การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในระบบไฟฟ้ากำลัง

Reactive Power Control to Improve the Economic of Power System

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

อรุณ ชลังสุทธิ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในระบบไฟฟ้ากำลัง
ผู้วิจัย : รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
ผศ.อรุณ ชลังสุทธิ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
พ.ศ. : 2560

บทคัดย่อ

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อใช้ในการทำงาน

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง 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 กิโลวัตต์และหลอดไฟขนาด 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

Title : Reactive Power Control to Improve the Economic of Power System
Researcher : Associate Professor Dr.Nattachote Rugthaicharoencheep,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Assistant Professor Aroon Chalangsut, Department of Electrical
Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2017

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 research 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 1,640-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 rests 0.942 amps of power factor value up from 0.308 to 1.0.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในระบบไฟฟ้ากำลังนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาทุกท่าน คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาแด่คณาจารย์ทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.3 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	5
2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	9
2.5 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	11
2.6 คาปาซิเตอร์แบงค์	15
2.7 การติดตั้งตัวเก็บประจุ	17
2.8 การเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมกับคาปาซิเตอร์	19
2.9 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	20
2.10 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	21
2.11 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้เหมาะสม	21
2.12 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดคาปาซิเตอร์	22
บทที่ 3 การออกแบบและการประกอบสร้าง	24
3.1 บทนำ	24
3.2 การออกแบบโครงงาน	24
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง	25
3.4 ผลการออกแบบและประกอบสร้าง	31

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการทดลอง	35
4.1 บทนำ	35
4.2 การทดลองที่ 1 การหาค่าพารามิเตอร์ ก่อน – หลัง การขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ	35
4.3 สรุปผลการทดลอง	40
บทที่ 5 การสรุปผลการจัดสร้างโครงงานปัญหาและข้อเสนอแนะ	41
5.1 บทนำ	41
5.2 การสรุปผลการจัดสร้างโครงงาน	41
5.3 สรุปผล	41
5.4 ปัญหาการจัดสร้างโครงงาน	42
5.5 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	
คณะผู้วิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางสรุปอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ	6
2.2 ค่าประกอบการคำนวณหาขนาด kVar ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ค่า tan θ_1 – tan θ_2)	13
2.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า	14
2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ	15
2.5 การเลือกขนาดสายไฟและฟิวส์ระบบ 400 V 3-เฟส 50 Hz ambient temp 35° C	20
4.1 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 1 เฟส	37
4.2 ค่าจากมิเตอร์ก่อน-หลังต่ออุปกรณ์เข้ามอเตอร์ 3 เฟส	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	5
2-2 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดัน , กระแส , และกำลังของไฟฟ้ากระแสสับ	6
2-3 ลักษณะทางเวคเตอร์ของ R, XL และ XC	7
2-4 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V)	7
2-5 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (I Lead V)	8
2-6 ลักษณะเวคเตอร์ของ I และ V ในกรณีของโหลดชนิดต่างๆ	8
2-7 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของ L และ C	8
2-8 แสดงรูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) ต่างๆโดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น (Average Power)	9
2-9 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	11
2-10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	13
2-11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปเป็นค่าต่างๆ	14
2-12 โครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์	15
2-13 วงจรสมมูลก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์	16
2-14 เฟสเซอร์ไดอะแกรมก่อนและหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์	16
3-1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	24
3-2 คาปาซิเตอร์	25
3-3 หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์	26
3-4 แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ ขนาด 32แอมป์	26
3-5 หลักการทำงานของแมคเนติกส์คอนแทคเตอร์	27
3-6 ฟิวส์ขนาด 4แอมป์	27
3-7 เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์ 30/5 แอมป์	28
3-8 หลักการทำงานของ เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์	28
3-9 เบรกเกอร์	29
3-10 หลักการทำงานของเบรกเกอร์	29

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3-11 ซีเล็คเตอร์สวิตช์ 29
3-12 ไพลอตแลมป์ 30
3-13 เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์ รุ่น RG3-12 30
3-14 คุณสมบัติเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์ รุ่น RG3-12C 31
3-15 โครงสร้างชิ้นงานขนาด 60x75x20 เซนติเมตร 32
3-16 การติดตั้งชุดคอนโทรล 32
3-17 การติดตั้งชุดเพาเวอร์ 33
3-18 ประกอบชุดคอนโทรลกับชุดเพาเวอร์ 33
3-19 อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง 34
3-20 ไดอะแกรมอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง 34
4-1 การต่อโหลดมอเตอร์และหลอดไฟ1 เฟส 36
4-2 ค่า cosθก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 36
4-3 ค่า cosθหลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 37
4-4 การขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบของโหลดมอเตอร์ 3 เฟส 38
4-5 ค่า cosθก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 38
4-6 ค่า cosθหลังการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบ 39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เมื่อระบบไฟฟ้ามีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จะส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงลดลงและถ้าความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของหม้อแปลงใกล้เต็มแล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ แม้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้อยู่จะยังไม่เต็มก็ตาม นอกจากนี้ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้สายไฟยาวมาก ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟมีค่าสูงขึ้นและความร้อนในสายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดค่าสูญเสียตามขนาดของกระแสยกกำลังสอง และที่สำคัญผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มให้กับการไฟฟ้า

ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเกิดความเพี้ยนไปจากเดิม ซึ่งความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามลักษณะการเกิดระยะเวลาและขนาดของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าเช่น ไฟฟ้าดับ แรงดันเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เพื่อใช้ในการทำงาน

จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ต้องมีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีความเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้าเมื่อมีการจ่ายให้กับโหลด ดังนั้นผู้จัดทำจึงจัดทำการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง เพื่อช่วยลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้าทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

1.2.2 เพื่อเป็นอุปกรณ์ศึกษาคุณลักษณะของการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

1.2.3 เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้

1.3.2 สามรถปรับปรุงค่าเพาว์เวอร์แฟคเตอร์ได้

1.3.3 สามารถวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ออกแบบและสร้างชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.5.2 ได้อุปกรณ์ศึกษาคุณลักษณะการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

1.5.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้การเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สำหรับรายละเอียดในบทนี้จะแสดงถึงทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบฟ้า โดยจะกล่าวถึง กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การปรับปรุงตัวปรับประกอบกำลังไฟฟ้า การติดตั้งตัวเก็บประจุ การเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมกับคาปาซิเตอร์ ข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าประโยชน์ของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ให้เหมาะสมการบำรุงรักษาเชิงป้องกันชุดคาปาซิเตอร์และรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เนื้อหาดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการออกแบบและสร้างงานวิจัยนี้

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

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

บทความของบรรจง มะลิวัลย์ [2] , “การปรับปรุงตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ”การเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลัง (Power factor) ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน วัตถุประสงค์ของโครงงานคือการศึกษาแนวทางการลดค่าไฟด้วยการลดการใช้กำลังปรากฏ (Apparent power) ของอุปกรณ์ที่สนใจในขณะที่ความต้องการใช้กำลังจริง (Real power) ของ

อุปกรณ์ดังกล่าวยังคงเดิม แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power factor correction) จากการศึกษาจะพบว่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่สนใจมีค่าต่าง โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.50-0.80 ในโครงงานนี้จึงได้ออกแบบเพื่อเพิ่มค่าของตัวประกอบกำลังให้มีค่าประมาณ 0.95 โดยต่อขนานตัวเก็บประจุเข้ากับอุปกรณ์ที่สนใจเพื่อชดเชยกำลังจินตภาพ (Reactive power) ที่อุปกรณ์นั้นต้องการ โดยได้ทำการทดลองวัดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งก่อนและหลังการออกแบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้ยังได้สร้างโปรแกรมขึ้นใน Microsoft Office Excel เพื่อคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่จะใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดไฟต่อไป

บทความของบุญเย็น อุ่นจิตร [3], “การสร้างและทดสอบประสิทธิ์ภาพชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์” การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนชุดฝึกอบรม การขาดความรู้และทักษะของช่างเทคนิคที่ปฏิบัติงานในส่วนของการติดตั้งและซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าในสถานประกอบการ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือชุดฝึกอบรมเรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 6 หัวข้อเรื่องซึ่งประกอบด้วย คู่มือวิทยากร ได้แก่ แผนการฝึกอบรม ใบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม 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 .01

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

บทความของ Ugur Celteklingil [5] , “การแก้ไขคุณภาพไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังของบขนส่งมวลชน” ผลการวิจัยนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาไดนามิคเพาเวอร์แฟคเตอร์และแรงดันไฟฟ้าในระบบขนส่งมวลชน (ระบบรถไฟฟ้า) สายไฟใต้ดินสำหรับส่งขนาด 34.5KV สถานีย่อยก่อให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีปต่ำมาก (P.Fต่ำ) เทคนิคนี้จะมีความจำเพาะเจาะจงกับลูกค้าที่มีความต้องการหลีกเลี่ยงค่าปรับในการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปรับสมดุลของคา

ปาซิตีฟ รีแอคทีฟเพาเวอร์ ของสายไฟใต้ดินและผลกระทบจากระบบรถไฟ อินดักทีฟและคาปาซิทีฟไม่ความเกินค่าที่กำหนดเพื่อลีกเลี่ยงการปรับซึ่งปัญหาเกิดจากความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้รับการวิเคราะห์สรุปได้ว่าต้องมีการติดตั้ง รีแอกเตอร์ ตัวรีแอคเตอร์จะมีสวิตช์เปิดผ่านไทริสเตอร์ใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าอัตโนติโดยการตรวจจับเพาเวอร์แฟคเตอร์และการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าการคำนวณค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และการสลับค่าความเหนี่ยวนำตามความต้องการ การแก้ปัญหานี้ทำให้เกิดความพึงพอใจเป็นอย่างมากสามรถหลีกเลี่ยงการเสียค่าปรับตามกฎหมายได้

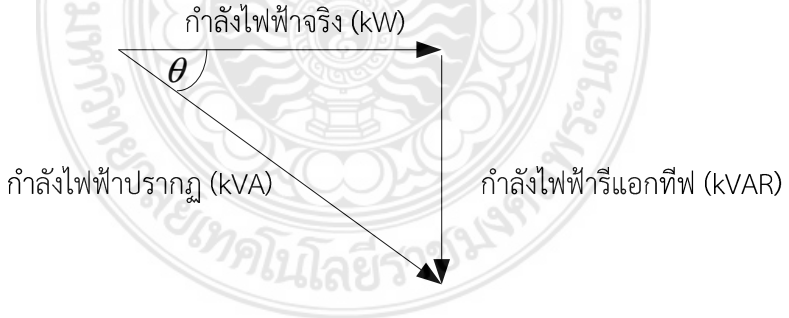
2.3 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ หรือระบบไฟฟ้าที่ใช้กันในอุตสาหกรรม หรือที่อยู่อาศัย มีการวัดกำลังไฟฟ้าหลายหน่วยดังต่อไปนี้

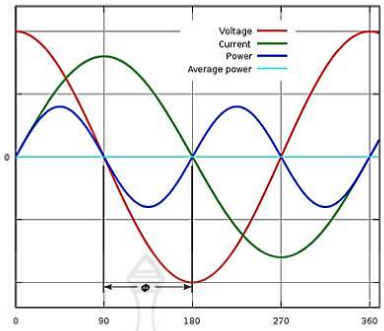
2.3.1. กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปแบบอื่นได้ เช่น ความร้อน, แสงสว่าง หรือกำลังงานกล

2.3.2. กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็น วาร์ (VAr) หรือกิโลวาร์ (kVAr) เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า ต้องใช้กำลังงานรีแอคทีฟนี้เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก

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



ภาพที่ 2-1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า



ภาพที่2-2 ภาพแสดงสัญญาณของแรงดัน กระแส และกำลังของไฟฟ้ากระแสสลับ

ตารางที่2.1 ตารางสรุปอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

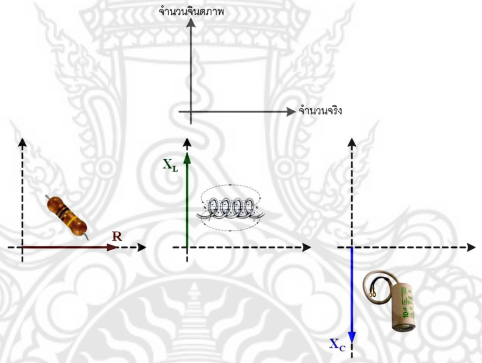
	R **ตัวต้านทาน** (Resistor)	L **ตัวเหนี่ยวนำ** (Inductor)	C **ตัวเก็บประจุ** (Capacitor)
1.สัญลักษณ์			
2.ความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น Ω	R	$X_L = \omega L = 2\pi f L$	$X_C = \frac{1}{\omega L} = \frac{1}{2\pi f L}$
3.ลักษณะทางคณิตศาสตร์	จำนวนจริง	จำนวนจินตภาพ + j	จำนวนจินตภาพ - j
4.วิธีการคำนวณ	แบบเวคเตอร์	แบบเวคเตอร์	แบบเวคเตอร์
5.ผลทางสัญญาณไฟฟ้า	I มีเฟสตรงกับ กับ 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

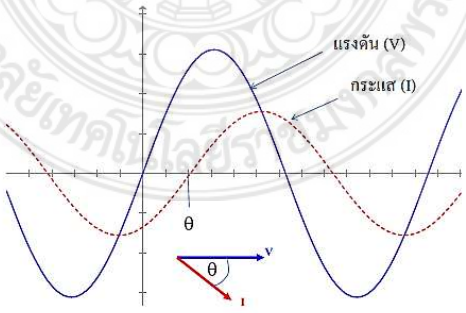
- ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุถูกนำมาใช้ในรูปของ ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์มีหน่วยเป็นโอห์มเช่นเดียวกับความต้านทาน แต่เป็นจำนวนจินตภาพที่สามารถหักล้างกันเองได้เพราะค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์มีทิศทางตรงข้ามกัน (ทิศทาง + j กับ - j) ดังภาพที่ 2-3 ดังนั้นหากต้องการหักล้างคุณสมบัติของค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ก็อาจนำคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ที่เหมาะสมมาต่อในวงจรได้

- เพราะค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ทำให้สัญญาณกระแสล้าหลังหลังแรงดัน 90 ° และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ทำให้สัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน 90 ° ดังนั้นถ้าในวงจรมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหลดมากกว่า 1 กลุ่มเช่น R + j XL หรือ R-j XC ก็จะทำให้ความต้านทานโดยรวมซึ่งเรียกว่าอิมพีแดนซ์มีมุมอยู่ระหว่าง -90° ถึง + 90 °

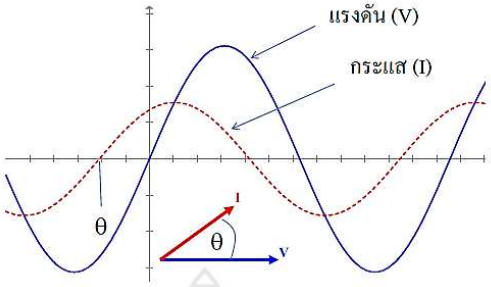
กล่าวคือโหลด R + j XL ทำให้กระแสล้าหลังแรงดันดังรูปที่ 2.3 และโหลด R - j XC ทำกระแสนำหน้าแรงดันดังรูปที่ 2.4 ส่วนโหลดความต้านทานนั้นกระแสและแรงดันมีมุมตรงกันโดยเขียนเป็นภาพเชิงสรุปได้ดังภาพที่ 2-5



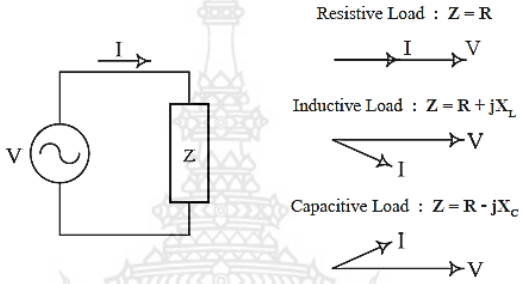
ภาพที่ 2-3 ลักษณะทางเวคเตอร์ของ R , XL และ XC



ภาพที่ 2-4 ลักษณะสัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน

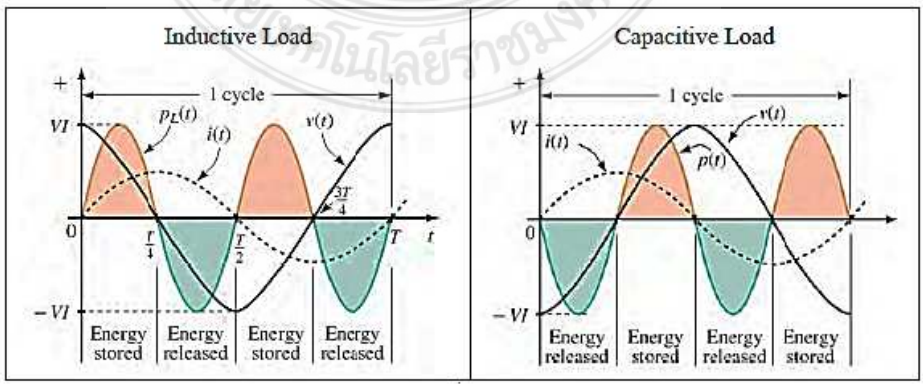


ภาพที่ 2-5 ลักษณะสัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน



ภาพที่ 2-6 ลักษณะเวคเตอร์ของ I และ V ในกรณีของโหลดชนิดต่างๆ

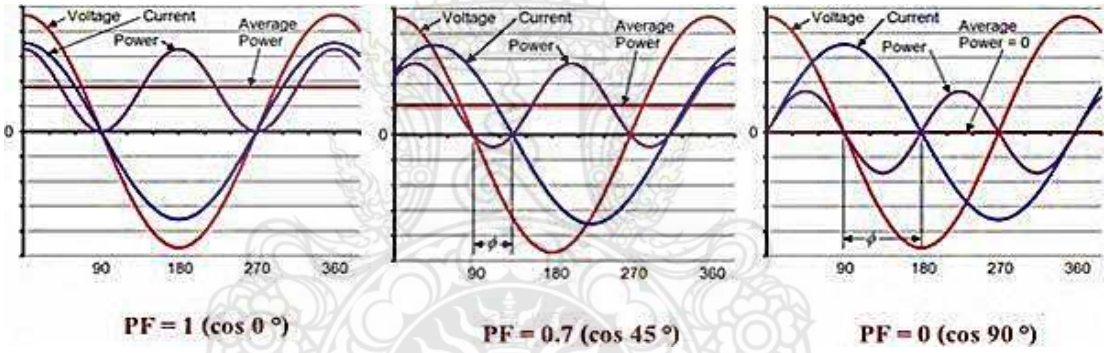
- ตัวเหนียวนำและตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0 W (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = 0 W) แต่ใช้กำลังไฟฟ้าในหน่วย Var ซึ่งเป็นจำนวนจินตภาพโดยกำลังงานรีแอคทีฟของตัวหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับกำลังงานรีแอคทีฟของตัวเก็บประจุซึ่งทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถหักล้างกันได้ทั้งนี้ทั้งตัวเหนียวนำและตัวเก็บประจุมีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าคือสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าออกมาจึงใช้กำลังไฟฟ้า 0 W ดังภาพที่ 2-7ซึ่งจะสังเกตได้ว่าจังหวะของการสะสมและคืนพลังงานของโหลดทั้ง 2 ชนิดนั้นไม่ตรงกันและสอดคล้องกับทางคณิตศาสตร์ที่ว่ากำลังงานรีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับกำลังงานรีแอคทีฟของตัวเก็บประจุเมื่อมีทิศทางที่ตรงข้ามกันจึงทำให้สามารถหักล้างกันได้



ภาพที่ 2-7 ลักษณะการสะสมแล้วคืนกำลังไฟฟ้าของตัวเหนียวนำ และตัวเก็บประจุ

2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้น คือค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ ซึ่งมีหน่วยเป็นวีเอหรือโวลท์-แอมป์ โดยสามารถอธิบายให้เข้าใจง่ายได้ว่า เพาเวอร์แฟคเตอร์คือตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ประโยชน์หรือเกิดการทำงานจริงกับขนาดของกำลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้าโดยส่วนที่เกินจากกำลังงานที่ใช้ทำงานจริงจะเรียกว่า กำลังงานรีแอคทีฟซึ่งมีหน่วยเป็นวาร์ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบไฟฟ้าเนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมากอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้นค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางต้องเสียมากขึ้นต้องเสียค่าไฟฟ้ามากขึ้นด้วยดังนั้นการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงมีความจำเป็นแต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงเงินลงทุนกับค่าอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการแก้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากำลังงานรีแอคทีฟซึ่งไม่เกิดประโยชน์นี้ก็จะเป็นภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่งด้วยและจะเกิดกำลังงานสูญเสียในอุปกรณ์เหล่านี้ในขณะเดียวกัน



ภาพที่ 2-8 แสดงรูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) ต่างๆ
โดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น

สำหรับแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีเฉพาะความถี่มูลฐานเท่านั้น สำหรับประเทศไทย คือ 50 Hz โดยไม่มีความถี่อื่นหรือฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสมาปะปน เนื่องจากในปัจจุบันโหลดที่มีการใช้งานมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบมีส่วนประกอบของกระแสฮาร์มอนิกในปริมาณมาก และเป็นสาเหตุหลักของความเพี้ยนฮาร์มอนิกในขณะเดียวกัน

2.4.1 สาเหตุที่ต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ มีผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วย เนื่องจากประโยชน์ที่จะได้รับจากกำลังไฟฟ้าจริง ในระบบไฟฟ้าจะต่ำกว่า ซึ่งทำให้การไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์จำหน่ายและอุปกรณ์ส่งไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณพลังไฟฟ้าส่วนที่ไม่จำเป็นหรือค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่เกิดขึ้นด้วย 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

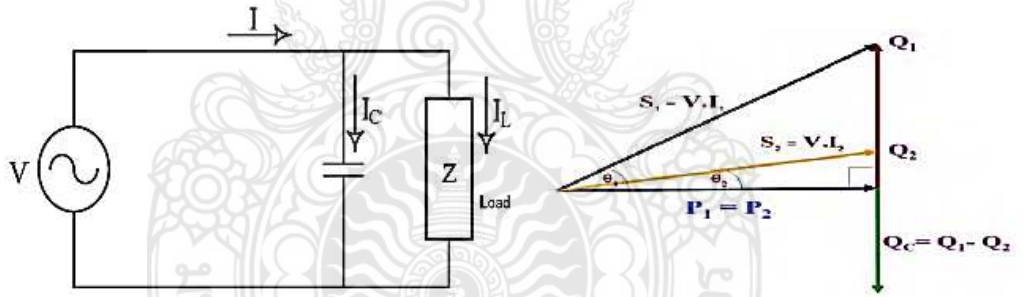
1. การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มากกว่า 0.85 จะทำให้ระบบอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น จะเป็นการประหยัดการลงทุนในการขยายระบบไฟฟ้า

2. ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่อส่วนรวมนั้นก็คือการสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ โดยสามารลดการสูญเสีย พลังงานไฟฟ้าที่เกิดเนื่องจากการลดค่ากระแสไฟฟ้าในสายส่งและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งเป็นการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศได้

2.5 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

คำว่าการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือการลดขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อให้กำลังไฟฟ้าปรากฏ มีขนาดใกล้เคียงกับ W (ดูสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าประกอบ) เนื่องจากในทางปฏิบัตินั้นโหลดส่วนใหญ่จะมีคุณลักษณะเป็นความต้านทานผสมตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้กระแสล้าหลังแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบที่พบจึงมักจะเป็นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนียวนำเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่าทั้งบ้านพักอาศัยอาคารและโรงงานต่างก็ใช้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำทำให้ระบบในภาพรวมมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำการไฟฟ้าจึงเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำโดยเก็บเงินกับกรณีกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำ ชนิดล้าหลังเท่านั้น

ดังนั้นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้โดยใส่ตัวเก็บประจุขนานกับโหลดหรือขนานกับแหล่งจ่ายดังภาพที่ 2-9 เพื่อให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ของตัวเหนียวนำหักล้างกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุแล้วเป็นผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏลดลงจากรูปเมื่อใส่กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุ = QC= Q_1- Q_2 เพื่อหักล้างกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำ (Q_1) ทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบลดลงเหลือ Q2 แล้วกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบจะลดลงจาก S_1เหลือเป็น S_2 เป็นผลให้กระแสลดลงจาก I_1เหลือเป็น I_2



ภาพที่ 2-9 การต่อ C เพื่อปรับปรุงค่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ข้อสังเกตจากรูปถ้าต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลดกระแสก็จะลดต่ำลงตั้งแต่ตำแหน่งจุดที่ต่อนั้นไปจนถึงแหล่งจ่ายทั้งนี้โหลดยังคงใช้กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเท่าเดิมทุกประการเพราะแรงดันที่โหลดได้รับถือว่าไม่ได้เปลี่ยนไปจึงกินไฟเท่าเดิมแต่การที่กระแสในสายจากแหล่งจ่ายลดลงเป็นเพราะกระแสที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุมีทิศทางของเวคเตอร์หักล้างกับกระแสที่ไหลเข้าโหลดทำให้ผลรวมทางเวคเตอร์ของ I_C + I_L มีขนาดลดลงหรือจะมองว่าเพราะต่อตัวเก็บประจุเข้าระบบแล้วทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟลดลงก็จึงทำให้กระแสลดลงด้วยจากแผนภาพนี้หากนำตัวเก็บประจุไปต่อขนานกับแหล่งจ่ายกระแสก็จะลดต่ำลงเฉพาะตำแหน่งที่แหล่งจ่ายเท่านั้นซึ่งหมายความว่าบัสบาร์กับหม้อแปลงมีกระแสไหลน้อยลงแต่ในสายไฟที่เดินไปยังโหลดกระแสยังคงมากอยู่แต่การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยต่อตัวเก็บประจุขนานกับแหล่งจ่ายนี้เป็นวิธีที่สะดวกและไม่ยุ่งยากจึงเป็นวิธีที่นิยมทำกัน

จากรูปที่ 2.9 ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก PF_1 เป็น PF_2 สามารถคำนวณพิกัดกำลังของตัวเก็บประจุในหน่วยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้จากสมการข้างล่างนี้

$$PF_1 = \frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{kVA_1}} = \cos\theta_1 \ , \quad PF_2 = \frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{kVA_2}} = \cos\theta_2 \qquad (2\text{-}1)$$

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

$$Q_1 = P \times \tan\theta_1 = kW \times \tan\theta_1 \qquad (2\text{-}3)$$

$$Q_2 = P \times \tan\theta_2 = kW \times \tan\theta_2 \qquad (2\text{-}4)$$

ขนาดของตัวเก็บประจุ

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

$$= kW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \qquad (2\text{-}5)$$

ในการนี้อาจใช้ตารางที่ 2.2 ประกอบการหาค่า $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ ได้โดยสะดวกเช่นต้องการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจาก

$PF_1 = 0.85$ (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

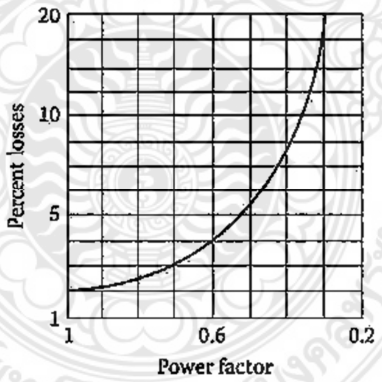
$PF_1 = 0.5$ (PF = 50 %) ไปเป็น $PF_2 = 0.95$ (PF = 95 %)

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

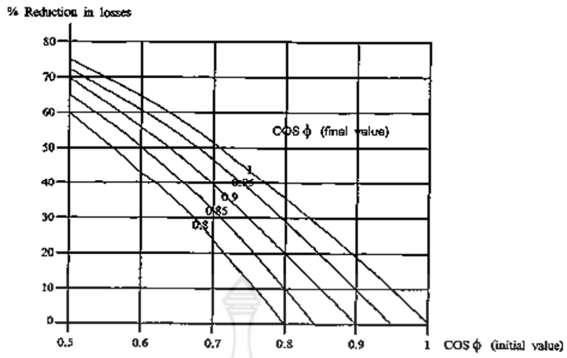
ตารางที่ 2.2 ค่าประกอบการคำนวณหาขนาด kVAr ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ค่า tan θ_1 – tan θ_2)

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
0.8	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

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นสามารถช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าลงได้ ดังที่แสดงในภาพที่ 2-10 โดยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียยังขึ้นอยู่กับความต้านทานในสายและความยาวของสายอีกด้วยส่วนภาพที่ 2-11 แสดงค่า % การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไปสู่ค่าต่างๆ



ภาพที่ 2-10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในสายไฟเทียบกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 2-11 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำจะเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบมากส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมากดังนั้นการแก้ให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้นทำให้ค่าไฟฟ้าลดลงแต่การแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์นี้ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มจึงต้องประเมินความคุ้มค่าด้วยโดยพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนในการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์กับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้จากการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆจะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแตกต่างกันแล้วแต่โครงสร้างภายในของอุปกรณ์นั้นๆจึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 2.4 ทำให้โรงงานและอาคารที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างชนิดกันมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วยโดยข้อมูลจากการสำรวจเป็นไปดังตารางที่ 2.5 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำนอกจากเกิดจากการใช้โหลดประเภทเหนี่ยวนำเป็นจำนวนมากแล้วยังเกิดจากการที่มอเตอร์ตัวใหญ่ขับโหลดหรือเกิดจากการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเป็นต้น

ตารางที่ 2.3 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
เครื่องปั๊มโลหะธรรมดา	60 – 70
เครื่องพ่นลมหรือพ่นสี	60 – 65
ตาหลอมโลหะแบบอาร์ก	65 – 75

ตารางที่ 2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานและอาคารประเภทต่างๆ

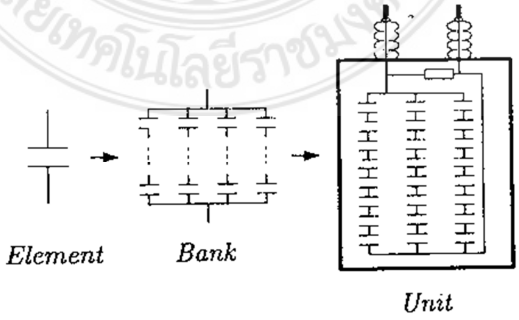
ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	PF (%)
เสื้อผ้า	35 – 60
สี	55 – 65
พลาสติก	55 – 70
ขึ้นรูปโลหะ	60 – 70
เครื่องจักรกล	60 – 75
ชุบหรือเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า	65 – 70
เคมี	65 – 75
ทอผ้า	65 – 75
เหล็กกล้า	65 – 75
เหมืองถ่าน	65 – 80
ตีหรือเผาเหล็ก	70 – 80

2.6 คาปาซิเตอร์แบงค์

คาปาซิเตอร์แบงค์ ก็คือตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) ขนาดใหญ่จำนวนหลายชุด ที่ใส่ขนานเข้ามาในระบบไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของระบบให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อที่จะไม่ต้องเสียค่าปรับและลดกำลังงานสูญเสียในระบบ

2.6.1 โครงสร้างของคาปาซิเตอร์

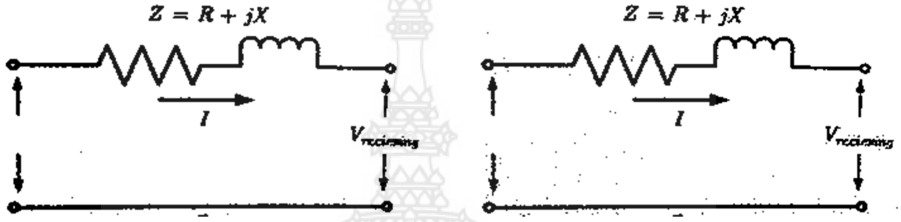
คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้งานทางไฟฟ้า โครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบด้วยไปด้วยแผ่นโลหะบางๆ สองแผ่นวางซ้อนทับกับฉนวนไดอิเล็กตริก ซึ่งในคาปาซิเตอร์หนึ่งตัวจะประกอบไปด้วยส่วนย่อยหลายๆส่วนมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการโดยเทคโนโลยีในการผลิดคาปาซิเตอร์ที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นต้องทำให้คาปาซิเตอร์สามารถทนอยู่ในสภาวะที่มีความเครียดทางไฟฟ้าสูงได้ภาพที่ 2-13 แสดงถึงโครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์



ภาพที่2-12 โครงสร้างพื้นฐานของคาปาซิเตอร์

2.6.2 หลักการทำงานพื้นฐานของคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบไฟฟ้า ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์นั้นต้องต่อขนานเข้าไปในระบบ คาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานเข้าไปในระบบจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอินดักทีฟโหลด โดยทำให้กระแสมีเฟสนำหน้าหักล้างกับองค์ประกอบที่เฟสล้าหลังของกระแสอินดักทีฟโหลดในจุดที่มีการติดตั้งคาปาซิเตอร์ จากหลักการข้างต้นสามารถแสดงภาพวงจรสมมูลก่อนแหละหลังติดตั้งคาปาซิเตอร์ได้ตามภาพที่ 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 การควบคุมด้วยเวลาเป็นต้นเนื่องจากคาปาซิเตอร์แบบคงที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้าสู่ระบบตลอดเวลาดังนั้นเวลาพิจารณาเลือกคาปาซิเตอร์ชนิดนี้ไปใช้งานต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดน้อยด้วยเพราะอาจทำให้เกิดแรงดันเกินที่จุดติดตั้งได้วิธีแก้ไขคือพิจาณาการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบปรับค่า

2.6.4 หน้าที่หลักของคาปาซิเตอร์แบงค์

1. ปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ เครื่องทำความร้อน เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เป็นต้น

2. แก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์อนุกรมกับรีแอคเตอร์ซึ่งเรียกรวมกันว่า ฟิลเตอร์แบงค์

3. แก้ปัญหาไฟกระพริบไฟกระเพื่อมโดยการใช้ไทริสเตอร์ในการตัดต่อคาปาซิเตอร์ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้อย่างรวดเร็ว

2.7 การติดตั้งตัวเก็บประจุ

ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้นต้องพิจารณาหลายด้านด้วยกันทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ด้านเทคนิคและการติดตั้งสำหรับระบบเดิมที่มีอยู่หรือติดตั้งใหม่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะสามารถติดตั้งได้หลายตำแหน่งในวงจรสามารถทำได้ 5 วิธี

2.7.1 ติดตั้งแบบแยก

ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของอุปกรณ์โดยตรง (เช่น มอเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า) และตัดต่อผ่านเบรกเกอร์หรือคอนแทกเตอร์ของอุปกรณ์นั้นๆ

ข้อดี

- ลดกระแสไฟฟ้าที่สายไฟฟ้าของอุปกรณ์ประมาณ 20-30%
- ลดความสูญเสียของสายไฟฟ้าของอุปกรณ์
- ลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายไฟฟ้าของอุปกรณ์
- ลดกระแสไฟฟ้าและความสูญเสียที่หม้อแปลงและตู้จ่ายไฟ

ข้อเสีย

- ต้องใช้คาปาซิเตอร์จำนวนมากสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัว
- อาจจะไม่ได้ใช้งานคาปาซิเตอร์บางตัว เนื่องจากอุปกรณ์ไม่ได้ทำงานพร้อมกันทั้งหมดในเวลาเดียวกัน

1. การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่มอเตอร์

การติดตั้งคาปาซิเตอร์โดยตรงที่มอเตอร์สามารถติดตั้งได้หลายวิธีดังนี้ขนาดคาปาซิเตอร์ต้องไม่เกิน 90% ของรีแอกทีฟเพาเวอร์ของมอเตอร์เมื่อไม่มีโหลด การใช้ขนาดคาปาซิเตอร์มากเกินไปมีผลต่อการกระตุ้นตัวเองของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์หยุดการทำงานมีผลทำให้เกิดแรงดันสูงมากเกินพิกัดที่ฉนวนไฟฟ้าของมอเตอร์โดยทั่วไปขนาดของคาปาซิเตอร์ ~ 35% ของ กำลังไฟฟ้าจริงมอเตอร์

- ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของมอเตอร์โดยตรงเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดใช้กับมอเตอร์

- ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของมอเตอร์โดยต่อผ่านคอนแทกเตอร์ K5 ใช้กับมอเตอร์ < 150 kW, 3 เฟส 400 V, 50 Hz มีคอนแทกเตอร์ตัดต่อคาปาซิเตอร์โดยเฉพาะป้องกันไฟย้อนกลับจากคาปาซิเตอร์ไปที่มอเตอร์ ขณะที่มอเตอร์หยุดการทำงาน

- ติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ขั้วต่อสายไฟฟ้าของมอเตอร์โดยผ่านคอนแทกเตอร์ K5 และฟิวส์ F02 ใช้กับมอเตอร์ทุกขนาดมีคอนแทกเตอร์ตัดต่อคาปาซิเตอร์โดยเฉพาะ ป้องกันไฟย้อนกลับจากคาปาซิเตอร์ขณะที่มอเตอร์หยุดการทำงาน และมีฟิวส์ป้องกันสำหรับคาปาซิเตอร์โดยตรง

การใช้ตัวคลายประจุไฟฟ้า ร่วมกับคาปาซิเตอร์ช่วยให้คลายประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยใช้เวลา 10 วินาทีถ้าใช้ตัวคลายประจุไฟฟ้าชนิดต้านทานที่ติดมาให้กับตัวคาปาซิเตอร์ก่อนเปิดปิดมอเตอร์ต้องรอการคลายประจุไฟฟ้า 1-3 นาที

2.7.2. วิธีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบกลุ่มย่อยติดตั้งคาปาซิเตอร์ตามกลุ่มย่อยของโหลดผ่านเมนคอนแทกเตอร์หรือเบรกเกอร์ เช่น กลุ่มของหลอดไฟแต่ละชั้นของอาคาร หรือกลุ่มย่อยของมอเตอร์ที่ติดตั้งแต่ละอาคาร

ข้อดี

- ลดการลงทุนค่าอุปกรณ์คาปาซิเตอร์
- ลดความสูญเสียในสายจ่ายไฟฟ้าย่อย
- ลดแรงดันไฟฟ้าตกในสายจ่ายไฟฟ้าย่อย
- ใช้คาปาซิเตอร์ได้คุ้มค่ามากขึ้น

ข้อเสีย

- ไม่ช่วยลดกระแส, ความสูญเสีย และแรงดันไฟตกที่สายไฟฟ้าต่อเข้าอุปกรณ์เช่น มอเตอร์หลอดไฟฟ้า

2.7.3 วิธีติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบศูนย์กลาง

ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบอัตโนมัติ ควบคุมด้วยเพาเวอร์แฟกเตอร์คอนโทรลเลอร์ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลักใกล้หม้อแปลง

ข้อดี

- ใช้ประโยชน์คาปาซิเตอร์ได้สูงสุด
- เป็นวิธีที่ประหยัดการลงทุนอุปกรณ์คาปาซิเตอร์มากที่สุด
- ดูแลง่าย
- ปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบอัตโนมัติ

2.7.4 ติดตั้งแบบผสม

ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบแยกที่มอเตอร์แต่ละตัว, ติดตั้งแบบกลุ่มย่อยและติดตั้งที่ศูนย์กลางช่วยลดกระแสความสูญเสียและแรงดันไฟฟ้าตกได้ดีที่สุดแต่การลงทุนจะสูงมากขึ้น

2.7.5 ติดตั้งแบบปรับเปลี่ยนตามโหลดทันทีทันใด

เนื่องจากโหลดบางชนิด เช่น ลิฟต์เครนเครื่องเชื่อมเครื่องม้วนเหล็ก กระดาษ พลาสติก ทำงานไม่ต่อเนื่อง เปิดปิดเร็วมากๆบางครั้งน้อยกว่า 1 นาที การใช้คอนแทกเตอร์ตัดต่อคาปาซิเตอร์ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้เร็วตามโหลด ต้องรอเวลาในการคลายประจุไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ นอกจากนั้นการตัดต่อคาปาซิเตอร์บ่อยครั้งเกินไปจะทำให้คอนแทกเตอร์และคาปาซิเตอร์มีอายุใช้งานลดลงอย่างมากในกรณีที่โหลดปรับเปลี่ยนเร็วต้องใช้ไทริสเตอร์เป็นตัวตัดต่อแทนคอนแทกเตอร์

ข้อดี

-ตัดต่อคาปาซิเตอร์ได้ทันทีทันใด

-ลดค่าปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์ – ลดค่าปรับดีมานด์

- ลดความสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้าตก

ข้อเสีย

- ลงทุนค่าอุปกรณ์สูงโดยทั่วไปไทริสเตอร์แพงกว่าคอนแทกเตอร์ประมาณ 5-10 เท่า

2.8 การเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมกับคาปาซิเตอร์

2.8.1 การเลือกตัวคลายประจุต้านทาน

ตัวต้านทานจะติดตั้งมากับคาปาซิเตอร์ เพื่อใช้คลายประจุไฟฟ้า ขนาดของตัวต้านทานจะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60831-1+2 กล่าวคือแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์จะลดลงเหลือ 75 V ภายในเวลา 3 นาทีโดยทั่วไปผู้ผลิตจะติดตั้งรีซิสเตอร์มาที่ขั้วคาปาซิเตอร์ เพื่อคลายประจุไฟฟ้าหลังจากตัดไฟเข้าคาปาซิเตอร์โดยลดแรงดันไฟฟ้าจาก 400 V เหลือ 75 V ภายในเวลา 1 นาทีเพื่อตัดต่อคาปาซิเตอร์ได้รวดเร็วมากขึ้น

2.8.2 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าและฟิวส์ป้องกันคาปาซิเตอร์

- ข้อแนะนำขนาดสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60831-1+2 คาปาซิเตอร์ต้องสามารถรับกระแสต่อเนื่องได้ 1.3 x In เพื่อรองรับแรงดันไฟฟ้าเกิน, ฮาร์โมนิกส์และความคลาดเคลื่อนประจุไฟฟ้าในการผลิตคาปาซิเตอร์ + 10% ดังนั้นขนาดสายไฟฟ้าต้องรับกระแสไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 1.35 x In (In = พิกัดกระแสของคาปาซิเตอร์)

- ข้อแนะนำขนาดฟิวส์โดยทั่วไปขนาดฟิวส์ = 1.6 - 1.8 เท่าของขนาดกระแสพิกัดของคาปาซิเตอร์เนื่องจากการตัดต่อคาปาซิเตอร์จะมีกระแสไฟฟ้ากระชากสูงมาก

- กระแสกระชากผ่านคาปาซิเตอร์

การตัดต่อคาปาซิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดต่อคาปาซิเตอร์ขนานเข้ากับคาปาซิเตอร์ที่ต่ออยู่แล้วภายในระบบ จะทำให้เกิดกระแสกระชากผ่านคาปาซิเตอร์สูงมากถึง 200 เท่า ของกระแสปกติเป็นเหตุให้หน้าคอนแทกของคอนแทกเตอร์หลอมละลาย และลดอายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์ ยิ่งไปกว่านั้นกระแสกระชากที่สูงมากนี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงมากขึ้นทันทีทันใด เป็นเหตุให้ฉนวนไฟฟ้าของอุปกรณ์เสียหาย และอายุการใช้งานสั้นลงการป้องกันกระแสกระชากผ่านคาปาซิเตอร์สามารถทำได้โดยใช้คอนแทกเตอร์ ชนิดมีความต้านทานป้องกันกระแสกระชาก

ตารางที่ 2.5 การเลือกขนาดสายไฟและฟิวส์ระบบ 400 V 3-เฟส 50 Hz ambient temp 35° C

ขนาดคาปาซิเตอร์	**พิกัดกระแส**	**ขนาดฟิวส์**	**ขนาดสายไฟทองแดง ชนิด VSF**
kVAr	**A**	**A**	**(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

- เพิ่มประสิทธิภาพโดยมีความสูญเสียน้อยกว่า 0.33%
- เงินลงทุนต่ำสามารถนำมาใช้ในระบบที่มีขนาดเล็กได้
- มีความยืดหยุ่นมากเพราะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้
- ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ไม่มีเสียงดังในการทำงานการเสื่อมสภาพการทำงานต่ำและไม่ต้องมีการบำรุงรักษา
- สามารถติดตั้งในบริเวณใดก็ได้ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย
- ปลดออกและต่อเข้ากับโหลดได้รวดเร็วและง่ายสามารถเปลี่ยนจากโหลดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งได้

ข้อเสีย

- การเกิดแรงดันเกินเมื่อปลดโหลดออกดังนั้นจึงควรติดตั้งระบบควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติ
- การเกิดเรโซแนนซ์เมื่อใช้กับโหลดที่มีฮาร์มอนิกทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเกิดความเสียหายทำงานผิดพลาดหรือมีอายุการใช้งานสั้น

2.10 ข้อควรระวังในการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

- เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่จุดใดแล้วแรงดันไฟฟ้าที่จุดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมดังนั้นการเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย

- จุดที่ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าควรมีการระบายความร้อนดีพอสมควรเพราะความร้อนยิ่งสูงจะทำให้อายุการใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสั้นลง

- การติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์โดยตรงต้องเลือกขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าให้ดีและต้องติดตั้งให้ถูกวิธีมิฉะนั้นมอเตอร์จะเสียหายได้

- ถ้าจะติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าชุดคาปาซิเตอร์แบงค์ควรใช้แบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อป้องกันอันตรายจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปในระบบมากเกินไป

- อุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่างเช่นวงจรเรียงกระแสและเตาเผาแบบอาร์กสร้างฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบเมื่อต้องการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าต้องระวังปัญหาที่อาจจะเกิดจากฮาร์มอนิกซึ่งจะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์และจะทำให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเสียหายทันทีในกรณีนี้ต้องให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญช่วยออกแบบชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ป้องกันขึ้นเป็นพิเศษ

2.11 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้เหมาะสม

2.11.1. ช่วยลดค่าปรับจากการไฟฟ้าเนื่องจากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่า 0.85

กรณีที่ระบบไฟฟ้าของผู้ใช้มีค่า P.F. ต่ำ การไฟฟ้าจะต้องรับภาระในการจ่าย กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเป็นจำนวนมาก ต้องใช้เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งทรัพยากรที่มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถผลิต กำลังไฟฟ้าทั้งใน ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตามความต้องการของผู้ใช้ แต่ที่จริงแล้วกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟผู้ใช้สามารถสร้างเองได้โดยใช้ คาปาซิเตอร์ดังนั้นการไฟฟ้าจึงออกกฎเพื่อควบคุมค่า 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 โดยทั่วไปชุดคาปาซิเตอร์จะประกอบด้วยวงจรคายเมื่อวงจรคายประจุเสียหายไม่ทำงาน อันตรายจากไฟฟ้าดูดก็จะคงมีอยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นเมื่อจำเป็นต้องทดสอบด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดคาปาซิเตอร์ ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ การปฏิบัติงานบำรุงรักษาต้องเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 70E

2.12.2 การตรวจดูด้วยสายตาและการทำความสะอาด

การตรวจดูด้วยสายตาก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน มองหาว่ามีชิ้นส่วนใดบ้างที่เปลี่ยนสีมีคาปาซิเตอร์ตัวใดบ้างที่บวมหรือรั่ว หรือมีร่องรอยที่เกิดความร้อนเกินหรือมีความชื้นเกิดขึ้นที่คาปาซิเตอร์ ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนชุดกรองอากาศของพัดลมระบายอากาศ ทำความสะอาดภายในชุดคาปาซิเตอร์โดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ ห้ามใช้เครื่องเป่าชนิดอัดอากาศเพราะฝุ่นจะกระจายเข้าไปสะสมอยู่ซอกเล็กซอกน้อยภายในตู้ ก่อนจะจ่ายไฟให้กับชุดคาปาซิเตอร์ ต้องทำการทดสอบความเป็นฉนวน ที่บัสบาร์โดยการวัดระหว่างเฟส–เฟส และเฟสกับกราวด์ด้วย

2.12.3 ตรวจสอบอินฟราเรด(Infrared Inspection)

เครื่องมือที่มีคุณค่าในการตรวจหาจุดที่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติของชุดคาปาซิเตอร์ก็คืออุปกรณ์ Thermal Imager ก่อนทำการตรวจวัดต้องจ่ายไฟให้กับชุดคาปาซิเตอร์ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง เริ่มต้นให้ตรวจดูหน้าจอแสดงผลของชุดควบคุมคาปาซิเตอร์ว่าได้ต่อคาปาซิเตอร์ครบทุก Stage ขั้นต่อไปตรวจให้แน่ใจว่าพัดลมระบายอากาศทำงานได้ปกติ 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 มัลติมิเตอร์และคลิปแอมป์โดยใช้มัลติมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไหลเข้าชุดควบคุมอัตโนมัติที่ไหลผ่านหม้อแปลงกระแสที่ติดตั้งอยู่ในตู้เมนไฟฟ้าแรงต่ำ และใช้คลิปแอมป์วัดค่าตัวนำทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส

2.12.5 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

การวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต้องใช้เครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าเหล่านี้ได้พร้อมกันได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และ ดีมานด์ในช่วงเวลาอย่างน้อย 1 วินาที ซึ่งเครื่องมือวัดชนิดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไม่สามารถใช้วัดได้ ต้องใช้เครื่องมือ วิเคราะห์ คุณภาพไฟฟ้าw/คลิปแอมป์ตรวจวัดค่าที่ต้องการนี้ ค่าที่วัดได้จะเป็นข้อมูลอ้างอิงของระบบไฟฟ้ากำลังของโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องมือวัดชนิด Power Logger ก็เป็นเครื่องมือวัดชนิดคุณภาพไฟฟ้า อีกประเภทหนึ่งซึ่งสามารถใช้งานได้ ซึ่งสามารถตรวจติดตามวัดค่าทางไฟฟ้าของโหลดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังตลอดช่วงเวลา 30 วัน ทำให้เราสามารถเข้าใจคุณลักษณะของโหลด และการทำงานของโหลดได้ดียิ่งขึ้น

2.12.6 เครื่องวัดค่าคาปาซิแตนซ์

ก่อนจะวัดค่าคาปาซิแตนซ์ ให้ปลดชุดคาปาซิเตอร์ออกจากวงจรไฟฟ้าและรออยู่ช่วงเวลาหนึ่งตามที่ผู้ผลิตแนะนำเพื่อให้ชุดคาปาซิเตอร์คายประจุ ขณะทำการวัดให้สวมชุดป้องกันทำการตรวจวัดดูเครื่องมือวัดที่มีพิกัดที่เหมาะสมว่าไม่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ อยู่ ปฏิบัติตามขั้นตอนของการบำรุงรักษาและซ่อมบำรุงในการติดป้ายและล็อคอุปกรณ์ก่อนวัดค่า ใช้มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีพิกัดที่เหมาะสม ตั้งค่าพิกัดการวัดไปที่ 1,000 VDC ตรวจสอบแต่ละระยะโดยวัดค่าในกรณี เฟสต่อเฟส และ เฟสต่อกราวด์ไม่ควรมีค่าแรงดันไฟฟ้าเหลืออยู่ แต่ถ้าวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้แสดงว่าคาปาซิเตอร์อาจจะยังไม่ได้คายประจุ ถ้าวัดค่าแล้วได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ ให้วัดค่าคาปาซิแตนซ์ของชุดคาปาซิเตอร์และเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่ระบุไว้ของผู้ผลิตเพื่อเปรียบเทียบ

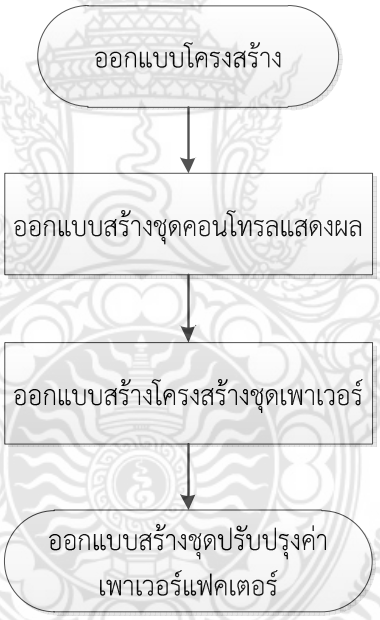
บทที่ 3
การออกแบบและการประกอบสร้าง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและประกอบสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง โดยเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่ 1 คือ การออกแบบโครงงาน ส่วนที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบสร้างและสุดท้ายส่วนที่ 3 คือ ผลการออกแบบและประกอบสร้าง ตลอดจนวิธีการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงการทั้งหมดจนเสร็จสิ้น

3.2 การออกแบบการวิจัย

3.2.1 บล็อกไดอะแกรมการการออกแบบและประกอบสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง



ภาพที่ 3-1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมที่ 1 การออกแบบเป็นการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบกลุ่มย่อยติดตั้งคาปาซิเตอร์ตามกลุ่มย่อยของโหลดผ่านเมนคอนแทกเตอร์หรือเบรกเกอร์ เช่น กลุ่มของหลอดไฟแต่ละชั้นของอาคาร หรือกลุ่มย่อยของมอเตอร์ที่ติดตั้งแต่ละอาคาร จากบล็อกไดอะแกรมที่ 2 เป็นการออกแบบชุดคอนโทรลการวางออกแบบชุดคอนโทรลต้องติดตั้งฟิวส์เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์และผู้ใช้ และจากบล็อกไดอะแกรมที่3 การออกแบบสร้างชุดเพาเวอร์ ซึ่งชุดเพาเวอร์ต้องใช้สายขนาดใหญ่เพื่อเพียงพอต่อโหลด ส่วนบล็อกไดอะแกรมที่สี่คือการสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงความปลอดภัยของผู้ใช้ ดังภาพที่ 3-1

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบสร้างชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง

ชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

3.3.1 คาปาซิเตอร์ ขนาด 0.83, 1.5, 2.5 เควาร์

3.3.2 แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ 32 แอมป์

3.3.3 ฟิวส์ 4 แอมป์

3.3.4 เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์ 30/5 แอมป์

3.3.5 เบรกเกอร์ 30 แอมป์

3.3.6 ซีเล็คเตอร์สวิตช์

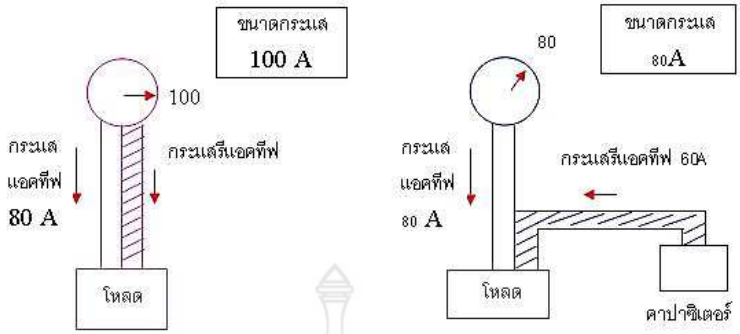
3.3.7 ไพลอตแลมป์

3.3.8 เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์รุ่น RG3-12C

3.3.1 คาปาซิเตอร์

ในการสร้างชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังเลือกใช้คาปาซิเตอร์สำหรับ single phase ขนาด 0.83 kvar จำนวน 3 ตัว สำหรับ three phase 5 kvar 1 ตัว 2.5 kvar 2 ตัว เพื่อชดเชยค่า reactive power ที่ต่างกันดังภาพที่ 3-2 หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์คาปาซิเตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้ารีแอคทีฟ ถ้ากระแสไฟฟ้า มีทิศทางนำหน้าแรงดัน (Leading) เพื่อทำหน้าที่ชดเชยกระแสไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปกระแสจะล้าหลังแรงดัน (lagging) ดังภาพที่ 3-2

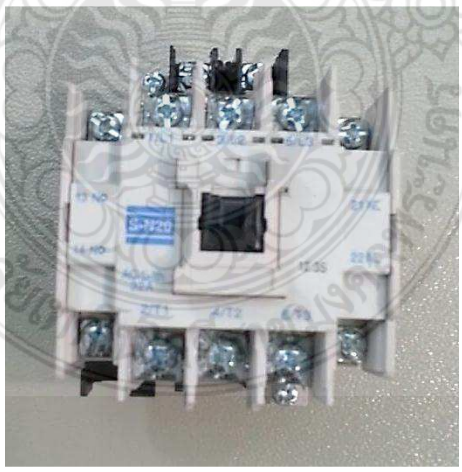
ภาพที่ 3-2 คาปาซิเตอร์



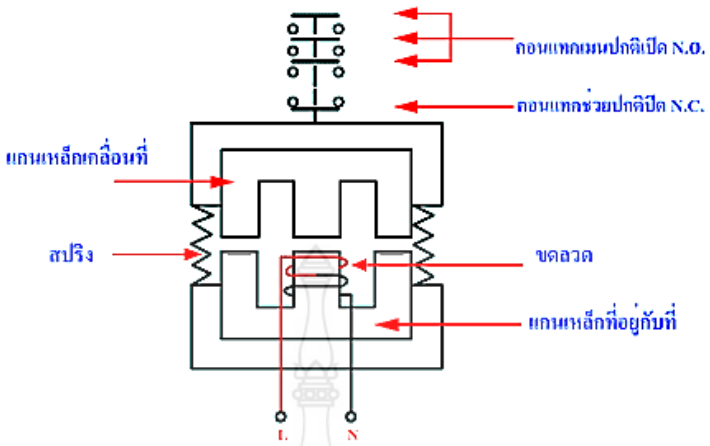
ภาพที่ 3-3 หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์

3.3.2 แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ขนาด 32 แอมป์

เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยใช้อำนาจแม่เหล็กในการเปิด ปิดหน้าสัมผัส ในการควบคุมวงจรมอเตอร์เราสามารถเรียกอีกชื่อว่า สวิตช์แม่เหล็กหรือคอนแทคเตอร์ดังภาพที่ 3-4 หลักการทำงานของแมคเนติกส์คอนแทคเตอร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่ขากลางของแกนเหล็กจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กจะสามารถชนะแรงสปริงได้ ดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะเปิดคอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน คือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดก็จะกลับไปสู่สภาวะเดิม ดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-4 แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ขนาด 32 แอมป์



ภาพที่ 3-5 หลักการทำงานของแมคเนติกส์คอนแทคเตอร์

3.3.3 ฟิวส์

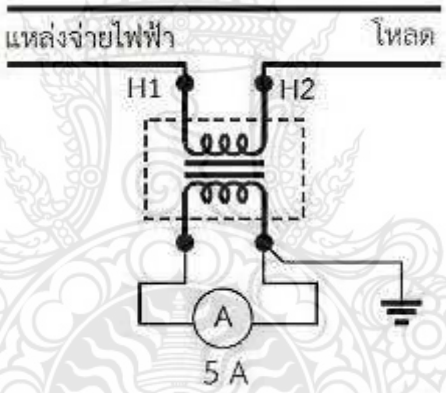
ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรล โดยทำหน้าที่เหมือนตัวนำตัวหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อเกิดกระแสเกินพิกัด หรือกระแสลัดวงจร ที่มีค่ามากกว่ากระแสที่ฟิวส์ทนได้ จะทำให้ฟิวส์ทำให้วงจรขาดและกระแสไม่ไหลอีกต่อไป เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์และผู้ใช้ดังภาพที่ 3-6

ภาพที่ 3-6 ฟิวส์ขนาด 4แอมป์

3.3.4 เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์ 30/5 แอมป์

ในการสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังใช้ เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์ 30/5 แอมป์จำนวน 3 ตัวมาใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายไฟฟ้าในแต่ละเฟสดังภาพที่ 3-5 หลักการทำงานของ เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์ดังภาพที่ 3-8

ภาพที่ 3-7 เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์ 30/5 แอมป์

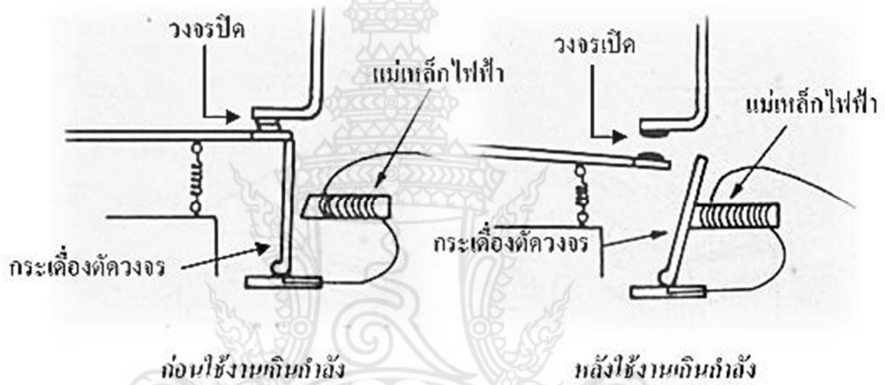


ภาพที่ 3-8 หลักการทำงานของ เคอร์เรนท์ทรานสเฟอร์เมอร์

3.3.5 เบรกเกอร์

ในการออกแบบชุดจำลองใช้ เบรกเกอร์ 30A 3Ø AC จำนวน 1 ตัว เพื่อเป็นอุปกรณ์จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง รวมถึงเป็นอุปกรณ์ป้องกันของอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังอีกด้วยดังภาพที่ 3-9 หลักการทำงานของเบรกเกอร์ดังภาพที่ 3-10

ภาพที่ 3-9 เบรกเกอร์



ภาพที่ 3-10 หลักการทำงานของเบรกเกอร์

3.3.6 ซีเล็คเตอร์สวิตช์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมวงจรไฟฟ้า เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจร หรือตัดกระแสไฟไม่ให้ไหลผ่านวงจรได้ตามที่ต้องการหรือให้วงจรทำงานอัตโนมัติโดยการบิดให้คอนแทค ที่อยู่ภายในเปลี่ยนสถานะเป็น ปิดเปิดอัตโนมัติในการติดตั้งใช้ซีเล็คเตอร์สวิตช์แบบ 3 ทิศทางดังภาพที่ 3-11

ภาพที่ 3-11 ซีเล็คเตอร์สวิตช์

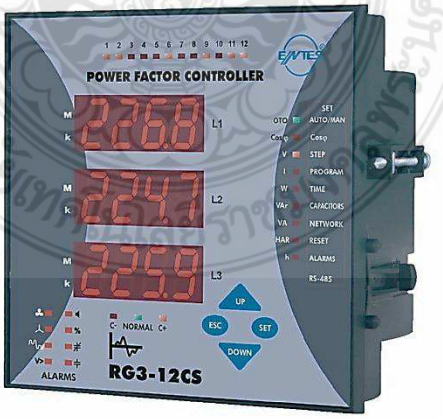
3.3.7 ไพลอตแลมป์

ไฟแสดงสถานะ มีประโยชน์ในการแสดงอาการผิดปกติของระบบ การเฝ้าระวังระบบกระบวนการผลิต และการตรวจซ่อมระบบ ทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยหรือไม่เกิดเลย ผู้ดูแลระบบก็สามารถแก้ไขปัญหาได้ง่ายในการติดตั้งใช้เป็นหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของ คาปาซิเตอร์ ดังภาพที่ 3-12

ภาพที่ 3-12 ไพลอตแลมป์

3.3.8 เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์

ในการติดตั้งการควบคุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ใช้เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์ รุ่น RG3-12C ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์แล้วนำมาประมาลผลในการตัดต่อการทำงานของ คาปาซิเตอร์เข้าระบบเพื่อให้ตัวประกอบกำลังมีค่าตามที่ต้องการอยู่เสมอดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์ รุ่น RG3-12C

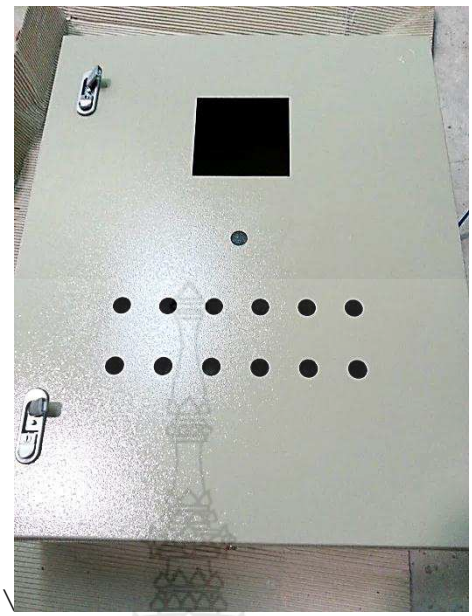
MODELS	RG3-12C
SPECIFICATIONS	
Electrical Parameters	
Operating Voltage (Un)	3x220VAC , 3x230V AC , 3x240V AC ; 50/60 Hz
Operating Current	50mA-5.5A
Capacitor Steps	12
Network Type	3-phase / 4-wire (Star) 3-phase / 3-wire (Delta) - optional
Accuracy	1%±digit(V,I,cosØ); 2%±digit(W, VAr, VA)
Current Transformer Ratio	1 - 2000
Power Consumption	<2VA (Current Circuit),<3VA-10VA (Voltage Circuit)
CosØ Setting	0.85<cosØ<1 (inductive)
C/k Setting	0.02-1.00
C/k Setting 0.02-1.00 Time Delay Between Steps	Switching on & off and discharge times can be set between 1 - 1800 sec.
Over Voltage Setting	260V AC
Output Contact	3A, 750 VA

ภาพที่ 3-14 คุณสมบัติเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลเลอร์ รุ่น RG3-12C

3.4 ผลการออกแบบและประกอบสร้าง

3.4.1 ในการสร้างอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์ คอนโทรลเลอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และอุปกรณ์ตัดต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์โดยจำนวนหรือขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ต้องการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่ากำลังงานรีแอคทีฟที่เกิดขึ้นในระบบในขณะนั้น โดย เพาเวอร์แฟคเตอร์ คอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจวัดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบและจะสั่งการให้ แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ต่อหรือปลดคาปาซิเตอร์จากระบบเพื่อให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ตามต้องการ

3.4.2 เริ่มต้นด้วยการสั่งประกอบโครงสร้างชิ้นงานขนาด 60x75x20 เซนติเมตร โดยการออกแบบการติดตั้งของอุปกรณ์เพื่อทราบขนาดของโครงสร้าง ดังภาพที่ 3-15 ติดตั้งชุดคอนโทรลประกอบด้วย เพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรล ซีเล็คเตอร์สวิตช์ไฟแสดงสถานะดังภาพที่ 3-16 ติดตั้งชุดเพาเวอร์ประกอบด้วย เบรกเกอร์ แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ คาปาซิเตอร์ รางเดินสายไฟ ดังภาพที่ 3-17 วายริ่งสายไฟชุดคอนโทรลกับชุดเพาเวอร์เข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 3-18 ก็จะได้อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังดังภาพที่ 3-19 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังดังภาพที่ 3-20



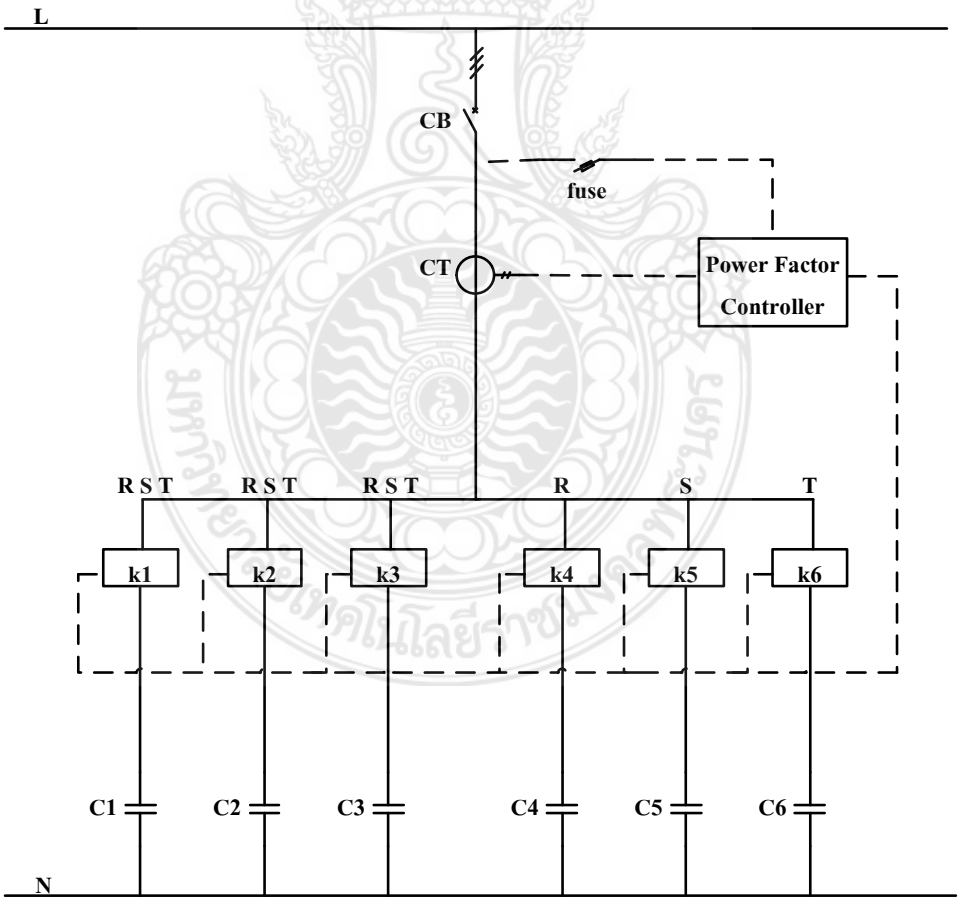
ภาพที่ 3-15 โครงสร้างชิ้นงานขนาด 60x75x20 เซนติเมตร

ภาพที่ 3-16 การติดตั้งชุดคอนโทรล

ภาพที่ 3-17 การติดตั้งชุดเพาเวอร์

ภาพที่ 3-18 ประกอบชุดคอนโทรลกับชุดเพาเวอร์

ภาพที่ 3-19 อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง



ภาพที่ 3-20 ไดอะแกรมอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการทดลอง

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. เพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังให้เกิน 0.85 ขึ้นไป

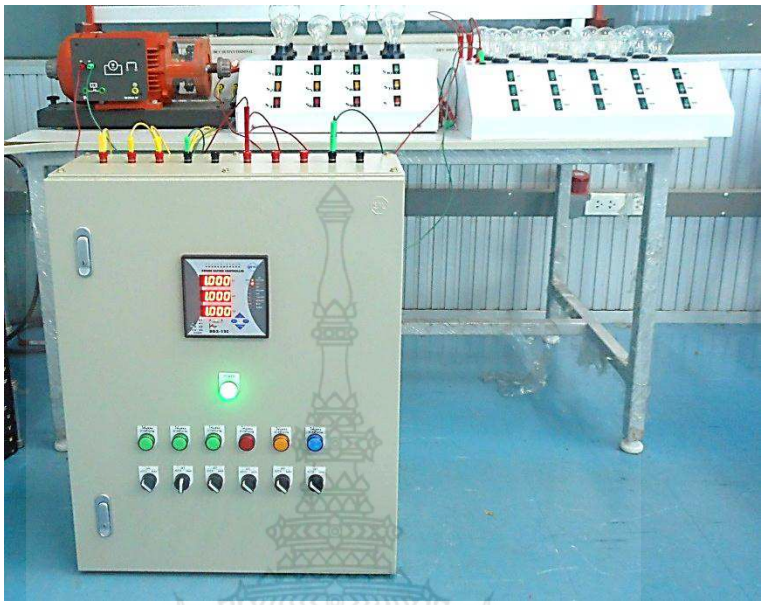
อุปกรณ์ในการทดลอง

1. แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส
2. อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลัง
3. มอเตอร์ 1 เฟสขนาด 1กิโลวัตต์
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. บันทึกค่าที่อ่านได้จากเพาเวอร์แฟคเตอร์คอนโทรลลงในตารางที่ 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 ก่อนการขนานคาปาซิเตอร์เข้าระบบเพื่อจ่ายค่ารีแอคทีฟค่าที่ได้คือต่ำกว่า 0.85 ส่วนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าสูง เพราะค่า cosθ ที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.85 ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบมีมาก ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จึงมีค่าที่สูง หลังจากที่ขนานคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบ เมื่อจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะลดลง 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 ทำให้อุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ

บทที่ 5
การสรุปปัญหาการจัดสร้างและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในการจัดทำอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

5.2 การสรุปผลการจัดสร้าง

5.3 สรุปผลการทดลอง

5.4 ปัญหาการจัดสร้าง

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.2 การสรุปผลการจัดสร้าง

ในการจัดสร้างนั้นเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ถ้าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบไฟฟ้าต่ำจะส่งผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วยและถ้าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนดก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม จึงได้ทำการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์ พร้อมทั้งประกอบชิ้นงานทำการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์

5.3 สรุปผล

จากผลการทดลอง การเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ช่วงที่ตัดและช่วงต่อคาปาซิเตอร์จะเห็นได้ว่าช่วงที่ทำการจ่ายค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ให้กับระบบไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ จะมีค่าสูงเนื่องจากรีแอคทีฟต่ำกว่าที่กำหนด และทำให้ค่า $\cos\theta$ มีค่าต่ำลงไปด้วยเมื่อได้ติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังเข้าไปในระบบไฟฟ้าค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพาเวอร์จะลดลงและค่า $\cos\theta$ จะเพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามที่การไฟฟ้ากำหนดซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.85

การให้ระบบชดเชยค่ารีแอคทีฟของระบบคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์ทำงานผลการทดลองที่ได้คือระบบคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์จะคำนวณหาค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน เมื่อระบบคอนโทรลเลอร์คำนวณค่ารีแอคทีฟเพาเวอร์ได้แล้วจะทำการชดเชยค่ารีแอคทีฟที่ค่าเหมาะสมกับค่ารีแอคทีฟที่ต้องการใช้ในระบบไฟฟ้าถ้าคาปาซิเตอร์สเต็ปที่ 1 อยู่ตำแหน่งปิดหรือไม่พร้อมใช้งานระบบควบคุมคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์ก็จะเรียกสเต็ปการทำงานลำดับที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ถ้าสเต็ปของคาปาซิเตอร์ปิดทั้งหมด 6 สเต็ป ระบบคอนโทรลเลอร์คาปาซิเตอร์จะเรียกค่ารีแอคทีฟอยู่เรื่อยๆตามเวลาที่ตั้งไว้จนกว่าจะมีสเต็ปของคาปาซิเตอร์พร้อมใช้งานเพื่อให้ได้ค่ารีแอคทีฟที่เพียงพอต่อในระบบไฟฟ้า

5.4 ปัญหาการจัดสร้าง

ปัญหาการจัดสร้างคือ การหาโหลดมาทดลองเพื่อบันทึกผลการทดลองเพราะโหลดทั่วไปที่ใช้ในปัจจุบันมีมากเกินกว่าอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังที่จัดใช้คาปาซิเตอร์ที่ต่ำกว่าการใช้งานในปัจจุบัน

5.5 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบชุดอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังนั้นควรคำนวณหาค่ารีแอคทีฟตามความต้องการในระบบไฟฟ้าเพื่อที่เราจะนำอุปกรณ์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังไปต่อเข้าระบบเสียก่อนเพื่อจะได้จัดซื้ออุปกรณ์ได้ตามความต้องการของระบบ

บรรณานุกรม

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

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

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

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

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

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

[7] 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

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

[9] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(อาคาร) (2553). ระบบไฟฟ้ากำลัง. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558 เข้าถึงได้ จาก https://cdn.fbsbx.com/hphotos-xpa1/v/t59.2708-21/11153960_904949462898829_350790885_n.pdf

[10] ชัด อินทะสี. 2554. การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[11] ธวัช สิริสังกาส. 2550. การหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมเพื่อกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลดโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค. วิยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[12] บุญเย็น อุ่นจิตร์. 2549. การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์. วิยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

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

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

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

[16] Power Factor (PF.). (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2558. เข้าถึงไดhจาก : https://cdn.fbsbx.com/hphotos-xap1/v/t59.2708-21/11168249_ 904949366232172_953944400_n.docx

ภาคผนวก ก

รูปภาพ	รายการ	ราคา
	ตู้ขนาด 60x75x20 cm	3,800 บาท
	เพาเวอร์แฟคเตอร์ คอนโทรลเลอร์	14,220 บาท
	เคอร์เรนท์ ทรานสเฟอร์เมอร์ 3 ตัว	198 บาท
	ไพล็อต แลมป์ 7 ตัว	210 บาท
	ซีเล็คเตอร์สวิตช์ 6 ตัว	225 บาท

รูปภาพ	รายการ	ราคา
	เบรกเกอร์ 30 แอมป์	540 บาท
	คาปาซเตอร์ 6 ตัว	8,250 บาท
	แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 6 ตัว	2,380 บาท

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

การศึกษา

ปร.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

งานวิจัยที่สนใจ

การวางแผนและปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับสามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง
ใบอนุญาตผู้ตรวจสอบอาคาร

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) วุฒิสมาชิก ตลอดชีพ
- Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand (ECTI Thailand)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
- The Institution of Engineering and Technology (IET)
- International Association of Computer Science and Information Technology (IACSIT)

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณ ชลังสุทธิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: aroon.c@rmutp.ac.th

การศึกษา

ค.อ.ม.(บริหารอาชีวะและเทคนิคศึกษา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อส.บ.(เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

งานวิจัยที่สนใจ

ระบบไฟฟ้ากำลัง และการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับภาคีวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)