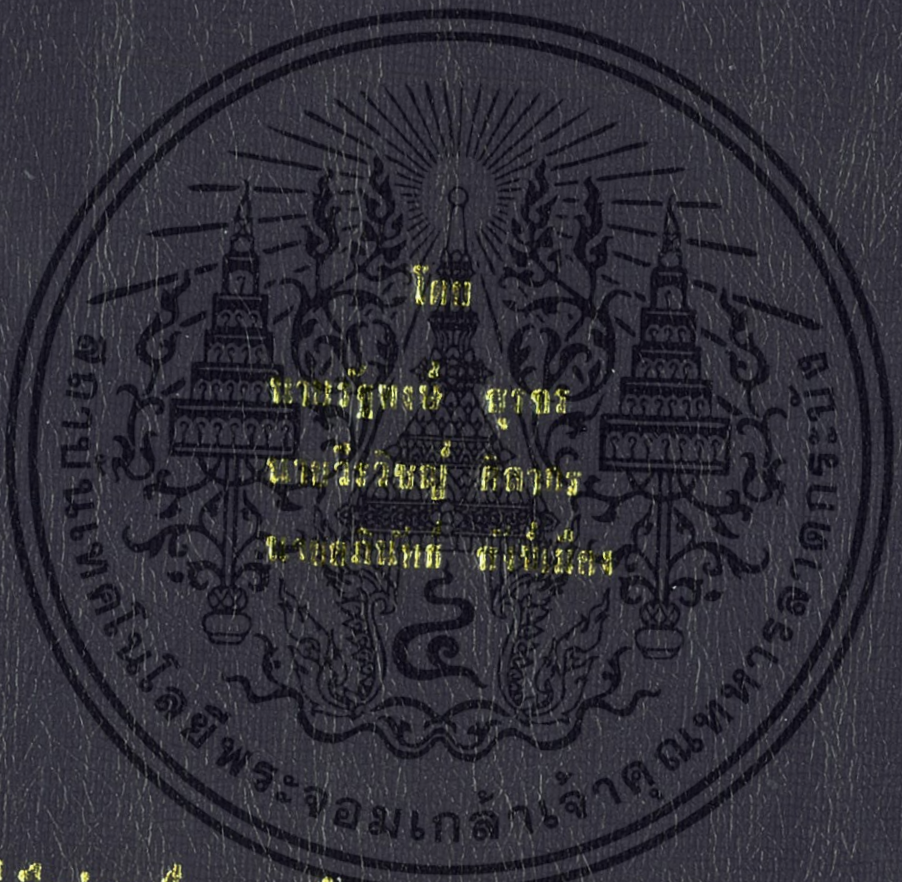
การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานสำหรับอาคาร

A Study of STATCOM for Power Quality Enhancement and Energy Conserving in a Building



โดย

นายภัทรชัย ชูกาย

นายวีรวัชญ์ ศิลาทร

นายอภินันท์ ชีบัวเผื่อน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร

A Study of STATCOM for Power Quality Enhancement and Energy Conserving in a Building

โดย

นาย รัฐพงษ์ สุรจร

นาย วีรวิชญ์ ศิลากร

นาย อภินัทธ์ สังข์เมือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of STATCOM for Power Quality Enhancement and Energy Conserving in a Building

RATTAPONG SURAJORN
WEERAWIT SILAKORN
APINAT SUNGMUANG

A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMWNT FOR
THE DEGREE OF BECHELER OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร

A Study of STATCOM for Power Quality Enhancement and Energy Conserving in a Building

โดย

นาย รัฐพงษ์ สุรจร

นาย วีรวิชญ์ ศิลากร

นาย อภินันท์ สังข์เมือง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นิรุธ จิรสุวรรณกุล

รศ.ดร. สมชาติ จิริวิภากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร

ผู้จัดทำ

1. นาย รัฐพงษ์ สุรจร
2. นาย วีรวิชญ์ ศิลากร
3. นาย อภินัทธ์ สังข์เมือง



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิริวิภากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร

นาย รัฐพงษ์ สุรจร
นาย วีรวิชญ์ ศิลากร
นาย อภินัทธ์ สังข์เมือง
ดร. นิรุธ จิรสุวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยการประยุกต์ใช้ STATCOM ซึ่งจะศึกษาพฤติกรรมในการทำงานของ STATCOM เมื่อต่อเข้ากับระบบโหลดที่เปลี่ยนแปลงเสมือนโหลดจริงของระบบไฟฟ้าในอาคาร อีกทั้งยังศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยการจำลองโครงงานนี้จะสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า พาวเวอร์แฟคเตอร์และการชดเชยกำลังงานเสมือนให้ระบบไฟฟ้าในอาคารเพื่อบอกถึงคุณภาพไฟฟ้า แล้วนำไปเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคารที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย Capacitor Bank ซึ่ง STATCOM เป็นการปรับปรุงที่ทำให้คุณภาพไฟฟ้าดีกว่า Capacitor Bank แต่อย่างไรก็ตามเราจะทำการทดลองเพื่อยืนยันผลจากข้อมูลที่ได้ศึกษามา โดยโครงงานนี้จะสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB SIMULINK สุดท้ายนี้ด้วยการออกแบบและข้อมูลจากการจำลองระบบในโครงงานนี้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ จะทำให้มีผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในอาคารน่าเชื่อถือและดีมากขึ้น แล้วยังส่งผลช่วยในการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคารอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of STATCOM for Power Quality Enhancement and Energy Conserving in a Building

Mr. Ratapong Surajorn
Mr. Weerawit Silakorn
Mr. Apinat Sungmuang
Dr. Nirudh Jirasuwankul Advisor
Assoc.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn Advisor
Year 2014

ABSTRACT

This project introduces power quality improvement of electrical system in a building by studying of STATCOM. A simulation study intends to virtually represent the effects of power quality on electrical system and energy conserving in the building, which focuses on operating behavior of STATCOM when connected to constant and varying loads during daily demands. The case study of simulation comprises of applications of STATCOM, capacitor bank and without any compensation device to the system, and the observed parameters are voltage, real power, power losses, power factor and reactive power. Additionally, to get the best results of power quality improvement, an appropriate position of STATCOM installation point in the system will has been examined.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดีด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. นิรุธ จิรสุวรรณกุล และ รศ.ดร. สมชาติ จิริวิภากรที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีโดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ เจ้าหน้าที่ห้องสมุดที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลและผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกๆท่าน

สุดท้ายนี้สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนและกรุณาอนุเคราะห์ทุนการศึกษา รวมทั้งให้กำลังใจจนให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	3
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)	6
2.1.1 นิยามและความสำคัญ	6
2.1.2 ที่มาและปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้น	6
2.1.3 วิธีแก้ไขและป้องกันปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า	7
2.2 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	9
2.2.1 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ	11
2.2.2 ผลของเพาเวอร์แฟกเตอร์สูง	11
2.2.3 การออกแบบปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง	13
2.2.4 ผลเสียที่เกิดจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง	15
2.3 การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	15
2.3.1 การใช้อุปกรณ์ชดเชยชนิด Uncontrolled Reactive Compensat	16
2.3.2 การใช้อุปกรณ์ชดเชยชนิด Controlled Reactive Compensation	16
2.4 Static Synchronous Compensator (STATCOM)	17
2.5 Capacitor Bank	20
2.5.1 การต่อ Capaciter bank	20
2.5.2 หน้าที่หลักของ Capacitor Bank	21
2.6 โหลดและลักษณะการใช้ไฟฟ้า	21
2.6.1 การจำแนกกลุ่มของโหลดตามขนาด	21
2.6.2 ลักษณะการใช้ไฟฟ้า	22
2.6.3 กราฟของโหลด (Load Curve)	22
บทที่ 3 การออกแบบและควบคุมระบบ	24
3.1 การประยุกต์ใช้ STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบแบบจำลอง STATCOM 24
3.3 การจำลองในโปรแกรม MATLAB SIMULINK 25
3.3.1 การออกแบบภาระทางไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร 25
3.3.2 การออกแบบตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ Static Synchronous Compensator (STATCOM) 30
3.3.3 การออกแบบตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบ Capacitor Bank 52
บทที่ 4 ผลการจำลองระบบและวิเคราะห์ผล 55
4.1 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ตำแหน่ง Transformer 55
4.2 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ตำแหน่งสายประธาน 63
4.3 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ตำแหน่ง MDB 65
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ 69
5.1 สรุปผลของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละกรณี 69
5.2 สรุปผลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละกรณี 69
5.3 สรุปผลของกำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละกรณี 69
5.4 สรุปผลของกำลังไฟฟ้าเสมือนในแต่ละกรณี 70
5.5 สรุปผลของกำลังไฟฟ้าปรากฏในแต่ละกรณี 70
5.6 สรุปผลของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในแต่ละกรณี 70
เอกสารอ้างอิง 72
ภาคผนวก 73
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ 74
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร 79
ประวัติผู้เขียน 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) ต่างๆโดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น	2
2.1 ลักษณะรูปคลื่น Surge มาตรฐาน IEEE C62.41 (Impulsive Transient)	7
2.2 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เกิด Sag/Swell	8
2.3 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดความผิดเพี้ยน	8
2.4 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นแรงดันกระเพื่อม	9
2.5 กำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบสามารถลดลงได้โดยการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	10
2.6 กระแสที่ไหลผ่านโหลดก่อนและหลังปรับค่า PF	12
2.7 การลดลงของกระแสรวมในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการปรับปรุงค่า PFเข้าใกล้ 1.0	12
2.8 การลดลงของกำลังงานสูญเสียรวมในระบบส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการปรับปรุงค่า PF เข้าใกล้ 1.0	13
2.9 วงจร Static VAR Compensator	16
2.10 Flexible AC Transmission Systems (FACTS) Family	17
2.11 แนวความคิดและหลักการทำงานของ SVG/STATCOM	18
2.12 คุณลักษณะแรงดัน -กระแสขณะทำงาน SVG/STATCOM เปรียบเทียบกับ SVC	19
2.13 เปรียบเทียบกราฟของโหลดเชิงอุดมคติและกราฟของโหลดที่ใช้จริง	22
2.14 ตัวอย่างกราฟของโหลดประจำวัน (24 ชั่วโมง)	22
2.15 ตัวอย่างกราฟของโหลดที่ใช้จริงประจำวัน (24 ชั่วโมง)	23
3.1 โครงสร้างของระบบชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่	24
3.2 หลักการทำงานของ STATCOM	25
3.3 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ไม่มีตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้า	25
3.4 บล็อก Three-Phase Source Block	25
3.5 การตั้งค่าในบล็อก Three-Phase Source	26
3.6 บล็อก Three-Phase Transformer (Two Windings)	26
3.7 การตั้งค่าในบล็อก Three-Phase Transformer (Two Windings) (1)	26
3.8 การตั้งค่าในบล็อก Three-Phase Transformer (Two Windings) (2)	27
3.9 สายประธาน NYY 2*(4*400)/70G sqmm Distance 15 m	27
3.10 การตั้งค่าในบล็อก Main NYY 2*(4*400)/70G sqmm Distance 15 m 0.047Ohm / km	27
3.11 ภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลา 1 วัน	28
3.12 ภาระทางไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (Load 1-8)	29
3.13 ภาระทางไฟฟ้าในแต่ละชั้น	29
3.14 ตัวอย่างหน้าต่างการตั้งค่าของภาระทางไฟฟ้า	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (STATCOM) 30
3.16 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆภายใน STATCOM 31
3.17 การตั้งค่าในบล็อก C1 & C2 31
3.18 การตั้งค่าในบล็อก Three-Level Bridge 1 & 2 32
3.19 การตั้งค่าในบล็อก Tr A , Tr B , Tr C 32
3.20 การตั้งค่าในบล็อก RL_filter 1 , 2 , 3 33
3.21 การตั้งค่าในบล็อก C_filter 1 , 2 , 3 33
3.22 คือเวกเตอร์ของตัวแปรสามเฟสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งชั่วขณะ (abc stationary reference frame) 34
3.23 เวกเตอร์แสดงตัวแปรทางไฟฟ้าสามเฟสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง (abc) และกรอบอ้างอิงหมุน (dq) 35
3.24 แผนภาพวงจรของ STATCOM ที่เชื่อมต่อกริด 36
3.25 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม STATCOM แบบพื้นฐาน 37
3.26 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม STATCOM ใน Matlab Simulink 38
3.27 บล็อกไดอะแกรมของ Anti-aliasing Filters Cut-off frequency : 7,500 Hz 38
3.28 บล็อกไดอะแกรมของ m_Phi → Vabc(t) 38
3.29 บล็อกไดอะแกรมของ w → theta 39
3.30 การตั้งค่าในบล็อก Discrete 3-phase PWM Generator 39
3.31 บล็อกไดอะแกรมใน Controller (sample time=Ts*30) 40
3.32 บล็อกไดอะแกรมของ Phase Locked Loop (PLL) 40
3.33 บล็อกของ Discrete 3-phase PLL 41
3.34 การตั้งค่าในบล็อก Discrete 3-phase PLL 41
3.35 บล็อกไดอะแกรมของ Measurement Unit 41
3.36 บล็อกไดอะแกรมของ Vd_Vq → m,Phi 42
3.37 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตVSI และแรงดันไฟฟ้าจุดPCCในกรอบอ้างอิงdq 44
3.36 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมวงรอบใน (inner loop control) 46
3.37 ผลตอบสนองของกราฟ Current (Id) Regulator 46
3.38 ผลตอบสนองของกราฟ Current (Iq) Regulator 46
3.39 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแรงดัน (DC Voltage Regulator) 47
3.40 ผลตอบสนองของกราฟ DC Voltage Regulator 48
3.41 บล็อกไดอะแกรมของการรักษาระดับแรงดันใน STATCOM (AC Voltage Regulator) 48
3.42 ผลตอบสนองของกราฟ AC Voltage Regulator 49
3.43 เทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) สำหรับ VSI 50
3.44 VSI Output Line Voltage Waveform ของ STATCOM 50
3.45 การวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุต VSI ด้วยวิธี FFT Analysis 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.46 การวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุต VSI ด้วยวิธี FFT Analysis หลังจากการกรองด้วยวงจร Low Pass Filter 52
3.47 ระบบไฟฟ้าจากการจำลองที่โหลดเต็มพิกัด 52
3.48 กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดเต็มพิกัดจากการจำลองระบบโดยโปรแกรม MATLAB Simulink 53
3.49 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จากการจำลองระบบโดยโปรแกรม MATLAB Simulink 53
3.50 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (Capacitor Bank) 54
3.51 การตั้งค่าในบล็อก Capacitor Bank 54
4.1 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ 55
4.2 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ 56
4.3 กระแสที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ 57
4.4 กระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ 57
4.5 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ 58
4.6 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ 58
4.7 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลง 59
4.8 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ 59
4.9 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ 60
4.10 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลง 61
4.11 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ 61
4.12 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ 62
4.13 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลง 62
4.14 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งสายประธาน 63
4.15 กระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งสายประธาน 64
4.16 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งสายประธาน 64
4.17 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB 65
4.18 กระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB 65
4.19 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่ง MDB 66
4.20 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่ง MDB 66
4.21 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่ง MDB 67
4.22 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่า PF ของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ	11
2.2 ค่าตัวคูณที่ใช้ในการปรับปรุงค่า PF โดยใช่คาปาซิสเตอร์ต่อขนานกับโหลด	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

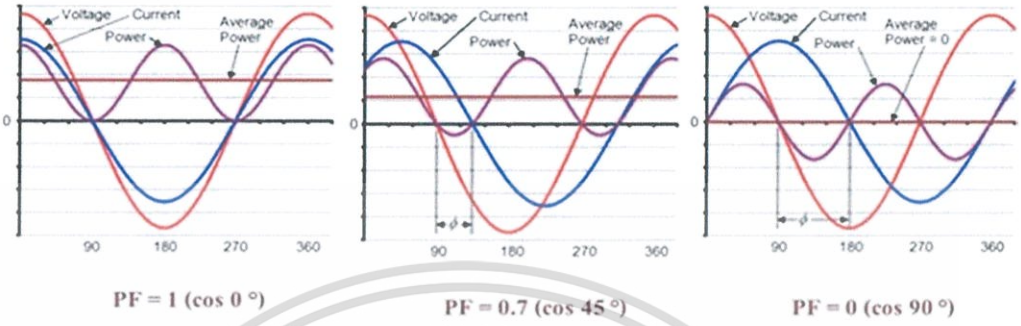
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญที่มนุษย์ใช้ในการดำรงชีวิตโดยมีความสำคัญในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน การติดต่อสื่อสาร การค้าและอุตสาหกรรม นับได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาคุณภาพชีวิต เศรษฐกิจและสังคมของมนุษย์และเนื่องจากความต้องการการพัฒนาในด้านต่างๆอย่างต่อเนื่อง จึงได้นำพลังงานไฟฟ้ามาใช้กับอาคารซึ่งเป็นส่วนโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญมากของอาคาร โดยระบบไฟฟ้าในอาคารมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่มากและภาระทางไฟฟ้าหลากหลายรูปแบบจึงส่งผลให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพไฟฟ้าต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งคุณภาพกำลังไฟฟ้า(Power Quality) จากนิยามของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย ดังนั้น การคำนึงถึงคุณภาพไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปทั้งความปลอดภัยทั้งต่ออุปกรณ์ที่ใช้และต่อผู้ปฏิบัติงานกับระบบ จะเห็นได้ว่าคุณภาพไฟฟ้ามีประโยชน์ต่อการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าอีกด้วย

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าส่วนใหญ่ของระบบไฟฟ้าในอาคาร เป็นเรื่องของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor : P.F.) จากนิยามของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่า ระบบไฟฟ้าใดที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟหรือกำลังไฟฟ้าเสมือน (กิโลวาร์) ต่อ กำลังไฟฟ้าจริง(กิโลวัตต์) มีค่าสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียทั้งในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าและของผู้ใช้ไฟฟ้าเอง จึงมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นนั้นเป็นเพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำมีผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วยเนื่องจากประโยชน์ที่จะได้รับจากกำลังไฟฟ้าจริง(กิโลวัตต์)ในระบบไฟฟ้าจะต่ำกว่า ซึ่งทางให้การไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์จำหน่ายและอุปกรณ์ส่งไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณพลังไฟฟ้าส่วนที่ไม่จำเป็นหรือ รีแอคตีฟ (กิโลวาร์) ที่เกิดขึ้นด้วย อีกทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ไฟฟ้าระบบ 3 เฟสที่มีการใช้กำลังงานมากกว่า 30 kW ขึ้นไปในบิลเรียกเก็บค่าไฟฟ้าที่ได้รับในแต่ละเดือนก็จะมีการเรียกเก็บค่ากำลังงานรีแอคทีฟ (kVar) ในส่วนที่เกิน 61.97% ของค่าความต้องการกำลังงานแอคทีฟเฉลี่ยสูงสุด 15 นาที หรือที่เราเรียกกันทั่วไปว่าค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์(Power Factor: PF.) ซึ่งในปัจจุบัน (ตั้งแต่ กรกฎาคม 2554 ที่ผ่านมา) มีการเรียกเก็บในอัตรา 56.07 บาท/kVar โดยทางการไฟฟ้าเองก็มีนโยบายหรือต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีค่าตัวประกอบกำลังเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) > 0.85 เพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้งานระบบส่งจ่ายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุนี้เองผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องการจะเสียค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) นี้หรือต้องการให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองดีขึ้น ก็จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) ของตนเองให้มีค่ามากกว่า 0.85 ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเสียค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) เนื่องจากการชดเชยค่ากำลังงานรีแอคทีฟ(kVar)ของการไฟฟ้าฯ อีกทั้งประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าดีขึ้น อันเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของตนเองลดลงและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงรูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) ต่างๆ โดยค่ากำลังงานจริงของระบบจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้น

สำหรับโครงงานนี้เป็นการเป็นการศึกษาการทำแบบจำลองระบบการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่(static synchronous compensator/STATCOM) ที่มีการทำแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะคุณภาพไฟฟ้าในอาคาร ทั้งแบบยังไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor bank และ STATCOM ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกัน โดยมีภาระทางไฟฟ้าที่เป็นแบบโหลดเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานที่ดีที่สุดในระบบไฟฟ้าในอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาและประเมินคุณภาพไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้าในอาคาร
2. เพื่อศึกษาตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ (STATCOM)
3. เพื่อเปรียบเทียบการทำงานและผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองของ STATCOM และ capacitor bank
4. เพื่อศึกษาผลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ที่มีผลต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร.
5. เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาถึงความสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลักการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ(Reactive Power)และการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในอาคาร เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าดีขึ้น โดยมุ่งเน้นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ตัวควบคุมการชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่(STATCOM)เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและเสถียรภาพระดับแรงดันดีขึ้น

ในการดำเนินงานจะทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการทำงานของตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ ผ่านโปรแกรม MATLAB Simulink สำหรับรูปแบบการจำลอง จะจำลองการเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้าจาก ค่าตัวประกอบกำลัง คุณลักษณะแรงดันกับกระแสของอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าต่างๆและภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร รวมถึงพฤติกรรมการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน(Reactive Power)ของอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าต่างๆให้กับภาระไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยที่ออกแบบภาระทางไฟฟ้าเป็นโหลดเปลี่ยนแปลงเสมือนพฤติกรรมจริงของการใช้ไฟฟ้าในอาคาร โดยในเรื่องของปัญหาฮามอร์นิกจะไม่กล่าวถึงในโครงงานนี้แต่มีการแก้ปัญหาฮามอร์นิกได้โดยใช้ฮามอร์นิกฟิลเตอร์ในSTATCOM เพื่อให้เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน

โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง การออกแบบระบบไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้า เรื่องค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าการรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในอาคาร

โดยมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ static synchronous compensator/STATCOM , Capacitor Bank โดยเน้นศึกษาตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่(STATCOM)เพื่อศึกษาโครงสร้างและระบบการทำงานของอุปกรณ์

3. ศึกษารูปแบบของภาระทางไฟฟ้าประเภทต่างๆในระบบฟ้าในอาคาร

โดยมีการศึกษาภาระทางไฟฟ้าแบบเปลี่ยนแปลงโดยจำลองโหลดให้เสมือนจริงกับระบบไฟฟ้าในอาคาร

4. เรียนรู้วิธีการใช้ MATLAB SIMULINK

ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าในอาคารและการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ทั้งเครื่องมือในโปรแกรมเพื่อการใช้งานโดยศึกษาการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆในสอดคล้อง

5. สร้างแบบจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB Simulink และทำการทดลอง

โดยมีการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วงจรไฟฟ้า ระบบควบคุม และอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าต่างๆในโปรแกรม จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าต่างๆและดูพฤติกรรมของภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองนี้เน้นไปที่อุปกรณ์ตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่(STATCOM)แล้วทดลอง จากนั้นบันทึกผลการทดลองและประเมินค่าคุณภาพไฟฟ้า เก็บผลการทดลอง ประเมิน สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะโครงงาน

ทำการรวบรวมเก็บผลการทดลอง ประเมินผล สรุปผลการทดลองและการนำความรู้ที่ได้จากโครงงานนี้นำไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งแสดงข้อเสนอแนะของโครงการเพื่อนำความรู้ที่ได้จากโครงงานนี้ไปพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

หัวข้อ \ เดือน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงานนี้									
2. ศึกษารูปแบบการเขียนปริญญานิพนธ์โดยค้นคว้าข้อมูล									
3. ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในอาคาร									
4. เรียนรู้วิธีการใช้งานโปรแกรม MATLAB SIMULINK									
5. ศึกษารูปแบบของภาระทางไฟฟ้าประเภทโหลดเปลี่ยนแปลงเสมือนระบบไฟฟ้าในอาคารในระบบฟ้าในอาคาร									
6. สร้างแบบจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB Simulinkและทำการทดลอง									
7. เก็บผลการทดลอง ประเมินสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะโครงงาน									
8. จัดทำปริญญานิพนธ์และการนำเสนอโครงงาน									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.ได้รับความรู้ วิธีการ ในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า โดยการปรับปรุงพาวเวอร์แฟคเตอร์ (PF.)และการชดเชยกำลังงานเสมือน(Reactive Power) รวมทั้งการรักษาเสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้าในอาคาร

2.ได้รับความรู้และเกิดความเข้าใจ อุปกรณ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร ทั้งโครงสร้าง ลักษณะการทำงาน พฤติกรรมของอุปกรณ์เมื่อต่อเข้าระบบไฟฟ้าในอาคารและพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในอาคาร

3.ได้รับความรู้เกี่ยวกับภาระทางไฟฟ้าต่างๆของระบบไฟฟ้าในอาคาร

4.สามารถใช้โปรแกรม MATLAB SIMULINK มาจำลองปัญหาต่างๆในเรื่องคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคารที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ทราบถึงผลของระบบไฟฟ้าในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าผลการจำลองเป็นข้อมูลและใช้ประเมินประกอบการตัดสินใจนำไปใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

2.1.1 นิยามและความสำคัญ

นิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC และ IEEE คือ “คุณลักษณะแรงดัน กระแสและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย” โดยถ้าพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับต้องมีรูปคลื่นเป็นไซนูซอยด์ มีขนาดและความถี่ตามที่การไฟฟ้าได้กำหนดไว้

เนื่องจากปัจจุบันกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูงขึ้นซึ่งจะมีความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกำลังไฟฟ้ามากกว่าในอดีตโดยเฉพาะอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์, Programmable Logic Controller (PLC)ม Adjustable Speed Drive (ASD) และรีเลย์บางชนิด ฯลฯ จากการเพิ่มขึ้นของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูงขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้า เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้อุปกรณ์ ASD เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แต่ ASD เป็นแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ที่จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้านั้นได้และมีคาปาซิเตอร์ติดตั้งอยู่ในระบบเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าก็ยิ่งทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่รุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยระบบไฟฟ้ามีการเชื่อต่อถึงกัน ถ้าส่วนใดของระบบเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าก็จะทำให้ส่วนอื่นๆของระบบได้รับผลกระทบจากปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าเหล่านั้นตามไปด้วย ในปัจจุบันผู้ใช้ไฟทราบถึงปัญหาคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้นว่ามีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมของตน ทำให้เกิดการหาแนวทางและวิธีการเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าให้ดีขึ้น

2.1.2 ที่มาและปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้น

การศึกษาถึงปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า จะนำไปสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ถูกต้อง โดยปัญหาที่เกิดขึ้นอาจมาจากปัญหาที่เกิดขึ้นมาจากภายนอกระบบงานหรือกำเนิดขึ้นเองภายในระบบงาน สำหรับสัญญาณของปัญหาสามารถจำแนกพฤติกรรมได้ 2 กลุ่ม คือ ปัญหาในลักษณะชั่วขณะ (Transient) กับปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างคงที่ (Steady State) โดยปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากสาเหตุ 5 ประการ คือ

1. จากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า พายุ
2. จากการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ
3. จากการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่งในระบบไฟฟ้า
4. จากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น
5. จากการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง

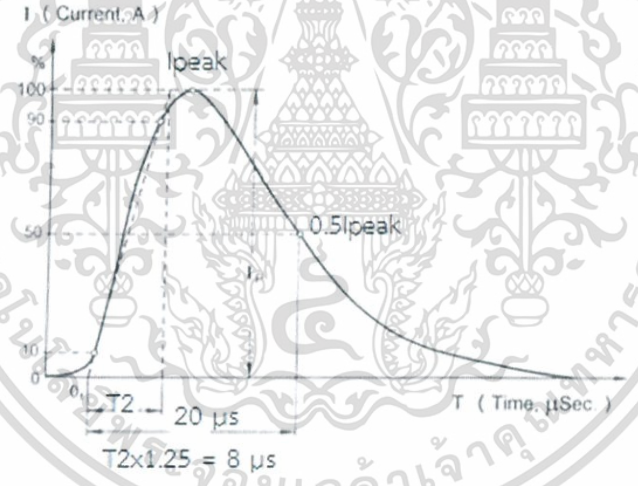
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหลากหลายของปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าจะสร้างผลกระทบต่อระบบงาน ส่งผลในระบบมีประสิทธิภาพในการดำเนินงานต่ำลง เกิดความสิ้นเปลืองงบประมาณ เกิดความไม่ปลอดภัยต่อระบบและผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งระบบงานในปัจจุบันประกอบด้วยโหลดประเภทอิเล็กทรอนิกส์ความไวสูงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความเปราะบาง อ่อนไหว เสียหายได้ง่าย

2.1.3 วิธีแก้ไขและป้องกันปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า

การแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องที่สุดคือการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ อย่างไรก็ตามสาเหตุของปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าฯ ที่จะต้องทำการแก้ไข ซึ่งอาจจะต้องใช้เงินเป็นจำนวนมหาศาล เช่น แก้ไขโดยการเปลี่ยนเป็นระบบเคเบิลใต้ดิน เป็นต้น ส่วนการแก้ไขของทางอุตสาหกรรม นั้นมักจะเป็นการติดตั้งอุปกรณ์แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากโหลดหรือติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันโหลดที่สำคัญ โดยมีวิธีการแก้ไขและการป้องกันต่างๆ ตามประเภทปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า ดังนี้

1. แรงดันเกินชั่วครู่
   การแก้ไข : ติดตั้งกับดักฟ้าผ่า, ตัวกรองต่ำผ่าน, หม้อแปลงแยกโดด
   การป้องกัน : ควบคุมการตัดต่อคาปาซิเตอร์

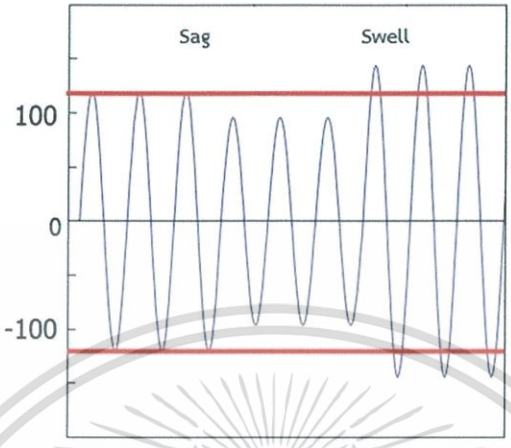


รูปที่ 2.1 ลักษณะรูปคลื่น Surge มาตรฐาน IEEE C62.41 (Impulsive Transient)

2. ไฟดับและไฟดับช่วงสั้น
   การแก้ไข : ติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า-เครื่องยนต์ดีเซล, UPS, เครื่องโอนบ้ายแหล่งจ่ายไฟอัตโนมัติ
   การป้องกัน : ทำการตรวจดูแลระบบไฟฟ้าเป็นประจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

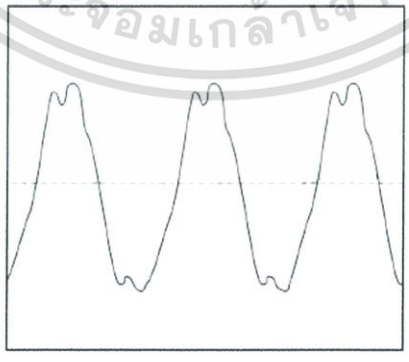
3. แรงดันตกและแรงดันเกินช่วงสั้น
   การแก้ไข : ติดตั้งหม้อแปลงเฟอร์โร-เรโซแนนซ์, UPS, เครื่องชดเชยแรงดันแอคทีฟแบบอนุกรม
   การป้องกัน : ควบคุมการตัดต่อโหลดขนาดใหญ่



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เกิด Sag/Swell

4. แรงดันตกและแรงดันเกิน
   การแก้ไข : ติดตั้งหม้อแปลงเฟอร์โร-เรโซแนนซ์, อุปกรณ์ปรับระดับแรกดันไฟฟ้า, เครื่องชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสเตติก, ชุดคาปาซิเตอร์
   การป้องกัน : ควบคุมการตัดต่อโหลดขนาดใหญ่

5. แรงดันที่มีความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์
   การแก้ไข : ติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกส์ (แบบพาสซีฟ/แอกทีฟ), หม้อแปลงแบบซิกแซก, รีแอกเตอร์แบบอนุกรม
   การป้องกัน : ใช้โหลดที่มีความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ต่ำ



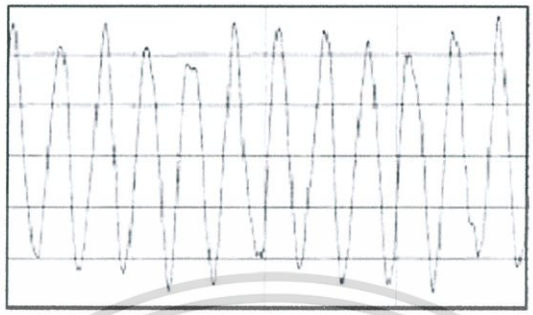
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดความผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แรงดันกระเพื่อม

การแก้ไข : ติดตั้งเครื่องชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสเตติก, เปลี่ยนหลอดไฟเห็นหลอด CFL

การป้องกัน : ตรวจผลกระทบจากอุปกรณ์ไม่เชิงเส้นในระบบไฟฟ้าประจำ



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นแรงดันกระเพื่อม

แนวทางการแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ถูกต้อง จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือกันระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า ในส่วนของการไฟฟ้าจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟหรือระบบสายส่งและในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และส่วนของผู้ใช้ไฟต้องมีการควบคุมปัญหากำลังคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า จากผู้ใช้ไฟเอง และอาจต้องนำข้อมูลทางไฟฟ้าและปัญหาต่างๆมาร่วมปรึกษากันและมีการร่วมกับบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อพิจารณาระดับการทำงานที่สัมพันธ์กันของอุปกรณ์กับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยลดคุณภาพไฟฟ้าในระดับหนึ่ง

2.2 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องเชื่อม เตาเผาและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ นอกจากเราจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) แล้วอุปกรณ์เหล่านี้ยังต้องการ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก

อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำที่มีอยู่จำนวนมากในระบบไฟฟ้า จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองและมีผลต่อระบบจ่ายไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ส่งจ่ายไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หรือ สายไฟฟ้าจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอ

ความสิ้นเปลืองดังกล่าวสามารถลดลงได้ โดยการใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชดเชยกำลังงานรีแอคทีฟให้กับระบบไฟฟ้า ซึ่งจะจ่ายกระแสสร้างอำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Current) ให้กับโหลดแทน ดังนั้นเราจึงลดขนาดของอุปกรณ์ส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าลงได้ ซึ่งหลักการดังกล่าวคือ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์หรือตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) ในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆ เช่น สถานีไฟฟ้านิยมใช้ซิงโครนัสมอเตอร์ แต่ถ้าในระบบจำหน่ายหรือทั่วๆ ไปแล้วจะนิยมนำคาปาซิเตอร์มาปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เนื่องจากทำได้ง่ายและสะดวกกว่าการใช้ซิงโครนัสมอเตอร์

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ค่ากำลังไฟฟ้ารวมประกอบด้วย

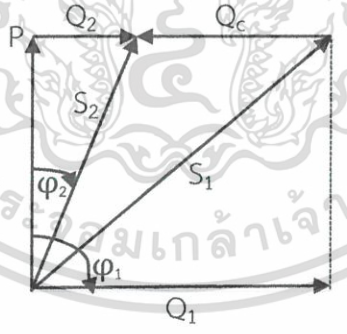
1. **กำลังไฟฟ้าจริง** (Active Power: P) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt)
2. **กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ** (Reactive Power: Q) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นวาร์ (Var)

กำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนรวมกันทางเฟสเซอร์ (Phasor) เป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่เรียกว่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent Power: S) มีหน่วยเป็นโวลต์แอมป์ (VA)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.1}$$

เพาเวอร์แฟคเตอร์ แสดงถึงการใช้กำลังไฟฟ้าจริง เปรียบเสมือนกับกำลังไฟฟ้าเสมือนซึ่งอยู่ในรูปของ

$$\cos \emptyset = \frac{P}{S} = \frac{Active\ Power}{Apparent\ Power} = PF \tag{2.2}$$



รูปที่ 2.5 กำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบสามารถลดลงได้โดยการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

S_1 คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนก่อนการปรับปรุงค่า PF
S_2 คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนหลังการปรับปรุงค่า PF
P คือ กำลังไฟฟ้าจริง
Q_1 คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ก่อนปรับปรุงค่า PF
Q_2 คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ก่อนปรับปรุงค่า PF
$Q_c = Q_1 - Q_2$คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟชดเชย มาจากตาปาซิเตอร์
E_1 คือ มุมต่างเฟสระหว่างกำลังไฟฟ้าเสมือนกับกำลังไฟฟ้าจริงก่อนการปรับปรุง PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E_2 คือ มุมต่างเฟสระหว่างกำลังไฟฟ้าเสมือนกับกำลังไฟฟ้าจริงหลังการปรับปรุง PF

2.2.1ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ

ในตารางที่ 2.1 แสดงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของอุปกรณ์เหนี่ยวนำประเภทต่างๆ ซึ่งจะเป็นโหลดที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นชนิดล้าหลัง (โหลดความเหนี่ยวนำ) และมีค่าต่ำ ในกรณีปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ จะต้องนำคาปาซิเตอร์ ซึ่งเป็นโหลดชนิดตัวประกอบกำลังนำหน้า (โหลดความจุ) มาใช้ปรับปรุง

ตารางที่ 2.1 ค่า PF ของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ

ประเภทอุปกรณ์	ค่า PF (Half Full load)
มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ	< 100 kW 0.6...0.8
	250 kW 0.8...0.9
อุปกรณ์ไทริสเตอร์	0.7
หลอดชนิดจุดไส้	1.0
หลอดชนิดไอปรอท	0.5
หลอดฟลูออเรสเซนต์	0.5...0.6
หลอดนีออน	0.4...0.5
เตาเผาแบบเหนี่ยวนำ	0.2...0.6
เตาเผาแบบอาร์ก	0.6...0.8
ขดลวดให้ความร้อน	1.0
เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก	0.35...0.6
เครื่องเชื่อมแบบความต้านทาน	0.4...0.6

2.2.2 ผลของเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง

1. ลดปริมาณกระแสรวมของระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด ในกรณีต่อคาปาเตอร์ขนานเข้ากับระบบเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแล้ว จะช่วยทำให้ลดปริมาณกระแสสร้างกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ หรือ กระแสสร้างอำนาจแม่เหล็ก (Magnetizing Current) โดย

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \qquad (2.3)$$

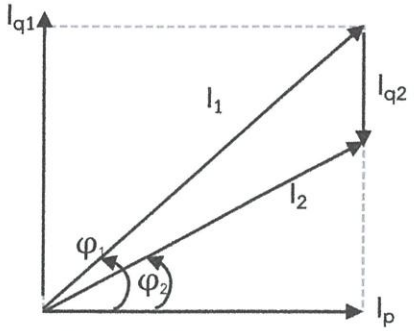
I คือ กระแสไฟฟ้ารวม

$I = I\cos\emptyset$ คือ กระแสสร้างกำลังไฟฟ้าจริง

$I = I\sin\emptyset$ คือ กระแสสร้างกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

$\emptyset$ คือ มุมต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ารวมกับกระแสสร้างกำลังไฟฟ้าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



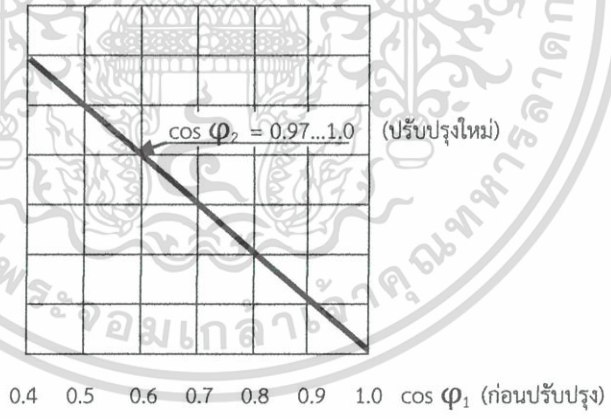
รูปที่ 2.6 กระแสที่ไหลผ่านโหลดก่อนและหลังปรับค่า PF

จากการลดค่า I_q ลง (I_p มีค่าคงที่) จึงมีผลทำให้ (กระแสไฟฟ้ารวม) มีค่าลดลงไปด้วย นั่นคือลดความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพราะเราสามารถลดขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หรือ สายส่งกำลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสรวมก่อนปรับค่า PF (I_1) และกระแสหลังปรับค่า PF (I_2) คือ

$$I_1(\cos\emptyset_1) = I_2 \cos\emptyset_2 \quad (2.4)$$

$$I_2 = I_1 \frac{\cos\emptyset_1}{\cos\emptyset_2} \quad (2.5)$$

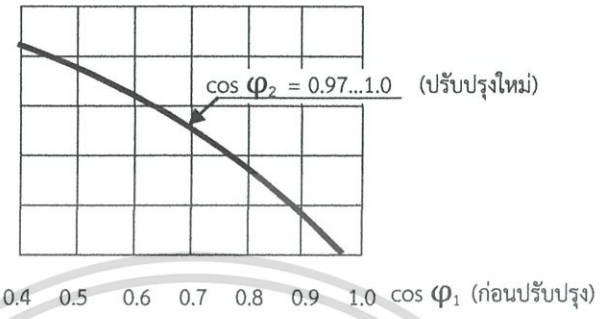


รูปที่ 2.7 การลดลงของกระแสรวมในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
เมื่อมีการปรับปรุงค่า PF เข้าใกล้ 1.0

2.ลดปริมาณกำลังงานสูญเสียรวมในระบบไฟฟ้า ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของอุปกรณ์ จะมีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงในรีซิสแตนซ์(Resistance) และสูญเสียกำลังไฟฟ้ารีแอกทีในรีแอกแตนซ์ (Reactance) ของอุปกรณ์ส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า และ สายส่งกำลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถลดกำลังงานสูญเสียได้โดยการลดค่า I_q (ลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ) ซึ่งก็คือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น กำลังสูญเสียที่ลดลง ทำให้ลดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (เมื่อมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่า 0.85)



รูปที่ 2.8 การลดลงของกำลังงานสูญเสียรวมในระบบส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า เมื่อมีการปรับปรุงค่า PF เข้าใกล้ 1.0

3.**ลดแรงดันตกในสายส่งกำลังงานไฟฟ้า** การลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้า จะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งปลายสุดของสายป้อนไม่ตกมากจนเกินไป จึงทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

4.**ช่วยลดโหลดของหม้อแปลง** เมื่อเราใช้โหลดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ กับหม้อแปลงตัวเดิมและหม้อแปลงเริ่มมีขนาดไม่พอกับความต้องการ หม้อแปลงต้องจ่ายกระแสเกินพิกัด (Overload) วิธีโดยทั่วไปที่แก้ไขด้วยการติดตั้งหม้อแปลงเพิ่มอีกหนึ่งตัว แต่ถ้าหากติดตั้งคาปาซิสเตอร์จะช่วยลดโหลดของหม้อแปลงตัวนั้นได้ โดยคาปาซิสเตอร์ที่ติดตั้งเพิ่มจะช่วยหม้อแปลงจ่ายกระแส หรือ กำลังไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เดิมหม้อแปลงต้องรับภาระจ่ายเองทั้งหมด จะทำให้หม้อแปลงมีกำลังเหลือเพื่อที่จะไปจ่ายโหลดอื่นเพิ่มเติมได้

2.2.3 การออกแบบปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

การเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ทำได้โดยการลดกำลังพลังงานไฟฟ้ารีแอคทีฟลง โดยการติดตั้งคาปาซิสเตอร์เข้ากับจุดที่ต้องการกำลังงานไฟฟ้ารีแอคทีฟ โดยทั่วไปแล้ว ถ้าโหลดไม่เปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ สำหรับการหาขนาดคาปาซิสเตอร์ (Q_c) ที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ คือ

$$Q_c = P(tan\,\emptyset_1 - \tan\emptyset_2) \qquad (2.6)$$

Q_c คือ ขนาดคาปาซิสเตอร์ (kVAR)

P คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดต้องการ (kW)

$\emptyset_1$ คือ มุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม (ก่อนปรับปรุง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\emptyset_2$ คือ มุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่ (หลังปรับปรุง)

จากสมการข้างต้น จึงเป็นที่มาของตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงค่าตัวคูณ $(\tan \emptyset_1 - \tan \emptyset_2)$ ซึ่งนำไปคำนวณหาขนาดคาปาซิสเตอร์

ตัวอย่างเช่น ต้องการปรับปรุงค่า PF จาก 0.66 ไปสู่ค่า 0.98 โดยสมมติให้โหลดมีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริง 750W

จากตาราที่ 2.2 ได้ค่าตัวคูณเท่ากับ 0.94

ค่า kVAR ของ C = 750×0.94 ~ 700 kVAR

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวคูณที่ใช้ในการปรับปรุงค่า PF โดยใช่คาปาซิสเตอร์ต่อขนานกับโหลด

$\emptyset_1$	sin	tan	cos	0.80	0.85	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
75.5	0.97	3.88	0.25	3.13	3.26	3.39	3.45	3.51	3.58	3.67	3.88
72.5	0.95	3.18	0.30	2.42	2.56	2.70	2.76	2.82	2.89	2.98	3.18
69.5	0.94	2.68	0.35	1.93	2.06	2.19	2.25	2.31	2.38	2.47	2.68
66.4	0.92	2.29	0.40	1.54	1.67	1.81	1.87	1.93	2.00	2.09	2.29
63.2	0.89	1.98	0.45	1.24	1.36	1.50	1.56	1.62	1.69	1.78	1.99
60.0	0.87	1.73	0.50	0.98	1.11	1.25	1.31	1.37	1.44	1.53	1.73
58.6	0.85	1.64	0.52	0.89	1.02	1.16	1.22	1.28	1.35	1.44	1.64
57.3	0.84	1.56	0.54	0.81	0.94	1.08	1.14	1.20	1.27	1.36	1.56
56.0	0.83	1.45	0.56	0.73	0.86	1.00	1.05	1.12	1.29	1.28	1.48
54.7	0.82	1.41	0.58	0.66	0.79	0.92	0.98	1.04	1.11	1.20	1.41
53.1	0.80	1.33	0.60	0.58	0.71	0.85	0.91	0.97	1.04	1.13	1.33
51.8	0.79	1.27	0.62	0.52	0.65	0.78	0.84	0.90	0.97	1.06	1.27
50.2	0.77	1.20	0.64	0.45	0.58	0.72	0.78	0.84	0.91	1.00	1.20
48.7	0.75	1.14	0.66	0.39	0.52	0.56	0.71	0.78	0.85	0.94	1.14
47.3	0.73	1.08	0.68	0.33	0.46	0.60	0.65	0.72	0.79	0.88	1.08
45.6	0.71	1.02	0.70	0.27	0.40	0.54	0.60	0.66	0.73	0.82	1.02
43.8	0.69	0.96	0.72	0.22	0.34	0.48	0.54	0.60	0.67	0.76	0.97
42.3	0.67	0.91	0.74	0.16	0.28	0.43	0.48	0.55	0.62	0.71	0.91
40.7	0.65	0.86	0.76	0.11	0.24	0.37	0.43	0.50	0.56	0.65	0.86
38.7	0.63	0.80	0.78	0.05	0.18	0.32	0.38	0.44	0.51	0.60	0.80
36.9	0.60	0.75	0.80		0.13	0.27	0.33	0.39	0.46	0.55	0.75
35.0	0.57	0.70	0.82		0.08	0.22	0.27	0.33	0.40	0.49	0.70
33.0	0.55	0.65	0.84		0.03	0.16	0.22	0.28	0.35	0.44	0.65
30.5	0.51	0.59	0.86			0.11	0.17	0.23	0.30	0.39	0.59
28.4	0.48	0.54	0.88			0.06	0.11	0.17	0.25	0.33	0.54
25.5	0.43	0.48	0.90				0.06	0.12	0.19	0.28	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ) ตาราง 2.2

$\emptyset_1$	sin	tan	cos	0.80	0.85	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
23.0	0.40	0.43	0.92					0.06	0.15	0.22	0.43
19.8									0.07	0.16	0.36
$Q_c = p \tan \emptyset_1 - p \tan \emptyset_2$				0.75	0.62	0.48	0.43	0.36	0.29	0.20	0.00

2.2.4 ผลเสียที่เกิดจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

1.แรงดันเกิน (Over Voltage) ในกรณีต่อคาปาซิเตอร์อย่างถาวร (Fixed Capacitors) เข้ากับด้านแรงดันต่ำ (Secondary) ของหม้อไฟฟ้า ขนาดของคาปาซิเตอร์จะต้องไม่มากจนเกินไป เพราะจะทำให้แรงดันของระบบไฟฟ้าสูงขึ้นในขณะที่ปลดโหลดออก เนื่องมาจากการชดเชยเกิน(Over Compensation) และมีผลทำให้เกิดอันตรายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่างได้ โดยทั่วไปแล้วขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ติดตั้งอย่างถาวรควรมีค่าประมาณ 10-15% ของขนาดพิกัด kVA หม้อแปลง

2.เรโซแนนซ์(Resonance) การต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) อาจส่งผลเสียต่อระบบอย่างมาก เมื่อเกิดรีโซแนนซ์ ระหว่างคาปาซิเตอร์กับรีแอกแตนซ์ของระบบไฟฟ้า เช่น ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์แบบขนานระหว่างคาปาซิเตอร์กับหม้อแปลง (Parallel Resonance between capacitor and Transformer) ขณะเรโซแนนซ์ จะทำให้เกิดการขยายกระแสและแรงดันฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆทำให้เกิดการทำงานผิดพลาด เกิดความเสียหายหรืออายุการใช้งานสั้นลง วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้หลายประการดังนี้

-เปลี่ยนตำแหน่งหรือขนาดของคาปาซิเตอร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเรโซแนนซ์ที่ใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์

-ใส่ LC ฟิลเตอร์ที่ตำแหน่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์และปรับ (tune) ให้เข้าฮาร์โมนิกส์ที่เกิดปัญหา LC ฟิลเตอร์ตัวดังกล่าวจะทำให้อิมพิแดนซ์ต่ำที่ฮาร์โมนิกส์ที่มีปัญหาในกรณีที่ใส่ฟิลเตอร์เข้าไปแล้วนั้นทำการตรวจเช็คเข้าไปอีกว่า อาจเกิดเรโซแนนซ์ตรงกับฮาร์โมนิกส์ตัวอื่นหรือไม่ ถ้าเป็นอย่างนั้นก็ต้องใส่ LC ฟิลเตอร์กรองฮาร์โมนิกส์ที่มีปัญหาตัวต่อไป

-ใส่ L เข้าไปกับคาปาซิเตอร์ เอหลีกเลี่ยงการเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ไม่ให้ใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์หรือใส่ L เข้าไปอนุกรมกับคาปาซิเตอร์ เพื่อใช้เป็นฟิลเตอร์เลย

2.3 การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

เนื่องจากกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ มีผลทำให้กระแสไฟฟ้ารวมของระบบสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงดันตก (Voltage drop) อีกทั้งเกิดการสูญเสีย (Loss) เพิ่มขึ้นในลวดตัวนำที่กระแสรวมทั้งหมดไหลผ่าน ดังนั้น จึงต้องหาแนวทางในการลดค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นที่นิยมกันมาก เพราะสามารถช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (power Factor) ในระบบไฟฟ้าให้มีค่าที่สูงขึ้นหรือมีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (kvar) ของตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไปในระบบด้วย โดยมีวิธีการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟหลักๆ ดังนี้

2.3.1 การใช้อุปกรณ์ชดเชยชนิด Uncontrolled Reactive Compensation

เป็นการชดเชยชนิดที่มีการต่ออุปกรณ์ชดเชยที่เป็นแบบตายตัว (Fix) ไม่มีการปลดหรือสับ เช่น การ*ต่อ* shunt reactor, shunt capacitor ซึ่งต่อแบบขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยต่อผ่านฟิวส์ซึ่งอุปกรณ์ชดเชยแบบนี้จะมีข้อเสียอยู่ที่ไม่สามารถปรับค่าการชดเชยได้เลย

2.3.2 การใช้อุปกรณ์ชดเชยชนิด Controlled Reactive Compensation

เป็นอุปกรณ์ชดเชยชนิดที่สามารถปรับค่าได้ เพื่อประโยชน์มนการควบคุมค่าตัวแปร (parameter) ต่างๆให้เป็นไปอย่างต้องการได้ โดยสามารถแบ่งประเภทได้ ดังนี้

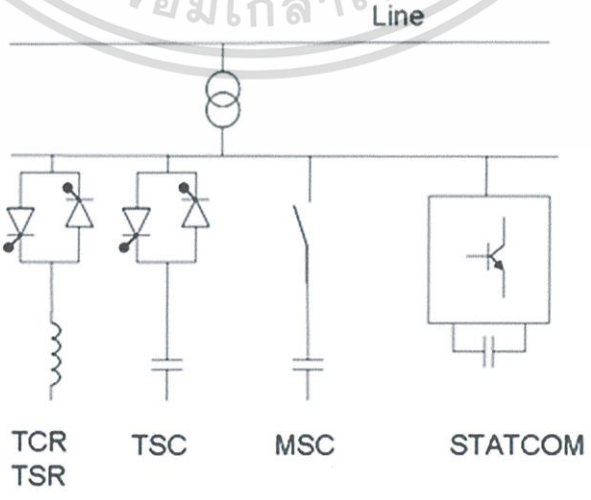
1.**การใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้า Synchronous condenser เป็น rotating machine** โดยสามารถควบคุมเงื่อนไขการทำงานได้ 2 ลักษณะ คือ

-กระตุ้นเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสด้วยค่าที่ต่ำกว่าพิกัด เมื่อต้องการใช้เป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Inductive load)

-กระตุ้นเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสด้วยค่าที่สูงกว่าพิกัด เมื่อต้องการใช้โหลดตัวเก็บประจุ (Capacitive load)

2.การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟด้วย Static Synchronous Compensator (STATCOM)

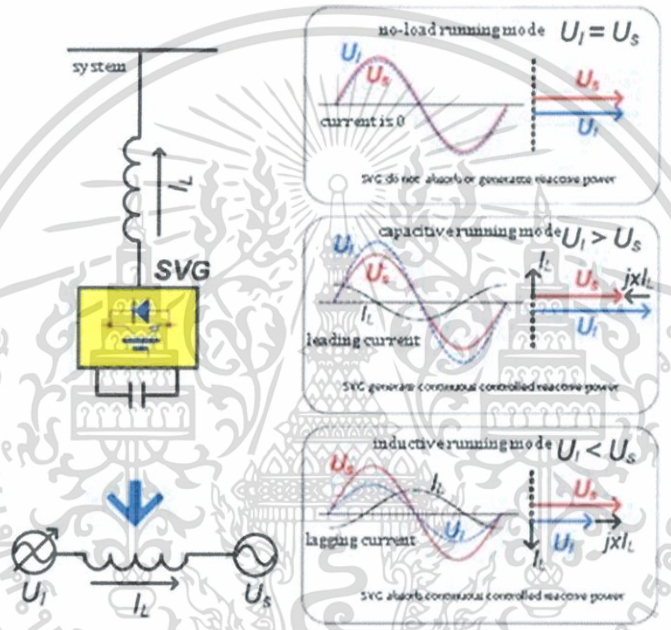
Static VAR Generator (SVG) หรือ Static Synchronous Compensator (STATCOM) อุปกรณ์ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มของ Flexible AC Transmission Systems (FACTS) เพื่อใช้แก้ไขปัญหาของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่



รูปที่ 2.10 Flexible AC Transmission Systems (FACTS) Family

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.10 แสดงอุปกรณ์ในตระกูล FACTs ที่มีใช้งานกันในปัจจุบัน โดย SVG หรือ STATCOM นั้นจะแตกต่างจากอุปกรณ์ชนิดอื่นที่สร้างและทำงานบนพื้นฐานของอุปกรณ์พาสซีฟ ได้แก่ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงดันสูงร่วมกับอุปกรณ์ไทริสเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่สามารถควบคุมมุมของการนำกระแสได้ตามต้องการ ข้อแตกต่างที่สำคัญก็คือ SVG/STATCOM นั้นจะถูกพัฒนามาจากพื้นฐานของอินเวอเตอร์ที่สามารถต่อใช้งานที่ระดับแรงดันสูงได้โดยตรงหรือกรณีที่แรงดัน AC. Bus มีค่าสูงมากก็จะใช้หม้อแปลงเป็นตัวเชื่อมเข้าสู่กริด โดยอินเวอเตอร์แรงดันสูงนี้จะถูกควบคุมให้จ่ายกำลังงานรีแอคทีฟในรูปของ Capacitive หรือ Inductive Current เข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ตามความต้องการนอกจากนั้นยังสามารถจ่ายกระแสที่สามารถหักล้างกับกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าได้อีกด้วย



รูปที่ 2.11 แนวความคิดและหลักการทำงานของ SVG/STATCOM

จากรูปที่ 2.11 แนวความคิดและหลักการทำงานของ SVG กล่าวคือ SVG ซึ่งมีโครงสร้างวงจรอยู่บนพื้นฐานของอินเวอเตอร์ซึ่งถูกควบคุมให้ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (U_I) ที่สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของแรงดันเมื่อเทียบกับแรงดันของระบบ (U_S)

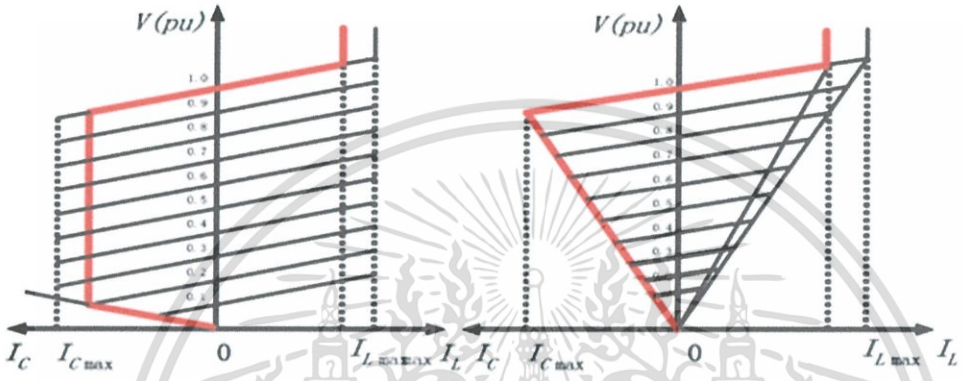
ดังนั้นกระแส (I_L) ที่ไหลระหว่างแหล่งจ่ายแรงดัน (U_I) และแรงดันของระบบไฟฟ้า (U_S) ตามรูปที่ 2.11
นี้จะเป็นไปได้ 2 กรณีดังนี้

1. **Capacitive Running Mode :** กรณี (U_I) สร้างแรงดันที่สูงกว่า (U_S) กระแสจะไหลจาก SVG ระบบเข้าสู่ระบบ โดยกระแส (I_L) นี้จะมีเฟสนำหน้า (Leading) เมื่อเทียบกับเฟสของแรงดันระบบ(U_S) ซึ่งก็เสมือนกับการชดเชยกำลังงานรีแอคทีฟด้วย Capacitor โดยกระแสที่ฉีดเข้าไปนี้นอกจากจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังระบบไฟฟ้าดีขึ้น กระแสที่ไหลในระบบต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว ยังทำให้ค่าแรงดัน System AC bus มีค่าสูงขึ้นซึ่งเราใช้คุณสมบัติข้อนี้ในการ Regulate AC Voltage bus นั่นเอง

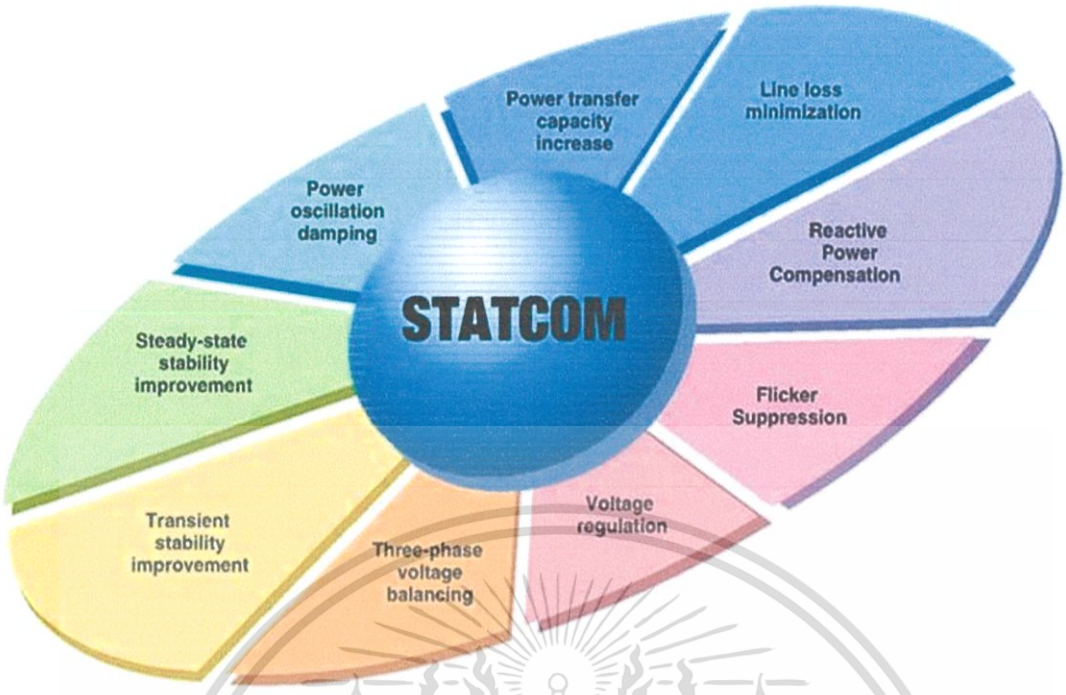
2. **Inductive Running Mode :** กรณี (U_I) สร้างแรงดันที่ต่ำกว่า (U_S) กระแสจะไหลจากระบบเข้าสู่ SVG โดยกระแส (I_L) นี้จะมีเฟสล้าหลัง (Lagging) เมื่อเทียบกับเฟสของแรงดันระบบ(U_S) ซึ่งการทำงานในโหมดนี้จะให้ประโยชน์ในการควบคุมแรงดัน System AC. Bus และปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากการที่มีการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ หรือผลจากการเกิด Power Regenerative ของโหลดในระบบ โดยจะทำหน้าที่ Absorb พลังงานส่วนเกินที่เกิดขึ้นเพื่อไม่ให้แรงดันระบบสูงเกิน



รูปที่ 2.12 คุณลักษณะแรงดัน -กระแสขณะทำงาน SVG/STATCOM เปรียบเทียบกับ SVC

จากรูปที่ 2.12 กราฟเปรียบเทียบคุณสมบัติแรงดันกระแสของ SVG/STATCOM และ Stattic Var Compensator (SVC) แกนนอนจะแสดงปริมาณกระแส capacitive current (I_C) และกระแส Inductive current (I_L) ที่อุปกรณ์สามารถจ่ายให้กับระบบไฟฟ้าได้เมื่อแรงดันในระบบมีค่าต่างๆ V(pu) กราฟแนวเฉียงแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเพิ่มขึ้น V(pu) เมื่ออุปกรณ์ SVG/STATCOM หรือ SVC ฉีดกระแส capacitive current (I_C) และแรงดันลดลงเมื่อมีการฉีดกระแส Inductive current (I_L) เข้าสู่ระบบไฟฟ้า เริ่มจากการพิจารณาด้านซ้ายมือของกราฟ (a) SVG/STATCOM สามารถฉีดกระแส capacitive current (I_{Cmax}) ได้เต็มพิกัดขณะที่แรงดันระบบมีค่าประมาณ 0.25-0.3 V(pu) เมื่อเทียบกับ SVC ในรูป (b) ที่สามารถฉีดกระแส capacitive current (I_{Cmax}) ได้เต็มพิกัดก็เมื่อแรงดันระบบมีค่า 1.0 V(pu) โดยแรงดันของระบบ V(pu) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดกระแส capacitive current (I_C) ตามความลาดเอียงที่เกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาในด้านขวามือของแกนกระแส Inductive current (I_L) ของ SVG/STATCOM สามารถฉีดกระแสได้เต็มพิกัด (I_{Lmax}) เริ่มตั้งแต่มีแรงดันต่ำๆหรือน้อยกว่า 0.1 V(pu) เมื่อเปรียบเทียบกับรูป (b) ที่สามารถฉีดกระแส Inductive current (I_{Lmax}) ได้เต็มพิกัดก็เมื่อแรงดันระบบมีค่า 1.0 V(pu) ส่วนเส้นสีแดงที่เกิดขึ้นแสดงตัวอย่างจุดทำงานของย่านของกระแสและแรงดันที่สามารถฉีดกระแสได้ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้ว SVG/STATCOM จะมีย่านของการฉีดกระแสที่เป็นอิสระต่อแรงดันของระบบมากกว่า SVC จึงเป็นสาเหตุให้ SVG/STATCOM ตอบสนองเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าได้มาก SVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ประโยชน์โดยรวมของ STATCOM

2.5 Capacitor Bank

Capacitor Unit แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 ชนิด

-internally fused

-fuseless

-externally fused

ในการกำหนด output kVAR ต่อกระป๋อง จะพิจารณาให้เป็นมาตรฐานเพื่อให้สามารถกำหนดขนาดของกระป๋อง (dimension) ที่จะนำไปติดตั้ง และเป็นการกำจัด spare ไม่ให้มีหลายขนาด

2.5.1 การต่อ bank

การต่อ Capacitor bank สามารถต่อใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น

(a) Delta

(b) Ground Y

(c) Ungrounded Y

(d) Ungrounded Double Y-Neutrals

(e) Ground Double Y

ในระบบแรงสูง Capacitor bank ที่ติดตั้งในสถานีมีการต่อใช้งานเป็น 3 ลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แรงดัน 22/33 kV : ungrounded bank ที่ต่อแบบ wye จะใช้ voltage transformer ต่อระหว่างจุด neutral กับ ground เพื่อใช้กับระบบป้องกันที่ตรวจวัด unbalance voltage ของ neutral point หรือจะต่อเป็นแบบ wye-wye จะใช้ current transformer (CT) ต่อระหว่างจุด neutral ของแต่ละ wye เชื่อมผ่าน CT เข้าหากัน เพื่อใช้ระบบป้องกันที่ตรวจวัด unbalance current ใน neutral wire

-แรงดัน 69/115 kV : ungrounded bank ที่ต่อแบบ wye-wye (double wye) neutral tied จะใช้ current transformer (CT) ต่อระหว่างจุด neutral ของแต่ละ wye เชื่อมผ่าน CT เข้าหากัน เพื่อใช้ระบบป้องกันที่ตรวจวัด unbalance current ใน neutral wire

-แรงดัน 230 kV : grounded bank ที่ต่อเป็นแบบ wye-wye (double wye) neutral tied/grounded หรือ H connection หรือ hybrid connection ในระบบแรงสูงจำเป็นต้องนำ capacitor หลาย unit ต่อ series กัน จึงอาจเปลี่ยนตำแหน่งของ unbalance CT ไปอยู่ที่จุดเชื่อมต่อของ capacitors ตำแหน่งที่เป็นลำดับของ group เดียวกันของแต่ละ wye เข้าหากันและอาจต่อ neutral ของ bank ลง ground

2.5.2 หน้าที่หลักของ Capacitor Bank

1. ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น มอเตอร์ เครื่องทำความร้อน เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เป็นต้น

2. แก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์ โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์ อนุกรมกับรีแอคเตอร์ซึ่งเรียกรวมกันว่าฟิลเตอร์แบงค์ (Filter Bank)

3. แก้ปัญหาไฟกระพริบ ไฟกระเพื่อม โดยการใช้ไทริสเตอร์ (Thyrister) ในการตัดต่อคาปาซิเตอร์ ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้อย่างรวดเร็ว

2.6 โหลดและลักษณะการใช้ไฟฟ้า

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตส่งและจ่ายไฟฟ้ากำลังนั้น คือ การใช้ไฟฟ้าที่ไม่คงที่ มีการ เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่การผลิตไฟฟ้านั้น ไม่สามารถผลิตแล้วเก็บรักษาไว้ใช้ได้โดยวิธี ง่าย ๆ ต้องผลิตและจัดส่งจ่ายเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้เท่านั้น จึงทำให้ไม่สามารถผลิต ออกมาเต็มกำลังผลิตได้ ในขณะเดียวกันก็ไม่สามารถลดขีดความสามารถของการผลิตส่งและจ่าย สูงสุดลงได้ เนื่องจากถ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นมาเมื่อใดแล้ว ไม่สามารถส่งจ่ายให้ผู้ใช้ได้ตาม ความต้องการอาจทำความเสียหายให้กับผู้ใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ซึ่งจะกระทบถึงผลทางเศรษฐศาสตร์โดยส่วนรวมได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ เพื่อคำนวณการใช้ไฟฟ้าเพื่อหาจุดที่เหมาะสมกับความต้องการในช่วงเวลานั้น ๆ คือต้องวิเคราะห์เกี่ยวกับโหลดและลักษณะการใช้นั่นเอง

2.6.1 การจำแนกกลุ่มของโหลดตามขนาด

การจำแนกกลุ่มของโหลดตามขนาดนั้นจะยึดถือขนาดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ(S) ของโหลด ดังกล่าวเป็นเกณฑ์ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **โหลดขนาดเล็ก** มีการใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 30 กิโลโวลท์แอมป์ (KVA) ได้แก่ บ้านพักอาศัย โรงแรมขนาดเล็ก โรงงานอุตสาหกรรมภายในครัวเรือน หรือโรงปศุสัตว์ ระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้คือ 220/380 โวลท์
2. **โหลดขนาดกลาง** มีการใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 100 กิโลโวลท์แอมป์ (KVA) ได้แก่ ตำบล โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง ตึกทำการ ห้างสรรพสินค้าขนาดกลาง เป็นต้น ระดับ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ คือ 220/380 โวลท์ หรือ 6 –12 กิโลโวลท์
3. **โหลดขนาดใหญ่** มีการใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 5 เมกกะโวลท์แอมป์ (MVA) ได้แก่ เมืองขนาดกลาง โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า ตึกทำการขนาดใหญ่ โรงพยาบาล หรือที่ทำการ ไปรษณีย์ขนาดใหญ่ ระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้คือ 6 –30 กิโลโวลท์
4. **โหลดขนาดใหญ่มาก** มีการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 5 เมกกะโวลท์แอมป์ (MVA) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และอื่น ๆ ระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้คือ 30 –110 กิโลโวลท์

2.6.2 ลักษณะการใช้ไฟฟ้า

การใช้ไฟฟ้านั้นมิได้คงที่อยู่ทุกขณะ ปริมาณการใช้สูงบ้างต่ำบ้างใน ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ไม่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการจัดระบบผลิต ส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า ให้เหมาะสม เพราะสิ่งสำคัญคือจะต้องพยายามรักษาระดับแรงดันในการส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ให้อยู่ ในระดับที่ไม่สูงหรือต่ำเกินไป จนเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ โดยจะต้องมีการ วางแผนและจัดโปรแกรมการเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องให้เหมาะสม กับการใช้ ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา หรือถ้ามองในแง่ของเศรษฐศาสตร์วิธีการดังกล่าวยังช่วยให้เกิดความ ประหยัด เช่น ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย ๆ ก็ไม่จำเป็นต้องเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมกันทุกเครื่อง

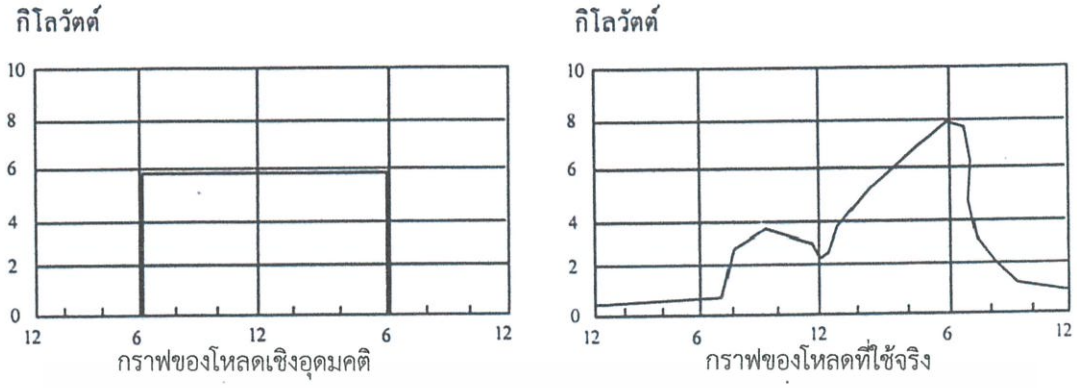
2.6.3 กราฟของโหลด (Load Curve)

กราฟของโหลด (Load Curve) คือ เส้นแสดงค่าชั่วขณะของโหลดจริง ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งโหลดจะประกอบไปด้วย โหลดติดตั้ง และ โหลดจริง

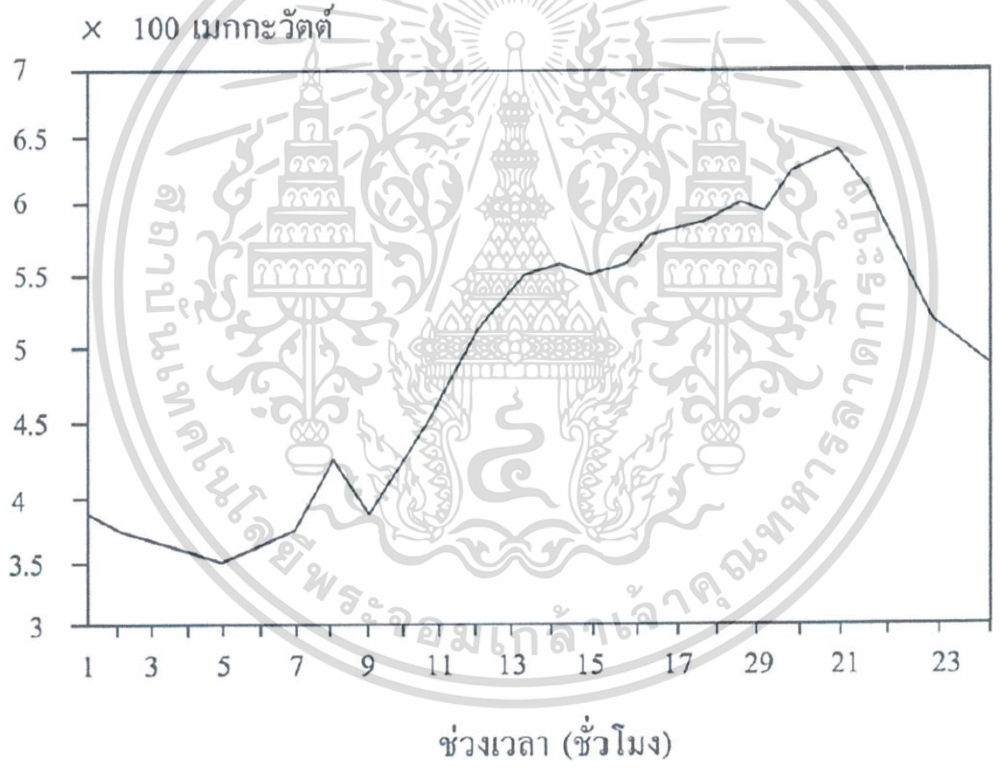
-โหลดติดตั้ง (Connected Load) หมายถึง โหลดไฟฟ้าที่ติดตั้ง หรือแจ้งการใช้งานไว้ ทั้งหมด และแสดงไว้ในผังไฟฟ้า (มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ หรือกิโลโวลท์แอมป์ก็ได้) อาจจะกำลังใช้ งานอยู่หรือยังไม่ได้เปิดใช้งานก็ได้ โหลดติดตั้งนี้ทำให้เกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดขึ้นมาได้

-โหลดจริง (Actual Load) หมายถึง โหลดที่กำลังใช้งานอยู่ จะมีค่าสูงสุดเท่ากับโหลด ติดตั้ง แต่โดยปกติจะน้อยกว่าเสมอ โหลดจริงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ตลอดเวลา (ในแต่ละช่วงเวลา) เนื่องจากผู้ใช้จะปิดๆ เปิดๆ โหลดติดตั้งอยู่ตลอดเวลา ถ้านำค่าดังกล่าวมาเขียนเป็น กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างเวลาและโหลดจริงจะได้เป็น “กราฟของโหลด” (Load Curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

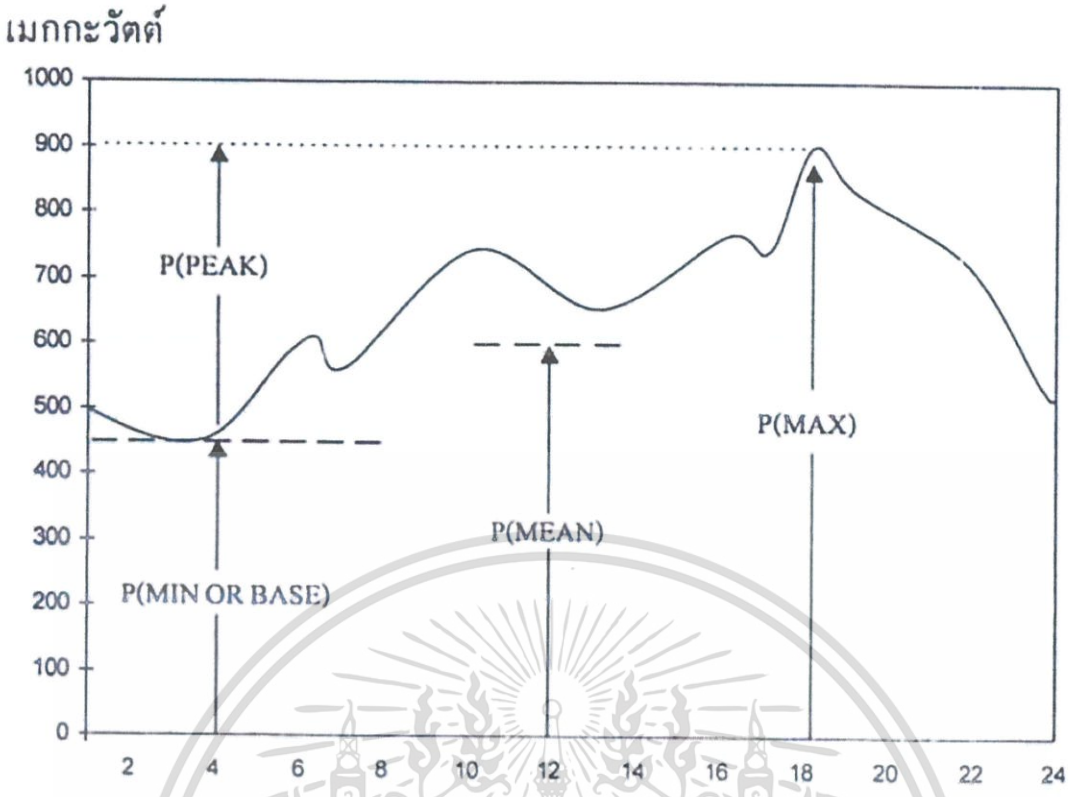


รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบกราฟของโหลดเชิงอุดมคติและกราฟของโหลดที่ใช้จริง



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟของโหลดประจำวัน (24 ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟของโหลดที่ใช้จริงประจำวัน (24 ชั่วโมง)

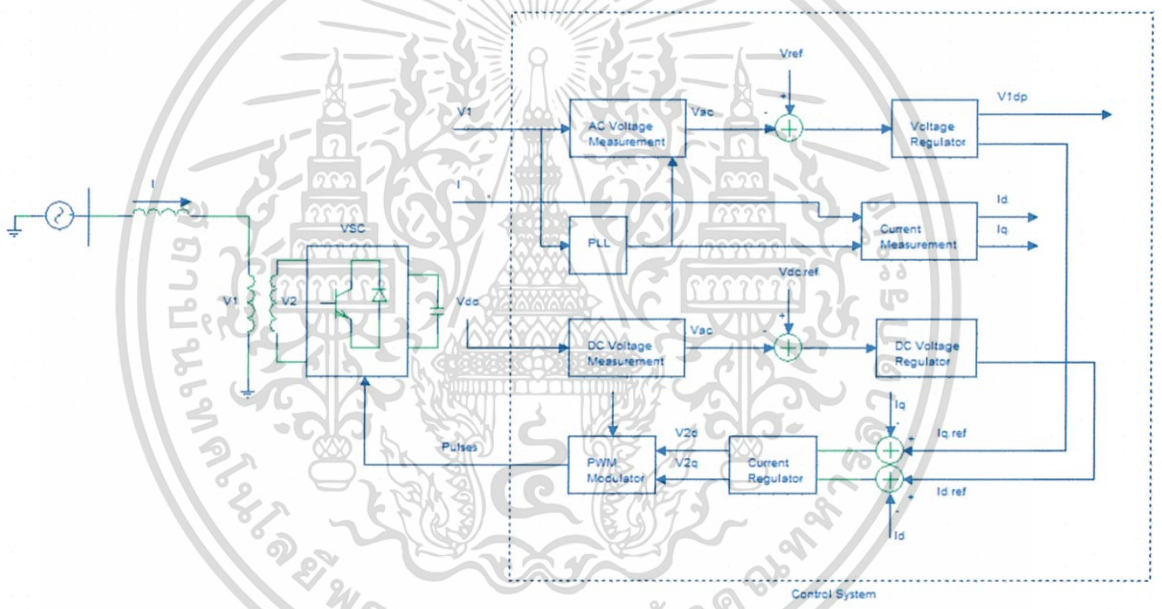
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและควบคุมระบบ

3.1 การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า

โครงสร้างและการทำงานของระบบชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ มีความต้องการให้อุปกรณ์เริ่มทำงานโดยทำการตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ตรวจวัดค่า (Measurement Devices) ของอุปกรณ์ STATCOM ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง (References) เพื่อให้วิเคราะห์ว่าระบบไฟฟ้านั้นมีเสถียรภาพที่ต้องการหรือไม่ ถ้าหากมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดเอาไว้อุปกรณ์ STATCOM จะสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมการทริกให้ไทริสเตอร์ทำงานโดยควบคุมปริมาณของกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) ที่จ่ายเข้าไปหรือรับออกมาจากระบบไฟฟ้า เพื่อชดเชยให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น



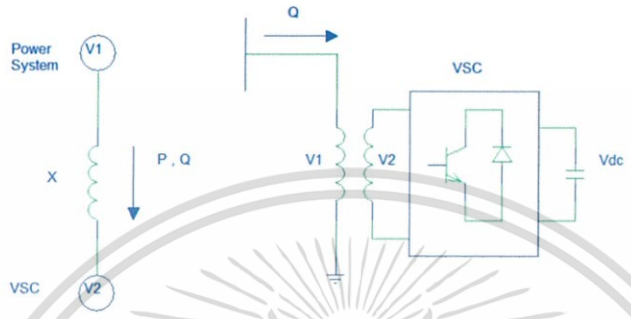
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่

3.2 การออกแบบแบบจำลอง STATCOM

ตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้า Static Synchronous Compensator (STATCOM) เป็นอุปกรณ์ที่ต่อขนานเข้ากับระบบของ Flexible AC Transmission Systems (FACTS) ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในการควบคุมการไหลของพลังงานและการปรับปรุงเสถียรภาพชั่วคราวบนสายส่งไฟฟ้า โดย STATCOM จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วและควบคุมปริมาณของกำลังไฟฟ้าเสมือน ที่จ่ายเข้าไปหรือรับออกจากระบบไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าของระบบอยู่ในระดับต่ำ STATCOM สร้างกำลังไฟฟ้าเสมือน (STATCOM ตัวเก็บประจุ) เมื่อแรงดันไฟฟ้าของระบบอยู่ในระดับสูงก็จะรับกำลังไฟฟ้าเสมือน (STATCOM ตัวเหนี่ยวนำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

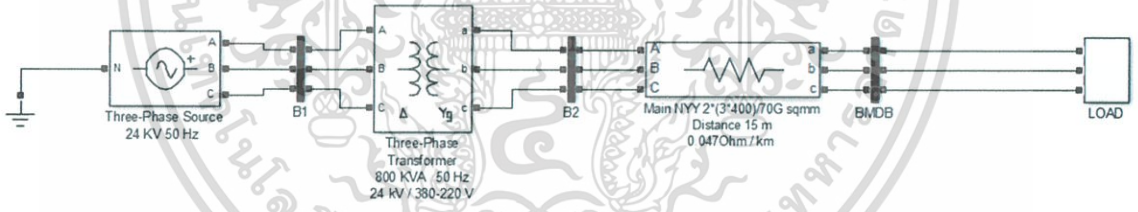
การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเสมือน จะใช้ Voltage-Sourced Converter (VSC) ที่เชื่อมต่อกับด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคัปปลิ้ง โดย VSC ใช้พลังงานจากการขับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง(GTOs , IGBTsหรือ IGCTs) โดย V2 ที่ถูกสร้างขึ้นจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) หลักการทำงานของ STATCOM จะมีการอธิบายในรูปด้านล่างแสดง การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนระหว่างแหล่งจ่าย V1 และ V2 ในรูปนี้ V1 หมายถึงระบบแรงดันที่ถูกควบคุมและ V2 เป็นแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นโดย VSC



รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของ STATCOM

3.3 การจำลองในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

3.3.1 การออกแบบภาระทางไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร

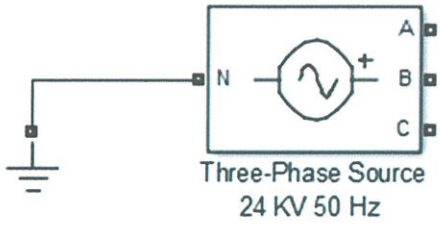


รูปที่ 3.3 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ไม่มีตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้า

การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ดังนี้

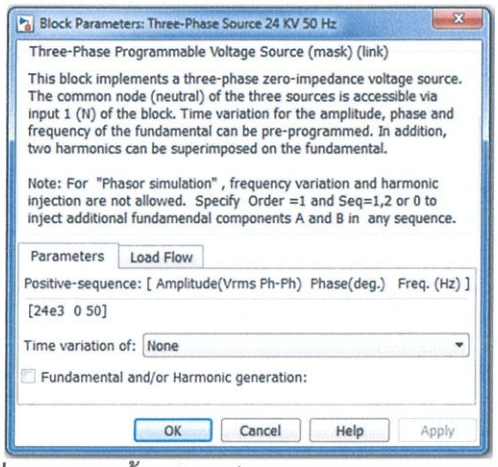
หมายเหตุ Sample time (s) : Ts= 5e-6

1.Three-Phase Source



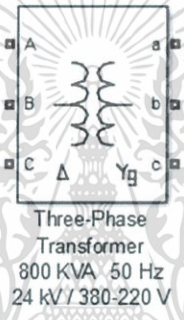
รูปที่ 3.4 บล็อก Three-Phase Source Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

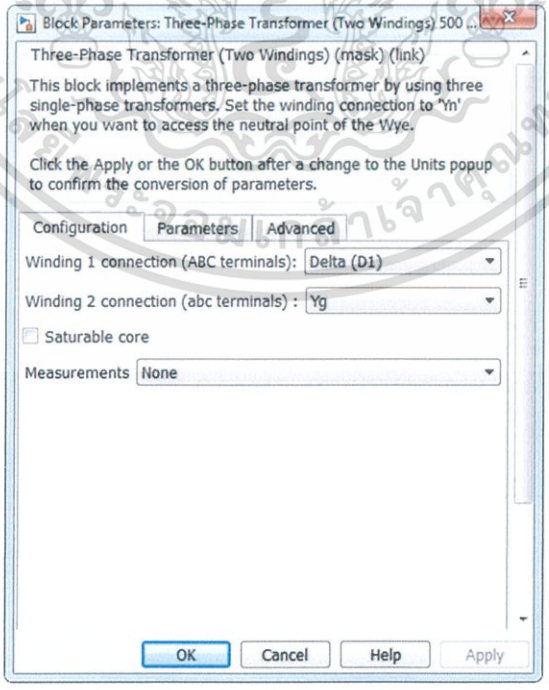


รูปที่ 3.5 การตั้งค่าในบล็อก Three-Phase Source

2. Three-Phase Transformer (Two Windings)

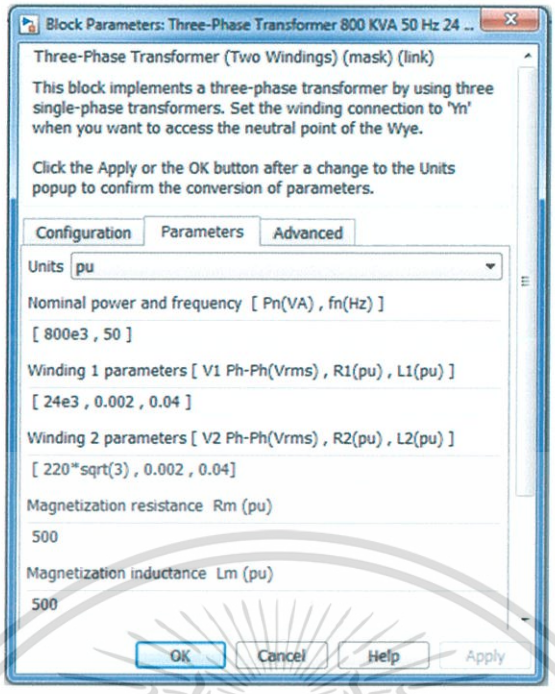


รูปที่ 3.6 บล็อก Three-Phase Transformer (Two Windings)



รูปที่ 3.7 การตั้งค่าในบล็อก Three-Phase Transformer (Two Windings) (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

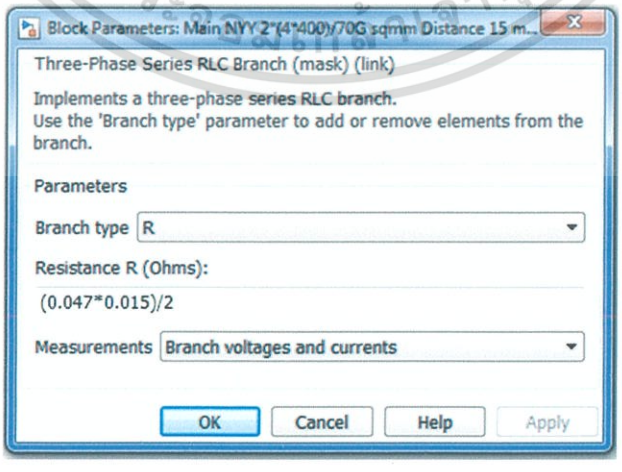


รูปที่ 3.8 การตั้งค่าในบล็อก Three-Phase Transformer (Two Windings) (2)

3. สายประธาน NYY 2*(3*400)/70G sqmm Distance 15 m



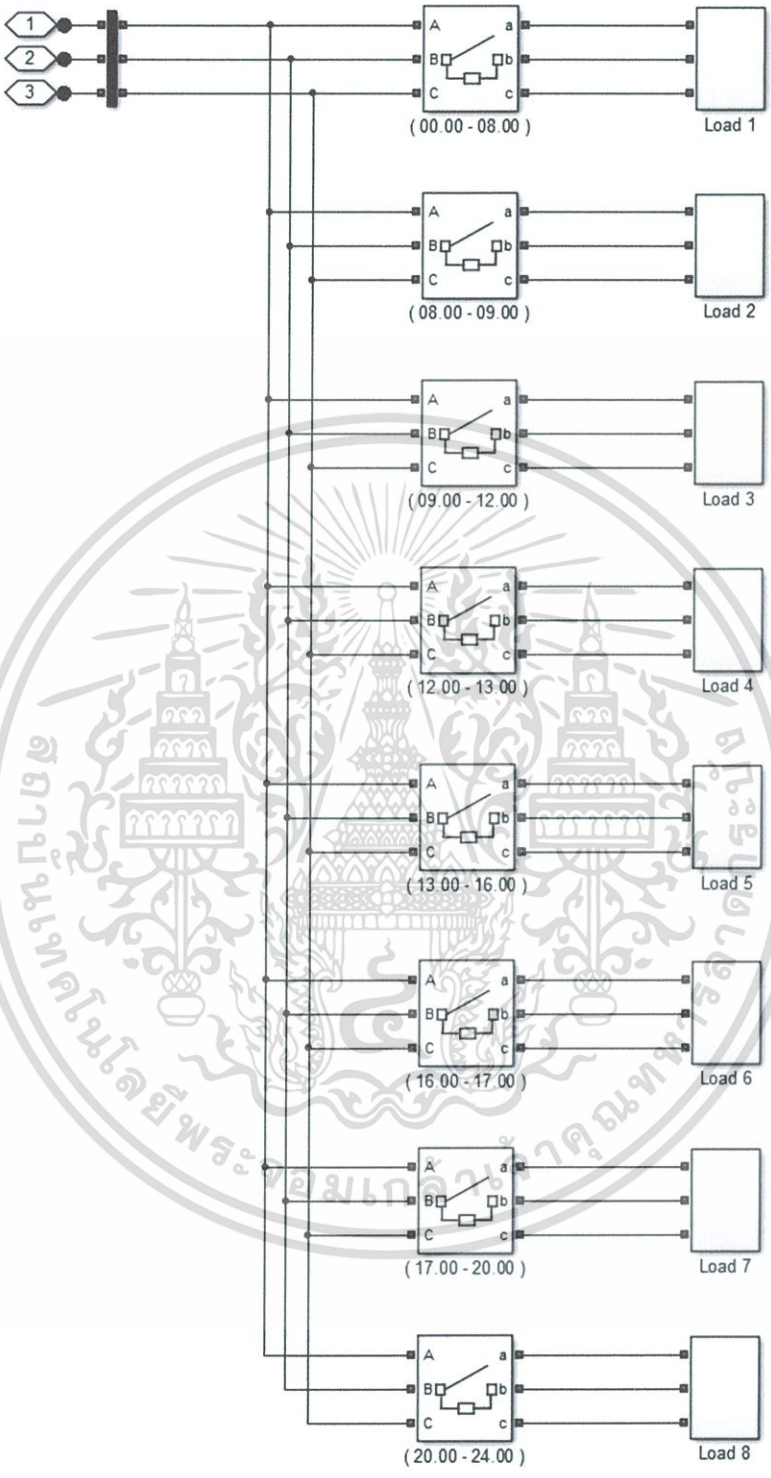
รูปที่ 3.9 สายประธาน NYY 2*(3*400)/70G sqmm Distance 15 m



รูปที่ 3.10 การตั้งค่าในบล็อก Main NYY 2*(3*400)/70G sqmm Distance 15 m 0.047Ohm / km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

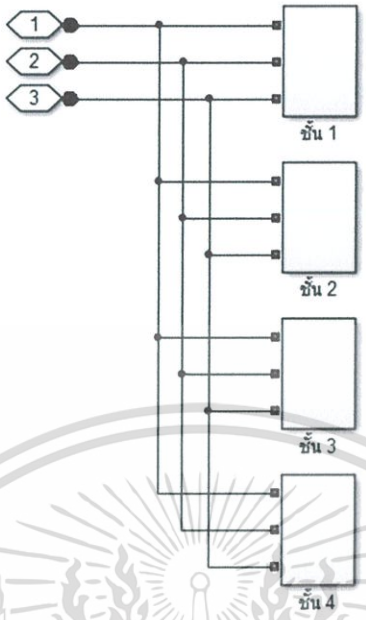
4. ภาระทางไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร



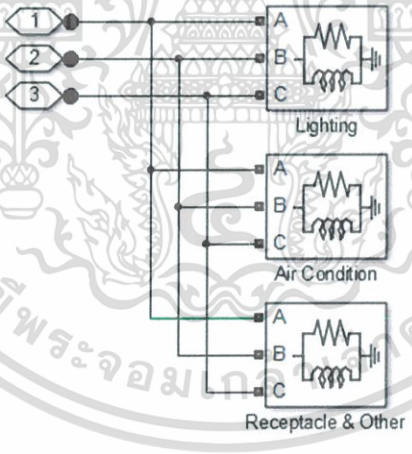
รูปที่ 3.11 ภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลา 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีรายละเอียดของภาระทางไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร ดังนี้

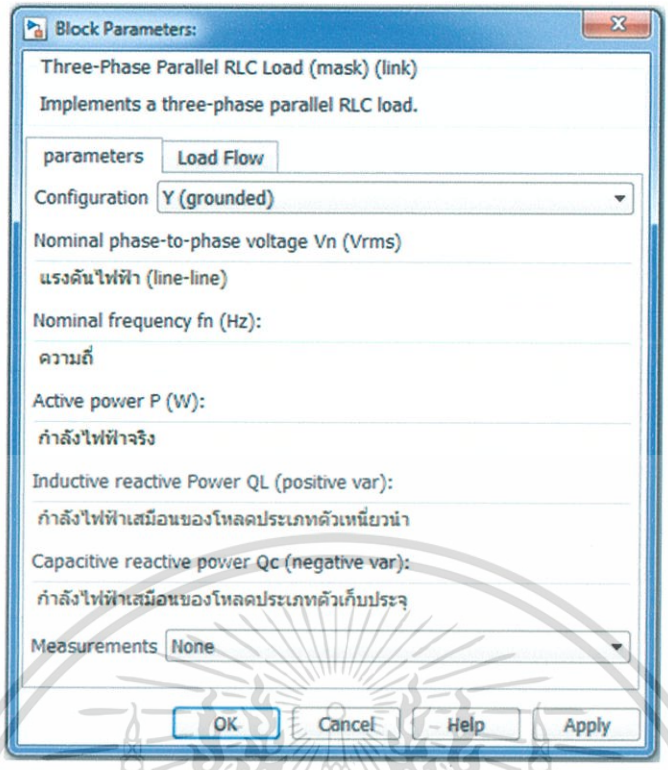


รูปที่ 3.12 ภาระทางไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (Load 1-8)



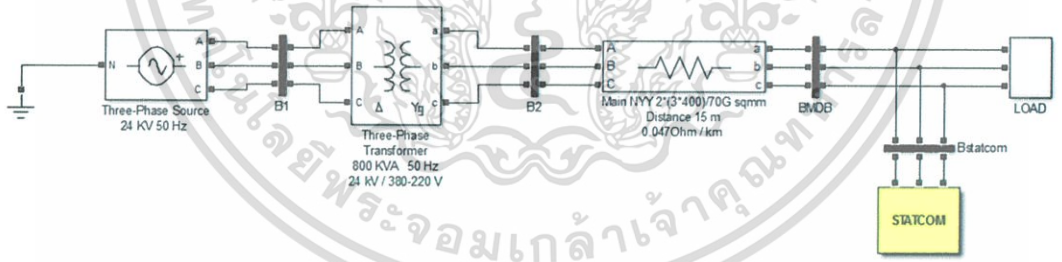
รูปที่ 3.13 ภาระทางไฟฟ้าในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างหน้าต่างการตั้งค่าของภาระทางไฟฟ้า

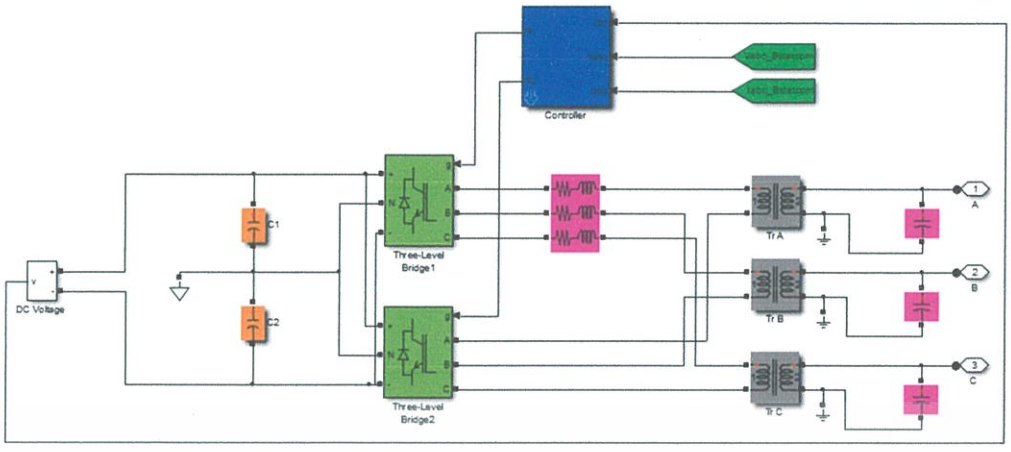
3.3.2 การออกแบบตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ Static Synchronous Compensator (STATCOM)



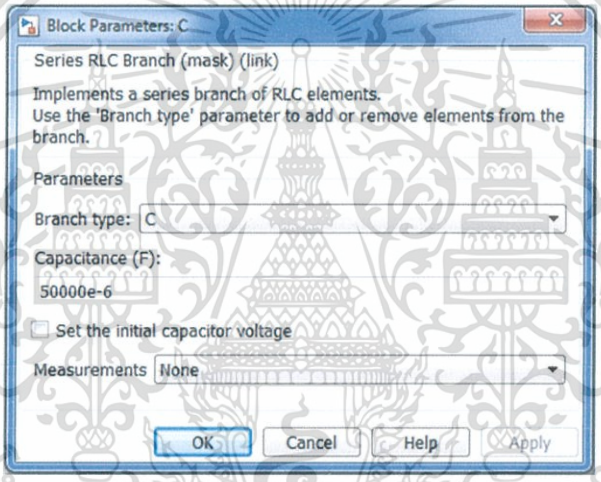
รูปที่ 3.15 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (STATCOM)

จากรูปที่ 3.16 แสดงถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายใน STATCOM ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor : C1 , C2) จำนวน 2 ตัว ใช้แทนเป็นแหล่งจ่าย DC Link Voltage , อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง IGBT 2 ตัว ต่อแบบ Three –Level Two-Bridge Inverter และมีชุด Controller ควบคุมการขับสวิตช์ของ IGBT ทั้งสอง , หม้อแปลงคัปปลิ้ง (Coupling Transformer) สำหรับเชื่อมต่อขนานเข้ากับระบบไฟฟ้า และมีวงจร RLC Low Pass Filter (หรือ *High-Cut Filter*) สำหรับกรองความถี่สูงที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

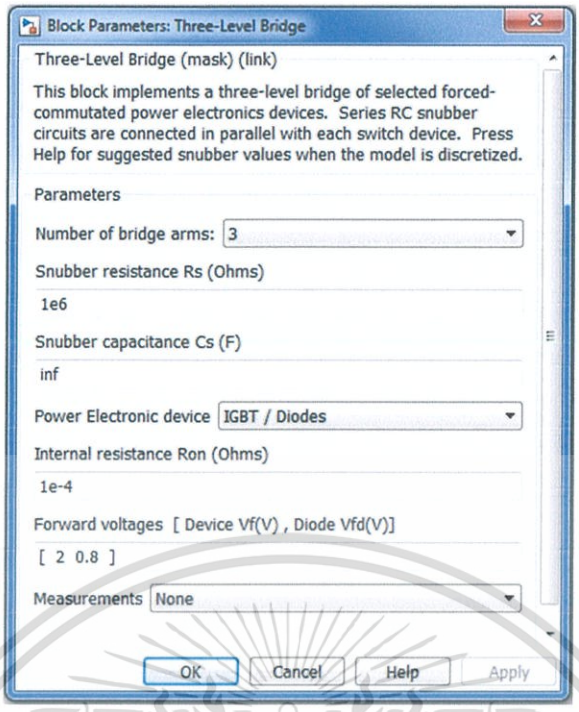


รูปที่ 3.16 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆภายใน STATCOM

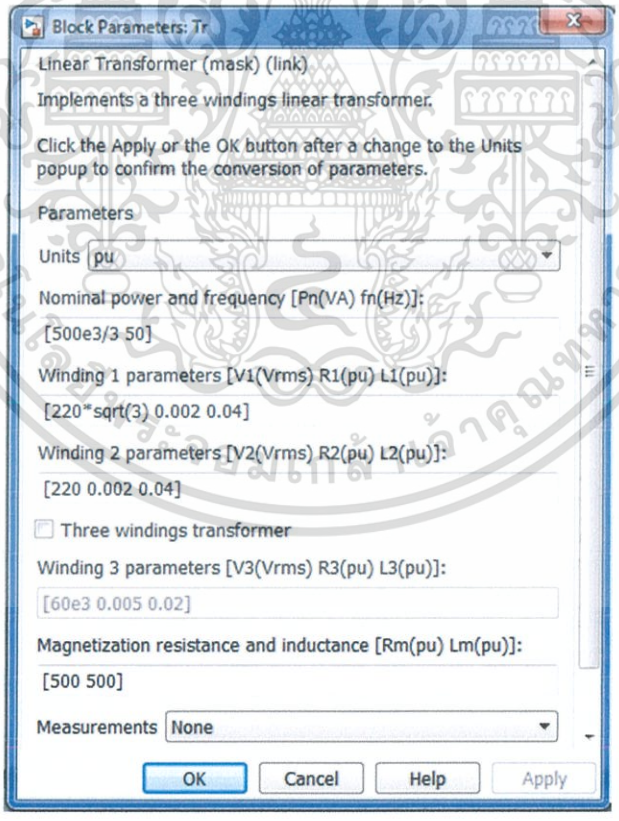


รูปที่ 3.17 การตั้งค่าในบล็อก C1 & C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

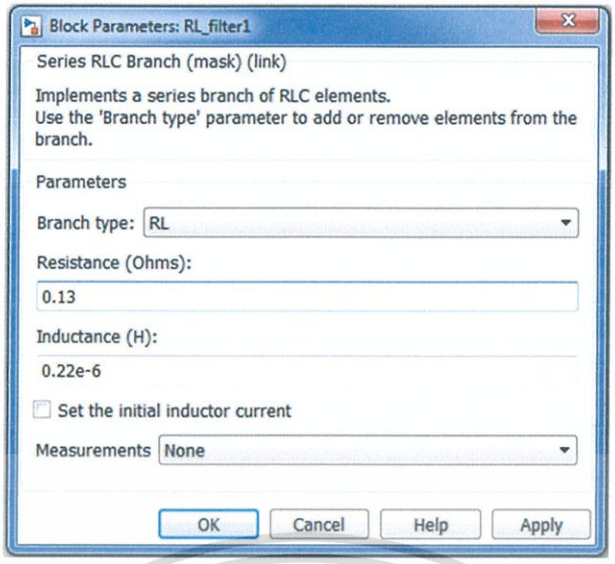


รูปที่ 3.18 การตั้งค่าในบล็อก Three-Level Bridge 1 & 2

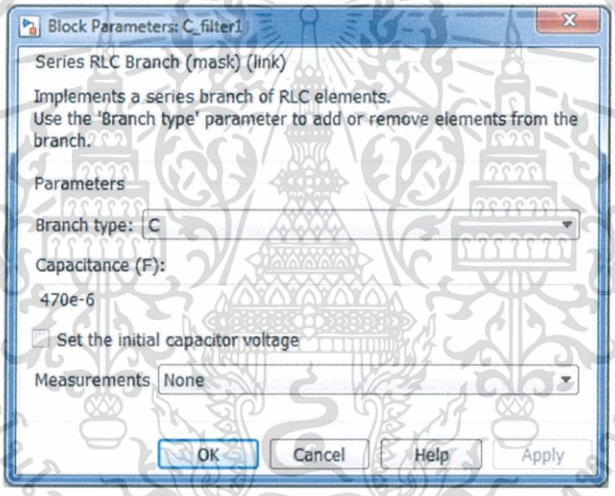


รูปที่ 3.19 การตั้งค่าในบล็อก Tr A , Tr B , Tr C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การตั้งค่าในบล็อก RL_filter 1 , 2 , 3



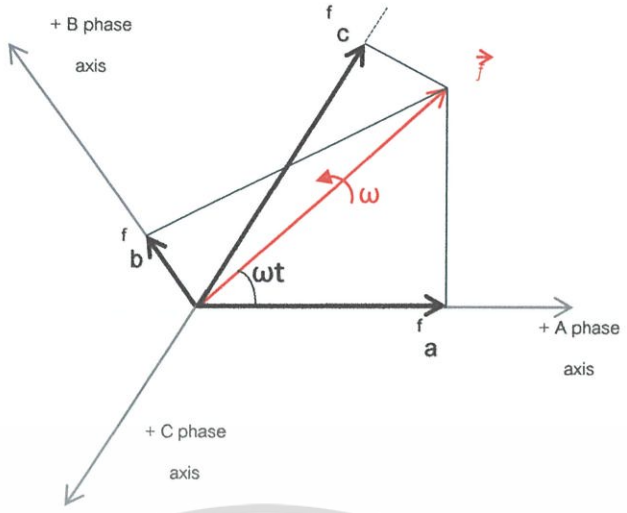
รูปที่ 3.21 การตั้งค่าในบล็อก C_filter 1 , 2 , 3

3.3.2.1 พื้นฐานการควบคุม STATCOM

การแปลงกรอบอ้างอิง abc ไปสู่ dq0

ค่าของตัวแปรสำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟส ดังเช่น แรงดัน(Voltage) กระแส (Current) หรือ ฟลักซ์รั่วไหล(Flux linkage) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ จากรูป 3.22 คือ เวกเตอร์ของตัวแปรสามเฟสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งชั่วขณะ(abc stationary reference frame)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 คือเวกเตอร์ของตัวแปรสามเฟสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งชั่วขณะ (abc stationary reference frame)

Space Vector $\vec{f}$ เขียนได้ดังนี้

$$\vec{f}(t) = \frac{2}{3}(f_a(t) + f_b(t)e^{j\frac{2\pi}{3}} + f_c(t)e^{-j\frac{2\pi}{3}}) \quad (3.1)$$

เมื่อ

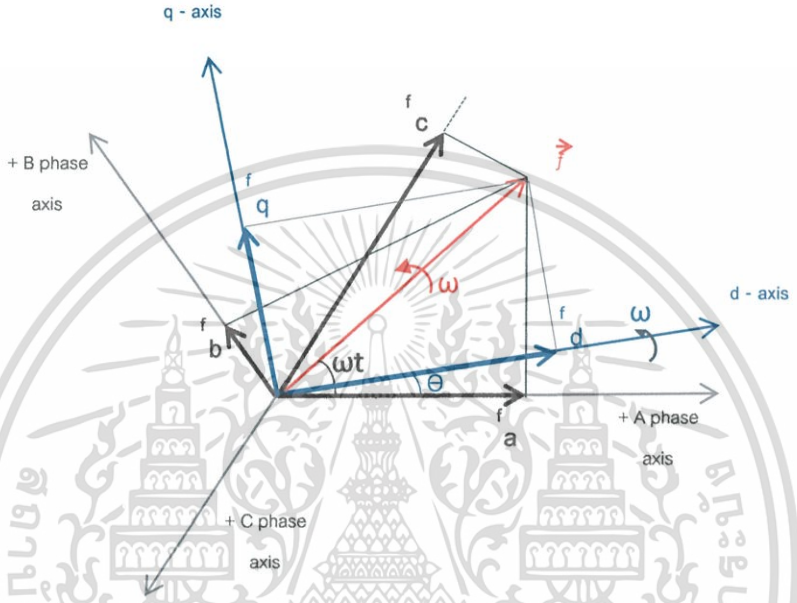
$$f_a(t) = A\cos(\omega t)$$
$$f_b(t) = A\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$
$$f_c(t) = A\cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (3.2)$$

เมื่อ A คือ แอมพลิจูดของเวกเตอร์ทางไฟฟ้าแต่ละเฟสและ ω คือ ความเร็วเชิงมุม (synchronous rotating speed 377 rad/sec) ของสเปซเวกเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว ω สัมพันธ์กับกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ตัวแปรสามเฟสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง abc สามารถแปลงให้เป็นตัวแปรสองเฟสในกรอบอ้างอิงหมุนซึ่งประกอบด้วยแกน d (direct-axis) และแกน q (quadrature-axis) ที่หมุนด้วยความเร็วเดียวกับ ω ของสเปซเวกเตอร์ การแปลงสามารถทำได้ด้วยสมการตามข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin(\omega t) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} f_a(t) \\ f_b(t) \\ f_c(t) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

เมื่อ f_d และ f_q คือองค์ประกอบของสเปซเวกเตอร์ตามแกน d และแกน q ตามลำดับ



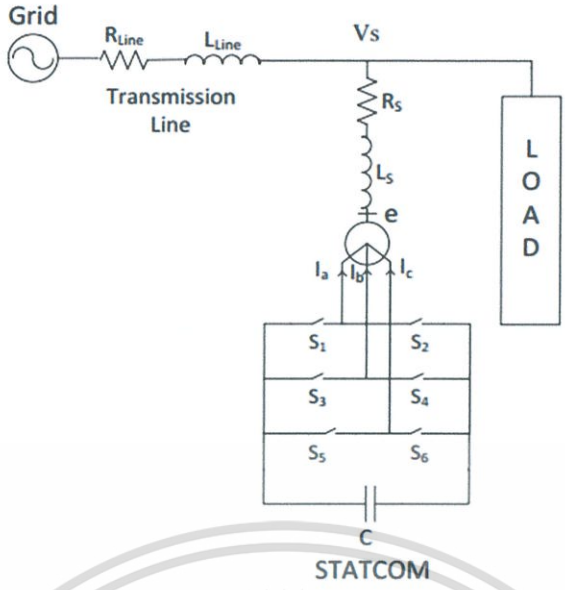
รูปที่ 3.23 เวกเตอร์แสดงตัวแปรทางไฟฟ้าสามเฟสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง (abc) และกรอบอ้างอิงหมุน (dq)

เนื่องจากการแปลงเป็นกรอบอ้างอิง f_d และ f_q ทำให้ทราบค่าปริมาณ DC ดังนั้นสเปซเวกเตอร์ $\vec{f}(t)$ สามารถอธิบายได้คือ

$$\vec{f}(t) = (f_d + jf_q)e^{j\omega t}$$

ดังรูปที่ 3.23 แสดงสเปซเวกเตอร์ $\vec{f}(t)$ ทั้งสองในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง (abc) และกรอบอ้างอิงหมุน (dq) θ คือมุมระหว่างแกน a (a-axis) และแกน d (d-axis) ในชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งกรอบอ้างอิงหมุน (dq) หมุนด้วยความเร็ว $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แผนภาพวงจรของ STATCOM ที่เชื่อมต่อกริด

รูปที่ 3.24 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพของ STATCOM เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ซึ่งโครงข่ายประกอบด้วยโหลดที่เชื่อมต่อกับกริดผ่านสายส่ง STATCOM จะมี VSI(Voltage Sourced Inverter)ต่อกับตัวเก็บประจุ(Capacitor)เป็นจุดเชื่อมต่อ DC Link เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับโหลด VSI จะประกอบด้วยสวิทช์ไฟฟ้า (*S1-S6*) เช่น IGBTs หรือ GTOs และตัวเหนี่ยวนำอนุกรม (หรือหม้อแปลง) ในรูปนี้ R_s แสดงถึงค่าความสูญเสียในตัวนำของอินเวอร์เตอร์และหม้อแปลง และ L_s คือค่ารีแอคแตนซ์รั่วไหลของหม้อแปลง I_a , I_b และ I_c คือกระแสเฟสที่ไหลออกมาจาก STATCOM ในรูปที่ 2.4 แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุต PCC และ VSI เขียนแทนด้วย V_s และ e ตามลำดับ

แรงดันไฟฟ้าเฟสเอาท์พุตของ VSI ได้มาจาก e_a , e_b และ e_c แรงดันไฟฟ้าที่จุด PCC เขียนแทนด้วย V_a , V_b และ V_c ดังสมการ :

$$e_a - V_a = R_s I_a + L_s \frac{dI_a}{dt}$$
$$e_b - V_b = R_s I_b + L_s \frac{dI_b}{dt}$$
$$e_c - V_c = R_s I_c + L_s \frac{dI_c}{dt} \quad \textbf{(3.4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมกันทั้งหมดสามเฟส :

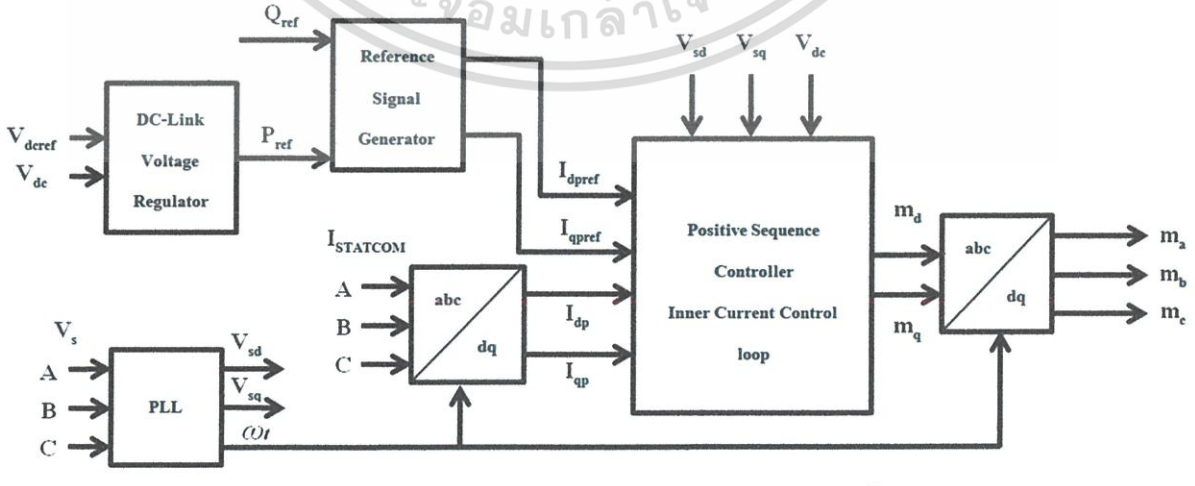
$$p\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_s}{L_s} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_s}{L_s} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \frac{1}{L_s}\begin{bmatrix} e_a - V_a \\ e_b - V_b \\ e_c - V_c \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

เมื่อ p คือตัวดำเนินการของ $\frac{d}{dt}$ ประยุกต์ใช้กับการแปลงจากกรอบอ้างอิง (abc) ไปสู่กรอบอ้างอิงหมุนซิงโครนัส (dq)

$$L_s\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} I_{dp} \\ I_{qp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_s & L_s\omega \\ -L_s\omega & -R_s \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{dp} \\ I_{qp} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_d - V_{sd} \\ e_q - V_{sq} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

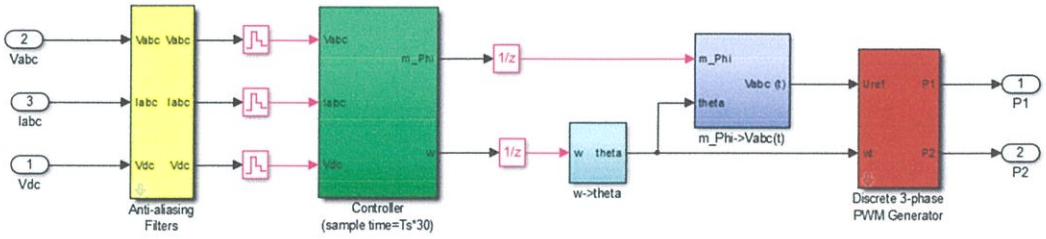
ตัวห้อย d และ q บ่งบอกถึงปริมาณทางไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงแกน d และ q ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.26 แสดงให้เห็นบล็อกไดอะแกรมการควบคุม STATCOM แบบพื้นฐาน ดังในรูป DC-link voltage regulator จะถูกใช้ในการควบคุมแรงดันที่ตัวเก็บประจุให้คงที่ บล็อก ' Reference Signal Generator ' ใช้เป็นจุดอ้างอิงค่ากระแสที่ต้องจ่ายโดย STATCOM ในกรอบอ้างอิง dq บล็อก ' PLL ' ใช้แรงดันไฟฟ้า V_s ที่จุด PCC เป็นอินพุตและสร้างสัญญาณ $'\omega t'$ ซึ่งจะตรงกับเฟส A ของ V_s ในขณะเดียวกันกระแส STATCOM หรือ $I_{STATCOM}$ จะถูกแปลงให้อยู่ในกรอบอ้างอิง dq และส่งไปยังบล็อก ' Positive Sequence Controller ' เป็นสัญญาณป้อนกลับ โดยตัวควบคุมนี้จะสร้างสัญญาณมอดูเลต (modulating signals) ในกรอบอ้างอิง dq ซึ่งแปลงมาจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง abc และส่งต่อไปยังสวิตช์แต่ละขาของอินเวอร์เตอร์ สมการสำหรับบล็อก abc ไปสู่ dq จะได้จาก **(3.3)** รายละเอียดบล็อกอื่น ๆ จะกล่าวถึงในด้านล่าง

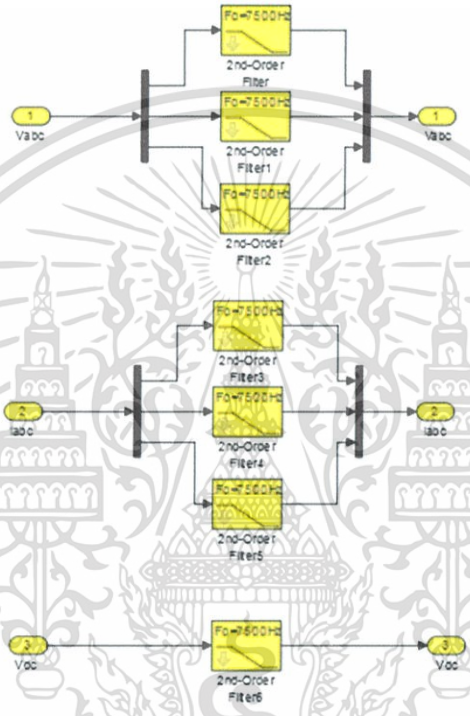


รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม STATCOM แบบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

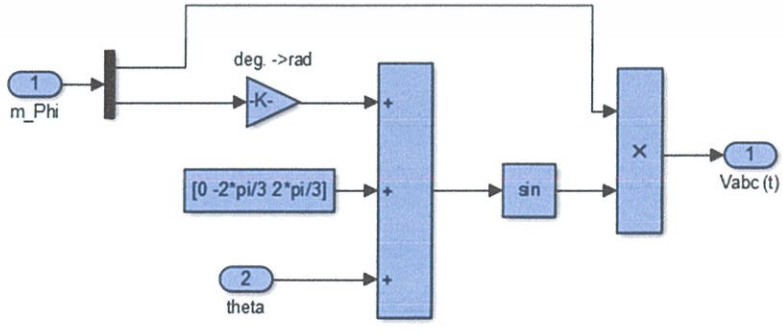


รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม STATCOM ใน Matlab Simulink



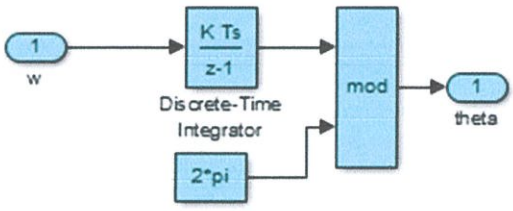
รูปที่ 3.27 บล็อกไดอะแกรมของ Anti-aliasing Filters

Cut-off frequency : 7,500 Hz

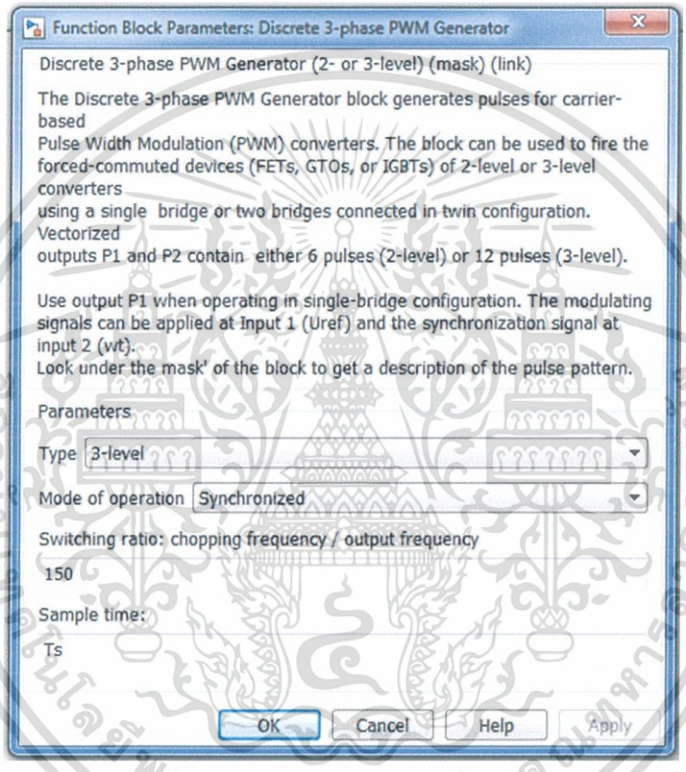


รูปที่ 3.28 บล็อกไดอะแกรมของ m_Phi → Vabc(t)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

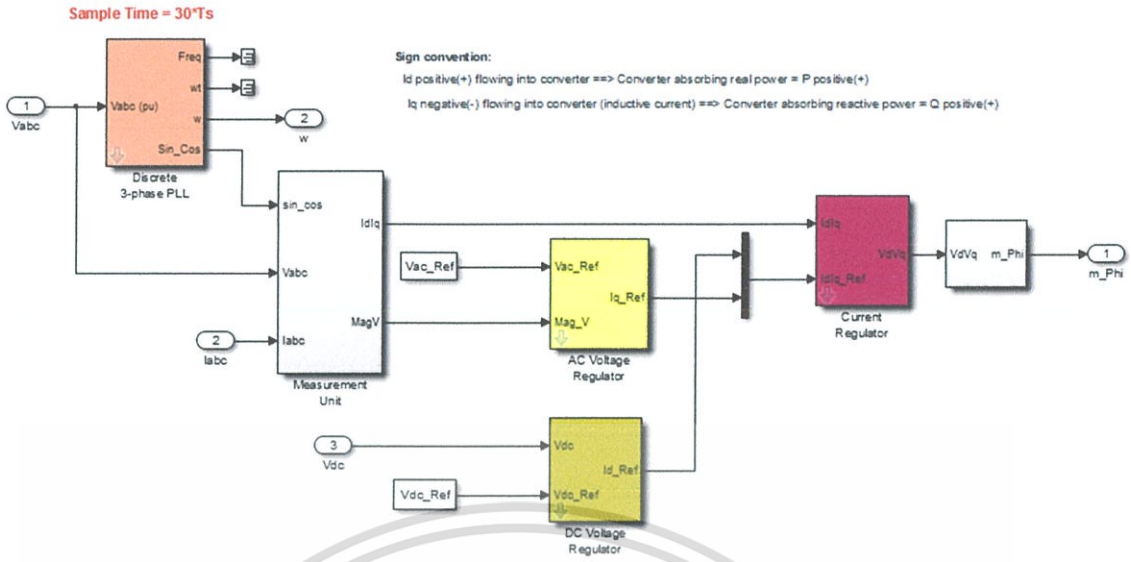


รูปที่ 3.29 บล็อกไดอะแกรมของ w → theta



รูปที่ 3.30 การตั้งค่าในบล็อก Discrete 3-phase PWM Generator

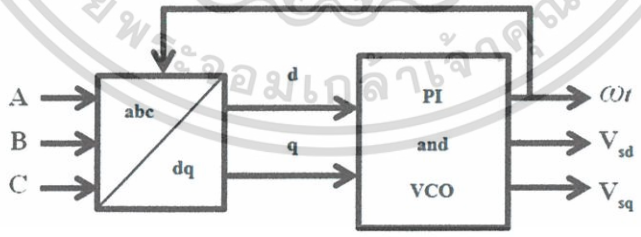
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 บล็อกไดอะแกรมใน Controller (sample time=Ts*30)

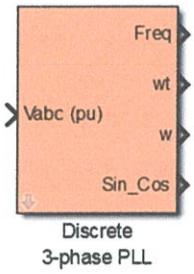
การออกแบบ Phase Locked Loop (PLL)

จากรูปที่ 3.32 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของ PLL ซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุม PI และ Voltage Controlled Oscillator (VCO) โดย PLL จะออกแบบเพื่อให้แกน d (d-axis) หมุนไปพร้อมกับกรอบอ้างอิงเฟส A (เวกเตอร์แรงไฟฟ้าจุด PCC) ดังนั้นจึงทำให้ $\theta = 0°$ (ในรูปที่ 3.23) สัญญาณอินพุตที่เข้า PLL คือส่วนในแนวแกน dq ของแรงไฟฟ้าจุด PCC ตัวควบคุม PI จะทำให้ $V_{sq} = 0$ และได้มุมเอาท์พุตของ VCO คือ $'\omega t'$ เอาท์พุตของ PLL คือมุม ωt ซึ่งถูกนำมาใช้ในการแปลงกรอบอ้างอิง dq (3.3) ของแรงไฟฟ้าจุด PCC (V_{sd} และ V_{sq}) V_{sd} ทำให้ค่าสูงสุดของแรงดันเฟสในขณะที่ V_{sq} จะกลายเป็นศูนย์

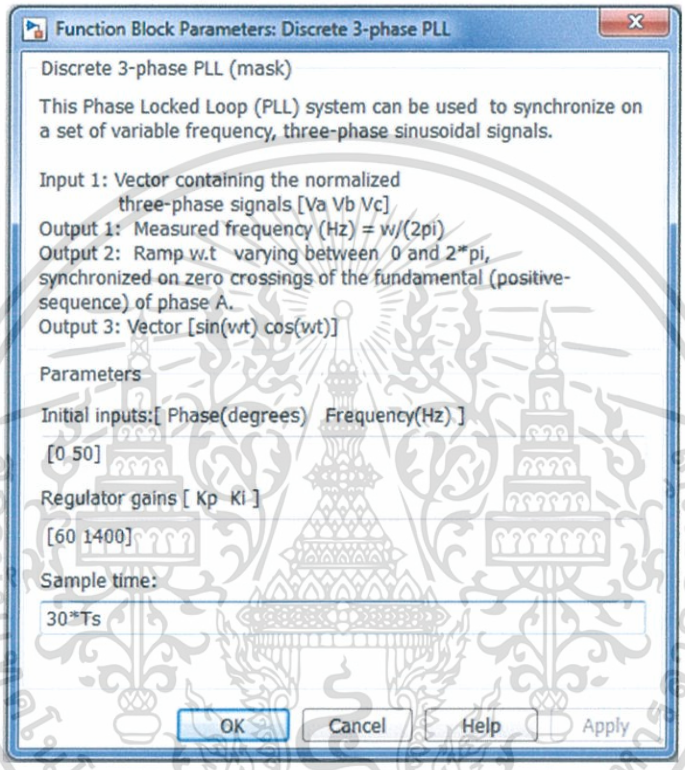


รูปที่ 3.32 บล็อกไดอะแกรมของ Phase Locked Loop (PLL)

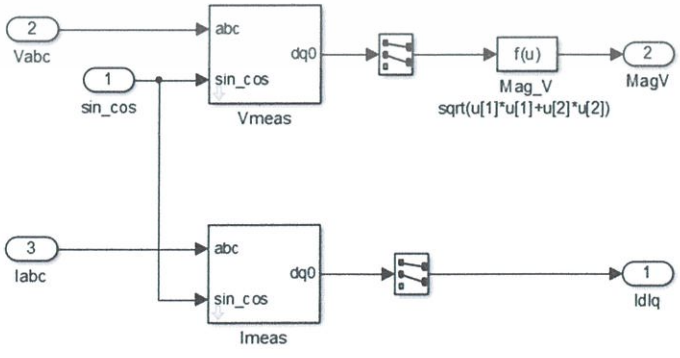
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 บล็อกของ Discrete 3-phase PLL

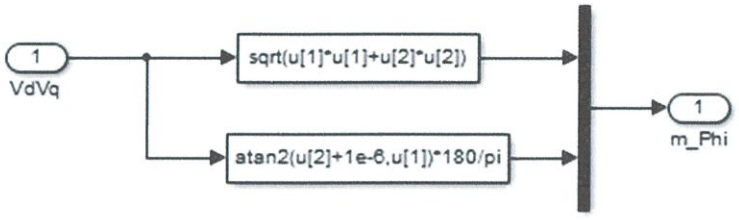


รูปที่ 3.34 การตั้งค่าในบล็อก Discrete 3-phase PLL



รูปที่ 3.35 บล็อกไดอะแกรมของ Measurement Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 บล็อกไดอะแกรมของ Vd_Vq → m,Phi

การควบคุมเอาท์พุตของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนจาก VSI

สมการเอาท์พุตกำลัง VSI สามารถคำนวณได้ในกรอบอ้างอิง (dq) กำลังไฟฟ้าจริง (P) และ กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ในกรอบอ้างอิง dq สามารถอธิบายได้ด้วย :

$$P = \frac{3}{2}(V_{sd}I_{dp} + V_{sq}I_{qp})$$
$$Q = \frac{3}{2}(V_{sq}I_{dp} - V_{sd}I_{qp}) \quad (3.7)$$

เนื่องจาก PLL คำนวณ $V_{sq} = 0$, (3.7) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$P = \frac{3}{2}(V_{sd}I_{dp})$$
$$Q = \frac{3}{2}(-V_{sd}I_{qp}) \quad (3.8)$$

V_{sd} หมายถึงแรงดันไฟฟ้ากริดซึ่งไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นพลังงานเอาท์พุตจาก VSI สามารถควบคุมได้โดย I_{dp}และI_{qp} ดังนั้นการที่จะได้พลังงานอ้างอิง P_{ref} และ Q_{ref} ที่ต้องการกระแสเอาท์พุตจาก VSI จะได้เป็น

$$I_{dpref} = \frac{2}{3V_{sd}}(P_{ref})$$
$$I_{qpref} = -\frac{2}{3V_{sd}}(Q_{ref}) \quad (3.9)$$

สมการนี้จะอธิบายถึงตัวดำเนินการของบล็อก 'Reference Signal Generator' ที่แสดงในรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวกเตอร์แรงดันเอาท์พุต VSI ในกรอบอ้างอิงหมุนซิงโครนัส

เทคนิค Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) ถูกใช้ในการสร้างพัลส์จุดฉนวนสำหรับสวิทช์ไฟฟ้า (S1-S6) ในวงจรนี้แรงดันเอาท์พุต VSI ในรูปที่ 3.24 จะได้เป็น

$$e_a = m_a(t)\frac{V_{dc}}{2}$$
$$e_b = m_b(t)\frac{V_{dc}}{2}$$
$$e_c = m_c(t)\frac{V_{dc}}{2}$$

(3.10)

เมื่อ m_a , m_b และ m_cคือดัชนีการมอดูเลตในแต่ละขาของอินเวอร์เตอร์และ V_{dc} คือแรงดันที่ตัวเก็บประจุ (DC-Link) สำหรับพลวัต (Dynamics) ของระบบและวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์การควบคุมองค์ประกอบความถี่สูงสามารถละเว้นได้ นอกจากนี้ยังมีตัวกรองและตัวควบคุมในลักษณะความถี่ต่ำผ่านได้ในระบบวงปิด (closed loop) ด้วยเหตุนี้ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาท์พุตสามารถพิจารณาแทนค่าขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous value) เมื่อพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบมูลฐานของพัลส์สวิตชิ่ง :

$$m_{a1} = k\sin(\omega t + \gamma)$$
$$m_{b1} = k\sin\left(\omega t + \gamma - \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$m_{c1} = k\sin\left(\omega t + \gamma + \frac{2\pi}{3}\right)$$

(3.11)

เมื่อ k คือค่าตัวประกอบของแรงดันไฟฟ้า DC-Link ที่สัมพันธ์กับขนาดแอมพลิจูดแรงดันไฟฟ้าเฟสที่ขั้วด้าน AC ของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งควรจะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับการทำงานในช่วงเชิงเส้นของอินเวอร์เตอร์ γ คือมุมที่แรงดันไฟฟ้า VSI $\vec{e}$ นำหน้า แรงดันไฟฟ้าจุด PCC ละเลยในเรื่องของแรงดันฮาร์มอนิกที่เกิดจาก VSI เอาท์พุตของแรงดันไฟฟ้ามูลฐานจะเป็น :

$$e_{a1} = m_{a1}(t)\frac{V_{dc}}{2}$$
$$e_{b1} = m_{b1}(t)\frac{V_{dc}}{2}$$
$$e_{c1} = m_{c1}(t)\frac{V_{dc}}{2}$$

(3.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

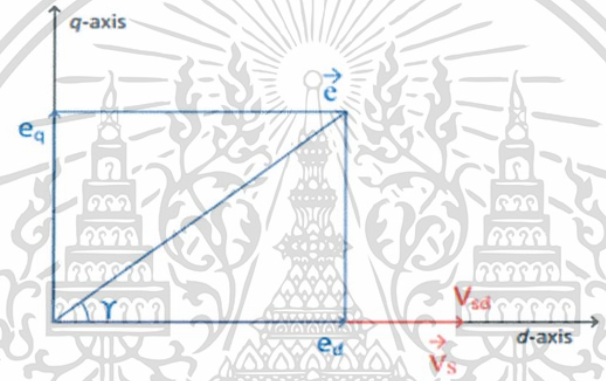
ใช้การแปลงกรอบอ้างอิง abc ไปสู่ dq จาก (3.3) ด้วย (3.12)

$$e_d = \frac{V_{dc}}{2} m_d$$
$$e_q = \frac{V_{dc}}{2} m_q$$

(3.13)

เมื่อ m_d และ m_q คือดัชนีการมอดูเลตในกรอบอ้างอิง dq ดังนั้นเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุต VSI สามารถอธิบายได้ด้วย

$$\vec{e}(t) = (e_d + je_q)e^{j\omega t}$$



รูปที่ 3.37 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุต VSI และ แรงดันไฟฟ้าจุด PCC ในกรอบอ้างอิง dq

รูปที่ 3.37 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุต VSI $\vec{e}$ ในระนาบ dq $\vec{V_s}$ แสดงถึงเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าจุด PCC มุม γ และขนาดแอมพลิจูดที่แตกต่างของ $\vec{e}$ และ $\vec{V_s}$ จะกำหนดการแลกเปลี่ยนพลังงานจริงและพลังงานเสมือนด้วย STATCOM

การควบคุมกระแส (VSI Current Control)

แทนค่าของ e_d และ e_q จาก (3.13) ลงใน (3.6) จะได้สมการดังนี้

$$L_s \frac{dI_{dp}}{dt} = -R_s I_{dp} + L_s \omega I_{qp} + \frac{V_{dc}}{2} m_d - V_{sd}$$
$$L_s \frac{dI_{qp}}{dt} = -R_s I_{qp} - L_s \omega I_{dp} + \frac{V_{dc}}{2} m_q - V_{sq}$$

(3.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดความสะดวกในการควบคุมแยกการคัปปลิ้ง (decoupled control) ของกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต การควบคุม I_{dp} และ I_{qp} ควรแยกการคัปปลิ้งออกจากกัน จากสมการ **(3.14)** I_{dp} และ I_{qp} คือตัวแปรสถานะ โดยการคัปปลิ้งที่มีอยู่ในระบบนั้นเนื่องมาจากการเกิดขึ้นของเทอม $L_s\omega$ เพื่อที่จะแยกการคัปปลิ้ง I_{dp} และ I_{qp} เราสามารถกำหนดให้ m_d และ m_q เป็นได้ดังนี้

$$m_d = \frac{2}{V_{dc}}(u_d - L_s\omega I_{qp} + V_{sd})$$
$$m_q = \frac{2}{V_{dc}}(u_q + L_s\omega I_{dp} + V_{sq})$$

(3.15)

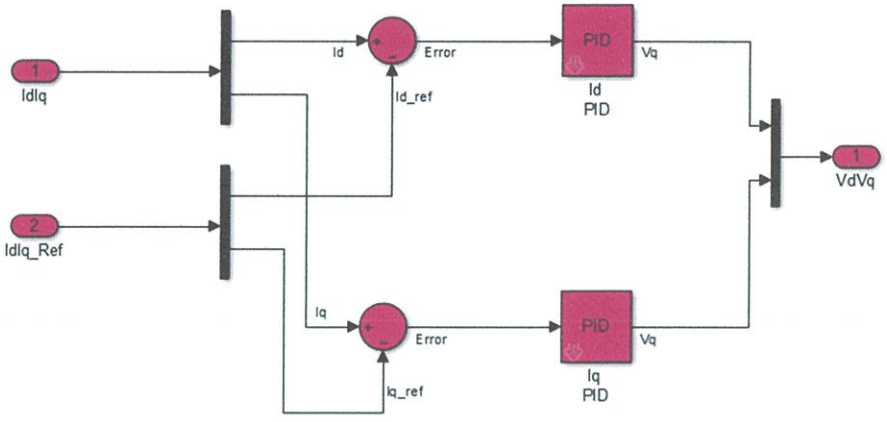
เมื่อ u_d และ u_q คืออินพุทการควบคุม เทอม $L_s\omega I_{qp}$ และ $L_s\omega I_{dp}$ คืออินพุทการแยกการคัปปลิ้ง ก่อนการทำงาน และ V_{sd} และ V_{sq}จะเพิ่มตามที่กำหนดใน **(14)** จากนั้นแทนค่า m_d และ m_q ลงใน **(14)** สามารถลดรูปเป็นสมการอย่างง่ายได้ดัง

$$L_s\frac{dI_{dp}}{dt} = -R_sI_{dp} + u_d$$
$$L_s\frac{dI_{qp}}{dt} = -R_sI_{qp} + u_q$$

(3.16)

สองสมการเหล่านี้ได้อธิบายถึงระบบอันดับหนึ่งที่แยกการคัปปลิ้ง โดยตัวควบคุม PI Controller ก็เพียงพอแล้วสำหรับการควบคุม I_{dp} และ I_{qp} ที่ต้องการ จากรูปที่ 3.38 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมวงรอบใน(inner loop control) ของ STATCOM ซึ่งได้แสดงในรูป 3.25 ด้วย ในรูปที่ 3.38 I_{dpref} คือกระแสอ้างอิงสำหรับกำลังไฟฟ้าจริง และ I_{dp} คือพารามิเตอร์ของกระแส STATCOM ในแกน d สัญญาณผิดพลาด(error signal) จะป้อนเข้า PI Controller และได้เอาท์พุตเป็น u_d ค่าพารามิเตอร์ของ PI Controller (K_{pd_p} และ T_{id_p}) จะเลือกโดยวิธีการทดลองและหาข้อผิดพลาดเพื่อที่จะตอบสนองเฉพาะตามที่ต้องการ หลังจากได้ค่า u_d จากตัวตัวควบคุมในสมการที่ **(3.15)** ดำเนินการตามรูปเพื่อที่จะได้ค่า m_d ซึ่งขั้นตอนนั้นจะคล้ายกันจะทำให้ได้ค่า m_q ตามมาด้วยโดยค่าพารามิเตอร์ของ PI Controller ของ I_{qp} คือ(K_{pq_p} และ T_{iq_p}) ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter) ถูกใช้สำหรับลดฮาร์มอนิกที่เกิดจากการสวิตชิ่งที่ความถี่สูง

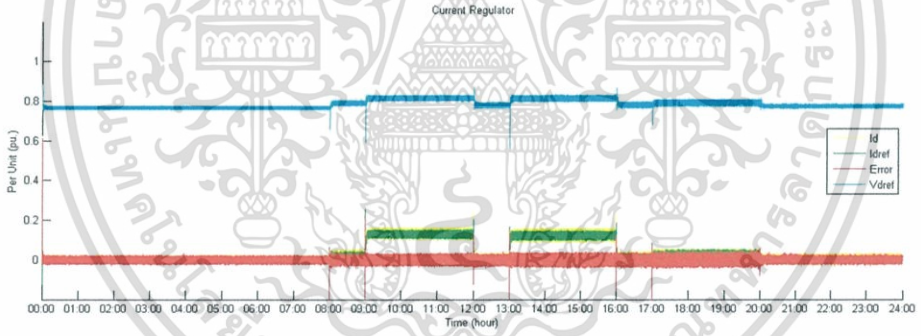
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



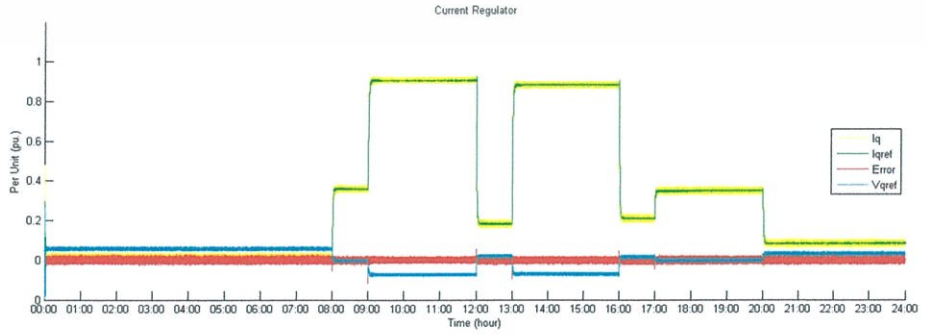
รูปที่ 3.36 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมวงรอบใน (inner loop control)

กำหนดค่าพารามิเตอร์ Current Regulators Gains ในบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมวงรอบใน (inner loop control) เป็นดังนี้

- Proportional Gain (Kp) = 0.4
- Integral Gain (Ki) = 250
- Derivative (Kd) = 0



รูปที่ 3.37 ผลตอบสนองของกราฟ Current (Id) Regulator



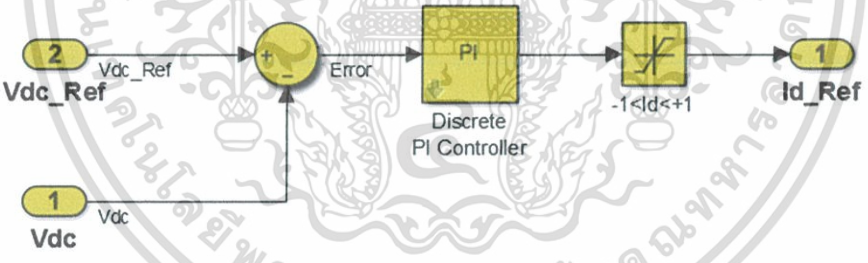
รูปที่ 3.38 ผลตอบสนองของกราฟ Current (Iq) Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟผลตอบสนองทั้งสอง รูปที่ 3.37 และ 3.38 ตัวควบคุม PI Controller นั้นช่วยควบคุมให้กระแส I_d เข้าใกล้กระแสอ้างอิง I_{dref} ทำให้ค่าผิดพลาด(Error) เข้าสู่ศูนย์และได้เอาท์พุตเป็นแรงดันอ้างอิงคือ V_{dref} ในทำนองเดียวกันก็ควบคุมให้กระแส I_q เข้าใกล้กระแสอ้างอิง I_{qref} ทำให้ค่าผิดพลาด(Error) เข้าสู่ศูนย์และได้เอาท์พุตเป็นแรงดันอ้างอิงคือ V_{qref} จะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุมกระแส I_d และ I_q แต่ละแกนได้เมื่อควบคุมโดยแยกการคัปปลิ้ง(decoupling)

การควบคุมแรงดัน (DC Link Voltage Control)

ใน STATCOM ตัวเก็บประจุถูกใช้ใน DC Link แทนแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง เนื่องจากการไหลของกระแสผ่านสวิทช์ไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า กำลังสูญเสียจึงเกิดใน STATCOM ลักษณะเช่นนี้ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุลดลง ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จุดเชื่อมโยงจึงต้องรักษาไว้ที่ค่าคงที่สำหรับการทำงานที่เหมาะสมของ STATCOM เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุคงที่ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงจำนวนเล็กน้อยต้องมีการดึงเข้ามาใน STATCOM จากระบบกริดพลังงานที่ต้องการสามารถคำนวณได้จากตัวควบคุมแรงดัน DC Link ซึ่งได้ค่าที่สอดคล้องกับ I_{dpref} ที่ป้อนเข้าตัวควบคุมวงรอบใน(inner loop control) ข้อมูลรายละเอียดของ DC Link Voltage Controller จะแสดงในรูปที่ 3.39 V_{dc} คือแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุและ C คือค่าความจุไฟฟ้าที่ DC Link ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุม PI Controller (K_{pdc} และ T_{idc}) ถูกนำมาใช้หาค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงที่ต้องการ

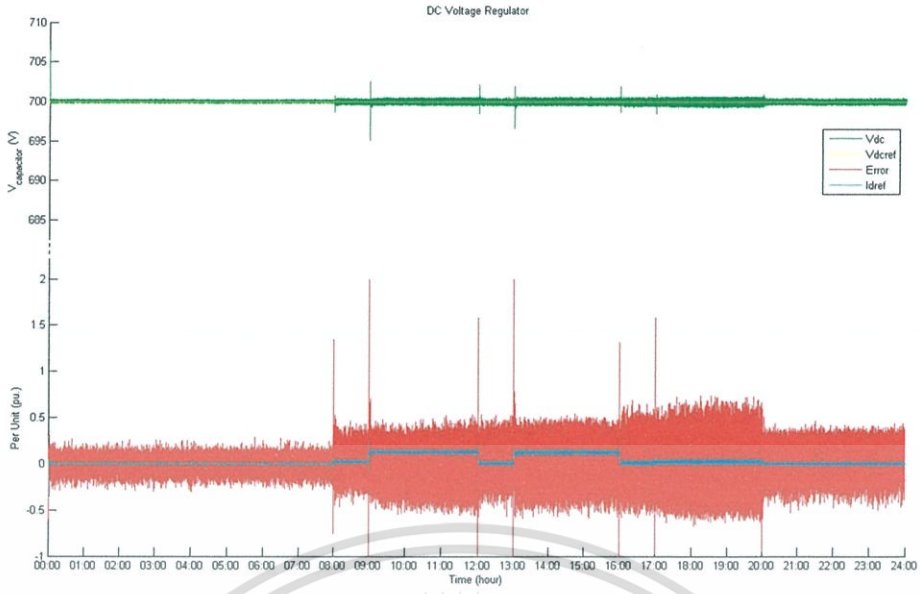


รูปที่ 3.39 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแรงดัน (DC Voltage Regulator)

กำหนดค่าพารามิเตอร์ Vdc Regulator Gains ในบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแรงดัน (DC Voltage Regulator) เป็นดังนี้

- Proportional Gain (Kp) = 0.045
- Integral Gain (Ki) = 4.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

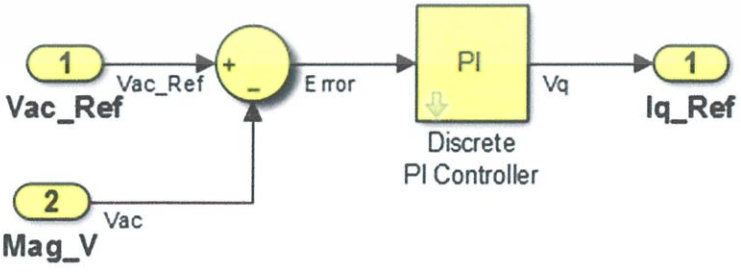


รูปที่ 3.40 ผลตอบสนองของกราฟ DC Voltage Regulator

จากกราฟผลตอบสนองรูปที่ 3.40 ตัวควบคุม PI Controller นั้นช่วยควบคุมให้แรงดันที่ตัวเก็บประจุ V_d คงที่ที่แรงดันอ้างอิง V_{dref} = 700 V. ทำให้ค่าผิดพลาด(Error) เข้าสู่ศูนย์ และได้เอาท์พุตเป็นกระแสอ้างอิงคือ I_{dref} มาควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) ที่ระบบต้องการ

การรักษาระดับแรงดันและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง(power factor)

STATCOM รักษาระดับแรงดันที่จุด PCC ด้วยการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเสมือนที่คำนวณได้จาก**(3.8)** เกี่ยวข้องกับ I_{qp} สำหรับการรักษาระดับแรงดัน ตัวควบคุม PI Controller อย่างง่ายที่ใช้เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิง Q_{ref} บล็อกไดอะแกรมของการรักษาระดับแรงดันใน STATCOM (AC Voltage Regulator) แสดงในรูปที่ 3.41 ซึ่งคำนวณสัญญาณผิดพลาดโดยการลบกับค่าแรงดันไฟฟ้า V_{RMS} จากแรงดันอ้างอิง (1 pu. normally)



รูปที่ 3.41 บล็อกไดอะแกรมของการรักษาระดับแรงดันใน STATCOM (AC Voltage Regulator)

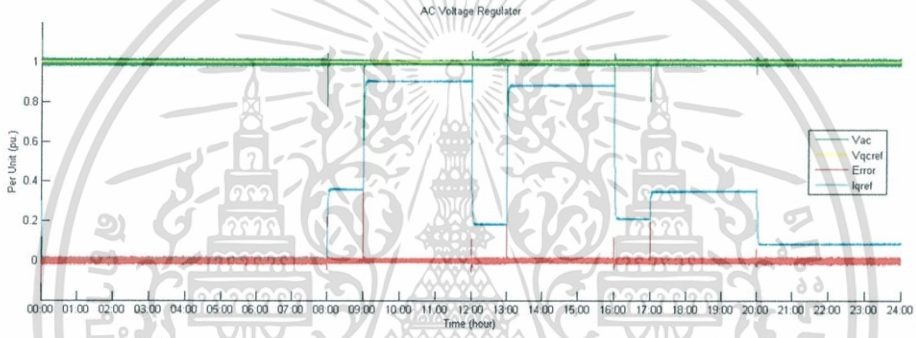
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้าที่จุด PCC จะถูกควบคุมไว้ที่ 1 pu. สำหรับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง(power factor) กำลังไฟฟ้าเสมือนที่โหลดต้องการจะคำนวณและจ่ายโดย STATCOM ดังนั้นกริดก็ไม่ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน ยังไปโหลดและเห็นเพียงโหลดความต้านทานเท่านั้น ซึ่งอย่างไรก็ตามอาจทำให้ แรงดันไฟฟ้าที่จุด PCC จะต่ำกว่า 1 pu. ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิง Q_{ref} ที่ STATCOM เป็น

$$Q_{ref} = Q_{load}$$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ Vac Regulator Gains ในบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแรงดัน (AC Voltage Regulator) เป็นดังนี้

- Proportional Gain (Kp) = 0.05
- Integral Gain (Ki) = 550



รูปที่ 3.42 ผลตอบสนองของกราฟ AC Voltage Regulator

จากกราฟผลตอบสนองรูปที่ 3.43 ตัวควบคุม PI Controller นั้นช่วยควบคุมให้แรงดันที่จุด PCC V_{ac} คงที่ที่แรงดันอ้างอิง V_{acref} = 1 pu. (220 V_{rms}) ทำให้ค่าผิดพลาด(Error) เข้าสู่ศูนย์และได้เอาท์พุตเป็นกระแสอ้างอิงคือ I_{qref} มาควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือน(Reactive Power) ที่ระบบต้องการ

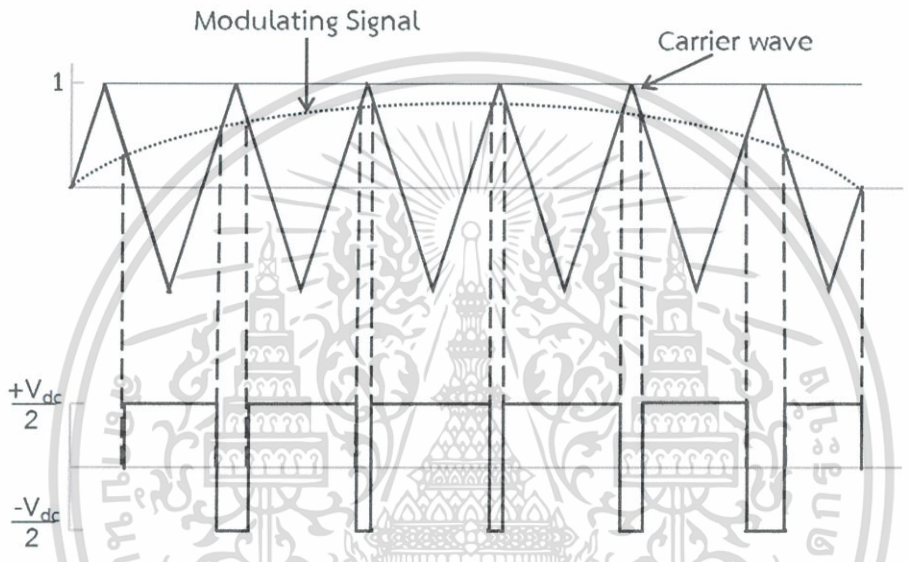
เทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

ดัชนีการมอดูเลต (modulation index) m_a , m_b และ m_c จากรูปที่ 3.24 คือสามสัญญาณอ้างอิงของเทคนิค SPWM ที่ได้มาการแปลงกรอบอ้างอิง dq ไปสู่ abc ทำให้ได้ค่าดัชนีการมอดูเลตสามเฟส เมทริกซ์ของการแปลงกรอบอ้างอิง dq ไปสู่ abc สามารถได้มาจากการแปลงกลับของเมทริกซ์(inverting matrix) จากสมการ **(3.3)**

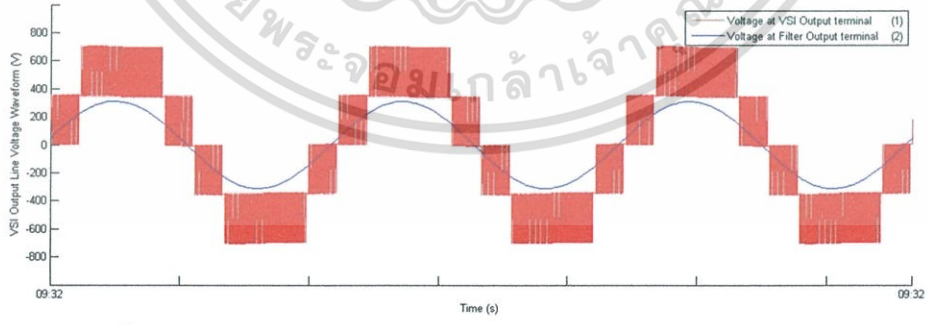
$$\begin{bmatrix} m_a(t) \\ m_b(t) \\ m_c(t) \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) \\ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_d \\ m_q \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.17)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเทคนิค SPWM สัญญาณมอดูเลตจะถูกเมื่อเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยมในหน่วยของขนาดแอมพลิจูดและความถี่ใดๆที่เรียกว่าคลื่นความถี่พาหะ(carrier wave frequency) เอาท์พุตที่ได้จะถูกป้อนไปที่ IGBTs เพื่อสร้างสัญญาณแรงดันพัลส์ซึ่งเป็นเอาท์พุตเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ VSI เอาท์พุทแรงดันไฟฟ้าที่หนึ่งเฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสเกิดจากการสวิตชิ่งแสดงในรูปที่ 3.43 เมื่อสัญญาณมอดูเลตค่ามากกว่าคลื่นสามเหลี่ยมค่า $+\frac{V_{dc}}{2}$ จะปรากฏขึ้นและเมื่อน้อยกว่าคลื่นสามเหลี่ยมค่า $-\frac{V_{dc}}{2}$ จะปรากฏขึ้นที่เอาท์พุตแรงดันไฟฟ้าเฟส เมื่อทำการเฉลี่ยในคาบเวลาของคลื่นพาหะก็จะได้เอาท์พุตที่เป็นรูปคลื่นไซน์



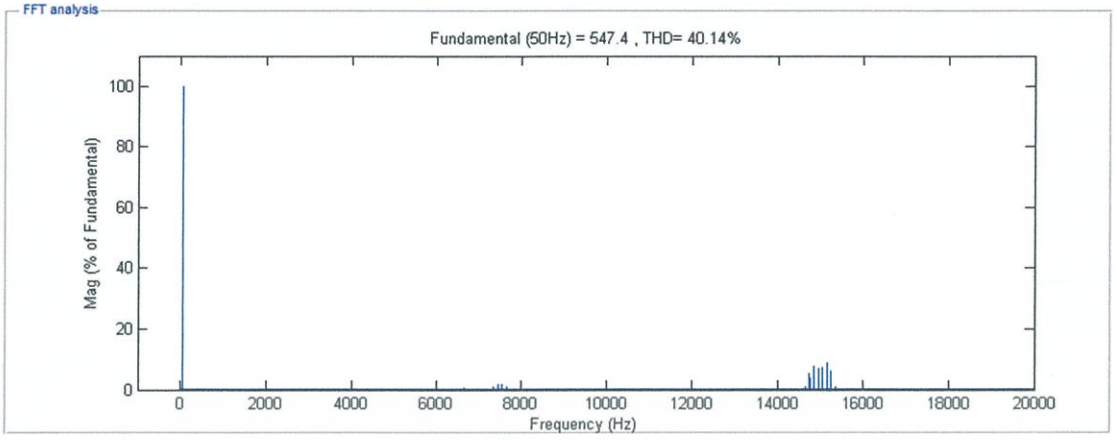
รูปที่ 3.43 เทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) สำหรับ VSI



รูปที่ 3.44 VSI Output Line Voltage Waveform ของ STATCOM

เมื่อวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุต VSI ด้วยวิธี FFT Analysis จะพบว่าเกิดฮาร์มอนิกในช่วง 14,000-16,000 Hz ซึ่งเกิดจากการสวิตชิ่งของอุปกรณ์ IGBTs 2 ตัว ทำงานแบบ Three-Phase Three-level Double Bridge ด้วยความถี่ 7,500 Hz มีค่า THD_v ประมาณ 40.14 % ดังรูปที่ 3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.45 การวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุต VSI ด้วยวิธี FFT Analysis

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter)

จากสมการความถี่คัตออฟ(Cut-off frequency: f_c)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{3.18}$$

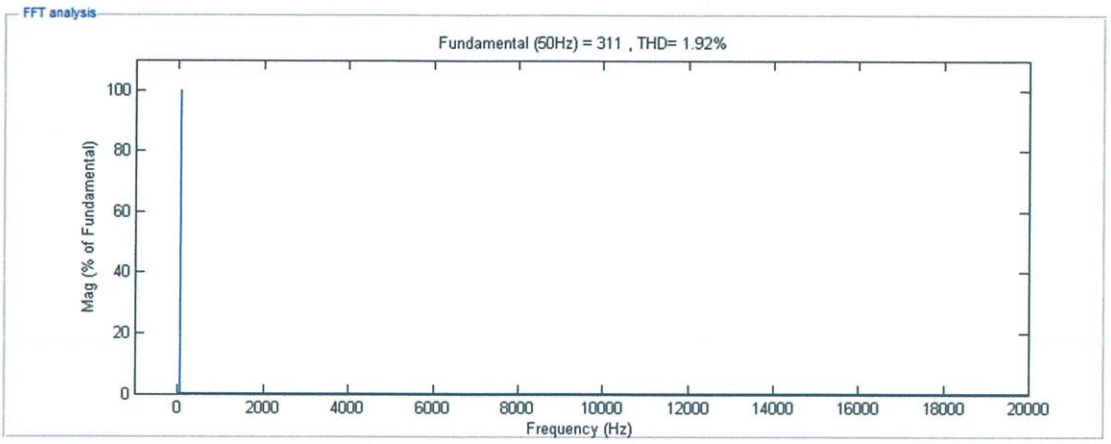
<u>เลือก</u> ตัวต้านทาน(R) 0.13 Ω
ตัวเหนี่ยวนำ(L) 0.22 μH
ตัวเก็บประจุ(C) 470 μF

แทนค่า L และ C ลงในสมการ (3.18)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(0.22\ \mu H)(470\ \mu F)}} = 15{,}651.64\ Hz$$

ซึ่งอยู่ในช่วง 14,000-16,000 Hz จากนั้นนำค่าที่เลือกไปใส่ในการตั้งค่าในบล็อก RLC_filter 1 , 2 , 3 ในรูปที่ 3.20-3.21 มาต่อทำการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุต *VSI* ด้วยวิธี *FFT Analysis* หลังจากกรองด้วยวงจร Low Pass Filter จะพบว่าสามารถกรองความถี่ช่วงดังกล่าวออกไปได้ และมีค่า THD_v อยู่ประมาณ 1.92 % ดังรูปที่ 3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.46 การวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไลน์เอาท์พุต VSI ด้วยวิธี FFT Analysis หลังจากการกรองด้วยวงจร Low Pass Filter

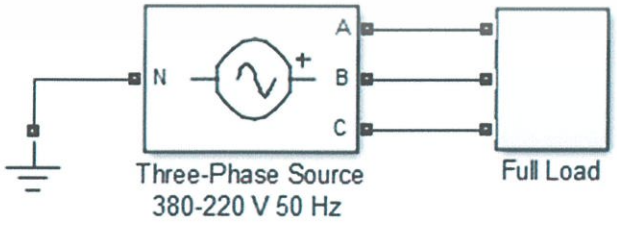
3.3.3 การออกแบบตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบ Capacitor Bank

การชดเชยคุณภาพไฟฟ้าทำได้โดยการลดกำลังพลังงานไฟฟ้าเสมือนลงโดยการติดตั้งคาปาซิสเตอร์เข้ากับจุดที่ต้องการกำลังงานไฟฟ้าเสมือน โดยทั่วไปแล้วถ้าโหลดไม่เปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ สำหรับการหาขนาดคาปาซิสเตอร์ (Q_c) ที่ต้องใช้เพื่อชุดเชยคุณภาพไฟฟ้าคือ

$$Q_c = P(tan\,\emptyset_1 - tan\,\emptyset_2) \tag{3.19}$$

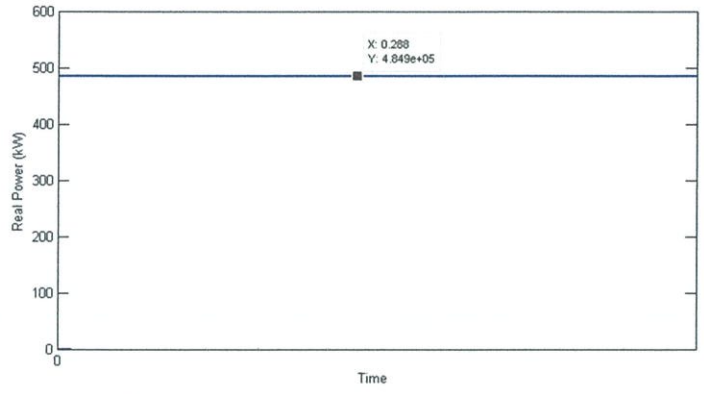
โดย

Q_c คือ ขนาดคาปาซิสเตอร์ (kVAR)
P คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดเต็มพิกัด (kW)
$\emptyset_1$ คือ มุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม (ก่อนปรับปรุง)
$\emptyset_2$ คือ มุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่ (หลังปรับปรุง)

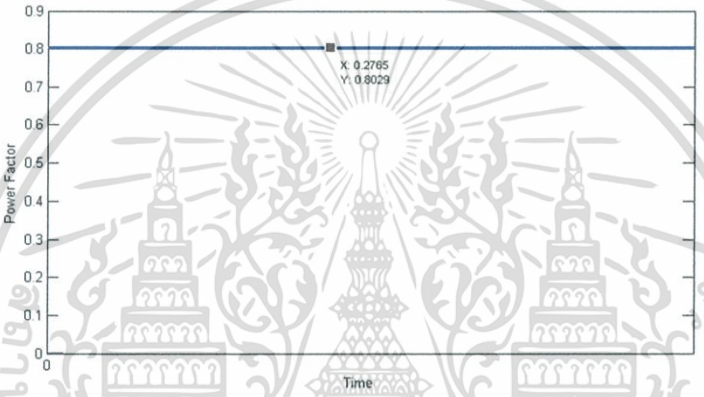


รูปที่ 3.47 ระบบไฟฟ้าจากการจำลองที่โหลดเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.48 กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดเต็มพิกัดจากการจำลองระบบโดยโปรแกรม MATLAB Simulink



รูปที่ 3.49 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จากการจำลองระบบโดยโปรแกรม MATLAB Simulink

สามารถหามุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้จาก

$$\emptyset = cos^{-1}(pf) \tag{3.29}$$

จากรูปที่ 3.48 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดเต็มพิกัด คือ 484.9 kW จากรูปที่ 3.49 จะได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดเต็มพิกัด คือ 0.8029 และในการปรับปรุงครั้งนี้ ต้องการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้เข้าสู่ 0.9 จากนั้นแทนค่าจากสมการ (3.19) จะได้

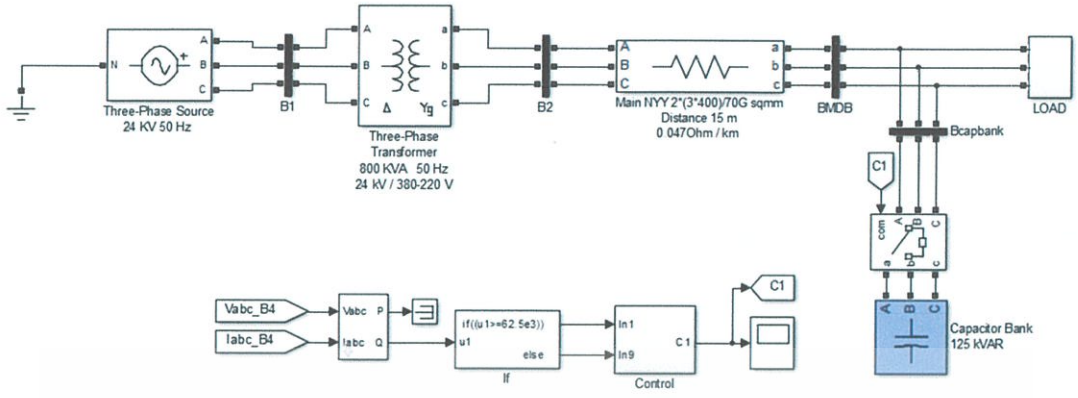
$$Q_c = 484.9[tan(cos^{-1}(0.8029)) - \tan(cos^{-1}(0.9))]$$

$$Q_c = 126.4572 \ \ kvar$$

จากผลการคำนวณ จะได้ Q_c = 126.4572 kvar จึงเลือกขนาด 125 kvar ในการทดสอบระบบไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าภายในอาคารด้วย Capacitor Bank ซึ่งโดยปกติการติดตั้ง Capacitor *Bank* อย่างถาวรจะใช้ประมาณ 10% - 15% ของพิกัดหม้อแปลง และไม่ควรเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30% ของพิกัดหม้อแปลง เพื่อป้องกันการชดเชยเกิน(Over Compensation) เพราะจะมีผลทำให้เกินอันตรายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่างได้



รูปที่ 3.50 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (Capacitor Bank)



รูปที่ 3.51 การตั้งค่าในบล็อก Capacitor Bank

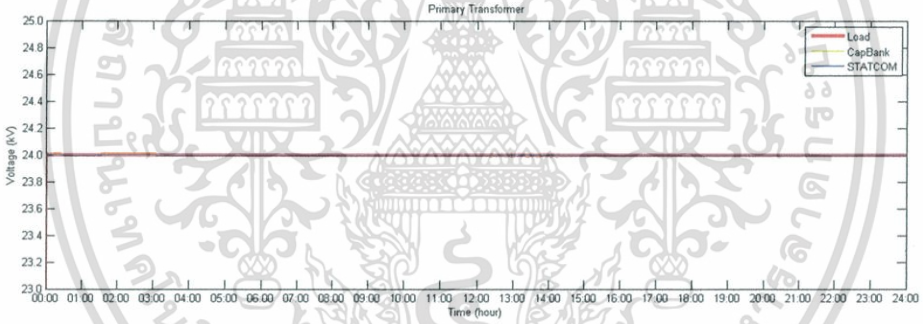
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองระบบและวิเคราะห์ผล

จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารเพื่อนำมาทดสอบการประยุกต์ใช้ STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า โดยแสดงผลการ Simulink จากโปรแกรม MATLAB เปรียบเทียบผลระหว่างระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งจะแยกออกเป็น 2 กรณี คือ การติดตั้ง Capacitor Bank และการติดตั้ง STATCOM โดยนำผลที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกันในแต่ละตำแหน่งที่ต้องการวัดผลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆซึ่งประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้า(V) กระแสไฟฟ้า(I) กำลังไฟฟ้าจริง(P) กำลังไฟฟ้าเสมือน(Q) กำลังไฟฟ้าปรากฏ(S) และค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า(P.F.) ที่ตำแหน่ง Transformer , สายประธาน และ MDB โดยเส้นกราฟสีแดงแสดงถึงภาระไฟฟ้าที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า เส้นกราฟสีเหลืองคือภาระไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง Capacitor Bank และเส้นกราฟสีน้ำเงินคือภาระไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง STATCOM

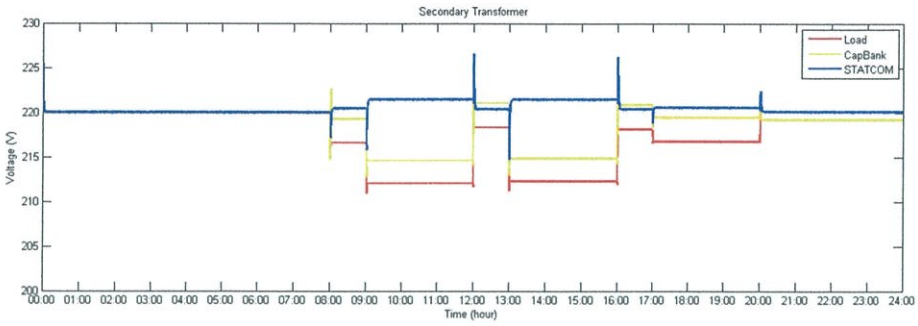
4.1 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ตำแหน่ง Transformer



รูปที่ 4.23 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคารได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิเท่ากับ24kV ดังรูปที่ 4.1 ทั้ง 3 กรณีคือกรณีโหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า กรณีโหลดมีการปรับปรุงโดยใช้ Capacitor Bank และกรณีโหลดมีปรับปรุงโดยใช้ STATCOM เนื่องจากเป็นแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย(การไฟฟ้าฯ)จ่ายเข้าหม้อแปลงระบบไฟฟ้าในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ

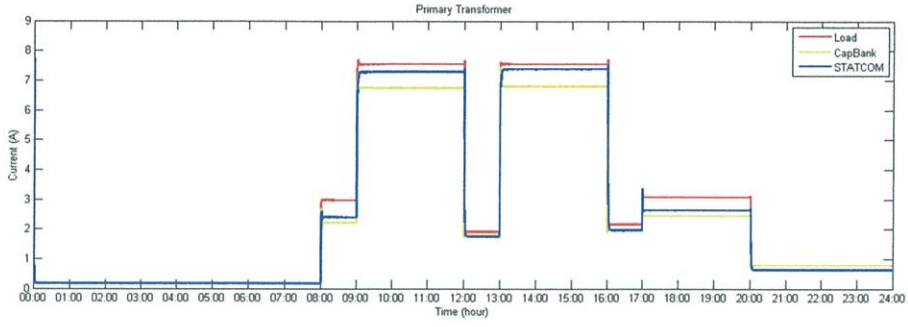
จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิได้ผลการจำลอง ดังรูปที่ 4.2 โดยในกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงโดยใช้ STATCOM ค่าแรงดันจะใกล้เคียง220Vซึ่งเป็นค่าที่หม้อแปลงด้านทุติยภูมิจ่าย(Output)แรงดันไฟฟ้าออกมาเนื่องจากในระบบที่มีการใช้STATCOM มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าจาก Voltage Regulator ทำหน้าเป็นระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบให้เป็นไปตามที่ต้องการควบคุม(แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง) ส่วนกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงโดยใช้ Capacitor Bank แรงดันไฟฟ้าจะสูญเสียตกลงจาก220V แต่สูงกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า เนื่องจากกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงโดยใช้ Capacitor Bank มีการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน(Q)ให้ระบบทำให้กำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบลดลง ส่งผลต่อค่าตัวตัวประกอบกำลังไฟฟ้า($\boldsymbol{cos\theta}$) ดีขึ้นตามทฤษฎีสามเหลี่ยมกำลัง(Power Triangle) และทำให้กระแสไฟฟ้าจะลดลงตามสมการ(4.1)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V(cos\theta)} \tag{4.1}$$

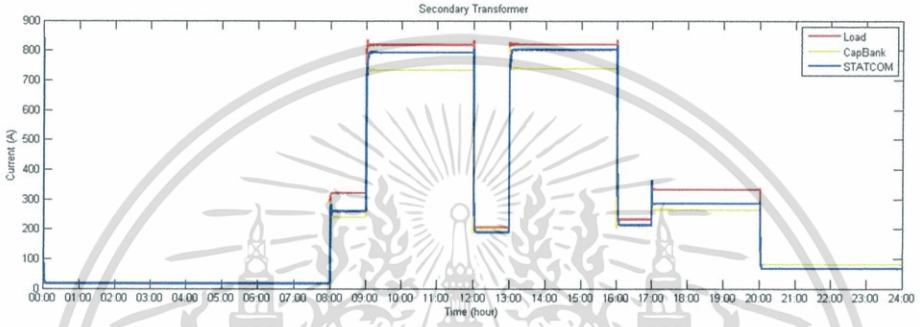
$$\Delta V = I(R\cos\theta + X\sin\theta) \tag{4.2}$$

จึงมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม($\boldsymbol{\Delta V}$) ในระบบลดลงจากกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าหรือไม่มีชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน(Q)ให้กับระบบนั่นเอง จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าจากกรณีชดเชยค่ากำลังเสมือนด้วย Capacitor Bank สูงกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าหรือชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนเพราะแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



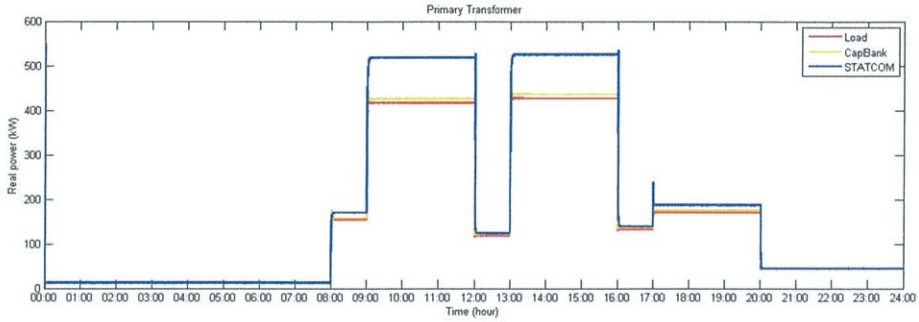
รูปที่ 4.25 กระแสที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ



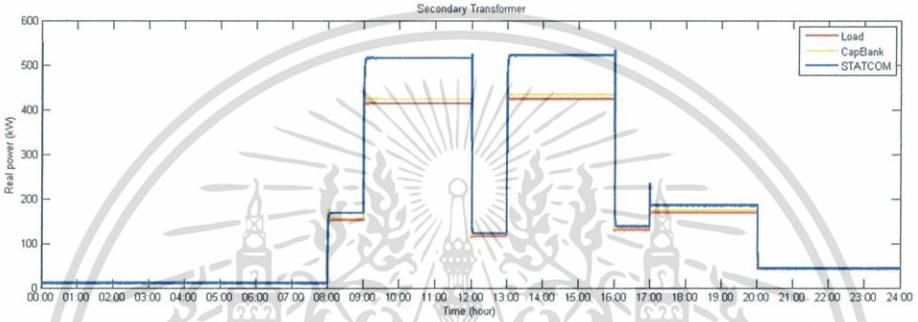
รูปที่ 4.26 กระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ

จากการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ จากรูปทั้ง 2 รูปข้างต้น ค่ากระแสไฟฟ้าในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะสูงที่สุดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยทั้ง2กรณีที่มีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบ ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นจึงมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งหม้อแปลงทั้ง 2 ด้านต่ำกว่าโหลดที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าตามสมการ **(4.1)** และค่ากระแสไฟฟ้าของกรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย STATCOM สูงกว่าของกรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย Capacitor Bank ทั้งที่ค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า(P.F.)สูงกว่า เพราะ STATCOM มีการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าจริง(P)ได้สูงขึ้นมากกว่ากรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย Capacitor Bank มาก ซึ่งเป็นไปตามสมการ**(4.1)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.28 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคารกำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ซึ่งมี 3กรณี กรณีแรกคือโหลดที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริงในกรณีนี้จะเป็นไปตามพฤติกรรมการใช้งานโหลดกำลังไฟฟ้าจริงตามช่วงเวลา ซึ่งในโครงงานนี้ได้จำลองในช่วงเวลา1วัน(24ชั่วโมง) หรืออาจเรียกว่า Daily load curve และกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้งที่ใช้ Capacitor Bank และ STATCOM จะมีค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงกว่า Daily load curve เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้ง 2กรณี ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง ค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้นตามไปด้วย ตามสมการ(4.3) ส่วนกรณี STATCOM จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้มากกว่าทั้ง 2 กรณีข้างต้นอย่างมากเป็นเพราะค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าสูงมาก(เข้าใกล้ค่า $\boldsymbol{\cos\theta}$ =1 มาก)โดยประมาณได้ 0.98 ดังรูปที่ 4.22

$$\boldsymbol{P = S\cos\theta = \sqrt{3}VI\cos\theta}$$

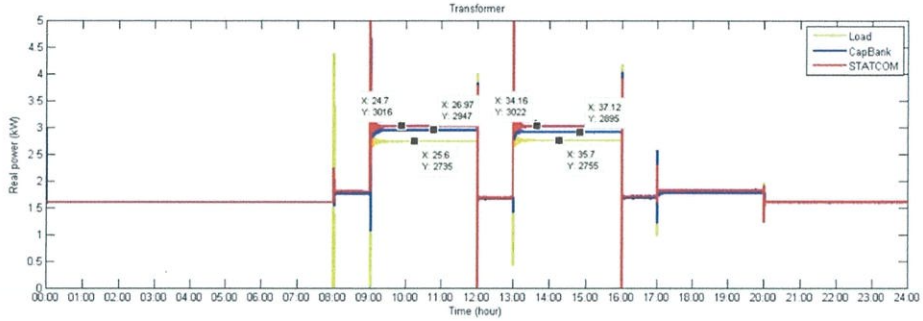
(4.3)

และกรณีกำลังไฟฟ้าจริงที่หม้อแปลงด้านปฐมภูมิ(รูปที่ 4.5) จะสูงกว่ากรณีกำลังไฟฟ้าจริงที่หม้อแปลงด้านทุติยภูมิ(รูปที่ 4.6) เนื่องจากหม้อแปลงการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงไปในหม้อแปลงในการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ ตามสมการ(4.4)

$$Ppri, tr = Psec, tr + Loss\ in\ Transformer$$

(4.4)

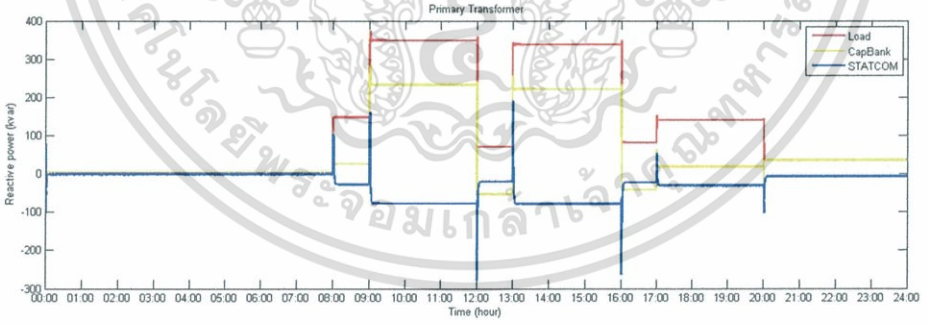
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งหม้อแปลง

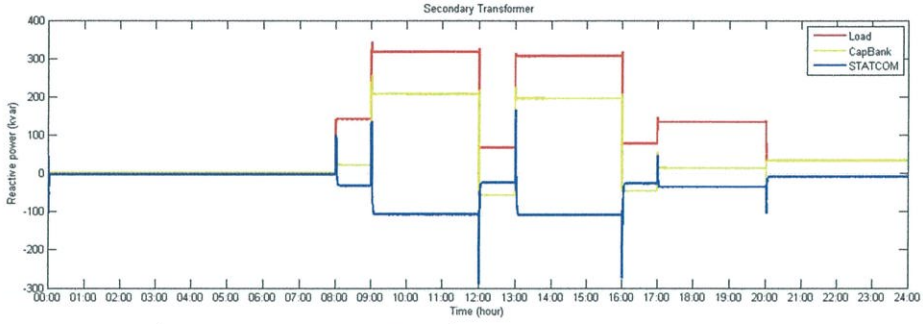
จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ จึงได้ผลต่างของกำลังไฟฟ้าจริงจากสมการ**(4.4)** นั้นคือการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งการสูญเสียกำลังไฟฟ้ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของหม้อแปลงโดยการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากหม้อแปลงมี 2 ส่วน คือกำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงและกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงสูงที่สุดคือกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ส่วนอีก 2กรณีจะต่ำกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า เนื่องจากทั้ง2กรณี มีกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงทั้ง 2 ด้านต่ำกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งการคิดค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่สูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าคิดได้จากสมการ**(4.5)** ดังนี้

$$P = (I\,new)^2 R = (I\,before)^2 R(\frac{\cos\theta b}{\cos\theta n})^2 \qquad \textbf{(4.5)}$$



รูปที่ 4.30 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิได้ผลการจำลองดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าเสมือนในกรณีนี้จะเป็นไปตามพฤติกรรมการใช้งานโหลดกำลังไฟฟ้าเสมือนตามช่วงเวลา ซึ่งระบบโดยปกติจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน(Q)เป็นค่าบวกเนื่องจากโหลดในระบบโดยทั่วไปเป็นความต้านทาน(R)และรีแอคแตนซ์ความเหนี่ยวนำ(X_L) ต่อมากรณีเมื่อโหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank ต่อเข้าระบบ ทำให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าเสมือนลดน้อยลงเนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าเสมือนลบ(Qc)จาก Capacitor ต่อเข้ามาหักล้างกับระบบไฟฟ้าเดิมซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าเสมือนบวก(QL) เช่นเดียวกันกับกรณีเมื่อโหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าระบบ(ค่าQลบ) ส่งผลให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลงตามไปด้วย จึงมีค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้ามากขึ้น ($\sin\theta$ จะเข้าใกล้ค่าศูนย์มาก) ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการ(4.6)

$$Q = S\sin\theta = \sqrt{3}VI\sin\theta \tag{4.6}$$

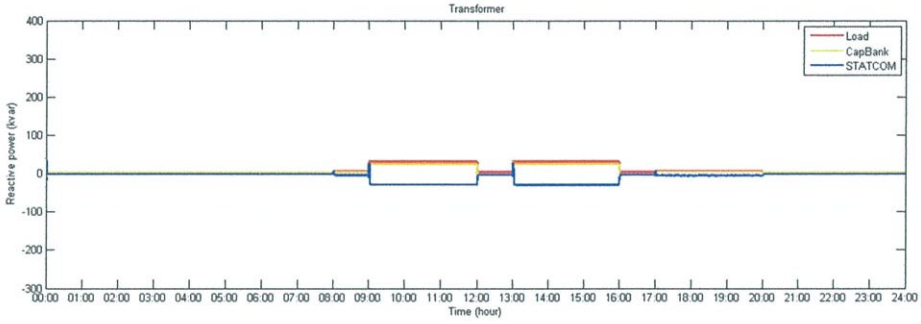
และกรณีกำลังไฟฟ้าเสมือนที่หม้อแปลงด้านปฐมภูมิ(รูปที่ 4.8) จะมีค่ามากกว่ากรณีกำลังไฟฟ้าเสมือนที่หม้อแปลงด้านทุติยภูมิ(รูปที่ 4.9) เนื่องจากหม้อแปลงการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเสมือนไปในหม้อแปลงจากการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ ตามสมการ(4.7)

$$Qpri, tr = Qsec, tr + Loss\ in\ Transformer \tag{4.7}$$

ซึ่งการสูญเสียกำลังไฟฟ้าเสมือนไปในหม้อแปลงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ 2 ส่วน ส่วนแรกคือค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ(S)จากระบบและค่าตัวประกอบกำลัง(P.F.)ของหม้อแปลง ส่วนกรณีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิมีค่าลบเนื่องจาก STATCOM มีการรักษาระดับแรงดันโดยกรณีนี้จะเพิ่มแรงดันป้องกันแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ณ จุดต่างๆในระบบ STATCOM(ติดตั้งSTATCOMใกล้จุดโหลดหรือที่MDB)จึงมีการฉีดกระแสไฟฟ้า capacitive current (I_C) เข้าไปที่โหลด STATCOM จะจ่าย

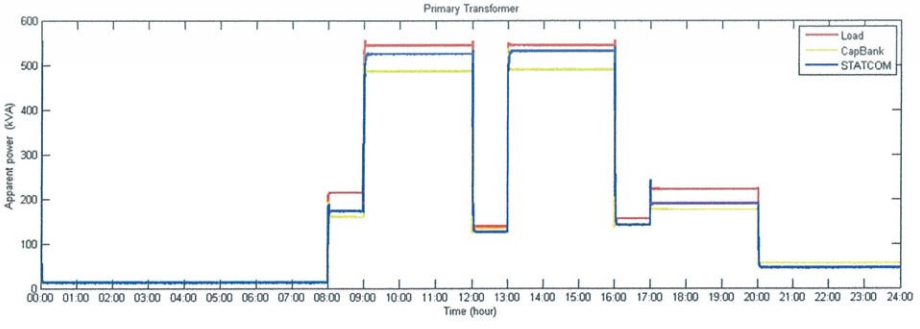
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังเอาท์พุตของ Real Power และ Reactive Power จาก VSI จะเห็นได้ว่า STATCOM จะจ่าย Reactive Power เป็นค่าลบเสมอตามสมการ**(3.8)**



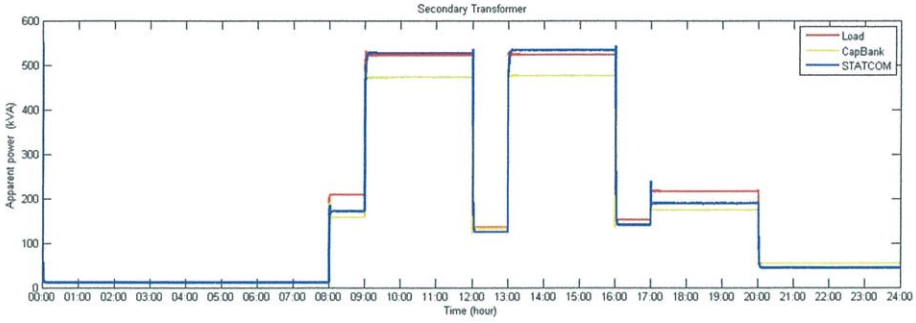
รูปที่ 4.32 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่งหม้อแปลง

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ จึงได้ผลต่างของกำลังไฟฟ้าเสมือนดังรูปที่ 4.10 คือกำลังไฟฟ้าเสมือนสูญเสียในที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก(Magnetization)ภายในหม้อแปลงตามสมการ**(4.7)** ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงสูงที่สุดคือกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ส่วนอีก 2 กรณีจะมีขนาดต่ำกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าเนื่องจากทั้ง 2 กรณีมีกระแสไฟฟ้าที่หม้อแปลงทั้ง 2 ด้านต่ำกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ส่วนผลต่างของกำลังไฟฟ้าเสมือนในกรณีใช้ STATCOM ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่าติดลบเพราะค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนในกรณีที่ใช้ STATCOM มีการฉีดกระแสไฟฟ้า capacitive current (I_C) เข้าไปที่ระบบและ STATCOM จะจ่ายกำลังเอาท์พุตของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนจาก VSI จะเห็นได้ว่า STATCOM จะจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นค่าลบเสมอตามสมการ**(3.8)** โดยจะมีขนาดมากหรือน้อยขึ้นขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันกับแรงดันอ้างอิง(ยิ่งมีผลต่างแรงดันมากก็ยิ่งจ่ายขนาดค่า Reactive มาก) ซึ่งในกรณีนี้ด้านทุติยภูมิจะได้กำลังไฟฟ้าเสมือนลบ (Q_C)ชดเชยมากกว่าด้านปฐมภูมิเพราะด้านทุติยภูมิมีแรงดันตกมากกว่า(ยิ่งระยะส่งกำลังไฟฟ้ามากยิ่งทำให้แรงดันตกคร่อมมากขึ้น)จึงต้องมีการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนสูงกว่าด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.33 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

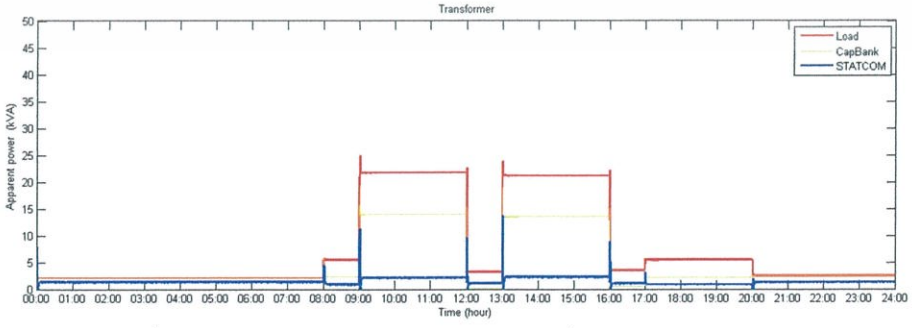


รูปที่ 4.34 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ

จากการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 โดยทั้ง 3 กรณีได้ค่ามาจากการคำนวณตามทฤษฎีสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)ดังสมการ(4.8)

$$S^2 = P^2 + Q^2 \tag{4.8}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏเป็นไปตามความต้องการของโหลด ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบตามแต่ละช่วงเวลา ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏในกรณีนี้จะมีค่าสูงเพราะต้องการกำลังไฟฟ้าจริงตามความต้องการของโหลดและก็ยังมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนสูงเมื่อเทียบกับอีกสองกรณี ต่อมาเป็นกรณีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank ต่อเข้าระบบซึ่งเมื่อมีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้ระบบทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบจึงลดลงและจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เท่าเดิมตามความต้องการของโหลดส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏลดลง ซึ่งกรณีเช่นนี้ทำให้สามารถลดขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบลงได้ ส่วนกรณีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM ซึ่งกรณีนี้จะชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้ระบบทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบจึงลดลงมากและจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เพิ่มขึ้นมากโดยที่ยังจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงตามความต้องการของโหลดได้เหมือนเดิมอีกทั้งยังเหลือกำลังไฟฟ้าจริงที่สามารถจ่ายโหลดอื่นๆได้อีกด้วย กรณีนี้เช่นนี้เหมือนการใช้หม้อแปลงขนาดเท่าเดิมแต่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบได้เพิ่มขึ้น

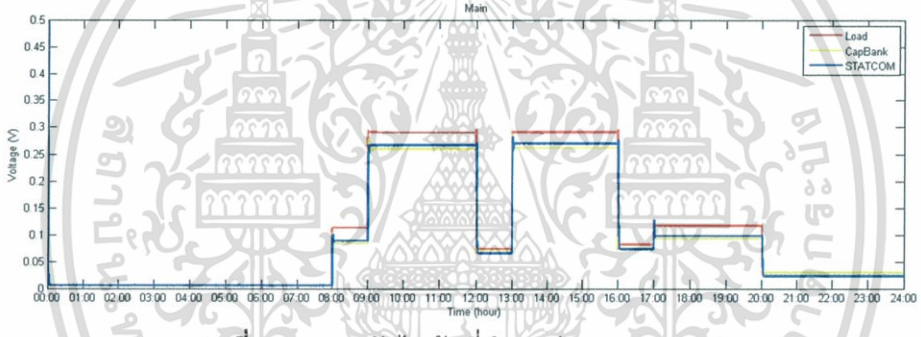


รูปที่ 4.35 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่งหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ จึงได้ผลต่างของกำลังไฟฟ้าปรากฏดังรูปที่ 4.13 ผลต่างนี้คือกำลังไฟฟ้าปรากฏ(KVA)ที่สูญเสียในหม้อแปลงจะเห็นได้ว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะสูญเสียค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏในหม้อแปลงมากที่สุดเนื่องจากกระแสมีค่าสูงกว่าทุกกรณีและมีการใช้กำลังเสมือนมากกว่าทุกกรณีเมื่อเทียบกันดังรูปที่ 4.10 ต่อมาเป็นกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank ซึ่งลดค่ากำลังเสมือนลงจากระบบเดิมทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏลดลงจากกรณีที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ส่วนกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM นั้นมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่จะน้อยมากกว่า 2 กรณีข้างต้นเนื่องจากเมื่อโหลดต้องการกำลังไฟฟ้าจริงเท่ากันเมื่อเทียบกับ 2 กรณีข้างต้นจะให้กระแสน้อยกว่าตามสมการ**(4.1)** และมีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจนในระบบมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยมากกว่า2กรณีข้างต้นอีกด้วย จึงทำให้ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าปรากฏของหม้อแปลงในกรณีน้อยมากกว่ากรณีอื่นๆ

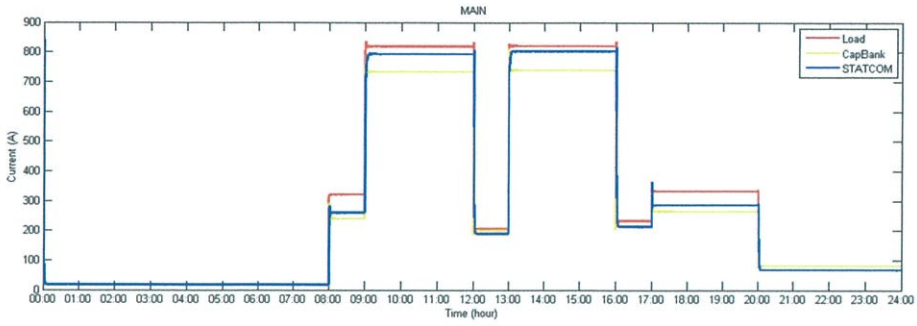
4.2 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ตำแหน่งสายประธาน



รูปที่ 4.36 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งสายประธาน

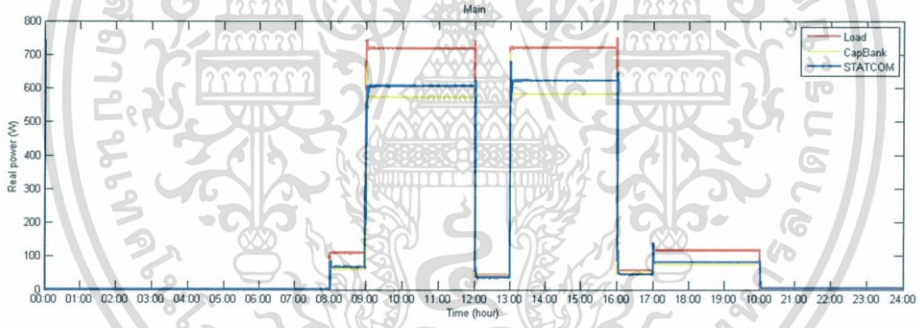
จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคารได้ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตำแหน่งสายประธาน ดังรูปที่4.14 โดยในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตำแหน่งสายประธานมากที่สุดเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสูงที่สุดดังรูปที่ 4.15 กรณีที่โหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้ง2กรณีจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสายประธานน้อยกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยพิจารณาแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจากกระแสไฟฟ้าดังรูป 4.15 ตามสมการ**(4.2)** ทำให้กรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสายน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 กระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งสายประธาน

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งสายประธาน ดังรูปที่ 4.15 โดยในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งสายประธานมากที่สุดเนื่องจากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำสุดดังสมการ(4.1) แต่ในกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้ง2กรณีจะให้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า แต่กรณีใช้ STATCOM จะให้กระแสที่สูงกว่ากรณีใช้ Capacitor Bank ทั้งที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่า เพราะSTATCOM จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงในช่วงเวลาเดียวกันได้มากกว่า Capacitor Bank (อีกทั้ง Capacitor Bank ยังแรงดันไฟฟ้าตกอีกด้วยทำให้กำลังจริงตกลงตามไปด้วย) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงกว่า

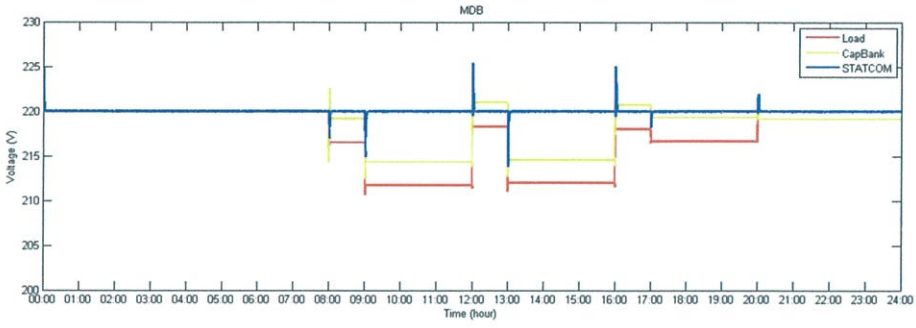


รูปที่ 4.38 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งสายประธาน

จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริง(Loss)ที่ตำแหน่งสายประธาน ดังรูปที่4.16 โดยในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่ากำลังไฟฟ้าจริง(Loss)ที่ตำแหน่งสายประธานมากที่สุด เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าสูงสุดดังรูปที่ 4.15 ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริง(Loss)ที่ตำแหน่งสายประธาน โดยกรณีมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้ง 2 กรณีจะต่ำกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและจะมีค่ากำลังไฟฟ้าจริง(Loss)แปรตามกระแสไฟฟ้าตามรูปที่ 4.15 จึงได้กำลังไฟฟ้าจริง(Loss)ตามการคำนวณโดยสมการ(4.5)

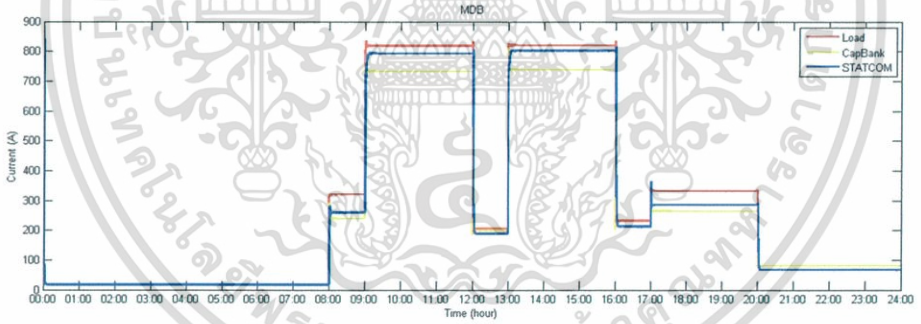
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่ตำแหน่ง MDB



รูปที่ 4.39 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB

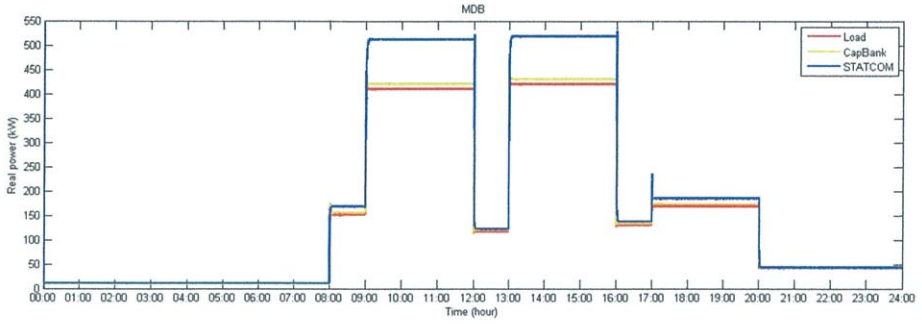
จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB ได้ผลการจำลอง ดังรูปที่4.17 โดยในกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงโดยใช้ STATCOM ค่าแรงดันจะใกล้เคียง 220V เนื่องจากมีSTATCOM ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจาก Voltage Regulator ให้เป็นไปตามที่ต้องการควบคุม(แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง) ส่วนกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงโดยใช้ Capacitor Bank แรงดันไฟฟ้าจะสูญเสียตกลงจาก 220V แต่สูงกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้งานของโหลดในระบบ เนื่องจากค่าตัวตัวประกอบกำลังไฟฟ้า($cos\theta$) ดีขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าน้อยลงทำให้แรงดันตกลงน้อยไปด้วยตามสมการ**(4.1)**และ**(4.2)**



รูปที่ 4.40 กระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB

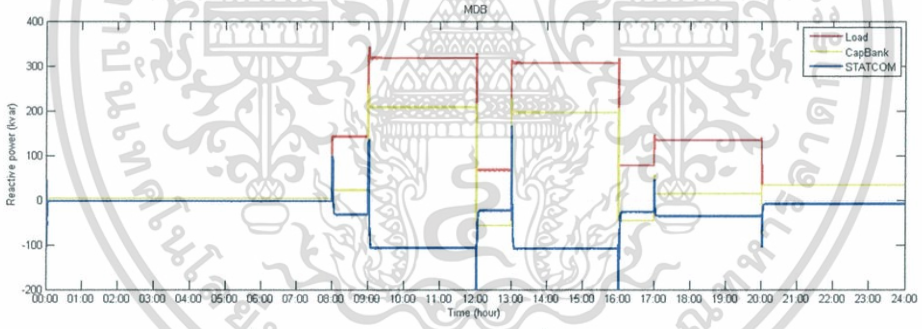
จากการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะสูงที่สุด โดยกรณีที่มีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบด้วย Capacitor Bank และ STATCOM ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นจึงมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB ต่ำกว่าโหลดที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าของกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย STATCOM สูงกว่าของกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย Capacitor Bank ทั้งที่ค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า(P.F.)สูงกว่า เพราะ STATCOM มีการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าจริง(P)ได้สูงขึ้นมากกว่ากรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย Capacitor Bank มาก ซึ่งเป็นไปตามสมการ**(4.1)** แต่ถ้าโหลดมีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่เท่ากัน การใช้ STATCOM จะให้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าการใช้ Capacitor Bank ในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่ง MDB

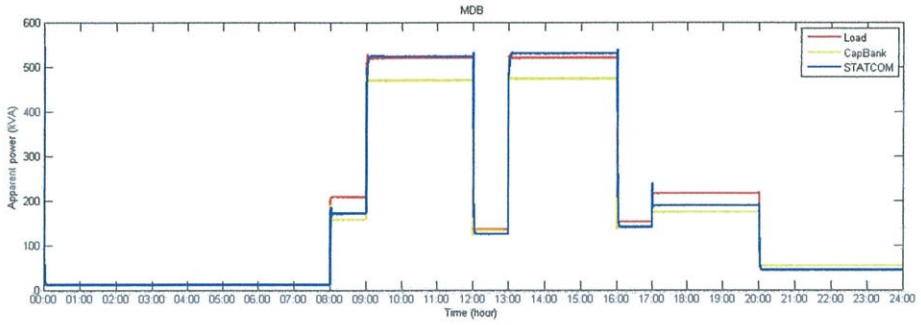
จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคารกำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่ง MDB ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 4.19 ซึ่งมี 3 กรณี กรณีแรกคือโหลดที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริงในกรณีนี้จะเป็นไปตามพฤติกรรมการใช้งานโหลดกำลังไฟฟ้าจริงตามช่วงเวลา และกรณีที่โหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้งที่ใช้ Capacitor Bank และ STATCOM จะมีค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงกว่า Daily load curve เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้ง2กรณี ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง ค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้มากขึ้นตามไปด้วย ตามสมการ**(4.3)** ส่วนกรณี STATCOM จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้มากกว่าทั้ง 2กรณีข้างต้นอย่างมากเป็นเพราะค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าสูงมาก(เข้าใกล้ค่า $\boldsymbol{cos\,\theta}$ =1 มาก)โดยประมาณได้ 0.98 ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.42 กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่ง MDB

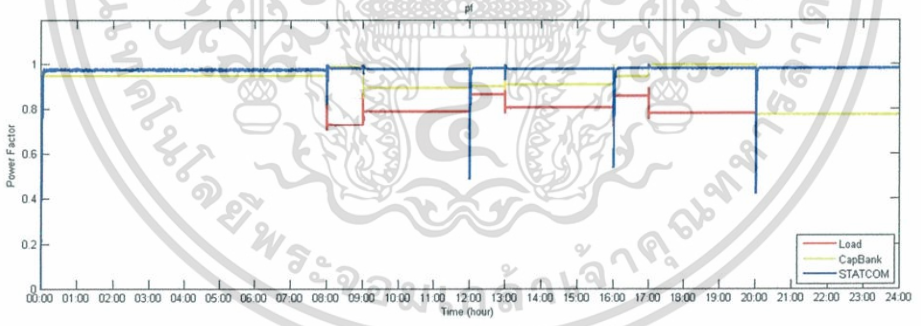
จากผลการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตำแหน่ง MDB ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 4.20 ในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเสมือนในกรณีนี้จะเป็นไปตามพฤติกรรมการใช้งานโหลดกำลังไฟฟ้าเสมือนตามช่วงเวลา ต่อมากรณีเมื่อโหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank ต่อเข้าระบบ ทำให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าเสมือนลดน้อยลงเนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าเสมือนลบ(Qc)จาก Capacitor ต่อเข้ามาหักล้างกับระบบไฟฟ้าเดิมซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าเสมือนบวก(QL) เช่นเดียวกันกับกรณีเมื่อโหลดมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าระบบ(ค่าQลบ)ตามสมการ**(3.8)** ส่งผลให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลงตามไปด้วย จึงมีค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้ามากขึ้น ($\boldsymbol{sin\,\theta}$ จะเข้าใกล้ค่าศูนย์มาก) ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการ**(4.6)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่ง MDB

จากการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่ง MDB ดังรูปที่ 4.21 โดยทั้ง 3 กรณีได้ค่ามาจากการคำนวณตามทฤษฎีสามเหลี่ยมกำลัง(Power Triangle) ดังสมการ(4.8) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏเป็นไปตามความต้องการของโหลด ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบตามแต่ละช่วงเวลา ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏในกรณีนี้จะมีค่าสูงเพราะต้องการกำลังไฟฟ้าจริงตามความต้องการของโหลดและก็ยังมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนสูงเมื่อเทียบกับอีกสองกรณี ต่อมาเป็นกรณีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank ต่อเข้าระบบซึ่งเมื่อมีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้ระบบทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบจึงลดลงและจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เท่าเดิมตามความต้องการของโหลดส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏลดลง ส่วนกรณีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM ซึ่งกรณีนี้จะชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้ระบบทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบจึงลดลงมากและจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เพิ่มขึ้นมากโดยที่ยังจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงตามความต้องการของโหลดได้เหมือนเดิม



รูปที่ 4.44 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB

จากการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ได้ค่าตัวประกอบกำลังที่ตำแหน่ง MDB ดังรูปที่ 4.22 โดยกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าน้อยลงตามความต้องการใช้งานของโหลดแต่ละช่วงเวลาซึ่งโหลดจะมีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนโดยที่กำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่าสูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับ 2 กรณี จึงทำให้ค่าตัวประกอบกำลัง(Power Factor)มีค่าต่ำที่สุดตามสมการ(4.9)

$$P.F. = \cos\theta = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนลดลง จึงทำให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้นเป็นไปตามสมการ**(4.9)** เช่นเดียวกับการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM โดย STATCOM จะทำให้ระบบมีกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยมาก(เข้าใกล้ศูนย์) เนื่องจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของ STATCOM ในทุกช่วงเวลา ส่งผลให้มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าดีมาก(ประมาณ 0.98) ซึ่งเป็นไปตามสมการ**(4.9)** ด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

บทนี้เป็นบทสรุปผลและวิจารณ์ของการประยุกต์ใช้ STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยวิธีการในโครงงานนี้จะมีประโยชน์ในการออกแบบและประเมินผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ก่อนนำไปสร้างต้นแบบจริง ซึ่งโครงงานนี้มีการออกแบบระบบไฟฟ้าในอาคารโดยระบบไฟฟ้าในอาคารของการจำลองโครงงานนี้จะมีส่วนประกอบ คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า3เฟส(การไฟฟ้าฯ) หม้อแปลงไฟฟ้า สายประธาน ภาระทางไฟฟ้าของอาคารในช่วงเวลา 1 วัน ต่อมาเป็นการออกแบบการประยุกต์ใช้ Static Synchronous Compensator (STATCOM) สำหรับปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร และมีการออกแบบตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบ Capacitor Bank ซึ่งนิยมใช้ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร ณ ปัจจุบัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผล โดยมีการนำผลการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจากการจำลองของโครงงานนี้มาทำการเปรียบเทียบค่าของตัวแปรคุณภาพทางไฟฟ้าจึงสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละกรณี

กรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าจะตกคร่อมมากที่สุด ส่วนกรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor Bank จะมีแรงดันไฟฟ้าตกน้อยลงจากกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณไฟฟ้า และกรณีใช้ STATCOM ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะให้ผลแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิงคือ220V ทุกตำแหน่งในระบบ ซึ่งค่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเหมือนกันทั้งในตำแหน่งหม้อแปลง สายประธานและที่ MDB

5.2 สรุปผลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละกรณี

กรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงที่สุด ส่วนกรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM จะมีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยลงจากกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า และกรณีใช้ Capacitor Bank ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะให้ผลกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด(แต่มีแรงดันไฟฟ้าตกลดลง) แต่ถ้ามีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเท่ากันกรณีใช้ STATCOM จะให้ค่ากระแสไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีใช้ Capacitor Bank ซึ่งค่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มกระแสไฟฟ้าดังกล่าวเหมือนกันทั้งในตำแหน่งหม้อแปลง สายประธานและที่ MDB

5.3 สรุปผลของกำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละกรณี

กรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าจริงจะจ่ายค่าให้ได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองกรณีที่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ส่วนกรณีใช้ Capacitor Bank ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เพิ่มจากกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าขึ้นเล็กน้อย และกรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM จะทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก(โดยเพิ่มมาประมาณ100KW) ซึ่งค่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มกำลังไฟฟ้าจริงดังกล่าวเหมือนกันทั้งในตำแหน่งหม้อแปลง สายประธานและที่ MDB

5.4 สรุปผลของกำลังไฟฟ้าเสมือนในแต่ละกรณี

กรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองกรณีที่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยค่าจะเป็นไปตามคุณสมบัติของโหลด ส่วนกรณีใช้ Capacitor Bank ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีกำลังไฟฟ้าเสมือนลดลงตามขนาด Capacitor ในที่นี้จากการคำนวณใช้ที่ 125 Kvar และกรณีปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ STATCOM จะมีขนาดกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองกรณีและมีค่าเป็นกำลังไฟฟ้าเสมือนลบ(Q_c)เสมอ เนื่องจากมีการออกแบบระบบควบคุมให้ชดเชยเกินแต่ให้มีขนาดให้น้อยที่สุด(ใกล้เคียงศูนย์) ซึ่งค่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มกำลังไฟฟ้าเสมือนดังกล่าวเหมือนกันทั้งในตำแหน่งหม้อแปลง สายประธานและที่ MDB

5.5 สรุปผลของกำลังไฟฟ้าปรากฏในแต่ละกรณี

กรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏเป็นไปตามความต้องการของโหลดจึงทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏมากที่สุดใกล้เคียงกันกรณีใช้ STATCOM ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า(แต่มีขนาดกำลังไฟฟ้าจริงน้อยกว่ากรณีใช้ STATCOM มากประมาณ100 KW) กรณีใช้ STATCOM จึงสามารถใช้จ่ายกำลังให้โหลดได้เพิ่มถ้าโหลดต้องการโดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าหรือติดหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีใช้ Capacitor Bank จะมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏลดน้อยลงเนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมจึงสามารถลดขนาดหม้อแปลงลง ซึ่งค่าในทุกกรณีจะมีแนวโน้มกำลังไฟฟ้าปรากฏดังกล่าวเหมือนกันทั้งในตำแหน่งหม้อแปลง สายประธานและที่ MDB

5.6 สรุปผลของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในแต่ละกรณี

กรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามคุณสมบัติและขนาดความต้องการของโหลดซึ่งกรณีนี้จะให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำที่สุด ส่วนกรณีใช้ Capacitor Bank จะมีค่าสูงกว่ากรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในช่วงที่ต่อ Capacitor เข้าระบบโดยบางช่วงเวลาก็ไม่ต่อเข้ากับระบบถ้าวัดค่าแล้วนำไปคำนวณว่าเป็นการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนมากเกินไป และกรณีใช้ STATCOM จะให้ค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงค่าเท่ากับ 1 มาก(ประมาณ 0.98) ซึ่งเรื่องค่าตัวประกอบกำลังดังกล่าวจะวัดเฉพาะที่ MDB

วิจารณ์ผลการจำลอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบจำลองการประยุกต์ใช้ตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้า STATCOM ซึ่งทดสอบกับภาระทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเสมือนระบบจริงในอาคารด้วยโปรแกรม Matlab Simulink เนื่องจากการจำลองดังกล่าวเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งวัน ซึ่งทำให้โปรแกรมใช้ระยะเวลาในการคำนวณผลลัพธ์ค่าต่างๆ นานมาก อีกทั้งในการออกแบบสร้างโมเดลของ STATCOM นั้นมีค่าพารามิเตอร์บางอย่างที่ไม่สามารถทราบค่าได้เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงทำให้ต้องใช้ค่าที่เลือกอัตโนมัติ(default) ในการประมวลผลของโปรแกรมนั้นจะใช้การ Solve แบบ discrete time ทำให้การคำนวณผลเป็นไปในลักษณะการสุ่มสัญญาณ(sampling) จะเกิดปัญหาต่อการออกแบบตัวควบคุม PI Controller เมื่อไม่ทราบกระบวนการ (process) หรือ พลานต์ (plant) ของ STATCOM จึงต้องทำการปรับตั้งค่าแบบ manual ทำให้เกิดค่าผิดพลาด(error)ได้หากปรับตั้งด้วยค่าที่ไม่เหมาะสมและด้วยขณะที่โปรแกรมกำลังประมวลผลนั้นไม่สามารถปรับเปลี่ยนการตั้งค่าได้แบบ Real-time ทำให้การได้ค่าที่มีเสถียรภาพนั้นเป็นไปได้ยากและเสียเวลาเนื่องจากต้องเริ่มประมวลผลใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการแก้ไขปรับตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วิทวัส เล็กพูนเกิด, "การปรับปรุงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟโดยใช้ไธริสเตอร์," **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548

[2] H. Wayna Beaty, "Electrical Power System Quality", 2009

[3] Bruce Girdwood, "Understanding Power Quality", 2007

[4] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์** , กรุงเทพ, สนพ. อินโฟเพรส, 2543.

[5] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสถานประแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ , **หนังสือมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556**

[6] รศ.ศุลี บรรจงจิตร , **หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง.**

[7] IEEE std 1159-1995, **IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**

[8] Electrical Power Systems Quality "Roger C. Dugan, **Mark F.McGranaghan** ,H.Wayne Beaty"

[9] S. Gupta, R.K. Varma and G.N. Pillai, "**Novel Composite Control of STATCOM for Voltage Balancing and Unbalanced Load Compensation**", 2014 CIGRE Canada Conference (Accepted for poster presentation)

[10] M.G. Kashani, S. Babaei, S. Bhattacharya, "SVC and STATCOM application in Electric Arc Furnace efficiency improvement," **in Proc. 4 th IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)**, pp. 1-7, 8-11 July 2013

[11] Babaei, S.; Bhattacharya, S., "Oscillatory angle control scheme for PWM static synchronous compensators under unbalanced conditions and system faults," **in Proc. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)**, pp.1970-1977,15-19 Sept. 2013.

[12] Hasan Mehrjerdi, Serge Lefebvre, Maarouf Saad ; **STATCOM Application for Decentralized Secondary Voltage Control of Transmission Networks**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงาน สำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร

A Study of STATCOM for Power Quality Enhancement and Energy Conserving in a Building

รัฐพงษ์ สุรจร[1] วีรวิชญ์ ศิลาคร[1] และ อภินัทธ์ สังข์เมือง[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail : sptq_statcom4@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยการประยุกต์ใช้ STATCOM ซึ่งจะศึกษาพฤติกรรมในการทำงานของ STATCOM เมื่อต่อเข้ากับระบบโหลดที่เปลี่ยนแปลงเสมือนโหลดจริงของระบบไฟฟ้าในอาคาร อีกทั้งยังศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยการจำลองโครงงานนี้จะสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า พาวเวอร์แฟคเตอร์และการชดเชยกำลังงานเสมือนให้ระบบไฟฟ้าในอาคารเพื่อบอกถึงคุณภาพไฟฟ้า แล้วนำไปเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคารที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย Capacitor Bank ซึ่ง STATCOM เป็นการปรับปรุงที่ทำให้คุณภาพไฟฟ้าดีกว่า Capacitor Bank แต่อย่างไรก็ตามเราจะทำการทดลองเพื่อยืนยันผลจากข้อมูลที่ได้ศึกษามา โดยโครงงานนี้จะสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB SIMULINK สุดท้ายนี้ด้วยการออกแบบและข้อมูลจากการจำลองระบบในโครงงานนี้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ จะทำให้มีผลการจำลองคุณภาพไฟฟ้าในอาคารน่าเชื่อถือและดีมากขึ้น แล้วยังส่งผลช่วยในการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคารอีกด้วย

คำสำคัญ : คุณภาพไฟฟ้า, ตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ABSTRACT

This project introduces power quality improvement of electrical system in a building by application of STATCOM. A simulation study intends to virtually represent the effects of power quality on electrical system and energy conserving in the building, which focuses on operating behavior of STATCOM when connected to constant and varying loads during daily demands. The case study of simulation comprises of applications of STATCOM, capacitor bank and without any compensation device to the system, and the observed parameters are voltage, real power, power losses, power factor and reactive power. Additionally, to get the best results of power quality improvement, an appropriate position of STATCOM installation point in the system will has been examined.

Keywords :Power Quality, STATCOM, Power Factor, Capacitor Bank

1.บทนำ

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor : P.F.) ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียทั้งในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าและของผู้ใช้ไฟฟ้าเอง จึงมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อที่จะไม่ต้องเสียค่าปรับค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ (PF.) อีกทั้งยังช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าดีขึ้น อันเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของตนเองลดลงและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย

สำหรับโครงงานนี้เป็นการศึกษาการทำแบบจำลองระบบการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบสถิต(static synchronous compensator STATCOM) ที่มีการทำแบบจำลองจากโปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะคุณภาพไฟฟ้าในอาคาร ทั้งแบบยังไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและมีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ Capacitor bank และ STATCOM ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกัน โดยมีภาระทางไฟฟ้าที่เป็นแบบโหลดเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพไฟฟ้าและการประหยัดพลังงานที่ดีที่สุดในระบบไฟฟ้าในอาคาร

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

นิยามและความสำคัญของคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC และ IEEE คือ “คุณลักษณะแรงดันกระแสและความถี่ของแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย" โดยถ้าพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าคระแสสลับที่ได้รับต้องมีรูปคลื่นเป็น ไซนูซอยด์ มีขนาดและความถี่ตามที่การไฟฟ้าได้กำหนดไว้

2.2 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องเชื่อม เตาเผาและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ นอกจากเราจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) แล้วอุปกรณ์เหล่านี้ยังต้องการ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก

อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำที่มีอยู่จำนวนมากในระบบไฟฟ้า จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองและมีผลต่อระบบจ่ายไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ส่งจ่ายไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หรือ สายไฟฟ้า จะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอความสิ้นเปลืองดังกล่าวสามารถลดลงได้ โดยการใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชดเชยกำลังงานรีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้า ซึ่งจะจ่ายกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetic Current) ให้กับโหลดแทน ดังนั้นเราจึงลดขนาดของอุปกรณ์ส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าลงได้ ซึ่งหลักการดังกล่าวคือ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง นั่นเอง

การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์หรือตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) ในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆ เช่น สถานีไฟฟ้า นิยมใช้ซิงโครนัสมอเตอร์ แต่ถ้าในระบบจำหน่ายหรือทั่วๆ ไปแล้วจะนิยมนำคาปาซิเตอร์มาปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เนื่องจากทำได้ง่ายและสะดวกกว่าการใช้ซิงโครนัสมอเตอร์

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ค่ากำลังไฟฟ้ารวมประกอบด้วย

กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power: P) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

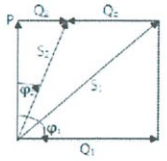
กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power: Q) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นวาร์ (Var)

กำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนรวมกันทางเฟสเซอร์ (Phasor) เป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่เรียกว่า กำลังไฟฟ้าแสมือน (Apparent Power: S) มีหน่วยเป็นโวลต์แอมป์ (VA)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad (2.1)$$

เพาเวอร์แฟกเตอร์ แสดงถึงการใช้กำลังไฟฟ้าจริง เปรียบเสมือนกับกำลังไฟฟ้าแสมือนซึ่งอยู่ในรูปของ

$$\cos \emptyset = \frac{P}{S} = \frac{Active\ Power}{Apparent\ Power} = P.F. \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 กำลังไฟฟ้าแสมือนของระบบสามารถลดลงได้โดยการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

3.การศึกษา STATCOM เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า

โครงสร้างและการทำงานของระบบชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ มีความต้องการให้อุปกรณ์เริ่มทำงานโดยทำการตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ตรวจวัดค่า (Measurement Devices) ของอุปกรณ์ STATCOM ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าอ้างอิง (References) เพื่อให้วิเคราะห์ว่าระบบไฟฟ้านั้นมีเสถียรภาพที่ต้องการหรือไม่ ถ้าหากมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดเอาไว้ อุปกรณ์ STATCOM จะสร้างสัญญาณ PWM ไปควบคุมการทริกให้ไทริสเตอร์ทำงานโดยควบคุมปริมาณของกำลังไฟฟ้าแสมือน (Reactive Power) ที่จ่ายเข้าไปหรือรับออกมาจากระบบไฟฟ้า เพื่อชดเชยให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่

3.1 การจำลองในโปรแกรม MATLAB SIMULINK

3.3.1 การออกแบบภาระทางไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร



รูปที่ 2 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ไม่มีตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้า

การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ดังนี้

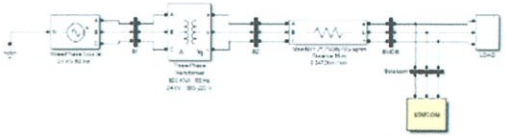
หมายเหตุ Sample time (s) : Ts 5e-6

- **Three-Phase Source**
  : 24 KV 50 Hz
- **Three-Phase Transformer (Two Windings)**
  : 800 KVA 50 Hz 24 kV / 380-220 V

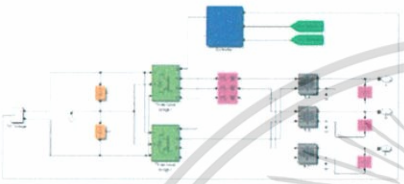
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายประธาน Main NYY 2*(3*400)/70G sqmm
  : 0.047Ohm / km
- ภาระทางไฟฟ้า Load
  : ตามค่าที่ระบุไว้ดูได้จากภาคผนวก

3.3.2 การออกแบบตัวควบคุมการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบคงที่ Static Synchronous Compensator (STATCOM)



รูปที่ 3.2 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (STATCOM)



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆภายใน STATCOM



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมใน Controller (sample time = Ts*30)

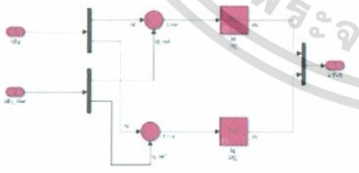
การออกแบบ Phase Locked Loop (PLL)

Initial inputs : Phase(degrees) = 0 Frequency(Hz) = 50

Regulator gains : Kp = 60 Ki = 1400

การควบคุมกระแส (VSI Current Control)

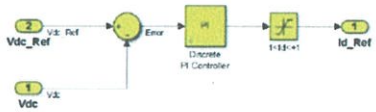
Current Regulator gains : Kp = 0.4 Ki = 250 Kd = 0



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรม Inner loop control

การควบคุมแรงดัน (DC Link Voltage Control)

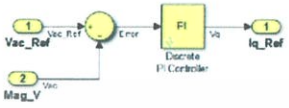
DC Regulator gains : Kp = 0.045 Ki = 4.65



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรม DC Voltage Regulator

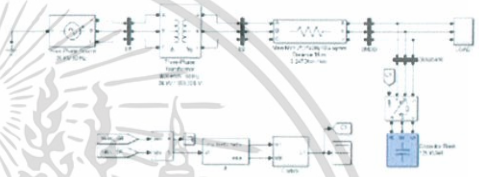
การรักษาระดับแรงดันและการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง(power factor)

AC Regulator gains : Kp = 0.05 Ki = 550



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรม AC Voltage Regulator

3.3.3 การออกแบบตัวชดเชยคุณภาพไฟฟ้าแบบ Capacitor Bank

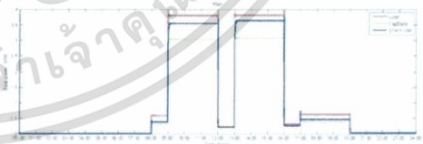


รูปที่ 3.8 แบบจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการติดตั้งตัวปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (Capacitor Bank)

ซึ่งจากผลการคำนวณ จะได้ Qc = 126.4572 kvar จึงเลือกขนาด 125 kvar ในการทดสอบระบบไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าภายในอาคารด้วย *Capacitor Bank* ซึ่งโดยปกติการติดตั้ง *Capacitor Bank* อย่างถาวรจะใช้ประมาณ 10% - 15% ของพิกัดหม้อแปลง และไม่ควรเกิน 30% ของพิกัดหม้อแปลง เพื่อป้องกันการชดเชยเกิน(Over Compensation) เพราะจะมีผลทำให้เกินอันตรายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่างได้

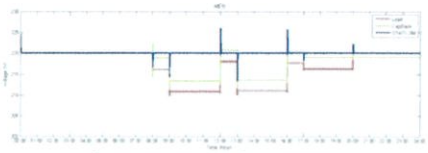
4.ผลการจำลองระบบและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการ Simulink จากการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารที่

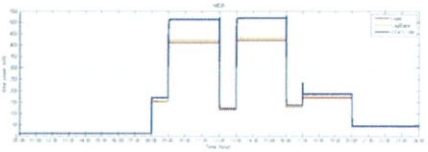


รูปที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่งสายประธาน

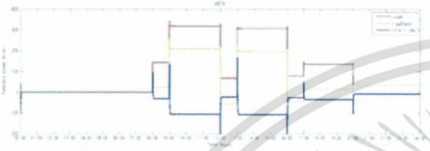
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



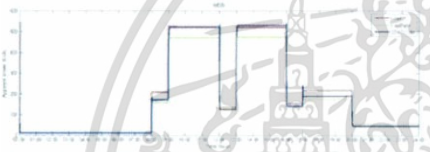
รูปที่ 4.17 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB



รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าจริงที่ตำแหน่ง MDB



รูปที่ 4.20 กำลังไฟฟ้าแสมือนที่ตำแหน่ง MDB



รูปที่ 4.21 กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ตำแหน่ง MDB



รูปที่ 4.22 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่ง MDB

5.บทสรุปผลการทดสอบ

จากการจำลองระบบไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งจะมี *3* กรณีที่ใช้ในการจำลองระบบ คือกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงระบบไฟฟ้าในอาคาร ต่อมาเป็นกรณีการปรับปรุงโดยแบบ Capacitor Bank ซึ่งนิยมใช้ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในอาคาร ณ ปัจจุบัน และกรณีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าโดย STATCOM ซึ่งตัวแปรของคุณภาพไฟฟ้าที่โครงงานนี้สนใจศึกษาคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าแสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยจากการจำลองระบบกรณีที่โหลดไม่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าจะให้คุณภาพไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด ส่วนกรณีที่มีการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทั้งโดยใช้ Capacitor Bank และโดยใช้ STATCOM ทั้งนี้ผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่า STATCOM จะให้ผลคุณภาพไฟฟ้าที่ดีกว่าโดยใช้ Capacitor Bankและให้ผลการจำลองได้ดีเยี่ยม เช่น สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าที่ทุกตำแหน่งในระบบได้ก่อนข้างคงที่ตามแรงดันอ้างอิงที่ต้องการ(220V) และยังให้ผลค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ดีมากโดยได้ค่าอยู่ที่ประมาณ 0.98 เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์** , กรุงเทพ, สนพ. อินโฟเพรส, 2543.

[2] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าวิศวกรรมสถานประแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, **หนังสืออมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556**

[3] S. Gupta, R.K. Varma and G.N. Pillai, **"Novel Composite Control of STATCOM for Voltage Balancing and Unbalanced Load Compensation"**, 2014 CIGRE Canada Conference (Accepted for poster presentation)

[4] M.G. Kashani, S.Babaei, S.Bhattacharya, **"SVC and STATCOM application in Electric Arc Furnace efficiency improvement,"** in Proc. 4 th IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), pp. 1-7, 8-11 July 2013

ประวัติผู้เขียน



นายรัฐพงษ์ สุรจร เกิดวันที่ 23 ตุลาคม 2535
ที่อยู่ 73/19 หมู่ 10 ซอยสุวินทวงศ์64 ถนนสุวินทวงศ์ แขวงสำผักขี้เหล็ก เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
ประวัติการศึกษา:มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๔
E-mail : Rattapong_Surajorn@hotmail.com



นายวีรวิชญ์ ศิลาเกร เกิดวันที่ 1 ตุลาคม 2535
ที่อยู่ 31 หมู่ 5 ตำบลบางน่าง อำเภอพานทอง ชลบุรี 20160
ประวัติการศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนหนัสพิทยาคาร
E-mail : i-unnamed@hotmail.com



นายอภินัทธ์ สังข์เมือง เกิดวันที่ 31 มีนาคม 2536
ที่อยู่ 104/60 หมู่ที่ 1 ถนนเลียบวารี แขวงโคกแฝด เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
ประวัติการศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๔
E-mail : sprite.xtreme@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

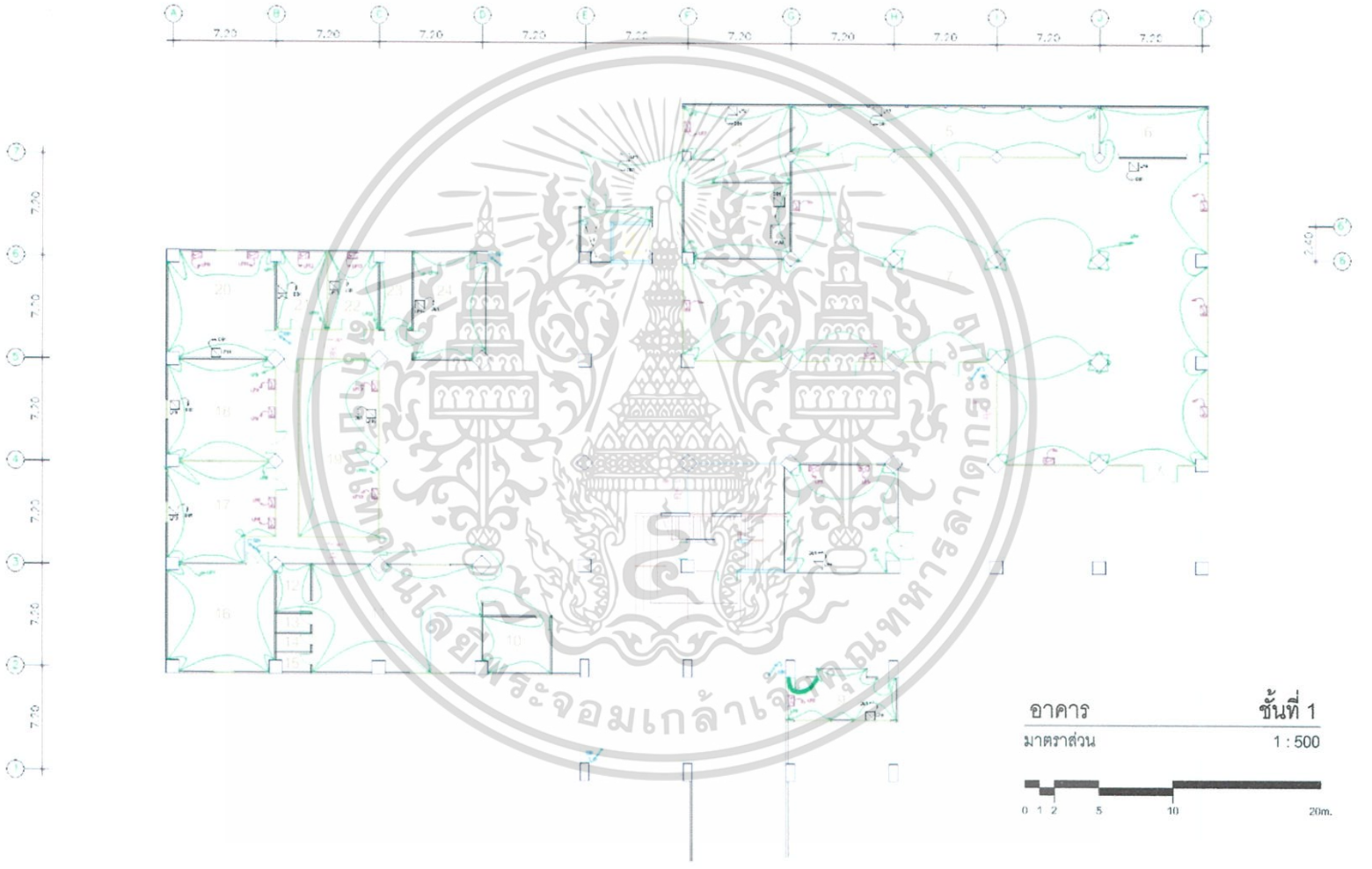
ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

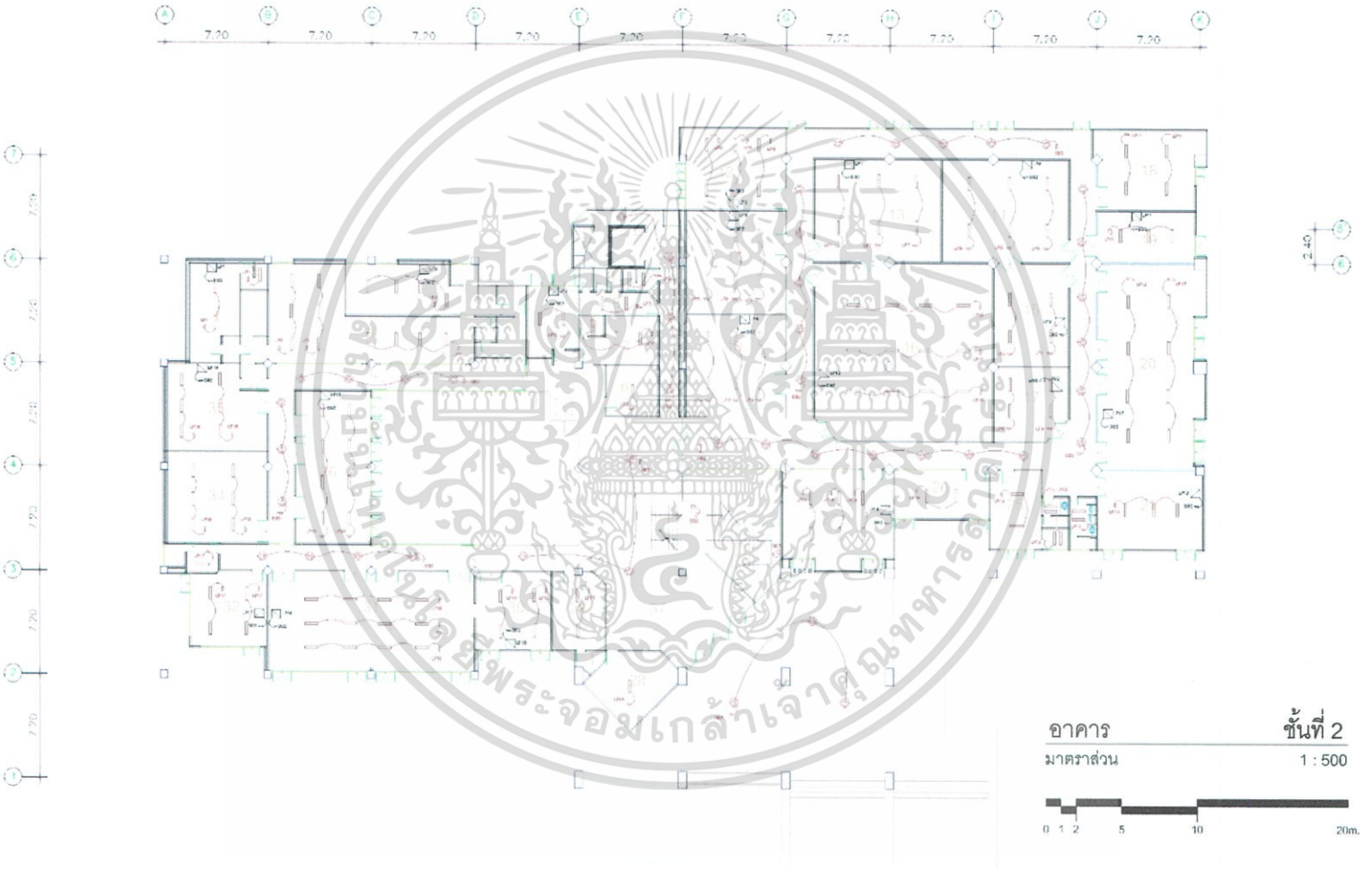
รูปที่ ข-1 แบบจำลองการติดตั้งแสงสว่างภายในอาคารชั้นที่ 1



รูปที่ ข-2 แบบจำลองการติดตั้งแอร์และเต้ารับภายในอาคารชั้นที่ 1

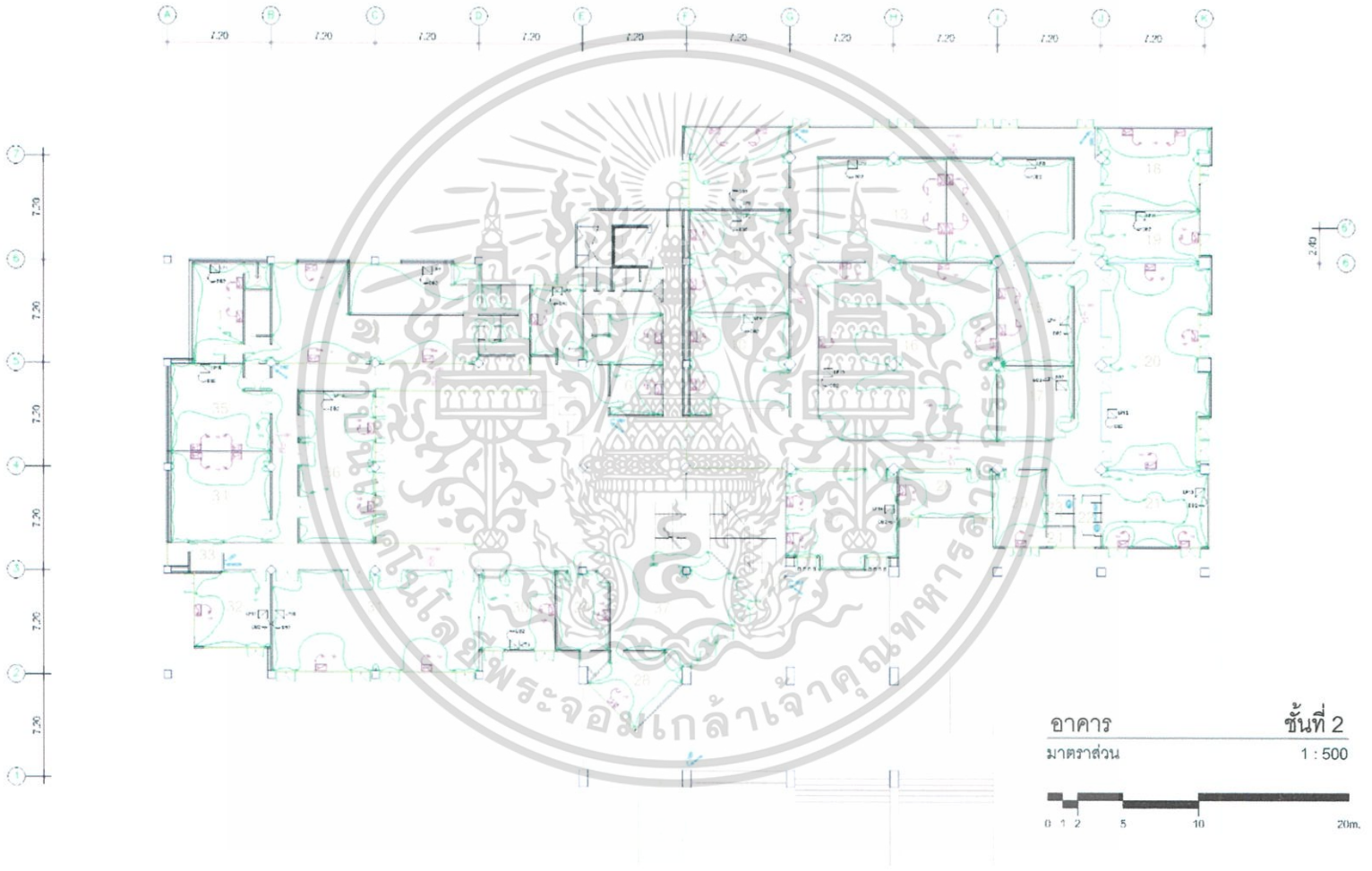


รูปที่ ข-3 แบบจำลองการติดตั้งแสงสว่างภายในอาคารชั้นที่ 2

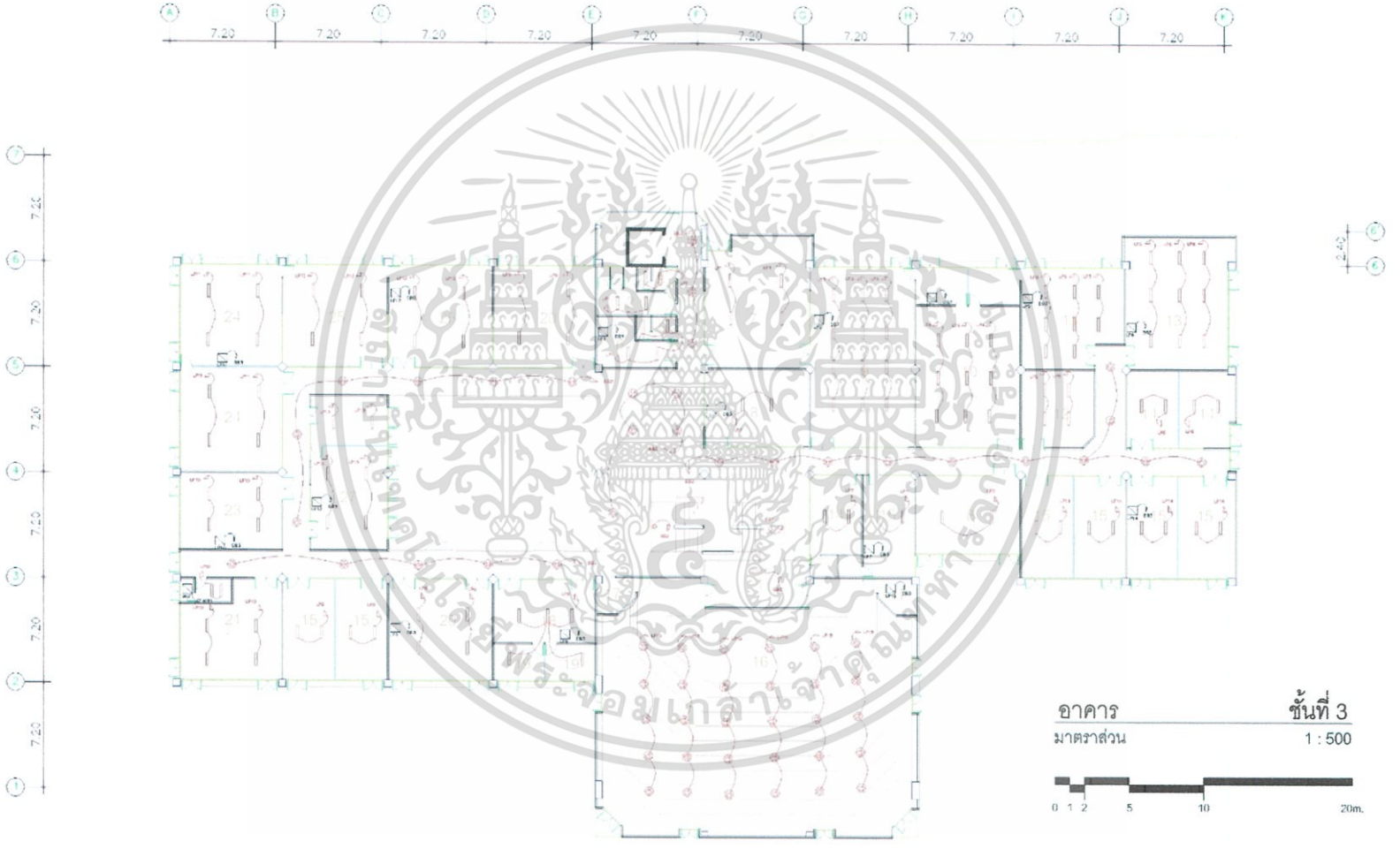


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

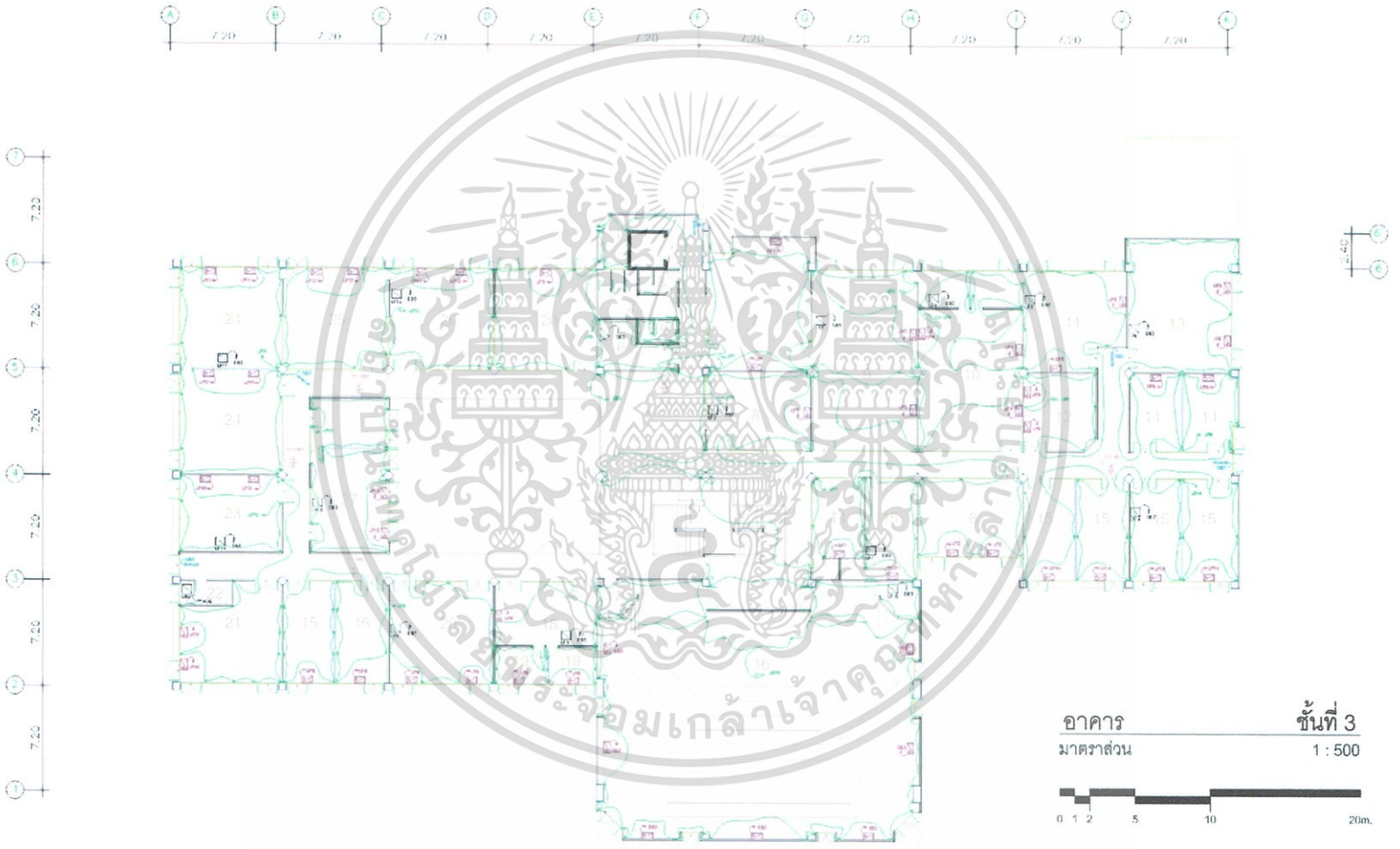
รูปที่ ข-4 แบบจำลองการติดตั้งแอร์และเต้ารับภายในอาคารชั้นที่ 2



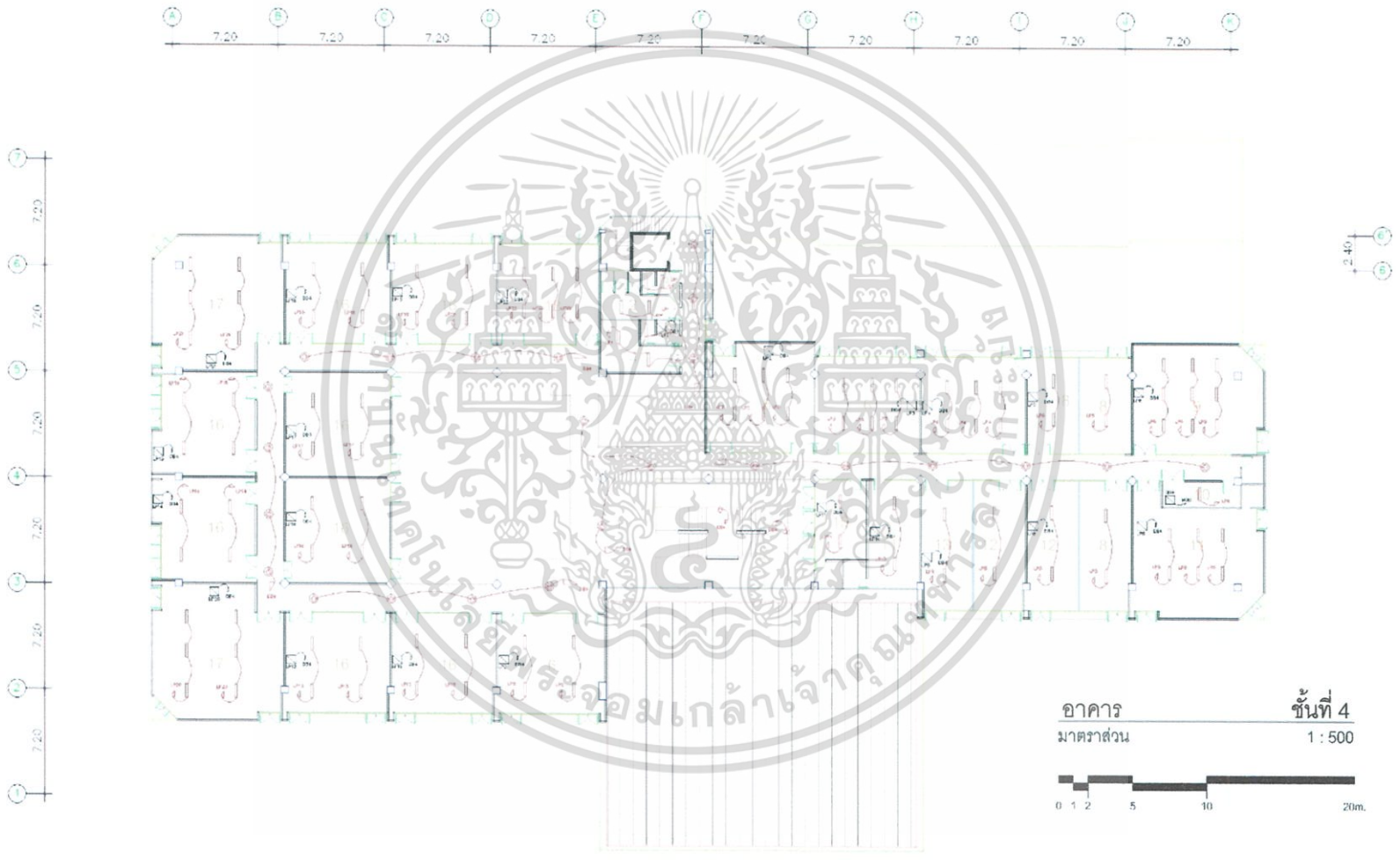
รูปที่ ข-5 แบบจำลองการติดตั้งแสงสว่างภายในอาคารชั้นที่ 3



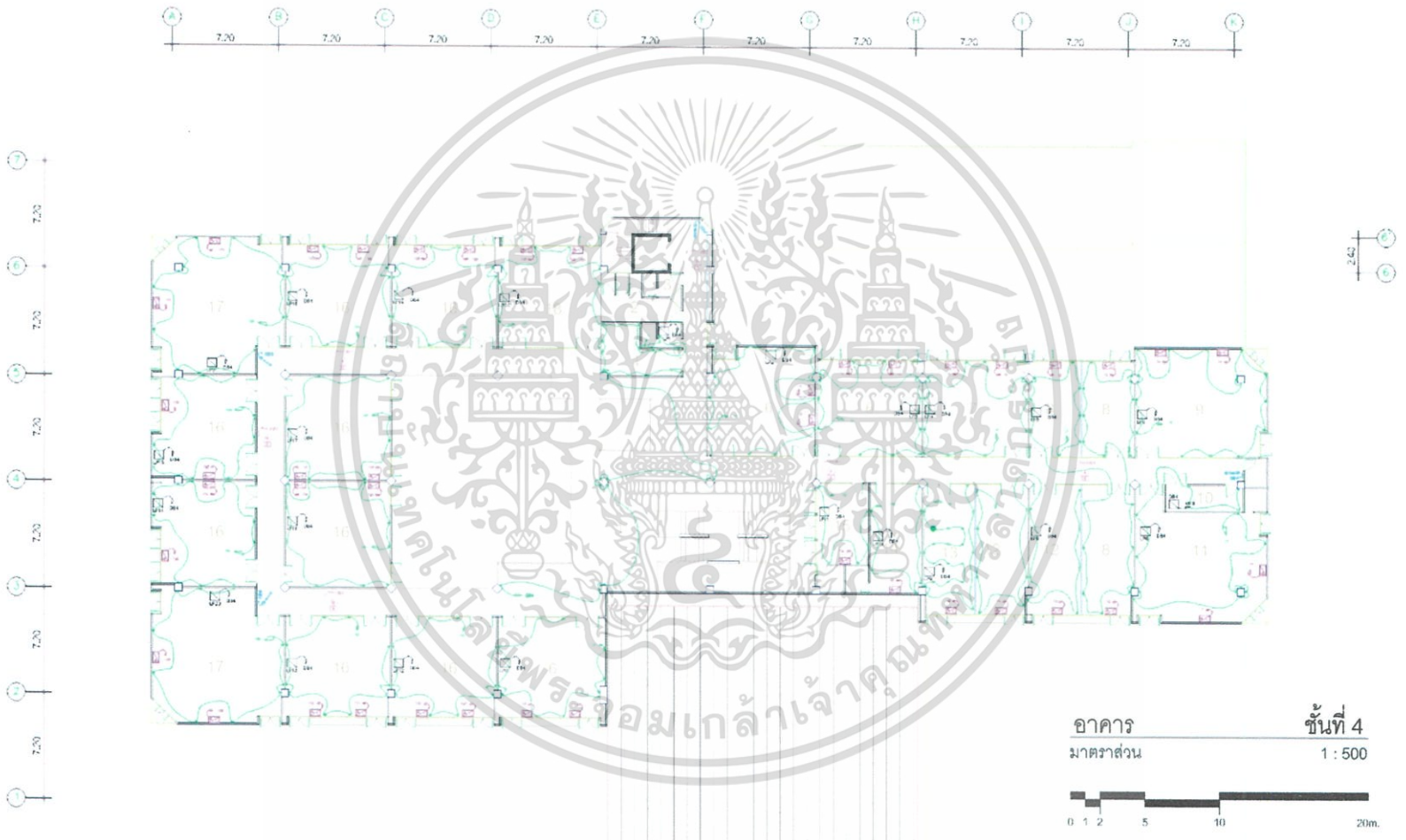
รูปที่ ข-6 แบบจำลองการติดตั้งแอร์และเต้ารับภายในอาคารชั้นที่ 3



รูปที่ ข-7 แบบจำลองการติดตั้งแสงสว่างภายในอาคารชั้นที่ 4



รูปที่ ข-8 แบบจำลองการติดตั้งแอร์และเต้ารับภายในอาคารชั้นที่ 4

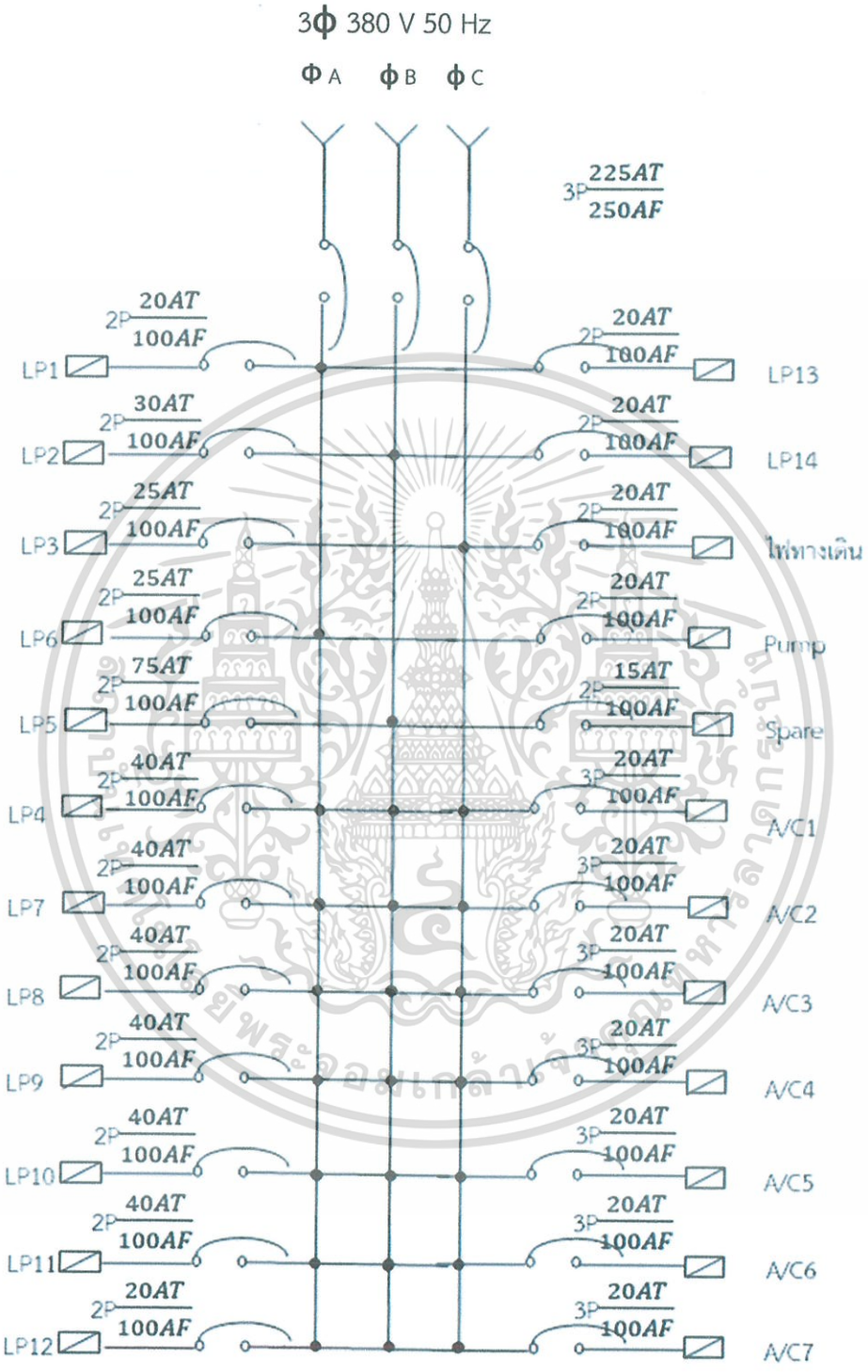


รายละเอียดภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้าภายในอาคารประกอบไปด้วย

1. แสงสว่าง(หลอดไฟ)
    -กำลังไฟฟ้า 23 W
    -กำลังไฟฟ้า 36 W
2. เครื่องปรับอากาศ
    -ขนาด 12000 BTU , กำลังไฟฟ้า 1,000 W
    -ขนาด 18000 BTU , กำลังไฟฟ้า 1,600 W
    -ขนาด 24000 BTU , กำลังไฟฟ้า 2,200 W
    -ขนาด 60000 BTU , กำลังไฟฟ้า 5,500 W
3. มอเตอร์ปั๊มน้ำ
    -กำลังไฟฟ้า 2,238 W
4. เต้ารับ
    -กำลังไฟฟ้า 170 W

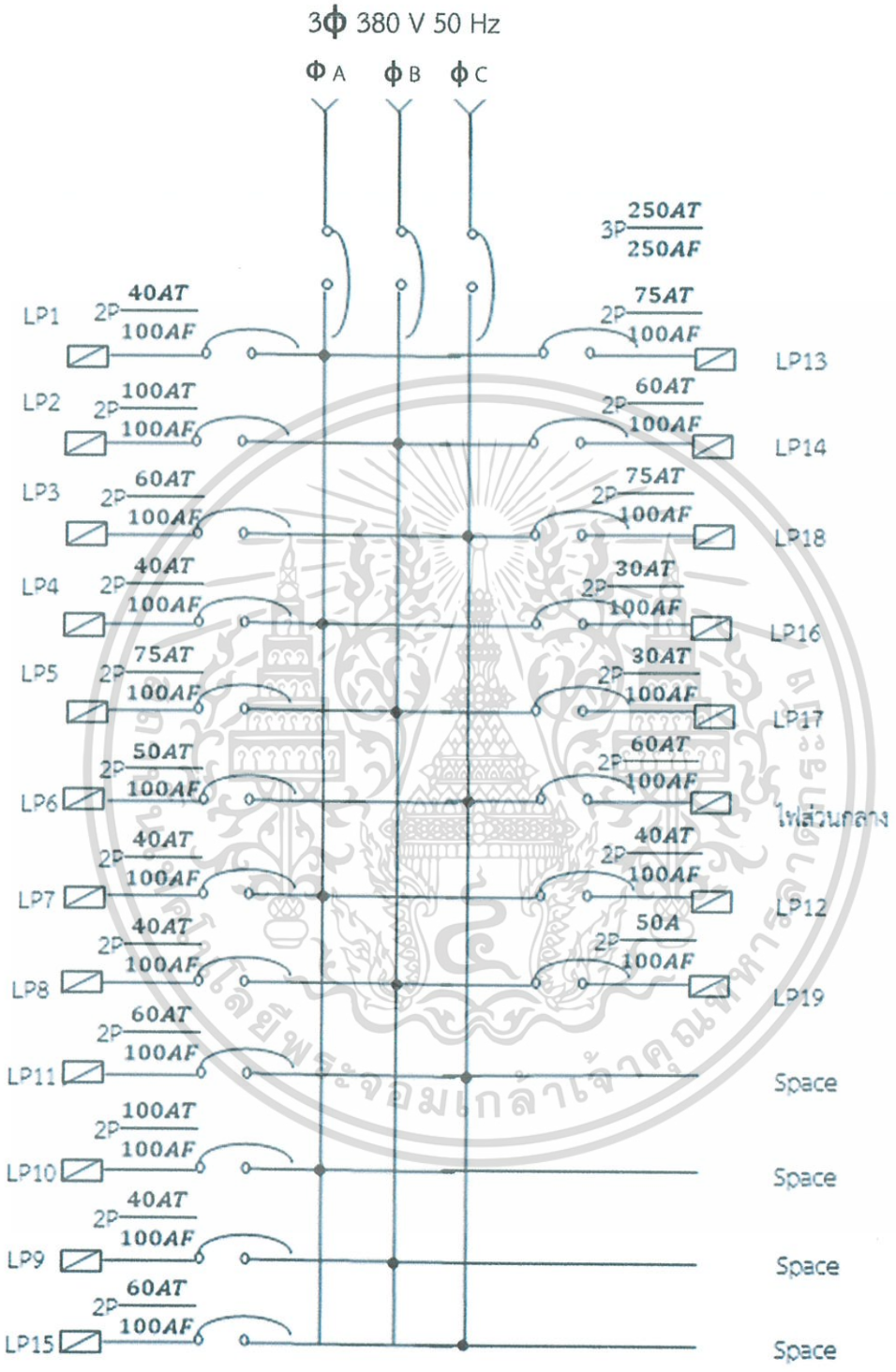
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-9 วงจรเส้นเดี่ยวชั้นที่ 1



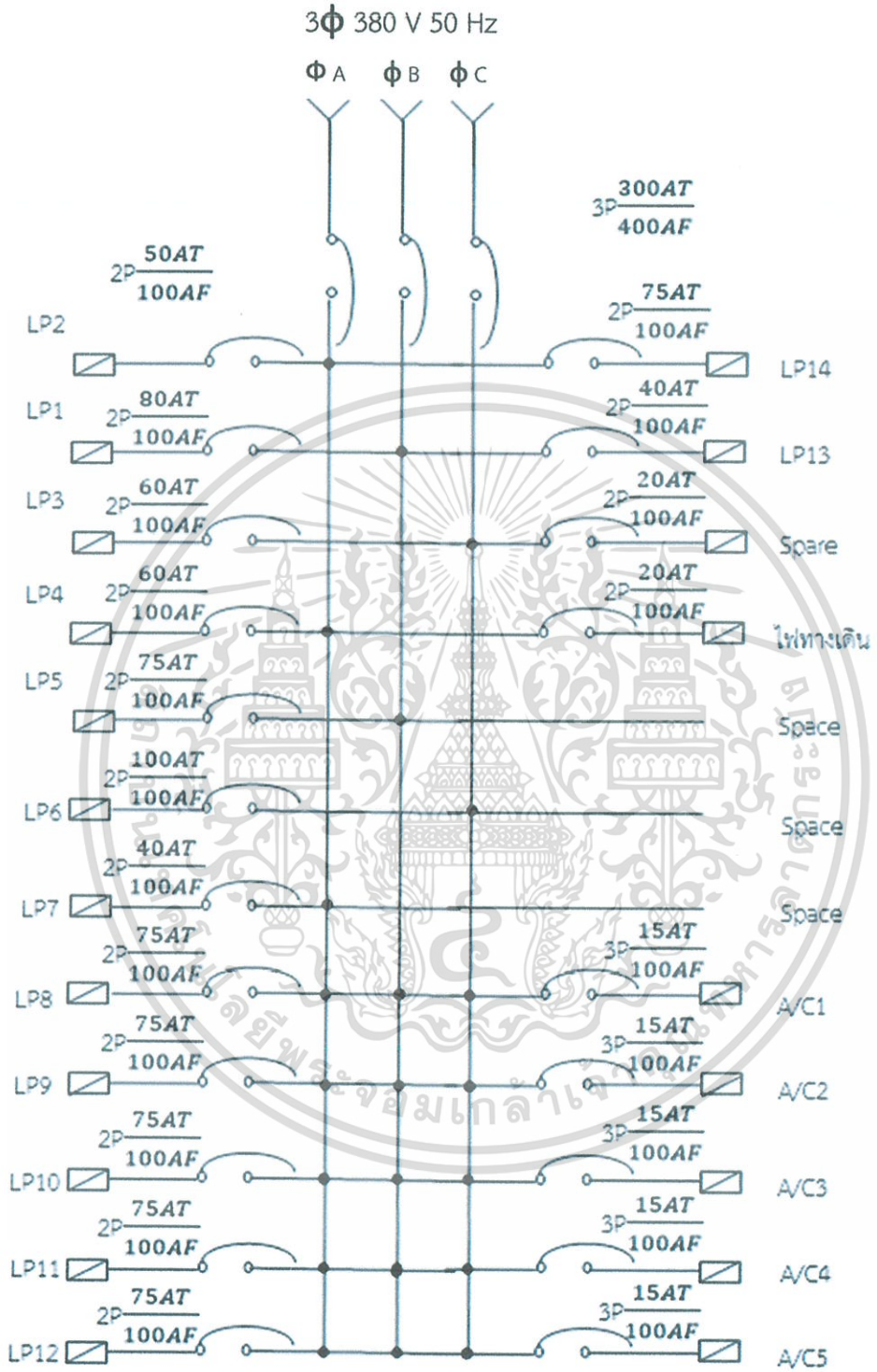
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-10 วงจรเส้นเดี่ยวชั้นที่ 2



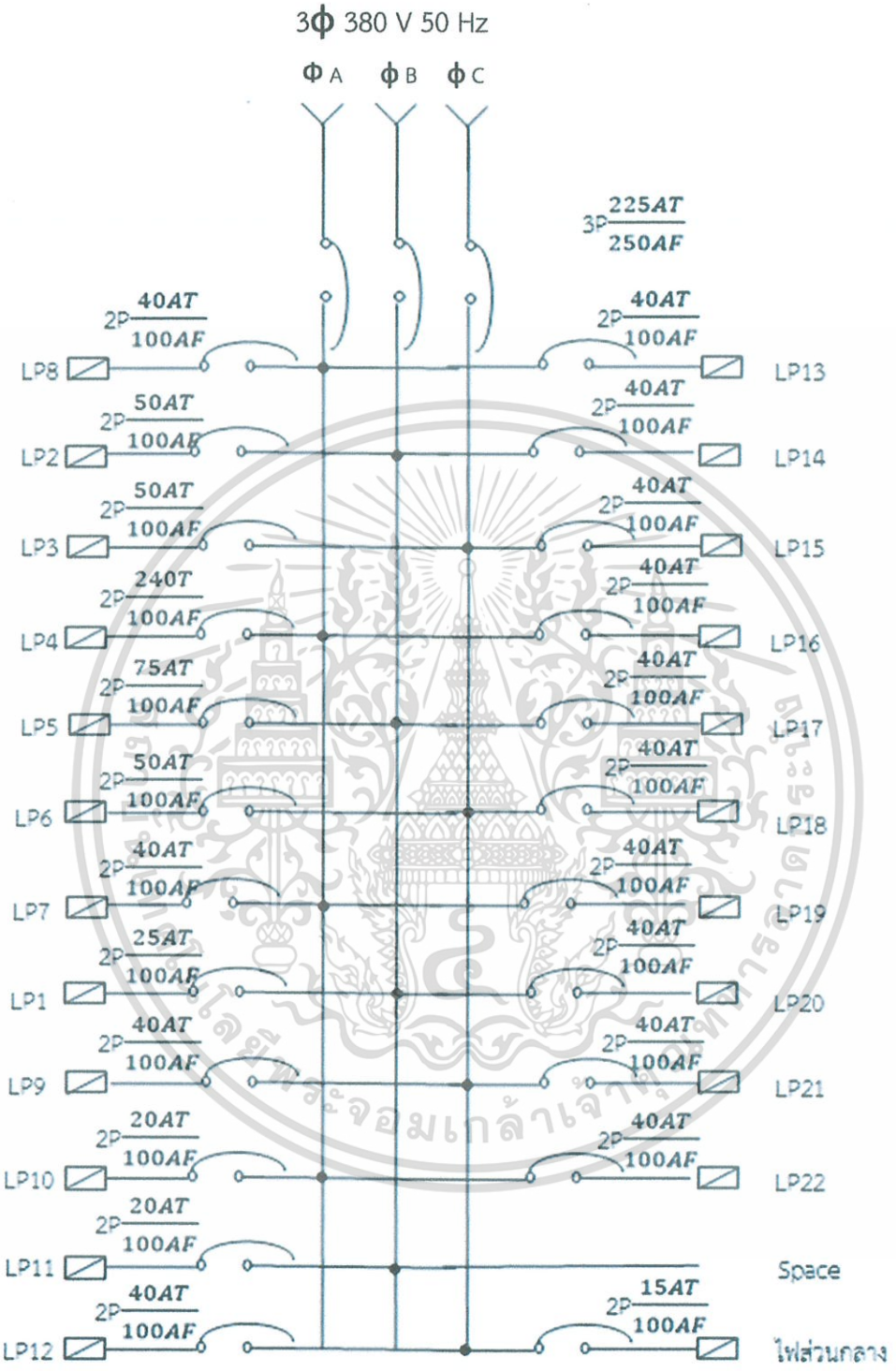
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-11 วงจรเส้นเดี่ยวชั้นที่ 3



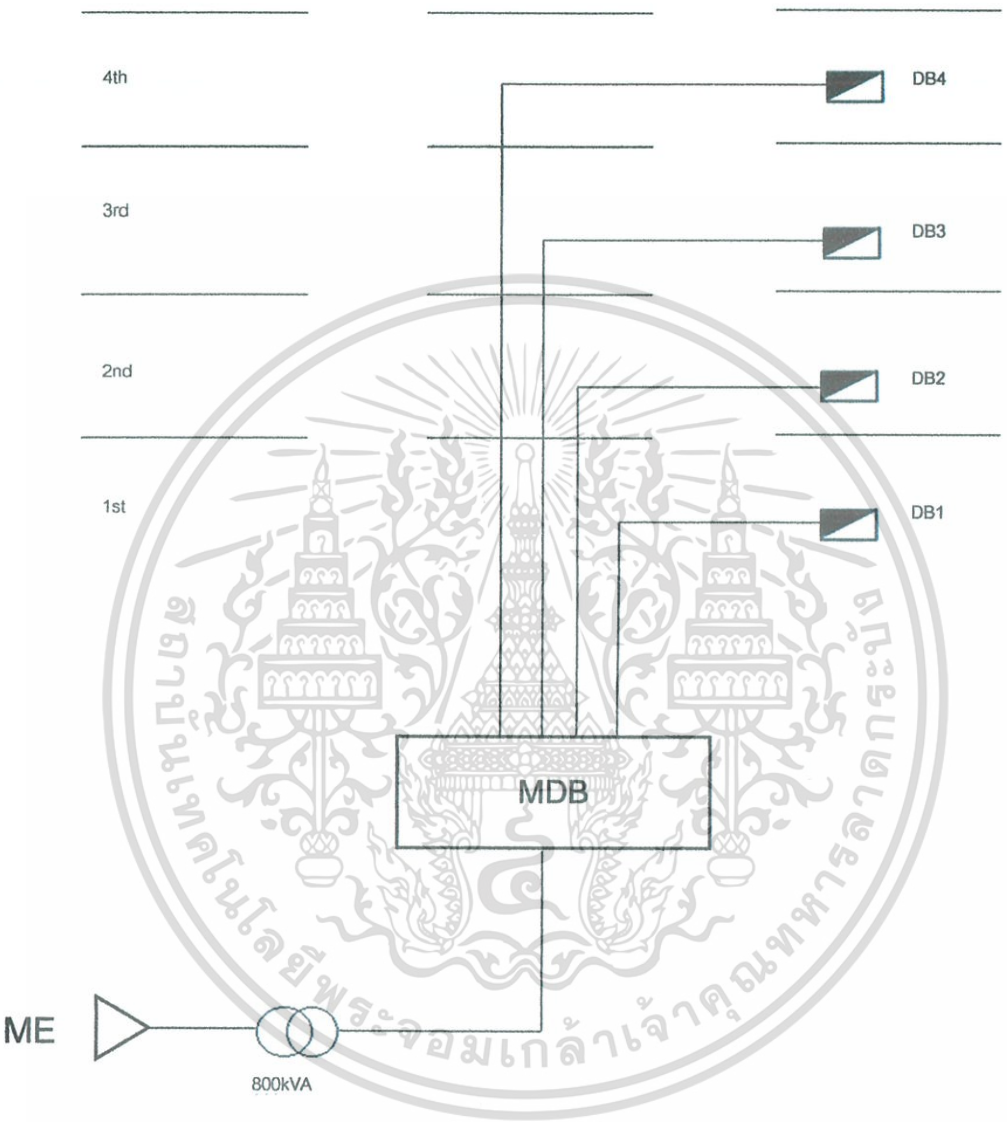
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-12 วงจรเส้นเดี่ยวชั้นที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-13 ไรเซอร์ไดอะแกรมในการจำลองระบบไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 จำลองการทำงานของภาระไฟฟ้าภายในชั้นที่ 1 ตามช่วงเวลา

	เวลา	0 - 8	8 - 9	9 - 12	12 - 13
ชั้น 1	แสงสว่าง	(ขนาด23w 10ดวง) S=242VA; P=230W; Q=75.26var	(ขนาด23w 16ดวง) S=387.2VA; P=368w; Q=120.42var (ขนาด36w 80ดวง)S=8kVA; P=2880w; Q=7463.62var	(ขนาด23w 16ดวง) S=387.2VA; P=368w; Q=120.42var (ขนาด36w 130ดวง) S=13kVA; P=4680w; Q=12128.38var	(ขนาด23w 10ดวง) S=242VA; P=230W; Q=75.26var (ขนาด36w 40ดวง) S=4kVA; P=1440w; Q=3731.81var
	แอร์		(ขนาด1.6kw 7ตัว) S=14kVA; P=11.2kw; Q=8.4kvar	(ขนาด1.6kw 10ตัว) S=20kVA; P=16kw; Q=12kvar (ขนาด5.5kw 7ตัว) S=63kVA; P=38.5kw; Q=49.87kvar	(ขนาด1.6kw 3ตัว) S=6kVA; P=4.8kw; Q=3.6kvar
	เต้ารับ176ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน5%) S=1440VA; P=1368w,Q=449var	(ใช้งาน10%) S=3060VA; P=2907w; Q=955var	(pump 1ตัว) S=2798 VA; P=2238w; Q=1679var (ใช้งาน80%) S=25.2kVA; P=23940w; Q=7868var	(ใช้งาน40%) S=12.6kVA; P=11970w; Q=3934var
	รวม	***S=1682VA ; P=1598w ; Q=524.26var***	***S=22387.2VA; P=17355w; Q=16939.04var***	***S=124385.2VA; P=85726w; Q=83665.8var***	***S=22842VA; P=18440w; Q=11341var***
	เวลา	13-16	16-17	17-20	20-24
	แสงสว่าง	(ขนาด23w 16ดวง) S=387.2VA; P=368w; Q=120.42var ขนาด36w 130ดวง) S=13kVA; P=4680w; Q=12.13kva	(ขนาด23w 16ดวง) S=387.2VA; P=368w; Q=120.42var (ขนาด36w 55ดวง) S=5500VA; P=1980w; Q=5131.24var	(ขนาด23w 18ดวง) S=435.6VA; P=414w; Q=135.47var (ขนาด36w 110ดวง) S=11kVA; P=3960w; Q=10262.48var	(ขนาด23w 18ดวง) S=435.6VA; P=414w; Q=135.47var (ขนาด36w 70ดวง)S=12.6kVA; P=2520w; Q=6530.67var
	แอร์	(ขนาด1.6kw 13ตัว) S=26kVA; P=20.8kw; Q=15.6kvar (ขนาด2.2kw 1ตัว) S=2.8kVA; P=2.2kw; Q=1.73kvar (ขนาด5.5kw 7ตัว) S=63kVA; P=38.5kw; Q=49.87kvar	(ขนาด1.6kw 4ตัว) S=8kVA; P=6.4kw; Q=4.8kvar	(ขนาด1.6kw 6ตัว) S=12kVA; P= 9.6kw; Q=7.2kvar	(ขนาด1.6kw 3ตัว) 6kVA; P=4.8kw; Q=3.6kvar
	เต้ารับ176ตัว และอื่นๆ	(pump 1ตัว) S=2798 VA; P=2238w; Q=1679var (ใช้งาน80%) S=25.2kVA; P=23940w; Q=7868var	(ใช้งาน40%) S=12.6kVA; P=11970w; Q=3934var	(pump 1ตัว) S=2798 VA; P=2238w; Q=1679var (ใช้งาน20%) S=6.3kVA P=5985w; Q= 1967var	(ใช้งาน10%) S=3060VA; P=2907w; Q=955var
	รวม	***S=116209.4VA; P=92726w; Q=88997.428var***	***S=24996.7kVA; P=20718w; Q=13985.66var***	***S=29148.7kVA; P=19959w; Q=21243.47var***	***S=15512.5VA; P=10641w; Q=11287.47var***

ตารางที่ ข-2 จำลองการทำงานของภาระไฟฟ้าภายในชั้นที่ 2 ตามช่วงเวลา

เวลา	0 - 8	8 - 9	9 - 12	12 - 13
แสงสว่าง	(ขนาด23w 5ดวง) S=121VA; P=115w; Q=37.63var	(ขนาด23w 35ดวง) S=847VA; P=805w; Q=263.41var (ขนาด36w 112ดวง) S=11.2kVA; P=4032w; Q=10450var	(ขนาด23w 44ดวง) S=z064.8VA; P=1012W; Q=331.14var (ขนาด36w 155ดวง) S=15500VA; P=5580w; Q=14460var	(ขนาด23w 20ดวง) S=484VA; P=460W; Q=150.52var (ขนาด36w 50ดวง) S=5000VA; P=1800w; Q=4665var
แอร์		(ขนาด1.6kw 20ตัว) S=40kVA; P=32kw; Q=24kvar	(ขนาด1kw 2ตัว) 3kVA; P=2kw; Q=2.236kvar (ขนาด1.6kw 30ตัว) S=60kVA; P=48kw; Q=36kvar (ขนาด2.2kw 3ตัว) S=8.4kVA; P=6.6kw; Q=5.19kvar	(ขนาด1.6kw 5ตัว) S=10kVA; P=8kw; Q=6kvar
เต้ารับ308ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน5%) S=2700VA; P=2565w; Q=843var	(ใช้งาน10%) S=5400VA; P=5130w; Q=1686var	(ใช้งาน80%) S=44280VA; P=42066w; Q=13825var	(ใช้งาน40%) S=22140VA; P=21033w,Q=6912var
รวม	***S=2820.98VA; P=2680w; Q=880.63var***	***S=55553.1VA; P=41967w; Q=36399.41var***	***S=127551.23VA; P=105258w; Q=72042.14var***	***S=35965.5VA; P=31293w; Q=17727.52var***
เวลา	13-16	16-17	17-20	20-24
แสงสว่าง	(ขนาด23w 44ดวง) S=1.078VA; P=1012w,Q=331.14var (ขนาด36w 155ดวง) S=27.9kVA; P=5.58kw; Q=14.46kvar	(ขนาด23w 44ดวง) S=1.078VA; P=1012w,Q=331.14var (ขนาด36w 72ดวง) S=7200VA; P=2592w; Q=6718var	(ขนาด23w 46ดวง) S=1113.2VA; P=1058w; Q=346.2var (ขนาด36w 118ดวง) S=21240VA; P=4248w; Q=11009var	(ขนาด23w 46ดวง) S=1113.2VA; P=1058w; Q=346.2var (ขนาด36w 55ดวง) S=5500VA; P=1980w; Q=5131.24var
แอร์	(ขนาด1kw 2ตัว) S=3kVA; P=2kw; Q=2.236kvar (ขนาด1.6kw 39ตัว) S=78kVA; P=62.4kw; Q=46.8kvar (ขนาด2.2kw 5ตัว) S=14kVA; P=11kw; Q=8.66kvar	(ขนาด1.6kw 9ตัว) S=18kVA; P=14.4kw; Q=10.8kvar	(ขนาด1kw ตัว) S=1.5kVA; P=1kw; Q=1.12kvar (ขนาด1.6kw 20ตัว) S=40kVA; P=32kw; Q=24kvar (ขนาด2.2kw 2ตัว) S=5.6kVA4.4kw 3.46kvar, 5.6kVA	(ขนาด1.6kw 2ตัว) S=4kVA; P=3.2kw; Q=2.4kvar
เต้ารับ308ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน80%) S=44280VA; P=42066w; Q=13825var	(ใช้งาน40%) S=22140VA; P=21033w,Q=6912var	(ใช้งาน20%) S=10980VA; P=10431w; Q=3428var	(ใช้งาน10%) S=5400VA; P=5130w; Q=1686var
รวม	***S=151129.66VA; P=124058w; Q=86312.14var***	***S=46227.71VA; P=39037w; Q24761.14var***	***S=67957.2VA; P=53137w; Q=42363.2var***	***S=14855.38VA; P=11368w; Q=9563.44var***

ตารางที่ ข-3 จำลองการทำงานของภาระไฟฟ้าภายในชั้นที่ 3 ตามช่วงเวลา

เวลา	0 - 8	8 - 9	9 - 12	12 - 13
แสงสว่าง	(ขนาด23w 2ดวง) S=48.4VA; P=46w; Q=15.05var	(ขนาด23w 30ดวง) S=726VA; P=690w; Q=225.78var (ขนาด36w 106ดวง) S=10.6kVA; P=3816w; Q=9890var	(ขนาด23w 60ดวง) S=1452VA; 1380w; 451.56var (ขนาด36w 122ดวง) S=12200VA; P=4392w; Q=11382var	(ขนาด23w 15ดวง) S=363VA; P=345w; Q=112.89var (ขนาด36w 60ดวง) S=6000VA; P=2160w; Q=5598var
แอร์		(ขนาด1.6w 25ตัว) S=50kVA; P=40kw; Q=30kvar	(ขนาด1.6kw 38ตัว) S=76kVA; P=60.8kw; Q=45.6kvar (ขนาด2.2kw 2ตัว) S=5.6kVA; P=4.4kw; 3.46kvar (ขนาด5.5kw 7ตัว) S=63kVA; P=38.5kw; Q=49.86kvar	(ขนาด1.6kw 8ตัว) S=16kVA; P=12.8kw; Q=9.6kvar
เต้ารับ344ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน5%) S=3060VA; P=2907w; Q=955var	(ใช้งาน10%) S=6120VA; P=5814w;Q=1910var	(ใช้งาน80%) S=49500VA; P=47025w; Q=15455var	(ใช้งาน40%) S=24660VA; P=23427w; Q=7700var
รวม	*S=3108.39VA; P=2953w; Q=970.05var*	*S=65561.18VA; P=50320w, Q=42025.78var*	*S=221923.14VA; P=156497w; Q=157348.56var*	*S=45051.85VA; P=38732w; Q=23010.89var*
เวลา	13-16	16-17	17-20	20-24
แสงสว่าง	(ขนาด23w 30ดวง) S=726VA; P=690w; Q=225.78var (ขนาด36w 122ดวง) S=12.2kVA; P=4392w; Q=11382var	(ขนาด23w 30ดวง) S=726VA; P=690w; Q=225.78var (ขนาด36w 42ดวง) S=4200VA; P=1512w; Q=3919var	(ขนาด23w 32ดวง) S=774.4VA; P=736w; Q240.83var (ขนาด36w 80ดวง) S=8000VA; P=2880w,Q=7463.62var	(ขนาด23w 32ดวง) S=774.4VA; P=736w; Q240.83var (ขนาด36w 30ดวง) S=3000VA; P=1080w; Q=2799var
แอร์	(ขนาด1.6kw 40ตัว) S=80kVA; P=64kw; Q=48kvar (ขนาด2.2kw 6ตัว) S=16.8kVA; P=13.2kw; Q=10.39kvar	(ขนาด1.6kw 10ตัว) S=20kVA; P=16kw; Q=12kvar	(ขนาด1.6kw 20ตัว) S=40kVA; P=32kw; Q=24kvar (ขนาด2.2kw 2ตัว) S=5.6kVA4.4kw 3.46kvar, 5.6kVA	(ขนาด1.6kw 2ตัว) S=4kVA; P=3.2kw; Q=2.4kvar
เต้ารับ344ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน80%) S=49500VA; P=47025w; Q=15455var	(ใช้งาน40%) S=24660VA; P=23427w; Q=7700var	(ใช้งาน20%) S=12240VA; P=11628w; Q=3821var	(ใช้งาน10%) S=6120VA; P=5814w; Q=1910var
รวม	*S=154991.86VA; P=129307w; Q=85452.78var*	*S=47974.44VA; P=41629w; Q=23844.78var*	*S=64743.78VA; P=51644w; Q=39046.83var*	*S=13088.5VA; P=10830w; Q=7349.83var*

ตารางที่ ข-4 จำลองการทำงานของภาระไฟฟ้าภายในชั้นที่ 4 ตามช่วงเวลา

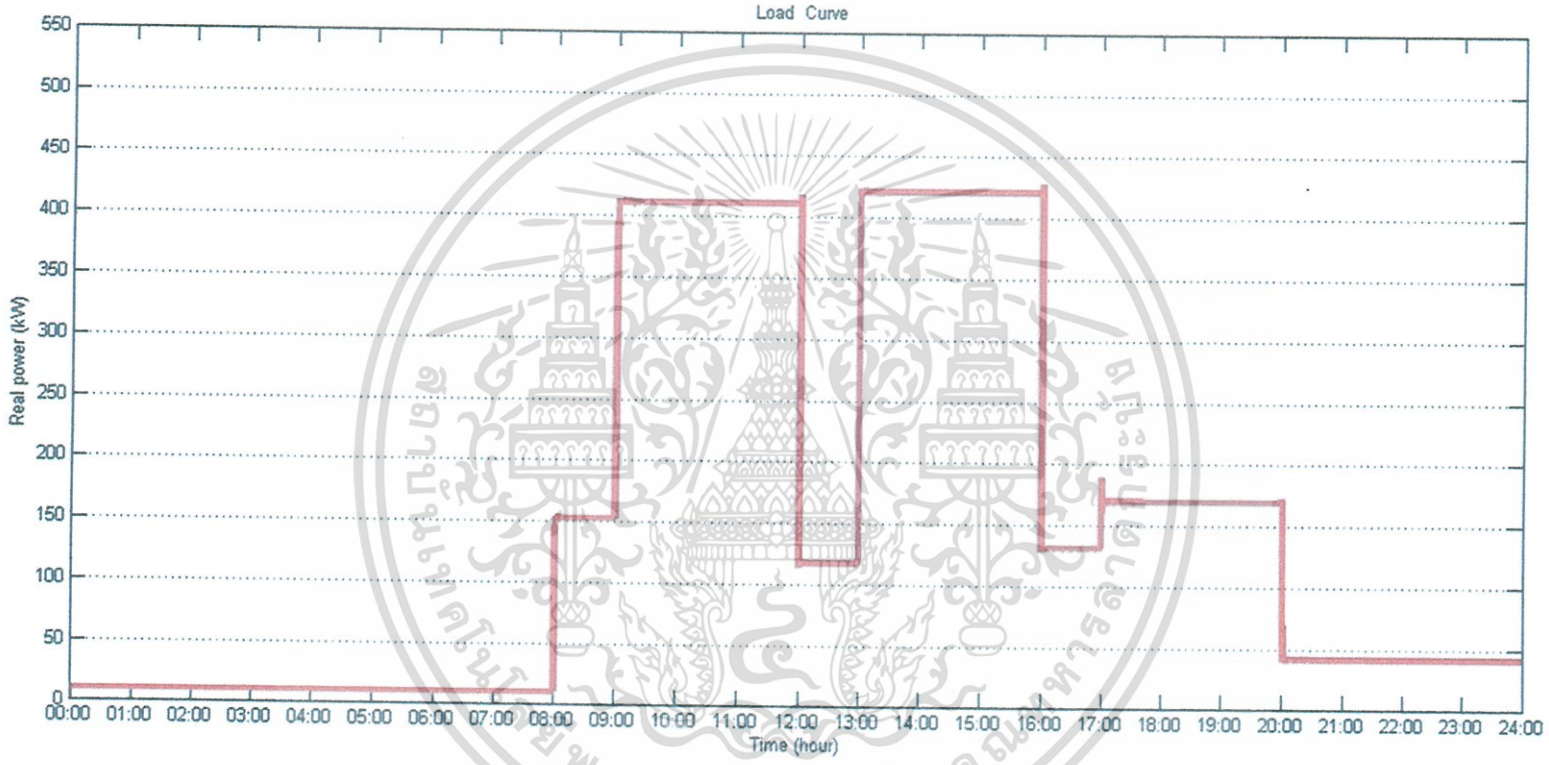
เวลา	0 - 8	8 - 9	9 - 12	12 - 13
แสงสว่าง	(ขนาด23w 2ดวง) S=48.4VA; P=46w; Q=15.05var (ขนาด36w 1ตัว) S=100VA; P=36w; Q=93.3var	(ขนาด23w 18ดวง) S=435.6VA; P=414w; Q=135.47var (ขนาด36w 68ดวง) S=6800kVA; P=2448w; Q=6345var	(ขนาด23w 24ดวง) S=580.8VA; P=552w; Q=180.63var (ขนาด36w 108ดวง) S=10.8kVA; P=3888w; Q=10076var	(ขนาด23w 10ดวง) S=242VA; P=230W; Q=75.26var (ขนาด36w 30ดวง) S=3000VA; P=1080w; Q=2799var
แอร์		(ขนาด1.6w 22ตัว) S=44kVA; P=35.2kw; Q=26.4kvar	(ขนาด1.6kw 35ตัว) S=70kVA; P=56kw; Q=42kvar	(ขนาด1.6kw 6ตัว) S=12kVA; P= 9.6kw; Q=7.2kvar
เต้ารับ289ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน5%) S=2520VA; P=2394w; Q=786var	(ใช้งาน10%) S=5040VA; P=4788w; Q=1573var	(ใช้งาน80%) S=41580VA; P=39501w; Q=12982var	(ใช้งาน40%) S=20700VA; P=19665w; Q=6463var
รวม	*S=2632.57VA; P=2476w; Q=894.35var*	*S=54983.3VA; P=42850w; Q=34453.47var*	*S=119349.4VA; P=99941w; Q=65238.63var*	*S=34760.65VA; P=30575w; Q=16537.26var*
เวลา	13-16	16-17	17-20	20-24
แสงสว่าง	(ขนาด23w 24ดวง) S=580.8VA; P=552w; Q=180.63var (ขนาด36w 108ดวง) S=10.8kVA; P=3888w; Q=10076var	(ขนาด23w 24ดวง) S=580.8VA; P=552w; Q=180.63var (ขนาด36w 20ดวง) S=2000VA; P=720w; Q=1866var	(ขนาด23w 26ดวง) S=629.2VA; P=598w; Q=195.67var (ขนาด36w 62ดวง) S=6200VA; P=2232w; Q=5785var	(ขนาด23w 20ดวง) S=484VA; P=460w; Q=150.52var (ขนาด36w 20ดวง) S=2000VA; P=720w; Q=1866var
แอร์	(ขนาด1.6kw 42ตัว) S=84kVA; P=67.2kw 50.4kvar	(ขนาด1.6kw 7ตัว) S=14kVA; P=11.2kw; Q=8.4kvar	(ขนาด1.6kw 22ตัว) S=44kVA; P=35.2kw; Q=26.4kvar	(ขนาด1.6kw 2ตัว) S=4kVA; P=3.2kw; Q=2.4kvar
เต้ารับ289ตัว และอื่นๆ	(ใช้งาน80%) S=41580VA; P=39501w; Q=12982var	(ใช้งาน40%) S=20700VA; P=19665w; Q=6463var	(ใช้งาน20%) S=10260VA; P=9747w,Q=3203var	(ใช้งาน10%) S=5040VA; P=4788w; Q=1573var
รวม	*S=133322.8VA; P=111141w; Q=73638.63var*	*S=36314.21; P=32137w; Q=16909.63var*	*S=32411.1VA; P=12612.2w,29856.52var*	*S=10950.8VA; P=9168w; Q=5989.52var*

ตารางที่ ข-5 ผลรวมของภาระไฟฟ้าภายในอาคารตามช่วงเวลา

เวลา	0 - 8	8 - 9	9 - 12	12 - 13
รวม	S=10242.53VA; P=9707w; Q=3268.57var PF=0.9477	S=200265.93VA; P=152492w; Q=129817.7var PF=0.7614	S=585912.58VA; P=447422w; Q=378295.13var PF=0.7636	S=137400.03VA; P=119040w; Q=68616.67var PF=0.8664
เวลา	13-16	16-17	17-20	20-24
รวม	S=566465.79VA; P=457232w; Q=334398.55var PF=0.8072	S=162432.54VA; P=133521w; Q=92501.21var PF=0.8220	S=190852.33VA; P=137352.2w; Q=132510.32var PF=0.7197	S=54162.36VA; P=42007w; Q=34190.26var PF=0.7756

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ ข-14 กราฟของโหลดประจำวันในการจำลองระบบ (24 ชั่วโมง)



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติผู้เขียน



นายรัฐพงษ์ สุรจร (เติ้ล) เกิดวันที่ 23 ตุลาคม 2535
ที่อยู่ 73/19 หมู่ 10 ซอยสุวินทวงศ์64 ถนนสุวินทวงศ์
แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
ประวัติการศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๔
Tel.083-604-9677 E-mail : Rattapong_Surajorn@hotmail.com



นายวีรวิชญ์ ศิลากร (คิว) เกิดวันที่ 1 ตุลาคม 2535
ที่อยู่ 31 หมู่ 5 ตำบลบางนาง อำเภอพานทอง ชลบุรี 20160
ประวัติการศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนพนัสพิทยาคาร
Tel.087-480-7882 E-mail : i-unnamed@hotmail.com



นายอภินันท์ สังข์เมือง (สไปร์ท) เกิดวันที่ 31 มีนาคม 2536
ที่อยู่ 104/60 หมู่ที่ 1 ซอยสุเหร่านาตับ ถนนเลียบวารี
แขวงโคกแฝด เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
ประวัติการศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๔
Tel.083-603-6192 E-mail : sprite.xtreme@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้