to the conclusion of the research.

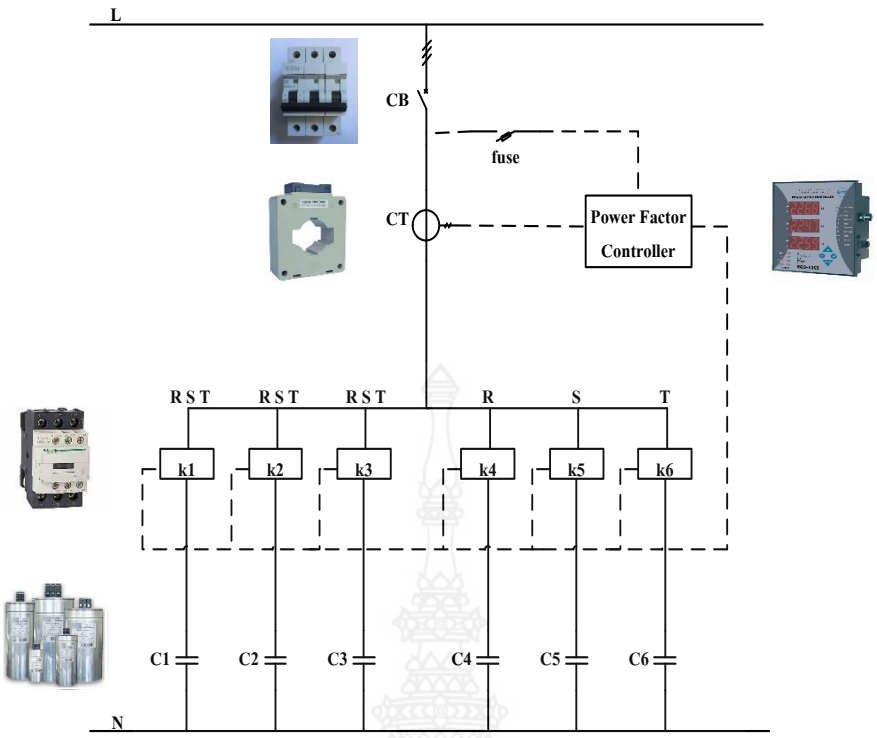


Fig. 4. Circuit of series improve overall factor.

Table 2 Value from the meter before / after the equipment into the motor 1 phase.

-1phase motors and lamps 1640watts.								
	L1		**L2**		**L3**		**total**	
	before	**after**	**before**	**after**	**before**	**after**	**before**	**after**
V	233.4	231.1	-	-	-	-	233.4	231.1
I	14.04	12.33	-	-	-	-	14.04	12.33
W	2592	2548	-	-	-	-	2592	2548
VAR	1840	1126	-	-	-	-	1840	1126
COSϴ	0.5	0.929	-	-	-	-	0.5	0.929
VA	3241	2863	-	-	-	-	3241	2863

Table 3 Value from the meter before / after the equipment into the motor 3 phase.

	3-phase motors							
	L1		**L2**		**L3**		**total**	
	before	**after**	**before**	**after**	**before**	**after**	**before**	**after**
V	237.4	237.3	235.7	235.8	234.9	234.2	236	235.8
I	2.772	0.564	2.760	0.582	1.548	1.680	2.360	0.942
W	184.2	63.0	187.2	33.6	142.2	42.0	514.2	96.6
VAR	627.6	94.8	621.0	106.8	337.2	388.8	1591	592
COSθ	0.294	0·537	0.297	0.290	0.378	0·108	0.308	1.0
VA	625.8	132.6	646.2	133.2	363.6	394.8	1665	661.2

The results in Table 2 and Table 3. The results are in accordance with the purpose of designing a device to compensate reactive power source. Seen that before power factor correction capacitors in parallel to the system to pay for treatment active is lower than 0.85, including parameters were higher. Such as electricity and real power. As a result, the power loss in the system is high as well. But after the parallel capacitor Log in to power compensation active.

6. Conclusion

This research paper presented to compensate for reactive power control of factor with parallel capacitor log control. From the comparison between experimental results before compensation reactive power The factor is in the system is lower than the standard limit is lower than 0.85 but when the compensation value of reactive power control used for the show that is value is based on a standard is higher 0.85 or above.

Acknowledgment

The authors are very grateful acknowledgement the Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (Bangkok, Thailand) for the sponsorship provided to this research.

References

[1] V.F. Pires, D. Costa, G. Marques, and J.F. Silva, An anti-resonance active method for a power factor correction capacitive system, SIBIRCON 2008, IEEE Region 8 International Conference on(2008) pp. 133 – 138.

[2] U. Celtekligil, Capacitive power factor and power quality correction of a light rail transportation system, ELMAR 2008, 50th International Symposium, Vol. 2(2008), pp. 415 – 418.

[3] M. Tou, K. Al-Haddad; G. Olivier, and V. Rajagopalan, A new three-phase unity power factor boost rectifier with capacitive-type input, Computer in Power Electronics 1994, IEEE 4th Workshop on(1994), pp. 256 – 265.

[4] A.K.N. Leung, P.K.T. Mok, W.H. Ki, and J.K.O. Sin, Damping-factor-control frequency compensation technique for low-voltage low-power large capacitive load applications", ISSCC 1999(1999), pp.158 – 159.

[5] I. Barbi, J.C. Fagundes, and C. M. T. Cruz, A low cost high power factor three-phase diode rectifier with capacitive load, APEC-94 (1994), pp. 745 – 751.

[6] H.B. Zackrison, Reducing energy consumption frees up electrical system capacity, IECEC-89, Vol. 4(1989), pp. 1755 – 1765.

[7] C.L. Su, M.C. Lin, and C.H. Liao, A energy-savings evaluation method to justify automatic power factor compensators on marine vessels, Industry Applications Society Annual Meeting (IAS) 2012 IEEE(2012), pp. 1 – 10.

[8] S.I. Deaconu, G.N. Popa, and R. Babau, Study, Design and Industrial Implementation of Capacitive Power Factor Controller for Large Load Fluctuations in Steel Industry, Electrical and Power Engineering (EPE), 2014 International Conference and Exposition on(2014), pp. 962 – 967.

[9] H. Shateri, M. Ghorbani, and A. H. Mohammad-Khani, Load Flow Method for Distribution Networks with Automatic Power Factor Controller, International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), IEEE(2011), pp. 1 – 6.

[10] K. Suwat, K. Mongkol, and S. Anawach, A digital implementation of novel single phase AC-AC converter with power factor control, International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), IEEE(2012), pp. 1 - 6.

[11] C. Donovan Davidson, Single stage true bridgeless AC/DC power factor corrected converter, International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), IEEE(2015),pp. 1 - 6.

Nattachote Rugthaicharoemncheep is Associate Professor in the Department of Electrical Engineering at the Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand. He obtained his Ph.D in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand in October 2010. His current research areas are power system planning and operation, optimization techniques, distributed generation (DG), as well as the development of distribution system with DGs. His contributions to the subject include many books, journals, and conferences. Currently, He is also a member of Senior IEEE.

Chatpong Boobpa is Master Student in Electrical Engineering program at Department of Electrical Engineering at the Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand. He obtained his B.Eng in Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand in May 2015. His current research areas are power system planning and operation. Currently, He is Electrical Engineer at The Auto-Info company Thailand.

กำหนดการนำเสนอบทความ EENET2017

สาขาของบทความ : ไฟฟ้ากำลัง (PW)	รหัสใหม่	รหัสเดิม	ชื่อบทความ
PW-D	**PW20**	PW020	การออกแบบระบบป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วยไมโครโปรเซสเซอร์รีเลย์เนื่องจากรีเลย์ผลต่างทำงานผิดพลาด
ประธาน: ผศ.ดร.กฤตเดช บัวใหญ่	**PW21**	PW021	การออกแบบระบบป้องกันเสิร์จฟ้าผ่าของระบบแรงดันต่ำสำหรับตู้รวมส่งสัญญาณเพื่อเข้าถึงสายผู้เช่าดิจิทัล
รองประธาน: อ.ณัฐพล หาอุปละ	**PW22**	PW013	การหาตำแหน่งการติดตั้งและขนาดของคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า
วันพุธที่ 3 พฤษภาคม 2560	**PW23**	PW023	การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ
เวลา 15.15-17.55 น.	**PW24**	PW024	การวิเคราะห์ค่าความเป็นฉนวนและความชื้นในหม้อแปลงไฟฟ้า
ห้องณุลักษณา 2	**PW25**	PW031	แนวทางการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีศึกษาโหลดรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิ้งค์
	PW26	PW030	การกระตุ้นการออกดอกของเห็ดหอมด้วยไฟฟ้าแรงสูง
	PW27	PW029	การกระตุ้นการออกดอกของเห็ดตับเต่าโดยใช้วิธีช็อตด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง
PW-E	**PW28**	PW027	การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงพยาบาลภายในจังหวัดสุพรรณบุรี
ประธาน: ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	**PW29**	PW026	พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในสายจำหน่ายและหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า
รองประธาน: ผศ.เอกวิทย์ หายักวงษ์	**PW30**	PW032	Mitigation strategies of Distribution Performance Indices due to PEVs Charging on Low Voltage Distribution System
วันพฤหัสบดีที่ 4 พฤษภาคม 2560			
เวลา 10.15-12.15 น.			
ห้องณุลักษณา 1			

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

Power Factor Correction by Reactive Power Control Method

ฉัตรพงษ์ บุบผา , มนัส บุญเทียรทอง และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 email: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอถึงหลักการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้เทคนิคการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เนื่องด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีค่าความเหนี่ยวนำเป็นส่วนใหญ่ทั้งด้านสายนำหรือชุดวงจรอิเล็คทรอนิสก์ต่างๆจึงได้คำนึงถึงการนำตัวเก็บประจุที่เหมาะสมต่อขนานเข้าไปในระบบไฟฟ้า โดยทำการบันทึกข้อมูลของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องลงในอุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลังรุ่น RG3-12C เพื่อเลือกขนาดของตัวเก็บประจุที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของระบบไฟฟ้าได้ดีที่สุด โดยใช้หลักการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบส่วนกลางเพื่อที่จะใช้ประโยชน์ของคาปาซิเตอร์ได้สูงสุด อีกทั้งยังสามารถควบคุมได้ทั้งแบบอัตโนมัติ และ แบบควบคุมด้วยตัวบุคคล ยังสามารถซ่อมบำรุงรักษาได้โดยง่ายจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยโดยการนำเสนอวิธีนี้สามารถทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่มีขนาด 0.85 (ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์) ปรับระดับขึ้นจนมีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1.0 ได้

คำสำคัญ: ตัวประกอบกำลัง, ระบบไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ, กำลังไฟฟ้าจริง

Abstract

This paper is presents power factor correction by reactive power control technique, which using the suitable capacitor for connected in parallel to the power system. Record the relative variables to power factor controller RG3-12C for select the best appropriate capacitor. Reactive power from the optimum capacitance will be able to the most compensate the reactive power from the inductance in the power system. By using a central capacitor bank installation for automatic control or manual ang easy maintenance. The proposed power factor correction can make the power factor from 0.85 (less than satisfactory) adjusted up to the nearest 1.0.

Keywords: Power Factor, Power System, Reactive Power, Real Power

1. บทนำ

เมื่อระบบไฟฟ้ามีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงลดลงเนื่องจากกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ส่งไปถูกหักล้างจากค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในระบบและถ้าความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของหม้อแปลงใกล้เต็มแล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ แม้ว่ากำลังไฟฟ้า ที่ใช้อยู่จะยังไม่เต็มก็ตาม นอกจากนี้ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้สายไฟยาวมาก ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟมีค่าสูงขึ้นและความร้อนในสายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดค่าสูญเสีย ตามขนาดของกระแสยกกำลังสอง และที่สำคัญผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มให้กับการไฟฟ้า [1]

ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเกิดความเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามลักษณะการเกิดระยะเวลาและขนาดของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า เช่น ไฟฟ้าดับ แรงดันเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เพื่อใช้ในการทำงาน

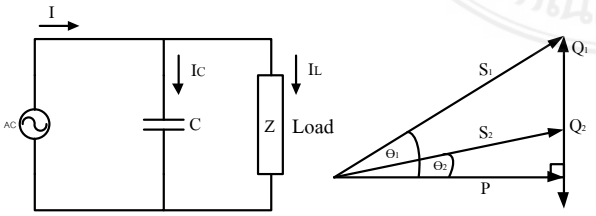
จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ต้องมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังเพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีความเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีการจ่ายให้กับโหลด ดังนั้นผู้จัดทำจึงจัดทำการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง เพื่อช่วยลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้าทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้น [4-5]

2.หลักการและเหตุผล

ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นมีความจำเป็นต่อระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่อยู่ในระบบทั่วไปนั้นประกอบไปด้วยกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) [7]

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1.0 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อให้กำลังไฟฟ้าปรากฏมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริง เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้นโหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็นความต้านทานผสมตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้กระแสล้าหลังแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบที่พบจึงมักจะเป็นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วจะพบว่าทั้งบ้านพักอาศัย อาคาร และโรงงาน ต่างก็ประกอบด้วยส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจากตัวเหนี่ยวนำ ทำให้ระบบกำลังไฟฟ้าในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีตัวประกอบกำลังต่ำ โดยเรียกเก็บเฉพาะในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ (ตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลัง) เท่านั้น [6]

โดยทั่วไป การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้โดยต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลดหรือแหล่งจ่ายเพื่อให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนียวนำหักล้างกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏลดลง หลักการดังกล่าวนี้เป็นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยการปรับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Q) เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (S) มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับกำลังไฟฟ้าจริง (P) ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1.0 ที่สุดซึ่งเป็นค่าคุณภาพทางไฟฟ้าที่ดีที่สุด [8] รวมทั้งช่วยลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียอีกด้วย



รูปที่ 1 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จาก PF_1 เป็น PF_2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ได้จากสมการดังนี้

$$PF_1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos\theta_1, PF_2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos\theta_2 \quad (1)$$

$$\tan\theta_1 = \frac{Q_1}{P}, \tan\theta_2 = \frac{Q_2}{P} \quad (2)$$

$$Q_1 = P\ x\ tan\theta_1 = kW\ x\ tan\theta_1 \quad (3)$$

$$Q_2 = P\ x\ tan\theta_2 = kW\ x\ tan\theta_2 \quad (4)$$

ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุหาได้จาก

$$(kVar) = Q_1 - Q_2 = kW\ tan\theta_1 - kW\ tan\theta_2 = kW\ (tan\theta_1 - tan\theta_2) \quad (5)$$

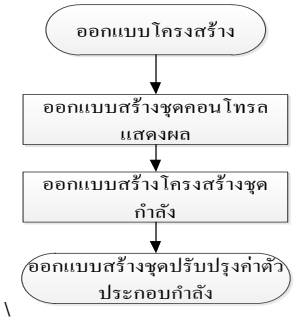
เพื่อความสะดวกอาจใช้ตารางที่ 1 ซึ่งเป็นตารางในการหาค่าตัวประกอบ $\tan\theta_1$ - $\tan\theta_2$ สำหรับคำนวณหาขนาดของตัวเก็บประจุ (kVar) เช่นถ้าต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก PF1 ค่า 0.85 ไปเป็น PF2 ค่า 0.95 จะมีค่า $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ คือ 1.248

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบ $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ สำหรับคำนวณหาขนาดของตัวเก็บประจุ

ค่าตัวประกอบกำลังก่อนปรับปรุง \ ค่าตัวประกอบกำลังที่ต้องการปรับปรุง	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.80	0	0.13	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.75
0.85		0	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.62
0.90			0	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484
0.91				0	0.03	0.06	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92					0	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93						0	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395
0.94							0	0.034	0.071	0.112	0.16	0.22	0.363
0.95								0	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329
0.96									0	0.041	0.89	0.149	0.292
0.97										0	0.048	0.108	0.251
0.98											0	0.061	0.203
0.99												0	0.142
1.0													0

2.1 การออกแบบ

ในการออกแบบสร้างและประกอบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังต้องคำนึงถึงความแข็งแรงและความปลอดภัยของผู้ใช้ [9] โดยผังการการออกแบบได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการทำงาน

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้

อุปกรณ์หลักที่ต้องใช้ในบทความนี้ประกอบด้วย

-ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในวงจรโดยจะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 0.83 kVAR จำนวน 3 ตัวในระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 2.5 kVAR จำนวน 2 ตัว, 5 kVAR จำนวน 1 ตัว ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

- แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ใช้ในการตัดต่อคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบไฟฟ้ากำลัง

- ฟิวส์ขนาด 4 A ช่วยในการป้องกันกระแสไฟเกินทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย

- เคอร์เรนท์ทรานส์ฟอร์เมอร์ขนาด 30/5 A ใช้ในการวัดกระแสภายในวงจรเพื่อให้อุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลังรุ่น RG3-12C ควบคุมตัวประกอบกำลังได้อย่างแม่นยำ

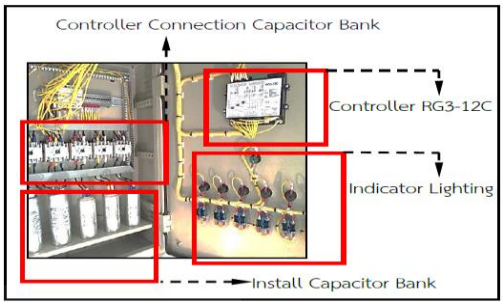
-เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 30 A ใช้ในการตัดต่อ Main Power เข้าสู่วงจรชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

- ซีเล็คเตอร์สวิตช์ใช้เพื่อให้ชดเชยค่าตัวประกอบกำลังได้ทั้งแบบอัตโนมัติ และ ควบคุมด้วยตัวบุคคล

- ไพลอตแลมป์ ใช้ในการแสดงสถานะของตัวเก็บประจุที่กำลังชดเชยค่าตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้า

- อุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลังรุ่น RG3-12C ใช้ในการประมวลผลและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าได้แบบอัตโนมัติ โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ให้อุปกรณ์ควบคุมค่าตัวประกอบกำลังได้อย่างอย่างแม่นยำ

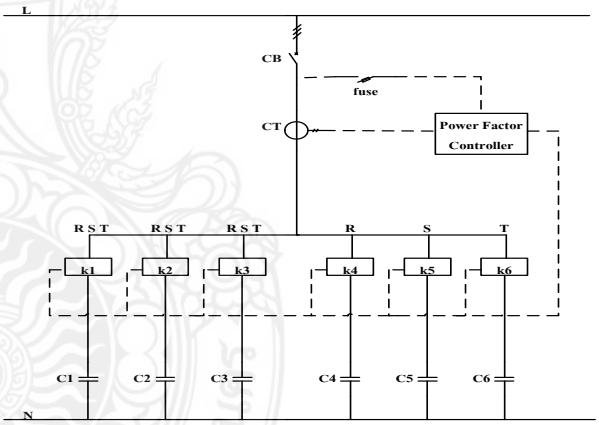
ในการจ่ายค่าชดเชยของตัวเก็บประจุหากใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าสูงเกินไปอาจมีผลทำให้ตัวประกอบกำลังอาจมีค่าเกิน 1.0 และอาจเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ดังนั้นชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบนี้จำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุหลายขนาดตามที่คำนวณไว้เพื่อเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุในชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ใช้ และไดอะแกรมแสดงวงจรโดยรวมของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่ใช้ในบทความนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ส่วนประกอบชุดคอนโทรลและชุดเพาเวอร์

3. ขั้นการทดลอง

ต่อแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเข้ากับอุปกรณ์เพื่อจะชดเชยค่า กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ตรวจสอบความถูกต้องของวงจรและป้อนค่าพารามิเตอร์ให้อุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลังรุ่น RG3-12C จากนั้นจึงต่อเข้ากับโหลดทดลอง ในการปรับปรุงนี้ใช้การติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบศูนร์กลาง เนื่องจากสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติและดูแลได้ง่ายต่อไปทำการบันทึกผลการวิจัยลงในตาราง นำค่าที่ได้มาสรุปผลการวิจัย



รูปที่ 4 วงจรโดยรวมของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 2 ค่าจากมิเตอร์ก่อน/หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 1 เฟส

มอเตอร์ 1 เฟส และ หลอดไฟ 1640 วัตต์								
	L1		L2		L3		total	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
V	233.4	231.1	-	-	-	-	233.4	231.1
I	14.04	12.33	-	-	-	-	14.04	12.33
W	2592	2548	-	-	-	-	2592	2548
VAR	1840	1126	-	-	-	-	1840	1126
COSΘ	0.5	0.929	-	-	-	-	0.5	0.929
VA	3241	2863	-	-	-	-	3241	2863

ตารางที่ 3 ค่าจากมิเตอร์ก่อน/หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์ 3 เฟส								
	L1		L2		L3		total	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
V	237.4	237.3	235.7	235.8	234.9	234.2	236	235.8
I	2.772	0.564	2.760	0.582	1.548	1.680	2.360	0.942
W	184.2	63.0	187.2	33.6	142.2	42.0	514.2	96.6
VAR	627.6	94.8	621.0	106.8	337.2	388.8	1591	592
cosΘ	0.294	0.537	0.297	-0.29	0.378	0.108	0.308	1.0
VA	625.8	132.6	646.2	133.2	363.6	394.8	1665	661.2

จากผลการทดลองตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ผลที่ได้เป็นไปตามจุดประสงค์ของการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เห็นได้ว่าค่าตัวประกอบกำลังก่อนการขนานตัวเก็บประจุเข้าระบบเพื่อจ่ายค่ารีแอคทีฟจะมีค่าต่ำกว่า 0.85 รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าสูง เช่นค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริง จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมีค่าสูงตามไปด้วย แต่หลังจากที่ขนานตัวเก็บประจุเข้าสู่ระบบเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ จะช่วยให้ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงลดลงอันเนื่องมาจากค่าตัวประกอบกำลังที่ได้มีค่าสูง 0.85 รวมทั้งส่งผลให้กำลังไฟฟ้าในระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น

4. สรุป

บทความวิจัยนี้นำเสนอการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟด้วยชุดควบคุมตัวประกอบกำลังจากการขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบควบคุม จากการเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ตัวประกอบกำลังในระบบนั้นมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดคือต่ำกว่า 0.85 แต่เมื่อได้ทำการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจากชุดควบคุมที่ใช้แล้วปรากฏว่าค่าตัวประกอบกำลังที่ได้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดคือสูงกว่า 0.85 ขึ้นไป

เอกสารอ้างอิง

[1] V.F. Pires, D. Costa, G. Marques, and J.F. Silva, "An anti-resonance active method for a power factor correction capacitive system", *SIBIRCON 2008, IEEE Region 8 International Conference on*, July 2008, pp. 133 – 138.

[2] U. Celtekligil, "Capacitive power factor and power quality correction of a light rail transportation system," *ELMAR 2008, 50th International Symposium*, Vol. 2, September 2008, pp. 415 – 418.

[3] วัฒนา สุนทรานุรักษ์, "คุณภาพกำลังไฟฟ้า," บริษัท ออปโป จำกัด, 2551.

[4] M. Tou, K. Al-Haddad; G. Olivier, and V. Rajagopalan, "A new three-phase unity power factor boost rectifier with capacitive-type input", *Computer in Power Electronics 1994, IEEE 4th Workshop on*, August 1994, pp. 256 – 265.

[5] A.K.N. Leung, P.K.T. Mok, W.H. Ki, and J.K.O. Sin, "Damping-factor-control frequency compensation technique for low-voltage low-power large capacitive load applications", *ISSCC 1999*, February 1999, pp.158 – 159.

[6] I. Barbi, J.C. Fagundes, and C. M. T. Cruz, "A low cost high power factor three-phase diode rectifier with capacitive load", *APEC-94*, Vol. 2, February 1994, pp. 745 – 751.

[7] H.B. Zackrison, "Reducing energy consumption frees up electrical system capacity", *IECEC-89*, Vol. 4, August 1989, pp. 1755 – 1765.

[8] C.L. Su, M.C. Lin, and C.H. Liao, "A energy-savings evaluation method to justify automatic power factor compensators on marine vessels", *Industry Applications Society Annual Meeting (IAS) 2012 IEEE*, October 2012, pp. 1 – 10.

[9] S.I. Deaconu, G.N. Popa, and R. Babau, "Study, Design and Industrial Implementation of Capacitive Power Factor Controller for Large Load Fluctuations in Steel Industry", *Electrical and Power Engineering (EPE), 2014 International Conference and Exposition on*, October 2014, pp. 962 – 967.

[10] ชัด อินทะสี, "การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า," ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2554.

[11] K. Chatterjee, G. Venkataramanan, M. Cabrera, and D. Loftus "Unity power factor single phase AC line current conditioner", *Industry Applications Conference 2000, Conference Record of the 2000 IEEE*, Vol. 4, October 2000, pp. 2297 – 2304.

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8
Proceedings of the 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

การออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง

Design For Reactive Power Compensation with Control Power Factor

ฉัตรพงษ์ บุบผา ทง ลานธานทองและ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอถึงการปรับปรุงค่า**ตัวประกอบกำลัง** โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาลักษณะของการปรับปรุงค่า**ตัวประกอบกำลัง**โดยใช้เทคนิคการปรับโดยคำนึงถึงค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในกรณีของการใช้ Capacitor Bank เข้ามาช่วยปรับปรุงค่า**ตัวประกอบกำลัง**ในระบบ ในบทความวิจัยนี้ได้บทสรุปคือการปรับปรุงค่า**ตัวประกอบกำลัง**จากCapacitor Bank นี้ได้ผลจริงซึ่งจากค่า**ตัวประกอบกำลัง**ที่ต่ำกว่าเกณฑ์คือ 0.85 นั้น สามารถปรับขึ้นมาให้ใกล้เคียง 1.0 ได้จริง

คำสำคัญ : ตัวประกอบกำลัง,กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ,กำลังไฟฟ้าจริง, ระบบไฟฟ้า

Abstract

This paper are present of the power factor. The objective is to study of improving the power factor. Using techniques adapted taking into account the reactive power source. In the case of the capacitor bank to improve the power factor in the power system In this case study the conclusion is to improve the power factor of capacitor bank this It results from the that power factor the substandard is 0.85 that can be adjusted up to the nearest 1.0 actually

Keywords: power factor, reactive power ,real power,power system

1. บทนำ

เมื่อระบบไฟฟ้ามีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงลดลงและถ้าความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของหม้อแปลงใกล้เต็มแล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ แม้ว่ากำลังไฟฟ้า ที่ใช้อยู่จะยังไม่เต็มก็ตามนอกจากนี้ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้สายไฟยาวมาก ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟมีค่าสูงขึ้นและความร้อนในสายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดค่าสูญเสีย ตามขนาดของกระแสยกกำลังสอง และที่สำคัญผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มให้กับการไฟฟ้า [1]

ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเกิดความเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามลักษณะการเกิดระยะเวลาและขนาดของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเช่น ไฟฟ้าดับ แรงดันเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงค่า**ตัวประกอบกำลัง**มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีค่า**ตัวประกอบกำลัง**ต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น การปรับปรุงค่า**ตัวประกอบกำลัง**ให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เพื่อใช้ในการทำงาน

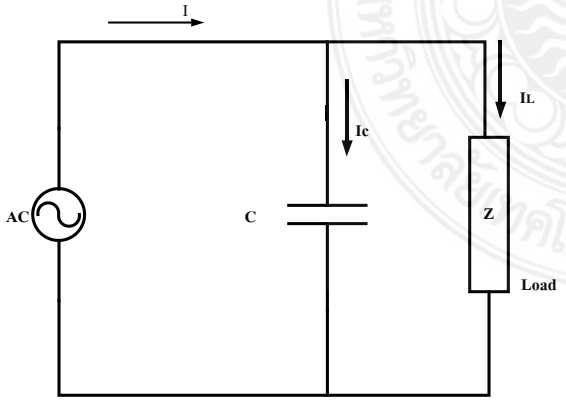
จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ต้องมีการปรับปรุง**ตัว**ประกอบกำลังเพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีความเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีการจ่ายให้กับโหลด ดังนั้นผู้จัดทำจึงจัดทำการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง เพื่อช่วยลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้าทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้น [4-5]

2. หลักการและเหตุผล

ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังPower Factor Correction มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น การปรับปรุงค่า ตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ ความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) เพื่อใช้ในการทำงาน[7]

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อให้ กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีขนาดใกล้เคียงกับ W (ดูสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าประกอบ) เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้น โหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็น ความต้านทานผสม ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้ กระแสล้าหลังแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบที่พบจึงมักจะเป็นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ ตัวเหนียวนำเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัย อาคารและโรงงาน ต่างก็ใช้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของตัวเหนี่ยวนำ ทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ การไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยเก็บเงินกับกรณี กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเหนี่ยวนำ ชนิด ล้าหลัง เท่านั้น [6]

ดังนั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ ตัวเก็บประจุ ขนานกับโหลดหรือขนานกับแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 1 เพื่อให้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเหนียวนำหักล้างกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของ ตัวเก็บประจุแล้วเป็นผลให้ กำลังไฟฟ้าปรากฏ ลดลง จากรูปเมื่อใส่ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเก็บประจุ = QC= Q_1- Q_2 เพื่อหักล้างกับ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของ ตัวเหนี่ยวนำ (Q_1) ทำให้ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ในระบบลดลงเหลือ Q2 แล้วกำลังไฟฟ้าปรากฏ ของระบบจะลดลงจาก S_1 เหลือเป็น S_2 เป็นผลให้กระแสลดลงจาก I_1 เหลือเป็น I_2 จากหลักการนี้เป็นการปรับในรูปแบบกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟหรือค่าQ เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏหรือค่า S ให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับกำลังไฟฟ้าจริง(P)เพื่อลดค่ากำลังสูญเสียให้ได้มากที่สุด ทำให้ค่าตัวประกอบกำลัง(Power Factor) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ1.0ที่สุดเป็นค่าคุณภาพทางไฟฟ้าที่ดีที่สุด [8]



รูปที่ 1 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จาก PF_1 เป็น PF_2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF_1 = \frac{kW}{kVA_1} = \cos\ _1,\ PF_2 = \frac{kW}{kVA_2} = \cos\ _2 \quad (1)$$

$$\tan\ _1 = \frac{Q_1}{P}\ ,\quad \tan\ _2 = \frac{Q_2}{P} \quad (2)$$

$$Q_1 = P \times \tan\ _1 = kW \times \tan\ _1 \quad (3)$$

$$Q_2 = P \times \tan\ _2 = kW \times \tan\ _2 \quad (4)$$

ขนาดของตัวเก็บประจุ

$$(kVar) = Q_1 - Q_2 = kW \tan\ _1 - kW \tan\ _2$$
$$= kW (\tan\ _1 - \tan\ _2) \quad (5)$$

ในการนี้ อาจใช้ตารางที่ 1 ประกอบการหาค่า $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ ได้โดยสะดวก เช่นต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก

$PF_1 = 0.85$ (PF=85 %) ไปเป็น$PF_2 = 0.95$ (PF = 95%)

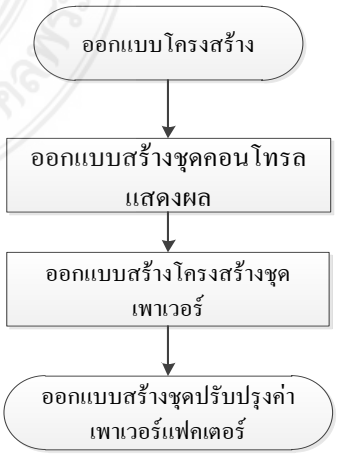
$\tan\ _1 - \tan\ _2 = 1.248$

ตารางที่ 1 ค่าประกอบการคำนวณหาขนาด kVar ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ค่า $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$)

ค่า PF ก่อนปรับปรุง \ ค่า PF ที่ต้องการปรับปรุง	0.8	0.85	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.8	0	0.13	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.75
0.85		0	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.62
0.9			0	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484
0.91				0	0.03	0.06	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92					0	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93						0	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395
0.94							0	0.034	0.071	0.112	0.16	0.22	0.363
0.95								0	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329
0.96									0	0.041	0.89	0.149	0.292
0.97										0	0.048	0.108	0.251
0.98											0	0.061	0.203
0.99												0	0.142
1.0													0

2.1 การออกแบบโครงงาน

บล็อกไดอะแกรมการการออกแบบและประกอบสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

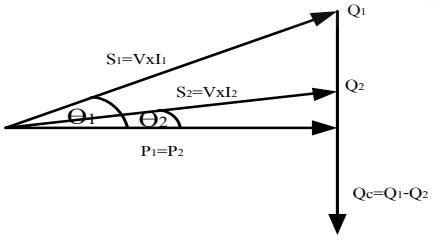
จากบล็อกไดอะแกรมที่ 1 การออกแบบเป็นการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบ้งค์(Capacitor Bank)แบบกลุ่มย่อย ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบ้งค์(Capacitor Bank)ตามกลุ่มย่อยของโหลดผ่านเมนคอนแทกเตอร์(Main Contactor)หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์(Circuit Breaker) เช่น กลุ่มของหลอดไฟแต่ละชั้นของ อาคาร หรือกลุ่มย่อยของมอเตอร์ที่ติดตั้งแต่ละอาคาร จากบล็อกไดอะแกรมที่ 2 เป็นการออกแบบชุดคอนโทรลการวางออกแบบชุดคอนโทรลต้องติดตั้งฟิวส์เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์และผู้ใช้ และจากบล็อกไดอะแกรมที่ 3 การออกแบบสร้างชุดเพาเวอร์ ซึ่งชุดเพาเวอร์ต้องใช้สายขนาดใหญ่เพื่อเพียงพอต่อโหลด ส่วนบล็อกไดอะแกรมที่สี่คือ การสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงความปลอดภัยของผู้ใช้[9] ดังรูปที่ 2

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง

ชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. คาปาซิเตอร์ ขนาด 0.83,1.5,2.5 เควาร์
2. แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ 32 แอมป์
3. ฟิวส์ 4 แอมป์
4. เคอร์เรนท์ ทรานสเฟอร์เมอร์ 30/5 แอมป์
5. เบรกเกอร์ 30 แอมป์
6. ซีเล็คเตอร์สวิตช์
7. ไพลอตแลมป์
8. เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์รุ่น RG3-12C

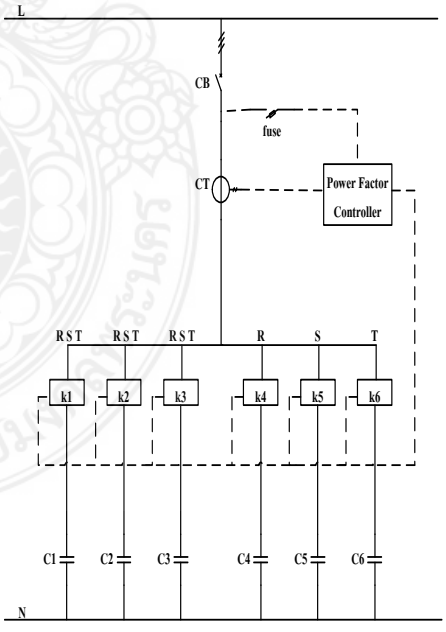
ในการออกแบบจากที่แสดงในบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่2ได้มาอยู่ในชุดคอนโทรลดังรูปที่3 ในหลักการทำงานจะเป็นการ Configuration ค่าต่างๆลงในเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์รุ่น RG3-12C เพื่อสั่งการควบคุมการจ่ายค่าQ_c เพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังโดยจะทำงานโดยอัตโนมัติ หรือควบคุมด้วยบุคคนก็ได้ โดยเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์รุ่น RG3-12Cจะสามารถบอกค่าQ ที่ภายในระบบต้องการเพื่อเป็นการปรับคุณภาพกำลังไฟฟ้าโดยจากโครงสร้างดังรูปที่ 3นี้รูปวงจรการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจะอยู่ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่าในการจ่ายค่าชดเชยของคาปาซิเตอร์แบ้งค์(Capacitor Bank) จะมีหลายขนาดเพื่อให้เห็นถึงในการจ่ายค่าตัวประกอบกำลังโดยQ_cนั้นหากเลือกใช้ไม่ถูก หรือขนาดที่สูงเกินไปจากการปรับให้ระบบจากการปรับมุมระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ ให้มาใกล้กันหรือทำมุมให้น้อยที่สุด ทำให้ตัวประกอบกำลัง(Power Factor) จากที่จะได้ค่าเป็น1.0จะกลายเป็นมุมที่เพิ่มขึ้นจนมีผลทำให้ตัวประกอบกำลัง(Power Factor) ตกได้เหมือนกันจะเห็นได้ดังภาพที่ 3

รูปที่ 4 ประกอบชุดคอนโทรลและชุดเพาเวอร์



รูปที่ 5 ไดอะแกรมอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง

3.ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเข้าอุปกรณ์ชดเชยค่า กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง
2. จากการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังต่อเข้ามอเตอร์
3. ตรวจสอบความถูกต้องของวงจร
4. บันทึกค่าที่อ่านได้จากเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรล ลงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3
5. นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าใช้จ่าย สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 1 เฟส

มอเตอร์ 1 เฟส + หลอดไฟ 1640 วัตต์								
	L1		L2		L3		total	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
V	233.4	231.1	-	-	-	-	233.4	231.1
I	14.04	12.33	-	-	-	-	14.04	12.33
W	2592	2548	-	-	-	-	2592	2548
VAR	1840	1126	-	-	-	-	1840	1126
COSθ	0.5	0.929	-	-	-	-	0.5	0.929
VA	3241	2863	-	-	-	-	3241	2863

ตารางที่ 3 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์ 3 เฟส								
	L1		L2		L3		total	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
V	237.4	237.3	235.7	235.8	234.9	234.2	236	235.8
I	2.772	0.564	2.760	0.582	1.548	1.680	2.360	0.942
W	184.2	63.0	187.2	33.6	142.2	42.0	514.2	96.6
VAR	627.6	94.8	621.0	106.8	337.2	388.8	1591	592
COSθ	0.294	0.537	0.297	-0.29	0.378	0.108	0.308	1.0
VA	625.8	132.6	646.2	133.2	363.6	394.8	1665	661.2

จากผลการทดลองตารางที่ 2 และ ตารางที่3 ผลที่ได้เป็นไปตามจุดประสงค์ของการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ค่า cosθ ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบเพื่อจ่ายค่ารีแอคทีฟ ค่าที่ได้คือต่ำกว่า 0.85 ส่วนค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าสูง เพราะค่า cosθ ที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.85 ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบมีมาก ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจึงมีค่าที่สูง หลังจากที่ขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ เมื่อจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะลดลง เช่นค่ากระแส ค่ากำลังไฟฟ้า เพราะค่า cosθ ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.85 ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าในระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น

สามารพิสูจน์ได้เนื่องจากโหลด L และ C ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย Var ซึ่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกันสามารถหักล้างกันได้ในขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เสมือนจริงมากที่สุดหรือ ตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1.0 มากที่สุด[11]

4.สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้ทดสอบการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ผลที่ได้คือก่อนการขนาน ค่าปาซิเตอร์เข้าระบบเห็นได้ว่าค่ากระแสนั้นสูง ค่า cosθ ต่ำลง แต่หลังจากที่ขนาน ค่าปาซิเตอร์เข้าระบบค่ากระแส ลดลง ค่า cosθ สูงขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงและไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มจากการที่ค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่า 0.85 อีกด้วย จากที่ทดสอบจะเห็นว่า คาปาซิเตอร์ จะทำงานแค่ตัวเดียว เนื่องจากโหลดที่นำมาทดลองมีขนาดเล็ก ทำให้ อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] *การบำรุงรักษาเชิงป้องกันPowerFactor CorrectionCapacitors ด้วยเครื่องมือThermal InfraredDetector*. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : http://www.ee.eng.cmu.ac.th

[2] การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและวิธีการควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์).

[3] *การชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า*. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก : http://eng.rtu.ac.th/

[4] *การปรับปรุงค่าPowerFactorในระบบไฟฟ้าด้วยCapacitorBank*. [ออนไลน์]. สืบค้น 15 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://tescontrol.igetweb.com

[5] *การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน. (2552)*. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.ecpe.nu.ac.th

[6] *ข้อดีของการปรับปรุงค่า PowerFactor&Capacitor การปรับปรุง PowerFactor*. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.pitigroup.com

[7] *ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor : PF)และวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้ดีขึ้น*. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2558 เข้าถึงได้จาก :http://www.mea.or.th

[8] *คาปาซิเตอร์&ฮาโมนิคส์*. (2550). [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก : http://www.itm.co.th

[9] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(อาคาร) (2553). *ระบบไฟฟ้ากำลัง*, สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558 เข้าถึงได้จาก https://cdn.fbsbx.com

[10] ชัด อินทะสี, “การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า”, *กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น*,2554.

[11] คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน.*โครงการเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย* (TEENET).[ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 19เมษายน2559, เข้าถึงได้จาก:http://teenet.tei.or.th/Knowledge/knowledge.html

ประวัติผู้จัดทำวิทยานิพนธ์

ชื่อ สกุล	นายฉัตรพงษ์ บุบผา
วันเดือนปีเกิด	วันพุธที่ 5 พฤษภาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัด มหาสารคาม
ที่อยู่ปัจจุบัน	51/244 หมู่7 ซอยวิทยุการบิน ถนนสุขุมวิท ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280
Email:	chatpong.boobpa@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2553	ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
พ.ศ.2558	ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร