การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฮม

REACTIVE POWER COMPENSATION USING INVERTER-AIR CONDITION FOR SMART HOME APPLICATION

โดย

นางสาวกมลพร ผาติธรรมธร

นายกิติภัฏ ร่มเพชร

นายพิพรพงษ์ นาวีระ

นางสาวรสริน อัจฉริยบุญยงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REACTIVE POWER COMPENSATION USING INVERTER-AIR CONDITION FOR SMART HOME APPLICATION

KAMONPORN PATITAMTORN
KITIPAT ROMPHET
PIPORNPONG NAWEERA
ROSSARIN ACHARIYABOONYONG

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACUALTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฮม

REACTIVE POWER COMPENSATION USING INVERTER-AIR CONDITION FOR SMART HOME APPLICATION

โดย

นางสาวกมลพร ผาติธรรมธร

นายกิติภัฏ ร่มเพชร

นายพิพรพงษ์ นาวีระ

นางสาวรสริน อัจฉริยบุญยงค์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฮม

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกมลพร ผาติธรรมธร
2. นายกิติภัฏ ร่มเพชร
3. นายพิพรพงษ์ นาวีระ
4. นางสาวรสริน อัจฉริยบุญยงค์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฮม

นางสาวกมลพร ผาติธรรมธร

นายกิติภัฏ ร่มเพชร

นายพิพรพงษ์ นาวีระ

นางสาวรสริน อัจฉริยบุญยงค์

รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ เพื่อช่วยลดค่าความสูญเสียในบ้านพักอาศัยและปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับรองรับระบบสมาร์ทโฮม โดยการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โครงงานวิจัยนี้ได้ใช้วงจร Back to Back ซึ่งเป็นคอนเวอร์เตอร์สองตัวต่อแบบหันหลังชนกัน โดยให้คอนเวอร์เตอร์ตัวแรกควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ให้สามารถรักษาอุณหภูมิในห้องทดลองได้ตามที่ต้องการด้วยการควบคุมแบบ PI ในขณะเดียวกัน คอนเวอร์เตอร์อีกตัวหนึ่งก็ทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าไปชดเชยให้กับโหลดต่าง ๆ ภายในบ้าน โดยอาศัยการควบคุมแบบเวกเตอร์แยกอิสระระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าเสมือน จากผลการทดลองพบว่าโครงงานวิจัยนี้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ REAL LAB ได้ถึง 7.5% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป อีกทั้งเครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับได้จริงในระบบสมาร์ทโฮมต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reactive Power Compensation Using Inverter-Air Condition for Smart Home Application

Kamonporn Patitamtorn

Kitipat Rompetch

Pipornpong Naweera

Rossarin Achariyaboonyong

Assoc.Prof.Dr.Surin Khomfoi Advisor

Chaitat Maneeinn Advisor

Year 2016

Abstract

This thesis presents the applying of the inverter-air condition to reduce losses in the resident by compensating reactive power, and stabilizing the voltage level that also can be used in Smart home function. A back-to-back converter is used in vector control-mode for separately control of active power and reactive power. The back-to-back converter consists of an inverter, for control the speed of a compressor with PI control to maintain the testing room temperature, and a converter that connected to the grid to perform the reactive power compensation. Experimental results show that the losses in our testing resident can be reduce 7.5% compare with a conventional air condition. The purpose of this thesis can be use to apply with an inverter air condition in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.สุรินทร์ คำฝอย, อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ และผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมไปถึงข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงการเอาใจใส่และให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด โดยเริ่มต้นจากการแนะนำทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการให้คำปรึกษาต่าง ๆ เมื่อเกิดปัญหาระหว่างโครงงานวิจัย

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนอาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้คำสั่งสอนและให้ความรู้ซึ่งเป็นทรัพย์ที่มีค่าที่สุดในการประกอบอาชีพ

ขอขอบพระคุณอาคารปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน REAL (Renewable Energy Application Laboratory) ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดลอง ขอขอบคุณพี่เอกนรินทร์ อรุณ ตลอดจนผู้ที่ให้การช่วยเหลือทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อุปการะเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนส่งเสริมทางด้านการศึกษา จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้ได้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ทุกท่านที่สนใจสามารถนำไปศึกษา ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและใช้ในงานวิจัยด้านอื่น ๆ ต่อไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	IX
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	3
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	3
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**6**
2.1 บทนำ	6
2.2 เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)	6
2.2.1 คอมเพรสเซอร์	6
2.2.2 คอนเดนเซอร์หรือคอยล์ร้อน	7
2.2.3 วาล์วลดความดัน	7
2.2.4 อีวาโปเรเตอร์หรือคอยล์เย็น	7
2.3 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)	7
2.3.1 แบบลูกสูบ	8
2.3.2 แบบโรตารี	8
2.3.3 แบบสโครล์	8
2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	9
2.4.1 ไดโอด (Diode)	9
2.4.2 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)	9
2.5 การมอดูเลตของอินเวอร์เตอร์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	12
2.7 คอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกัน (Back-to-Back Converter)	14
2.8 การควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control)	15
2.9 ทฤษฎีการแปลงแกนแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)	16
2.10 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย 3 เฟส	24
2.10.1 การทำงานในโหมดเร็คติไฟเออร์	25
2.10.2 การทำงานในโหมดอินเวอร์ทิ่ง	27
2.11 การสื่อสารอนุกรม RS-232	29
2.11.1 RS-232 คืออะไร	29
2.11.2 หลักการของ RS-232	30
2.11.3 การใช้งาน RS-232	30
2.11.3.1 วิธีการใช้ Hyper Terminal ที่มากับ Windows ตรวจสอบ	30
2.11.3.2 วิธีการใช้โปรแกรม Expert Comport Test	31
2.11.3.3 วิธีใช้ LED ต่อกับความต้านทาน R 1 k โอมห์	31
2.11.4 สาเหตุที่ทำให้ RS-232 เสียได้	31
2.11.5 วิธีการป้องกันไม่ให้ RS-232 เสียได้ง่าย	31
2.11.6 ข้อดีและข้อเสียของ RS-232	31
2.12 โปรแกรม DriveStudio	32
2.12.1 DriveStudio คืออะไร	32
2.12.2 การเชื่อมต่อ Drive กับโปรแกรม DriveStudio	32
2.12.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม DriveStudio เบื้องต้น	33
2.13 สรุป	35
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	**36**
3.1 บทนำ	36
3.2 ออกแบบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulation)	36
3.3 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ	37
3.4 การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.1 แผนผังการต่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 38

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 39

3.4.2.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) 39

3.4.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนผนัง (FLOOR / CEILING TYPE) 40

3.4.2.3 Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100 41

3.4.2.4 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลอง 41

3.5 การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ 42

3.5.1 แผนผังการเชื่อมต่อแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์ 42

3.5.2 อุปกรณ์การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ 43

3.5.2.1 แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ (AFE) รุ่น ACSM1-204 โมดูลรีเจนซัพพลายของ ABB 43

3.5.2.2 PLC ของบริษัท Siemens 45

3.5.2.3 SIEMENS 6ES7232-4HA30-0XB0 46

3.5.2.4 เราท์เตอร์ 47

3.5.3 การเขียนโปรแกรม PLC ในการรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและอุณหภูมิ 47

3.6 การรับและส่งข้อมูลด้วยโปรแกรม PLC แบบเรียลไทม์ในระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB 48

3.7 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและแสดงผลการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน 51

3.7.1 Q-Limit (Q_{Limit}) 51

3.7.2 Q-from HEMS (Q_{HEMS}) 51

3.8 สรุป 52

บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล **53**

4.1 บทนำ 53

4.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 53

4.2.1 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป 53

4.2.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการทดลองโปรแกรมสำหรับควบคุมและแสดงผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 54

4.3.1 ผลการทดลองก่อนการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยแอคทีฟพร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบ 55

4.3.2 ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้แอคทีฟพร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR 57

4.3.3 ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้แอคทีฟพร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR 60

4.3.4 ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้แอคทีฟพร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR 62

4.3.5 ผลการทดลองเมื่อให้แอคทีฟพร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด 65

4.4 สรุป 68

บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง **69**

5.1 บทนำ 69

5.2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลืออยู่จากการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเทียบกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 69

5.3 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศแบบนเวอร์เตอร์ (เครื่องต้นแบบ) 72

5.3.1 การวิเคราะห์ผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB 73

5.3.2 การวิเคราะห์ผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB 73

5.3.3 การวิเคราะห์ผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ของระบบไมโครสามาร์ทกริดของ REAL LAB 74

5.4 สรุป 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	**76**
6.1 บทสรุป	76
6.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ	77
6.3 แนวทางการพัฒนา	77
เอกสารอ้างอิง	**78**
ภาคผนวก	**80**
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ	81
ภาคผนวก ข เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	85
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งาน ACSM1 Regen Supply Control และ ACS355 drives	87
ภาคผนวก ง บทความเชิงวิชาการ	159
ประวัติผู้เขียน	**165**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไปและเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์	2
1.2 การเปรียบเทียบร้อยละการประหยัดพลังงานของการทำงานขอเครื่องปรับอากาศทั่วไปและเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์	2
2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	7
2.2 คอมเพรสเซอร์แบบสโครล์	8
2.3 สัญลักษณ์และกราฟคุณลักษณะของไดโอด	9
2.4 สัญลักษณ์และกราฟคุณลักษณะของไดโอด	10
2.5 รูปคลื่นและฮาร์มอนิกส์สเปคตราของอินเวอร์เตอร์สามเฟส	11
2.6 วงจรบริดเรียงกระแสสามเฟส (TWO-LEVEL INDIRECT FREQUENCY CONVERTER WITH VOLTAGE SOURCE INVERTER AND DIODE BRIDGE RECTIFIER)	12
2.7 แรงดันเอาท์พุทจากโหมดอินเวอร์เตอร์	13
2.8 แรงดันเอาท์พุทจากโหมดเร็คติไฟล์เออร์	14
2.9 วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อกันแบบหันหลังชนกัน (BACK-TO-BACK CONVERTER)	14
2.10 การแปลงแกน ABC ไปยังแกน $\alpha\beta$	17
2.11 การแปลงแกน $\alpha\beta$ ไปยังแกน ABC	18
2.12 แรงดันและกระแสในรูปแบบเวกเตอร์ในระบบ $\alpha\beta$	19
2.13 กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะสามเฟส	20
2.14 หลักการพื้นฐานในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน	21
2.15 ไดอะแกรมควบคุมการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานด้วยแกน P - Q	22
2.16 THREE-WIRE SHUNT ACTIVE FILTER FOR CURRENT COMPENSATION	23
2.17 วงจรควบคุมสำหรับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ	23
2.18 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 1	25
2.19 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 2	25
2.20 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 3	26
2.21 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 4	26
2.22 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 5	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 6	27
2.24 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 7	28
2.25 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 8	28
2.26 ภาพจำลองของ RS-232	29
2.27 ไอคอนโปรแกรม DRIVESTUDIO	32
2.28 หน้าจอโปรแกรมเมื่อต่อกับ RS-232	32
2.29 หน้าจอการกำหนดพารามิเตอร์ของแอคทีฟฟร้อนต์เอ็นด์ (AFE)	33
2.30 การเลือกค่าพารามิเตอร์ในการมอนิเตอร์ริ่ง	33
2.31 หน้าจอมอนิเตอร์ริ่ง	34
3.1 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน	36
3.2 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ	37
3.3 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป	38
3.4 อินเวอร์เตอร์ ACS355-03E-15A6-4 ของบริษัท ABB	39
3.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของ ACS355 DRIVES	40
3.6 แผนผังแสดงการควบคุมของ PID รูปแบบต่าง ๆ ของ ACS355 DRIVES	40
3.7 เครื่องปรับอากาศสามเฟสของ STAR AIRE	41
3.8 TEMPERATURE SENSOR ชนิด RTD รุ่น PT100	41
3.9 รถเข็นสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศ	42
3.10 แผนผังการเชื่อมต่อแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์	42
3.11 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (BACK TO BACK CONVERTER)	43
3.12 ACSM1-204 โมดูลรีเจนซัพพลายของ ABB	44
3.13 วงจรหลักและอินเตอร์เฟซของการควบคุม	44
3.14 หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท SIEMENS	45
3.15 โมเดลของ CPU ของหน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท SIEMENS	45
3.16 โมดูล 6ES7232-4HA30-0XB0	46
3.17 เราท์เตอร์ของบริษัท TP-LINK รุ่น TL-WR802N	47
3.18 แผนผังการเชื่อมต่อของ PLC ในการรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและอุณหภูมิ	48
3.19 แผนผังการเชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายกับ PLC	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 LADDER ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด	49
3.21 TAGS ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด	50
3.22 หน้าจอแสดง TAGS สำคัญที่ใช้ในการควบคุมและการแสดงผล	50
3.23 หน้าจอแสดงผลการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์	51
4.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป	53
4.2 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์	54
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	55
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	55
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	56
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (ROOM) เทียบกับเวลา	56
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา	57
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	57
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	58
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	58
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (ROOM) เทียบกับเวลา	59
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา	59
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	60
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	60
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา	61
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (ROOM) เทียบกับเวลา	61
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา 62

4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของ 63

4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา 63

4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (ROOM) เทียบกับเวลา 64

4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา 64

4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา 65

4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของ 65

4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา 66

4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (ROOM) เทียบกับเวลา 66

4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา 67

5.1 กราฟการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป 69

5.2 การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 70

5.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้า 71

5.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณกำลังไฟฟ้า 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินโครงงาน 4

2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแอกทีฟฟิวเตอร์แบบขนาดและอนุกรม 21

2.2 โหมดของสวิทช์และแรงดันของเฟส A 24

3.1 SPECIFICATION ของ SIMATIC S7-1200 46

5.1 ตารางเปรียบเทียบผลการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ส่งผลต่อระบบไมโครสมาร์ทกริด 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีแนวคิดด้าน การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ (Promotion of Electricity Energy Efficiency) ซึ่งเป็นแนวทางที่เกิดขึ้นและแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อโลกประสบวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงทศวรรษ 1970 ทำให้ทั่วโลกได้ตระหนักว่า การผลิตเพื่อสนองความต้องการใช้พลังงานเพียงทางเดียว ย่อมก่อให้เกิดปัญหาหลายประการติดตามมา เช่น ทรัพยากรพลังงานที่นับวันจะหมดไป, ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากมลภาวะที่เกิดจากการเผาผลาญพลังงาน เป็นต้น แนวคิดการส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้รับการเผยแพร่และคิดค้นวิจัยไปสู่การปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมและจริงจัง อาจกล่าวได้ว่า Demand-Side Management (DSM) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการวางแผนพัฒนาการผลิตและส่งไฟฟ้า โดยประเทศไทยนับเป็นประเทศแรกเริ่มในภูมิภาคเอเชีย ที่ดำเนินการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าอย่างเป็นรูปธรรม และได้รับการยอมรับถึงประสิทธิภาพและผลการดำเนินงานส่งเสริมการใช้ไฟฟ้า อย่างแพร่หลายและยั่งยืน

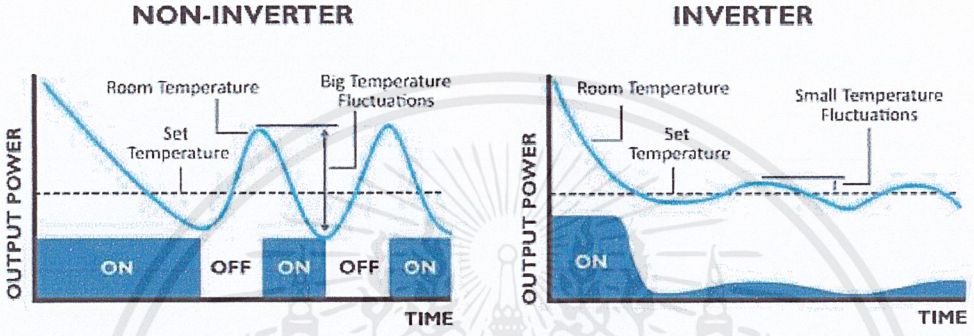
การดำเนินการด้านพลังงานไฟฟ้าของไทยแบ่งออกเป็น ด้าน Supply-Side Management คือ การวางแผน ก่อสร้างและจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าเพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้ และด้าน Demand-Side Management คือ มาตรการที่ปรับเปลี่ยนปริมาณ และลักษณะของการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (end-use) เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ด้าน คือ การปรับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าให้สมดุลกับการผลิตไฟฟ้า โดยผ่านเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ หรืออาจเป็นการปรับเปลี่ยนแบบแผนการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการจัดการบริหารความต้องการใช้ไฟฟ้า และวัตถุประสงค์อีกด้านหนึ่ง คือการสร้างเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation)

โดยเป้าหมายของ DSM คือการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างเหมาะสม (optimizing energy resources) โดยมีวัตถุประสงค์หลักที่การลดต้นทุนรวมของสังคม และในวัตถุประสงค์ที่กว้างไปกว่านั้นคือ การปรับปรุงแก้ไขสภาพแวดล้อมและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ซึ่งในโครงงานวิจัยเน้นไปที่ Home-Demand-Side Management (HDSM) ซึ่งเป็นส่วนที่พักอาศัย เพื่อนำไปใช้กับระบบปรับอากาศในสมาร์ทโฮม [1]

ปัจจุบันการใช้เครื่องปรับอากาศทั่วไป (ไม่มีอินเวอร์เตอร์) ได้ถูกแทนที่ด้วยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลาย โดยระบบอินเวอร์เตอร์คือระบบควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์

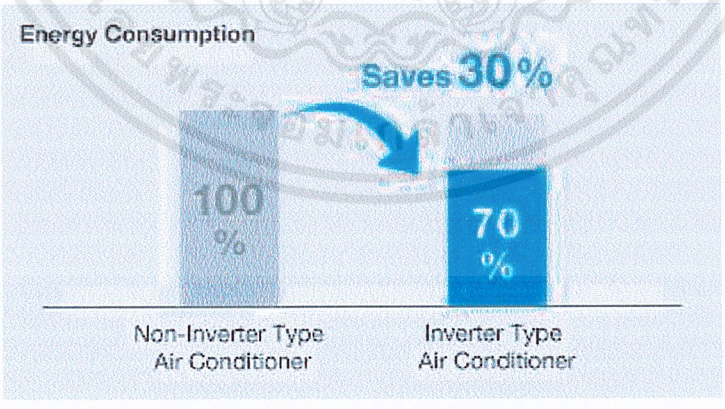
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Inverter Circuit) การทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จะแตกต่างจากเครื่องปรับอากาศทั่วไป ตรงที่เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง อุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงถึงระดับที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นคอมเพรสเซอร์จะปรับรอบการทำงานลงเพื่อคงอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ตลอดเวลา ในขณะที่เครื่องปรับอากาศทั่วไปเมื่อเริ่มเปิดเครื่องอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้ประมาณ 1-2 องศา หลังจากนั้นคอมเพรสเซอร์จะตัดการทำงาน จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ สูงขึ้นเกินระดับที่ตั้งไว้ 1-2 องศา คอมเพรสเซอร์ก็จะเริ่มทำงานอีกครั้งทำให้อุณหภูมิภายในห้องของเครื่องปรับอากาศทั่วไปเปลี่ยนแปลงมากกว่าเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไปและเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ [2]

และด้วยผลจากการทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิโดยตรงภายในห้องต่อมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ โดยปรับความถี่ของไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์อยู่ตลอดเวลา มีผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ลดลงตามไปด้วย ซึ่งสามารถทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 30



รูปที่ 1.2 การเปรียบเทียบร้อยละการประหยัดพลังงานของการทำงานขอเครื่องปรับอากาศทั่วไปและเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) ให้กับอินเวอร์เตอร์ จากสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าสามารถแตกองค์ประกอบเป็น กำลังไฟฟ้าจริง (Watt) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ในกรณีที่อินเวอร์เตอร์ทำงานในสภาวะคงตัว อินเวอร์เตอร์จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงประมาณร้อยละ70 และจะเหลือกำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR) ที่ถูกปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการนำกำลังไฟฟ้าเสมือนนี้มาใช้ประโยชน์ โดยจะนำมาชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดภายในบ้าน เพื่อแก้ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ให้ดียิ่งขึ้น

โครงงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์และเครื่องปรับอากาศทั่วไป การนำกำลังไฟฟ้าเสมือนจากเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์มาชดเชยให้กับโหลดภายในบ้าน และแสดงการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดภายในบ้าน
2. เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของระบบไฟฟ้าภายในบ้านให้ดีขึ้น
3. ลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับระบบภายในบ้าน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องปรับอากาศปรับอากาศทั่วไป (Non-Inverter) ของบริษัท สตาร์ (ประเทศไทย) จำกัด ขนาด 38,600 บีทียูต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศ 3 เฟส 380 โวลต์ มาดัดแปลงให้เป็นเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่สามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนได้ด้วยระบบควบคุมแบบเวกเตอร์และ PI ของแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์และอินเวอร์เตอร์ของบริษัท เอบีบี (ไทยแลนด์) จำกัด ก่อนที่จะถูกควบคุมด้วยชุดไดร์ฟและระบบควบคุมแบบ PID เพื่อให้สามารถชดเชยค่าตัวกอบกำลังไฟฟ้าต่อไป

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ศึกษาการจัดการพลังงานภายในสมาร์ทโฮม
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไปและเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์
3. ศึกษาปัจจัยที่เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดภายในบ้าน
4. ศึกษาและออกแบบวงจรควบคุมเพื่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน
5. จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์
6. ทำการทดสอบหาคุณลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทำโครงงาน
7. ออกแบบวงจรควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน
8. ทดลองให้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดภายในบ้าน
9. รวบรวมข้อมูลการทดลองและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. ศึกษาการจัดการพลังงานภายในสมาร์ทโฮม									
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไปและเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์									
3. ศึกษาปัจจัยที่อินเวอร์เตอร์จะสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดภายในบ้าน									
4. ศึกษาอิเล็กทรอนิกส์และชุดไดร์ฟที่ใช้ในการควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน									
5. จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์ในงานวิจัย									
6. ทำการทดสอบหาคุณลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทำโครงงาน									
7. ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชุดไดร์ฟที่ใช้ในการควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน									
8. ทดลองให้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดภายในบ้าน									
9. รวบรวมข้อมูลการทดลองและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานวิจัย

1. โครงงานวิจัยนี้ช่วยให้มีความเข้าใจการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

2. โครงงานวิจัยนี้ช่วยให้มีความเข้าใจการทำงานของวงจรควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

3. โครงงานวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพทางพลังงานของบ้านพักอาศัยเพิ่มมากยิ่งขึ้น

4. โครงงานนี้วิจัยช่วยให้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีการดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฮม ตั้งแต่เครื่องปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การมอดูเลตของอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ Back-to-Back Converter และการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ทฤษฎีเวกเตอร์คอนโทรล (Vector control)

2.2 เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)

การปรับอากาศเป็นกระบวนการควบคุมสภาวะของอากาศให้เป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปปัจจัยหรือพารามิเตอร์ของอากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วยอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และปริมาณลม การปรับอากาศมุ่งให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย หรือในอุตสาหกรรม การปรับอากาศอาจใช้เพื่อควบคุมสภาวะอากาศในกระบวนการผลิต สำหรับประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น หน้าที่หลักของระบบปรับอากาศคือการทำความเย็น หรือการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ด้วยวิธีการดึงความร้อนออกไปโดยตรง หรือด้วยการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่านคอยล์เย็นโดยใช้พัดลม น้ำยาหรือสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบปรับอากาศจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการขนถ่ายความร้อนเพื่อออกไประบายทิ้งภายนอกผ่านคอยล์ร้อน โดยปกติไม่ว่าจะเป็นอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรม ระบบปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานที่สูงมาก การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจึงสามารถประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายได้

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

โดยส่วนใหญ่ระบบปรับอากาศจะใช้หน่วยทำความเย็น (Refrigeration Unit) ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cycle) วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ตัวได้แก่

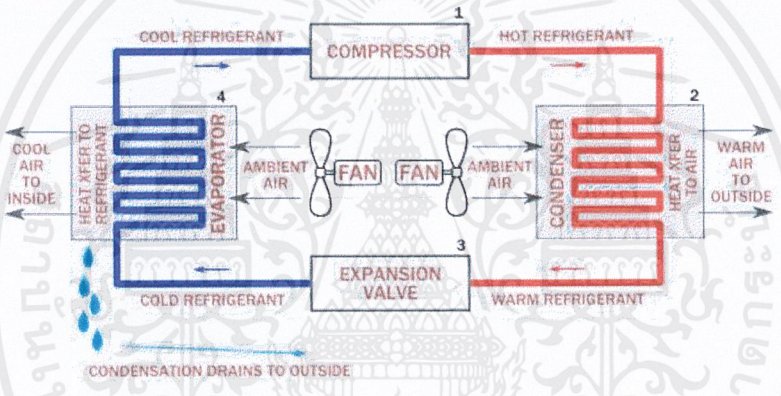
2.2.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่เพิ่มความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นในสภาวะแก๊ส คอมเพรสเซอร์จะอัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีความดันและอุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อส่งต่อไปยังคอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียนในระบบและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะระบายความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คอนเดนเซอร์หรือคอยล์ร้อน (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์โดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอที่ความดันสูงอุณหภูมิสูงเป็นของเหลวที่ความดันสูงอุณหภูมิสูง การระบายความร้อนอาจใช้วิธีระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำก็ได้

2.2.3 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่มาจากคอนเดนเซอร์สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ความดันต่ำอุณหภูมิต่ำก่อนไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ต่อไป

2.2.4 อีวาโปเรเตอร์หรือคอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากอากาศเข้าสู่สารทำความเย็นที่เคลื่อนผ่านคอยล์เย็นโดยสารทำความเย็นซึ่งไหลอยู่ภายในคอยล์เย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ความดันต่ำไปเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่ความดันและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ [4]

2.3 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์คืออุปกรณ์ที่เพิ่มความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะที่เป็นไอ คอมเพรสเซอร์จะดูดน้ำยาที่เป็นไอน้ำยิ่งยวด ทางท่อดูดเข้าสู่คอมเพรสเซอร์แล้วอัดแก๊สนี้ให้มีความดันสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และส่งเข้ายังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านเข้าทางวาวล์ขยายตัวเพื่อไปกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ด้วยการระบายความร้อนออกจากน้ำยาอีกทีหนึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 2.1 คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันในระบบระหว่างด้านความดันสูงและความดันต่ำน้ำยาที่ถูกดูดเข้ามาในคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สที่มีความดันต่ำและน้ำยาที่อัดส่งจากคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สซึ่งมีความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้กันอยู่ในระบบปรับอากาศมีอยู่หลายชนิดโดยที่นิยมใช้กันในเครื่องปรับอากาศแยกส่วนมีดังนี้

2.3.1 แบบลูกสูบ (Piston)

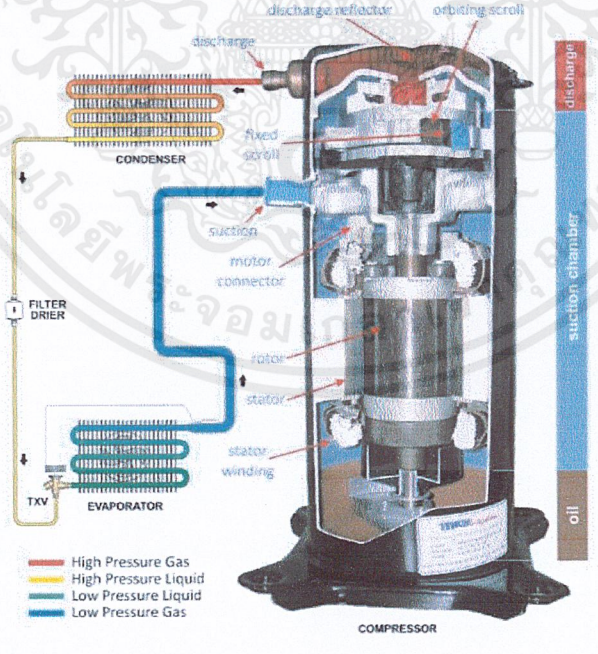
คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบนับว่าพบใช้กันมากที่สุด คือพบใช้กับเครื่องทำความเย็นตั้งแต่ขนาดเล็กประมาณ1/20 แรงม้าขึ้นไปจนกระทั่งถึงเครื่องทำความเย็นในระบบใหญ่ขนาด 50-60 ตัน

2.3.2 แบบโรตารี (Rotary)

คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีมีขีดจำกัดในการใช้งานคือใช้ได้ดีกับระบบที่มีกำลังม้าน้อย เช่น ตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศที่ขนาดไม่เกิน 32000 Btu/h แต่ถ้าระบบใหญ่กว่านี้คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีจะไม่เหมาะในการใช้งาน

2.3.3 แบบสโครล์ (Scroll)

คอมเพรสเซอร์แบบสโครล์เป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดใหม่ที่มีการพัฒนาล่าสุดโดยจุดเด่นคือมีประสิทธิภาพสูงและเงียบซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ในการวิจัย จุดเด่นของคอมเพรสเซอร์แบบสโครล์คือประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน เงียบ ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการช่วยสตาร์ท ส่วนจุดด้อยของคอมเพรสเซอร์แบบสโครล์ คือมีขนาดให้เลือกใช้ไม่มากเท่าแบบลูกสูบ มีราคาแพง คอมเพรสเซอร์มีรูปร่างสูงและระบบมีการตั้งตัวในแนวระดับขณะสตาร์ทซึ่งอาจทำให้ท่อน้ำยาที่เชื่อมต่อกับคอมเพรสเซอร์เกิดการแตกรั่วได้เมื่อใช้เป็นระยะเวลานาน ๆ [5]



รูปที่ 2.2 คอมเพรสเซอร์แบบสโครล์ [6]

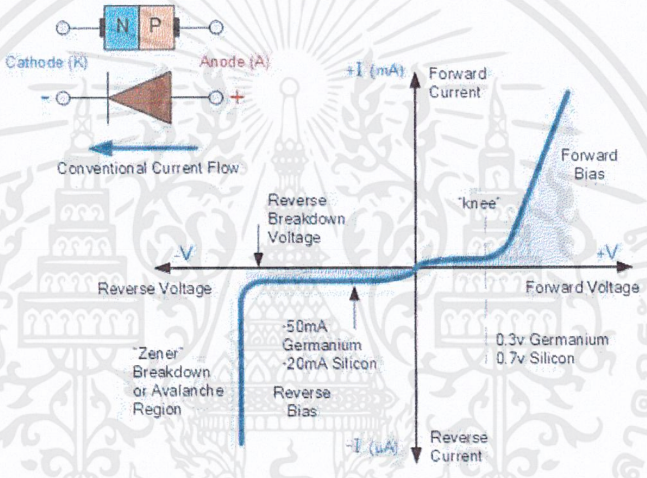
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในโครงงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์สวิตชิ่งเพื่อควบคุมการสร้างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด คือไดโอด (Diode) และไอจีบีที (IGBT)

2.4.1 ไดโอด (Diode)

เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งที่ง่ายที่สุด โดยจะนำกระแสไฟฟ้าเมื่อไดโอดถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward Biased) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเล็กน้อยระดับหนึ่งโวลต์หรือขึ้นอยู่กับสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำไดโอด และจะหยุดนำกระแสไฟฟ้าเมื่อไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับ (Reverse Biased) แต่จะมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลขนาดน้อยมากจนอาจถือว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวไดโอด จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าตกคอมมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ย้อนกลับ (Reverse Breakdown Voltage) ไดโอดก็จะเกิดความเสียหายได้ ดังรูปที่ 2.3

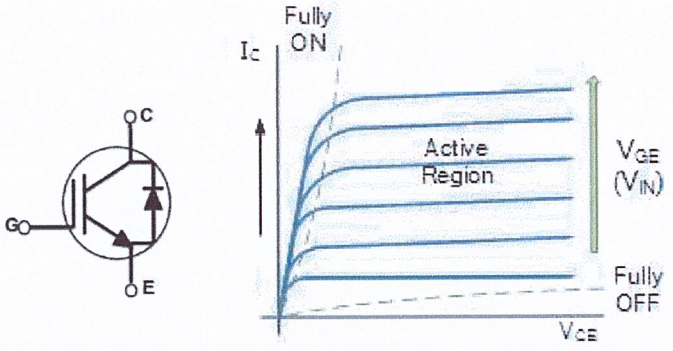


รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์และกราฟคุณลักษณะของไดโอด [7]

2.4.2 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)

เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งที่รวมข้อดีของมอสเฟตกำลัง ทรานซิสเตอร์กำลัง และจีทีโอไธริสเตอร์มารวมด้วยกัน กล่าวคือสามารถควบคุมให้นำกระแสไฟฟ้า และควบคุมให้หยุดนำกระแสไฟฟ้าโดยการควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตได้และมีความถี่ของการสวิตช์สูงเช่นเดียวกับมอสเฟตกำลัง มีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขณะนำกระแสไฟฟ้าต่ำคล้ายกับทรานซิสเตอร์กำลัง และถูกออกแบบมาให้ทนแรงดันไฟฟ้าด้านลบได้คล้ายกับจีทีโอไธริสเตอร์ ทำให้ไอจีบีทีสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งด้านบวกและลบอีกทั้งยังมีพิกัดกำลังที่มากกว่ามอสเฟต จึงอาจเรียกได้ว่าเป็นอุปกรณ์ประเภทไม่จำเป็นต้องมีสนับเบอร์ (Snubberless)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์และกราฟคุณลักษณะของไดโอด [8]

2.5 การมอดูเลตของอินเวอร์เตอร์

เทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse-width Modulation)

เทคนิคนี้จะใช้หลักการโดยนำแรงดันควบคุมรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐานที่ต้องการ มาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ที่ออกแบบไว้ ค่าแอมปลิจูดมอดูเลชั่นอินเด็กซ์จะหมายถึง ค่าอัตราส่วนของขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นซายน์อ้างอิงเทียบกับขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงได้ดังนี้

$$v_{control,a} = m_a \sin(\omega t) \text{ เมื่อ } 0 \le \omega t \le 2\pi \quad (2.1)$$

โดยที่

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \quad (2.2)$$

เมื่อ $\hat{V}_{control}$ คือ ค่าขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงและ

$\hat{V}_{tri}$ คือ ค่าขนาดของแอมปลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม

สำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสนั้น จะใช้สัญญาณสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง 3 สัญญาณ โดยแต่ละสัญญาณจะต่างเฟสกัน 120 องศา ซึ่งจะได้สัญญาณควบคุม 6 สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณขับเกตของอุปกรณ์สวิตช์ ค่าอัตราส่วนระหว่างความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณอ้างอิงจะนิยามไว้ด้วยค่า m_f โดยกำหนดให้

$$m_f = \frac{f_{tri}}{f_{control}} \quad (2.3)$$

เมื่อ $f_{control}$ คือ ค่าความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงและ

f_{tri} คือ ค่าความถี่ของรูปสัญญาณสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบเลือกค่า m_f สรุปได้ดังนี้

1. ในกรณีที่ออกแบบค่า m_f ($m_f \leq 21$) ต่ำ ๆ จะต้องเลือกค่า m_f เป็นเลขคี่เพื่อไม่ให้เกิดฮาร์มอนิกส์ลำดับคู่ขึ้น

2. กรณีค่า m_f ($m_f > 21$) สูง ผลของการเลือกใช้ซิงโครไนส์พีดับเบิลยูเอ็มจะมีน้อย จึงอาจใช้สวิตช์แบบไม่ซิงโครไนส์พีดับเบิลยูเอ็มได้

ในการพิจารณาสัญญาณเอาท์พุทแรงดันที่เกิดจากรูปคลื่นนี้สามารถพิจารณาได้ *2* ย่าน คือ

1. ย่านลิเนียร์มอดูเลชั่น *($m_a \leq 1$)* เป็นย่านที่แรงดันเอาท์พุทแปรผันตามเชิงเส้นกับค่าแอมปลิจูดมอดูแลชั่นอินเด็กซ์ โดยค่าแรงดันไลน์-ทู-ไลน์ เอาท์พุทมีค่าประมาณดังสมการต่อไปนี้

$$V_{LL,rms} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} m_a V_d \tag{2.4}$$

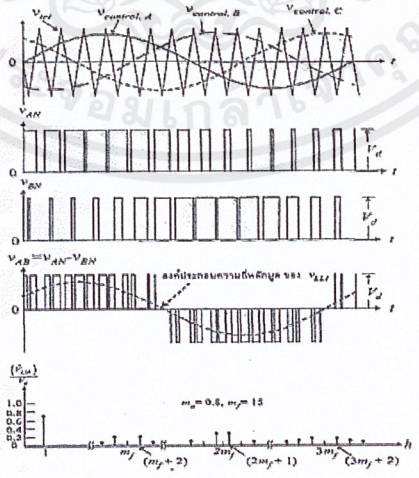
เมื่อค่า V_d เป็นค่าระดับแรงดันดีซีลิงค์

จากสมการที่ (2.4) สามารถเขียนเป็นค่าประมาณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{LL,rms} \approx 0.612 m_a V_d \tag{2.5}$$

ย่านโอเวอร์มอดูเลชั่น ($m_a > 1$) เป็นย่านที่แรงดันเอาท์พุทไม่แปรผันตรงแบบเชิงเส้นกับค่าแอมปลิจูดมอดูเลชั่นอินเด็กซ์ซึ่ง โดยมากมักไม่มีการนำย่านนี้ไปใช้งาน

ข้อดีของการสวิตช์แบบนี้คือ สามารถลดขนาดของฮาร์มอนิกส์ลำดับต่ำได้ ทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นลดน้อยลง แต่มีข้อเสียคือ ให้ค่าองค์ประกอบแรงดันเอาท์พุทของความถี่มูลฐานน้อยลง ตัวอย่างของลักษณะการสวิตช์แบบซายน์พีดับเบิลยูเอ็มแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5

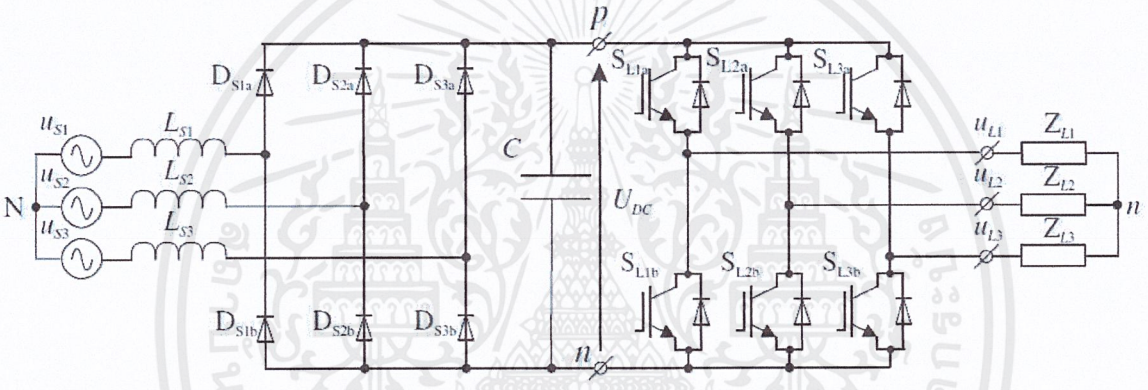


รูปที่ 2.5 รูปคลื่นและฮาร์มอนิกส์สเปคตราของอินเวอร์เตอร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

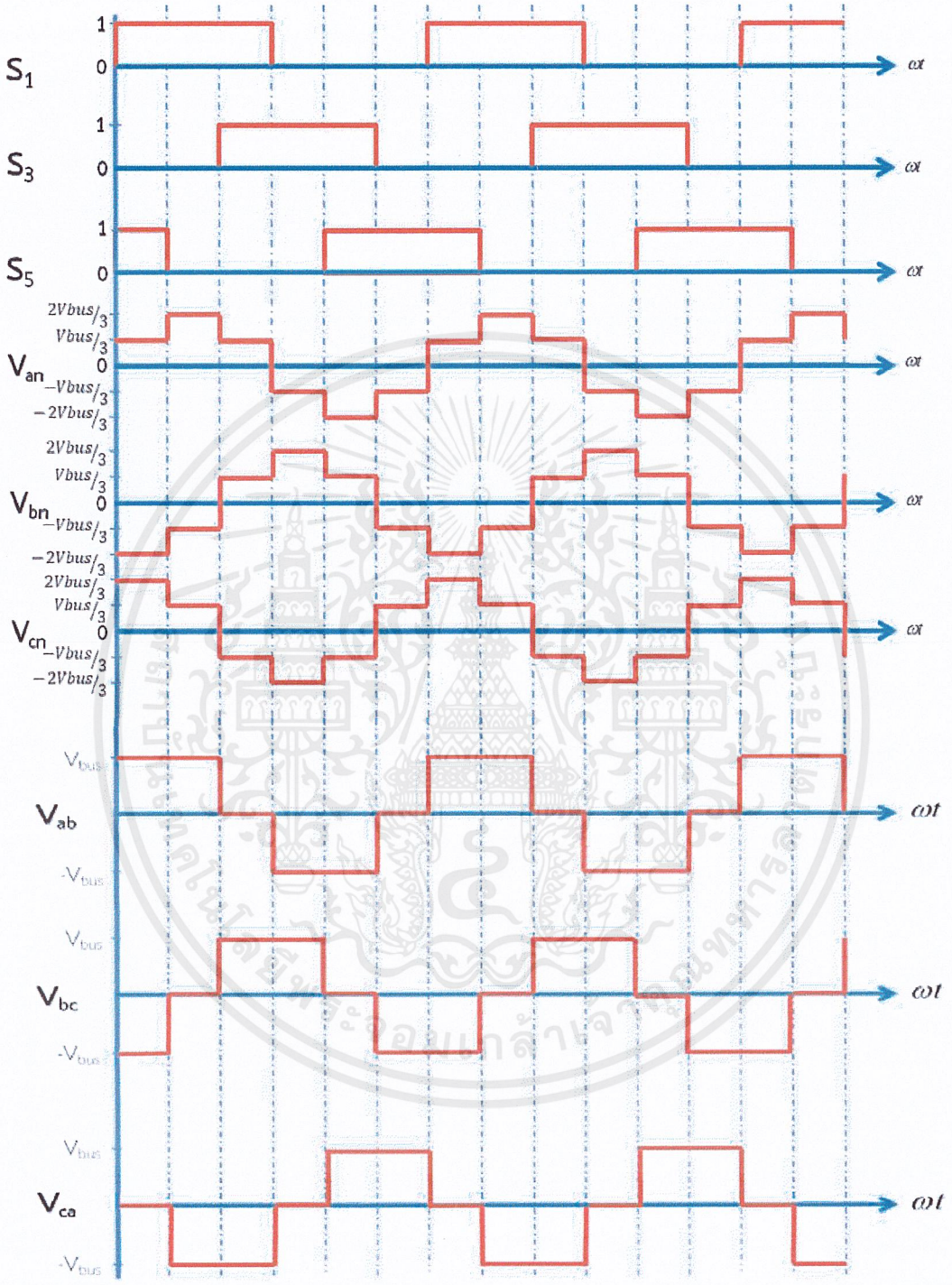
อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC to AC Converter) ทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับตามขนาดและความถี่ที่ต้องการ หากต้องการปรับแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์สามารถทำได้โดยการรักษาระดับอัตราการขยาย (Gain) ของอินเวอร์เตอร์ให้คงที่ด้วยการคงค่าความถี่ แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าอินพุต (Voltage Input: Vin) หรือคงค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตแล้วเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของอินเวอร์เตอร์โดยการปรับค่าความถี่ก็สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตได้เช่นกัน อัตราการขยายของอินเวอร์เตอร์สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเอาท์พุตต่อค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต หรือสามารถปรับที่ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index: Ma)



รูปที่ 2.6 วงจรบริดเรียงกระแสสามเฟส (Two-level indirect frequency converter with voltage source inverter and diode bridge Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

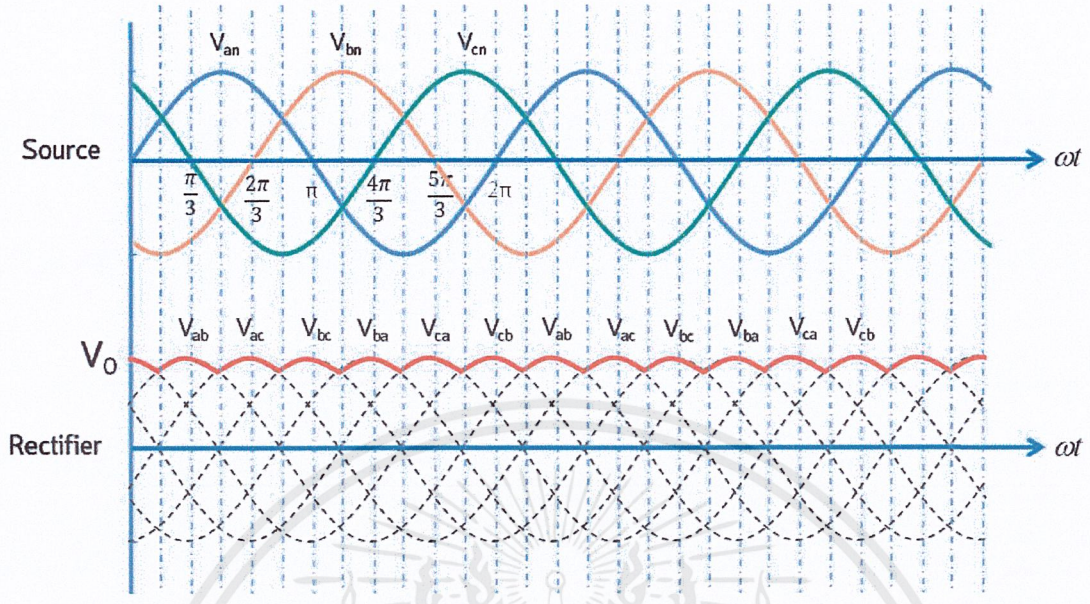
โหมดอินเวอร์เตอร์ (Inverter mode)



รูปที่ 2.7 แรงดันเอาท์พุทจากโหมดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

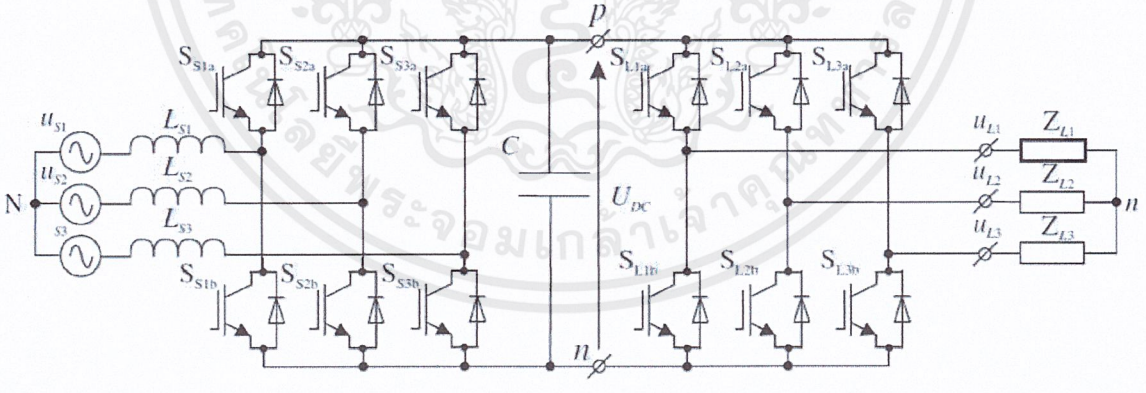
โหมดเร็คติไฟล์เออร์ (Rectifier mode)



รูปที่ 2.8 แรงดันเอาท์พุทจากโหมดเร็คติไฟล์เออร์

2.7 คอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกัน (Back-to-Back Converter)

วงจรกำลังคอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกัน เป็นวงจรที่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง นั่นคือสามารถทำงานได้ทั้งหมดทั้งจ่ายพลังงานสู่โหลด และโหมดจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย (Inverter Mode)



รูปที่ 2.9 วงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อกันแบบหันหลังชนกัน (Back-to-Back Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control)

การควบคุมแบบเวกเตอร์เป็นการควบคุมที่เสนอมุมมองใหม่ของปริมาณไฟฟ้า 1 เฟส ไปเป็นเวกเตอร์ในระบบ 2 แกน ซึ่งมีพฤติกรรมทำนองเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก คือมีปริมาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสนาม (Field Winding) เพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กและมีปริมาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ใช้ในการสร้างแรงบิด ซึ่งรูปแบบควบคุมการทำงานจะต้องมีการแปลงแกนจาก 3 แกน (a,b,c) ไปเป็นเวกเตอร์แบบ 2 แกน (d,q) โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ ในการแปลงแกนที่เวกเตอร์กระแสในแกน d จะมีทิศทางขนานกับสนามแม่เหล็ก ในขณะที่เวกเตอร์กระแสในแกน q จะมีทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กตลอดเวลา หัวใจของการควบคุมคือการควบคุมสนามแม่เหล็กให้คงที่ในระดับพอเหมาะเพื่อไม่เกิดปัญหาเรื่องการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็ก รวมทั้งสามารถลดปริมาณสนามแม่เหล็กเพื่อเร่งความเร็วรอบให้เกินค่าความเร็วพิกัดได้ ในขณะเดียวกันก็สามารถควบคุมค่าแรงบิดได้โดยตรงและเป็นอิสระจากการควบคุมสนามแม่เหล็กอีกด้วย ซึ่งการทำงานจะรับค่าคำสั่งสนามแม่เหล็กและคำสั่งแรงบิดซึ่งผ่านมาทางปริมาณกระแสคำสั่ง I_d^* และ I_q^* แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อทำการควบคุมสนามแม่เหล็กและแรงบิดดังกล่าว โดยการทำงานจะต้องอาศัยการตรวจจับของกระแสจำนวน 3 เฟส ที่มีการแปลงให้อยู่ในรูป d,q และค่าความเร็วมาทำการคำนวณ สมการที่ใช้ในการคำนวณนี้จะขึ้นอยู่กับว่าจะอ้างกับสนามโรเตอร์ สนามสเตเตอร์หรือสนามในช่องว่างอากาศ

การควบคุมแบบไร้ตัวตรวจจับความเร็ว (Sensorless Vector Control)

การควบคุมแบบนี้จะมีการทำงานที่คล้ายกับการควบคุมแบบเวกเตอร์แต่จะไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับค่าความเร็วรอบ โดยการทำงานจะอาศัยการตรวจจับของกระแสและแรงดันแทน ซึ่งค่าที่วัดได้นี้จะถูกนำไปคำนวณเป็นค่าความเร็วที่โรเตอร์แทน ค่าของความเร็วและค่าฟลักซ์ที่โรเตอร์จะได้จากการประมาณ โดยอาศัยโมเดลพื้นฐานของมอเตอร์ ค่าความถูกต้องจากการวัดจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการคำนวณ เนื่องจากหากสามารถหาตำแหน่งของเวกเตอร์ได้แม่นยำเพียงใดก็สามารถควบคุมเวกเตอร์ได้ถูกต้องเท่านั้น แต่ถ้าหากค่าความเร็วรอบในตัวจำลองผิดพลาดก็จะส่งผลให้ค่ากระแสและแรงดันที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง เมื่อนำค่าความผิดพลาดเหล่านี้มาใช้ในการปรับปรุงค่าความเร็วก็จะสามารถทำให้มีค่าความเร็วที่ถูกต้องได้ ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะใช้ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์นี้กับงานที่ต้องการความแม่นยำและความเร็วในการตอบสนองสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ทฤษฎีการแปลงแกนแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

สามารถเขียนสมการการแปลงแกนจากระบบ 3 เฟส ให้อยู่ในรูป 2 เฟสในรูปเมตริกซ์ แรงดันชั่วขณะสามเฟสสามารถแปลงเป็นแกน $\alpha\beta0$ บนแกน $\alpha\beta0$ ได้ดังสมการ (2.6) ซึ่งแสดงการแปลงแกนแรงดันผกผันแบบคลาร์ก (Inverse Clark Transformation) และสมการ (2.7) แสดงการแปลงแกนแรงดันแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \tag{2.7}$$

เช่นเดียวกันกับค่ากระแสไลน์ชั่วขณะสามเฟสสามารถแปลงเป็นแกน $\alpha\beta0$ บนแกน abc ได้ดังสมการ (2.8) ซึ่งแสดงการแปลงแกนกระแสผกผันแบบคลาร์ก (Inverse Clark Transformation) และสมการ (2.9) แสดงการแปลงแกนกระแสแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{2.8}$$

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \tag{2.9}$$

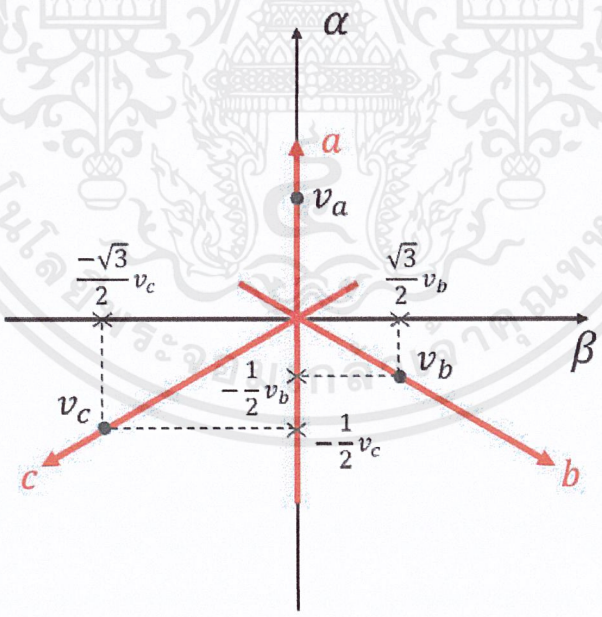
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการแปลงแกน αβ0 คือสามารถแยกส่วนขององค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero-sequence components) ออกจากองค์ประกอบสามเฟส abc ได้จึงสามารถตัดส่วนของ i_0 และ V_0 ออกได้ในกรณีที่สามเฟสสมดุลจึงลดจากสามแกนเหลือสองแกนดังสมการ (2.10) แสดงการแปลงแกนแรงดันผกผันแบบคลาร์ก (Inverse Clark Transformation) และสมการ (2.11) การแปลงแกนแรงดันแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

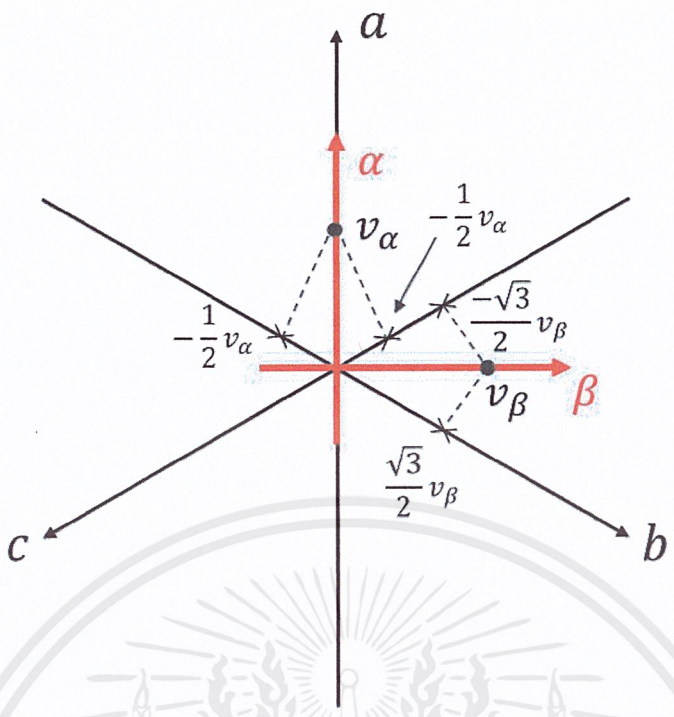
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

จากสมการ (2.10) และ (2.11) สามารถแสดงเป็นรูปแบบเวกเตอร์ได้ดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.12 โดยเราสามารถแยกแกนสามเฟส a, b, c ให้อยู่ในแกน αβ ซึ่งแกน α จะทำมุมฉากกับ β โดยแกน α จะขนานกับแกน a ส่วนแกน β จะขึ้นกับลำดับการหมุนของแกน abc



รูปที่ 2.10 การแปลงแกน abc ไปยังแกน αβ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การแปลงแกน αβ ไปยังแกน abc

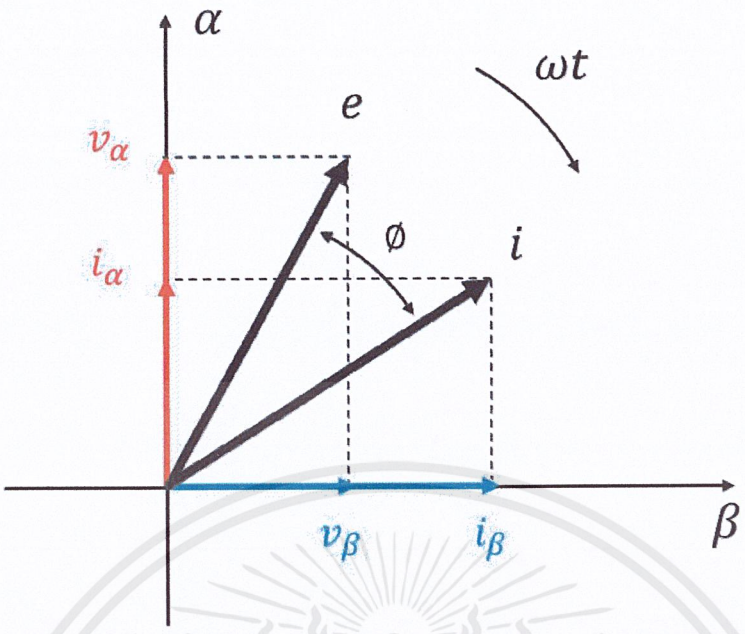
การคำนวณแรงดันและกระแสในรูปแบบเวกเตอร์ เมื่อไม่พิจารณา v_0 แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและกระแสไลน์ชั่วขณะสามารถเขียนในฟังก์ชั่นเวลา โดยมุม ϕ_v และ ϕ_i คือมุมเฟสของแรงดันและกระแส ได้ดังสมการเวกเตอร์แรงดัน (2.12) และสมการเวกเตอร์กระแส (2.13)

$$e=v_\alpha+jv_\beta \longrightarrow \begin{cases} e=\sqrt{3}V\left[\cos(\omega t+\phi_v)+j\sin(\omega t+\phi_v)\right] \\ e=\sqrt{3}Ve^{j(\omega t+\phi_v)} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$i=i_\alpha+ji_\beta \longrightarrow \begin{cases} i=\sqrt{3}I\left[\cos(\omega t+\phi_i)+j\sin(\omega t+\phi_i)\right] \\ i=\sqrt{3}Ie^{j(\omega t+\phi_i)} \end{cases} \quad (2.13)$$

ในกรณีที่สามเฟสสมดุล สามารถแสดงเวกเตอร์แรงดันและกระแสที่ขนาดเท่ากันและหมุนไปในทิศทางเดียวกันหรือหมุนจาก α ไป β ที่ความเร็วเชิงมุม ω ได้ดังรูปที่ (2.12) โดยแกน a จะเทียบเท่าแกน α นั่นคือแกนจริงในระบบเชิงซ้อน แกน b จะเทียบเท่าแกน β นั่นคือแกนเชิงซ้อนโดยจะทำมุม 90° กับแกน α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แรงดันและกระแสในรูปแบบเวกเตอร์ในระบบ αβ

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะของทฤษฎี p - q

ทฤษฎี p - q เป็นทฤษฎีที่นำเสนอระบบสามเฟสชั่วขณะ (ไม่มีนิวทรอล) โดยให้

p_0 คือ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะลำดับศูนย์

p คือ กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ

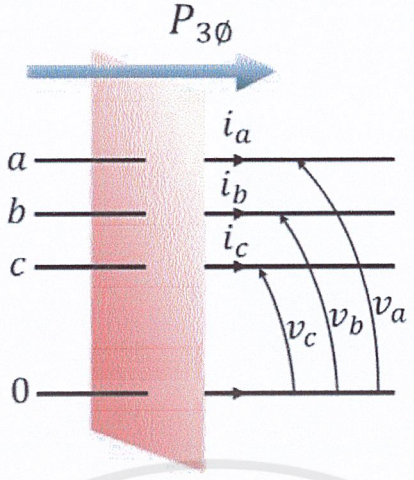
q คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนชั่วขณะ

ซึ่งแสดงในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสชั่วขณะในแกน **αβ** ดังแสดงในสมการ (2.14)

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \qquad (2.14)$$

เมื่อ $i_0=0$ จะได้ว่ากำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ p คือพลังงานทั้งหมดที่โอนถ่ายต่อเวลาในเทอมของ **αβ** ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะสามเฟส

กำลังไฟฟ้าปรากฏในรูปของแกน **αβ** แสดงดังสมการ (2.15)

$$s=e^{\bullet}i^{*}=\left(v_{\alpha}+jv_{\beta}\right)\left(i_{\alpha}-ji_{\beta}\right)=\underbrace{\left(v_{\alpha}i_{\alpha}+v_{\beta}i_{\beta}\right)}_{p}+j\underbrace{\left(v_{\beta}i_{\alpha}-v_{\alpha}i_{\beta}\right)}_{q} \tag{2.15}$$

โดยสามารถแตกองค์ประกอบของกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะในแกน **αβ** ได้ดังสมการ (2.16)

$$\begin{aligned} p &= v_{\alpha}i_{\alpha p}+v_{\beta}i_{\beta p}+v_{\alpha}i_{\alpha q}+v_{\beta}i_{\beta q} \\ &= \frac{v_{\alpha}^{2}}{v_{\alpha}^{2}+v_{\beta}^{2}}p+\frac{v_{\beta}^{2}}{v_{\alpha}^{2}+v_{\beta}^{2}}p+\frac{v_{\alpha}v_{\beta}}{v_{\alpha}^{2}+v_{\beta}^{2}}q+\frac{-v_{\alpha}v_{\beta}}{v_{\alpha}^{2}+v_{\beta}^{2}}q \end{aligned} \tag{2.16}$$

ซึ่งเราจะควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนชั่วขณะได้โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในแนวแกน **αβ** ด้วยสมการ (2.16) เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

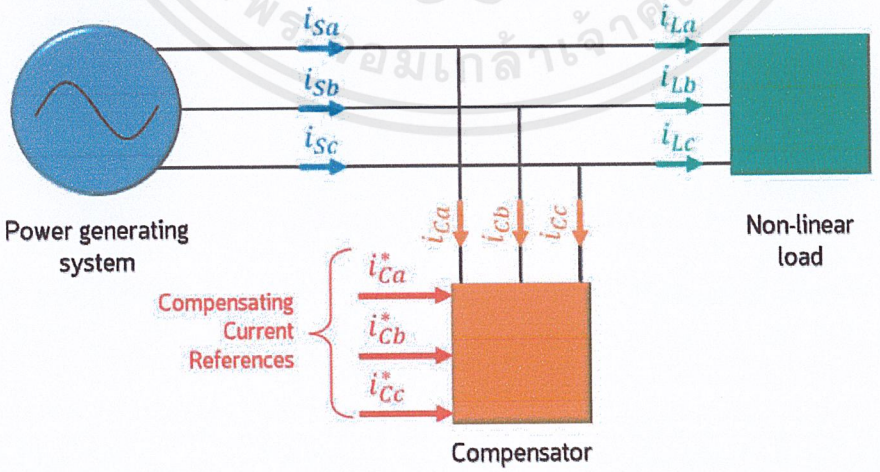
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแอกทีฟฟิวเตอร์แบบขนาดและอนุกรม

	Shunt Active Filter	Series Active Filter
Power circuit	Voltage-source PWM converter with current minor loop	Voltage-source PWM converter without current minor loop
Operation	Current source: i_c	Voltage source: v_c
Suitable nonlinear load	Diode / Thyristor rectifier with inductive load	Diode rectifier with capacitive load
Additional function	Reactive-power compensation	ac voltage regulation

โครงงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานเพราะเราควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

ทฤษฎี p - q ในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน

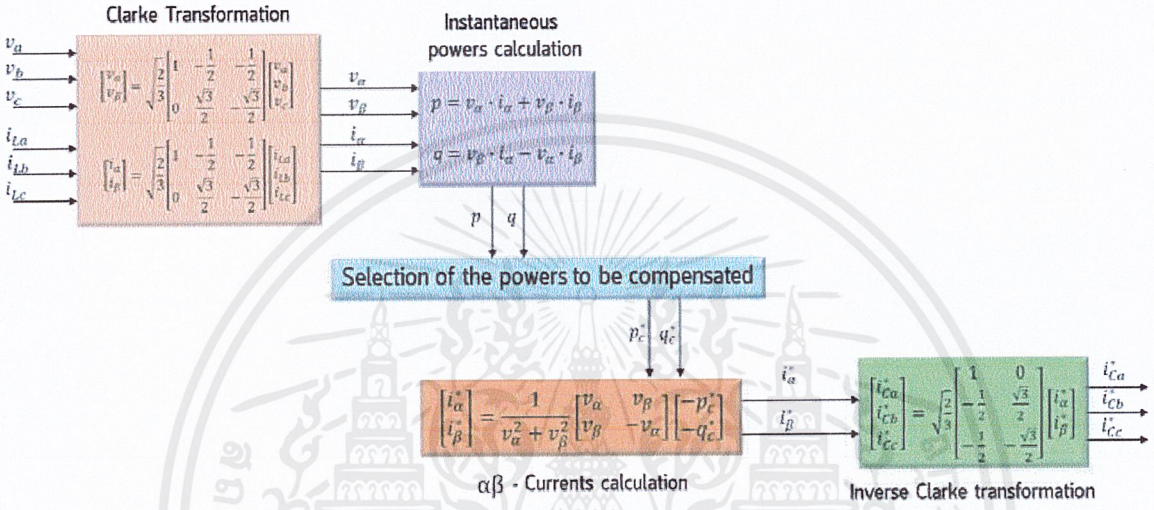
แนวคิดพื้นฐานของการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน แสดงดังรูป 2.14 เมื่อระบบไฟฟ้าจากกริด (Power generating system) ส่งกำลังไฟฟ้ามายังโหลดไม่คงที่ (Non-linear load) ที่เราต้องการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน ซึ่งการชดเชยแบบขนานเป็นวงจรแอกทีฟฟิวเตอร์ (Active filter) ซึ่งการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานจะสามารถใช้ได้กับการควบคุมแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งจะทำการเลือกกระแสที่ต้องการชดเชยได้แก่ i^*_{Ca}, i^*_{Cb}, i^*_{Cc}



รูปที่ 2.14 หลักการพื้นฐานในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการพื้นฐานในการควบคุมการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน เริ่มจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง p ของโหลดซึ่งสามารถแตกองค์ประกอบเป็นค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจริง ($\bar{p}$) และค่ากวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริง ($\tilde{p}$) และจะทำการคำนวณเพื่อเลือกกำลังไฟฟ้าที่ถูกชดเชยนั้นคือ p_c^* และ q_c^* หลังจากนั้นก็ทำการแปลงแกนของกระแส $\alpha\beta 0$ เป็นแกน abc ซึ่งจะได้เป็นกระแสชั่วขณะที่ใช้ชดเชย i_{Ca}^*, i_{Cb}^*, i_{Cc}^* โดยหลักการของการชดเชยกระแสไฟฟ้าคือการนำค่ากระแสที่ถูกชดเชยลบออกจากกระแสของโหลด



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมควบคุมการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานด้วยแกน p - q

ไดอะแกรมควบคุมจะนำไปคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (instantaneous power) โดยจะวัดค่าแรงดันในแต่ละเฟสที่จุด PCC (Point of Common Coupling) และวัดค่ากระแสไลน์ที่จ่ายไปยังโหลดซึ่งจะเป็นส่วนที่นำมาคำนวณกระแสชดเชย ตัวควบคุมแอกทีฟฟิวเตอร์ (active filter controller) จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักดังรูปที่ 2.16

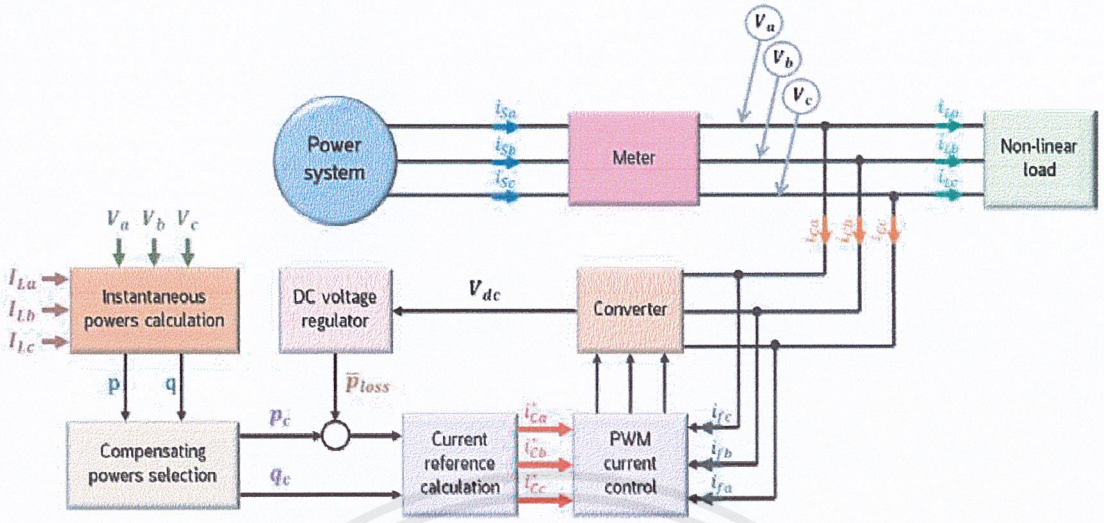
1. กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (instantaneous power) เพื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะของโหลดไม่คงที่ โดยใช้ทฤษฎี p-q โดยคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

2. การเลือกกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการชดเชย (Power-compensating selection) เพื่อเลือกส่วนของกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาชดเชย คือกำลังไฟฟ้าเสมือน (q) และกำลังไฟฟ้าจริงกวัดแกว่ง ($\tilde{p}$)

3. การรักษาระดับแรงดัน (DC-voltage regulator) ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำค่ากำลังสูญเสียจากตัวเก็บประจุกระแสตรงมาใช้ในการชดเชยด้วย

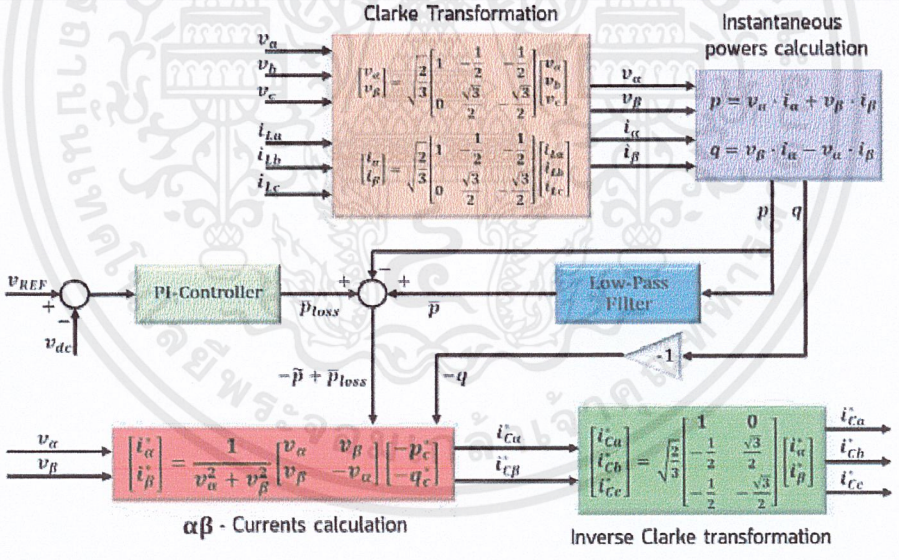
4. การคำนวณค่ากระแสอ้างอิง (current reference calculation) เพื่อระบุกำลังไฟฟ้าที่ต้องการชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 Three-wire shunt active filter for current compensation

วงจรควบคุมโดยสมบูรณ์ของการชดเชยกำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟส แอกทีฟฟิวเตอร์แบบขนาน โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าจริงกวัดแกว่งของโหลด กับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะเป็นดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรควบคุมสำหรับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย 3 เฟส

การทำงานของวงจรสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็น 2 โหมดคือโหมดเร็คติไฟเออร์และโหมดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการทำงานในโหมดเร็คติไฟเออร์ นั้นจะพิจารณาที่กระแส i_s มีเฟสตรงกันกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ v_s และมีการทำงานอยู่ 4 โหมด ส่วนโหมดอินเวอร์เตอร์ นั้นจะพิจารณาที่กระแส i_s มีมุมต่างเฟสกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ v_s เป็นมุม 180 องศาทางไฟฟ้า และมีการทำงานอยู่ 4 โหมดเช่นเดียวกัน โดยจะพิจารณาเฉพาะเฟส a ซึ่งสองเฟสที่เหลือจะทำงานลักษณะเดียวกัน

โดยแรงดันในแต่ละเฟส กรณีที่แหล่งจ่ายไม่ได้ต่อ neutral เป็นกรณีที่มีการส่งถ่ายพลังงานเกิดขึ้นมาก แรงดันในแต่ละเฟสจะไม่เป็น 0.5 V_B จะได้ว่าในกรณีที่ไม่ได้ต่อ neutral แรงดันของเฟสจะเป็นดังสมการที่ (2.17) โดยจะมีโหมดของการสวิตช์และแรงดันของเฟส a ดังตารางที่ 2.2

$$V_{an} = \frac{2}{3}V_{a0} - \frac{1}{3}(V_{b0}+V_{c0})$$

$$V_{bn} = \frac{2}{3}V_{b0} - \frac{1}{3}(V_{a0}+V_{c0})$$

$$V_{cn} = \frac{2}{3}V_{c0} - \frac{1}{3}(V_{a0}+V_{b0}) \qquad (2.17)$$

ตารางที่ 2.2 โหมดของสวิตช์และแรงดันของเฟส a

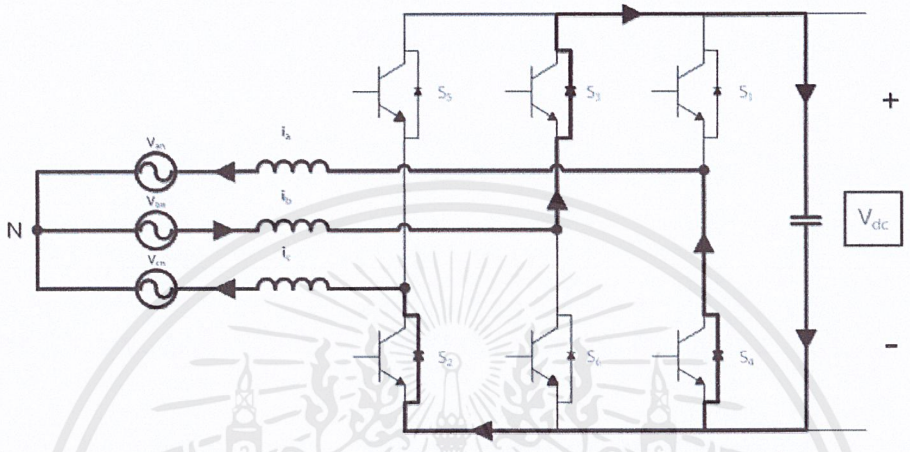
โหมด	สวิตช์ที่ ON			แรงดันของเฟส a
1	Q_1	Q_6	Q_5	$+1/3V_B$
2	Q_1	Q_3	Q_2	$+1/3V_B$
3	Q_1	Q_3	Q_5	0
4	Q_1	Q_6	Q_2	$+2/3V_B$
5	Q_4	Q_6	Q_2	0
6	Q_4	Q_3	Q_5	$-2/3V_B$
7	Q_4	Q_3	Q_2	$-1/3V_B$
8	Q_4	Q_6	Q_5	$-1/3V_B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ เมื่อ Q_4 ON จะทำหน้าที่ชาร์จประจุและเมื่อ Q_1 ON จะทำหน้าที่คายประจุ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการทำงานของวงจรสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็น 2 โหมดคือ โหมดเร็คติไฟเออร์ และโหมดอินเวอร์เตอร์

2.10.1 การทำงานในโหมดเร็คติไฟเออร์ (Rectifier mode)

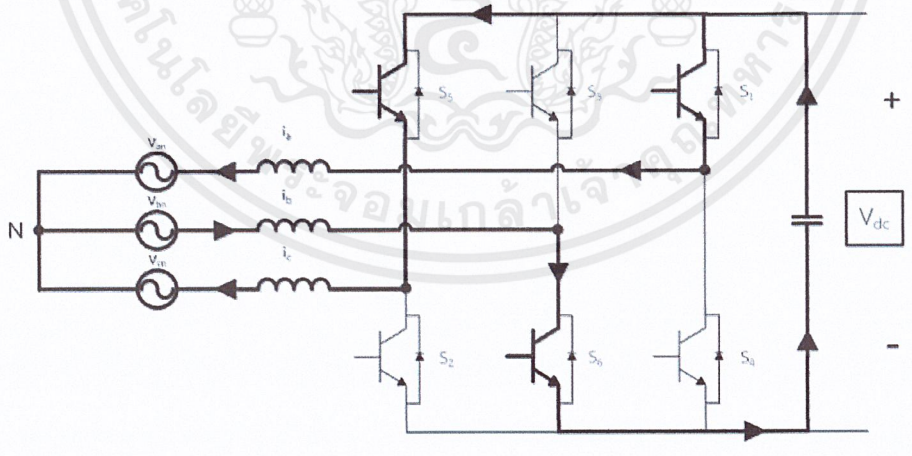
โหมดที่ 1



รูปที่ 2.18 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 1

โดยในโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นเร็คติไฟเออร์โหมด ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่านไดโอด D_4, D_3, D_2 เพื่อที่จะนำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลง

โหมดที่ 2

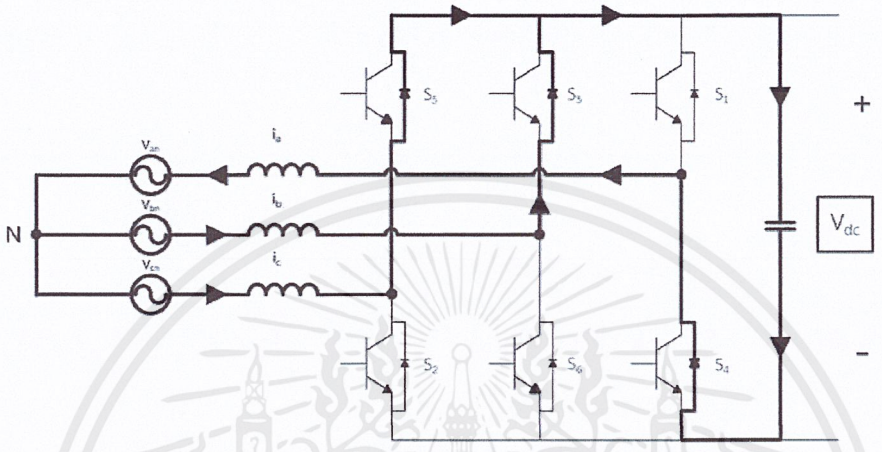


รูปที่ 2.19 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นเร็คติไฟเออร์โหมด ในการทำงานนั้นสวิตช์ Q_1, Q_6, Q_5 จะ ON ในขณะนี้แรงดัน v_{conv} มีค่าเท่ากับ $+V_{dc}$ ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่าน Q_1, Q_6, Q_5 จ่ายออกมาทางแหล่งจ่าย v_s ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวคาปาซิเตอร์ลดลง และในขณะเดียวกันแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

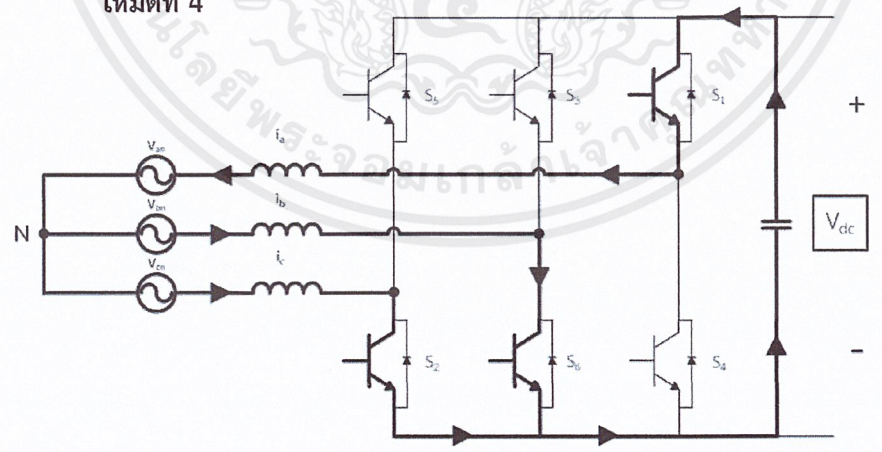
โหมดที่ 3



รูปที่ 2.20 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 3

โดยโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 180 ถึง 360 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นเร็คติไฟเออร์โหมดดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่านไดโอด D_4, D_3, D_5 เพื่อที่จะทำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์ และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวมีค่าลดลง

โหมดที่ 4



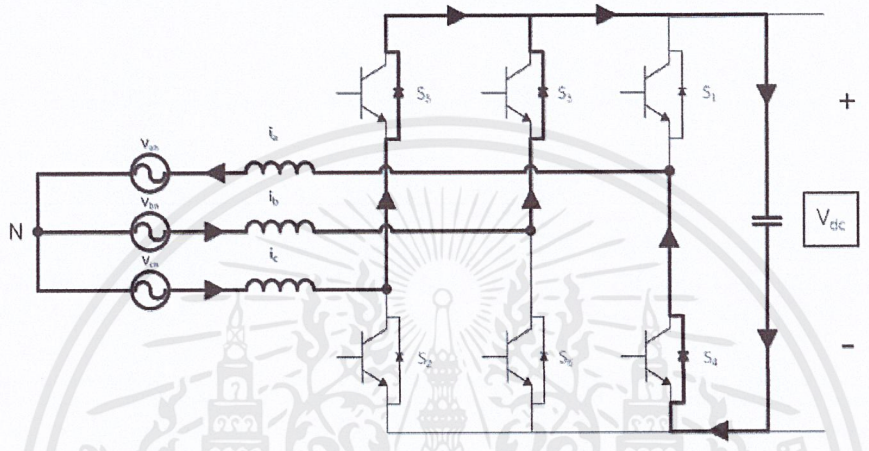
รูปที่ 2.21 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 180 ถึง 360 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นเร็คติไฟเออร์โหมด ในการทำงานนั้นสวิตช์ Q_1, Q_6, Q_2 จะ ON โดยในขณะนี้แรงดัน v_{conv} มีค่าเท่ากับ $+V_{dc}$ ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่าน Q_1, Q_6, Q_2 จ่ายออกมาทางแหล่งจ่าย v_s ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวคาปาซิเตอร์ลดลง และในขณะเดียวกันแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

2.10.2 การทำงานในโหมดอินเวอร์ทิ่ง (Inverting mode)

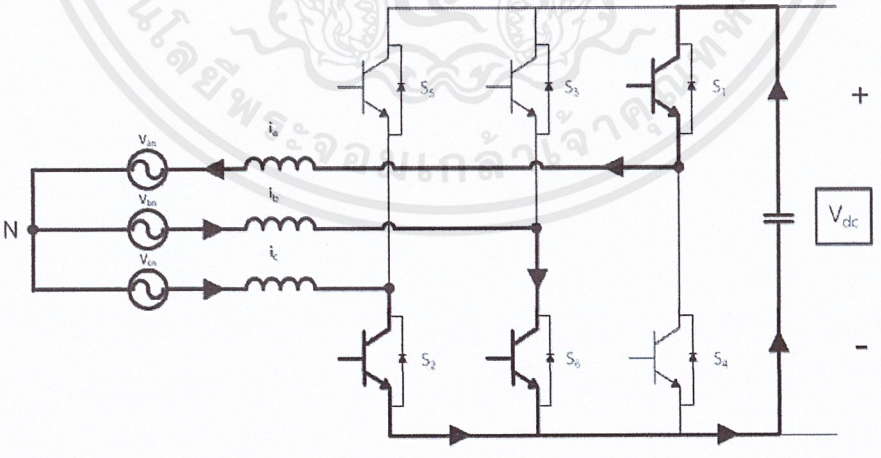
โหมดที่ 5



รูปที่ 2.22 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 5

โดยโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่านไดโอด D_4, D_3, D_5 เพื่อที่จะทำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์ และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวมีค่าลดลง

โหมดที่ 6

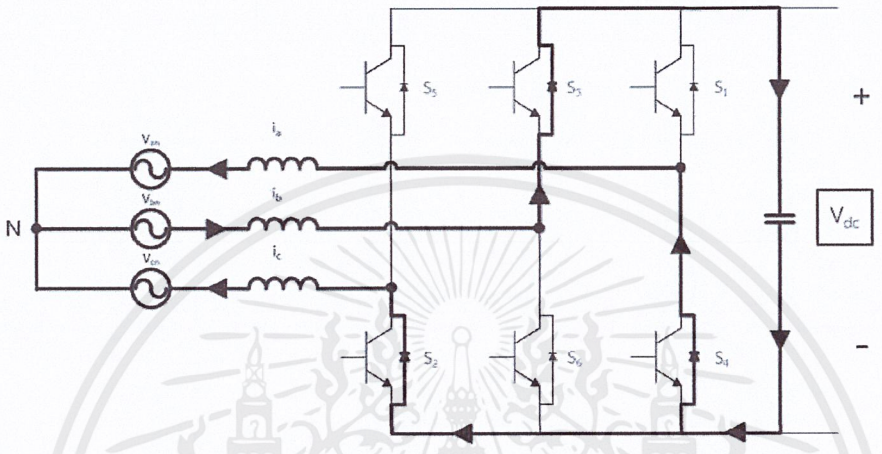


รูปที่ 2.23 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ในการทำงานนั้นสวิตช์ Q_1, Q_6, Q_2 จะ ON โดยในขณะนี้แรงดัน v_{conv} มีค่าเท่ากับ $-V_{dc}$ ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่าน Q_1, Q_6, Q_2 จ่ายออกมาทางแหล่งจ่าย v_s ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวคาปาซิเตอร์ลดลง และในขณะเดียวกันแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

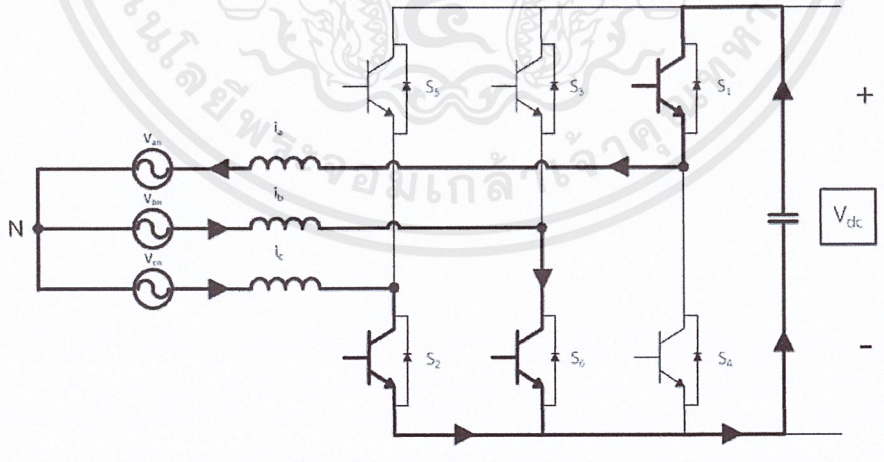
โหมดที่ 7



รูปที่ 2.24 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 7

โดยโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่านไดโอด D_4, D_3, D_2 เพื่อที่จะทำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์ และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวมีค่าลดลง

โหมดที่ 8



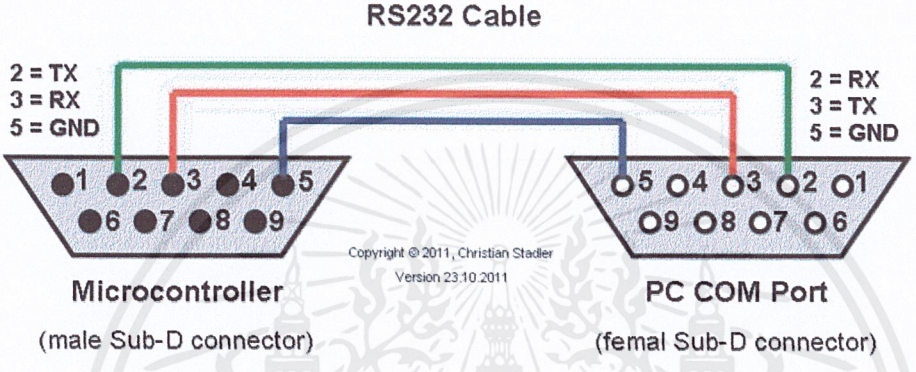
รูปที่ 2.25 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโหมดนี้จะทำงานอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ในการทำงานนั้นสวิตช์ Q_1, Q_6, Q_2 จะ ON โดยในขณะนี้แรงดัน v_{conv} มีค่าเท่ากับ $-V_{dc}$ ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่าน Q_1, Q_6, Q_2 จ่ายออกมาทางแหล่งจ่าย v_s ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวคาปาซิเตอร์ลดลง และในขณะเดียวกันแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

2.11 การสื่อสารอนุกรม RS-232

2.11.1 RS-232 คืออะไร



รูปที่ 2.26 ภาพจำลองของ RS-232

RS-232 ย่อมาจาก Recommended Standard-232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Port) ซึ่งกำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ สมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยใช้สายเชื่อมต่อ DB แบบ 25 และ 9 เข็ม ที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง มีการทำงานแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมด้วย เพื่อทำแฮนด์เชค (Hand Shake) หรือไม่ก็ได้

RS-232 มีจุดเริ่มต้นจากความต้องการที่จะกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มในสมัยนั้น ตัวมาตรฐานจะกำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อนี้ด้วยกันทั้งหมด 4 หัวข้อหลัก ๆ ด้วยกันคือ

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ
2. คุณสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อ ซึ่งหมายถึงตัวคอนเน็กเตอร์นั่นเอง
3. หน้าที่การทำงานของวงจรสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล
4. มาตรฐานการเชื่อมต่อสำหรับระบบสื่อสารเฉพาะอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 หลักการของ RS-232

มาตรฐาน RS-422 หรือ RS-422-A ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือ EIA เช่นเดียวกันกับมาตรฐาน RS-232 โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะแก้ปัญหาเรื่องความยาวของสายสื่อสารโดยใช้การส่งสัญญาณแบบผลต่าง (Differential) แทนที่จะใช้การส่งสัญญาณแบบอ้างอิงกับจุดกราวนด์ (หรือสายดิน) เช่นเดียวกันกับมาตรฐาน RS-232 การส่งสัญญาณแบบ Differential นี้ช่วยลดปัญหาสัญญาณรบกวนจาก 2 ปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ปัญหาแรงดันกราวนด์ 2 ฝั่งสายไม่เท่ากัน อันเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายกราวนด์ที่ยาวมาก ๆ ก่อให้เกิดความต่างศักย์และปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสาย โดยหากสายไฟที่ใช้ถูกตีเกลียวและวางไว้ใกล้กัน เมื่อมีแรงดันเหนี่ยวนำจะปรากฏแรงดันรบกวนบนสายทั้งสองเท่า ๆ กันเป็นผลให้ตัวรับที่อ่านความต่างศักย์ระหว่างสายอ่านข้อมูลได้เช่นเดิม ทั้งสองปัจจัยนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนของการสื่อสารแบบ RS-232 ด้อยกว่า RS-422 ตามมาตรฐาน RS-422 นี้จะใช้สายสัญญาณทั้งหมด4 เส้น (2 เส้นสำหรับการส่งสัญญาณ และอีก 2 เส้นสำหรับรับสัญญาณ) และสามารถใช้ความยาวสายสัญญาณได้ถึง 4,000 ฟุต (หรือ 1.2 กม.) ที่ความเร็ว 100,000 บิทต่อวินาที และการสื่อสารเป็นแบบ 2 ทางพร้อมกันมาตรฐาน RS-485 กำหนดโดยสมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์หรือ EIA เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อสัญญาณแบบอนุกรม (Serial Communication) มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบหลายจุด (Multi Point) หรือ Multi Drop สายสัญญาณที่ใช้มีทั้งแบบที่เป็น 2 สายและแบบที่เป็น 4 สาย การต่อแบบหลายจุดนี้ทำให้สามารถมองสายสัญญาณเป็นบัสสัญญาณได้ (Signal Bus) จำนวนคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่สามารถอยู่บน RS-485 บัสหนึ่งถูกกำหนดไว้ ที่ 32 ตัว ในกรณีที่ต้องการเพิ่มจะต้องมีตัวทวนสัญญาณ (Signal Repeater) หรือใช้ตัวส่ง-รับสัญญาณที่มีอิมพิแดนซ์ (ความต้านทานเสมือน) สูงขึ้นซึ่งเราอาจเพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อขึ้นได้ถึง 128 จุด ความยาวของสายสัญญาณตามมาตรฐานRS-485 นี้สามารถยาวได้ถึง 1.2 กม เช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422 แต่การสื่อสารจะเป็นแบบสองทางไม่พร้อมกัน (Half Duplex) มีเพียงคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ตัวเดียวเท่านั้นที่สามารถส่งสัญญาณออกได้ ณ เวลาหนึ่ง ๆ ส่วนที่เหลือจะเป็นผู้รับสัญญาณหรือผู้ฟัง

2.11.3 การใช้งาน RS-232

การตรวจสอบ Port ใน System ตรวจสอบใน Control Panel -> System ->Device Manager -> Hardware ว่ามี Port RS=232c ที่ Windows ของเรามองเห็นอยู่ ตรวจสอบมี Port ใน System แต่ Port อาจจะไม่อยากทำงานเราต้องตรวจสอบของจริง (อาจจะลงชื่อไว้แต่ไม่ยอมทำงาน) วิธีการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ RS-232c ส่งสัญญาณอยู่หรือไม่ ตรวจสอบได้ดังนี้

2.11.3.1 วิธีการใช้ Hyper Terminal ที่มากับ Windows ตรวจสอบ

Short ขา 2 และ 3 ของ DB9 ของ Port RS-232c Run Program Hyper Terminal โดยเข้าไปที่ Start -> Program -> Accessories -> Communications -> Hyper Terminal ตั้งชื่อไฟล์ -> เลือก Port ที่มีอยู่ใน Windows system และพิมพ์ข้อความบนจอภาพ ถ้า Port ยังทำงานได้ดีอยู่ข้อความที่ส่งออกทาง TX จะย้อนกลับมาทาง RX ข้อความที่พิมพ์จะแสดงบนจอภาพ แต่หาก Port TX หรือ RX เสีย จะไม่ปรากฏข้อความที่พิมพ์บนจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3.2 วิธีการใช้โปรแกรม Expert Comport Test

เมื่อดาวน์โหลดโปรแกรม Expert Comport Test ไปแล้วให้ทำการแตกไฟล์ออก และทำการ Run Program โปรแกรมจะ Scan Port RS-232c ที่มีอยู่ในเครื่อง จากนั้นเลือก Port ที่ต้องการตรวจสอบ กด Send Test เพื่อทดสอบส่งข้อความ Expert Technology Group ข้อความจะแสดงในช่องข้อมูลที่รับได้ โปรแกรมนี้ยังสามารถตัดข้อมูลบางส่วนจาก String ที่รับได้มาแสดงผล สามารถตรวจสอบรหัส ASCII ของข้อมูลใน String ที่เราอ่านได้

2.11.3.3 วิธีใช้ LED ต่อกับความต้านทาน R 1 k โอมห์

หลอด LED จะกระพริบเมื่อมีสัญญาณ (ข้อมูล) ถ้าตั้งค่าไว้ที่ความเร็วต่ำ (Baud Rate) หลอด LED ก็จะกระพริบช้าแต่ถ้าหลอด LED ไม่กระพริบเลย (ติดค้าง) แสดงว่า Port RS-232c ใช้การไม่ได้

2.11.4 สาเหตุที่ทำให้ RS-232 เสียได้

ไฟกระชากที่เกิดจากฟ้าผ่า Surge หรือ Spike มาตามสายไฟ 220 Vac หรือเข้าทางสายโทรศัพท์เข้าทาง Modem เพื่อหาทางลงกราวด์ ขนาดของ Surge มีแรงดันไฟฟ้าสูงมากบางครั้งอาจทำให้ Power Supply และ Mainboard ของคอมพิวเตอร์เสียหาย ความต่างศักย์ของกราวด์ของระบบระหว่างอุปกรณ์ RS-232 ทั้งสองทางเกิดการไหลของไฟฟ้าผ่าน IC ของ RS-232c เพื่อลงกราวด์

2.11.5 วิธีการป้องกันไม่ให้ RS-232 เสียได้ง่าย

ระบบไฟฟ้าต้องเดินสายกราวด์ฝัง Ground Rod (แท่งทองแดง) ลงดิน ปลั๊กไฟต้องมี 3 ขา ก่อนเชื่อมโยงระบบควรตรวจสอบระบบกราวด์ อุปกรณ์ทุกตัวต้องมีสายกราวด์จริง ๆ และห้ามหักขากราวด์ ให้ใช้มิเตอร์วัดแรงดันของไฟฟ้าระหว่างกราวด์ของอุปกรณ์ทั้งสองใช้สายไฟเชื่อมตัวถังของอุปกรณ์ (ที่เป็นโลหะ) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อไม่ให้เกิดความต่างศักย์ของกราวด์ เมื่อฝนตกฟ้าคะนองควรดึงสายโทรศัพท์ออกจาก Modem และดึงปลั๊กไฟออกระบบไฟฟ้า ใช้อุปกรณ์ Surge Protection

อุปกรณ์เหล่านี้จะมี Arrestor และ MOV เพื่อ By-pass Surge ลงกราวด์ (ระบบทั้งหมดต้องต่อลงกราวด์ให้เรียบร้อยก่อน)

2.11.6 ข้อดีและข้อเสียของ RS-232

- พอร์ตขนานเขียนโปรแกรมรับส่งง่าย และส่งข้อมูลได้อัตราความเร็วสูง

- พอร์ตอนุกรมมีจำนวนเส้นสัญญาณน้อยกว่า ทำให้ประหยัดค่าสายต่าง ๆ มากกว่า แต่ข้อมูลหนึ่งชุดจะต้องเสียเวลาส่งนานขึ้น (เพราะต้องเรียงบิตส่งกันไป)

ปัจจุบันข้อเด่นข้อด้อยดังกล่าวไม่ได้ เห็นชัด ทั้งนี้เพราะพอร์ตอนุกรมความเร็วสูงมีแล้ว (USB) ในขณะที่พอร์ตอนุกรมเก่า ๆ เองยังต้องมีสายควบคุมมากมาย (acknowledge bus มาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 โปรแกรม DriveStudio

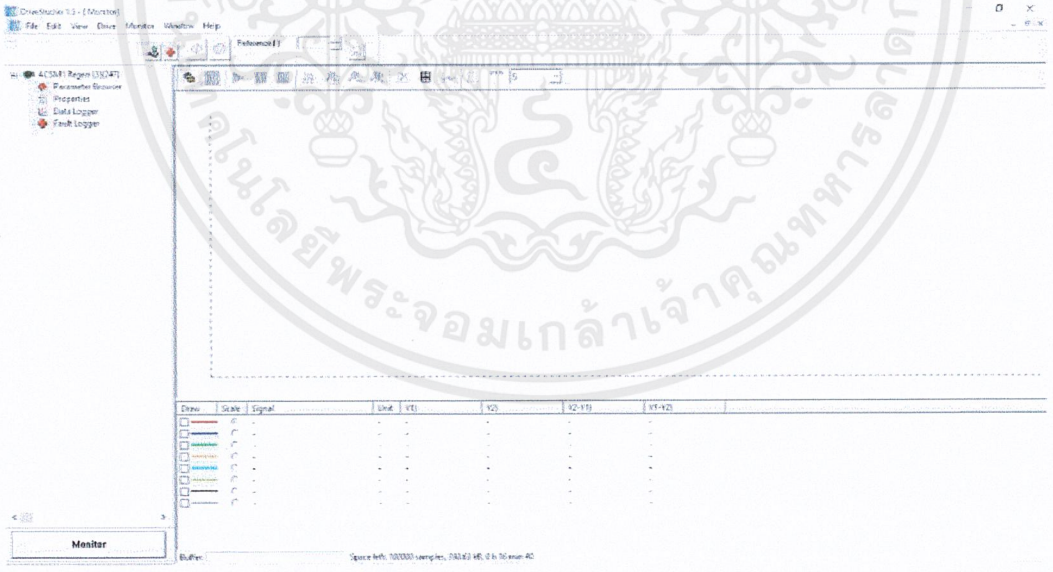
2.12.1 DriveStudio คืออะไร

DriveStudio คือ โปรแกรมที่ออกแบบมาใช้กับ แอคทีฟฟร้อนต์เอ็นด์ (AFE) โดยสามารถควบคุมการทำงานของ Drive ได้ทั้งการเริ่มเดินเครื่อง (Startup), การแสดงค่า (Monitoring) หรือการจูนนิ่ง (Tuning) ทั้งยังช่วยให้การกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยโปรแกรม DriveStudio ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้งานกับ Drive ประสิทธิภาพสูงของ ABB รุ่น ACSM1 และ Drive ในอุตสาหกรรมของ ABB รุ่น ACS850 และรุ่น ACQ810

รูปที่ 2.27 ไอคอนโปรแกรม DriveStudio

2.12.2 การเชื่อมต่อ Drive กับโปรแกรม DriveStudio

จะเชื่อมต่อด้วยสายสัญญาณ RS-232 โดยเชื่อมต่อฝั่ง Drive ด้วยพอร์ท LAN และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ท USB เมื่อเชื่อมต่อเสร็จแล้วจะสามารถควบคุมการทำงานของ Drive ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยสามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ขึ้นมาบนจอภาพได้แบบเรียลไทม์ ดังรูปที่ 2.28

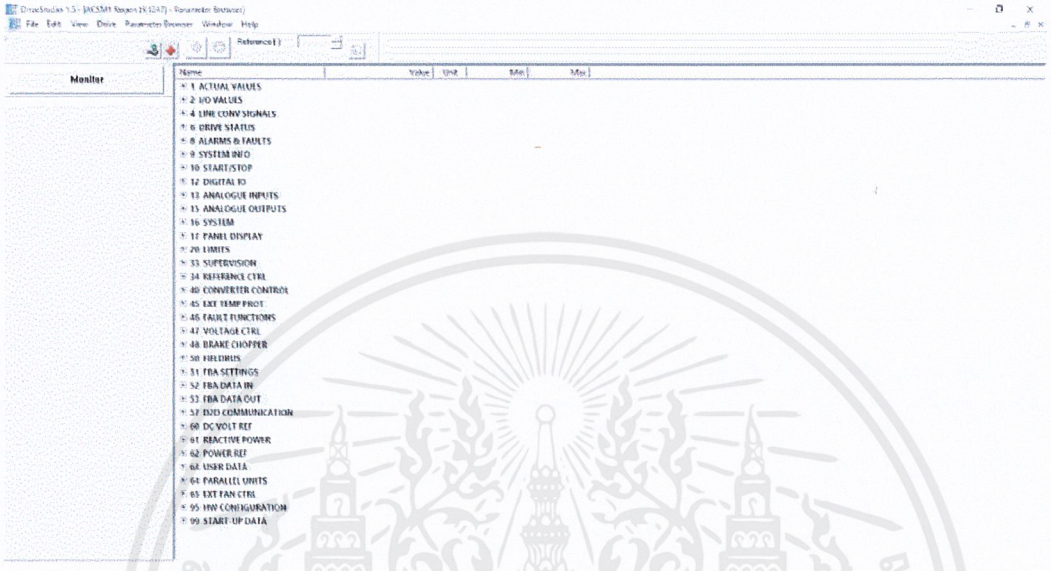


รูปที่ 2.28 หน้าจอโปรแกรมเมื่อต่อกับ RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม DriveStudio เบื้องต้น

DriveStudio เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย โดยมีการเปิดให้ดาวน์โหลดตัวโปรแกรมได้ที่ http://drivestudio.software.informer.com/ เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรมจะมีหน้าจอหลักที่มุมซ้ายบนจะสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้เป็นดังรูปที่ 2.29



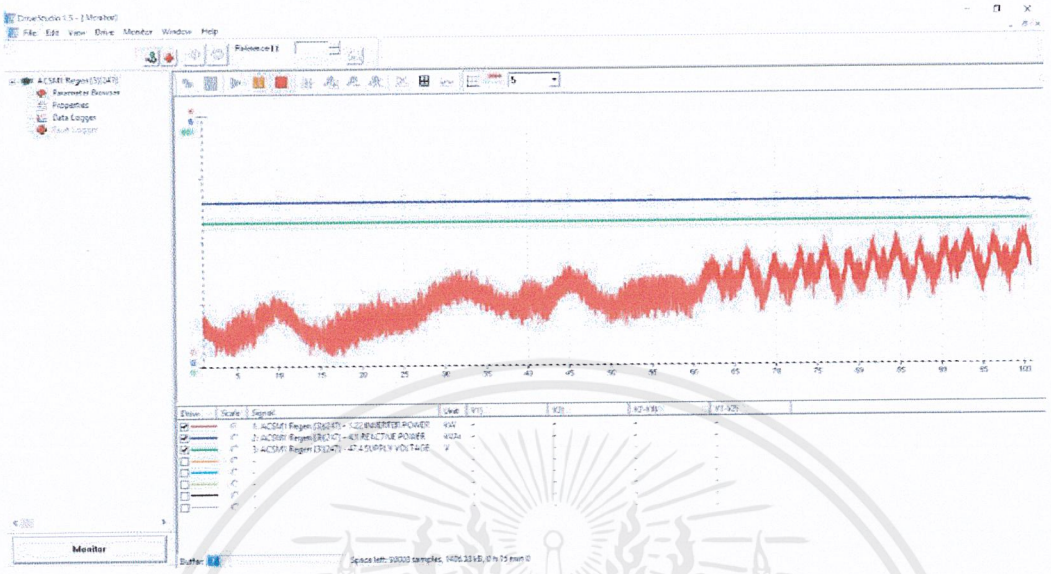
รูปที่ 2.29 หน้าจอการกำหนดพารามิเตอร์ของแอคทีฟฟร้อนต์เอ็นด์ (AFE)

สามารถสังเกตค่าต่าง ๆ ผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ริ่งที่แสดงค่าแบบเรียลไทม์ โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการดังรูปที่ 2.30

รูปที่ 2.30 การเลือกค่าพารามิเตอร์ในการมอนิเตอร์ริ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอโปรแกรมที่แสดงค่าพารามิเตอร์อาทิ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กระแส หรือแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 หน้าจอมอนิเตอร์ริ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอคุณสมบัติ การทำงาน และอุปกรณ์ภายในเครื่องปรับอากาศทั่วไป จะเห็นได้ว่ามีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน และมีราคาถูก แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของกระแสกระชากขณะสตาร์ทที่มีค่าสูง ความแตกต่างของอุณหภูมิขณะทำงาน และไม่ทำงานที่มีความแตกต่างกันมาก ทางผู้จัดทำจึงได้ศึกษาการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งการควบคุมโดยใช้อินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ให้รักษาระดับอุณหภูมิภายในห้องได้แทนที่การทำงานแบบเปิด-ปิด ซึ่งจะสามารถควบคุมการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ และสามารถลดการกระชากของกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทได้ และทางผู้จัดทำก็ได้ศึกษาทฤษฎี dq ซึ่งเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแปลงระบบไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่ในกรอบอ้างอิง 1 เฟส ซึ่งจะนำไปสู่การควบคุมกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบได้ ซึ่งจะมีการอธิบายในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

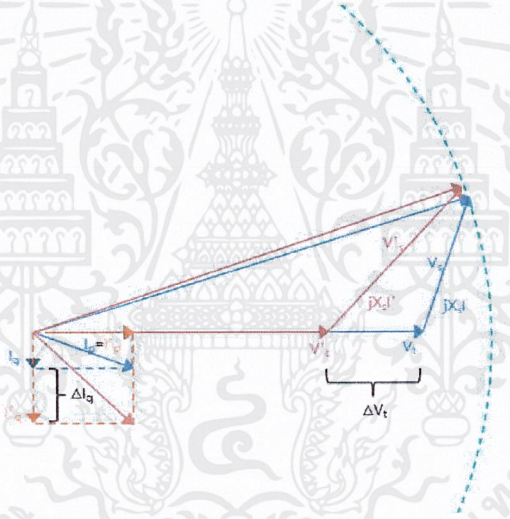
บทที่ 3
การออกแบบการทดลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งอธิบายด้วยเฟสเซอร์ที่แสดงความสัมพันธ์ของขนาดและของกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง และความสูญเสียของสายส่งภายในบ้าน รวมทั้งแผนผังการต่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ และทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการจำลองการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยโปรแกรม DriveStudio และ PLC

3.2 ออกแบบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulation)

เฟสเซอร์ไดอะแกรม (Phasor Diagram)



รูปที่ 3.1 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีได้แก่

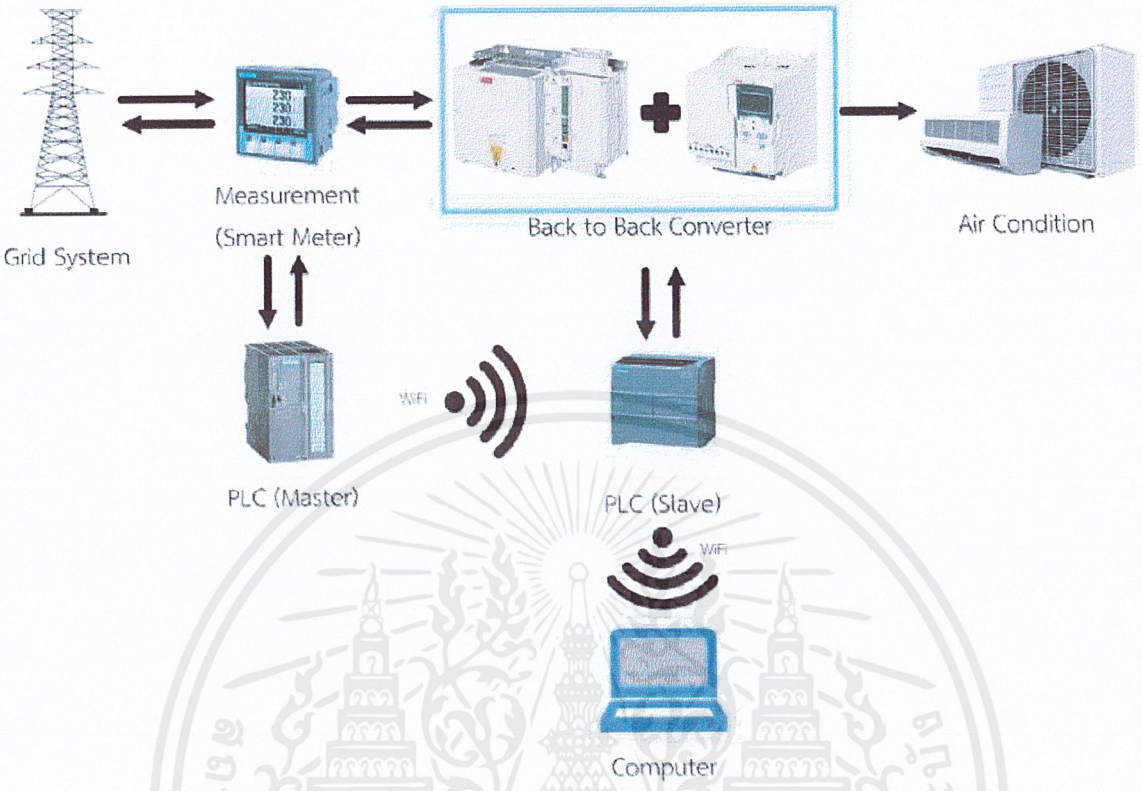
1. การเพิ่มกำลังไฟฟ้าเสมือนจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) ลดลงมากกว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าจริง (ในเปอร์เซ็นต์การเพิ่มเดียวกัน)

2. การลดกำลังไฟฟ้าเสมือนจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) เพิ่มขึ้นมากกว่าการลดกำลังไฟฟ้าจริง (ในเปอร์เซ็นต์การลดเดียวกัน)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าได้จากการเพิ่มหรือลดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 3.2 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ

การเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบดังรูปที่ 3.2 โดยมีการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid System) ซึ่งต่ออยู่กับสมาร์ทมิเตอร์ของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน (REAL LAB) ก่อนไปเชื่อมต่อกับ Back to Back Converter โดยส่วนของอินเวอร์เตอร์จะไปควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และในส่วนของการแสดงผลข้อมูลนั้นจะใช้ PLC ส่งและรับข้อมูลผ่านทางระบบสื่อสารแบบไร้สายกับระบบสมาร์ทกริดของ REAL LAB โดยสามารถควบคุมและแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ 3 ขั้นตอนได้แก่

1. การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์
2. การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์
3. การรับและส่งข้อมูลด้วยโปรแกรม PLC แบบเรียลไทม์ในระบบสมาร์ทกริดของ REAL LAB

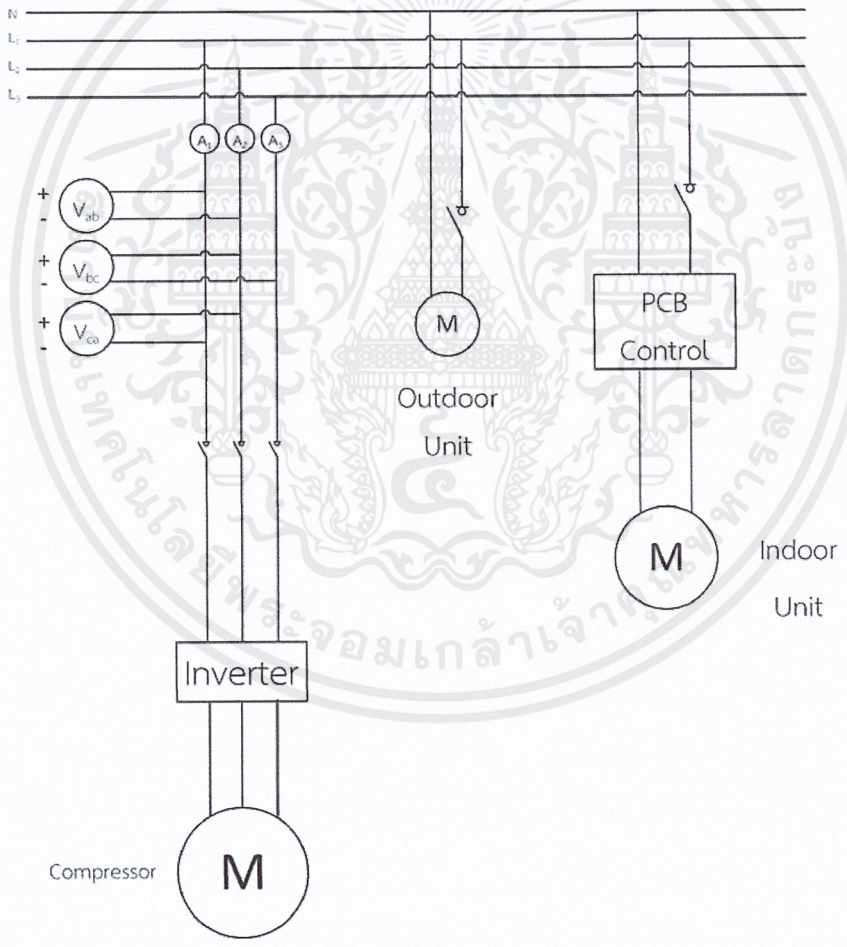
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้เป็นแบบอินเวอร์เตอร์นั้นได้มีการใช้อินเวอร์เตอร์ของบริษัท ABB มาปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ควบคู่กับการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ไปพร้อมกับการควบคุมอุณหภูมิได้

3.4.1 แผนผังการต่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

แผนผังการต่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยมีการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า 3 เฟส เข้ากับ Inverter ซึ่งต่ออยู่กับคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยพัดลมระบายความร้อน (Outdoor Unit) และพัดลมคอยล์เย็น (Indoor Unit) จะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า 1 เฟส โดยตรง



รูปที่ 3.3 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

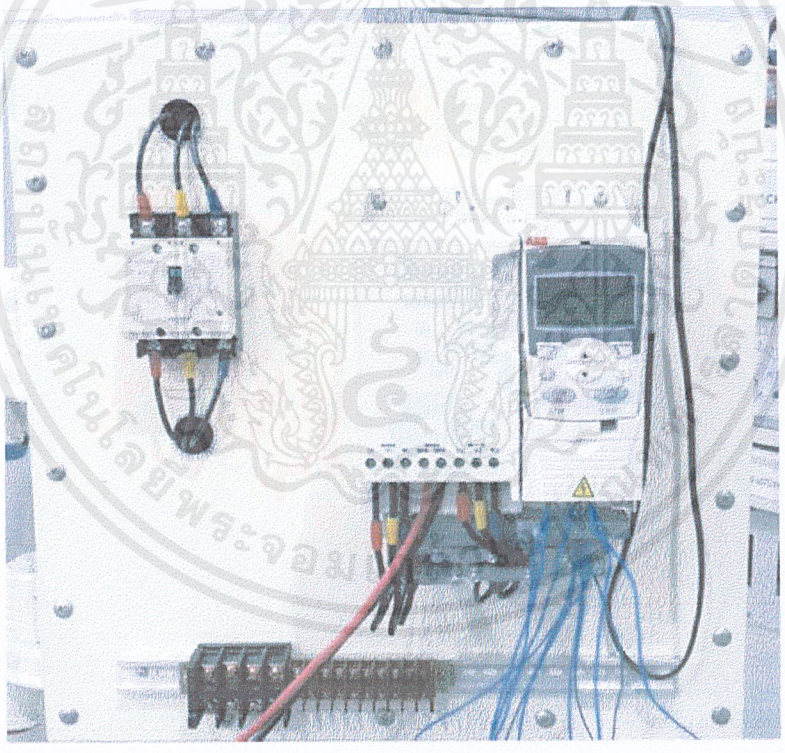
3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

3.4.2.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ในวงจรกำลังจะใช้คอมเพรสเซอร์เชื่อมกับอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ด้วยเวกเตอร์คอนโทรล ให้ทำงานได้ในความเร็วรอบที่เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อลดอัตราการบริโภคพลังงานแต่ยังสามารถปรับอากาศได้ตามที่ต้องการโดยในงานวิจัยนี้ใช้ ABB machinery drives รุ่น ACS355-03E-15A6-4, 75kW (10 Hp), 380-480V, 22.1A

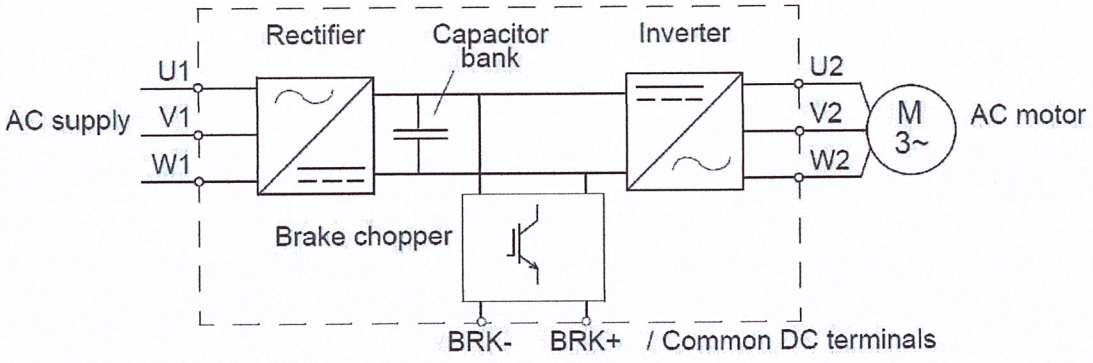
นอกจากการตั้งค่าให้อินเวอร์เตอร์ทำงานแบบเวคเตอร์คอนโทรลควบคู่ไปกับการตั้งค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอร์เตอร์คอมเพรสเซอร์แล้ว การควบคุมแบบ PI จะทำให้เครื่องปรับอากาศสามารถควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ได้สัมพันธ์กับอุณหภูมิของห้องทดลอง

โดยจะทำการตั้งค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

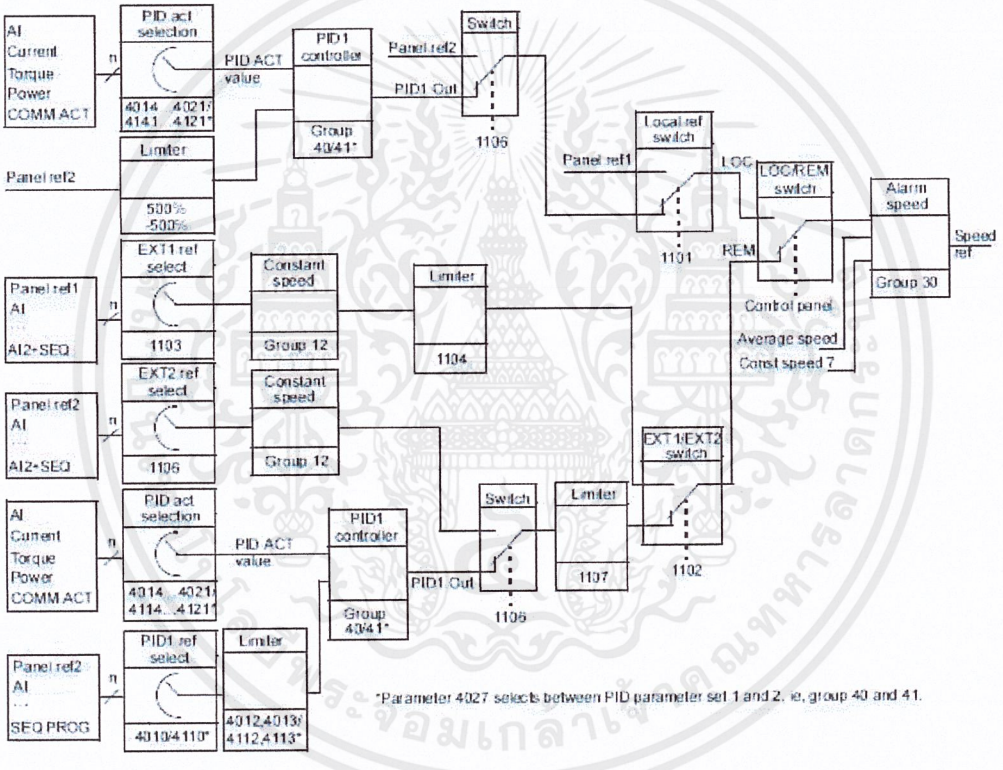


รูปที่ 3.4 อินเวอร์เตอร์ ACS355-03E-15A6-4 ของบริษัท ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของ ACS355 Drives



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการควบคุมของ PID รูปแบบต่าง ๆ ของ ACS355 Drives

3.4.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนผนัง (FLOOR / CEILING TYPE)

เป็นเครื่องปรับอากาศประเภท Non-inverter จากบริษัทสตาร์แอร์ (Star Aire) ชนิด 3 เฟส 50 เฮิรตซ์ ขนาด 38,600 บีทียูต่อชั่วโมง ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์ (Scroll type) ซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์ที่มี 2 ขั้ว 3 เฟส ขนาด 45 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบสูงสุด 2,900 รอบต่อนาทีและกระแสสูงสุด 7.45 แอมแปร์

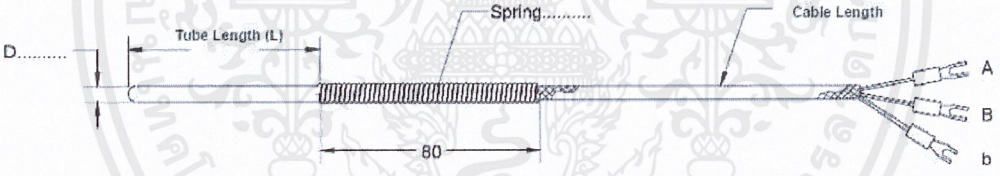
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 เครื่องปรับอากาศสามเฟสของ Star Aire

3.4.2.3 Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100

ใช้สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิในจุดที่ต้องการโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของขดลวดโลหะตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่ง RTD PT100 นี้ เป็นโลหะชนิดแพลทินัม 100 โอห์ม มีคุณสมบัติที่เป็นลิเนียร์ลิตี้ที่ดีโดยจะเปลี่ยนความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์มต่อ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ต้องการความละเอียดสูง

- แกน : Stainless 304, 316
- ย่านการวัดอุณหภูมิ : 0 – 100 องศาเซลเซียส
- ค่าความผิดพลาด : ± 0.55 องศาเซลเซียส



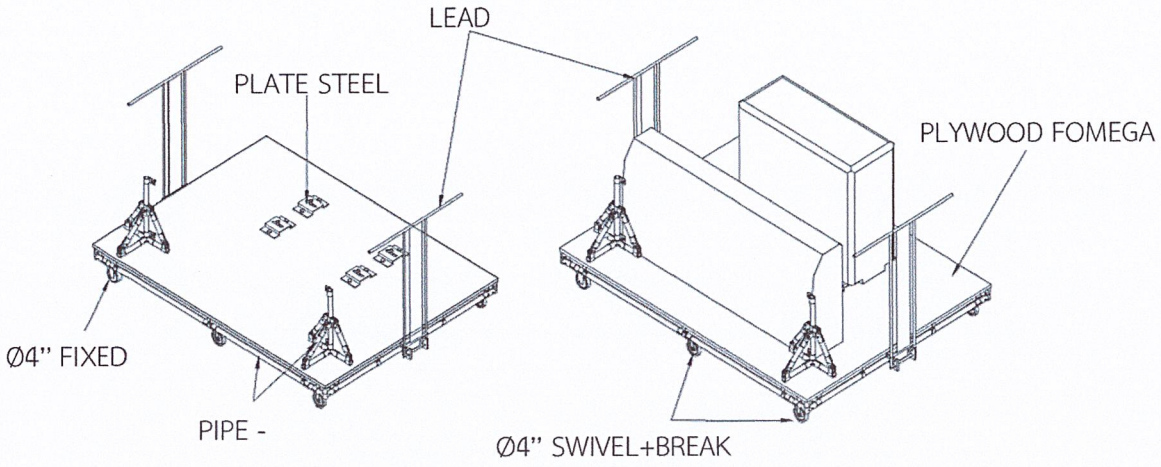
รูปที่ 3.8 Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100

ในการรักษาระดับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศนั้นต้องมีการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิห้อง (Room Temperature) กับค่าอุณหภูมิที่ต้องการ (Set Point Temperature) เพื่อให้มีการปรับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้สอดคล้องกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสอง

3.4.2.4 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลอง

การออกแบบรถเข็นสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดตั้งพื้น (Floor type) 3 เฟส ขนาด 38,600 บีทียูต่อชั่วโมง ตัวรถเข็นใช้ท่อสแตนเลส (Stainless Steel Pipe) และท่อเหล็กเคลือบยางเอบีเอส (ABS Coated Pipe) ทำเป็นฐานสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 400 กิโลกรัม ประกอบด้วยล้อทั้งหมด 6 ล้อ ได้แก่ล้อเป็น 4 ล้อ ล้อตาย 2 ล้อ สามารถเข็นให้เคลื่อนที่ได้ด้วยการผลักหรือลากเพื่อความสะดวกในการทดลองและการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

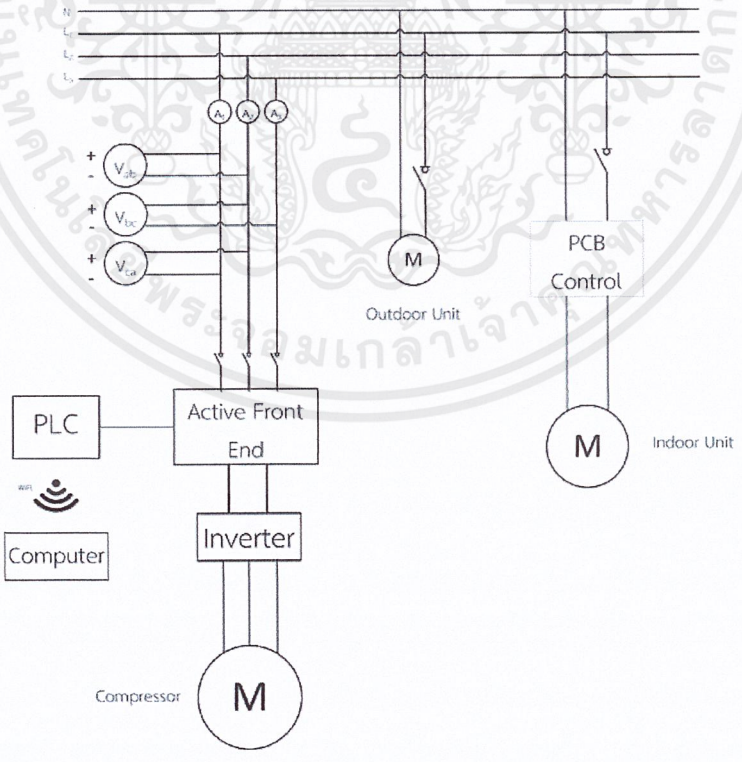


รูปที่ 3.9 รถเข็นสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

3.5 การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์

3.5.1 แผนผังการเชื่อมต่อแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์

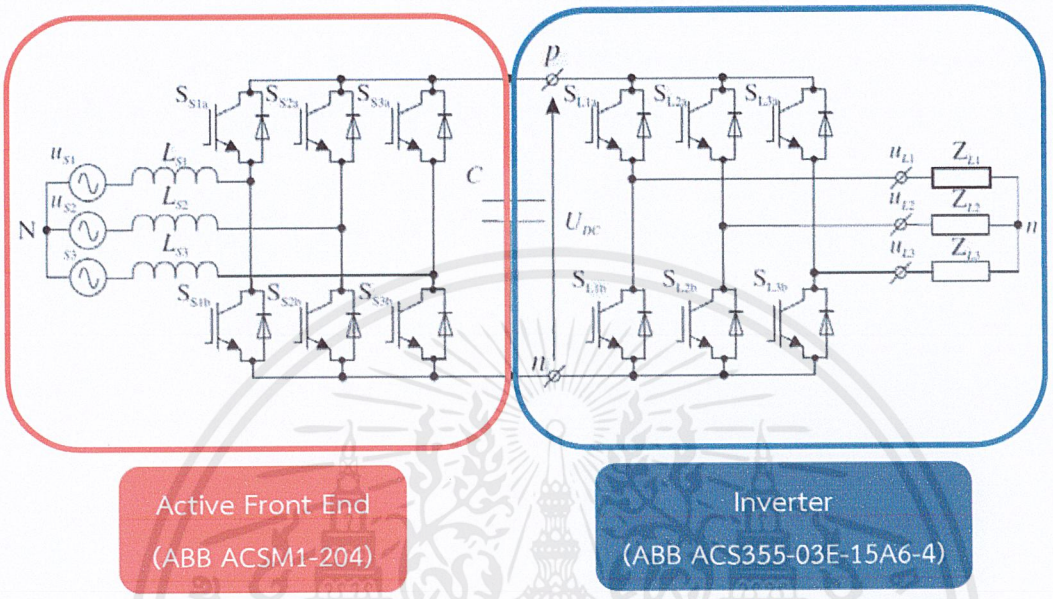
หลังจากการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้เป็นแบบอินเวอร์เตอร์ ขั้นต่อมาคือการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนให้สามารถส่งกลับคืนสู่ระบบไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดด้วยอุปกรณ์แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของบริษัท ABB ที่สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอินเวอร์เตอร์ไปพร้อมกันได้ ดังรูปแผนผังการต่อ



รูปที่ 3.10 แผนผังการเชื่อมต่อแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเชื่อมต่อระหว่างแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์จะเชื่อมต่อกันตรงส่วนที่เรียกว่าดีซีลิ้งค์ ทำให้การเชื่อมต่อมีลักษณะเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อที่กำลังไฟฟ้าสามารถไหลได้ทั้งสองทางดังรูปที่ 3.11



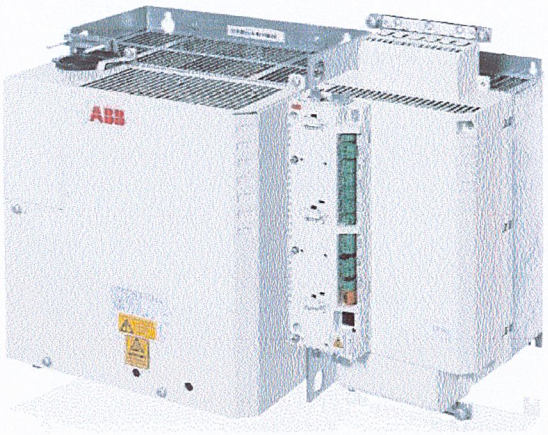
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter)

3.5.2 อุปกรณ์การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์

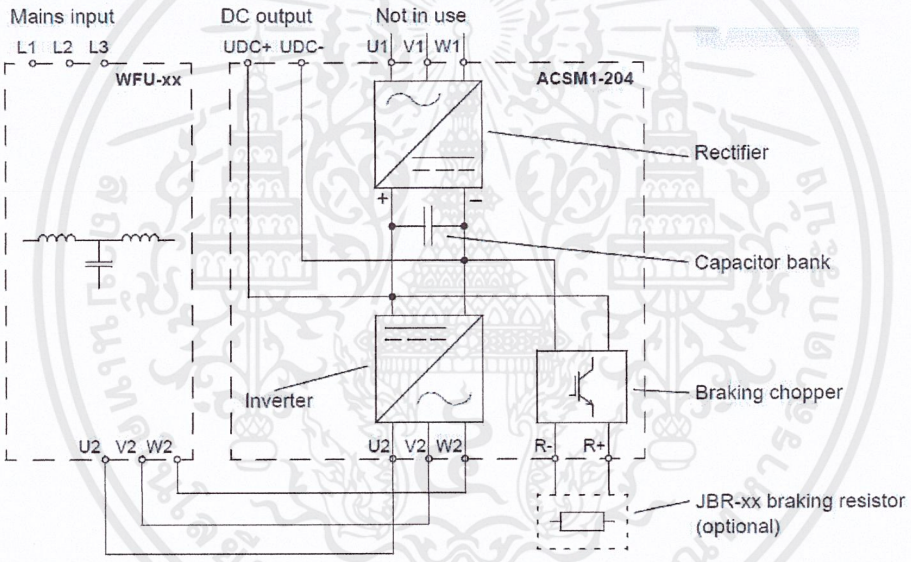
3.5.2.1 แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ (AFE) รุ่น ACSM1-204 โมดูลรีเจนซัพพลายของ ABB

แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำหน้าที่แทนเร็คติไฟล์เออร์ปกติเพื่อใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ โดยจะใช้ IGBT ร่วมกับฟรีวีลลิ่งไดโอดมาต่อเป็นชุดวงจรบริดจ์แทนไดโอดหรือ SCR ซึ่งทำให้สามารถควบคุมการทำงานของ IGBT ได้โดยการเปิดและปิดสวิตช์ และควบคุมได้ทุกช่วงเวลาทำให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานได้อย่างอิสระ รวมไปถึงควบคุมให้กระแสที่ไหลเข้าและออกมีความเป็นรูปคลื่นไซน์ได้อย่างสมบูรณ์สามารถควบคุมตัวประกอบกำลังได้ทั้งแบบนำหน้า (Leading) ล้าหลัง (Lagging) หรือเป็น unity และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ACSM1-204 โมดูลรีเจนซัพพลายของ ABB



รูปที่ 3.13 วงจรหลักและอินเตอร์เฟซของการควบคุม

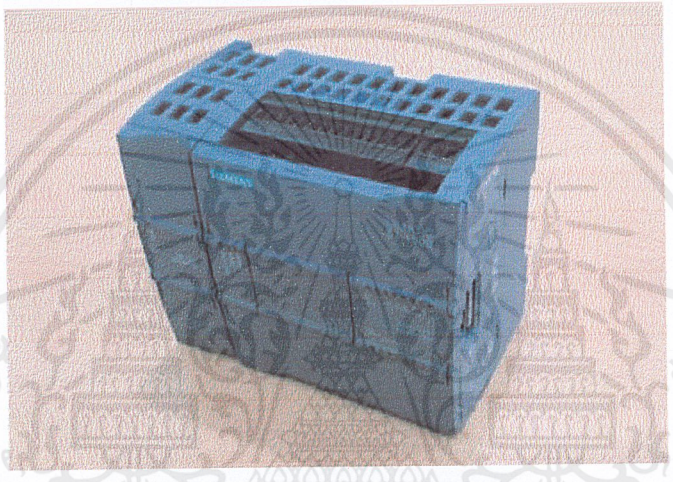
- แรงดันกระแสสลับ : 3~380 – 480 โวลต์
- กระแสสลับ : 29 – 35 แอมแปร์
- ความถี่ : 48 – 63 เฮิรตซ์
- แรงดันกระแสตรง : 548 – 692 โวลต์
- กระแสตรง : 34 – 40 แอมแปร์
- กำลังไฟฟ้ากระแสตรง : 23 กิโลวัตต์ / 31 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 PLC ของบริษัท Siemens

หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens ดังรูปที่ 3.14 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และเชื่อมต่อกับระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB เพื่อรับค่ากำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ามาประมวลผลรวมทั้งส่งข้อมูลที่ได้ไปดำเนินการในอุปกรณ์อื่น ๆ ต่อไป

สำหรับการออกแบบหน้าจอแสดงผลข้อมูลและควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะใช้โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้แก่ แรงดันกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมไปถึงอุณหภูมิของห้องทดลอง



รูปที่ 3.14 หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens

Feature		CPU 1212C
Physical size (mm)		90 x 100 x 75
User memory	Work	25 Kbytes
	Load	1 Mbyte
	Retentive	2 Kbytes
Local on-board I/O	Digital	8 inputs/6 outputs
	Analog	2 inputs
Process image size	Inputs (I)	1024 bytes
	Outputs (Q)	1024 bytes
Bit memory (M)		4096 bytes
Signal module (SM) expansion		2
Signal board (SB) or communication board (CB)		1
Communication module (CM) (left-side expansion)		3

รูปที่ 3.15 โมเดลของ CPU ของหน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.3 SIEMENS 6ES7232-4HA30-0XB0

รูปที่ 3.16 โมดูล 6ES7232-4HA30-0XB0

โมดูล 6ES7232-4HA30-0XB0 เป็นโมดูลเสริมแบบบอร์ดเดี่ยวของ SIMATIC S7-1200 โดยจะเชื่อต่อเข้าโดยตรงกับ CPU และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่ายตามการใช้งาน

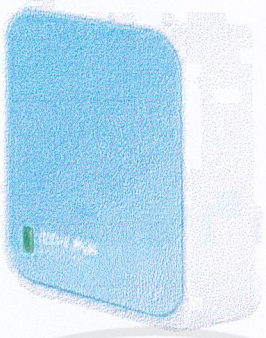
ตารางที่ 3.1 SPECIFICATION ของ SIMATIC S7-1200

SPECIFICATION	
FOR USE WITH	SIMATIC S7-1200
MODULE TYPE	OUTPUT
OUTPUT TYPE	ANALOGUE
NUMBER OF OUTPUTS	1
VOLTAGE CATEGORY	10 V dc
LENGTH	62 mm
WIDTH	38 mm
DEPTH	21 mm
DIMENSIONS	62×38×21 mm^3

โดย SIEMENS 6ES7232-4HA30-0XB0 เป็นตัวส่ง analog output ของ PLC ซึ่งเป็นค่าของกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องการชดเชยให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดซึ่งจะเป็นค่า analog input ของแอคทีฟฟร้อนต์เอ็นด์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.4 เราท์เตอร์

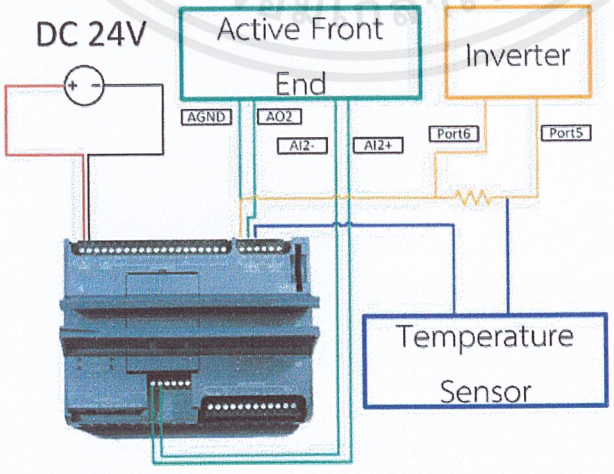


รูปที่ 3.17 เราท์เตอร์ของบริษัท TP-LINK รุ่น TL-WR802N

เราท์เตอร์ตัวนี้ทำหน้าที่ส่งข้อมูลระหว่าง PLC siemens รุ่น S7-1200 กับคอมพิวเตอร์ของผู้ควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และในขณะเดียวกันก็ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ไม่ว่าจะเป็น การบริโภคกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า หรืออุณหภูมิของห้องจำลอง กลับมาแสดงผลให้ผู้ใช้งานอีกด้วย

3.5.3 การเขียนโปรแกรม PLC ในการรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและอุณหภูมิ

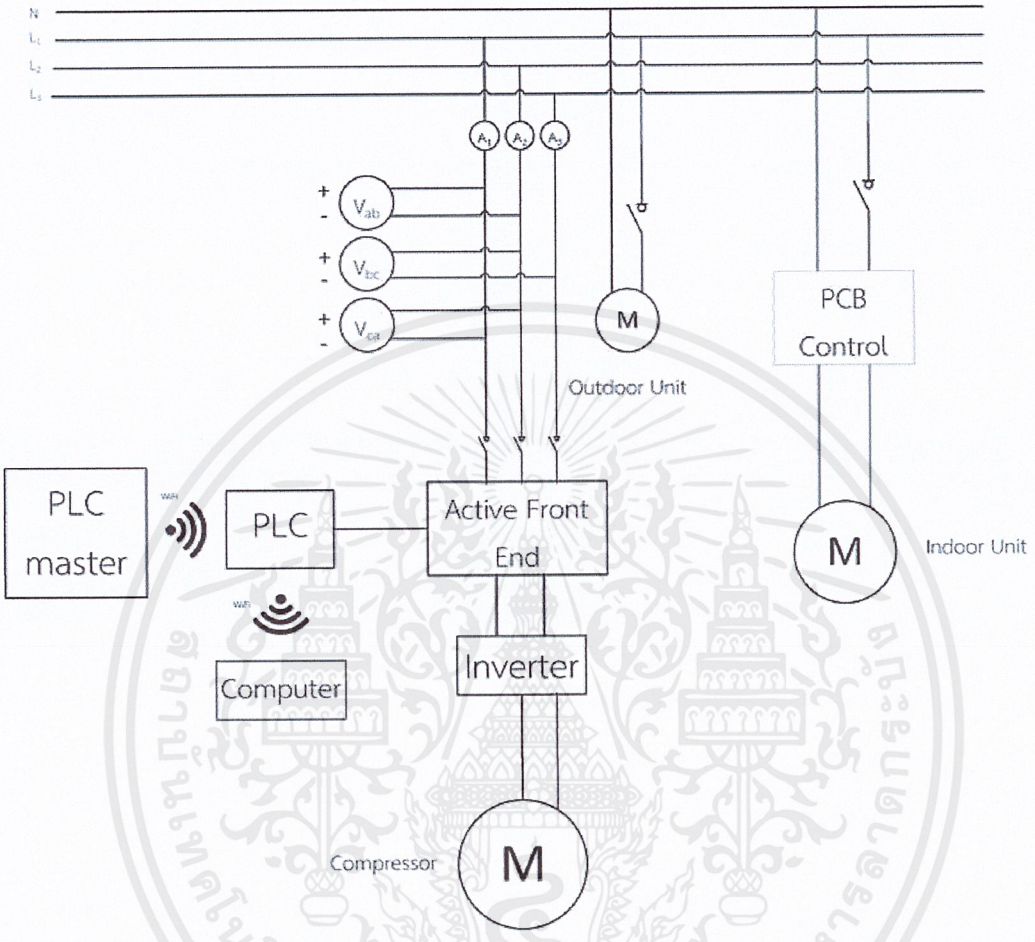
เพื่อให้การควบคุมการส่งกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นแบบเรียลไทม์จึงมีการใช้โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens โดยเชื่อมต่อผ่านช่องอนาล็อกอินพุตของ PLC กับฝั่งแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์เพื่อรับค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่เกิดจากเครื่องต้นแบบมาประมวลผลและส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนนี้ออกผ่านทางช่อง อนาล็อคเอาท์พุตไปสู่แอ็คทีฟฟร้อนเอ็นด์อีกครั้งเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน นอกจากนี้ยังได้เขียนโปรแกรมเชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อแสดงค่าอุณหภูมิแบบเรียลไทม์อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 แผนผังการเชื่อมต่อของ PLC ในการรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและอุณหภูมิ

3.6 การรับและส่งข้อมูลด้วยโปรแกรม PLC แบบเรียลไทม์ในระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB



รูปที่ 3.19 แผนผังการเชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายกับ PLC

ในระบบการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนเกิดจากการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ PLC ผ่านระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wifi) ทั้งนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบควบคุมหลัก (Master) ของไมโครสมาร์ทกริดและควบคุมการส่งข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ดังรูปที่ 3.19

โดยมีการรับส่งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

1. ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (S_{Grid})
2. ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (P_{Grid})
3. ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (Q_{Grid})
4. ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม ($p.f._{Grid}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

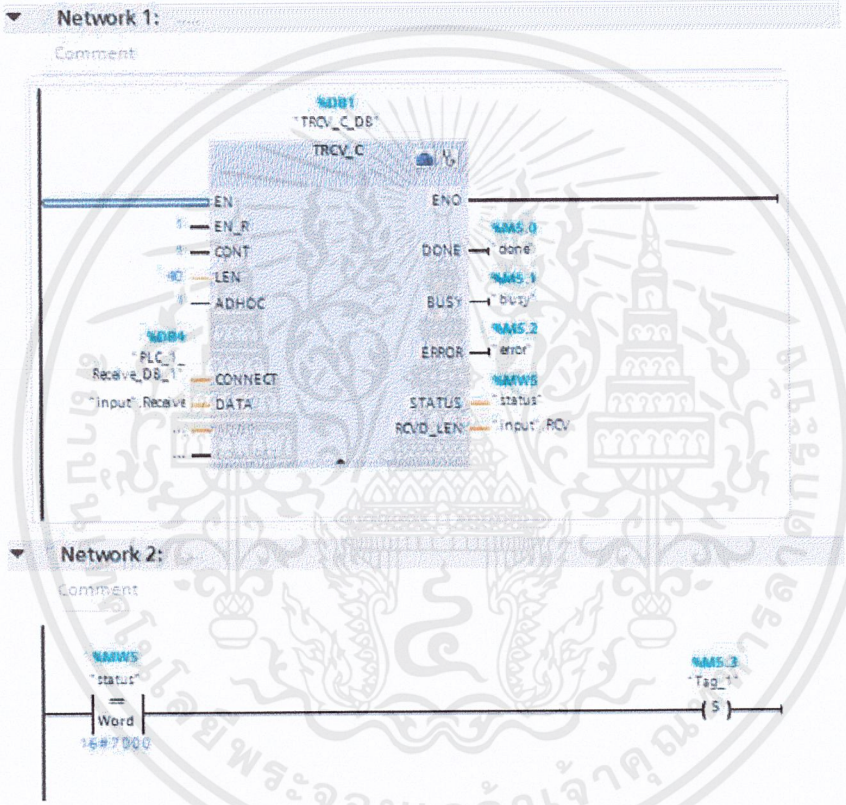
5. ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (V_{Grid})

6. ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของโหลดเครื่องปรับอากาศ (S_{Load})

7. ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของโหลดเครื่องปรับอากาศ (P_{Load})

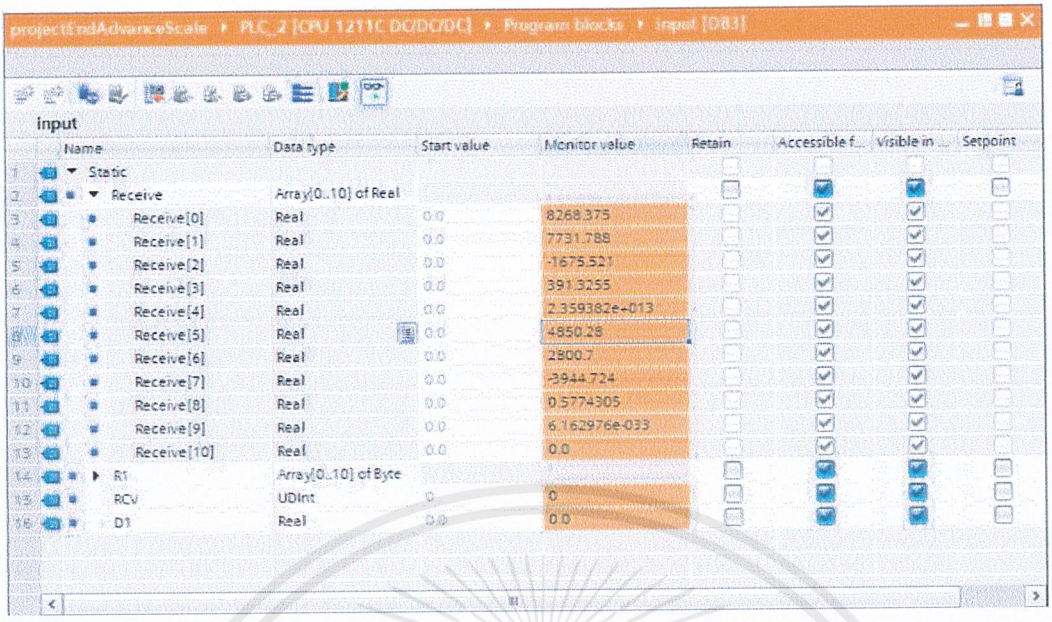
8. ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของโหลดเครื่องปรับอากาศ (Q_{Load})

ทำการเชื่อมต่อกับระบบไมโครสมาร์ทกริดโดยให้ PLC ของเครื่องต้นแบบเป็นตัวรับข้อมูลจากระบบไมโครสมาร์ทกริดผ่านบล็อก TRCV_C_DB ซึ่งรับค่ามาเป็น bytes ทั้งหมด 40 bytes และแปลงเป็นจำนวนจริงเพื่อแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่รับมาผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์



รูปที่ 3.20 Ladder ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด

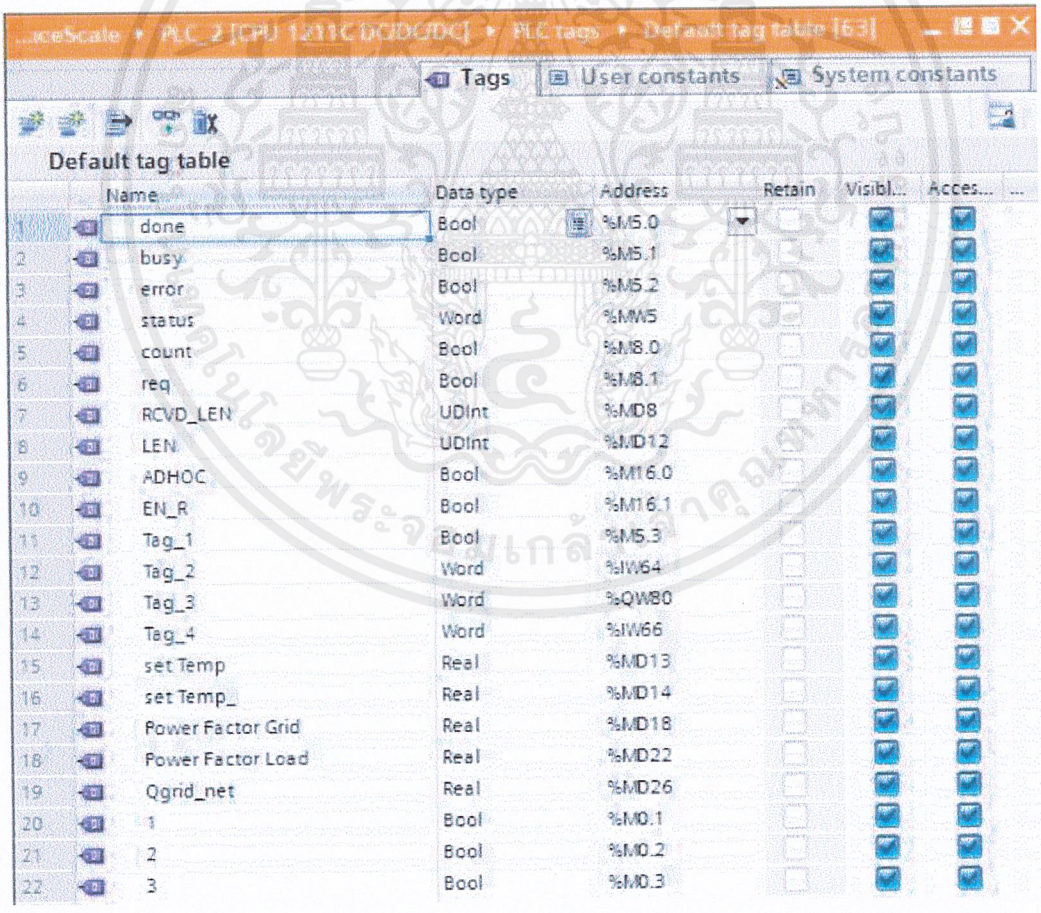
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



input

	Name	Data type	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint
1	Static							
2	Receive	Array[0..10] of Real						
3	Receive[0]	Real	0.0	8268.375				
4	Receive[1]	Real	0.0	7731.788				
5	Receive[2]	Real	0.0	-1675.521				
6	Receive[3]	Real	0.0	391.3255				
7	Receive[4]	Real	0.0	2.359382e+013				
8	Receive[5]	Real	0.0	4850.28				
9	Receive[6]	Real	0.0	2800.7				
10	Receive[7]	Real	0.0	-3944.724				
11	Receive[8]	Real	0.0	0.5774305				
12	Receive[9]	Real	0.0	6.162976e-033				
13	Receive[10]	Real	0.0	0.0				
14	R1	Array[0..10] of Byte						
15	RCV	UDInt	0	0				
16	D1	Real	0.0	0.0				

รูปที่ 3.21 Tags ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด



Tags | User constants | System constants

Default tag table

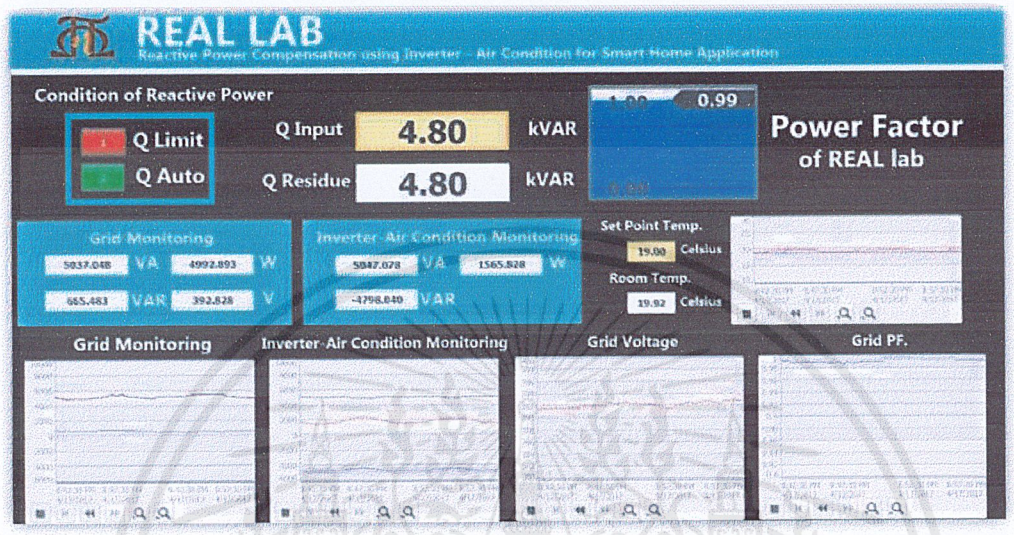
	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...
1	done	Bool	%M5.0			
2	busy	Bool	%M5.1			
3	error	Bool	%M5.2			
4	status	Word	%MW5			
5	count	Bool	%M8.0			
6	req	Bool	%M8.1			
7	RCVD_LEN	UDInt	%MD8			
8	LEN	UDInt	%MD12			
9	ADHOC	Bool	%M16.0			
10	EN_R	Bool	%M16.1			
11	Tag_1	Bool	%M5.3			
12	Tag_2	Word	%IW64			
13	Tag_3	Word	%QW80			
14	Tag_4	Word	%IW66			
15	set Temp	Real	%MD13			
16	set Temp_	Real	%MD14			
17	Power Factor Grid	Real	%MD18			
18	Power Factor Load	Real	%MD22			
19	Qgrid_net	Real	%MD26			
20	1	Bool	%M0.1			
21	2	Bool	%M0.2			
22	3	Bool	%M0.3			

รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดง Tags สำคัญที่ใช้ในการควบคุมและการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและแสดงผลการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

ทำการพัฒนาหน้าจอควบคุมเพื่อทางฝั่งของผู้ใช้งานให้สามารถใช้งานได้อย่างไม่ซับซ้อน โดยเพิ่มฟังก์ชั่นการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ กำลังไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงผลการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.23 จะเห็นได้ว่าเราสามารถปรับโหมดการทำงานได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

3.7.1 Q-Limit (Q_{Limit})

เป็นโหมดที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดปริมาณที่จะให้เครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริด แต่ไม่เกินปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดที่เครื่องต้นแบบสามารถสร้างได้

3.7.2 Q-from HEMS (Q_{HEMS})

เป็นการควบคุมให้เครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนได้ในปริมาณที่ระบบไมโครสมาร์ทกริดต้องการแบบเรียลไทม์

เราสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศต้นแบบผ่านช่อง Q_{input}ทั้งนี้ยังสามารถสังเกตทำงานขอเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ได้จากกราฟทางด้านล่างขวาของหน้าจอ สามารถสังเกตการทำงานของระบบไมโครสมาร์ทกริดได้จากกราฟทางด้านล่างซ้ายของหน้าจอ สามารถสังเกตกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องทดลองและอุณหภูมิที่กำหนดทางด้านขวาของหน้าจอ และค่าของตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดได้ที่มุมขวาบนของหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 สรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการออกแบบการทดลองตั้งแต่การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ กล่าวคือเป็นขั้นตอนการดำเนินงานให้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปมีคุณสมบัติเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีลักษณะการทำงานแบบซอฟต์สตาร์ท รักษาอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ รวมไปถึงการบริโภคพลังงานที่ลดลง หลังจากนั้นขั้นตอนต่อมาเป็นการออกแบบการทดลองการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนโดยเชื่อมต่อกับแอ็คทีฟฟร้อนเอ็นด์ เพื่อให้แอ็คทีฟฟร้อนเอ็นด์ทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่เหลือจากการบริโภคของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์กลับคืนสู่ระบบไมโครสมาร์ทกริด โดยที่แอ็คทีฟฟร้อนเอ็นด์สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงผลผ่านโปรแกรม DriveStudio และท้ายสุดคือการออกแบบการรับและส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายโดยใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ในการเขียนชุดคำสั่งประมวลผลออกมาทางหน้าจอแสดงผล และบันทึกค่าเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งในบทนี้จะมีแผนผังการเชื่อมต่อการทดลอง เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมไปถึงการเขียนชุดคำสั่งเพื่อที่จะให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนกลับคืนสู่ระบบได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและประเมินผล

4.1 บทนำ

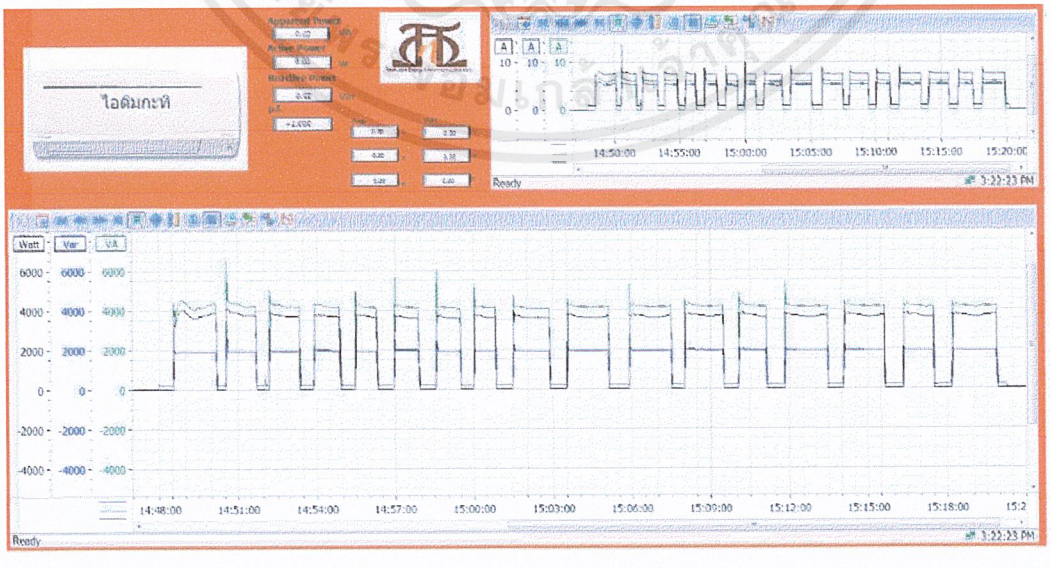
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการส่งกำลังไฟฟ้าเสมือนกลับเข้าสู่ระบบไมโครสมาร์ทกริดของสมาร์ทโฮมซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองหัวข้อ โดยหัวข้อแรกจะเป็นการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้เป็นแบบอินเวอร์เตอร์ด้วยการใช้เครื่องควบคุมทางกลปรับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้เป็นแบบอินเวอร์เตอร์ สำหรับหัวข้อที่สองคือการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ส่งกำลังไฟฟ้าเสมือนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรที่เชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) โดยควบคุมการส่งกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบเรียลไทม์ด้วยอุปกรณ์ PLC ของบริษัท Siemens และบันทึกผลการทดลองตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จนถึงช่วงที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดถูกปรับปรุงให้สูงขึ้น

4.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์

โดยจะทำการทดลองเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์และรับส่งค่าโดยแสดงผลผ่านหน้าจอโปรแกรม PLC

4.2.1 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปจะทำงานแบบ ON-OFF เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 20 °C ขณะที่ห้องทดลองมีอุณหภูมิ 27 °C ได้ผลเป็นกราฟกระแสและกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1

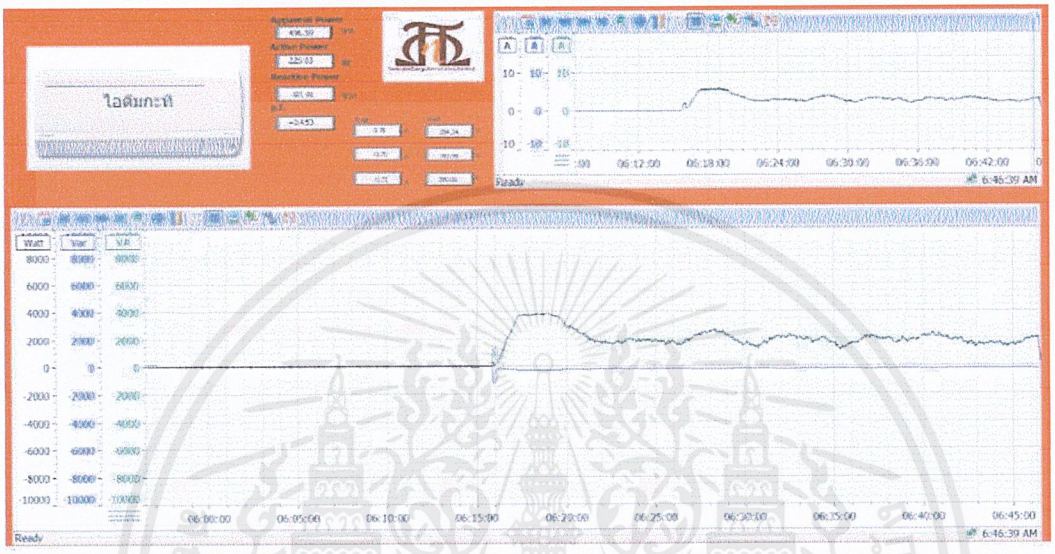


รูปที่ 4.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ถูกควบคุมแบบ PI ซึ่งประกอบด้วย Gain = 5, Integrate = 5 ค่าอุณหภูมิ 20 °C ขณะห้องทดลองมีอุณหภูมิ 27 °C เมื่อเริ่มทำงานเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะค่อยๆ เพิ่มความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์และจะค่อยๆ ลดความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ลง เมื่ออุณหภูมิของห้องทดลองเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

4.3 ผลการทดลองโปรแกรมสำหรับควบคุมและแสดงผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เมื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด ของ REAL จะแสดงค่าการ lagging ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าบวก ส่วนค่าการ leading ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแสดงค่าเป็นลบ

โดยผลการทดลองในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 5 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ก่อนการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบ

กรณีที่ 2 กำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR

กรณีที่ 3 กำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR

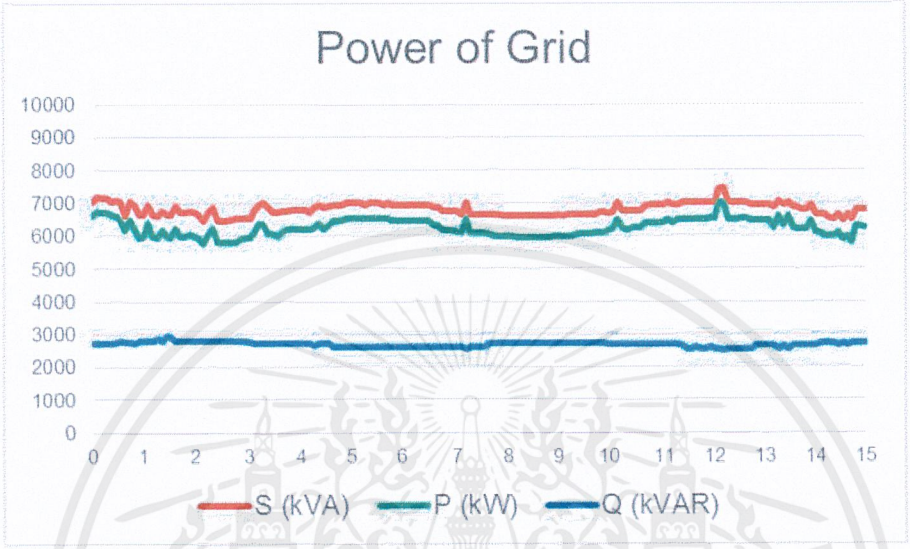
กรณีที่ 4 กำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR

กรณีที่ 5 กำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด (Q_{Auto})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

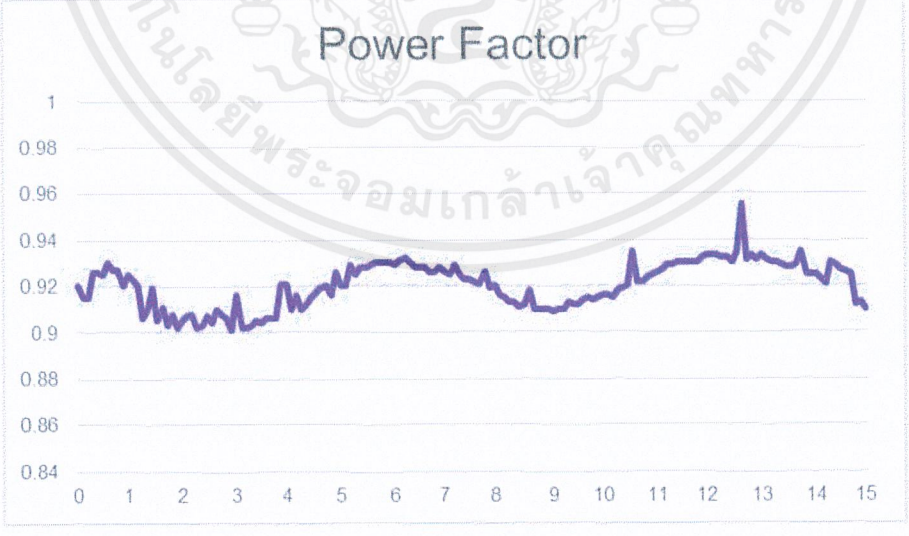
4.3.1 ผลการทดลองก่อนการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบ

4.3.1.1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด ก่อนที่แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จะทำการจ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

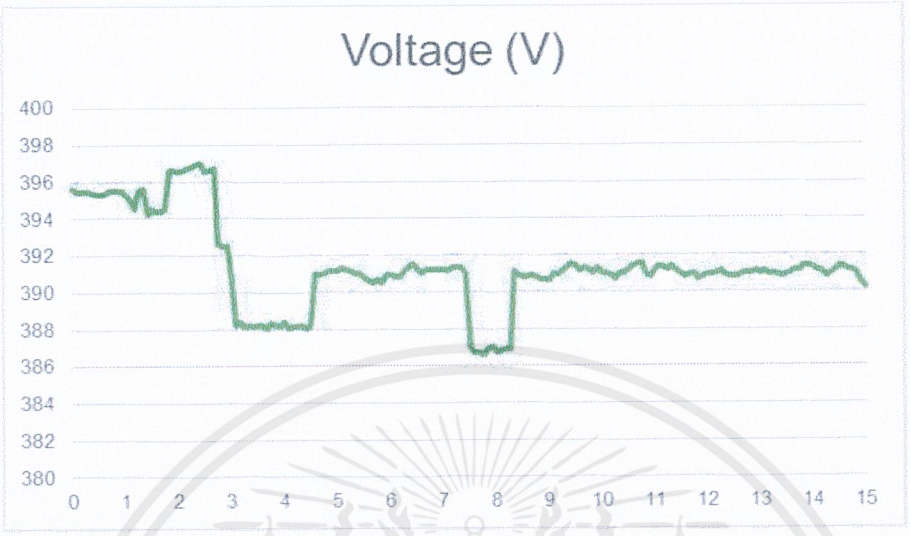
4.3.1.2 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด ก่อนที่แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จะทำการจ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

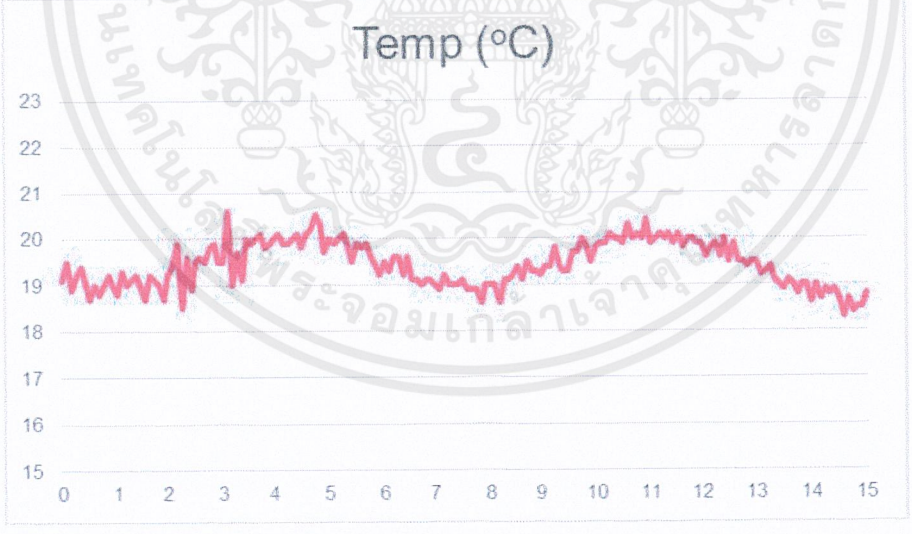
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด ก่อนที่แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จะทำการจ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

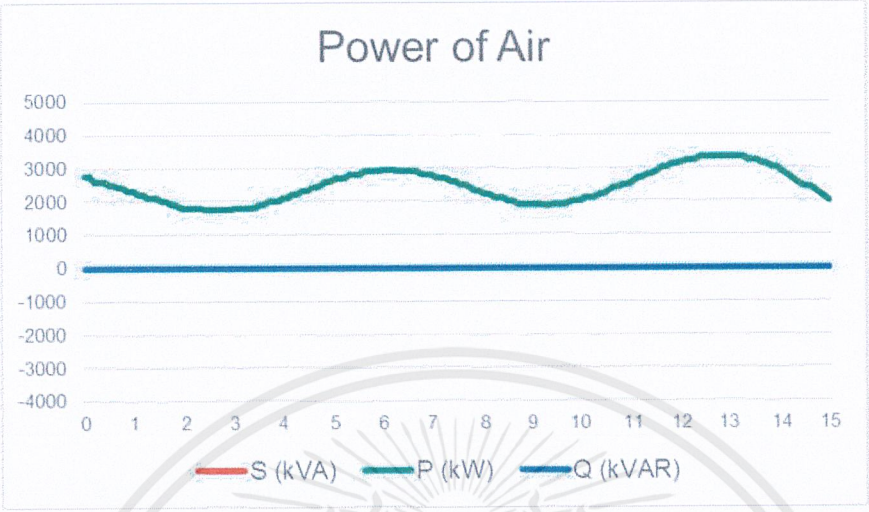
4.3.1.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ ก่อนที่แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จะทำการจ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (Room) เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

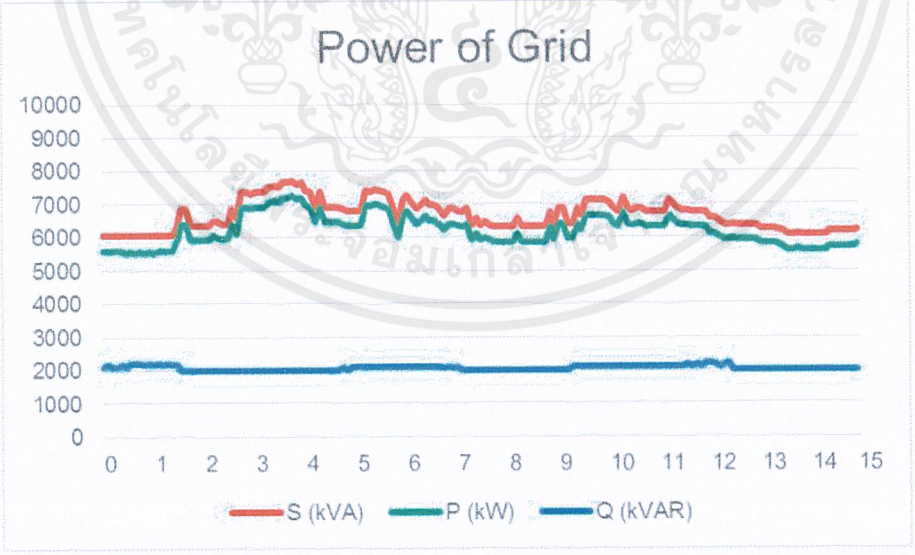
4.3.1.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Load) ก่อนที่แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จะทำการจ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา

4.3.2 ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR

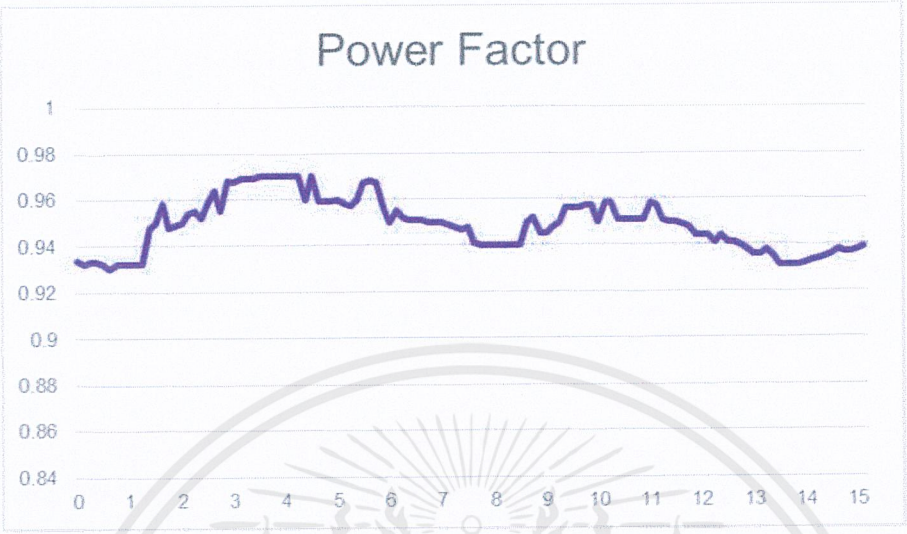
4.3.2.1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

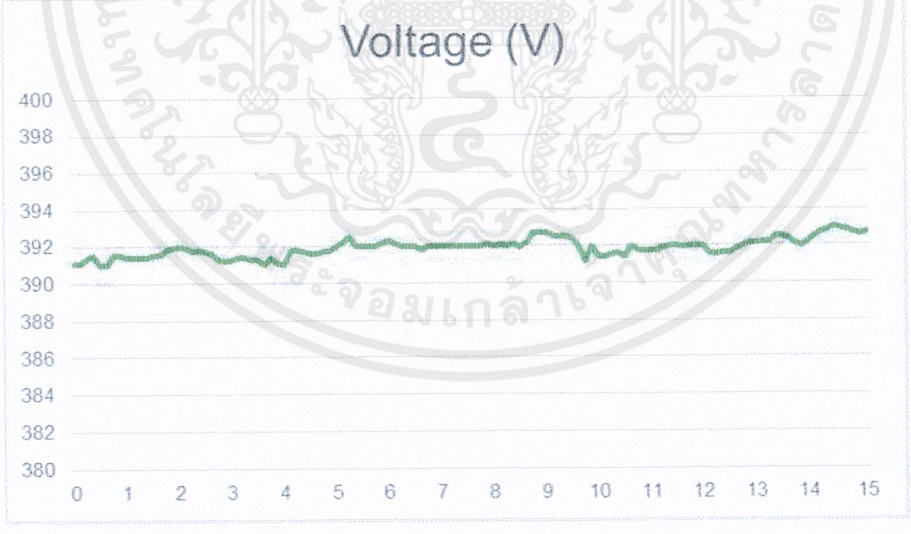
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

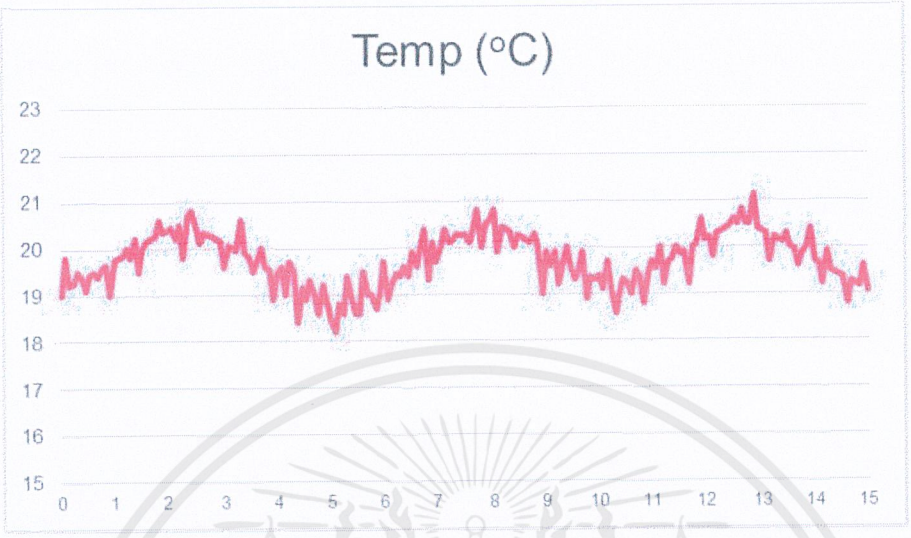
4.3.2.3 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

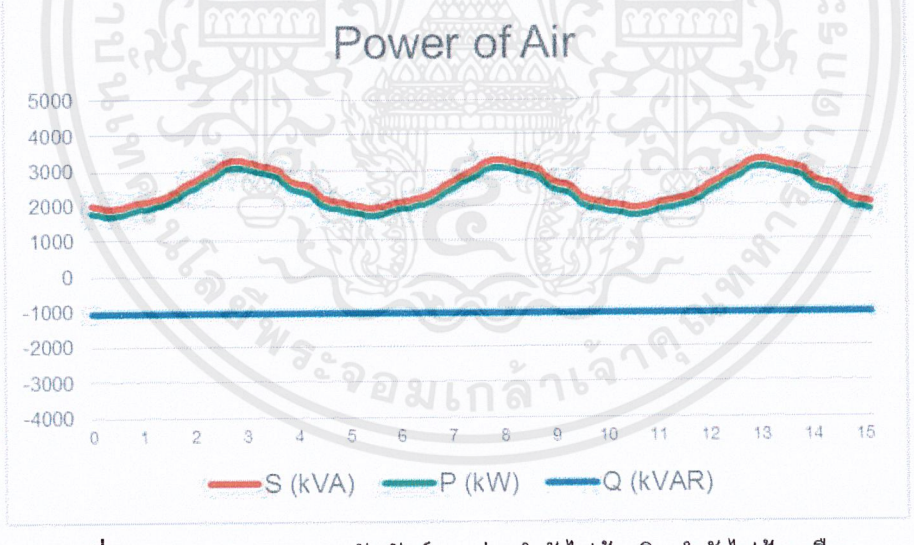
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (Room) เทียบกับเวลา

4.3.2.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Load) เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 1 kVAR

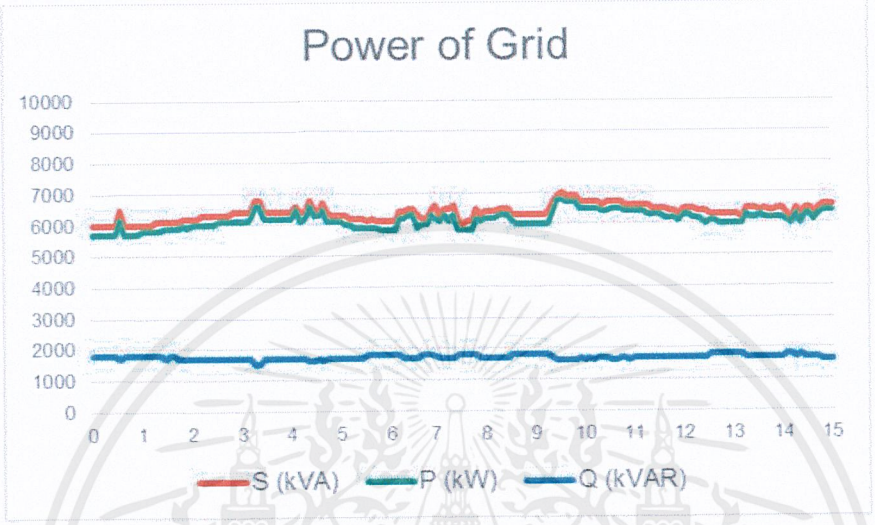


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

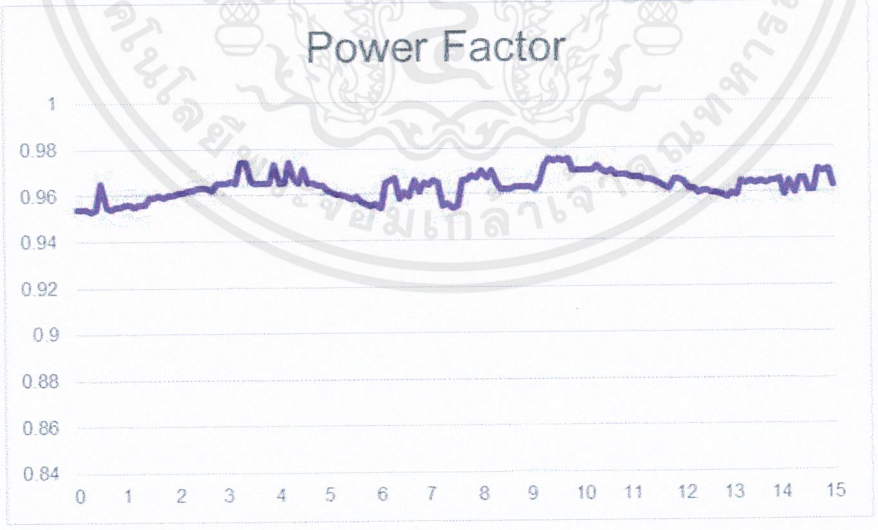
4.3.3 ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR

4.3.3.1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

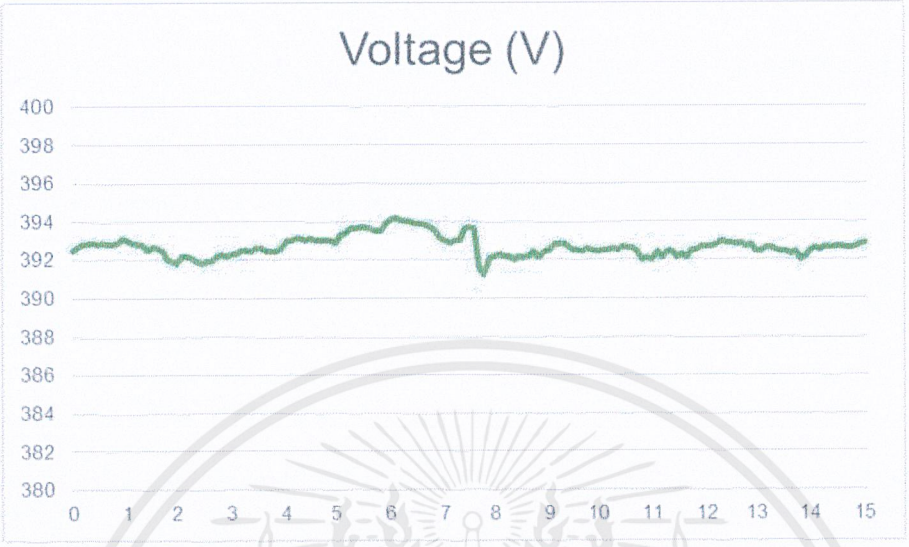
4.3.3.2 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

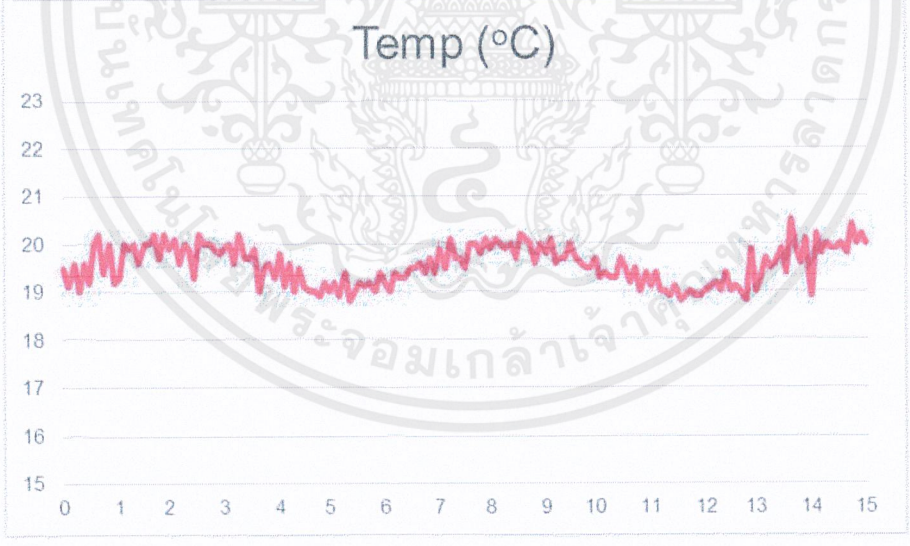
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

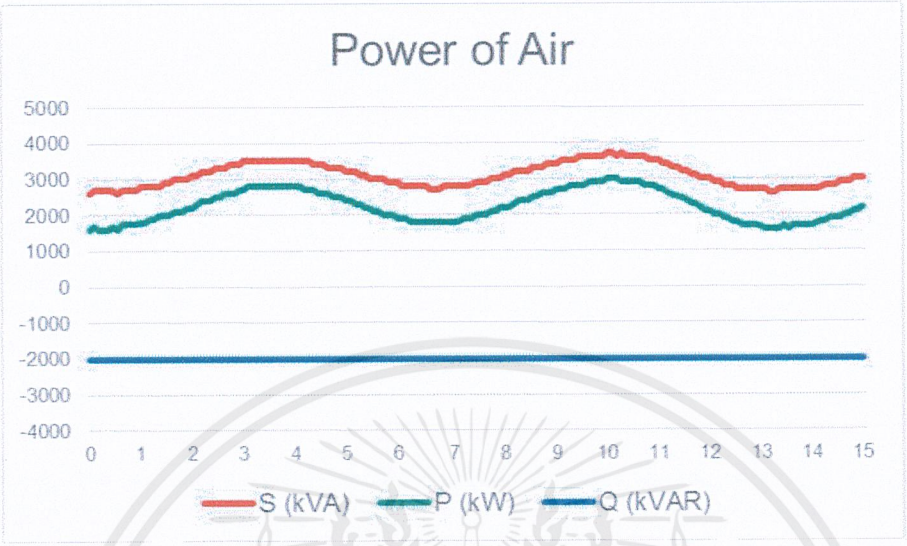
4.3.3.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (Room) เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

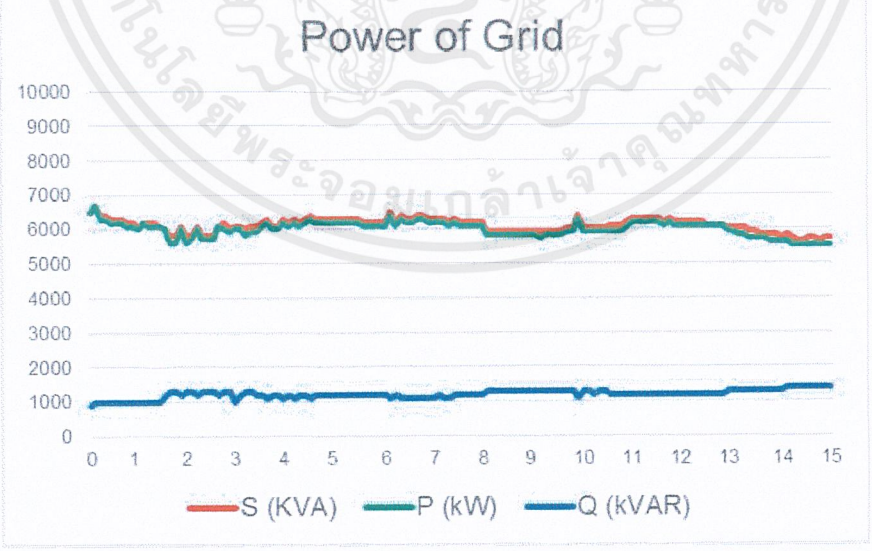
4.3.3.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Load) เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 2 kVAR



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา

4.3.4 ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR

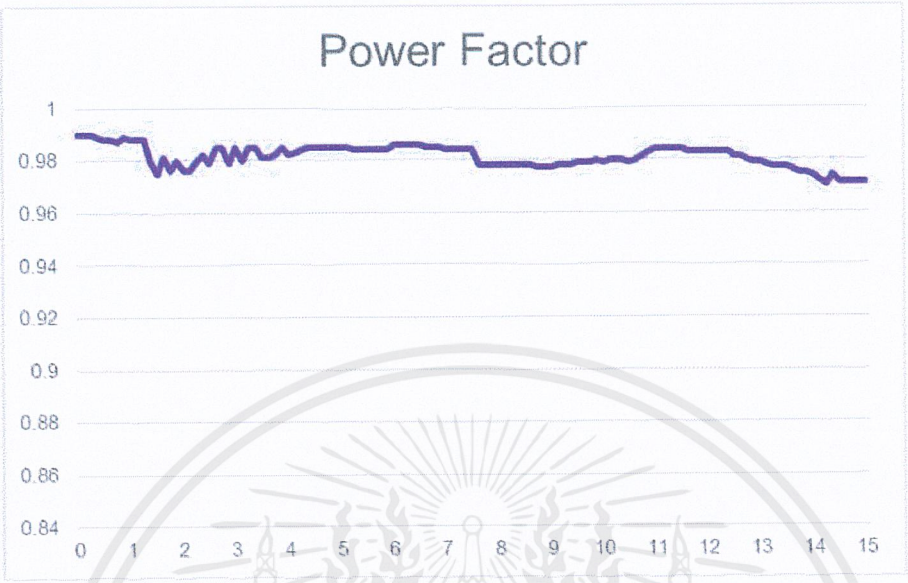
4.3.4.1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

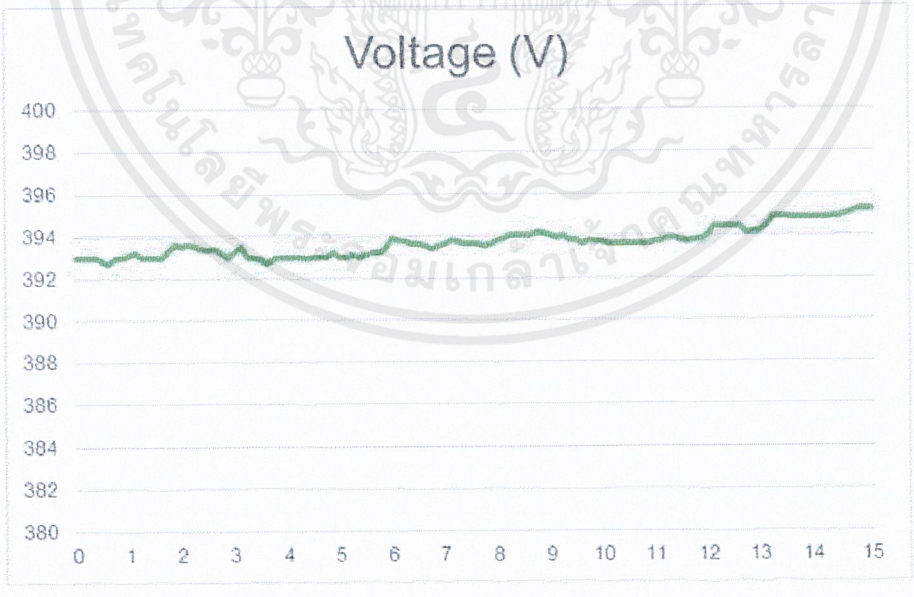
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.2 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

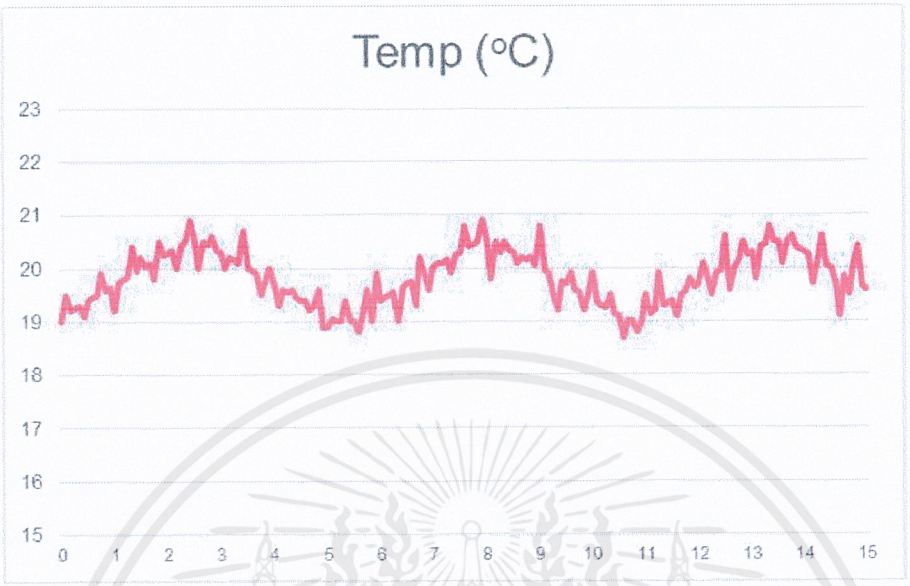
4.3.4.3 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

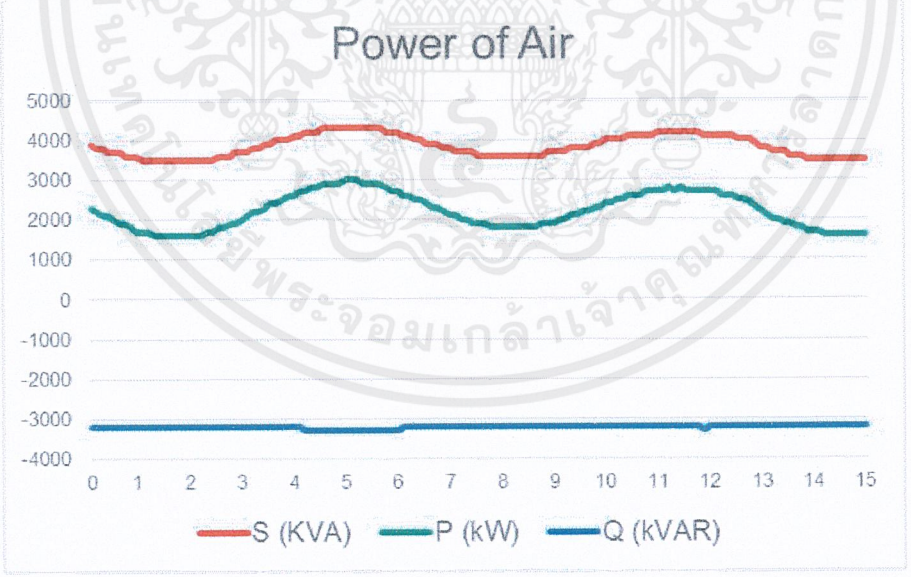
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (Room) เทียบกับเวลา

4.3.4.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Load) เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ 3 kVAR

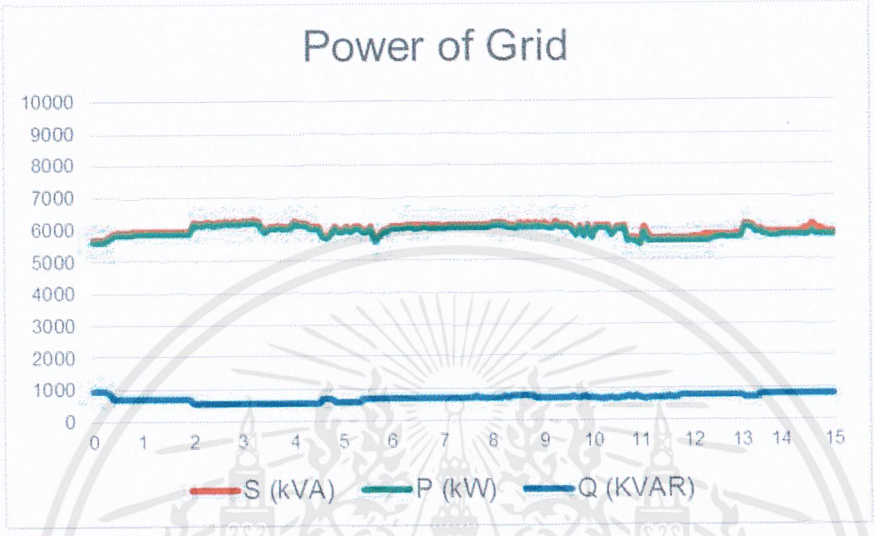


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

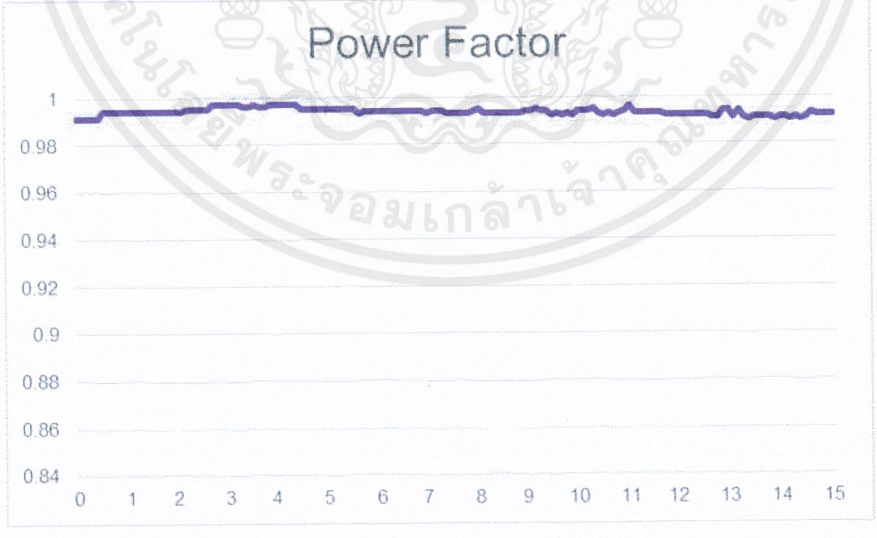
4.3.5 ผลการทดลองเมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด

4.3.5.1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

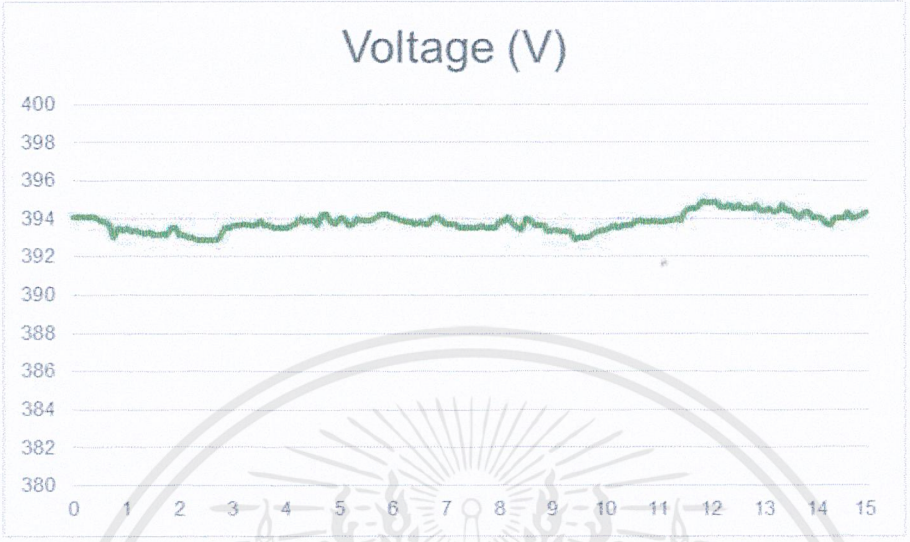
4.3.5.2 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

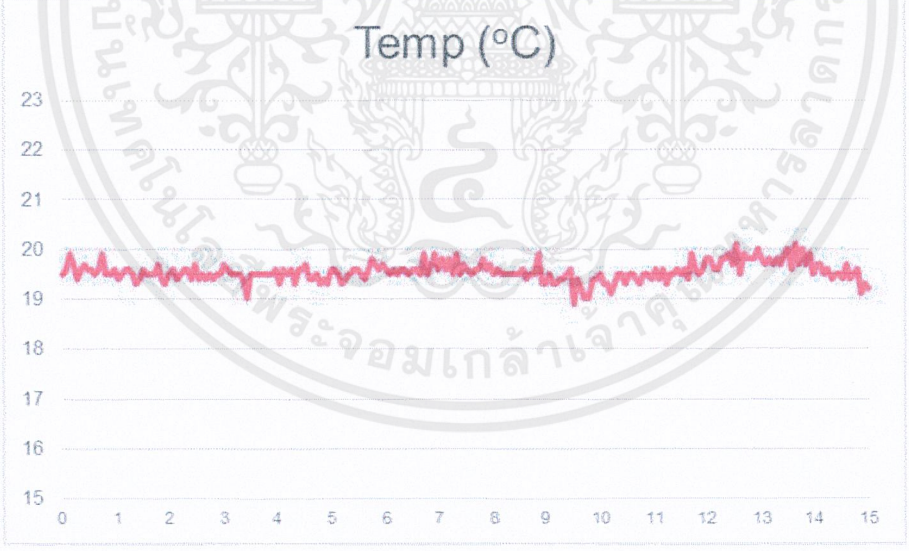
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5.3 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

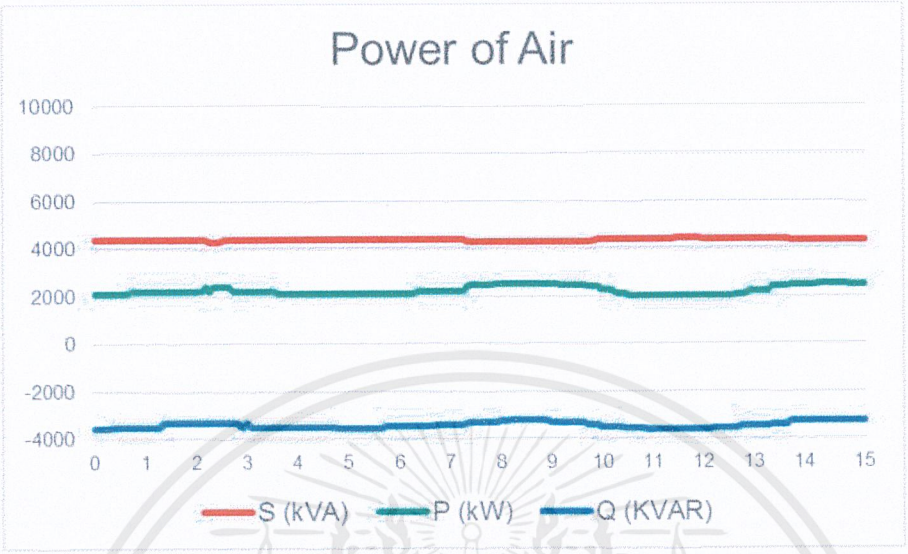
4.3.5.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องปรับอากาศ (Room) เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5.5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ (Load) เมื่อให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุป

ผลการทดลองของโครงงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยการทดลองทั้งหมดสองการทดลอง การทดลองแรกคือการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้การควบคุมแบบเวคเตอร์คอนโทรล (Vector Control) และแบบ PI (PI Control) ซึ่งเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปมีการทำงานแบบ ON-OFF เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่สามารถทำงานที่ความเร็วรอบต่ำกว่า ผลที่ได้ก็จะทำให้กราฟการบริโภคพลังงานแตกต่างกัน ส่วนสุดท้ายคือการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนจากเครื่องต้นแบบกลับสู่ระบบไมโครสมาร์ทกริดตามรูปแบบที่กำหนด 5 กรณี แล้วนำกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบและสังเกตค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อาทิเช่น ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบไมโครสมาร์ทกริดแบบมีนัยสำคัญ ผลการทดลองทั้งหมดที่เราได้มาจะทำเป็นกราฟต่าง ๆ ดังแสดงในบทที่ 4 เพื่อนำไปวิเคราะห์ในบทที่ 5 ต่อไป

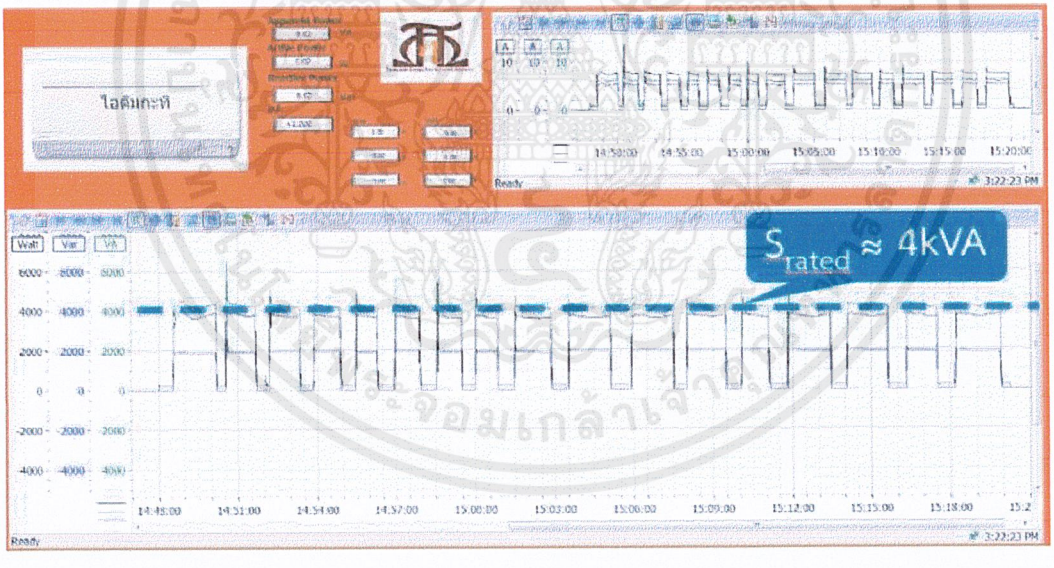
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

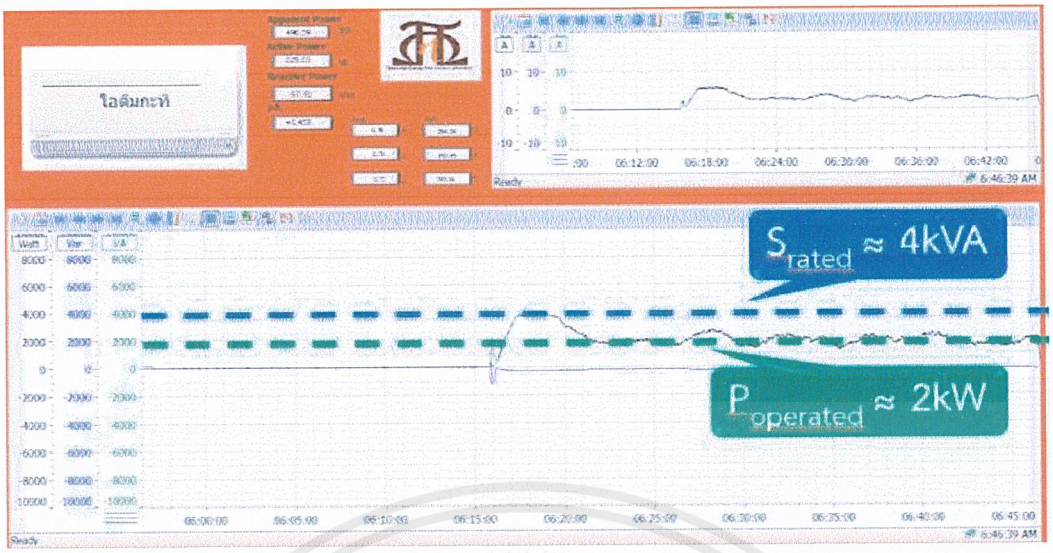
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากบทที่ 4 เพื่อจะสนับสนุนแนวคิดที่ว่านอกจากการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปมาเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้แล้วนั้น เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ยังมีความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนกลับคืนมาชดเชยให้กับโหลดต่าง ๆ ภายในบ้านรวมทั้งระบบไมโครสมาร์ทกริดจากการใช้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์เข้ามาช่วย ซึ่งเราได้แบ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกนั้นจะเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการประหยัดพลังงานจากการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และส่วนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการทดลองในบทที่ 4 ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลืออยู่จากการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเทียบกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.1 กราฟการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

เมื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากกราฟของทั้งสองการทดลองได้ค่าดังนี้

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป = 2.49 kWh

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ = 0.86 kWh

ในการทดลองของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์มีผลการทดลองดังนี้

ปริมาณพิกัดกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S_{rated}) มีค่า = 4 kVA

ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริง (P_{in}) มีค่า = 2 kW

ปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือนทั้งหมด (Q_{in}) มีค่า = $\sqrt{S_{rated}^2 - P_{in}^2}$

= $\sqrt{(4\times10^3)^2 - (2\times10^3)^2}$

= 3.46 kVAR

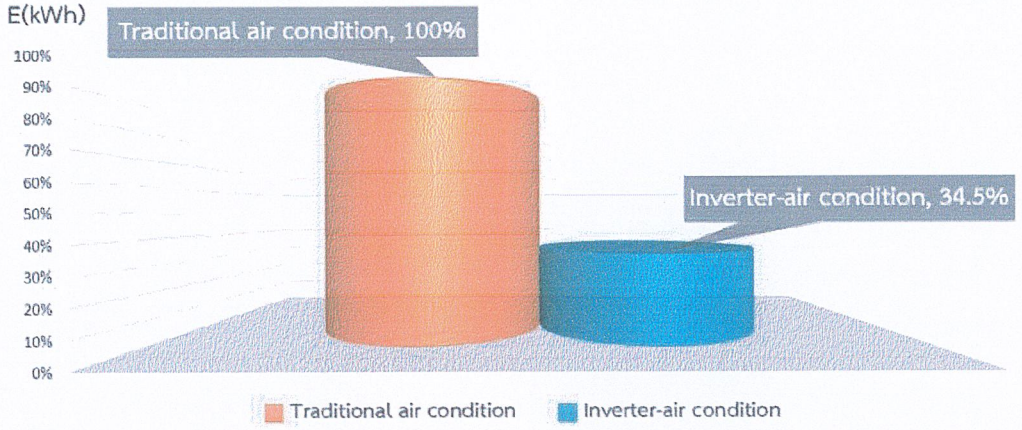
ปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ใช้ (Q_{use}) มีค่า = - 0.341 kVAR

ดังนั้น ปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือนที่เหลือใช้มีค่า = $Q_{in} - Q_{use}$

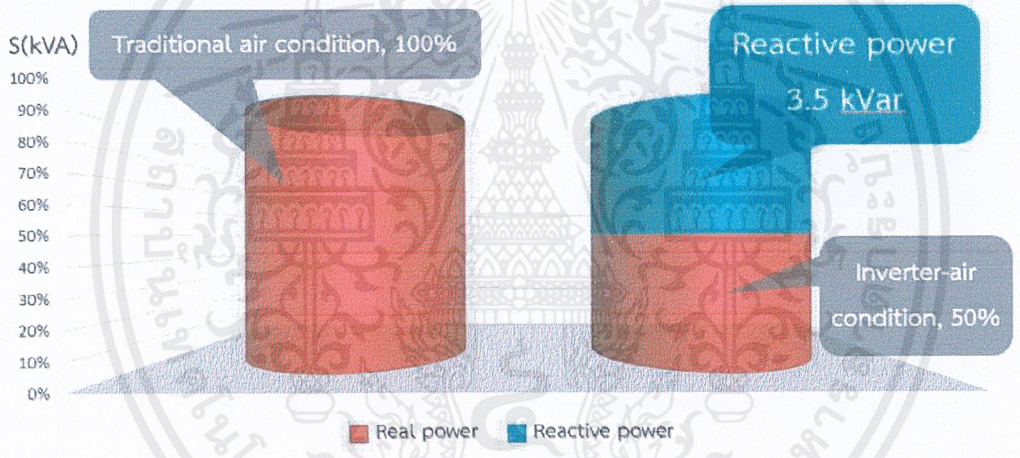
= 3.805 kVAR

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถนำกำลังไฟฟ้าเสมือนที่เหลือ (Residue of Reactive Power) มาชดเชยให้ระบบไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะเห็นได้ว่า เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 65.5% และจากรูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบริโภคกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเห็นได้ว่าสามารถลดกำลังไฟฟ้าจริงลงได้ถึง 50% เราสามารถนำกำลังไฟฟ้าส่วนที่เหลือมาปรับปรุงระบบไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศแบบบนเวอร์เตอร์ (เครื่องต้นแบบ)

สำหรับในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB ด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ของทั้ง 5 กรณี และวิเคราะห์ผลของจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนว่าส่งผลกระทบกับประสิทธิภาพของระบบไมโครสมาร์ทกริดอย่างไร ทั้งค่าความสูญเสีย การรักษาระดับแรงดัน หรือตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริด โดยที่ตลอดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนนั้น เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้อย่างปกติ

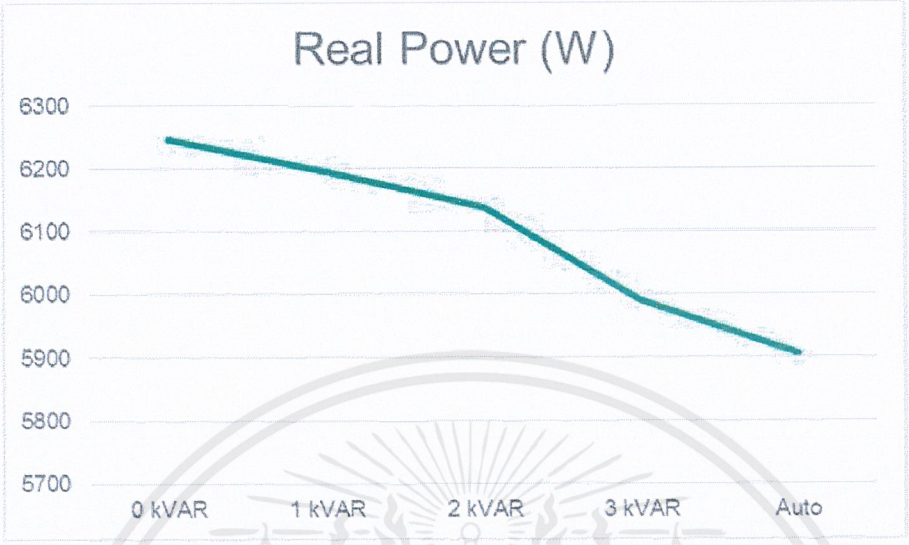
ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบผลการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ส่งผลต่อระบบไมโครสมาร์ทกริด

$Q_{REAL\ LAB}$	P_{grid} (W)	V_{grid} (V)	$p.f._{grid}$
ก่อนชดเชย Q	6246.2	391.4	0.92
1 kVAR	6195.6	391.9	0.95
2 kVAR	6137.6	392.7	0.96
3 kVAR	5990.6	393.7	0.98
Auto	5906.1	393.8	0.99

ผลการเปรียบเทียบของทั้ง 5 กรณีแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB โดยการให้แอคทีฟพาวเวอร์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดมีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด (unity power factor) ซึ่งประสิทธิภาพของระบบไมโครสมาร์ทกริดสามารถวิเคราะห์ได้ดังกราฟต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

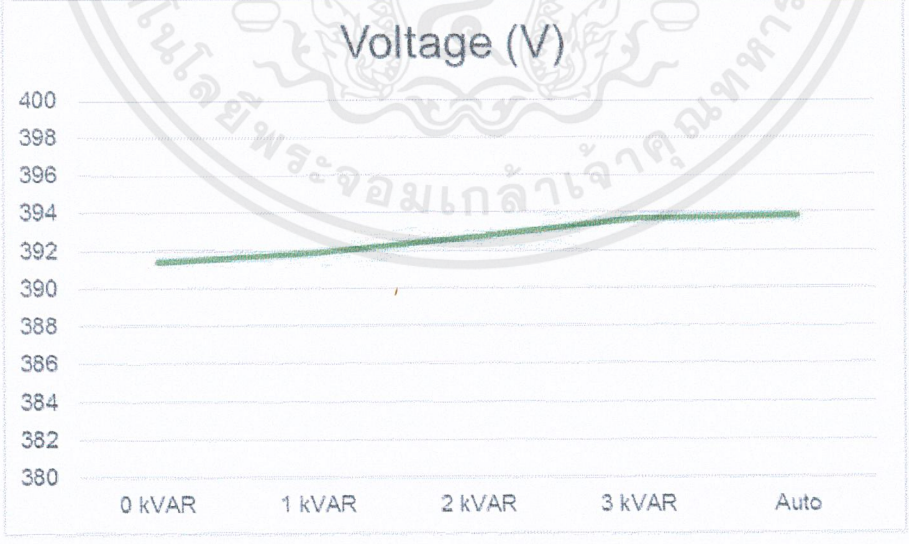
5.3.1 การวิเคราะห์ผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริง เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ค่าต่างๆ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริด REAL LAB มากขึ้น ก็จะทำให้ระบบไมโครสมาร์ทกริดบริโภคกำลังไฟฟ้าจริงในปริมาณที่ลดลง

5.3.2 การวิเคราะห์ผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB

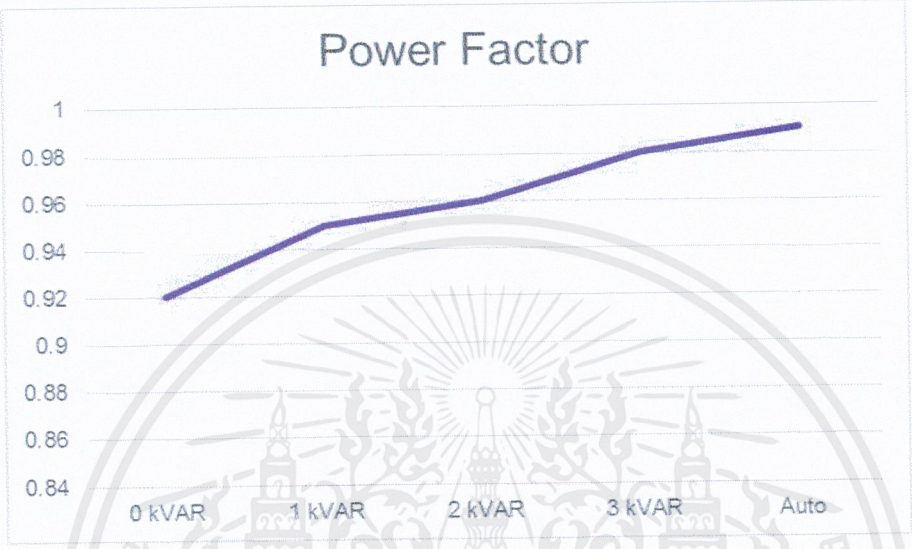


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริด REAL LAB มากขึ้น จะส่งผลให้ระดับแรงดันไฟฟ้ารวมของระบบไมโครสมาร์ทกริดเพิ่มขึ้น

5.3.3 การวิเคราะห์ผลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ของระบบไมโครสามาร์ทกริดของ REAL LAB



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ค่าต่างๆ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริด REAL LAB มากขึ้น จะส่งผลให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สรุป

จากการทดลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนจากเครื่องต้นแบบพบว่าในการทดลองกรณีในที่ 5 คือการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามปริมาณความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด ทำให้ระบบ ไมโครสมาร์ทกริดมีเสถียรภาพมากขึ้น กล่าวคือมีค่าตัวประกอบกำลังที่ใกล้เคียง 1 มากที่สุด ความสูญเสียของระบบลดลง ทั้งยังทำให้ระดับแรงดันของระบบมีความคงที่มากสุด เมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

6.1 บทสรุป

การเปลี่ยนจากการใช้เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์นั้นนอกจากจะช่วยให้อุณหภูมิในห้องทดลองมีความสม่ำเสมอมากขึ้นแล้วยังช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าได้ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าจริงลงได้ แต่จะเพิ่มกำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบขึ้นมาแทน กลุ่มของพวกเราจึงสนใจที่จะนำค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่สูญเสียไปเหล่านั้นกลับมาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ขึ้นมากที่สุด

โครงงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ ที่นอกจากประโยชน์ที่เราได้กล่าวไปข้างต้นนั้น เราสามารถนำกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จะสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์เหล่านั้นกลับมาช่วยชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้แก่โหลดต่าง ๆ ภายในบ้านซึ่งจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบสูงขึ้น และยังช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบได้อีกด้วย

จากผลการทดลองการสร้างเครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ พบว่าเมื่อเราทำการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถประหยัดพลังงานและลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบได้จากปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่ลดลงไปได้ถึง 1.7 kW ซึ่งจะก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าเสมือนที่สูงขึ้นถึง 3.46 kVAR และปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือนนี้เองที่เราได้นำมาใช้ในการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไฟฟ้าภายในบ้าน

จาก 3 กรณีที่เราได้ออกแบบให้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ทำการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน พบว่าเครื่องต้นแบบทำงานได้ดีที่สุดในรูปแบบของการทำงานแบบโคลสลูป (Close Loop) ซึ่งก็คือการสั่งการให้เครื่องต้นแบบชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้แก่ระบบตามปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลา (Real Time) เพราะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบมีค่าสูงสุดที่ 1 อย่างสม่ำเสมอ และช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงงานวิจัย มีข้อเสนอแนะและปัญหาดังนี้

1. ขนาดของห้องทำความเย็นที่ถูกจำกัดด้วยพื้นที่ของรถเข็นเพื่อที่จะออกแบบรถเข็น ให้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องต้นแบบได้ ทำให้ขนาดของห้องทดลองเย็นไม่เหมาะสมกับขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

2. เครื่องปรับอากาศที่ได้รับความอนุเคราะห์มาใช้ในการทำโครงงานวิจัยนี้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบ 3 เฟสซึ่งใช้กันมากในโรงงาน จึงเกิดข้อจำกัดในการนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบกับอาคารที่ใช้ไฟเพียง 1 เฟสหรือนอกห้องปฏิบัติการ

6.3 แนวทางการพัฒนา

โครงงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทภาพให้กับเครื่องต้นแบบ โดยการพัฒนาให้เครื่องต้นแบบนี้สามารถลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบได้ด้วย ดังนั้นนอกจากที่เราจะสามารถเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังได้จากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแล้ว ในระบบใหญ่ ๆ ที่กำลังไฟฟ้าเสมือนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถชดเชยได้เพียงพอ เรายังสามารถเพิ่มให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้จากการลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] EGAT. "DEMAND SIDE MANAGEMENT AND PLANNING DIVISION." [ระบบออนไลน์] Available: www.egat.co.th/ELECTRICITY-GENERATING-AUTHORITY-OF-THAILAND-(EGAT)

[2] "เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์." [ระบบออนไลน์] Available: http://www.mraircon.ph/faq.do

[3] "Energy Consumption." [ระบบออนไลน์] Available: http://www.daiin.com.vn/en/products/residential/modals/before_selecting/index.html

[4] "วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ." [ระบบออนไลน์] Available: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_14.pdf

[5] ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. "คอมเพรสเซอร์." [ระบบออนไลน์] Available:http://www.seahawkthailand.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=178587&Ntype=4

[6] "คอมเพรสเซอร์แบบสโครล์." [ระบบออนไลน์] Available: http://citrapelanginusantara.blogspot.com

[7] "คุณลักษณะของไดโอด." [ระบบออนไลน์] Available: http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_3.html

[8] "สัญลักษณ์และคุณลักษณะของไดโอด." [ระบบออนไลน์] Available: http://www.electronics-tutorials.ws/power/insulated-gate-bipolar-transistor.html

[9] Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, and Mauricio Aredes, **Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning,** John Wiley & Sons, Inc., 2007.

[10] Mukul C. Chandorkar, Deepakraj M.Divan, and Rambabu Adapa, "Control of Parallel Connected Invertersin Standalone ac Supply Systems", **IEEE Transactions on Industry Applications,** Vol. 29, No. 1, 1993, pp. 136-143.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Kyosuke Funami and Hiroaki Nishi, "Evaluation of Power Consumption and Comfort using Inverter Control of Air-conditioning", **IEEE,** 2011, pp 3236-3241.

[12] Qiqi ZHANG, Qiang GUO, and Yinghui YU, "Research on the Load Characteristics of Inverter and Constant Speed Air Conditioner and the Influence on Distribution Network", **China International Conference on Electricity Distribution,** No. CP0115, 2016, pp 1-4.

[13] Hirofumi Akagi, "New Trends in Active Filters for Power Conditioning", **IEEE Transactions on Industry Applications,** Vol. 32, No. 6, 1996, pp. 1312-1322.

[14] Patricio Salmerón*, Reyes S. Herrera, and Jesús R. Vázquez, "A new approach for three-phase loads compensation based on the instantaneous reactive power theory", **ScienceDirect,** 2007, pp. 605-617.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

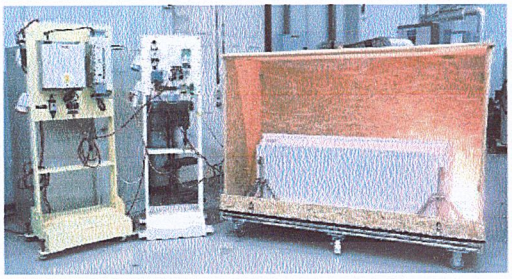
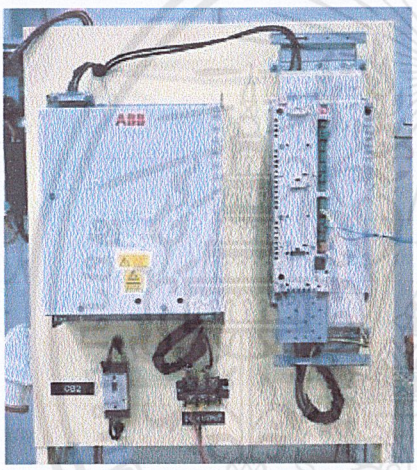
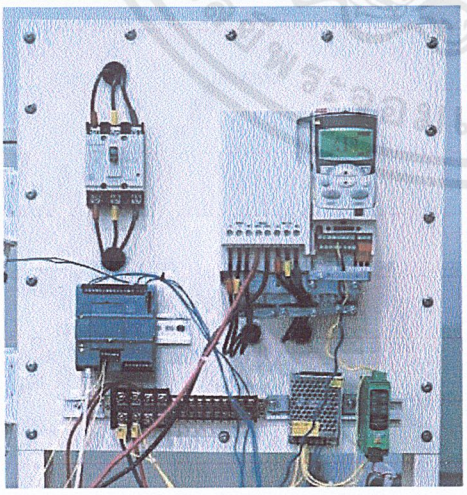
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

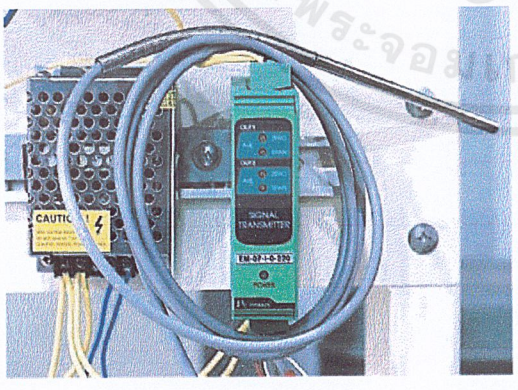
ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ

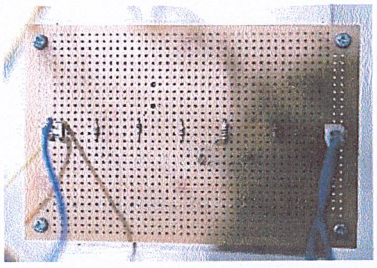
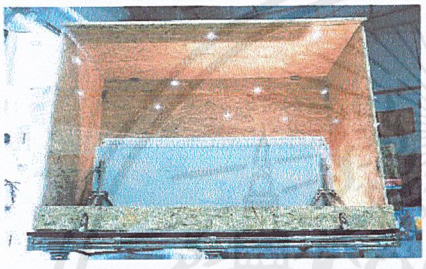
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	**เครื่องต้นแบบ** - ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนได้สูงสุด 2.5 kVAR - ประหยัดพลังงานกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป 65.5% - ช่วยรักษาระดับแรงดันให้คงที่ - ปรับปรุงค่า p.f. ให้สูงถึง 1
	**แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ (AFE)** รุ่น ACSM1-204 โมดูลรีเจนซัพพลายของ ABB
	**อินเวอร์เตอร์** รุ่นACS355-03E-15A6-4 ของบริษัท ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens - Programmable Logic Controller เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ **SIEMENS 6ES7232-4HA3-0XB0** - เป็นโมดูลเสริมอนาล็อคเอาท์พุท ของ SIMATIC S7-1200
	300Mbps Wireless N Nano Router No. TL-WR802N - Client Mode ทำให้อุปกรณ์ PLC สามารถเชื่อมต่อกันได้หลายตัว
	**Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100** - อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ - ใช้วัดอุณหภูมิในห้องทดลองแล้วส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้เข้าไปควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ผ่านระบบ PI ของอินเวอร์เตอร์

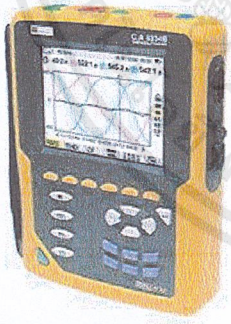
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	**วงจรความต้านทาน 500 Ω** - เปลี่ยนเอาท์พุทของ Temperature sensor ที่เป็นกระแสให้กลายเป็นแรงดันก่อนส่งให้กับ PLC เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนจอภาพ
	**ห้องจำลอง** - ขนาด $2 \times 0.75 \times 1.3\ m^3$
	เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป ของบริษัท สตาร์แอร์ (Star Aire) - ชนิด3เฟส 50 เฮิรตซ์ - ขนาด 38,600 บีทียูต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Auto Range Digital Multimeter - MY68) อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า อาทิเช่น แรงดัน กระแส เป็นต้น
	แคลมพ์มิเตอร์แบบดิจิตอล (Clamp Meter) อุปกรณ์ที่สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้โดยที่ไม่ต้องตัดต่อสายไฟแล้วต่อมิเตอร์แบบอนุกรมเพื่อวัดค่ากระแส
	**เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter)** เครื่องบันทึกและวัดค่าพลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงฮาร์มอนิกส์แบบดิจิตอล ซึ่งสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายพร้อม ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

คู่มือการใช้งาน ACSM1 Regen Supply Control และ ACS355 drives

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACSM1

Firmware Manual
ACSM1 Regen Supply Control Program

ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

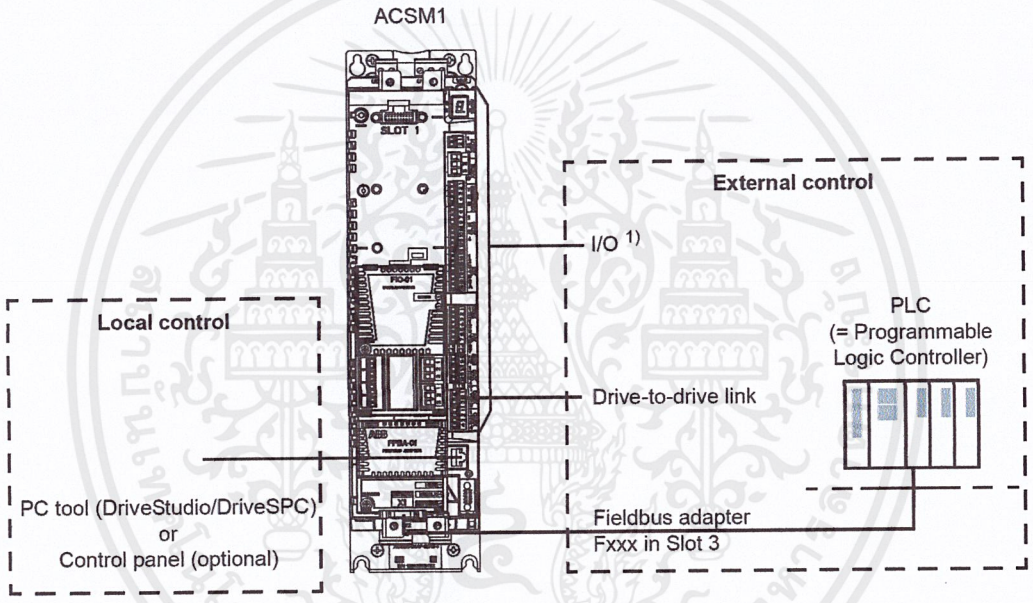
Supply module control and features

What this chapter contains

This chapter describes the control locations and operation modes of the regen supply module, and the features of the application program.

Local control vs. external control

The regen supply module has two main control locations: external and local. The control location is selected with the PC tool (Take/Release button) or with the LOC/REM key on the control panel.



1) Extra inputs/outputs can be added by installing optional I/O extension modules (FIO-xx) in drive Slot 1/2.

Local control

The control commands are given from a PC equipped with DriveStudio and/or DriveSPC, or from the control panel keypad when the regen supply module is in local control. DC-link voltage control and power control modes are available for local control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Local control is mainly used during commissioning and maintenance. The control panel always overrides the external control signal sources when used in local control. Changing the control location to local can be disabled by parameter 16.01 LOCAL LOCK.

The user can select by a parameter (46.03 LOCAL CTRL LOSS) how the regen supply module reacts to a control panel or PC tool communication break.

External control

When the regen supply module is in external control, control commands (start/stop, reset, etc.) are given through the fieldbus interface (via an optional fieldbus adapter module), the I/O terminals (digital inputs), optional I/O extension modules or the drive-to-drive link. External references are given through the fieldbus interface, analogue inputs and drive-to-drive link.

Two external control locations, EXT1 and EXT2, are available. The user can select control signals (e.g. start/stop and reference) and control modes for both external control locations. Depending on the user selection, either EXT1 or EXT2 is active at a time. Selection between EXT1/EXT2 is done via digital inputs or fieldbus control word.

Voltage control in ACSM1-204

The ACSM1-204 regen supply module is a four-quadrant switching-mode converter which means that the power flow through the converter is reversible. The regen supply module can control the power flow between the DC bus and the AC network.

In the DC voltage control mode, the regen supply module controls the power so that the DC bus voltage remains at its reference value. If the load is connected to the DC bus, the DC bus voltage control will transfer required power from the network or to the network so that a power balance between AC and DC sides is achieved.

By default, the converter controls the DC link voltage approximately to the peak value of the line-to-line voltage. The DC voltage reference can be set also higher with a parameter. Two line currents and the DC link voltage are measured and used for controlling.

The regen supply module can effectively control the power flow only if the DC bus voltage is higher or equal to the peak-value of the line-to-line mains voltage. To ensure this, the regen supply module has a voltage reserve controller that automatically raises the DC bus voltage if that is necessary to maintain the voltage reserve.

In the default configuration, the regen supply module operates with unity power factor. If needed, the regen supply module may generate or consume reactive power by setting reactive power reference to a non-zero value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control modes of the regen supply module

ACSM1-204 regen supply module has two control modes, DC voltage control mode and power control mode. In DC voltage control mode, the regen supply module controls the DC bus voltage according to given reference. In power control mode, the regen supply module controls AC power according to given power reference.

The DC voltage control mode is the typical operation mode of the regen supply module. The power control mode can be used if external power source is connected to the DC bus of the regen supply module. Control modes corresponding to different control locations can be selected in parameters 34.03, 34.05 and 34.07.

DC voltage control mode

The DC voltage reference can be selected in parameter 60.01. The default value is Internal, which means that the regen supply module generates the DC voltage reference internally according to the network voltage, operating point and desired voltage reserve (parameter 40.04).

Other sources of DC voltage reference include analog inputs, fieldbus and drive-to-drive link. Parameter 60.02 provides a constant reference source. In DC voltage reference choices other than Internal, the DC voltage controller controls the DC bus voltage to the selected reference. If the DC voltage reference is lower than what is needed to maintain desired voltage reserve, the regen supply module will internally increase the DC voltage reference so that the desired voltage reserve is maintained.

The desired voltage reserve can be set in parameter 40.04. The default value of 2% is suitable for most cases.

The DC voltage controller has a drooping feature that can be used if multiple regen supply modules are feeding the same DC bus. The drooping is enabled in parameter 64.02. The drooping rate is 20 V per nominal power. Thus, with nominal power regenerating the drooping raises the DC voltage by 20 V from its reference value.

The DC reference maximum and minimum values can be set with parameters 60.03 and 60.04. The DC reference ramp times per 100 V can be set with parameters 60.05 and 60.06.

Power control mode

The power reference source of the power control mode can be selected in parameter 62.01. By default, the power reference is given in parameter 62.02. Maximum and minimum limits of power reference can be set with parameters 62.03 and 62.04. Power reference ramp times per 1000 kW can be set with parameters 62.05 and 62.06.

The power control mode includes a feature for controlling over and undervoltage. In the power control mode, the DC bus voltage is determined by the balance of AC power which is set by the power reference and the external power fed to the DC link. The over- and undervoltage control modifies the output power of the regen supply module so that the DC bus voltage remains within the limits set by parameters 60.03 and 60.04.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control features

Reactive power control

The reactive power reference source can be selected in parameter 61.01. By default, the reactive power reference can be given in parameter 61.02. When the reference is positive, the regen supply module generates reactive power and appears as a capacitive component to the network. When the reference is negative, the regen supply module consumes reactive power and appears as an inductive component to the nerwork. If the current capacity of the regen supply module is fully used, the reactive power is reduced so that the required active power is delivered.

Note: Producing reactive power decreases available voltage reserve and may force the regen supply module to use a higher DC link voltage reference internally than is defined by the user.

Switching frequency reference

The switching frequency reference can be set with parameter 40.02 SF REF. The default value is 3 kHz but it can be increased up to 16 kHz.

Note: The higher the switching frequency, the more losses it produces at power stage, the available current magnitude may be reduced.

Braking chopper

The built-in braking chopper of the drive can be used to handle the energy generated by a decelerating motor. When the braking chopper is enabled and a resistor is connected, the chopper will start conducting when the DC link voltage of the drive reaches 780 V. The maximum braking power is achieved at 840 V.

Parallel connection

ACSM1-204 regen supply modules support redundant parallel connection of regen supply modules. Direct parallel connection without isolation transformers results in circulating zero-sequence current flow between paralleled units. In this case the circulating current elimination of parameter 64.01 must be enabled in all paralleled units.

In parallel configuration DC voltage controller drooping must be enabled in parameter 64.02 in all paralleled units. The same DC voltage reference must be used in all paralleled units.

If only one of the paralleled units is in the DC voltage control mode and the rest of them are in the power control mode, the DC voltage controller droop is not needed.

Paralleling regen supply modules without isolation transformers increases losses and may increase acoustic noise. Circulating current elimination decreases the maximum available current of the regen supply modules by 10%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Synchronization

Before the regen supply module can start modulation, it must synchronize itself with the network. To perform synchronization, the regen supply module needs network voltage, frequency and rotation direction data. The regen supply module can get network data automatically or you can give it manually. The ID run can also be used to get the user network data.

In the automatic mode, the regen supply module identifies the required network data at the start. Particularly in disturbed network conditions the repeatability and reliability of synchronization can be improved by using the user given data.

Automatic mode

The network data is identified automatically if necessary. The duration of identification is approximately 5…10 ms during which the unit takes 2…3 short current pulses from the network.

The automatic identification is done in the first start-up after the power-up and when ID run results have been cleared. In a unit with an externally powered JCU, the automatic identification is also done in the first start-up after the PU has been switched off.

User given data

Set the mains voltage, frequency and direction. User given data overrides any automatically identified data.

Partial user data is also supported. For example, by providing only the frequency eliminates the possible inaccuracies of automatic frequency identification. To eliminate the 5…10 ms delay of automatic identification, frequency and direction need to be set.

Values can be cleared by writing them to zero or by setting parameter 99.13 to Clear Result.

Network identification

Network identification can be used to get user network data. Group 99 can be used to initiate a network identification routine.

In network identification regen supply module synchronizes to the network with several current pulses and modulates for a few seconds. The identified values are written in parameters 63.01…63.03. Setting parameter 99.13 to Clear Result clears the user network data and sets synchronization to automatic mode.

Note: Synchronization to network may be unreliable if the current exceeds 50% of the nominal current at start-up.

Protections

The regen supply module is protected against short circuit, overcurrent, overvoltage and undervoltage. The thermal protection scheme of the regen supply module includes a thermal model that estimates the critical power stage temperatures and limits AC current if that is necessary.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If excessive power is fed to the DC link, the regen supply module cannot keep the DC link voltage at its reference value and the voltage increases. If the DC link voltage reaches 880 V, the regen supply module trips on overvoltage. If the DC link voltage is increased beyond that, the regen supply module may be damaged.

If excessive power is taken from the DC link, the regen supply module cannot reduce the AC current. When the current capability of the regen supply module is exceeded, it can no longer control the DC link voltage and the power is transferred through the freewheeling diodes of the power stage. Excessive current causes the regen supply module to trip on overcurrent but it cannot reduce the current flow. Therefore, excessive power taken from the DC link may damage the regen supply module.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Default connections of the control unit

What this chapter contains

This chapter shows the default control connections of the JCU Control Unit.

More information on the connectivity of the JCU is given in the *Hardware Manual* of the regen supply module.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes:

*Total maximum current: 200 mA

1) Selected by par. 12.01 DIO1 CONF.

2) Selected by par. 12.02 DIO2 CONF.

3) Selected by par. 12.03 DIO3 CONF.

4) Selected by jumper J1.

5) Selected by jumper J2.

Current:

J1/2

Voltage:

J1/2

X1

External power input 24 V DC, 1.6 A	+24VI	1
	GND	2

X2

Relay output: Brake close/open 250 V AC / 30 V DC 2 A	NO	1
	COM	2
	NC	3

X3

+24 V DC*	+24VD	1
Digital I/O ground	DGND	2
Digital input 1: Stop/start (as EXT2, par. 10.05)	DI1	3
Digital input 2: EXT1/EXT2 (par. 34.01)	DI2	4
+24 V DC*	+24VD	5
Digital I/O ground	DGND	6
Digital input 3: Fault reset (par. 10.08)	DI3	7
Digital input 4: Force stop (par. 10.18)	DI4	8
+24 V DC*	+24VD	9
Digital I/O ground	DGND	10
Digital input 5: Not connected	DI5	11
Digital input 6: Not connected	DI6	12
+24 V DC*	+24VD	13
Digital I/O ground	DGND	14
Digital input/output 1 [1]: Fan control signal (output)	DIO1	15
Digital input/output 2 [2]: Running	DIO2	16
+24 V DC*	+24VD	17
Digital I/O ground	DGND	18
Digital input/output 3 [3]: Fault	DIO3	19

X4

Reference voltage (+)	+VREF	1
Reference voltage (–)	–VREF	2
Ground	AGND	3
Analogue input 1 (mA or V) [4]: Not connected	AI1+	4
	AI1–	5
Analogue input 2 (mA or V) [5]: Not connected	AI2+	6
	AI2–	7
AI1 current/voltage selection		J1
AI2 current/voltage selection		J2
Thermistor input: Line filter temperature supervision	TH	8
Ground	AGND	9
Analogue output 1 (mA): Output current	AO1 (I)	10
Analogue output 2 (V): Actual DC link voltage	AO2 (U)	11
Ground	AGND	12

X5

Drive-to-drive link termination		J3
Drive-to-drive link	B	1
	A	2
	BGND	3

X6

Not in use. Both circuits must be closed for the supply module to start. See the hardware manual.	OUT1	1
	OUT2	2
	IN1	3
	IN2	4

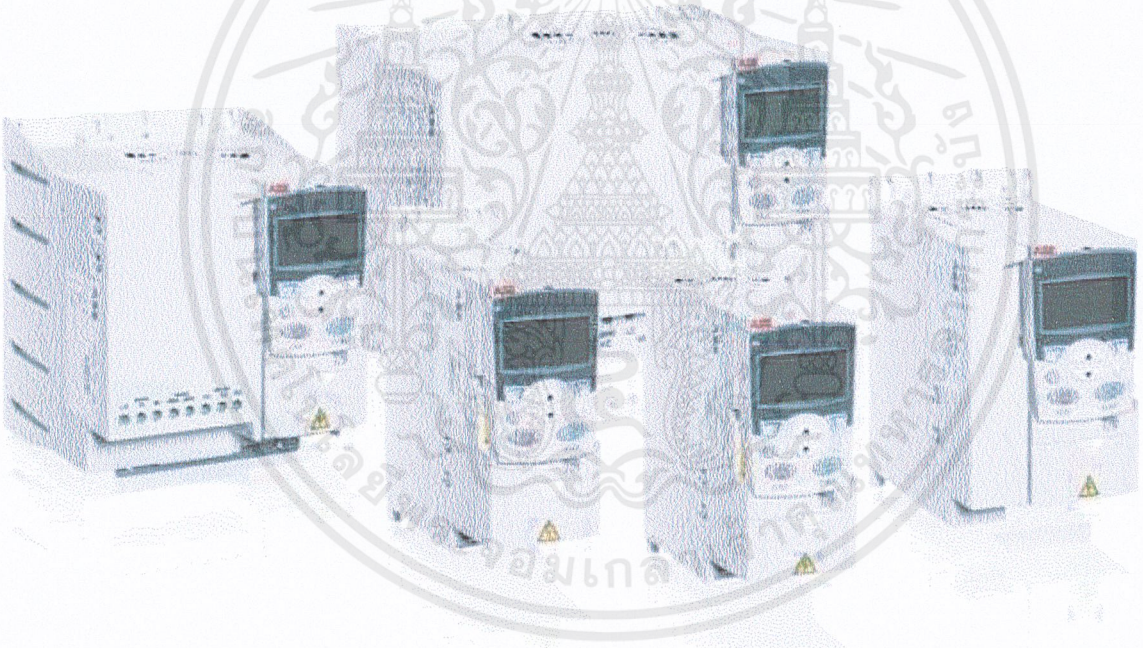
Control panel connection **X7**

Default connections of the control unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB machinery drives

User's manual
ACS355 drives



Power and productivity
for a better world™

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3

Operation principle and hardware description

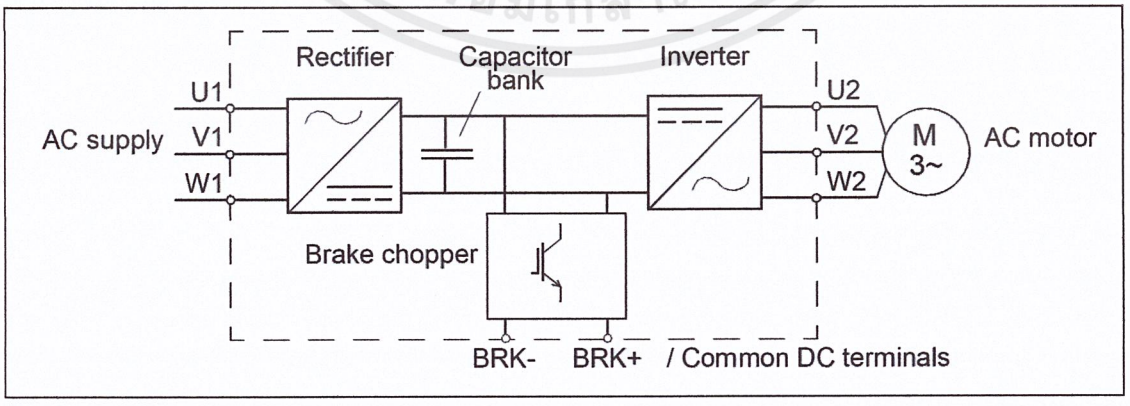
What this chapter contains

The chapter briefly describes the operation principle, layout, type designation label and type designation information. It also shows a general diagram of power connections and control interfaces.

Operation principle

The ACS355 is a wall or cabinet mountable drive for controlling asynchronous AC induction motors and permanent magnet synchronous motors.

The figure below shows the simplified main circuit diagram of the drive. The rectifier converts three-phase AC voltage to DC voltage. The capacitor bank of the intermediate circuit stabilizes the DC voltage. The inverter converts the DC voltage back to AC voltage for the AC motor. The brake chopper connects the external brake resistor to the intermediate DC circuit when the voltage in the circuit exceeds its maximum limit.

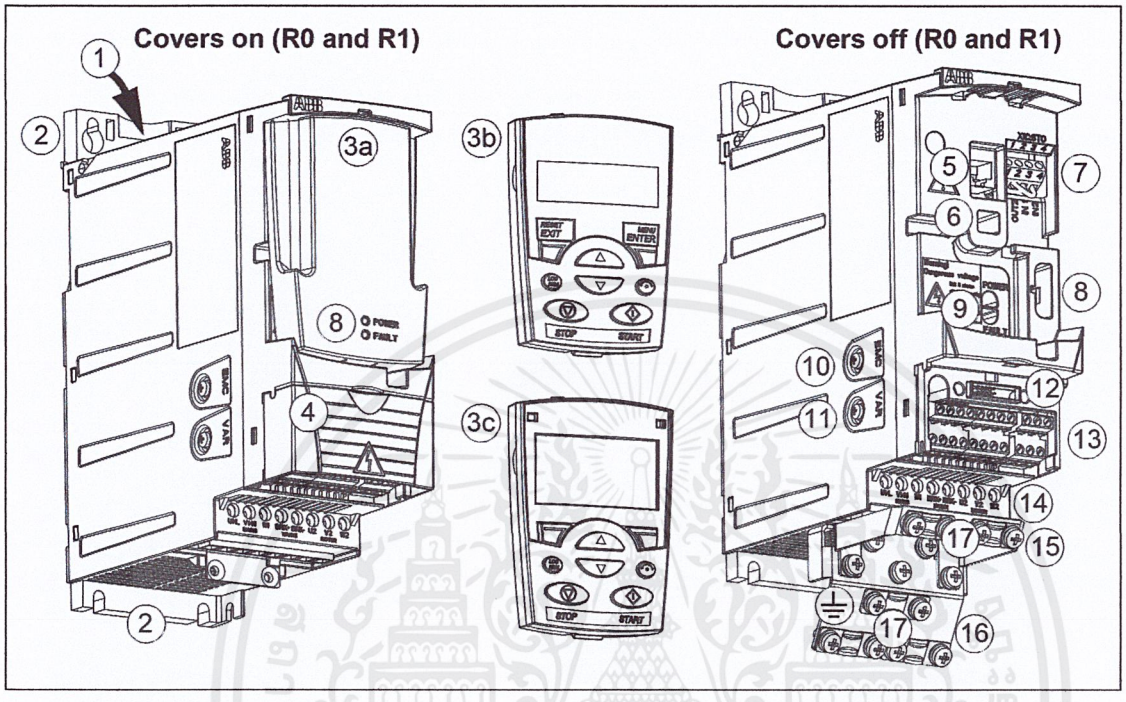


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product overview

Layout

The layout of the drive is presented below. The construction of the different frame sizes R0...R4 varies to some extent.



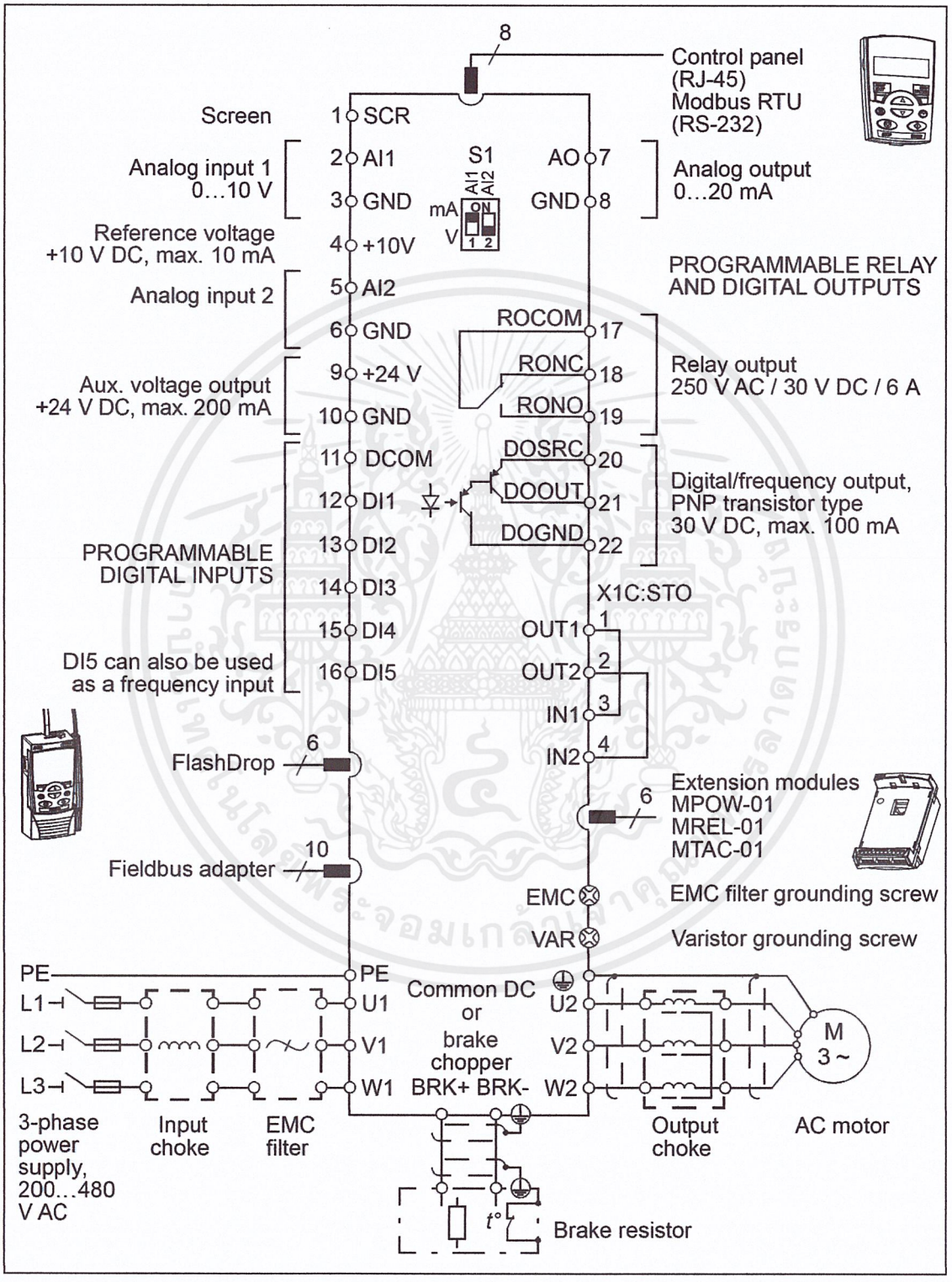
1	Cooling outlet through top cover
2	Mounting holes
3	Panel cover (a) / basic control panel (b) / assistant control panel (c)
4	Terminal cover (or optional potentiometer unit MPOT-01)
5	Panel connection
6	Option connection
7	STO (Safe torque off) connection
8	FlashDrop connection
9	Power OK and Fault LEDs. See section *LEDs* on page *372*.

10	EMC filter grounding screw (EMC). **Note:** The screw is on the front in frame size R4.
11	Varistor grounding screw (VAR)
12	Fieldbus adapter (serial communication) connection
13	I/O connections
14	Input power connection (U1, V1, W1), brake resistor connection (BRK+, BRK-) and motor connection (U2, V2, W2).
15	I/O clamping plate
16	Clamping plate
17	Clamps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Overview of power and control connections

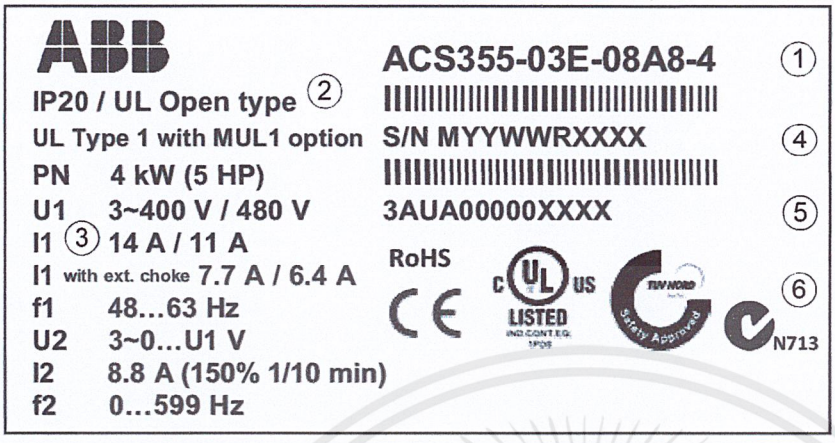
The diagram gives an overview of connections. I/O connections are parameterable. See chapter *Application macros* on page *107* for I/O connections for the different macros and chapter *Electrical installation* on page *49* for installation in general.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type designation label

The type designation label is attached to the left side of the drive. An example label and explanation of the label contents are shown below.



1	Type designation, see section *Type designation key* on page *31*
2	Degree of protection by enclosure (IP and UL/NEMA)
3	Nominal ratings, see section *Ratings* on page *374*.
4	Serial number of format MYYWWRXXXX, where M: Manufacturer YY: 10, 11, 12, … for 2010, 2011, 2012, … WW: 01, 02, 03, … for week 1, week 2, week 3, … R: A, B, C, … for product revision number XXXX: Integer starting every week from 0001
5	ABB MRP code of the drive
6	CE marking and C-Tick, C-UL US, RoHS and TÜV NORD marks (the label of your drive shows the valid markings)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type designation key

The type designation contains information on the specifications and configuration of the drive. You find the type designation on the type designation label attached to the drive. The first digits from the left express the basic configuration, for example ACS355-03E-07A3-4. The optional selections are given after that, separated by + signs, for example +J404. The explanations of the type designation selections are described below.

ACS355-03E-07A3-4+J404+...

ACS355 product series

1-phase/3-phase

01 = 1-phase input
03 = 3-phase input

Configuration

E = EMC filter connected, 50 Hz frequency
U = EMC filter disconnected, 60 Hz frequency
See section *Differences between the default values in E and U type drives*.

Output current rating

In format xxAy, where xx indicates the integer part and y the fractional part, eg, 07A3 means 7.3 A.
For more information, see section *Ratings* on page *374*.

Input voltage range

2 = 200…240 V AC
4 = 380…480 V AC

Options

B063 = IP66/IP67/UL Type 4x enclosure (product variant)
J400 = ACS-CP-A assistant control panel [1)]
J404 = ACS-CP-C basic control panel [1)]
J402 = MPOT-01 potentiometer
K451 = FDNA-01 DeviceNet
K452 = FLON-01 LonWorks®
K454 = FPBA-01 PROFIBUS DP
K457 = FCAN-01 CANopen
K458 = FMBA-01 Modbus RTU
K466 = FENA-01EtherNet/IP / Modbus TCP/PROFINET IO
K469 = FECA-01 EtherCAT
K470 = FEPL-02 Ethernet POWERLINK
K473 = FENA-11EtherNet/IP / Modbus TCP/PROFINET IO
K475 = FENA-21EtherNet/IP / Modbus TCP/PROFINET IO
H376 = Cable gland kit (IP66/IP67/UL Type 4x)
F278 = Input switch kit
C169 = Pressure compensation valve

Extension modules

G406 = MPOW-01 auxiliary power extension module
L502 = MTAC-01 pulse encoder interface module
L511 = MREL-01 output relay module

1) The ACS355 is compatible with panels that have the following panel revisions and panel firmware versions. To find out the revision and firmware version of your panel, see page *76*.

Panel type	Type code	Panel revision	Panel firmware version
Basic control panel	ACS-CP-C	M or later	1.13 or later
Assistant control panel	ACS-CP-A	F or later	2.04 or later
Assistant control panel (Asia)	ACS-CP-D	Q or later	2.04 or later

Note that unlike the other panels, the ACS-CP-D is ordered with a separate material code.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11

Program features

What this chapter contains

The chapter describes program features. For each feature, there is a list of related user settings, actual signals, and fault and alarm messages.

Start-up assistant

Introduction

The Start-up assistant (requires the assistant control panel) guides the user through the start-up procedure, helping to enter the requested data (parameter values) to the drive. The Start-up assistant also checks that the entered values are valid, ie, within the allowed range.

The Start-up assistant calls other assistants, each of which guides the user through the task of specifying a related parameter set. At the first start, the drive suggests entering the first task, Language select, automatically. The user may activate the tasks either one after the other as the Start-up assistant suggests, or independently. The user may also adjust the drive parameters in the conventional way without using the assistant at all.

See section *Assistants mode* on page *96* for how to start the Start-up assistant or other assistants.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Default order of the tasks

Depending on the selection made in the Application task (parameter *9902 APPLIC MACRO*), the Start-up assistant decides which consequent tasks it suggests. The default tasks are shown in the table below.

Application selection	Default tasks
ABB STANDARD	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT1, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
3-WIRE	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT1, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
ALTERNATE	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT1, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
MOTOR POT	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT1, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
HAND/AUTO	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT1, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
PID CONTROL	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, PID control, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
TORQUE CTRL	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals
AC500 MODBUS	Language select, Motor set-up, Application, Option modules, Speed control EXT1, Speed control EXT2, Start/Stop control, Timed functions, Protections, Output signals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

List of the tasks and the relevant drive parameters

Depending on the selection made in the Application task (parameter *9902 APPLIC MACRO*), the Start-up assistant decides which consequent tasks it suggests.

Name	Description	Set parameters
Language select	Selecting the language	*9901*
Motor set-up	Setting the motor data Performing the motor identification. (If the speed limits are not in the allowed range: Setting the limits.)	*9904*...*9909* *9910*
Application	Selecting the application macro	*9902*, parameters associated to the macro
Option modules	Activating the option modules	Group *35 MOTOR TEMP MEAS*, group *52 PANEL COMM* *9802*
Speed control EXT1	Selecting the source for the speed reference (If AI1 is used: Setting analog input AI1 limits, scale, inversion) Setting the reference limits Setting the speed (frequency) limits Setting the acceleration and deceleration times	*1103* (*1301*...*1303*, *3001*) *1104*, *1105* *2001*, *2002* (*2007*, *2008*) *2202*, *2203*
Speed control EXT2	Selecting the source for the speed reference (If AI1 is used: Setting analog input AI1 limits, scale, inversion) Setting the reference limits	*1106* (*1301*...*1303*, *3001*) *1107*, *1108*
Torque control	Selecting the source for the torque reference (If AI1 is used: Setting analog input AI1 limits, scale, inversion) Setting the reference limits	*1106* (*1301*...*1303*, *3001*) *1107*, *1108*
PID control	Selecting the source for the process reference (If AI1 is used: Setting analog input AI1 limits, scale, inversion) Setting the reference limits Setting the speed (frequency) limits Setting the source and limits for the process actual value	*1106* (*1301*...*1303*, *3001*) *1107*, *1108* *2001*, *2002* (*2007*, *2008*) *4016*, *4018*, *4019*

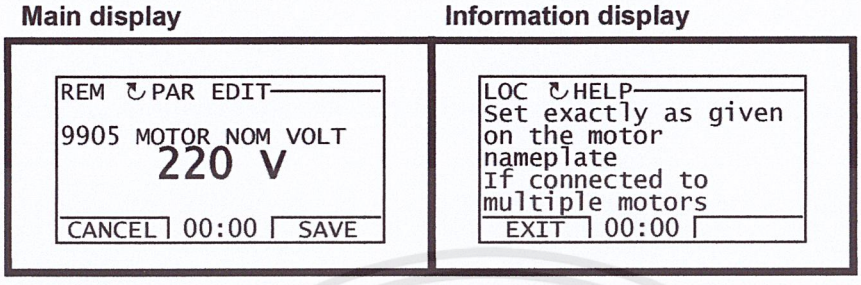
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	Description	Set parameters
Start/Stop control	Selecting the source for start and stop signals of the two external control locations, EXT1 and EXT2	*1001*, *1002*
	Selecting between EXT1 and EXT2	*1102*
	Defining the direction control	*1003*
	Defining the start and stop modes	*2101...2103*
	Selecting the use of Run enable signal	*1601*
Protections	Setting the current and torque limits	*2003*, *2017*
Output signals	Selecting the signals indicated through relay output RO1 and, if MREL-01 output relay module is in use, RO2...RO4.	Group *14 RELAY OUTPUTS*
	Selecting the signals indicated through analog output AO	Group *15 ANALOG OUTPUTS*
	Setting the minimum, maximum, scaling and inversion	
Timed functions	Setting the timed functions	Group *36 TIMED FUNCTIONS*
	Selecting the timed start/stop control for external control locations EXT1 and EXT2	*1001*, *1002*
	Selecting timed EXT1/EXT2 control	*1102*
	Activation of timed constant speed 1	*1201*
	Selecting timed function status indicated through relay output RO1 or, if MREL-01 output relay module is in use, RO2...RO4.	*1401...1403*, *1410*
	Selecting timed PID1 parameter set 1/2 control	*4027*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contents of the assistant displays

There are two types of displays in the Start-up assistant: Main displays and information displays. The main displays prompt the user to feed in information. The assistant steps through the main displays. The information displays contain help texts for the main displays. The figure below shows a typical example of both and explanations of the contents.

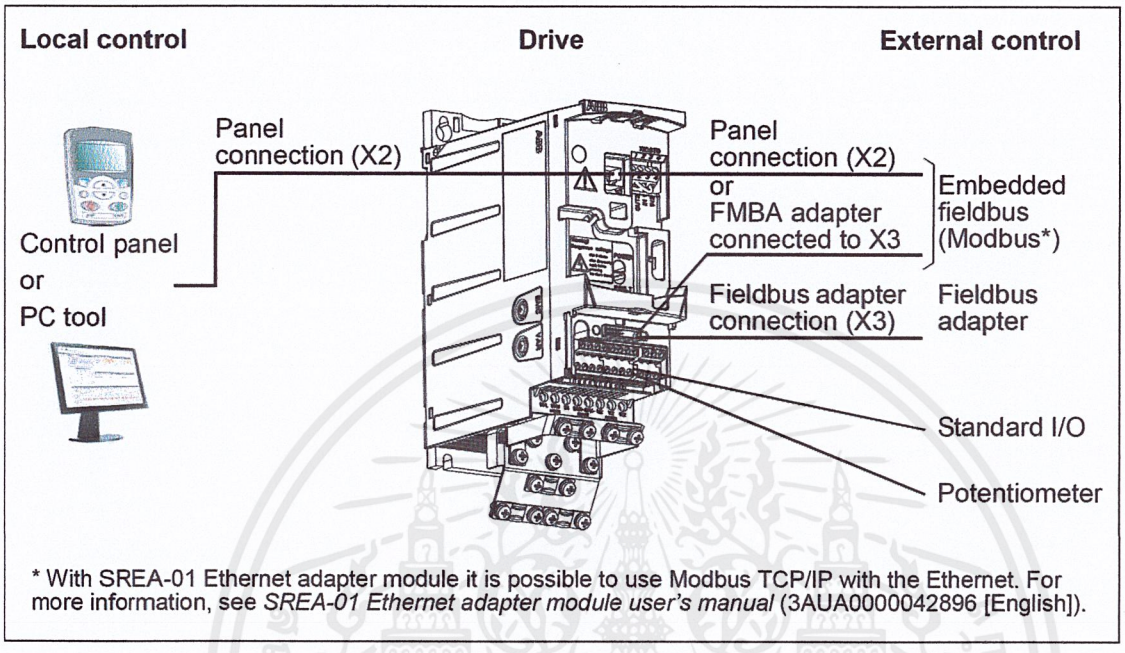


1	Parameter	Help text ...
2	Feed-in field	... help text continued

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Local control vs. external control

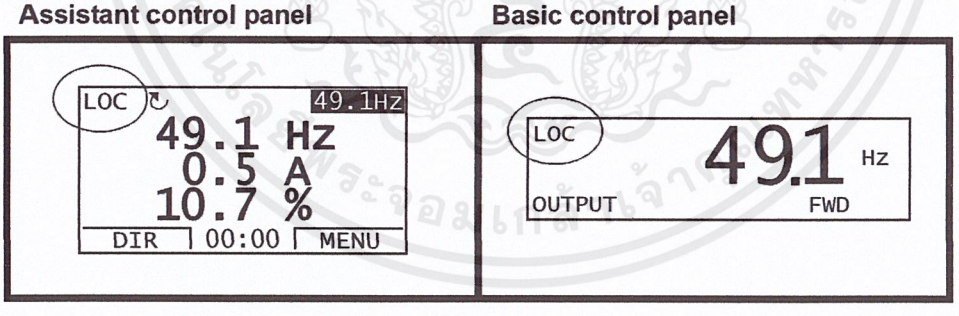
The drive can receive start, stop and direction commands and reference values from the control panel or through digital and analog inputs. Embedded fieldbus or an optional fieldbus adapter enables control over an open fieldbus link. A PC equipped with the DriveWindow Light 2 PC tool can also control the drive.



* With SREA-01 Ethernet adapter module it is possible to use Modbus TCP/IP with the Ethernet. For more information, see *SREA-01 Ethernet adapter module user's manual* (3AUA0000042896 [English]).

Local control

The control commands are given from the control panel keypad when the drive is in local control. LOC indicates local control on the panel display.



The control panel always overrides the external control signal sources when used in local control.

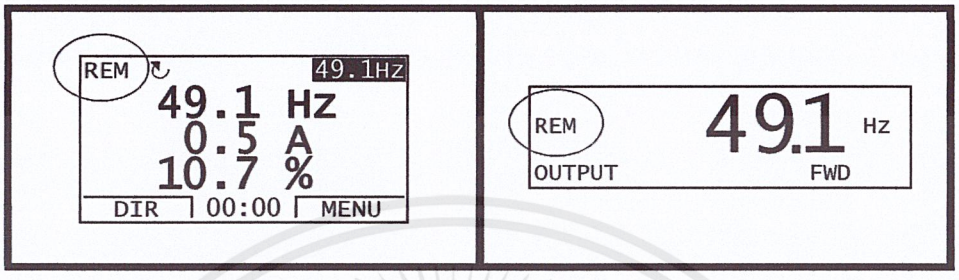
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External control

When the drive is in external (remote) control, the commands are given through the standard I/O terminals (digital and analog inputs) and/or the fieldbus interface. In addition, it is also possible to set the control panel as the source for the external control.

External control is indicated with REM on the panel display.

Assistant control panel **Basic control panel**



The user can connect the control signals to two external control locations, *EXT1* or *EXT2*. Depending on the user selection, either one is active at a time. This function operates on a 2 ms time level.

Settings

Panel key	Additional information
LOC/REM	Selection between local and external (remote) control
Parameter	
1102	Selection between *EXT1* and *EXT2*
1001/*1002*	Start, stop, direction source for *EXT1*/*EXT2*
1103/*1106*	Reference source for *EXT1*/*EXT2*

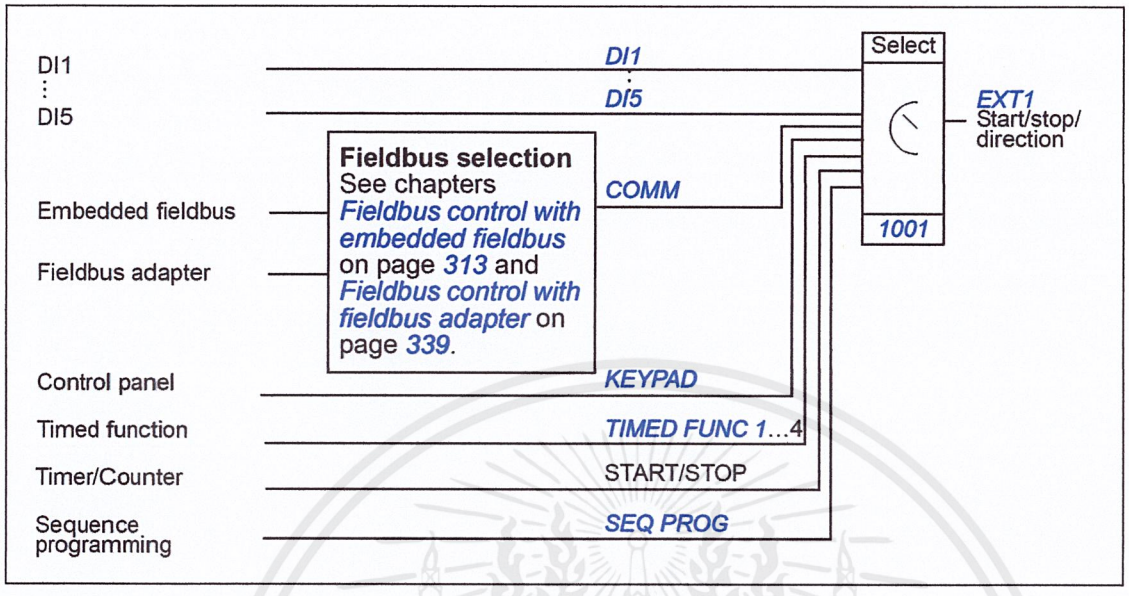
Diagnostics

Actual signal	Additional information
0111/*0112*	*EXT1*/*EXT2* reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

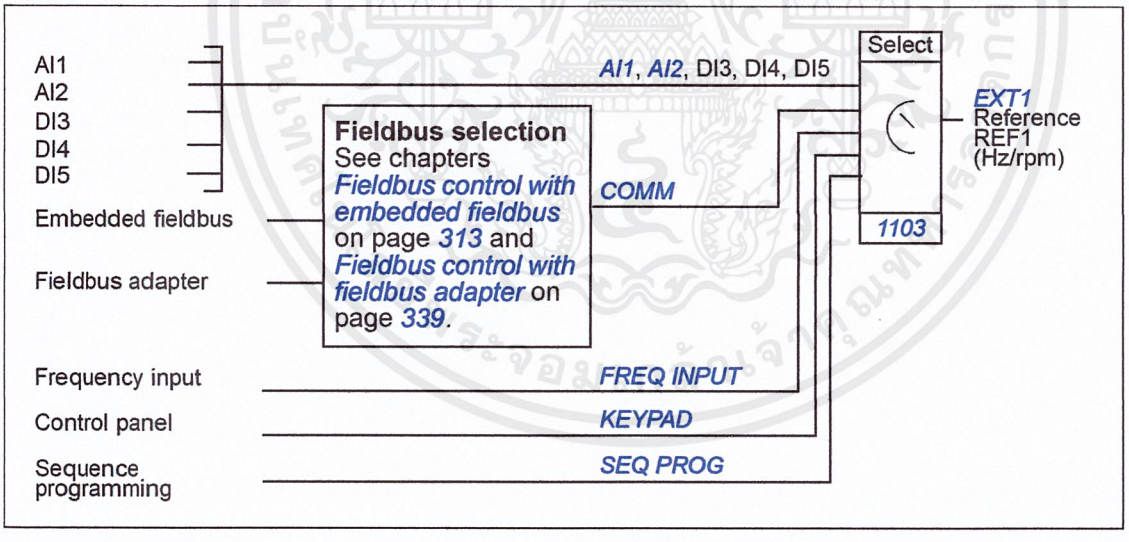
Block diagram: Start, stop, direction source for *EXT1*

The figure below shows the parameters that select the interface for start, stop, and direction for external control location *EXT1*.



Block diagram: Reference source for *EXT1*

The figure below shows the parameters that select the interface for the speed reference of external control location *EXT1*.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reference types and processing

The drive can accept a variety of references in addition to the conventional analog input and control panel signals.

- The drive reference can be given with two digital inputs: One digital input increases the speed, the other decreases it.
- The drive can form a reference out of two analog input signals by using mathematical functions: addition, subtraction, multiplication and division.
- The drive can form a reference out of an analog input signal and a signal received through a serial communication interface by using mathematical functions: addition and multiplication.
- The drive reference can be given with frequency input.
- In external control location EXT1/2, the drive can form a reference out of an analog input signal and a signal received through Sequence programming by using a mathematical function: addition.

It is possible to scale the external reference so that the signal minimum and maximum values correspond to a speed other than the minimum and maximum speed limits.

Settings

Parameter	Additional information
Group *11 REFERENCE SELECT*	External reference source, type and scaling
Group *20 LIMITS*	Operating limits
Group *22 ACCEL/DECEL*	Speed reference acceleration/deceleration ramps
Group *24 TORQUE CONTROL*	Torque reference ramp times
Group *32 SUPERVISION*	Reference supervision

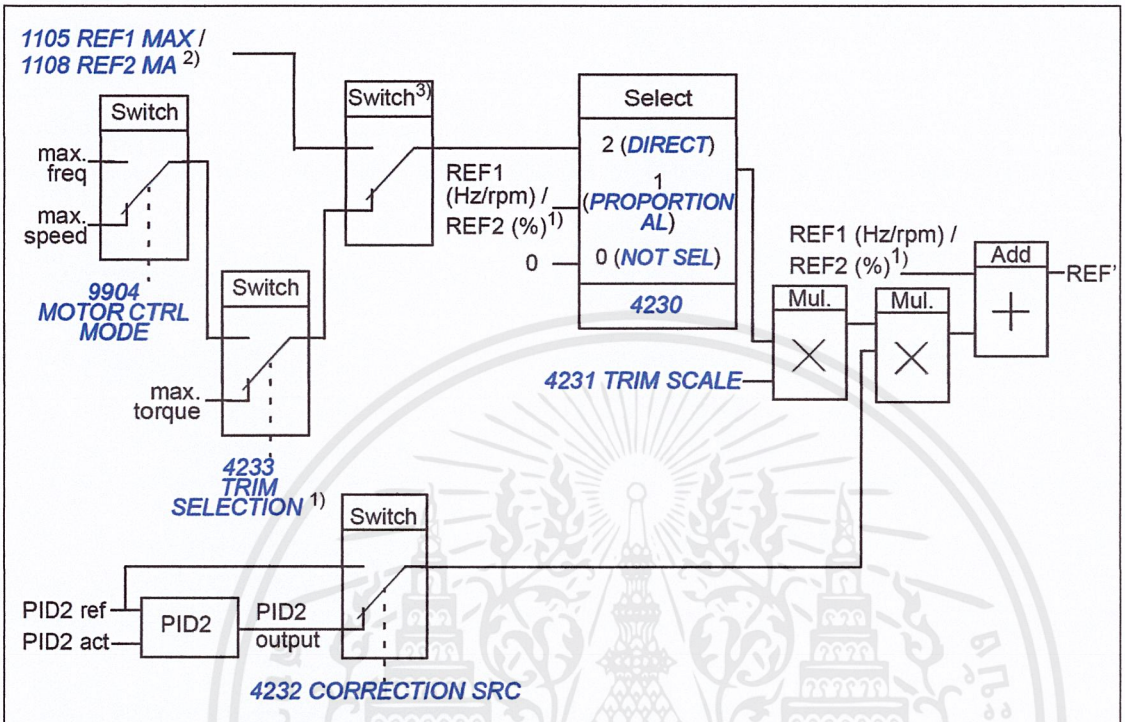
Diagnostics

Actual signal	Additional information
0111/0112	REF1/REF2 reference
Group *03 FB ACTUAL SIGNALS*	References in different stages of the reference processing chain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reference trimming

In reference trimming, the external reference is corrected depending on the measured value of a secondary application variable. The block diagram below illustrates the function.



REF1 (Hz/rpm) / REF2 (%) = Drive reference before trimming
REF' = Drive reference after trimming
max. speed = par. *2002* (or *2001* if the absolute value is greater)
max. freq = par. *2008* (or *2007* if the absolute value is greater)
max. torque = par. *2014* (or *2013* if the absolute value is greater)
PID2 ref = par. *4210*
PID2 act = par. *4214...4221*

1) **Note:** Torque reference trimming is only for external reference REF2 (%)

2) REF1 or REF2 depending on which is active. See parameter *1102*.

3) When par. *4232* = *PID2REF*, the maximum trimming reference is defined by parameter *1105* when REF1 is active and by parameter *1108* when REF2 is active.
When par. *4232* = *PID2OUTPUT*, the maximum trimming reference is defined by parameter *2002* if parameter *9904* value is *VECTOR: SPEED* or *VECTOR: TORQ* and by parameter *2008* value if parameter *9904* value is *SCALAR: FREQ*.

Settings

Parameter	Additional information
1102	REF1/2 selection
4230 ...4232	Trimming function settings
4201 ...4229	PID control settings
Group *20 LIMITS*	Drive operation limits

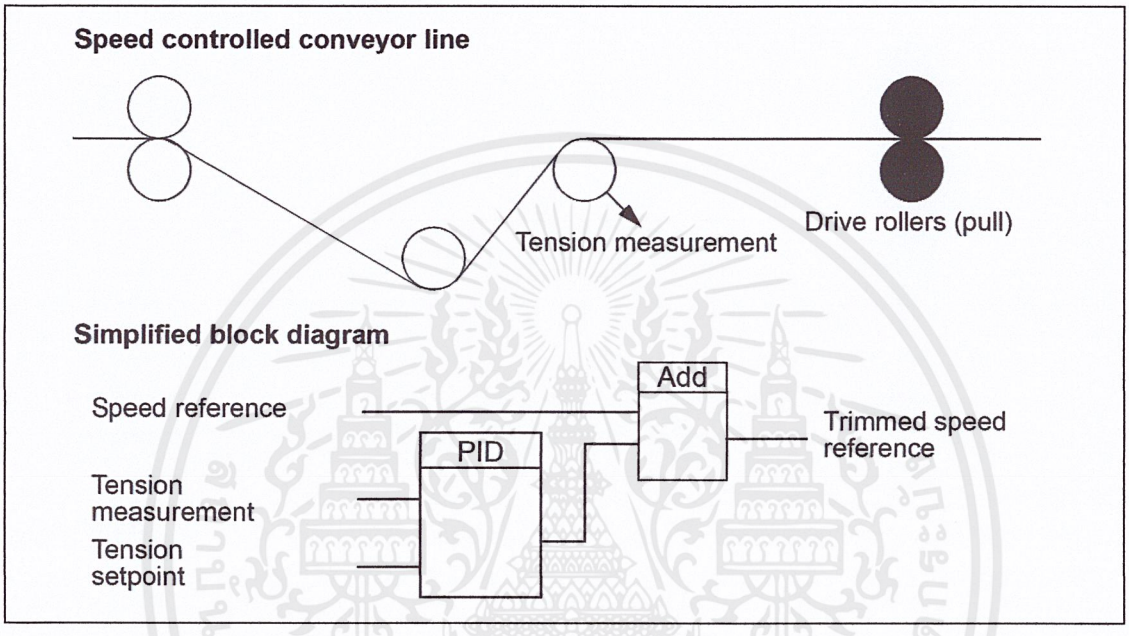
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Example

The drive runs a conveyor line. It is speed controlled but the line tension also needs to be taken into account: If the measured tension exceeds the tension setpoint, the speed will be slightly decreased, and vice versa.

To accomplish the desired speed correction, the user

- activates the trimming function and connects the tension setpoint and the measured tension to it.
- tunes the trimming to a suitable level.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmable analog inputs

The drive has two programmable analog voltage/current inputs. The inputs can be inverted, filtered and the maximum and minimum values can be adjusted. The update cycle for the analog input is 8 ms (12 ms cycle once per second). The cycle time is shorter when information is transferred to the application program (8 ms -> 2 ms).

Settings

Parameter	Additional information
Group *11 REFERENCE SELECT*	AI as reference source
Group *13 ANALOG INPUTS*	Analog input processing
3001, *3021*, *3022*, *3107*	AI loss supervision
Group *35 MOTOR TEMP MEAS*	AI in motor temperature measurement
Groups *40 PROCESS PID SET 1* ...*42 EXT / TRIM PID*	AI as PID process control reference or actual value source
8420, *8425*, *8426* *8430*, *8435*, *8436* ... *8490*, *8495*, *8496*	AI as Sequence programming reference or trigger signal

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0120, *0121*	Analog input values
1401	AI1/AI2 signal loss through RO 1
1402/*1403*/*1410*	AI1/AI2 signal loss through RO 2...4. With option MREL-01 only.
Alarm	
AI1 LOSS / *AI2 LOSS*	AI1/AI2 signal below limit *3021 AI1 FAULT LIMIT* / *3022 AI2 FAULT LIMIT*
Fault	
AI1 LOSS / *AI2 LOSS*	AI1/AI2 signal below limit *3021 AI1 FAULT LIMIT* / *3022 AI2 FAULT LIMIT*
PAR AI SCALE	Incorrect AI signal scaling (*1302* < *1301* or *1305* < *1304*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmable analog output

One programmable current output (0…20 mA) is available. Analog output signal can be inverted, filtered and the maximum and minimum values can be adjusted. The analog output signals can be proportional to motor speed, output frequency, output current, motor torque, motor power, etc. The update cycle for the analog output is 2 ms.

Analog output can be controlled with Sequence programming. It is also possible to write a value to an analog output through a serial communication link.

Settings

Parameter	Additional information
Group *15 ANALOG OUTPUTS*	AO value selection and processing
Group *35 MOTOR TEMP MEAS*	AO in motor temperature measurement
8423/8433/…/8493	AO control with Sequence programming

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0124	AO value
0170	AO control values defined by Sequence programming
Fault	
PAR AO SCALE	Incorrect AO signal scaling (*1503* < *1502*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmable digital inputs

The drive has five programmable digital inputs. The update time for the digital inputs is 2 ms.

One digital input (DI5) can be programmed as a frequency input. See section *Frequency input* on page *135*.

Settings

Parameter	Additional information
Group *10 START/STOP/DIR*	DI as start, stop, direction
Group *11 REFERENCE SELECT*	DI in reference selection, or reference source
Group *12 CONSTANT SPEEDS*	DI in constant speed selection
Group *16 SYSTEM CONTROLS*	DI as external Run enable, fault reset or user macro change signal
Group *19 TIMER & COUNTER*	DI as timer or counter control signal source
2013, *2014*	DI as torque limit source
2109	DI as external emergency stop command source
2201	DI as acceleration and deceleration ramp selection signal
2209	DI as zero ramp force signal
3003	DI as external fault source
Group *35 MOTOR TEMP MEAS*	DI in motor temperature measurement
3601	DI as timed function enable signal source
3622	DI as booster activation signal source
4010/*4110*/*4210*	DI as PID controller reference signal source
4022/*4122*	DI as sleep function activation signal in PID1
4027	DI as PID1 parameter set 1/2 selection signal source
4228	DI as external PID2 function activation signal source
Group *84 SEQUENCE PROG*	DI as Sequence programming control signal source

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0160	DI status
0414	DI status at the time the latest fault occurred

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmable relay output

The drive has one programmable relay output. It is possible to add three additional relay outputs with the optional MREL-01 output relay module. For more information, see *MREL-01 output relay module user's manual* (3AUA0000035974 [English]).

With a parameter setting it is possible to choose what information to indicate through the relay output: Ready, running, fault, alarm, etc. The update time for the relay output is 2 ms.

A value can be written to a relay output through a serial communication link.

Settings

Parameter	Additional information
Group *14 RELAY OUTPUTS*	RO value selections and operation times
8423	RO control with Sequence programming

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0134	RO Control word through fieldbus control
0162	RO 1 status
0173	RO 2...4 status. With option MREL-01 only.

Frequency input

Digital input DI5 can be programmed as a frequency input. Frequency input (0...16000 Hz) can be used as the external reference signal source. The update time for the frequency input is 50 ms. Update time is shorter when information is transferred to the application program (50 ms -> 2 ms).

Settings

Parameter	Additional information
Group *18 FREQ IN & TRAN OUT*	Frequency input minimum and maximum values and filtering
1103/*1106*	External reference REF1/2 through frequency input
4010, *4110*, *4210*	Frequency input as PID reference source

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0161	Frequency input value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor output

The drive has one programmable transistor output. The output can be used either as a digital output or frequency output (0...16000 Hz). The update time for the transistor/frequency output is 2 ms.

Settings

Parameter	Additional information
Group *18 FREQ IN & TRAN OUT*	Transistor output settings
8423	Transistor output control with Sequence programming

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0163	Transistor output status
0164	Transistor output frequency

Actual signals

Several actual signals are available:

- Drive output frequency, current, voltage and power
- Motor speed and torque
- Intermediate circuit DC voltage
- Active control location (LOCAL, EXT1 or EXT2)
- Reference values
- Drive temperature
- Operating time counter (h), kWh counter
- Digital I/O and analog I/O status
- PID controller actual values.

Three signals can be shown simultaneously on the assistant control panel display (one signal on the basic control panel display). It is also possible to read the values through the serial communication link or through the analog outputs.

Settings

Parameter	Additional information
1501	Selection of an actual signal to AO
1808	Selection of an actual signal to frequency output
Group *32 SUPERVISION*	Actual signal supervision
Group *34 PANEL DISPLAY*	Selection of an actual signals to be displayed on the control panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diagnostics

Actual signal	Additional information
Groups *01 OPERATING DATA* ... *04 FAULT HISTORY*	Lists of actual signals

Motor identification

The performance of vector control is based on an accurate motor model determined during the motor start-up.

A motor Identification magnetization is automatically performed the first time the start command is given. During this first start-up, the motor is magnetized at zero speed for several seconds to allow the motor model to be created. This identification method is suitable for most applications.

In demanding applications a separate Identification run (ID run) can be performed.

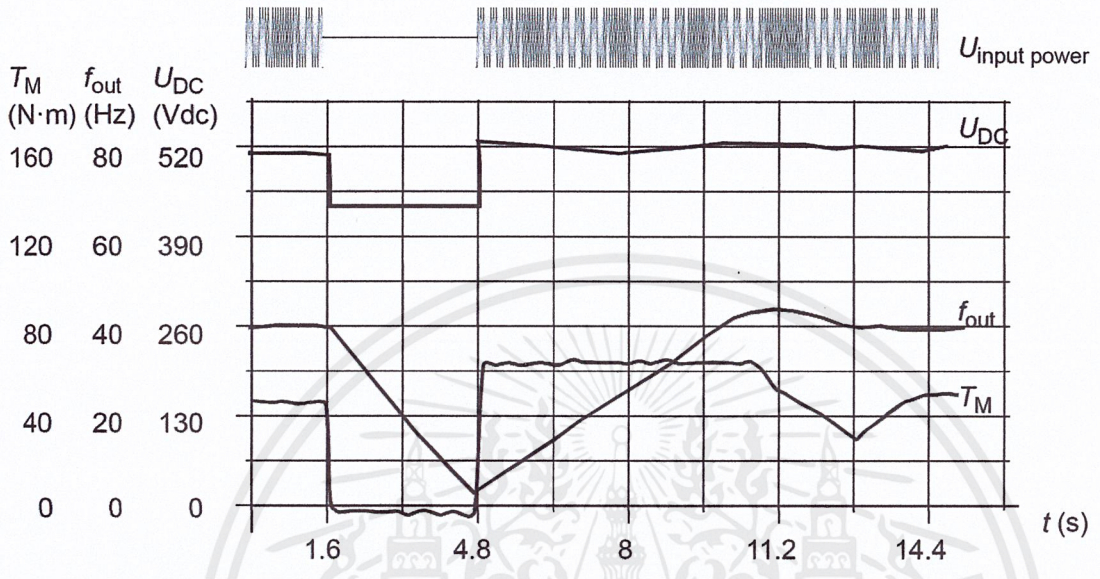
Settings

Parameter *9910 ID RUN*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power loss ride-through

If the incoming supply voltage is cut off, the drive will continue to operate by utilizing the kinetic energy of the rotating motor. The drive will be fully operational as long as the motor rotates and generates energy to the drive. The drive can continue the operation after the break if the main contactor remained closed.



U_{DC} = Intermediate circuit voltage of the drive, f_{out} = Output frequency of the drive, T_M = Motor torque

Loss of supply voltage at nominal load (f_{out} = 40 Hz). The intermediate circuit DC voltage drops to the minimum limit. The controller keeps the voltage steady as long as the input power is switched off. The drive runs the motor in generator mode. The motor speed falls but the drive is operational as long as the motor has enough kinetic energy.

Settings

Parameter *2006 UNDERVOLT CTRL*

DC magnetizing

When DC magnetizing is activated, the drive automatically magnetizes the motor before starting. This feature guarantees the highest possible break-away torque, up to 180% of the motor nominal torque. By adjusting the premagnetizing time, it is possible to synchronize the motor start and, eg, a mechanical brake release. The Automatic start feature and DC magnetizing cannot be activated at the same time.

Settings

Parameters *2101 START FUNCTION* and *2103 DC MAGN TIME*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maintenance trigger

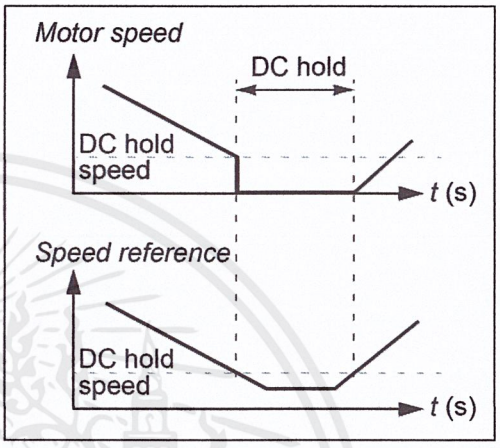
A maintenance trigger can be activated to show a notice on the panel display when, eg, drive power consumption has exceeded the defined trigger point.

Settings

Parameter group *29 MAINTENANCE TRIG*

DC hold

With the motor DC hold feature, it is possible to lock the rotor at zero speed. When both the reference and the motor speed fall below the preset DC hold speed, the drive stops the motor and starts to inject DC into the motor. When the reference speed again exceeds the DC hold speed, the normal drive operation resumes.

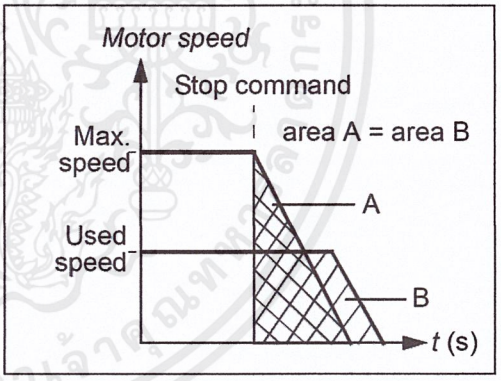


Settings

Parameters *2101...2106*

Speed compensated stop

Speed compensation stop is available, for example, for applications where a conveyor needs to travel a certain distance after receiving the stop command. At maximum speed, the motor is stopped normally along the defined deceleration ramp. Below maximum speed, stop is delayed by running the drive at current speed before the motor is ramped to a stop. As shown in the figure, the distance traveled after the stop command is the same in both cases, that is, area A equals area B.



Speed compensation can be restricted to forward or reverse rotating direction.

Note: The speed compensated stop feature is active only when the used speed is more than 10% of the maximum speed.

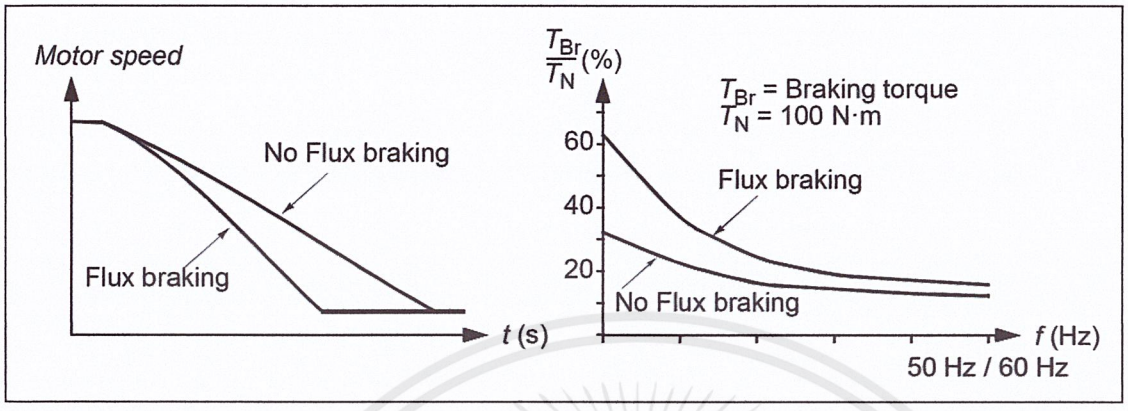
Settings

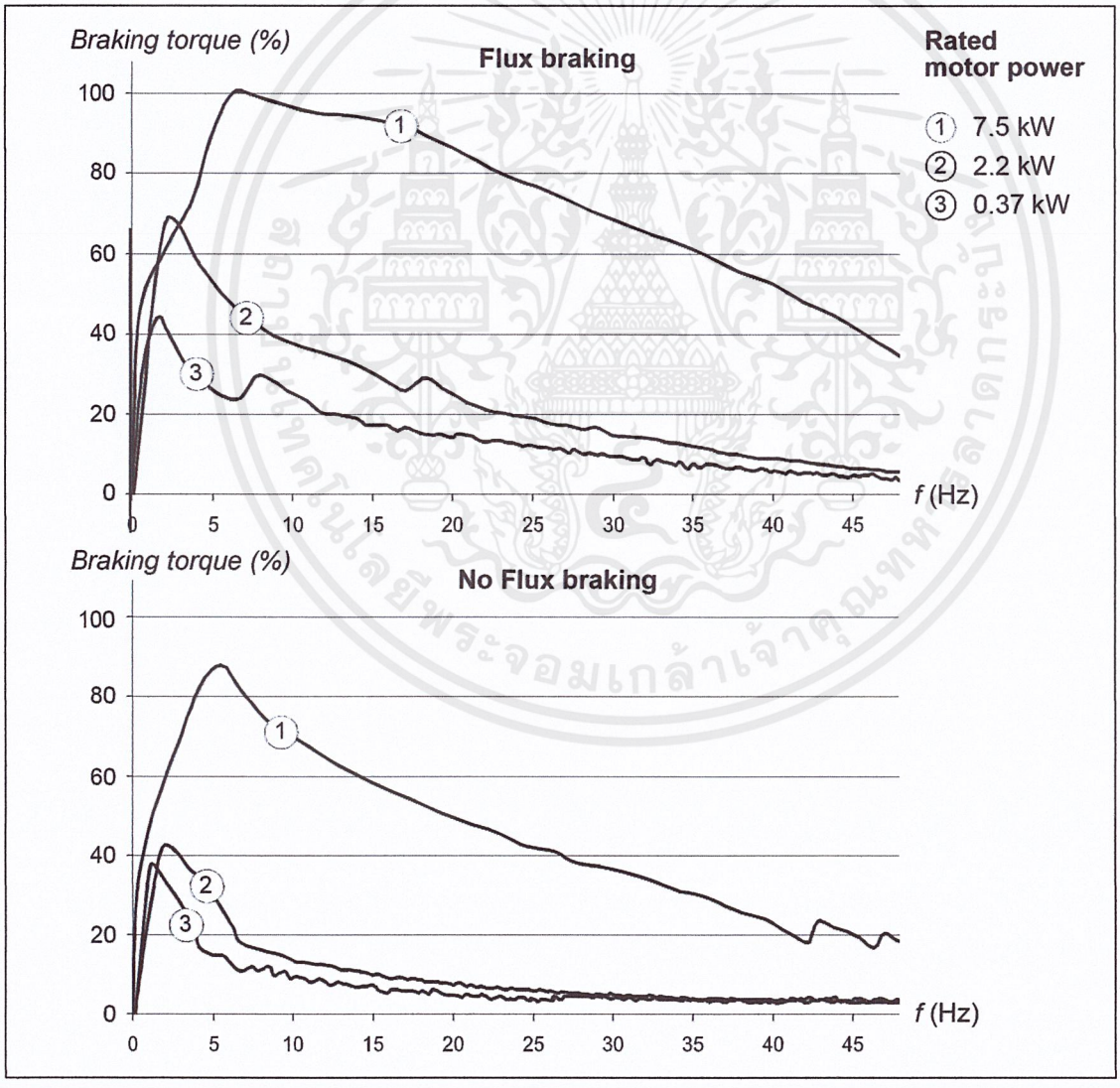
Parameter *2102 STOP FUNCTION*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flux braking

The drive can provide greater deceleration by raising the level of magnetization in the motor. By increasing the motor flux, the energy generated by the motor during braking can be converted to motor thermal energy.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The drive monitors the motor status continuously, also during the Flux braking. Therefore, Flux braking can be used both for stopping the motor and for changing the speed. The other benefits of Flux braking are:

- The braking starts immediately after a stop command is given. The function does not need to wait for the flux reduction before it can start the braking.
- The cooling of the motor is efficient. The stator current of the motor increases during the Flux braking, not the rotor current. The stator cools much more efficiently than the rotor.

Settings

Parameter *2602 FLUX BRAKING*

Flux optimization

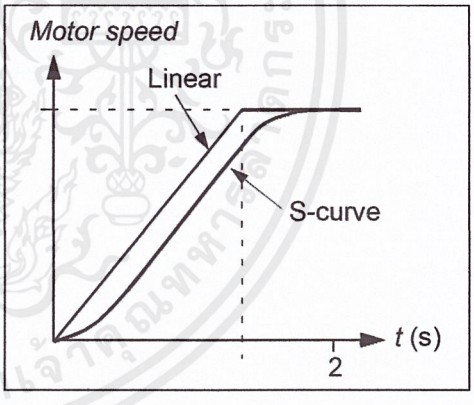
Flux optimization reduces the total energy consumption and motor noise level when the drive operates below the nominal load. The total efficiency (motor and the drive) can be improved by 1% to 10%, depending on the load torque and speed.

Settings

Parameter *2601 FLUX OPT ENABLE*

Acceleration and deceleration ramps

Two user-selectable acceleration and deceleration ramps are available. It is possible to adjust the acceleration/deceleration times and the ramp shape. Switching between the two ramps can be controlled through a digital input or fieldbus.



The available ramp shape alternatives are Linear and S-curve.

Linear shape is suitable for drives requiring steady or slow acceleration/deceleration.

S-curve shape is ideal for conveyors carrying fragile loads, or other applications where a smooth transition is required when changing the speed.

Settings

Parameter group *22 ACCEL/DECEL*

Sequence programming offers eight additional ramp times. See section *Sequence programming* on page *169*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Critical speeds

Critical speeds function is available for applications where it is necessary to avoid certain motor speeds or speed bands because of, eg, mechanical resonance problems. The user can define three critical speeds or speed bands.

Settings

Parameter group *25 CRITICAL SPEEDS*

Constant speeds

It is possible to define seven positive constant speeds. Constant speeds are selected with digital inputs. Constant speed activation overrides the external speed reference.

Constant speed selections are ignored if

- torque control is active, or
- PID reference is being followed, or
- drive is in local control mode.

This function operates on a 2 ms time level.

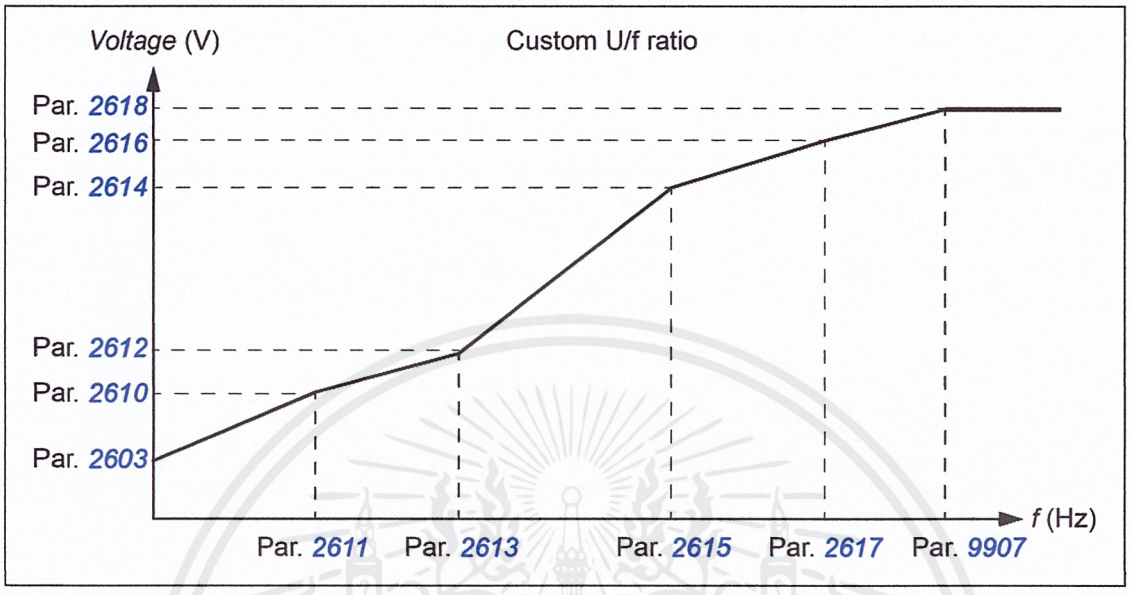
Settings

Parameter	Additional information
Group *12 CONSTANT SPEEDS*	Constant speed settings
1207	Constant speed 6. Used also for jogging function. See section *Jogging* on page *162*.
1208	Constant speed 7. Used also for fault functions (see group *30 FAULT FUNCTIONS*) and for jogging function (see section *Jogging* on page *162*).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Custom U/f ratio

The user can define a U/f curve (output voltage as a function of frequency). This custom ratio is used only in special applications where linear and squared U/f ratio are not sufficient (eg, when motor break-away torque needs to be boosted).



Note: The U/f curve can be used in scalar control only, ie, when *9904 MOTOR CTRL MODE* setting is *SCALAR: FREQ*.

Note: The voltage and the frequency points of the U/f curve must fulfill the following requirements:

2610 < *2612* < *2614* < *2616* < *2618* and
2611 < *2613* < *2615* < *2617* < *9907*

WARNING! High voltage at low frequencies may result in poor performance or motor damage (overheating).

Settings

Parameter	Additional information
2605	Custom U/f ratio activation
2610...2618	Custom U/f ratio settings

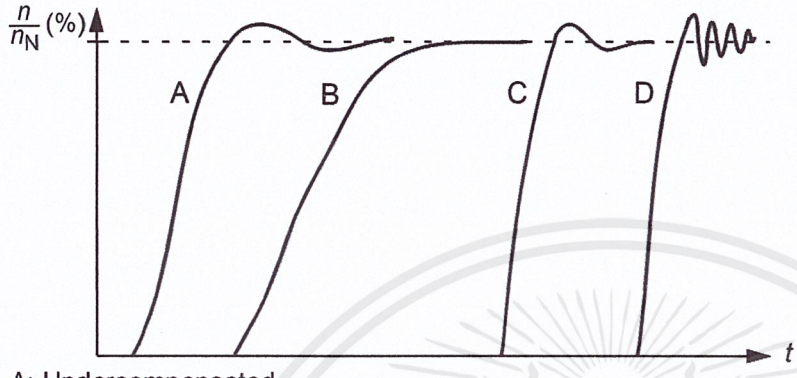
Diagnostics

Fault	Additional information
PAR USER U/F	Incorrect U/f ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

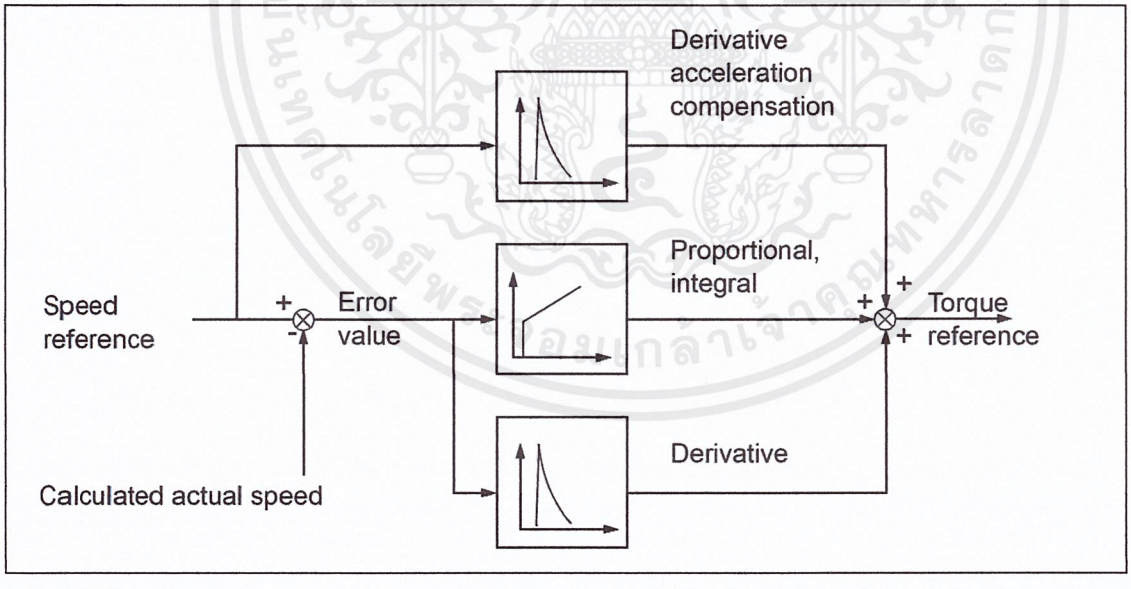
Speed controller tuning

It is possible to manually adjust the controller gain, integration time and derivation time, or let the drive perform a separate speed controller Autotune run (parameter *2305 AUTOTUNE RUN*). In Autotune run, the speed controller is tuned based on the load and inertia of the motor and the machine. The figure below shows speed responses at a speed reference step (typically, 1 to 20%).



A: Undercompensated
B: Normally tuned (autotuning)
C: Normally tuned (manually). Better dynamic performance than with B
D: Overcompensated speed controller

The figure below is a simplified block diagram of the speed controller. The controller output is the reference for the torque controller.



Note: The speed controller can be used in vector control, ie, when *9904 MOTOR CTRL MODE* setting is *VECTOR: SPEED* or *VECTOR: TORQ*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

Parameter groups *23 SPEED CONTROL* and *20 LIMITS*

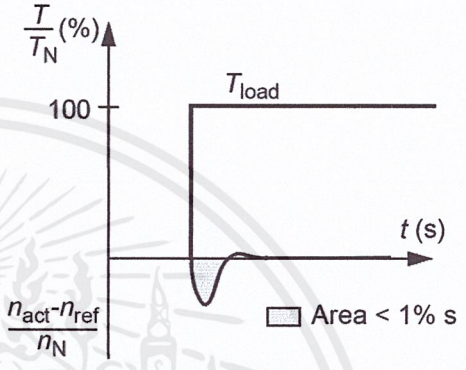
Diagnostics

Actual signal *0102 SPEED*

Speed control performance figures

The table below shows typical performance figures for speed control.

Speed control	No pulse encoder	With pulse encoder
Static accuracy	20% of motor nominal slip	2% of motor nominal slip
Dynamic accuracy	< 1% s with 100% torque step	< 1% s with 100% torque step



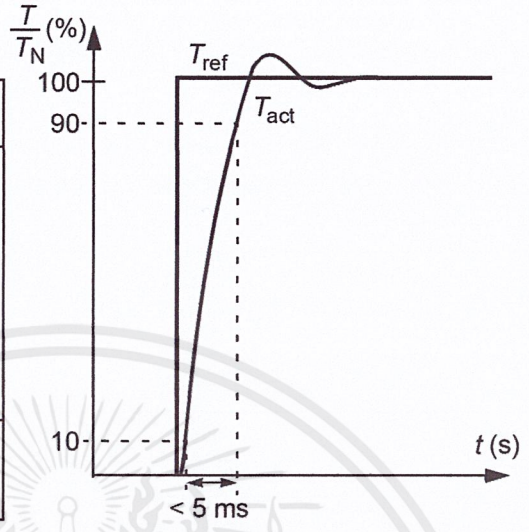
T_N = rated motor torque
n_N = rated motor speed
n_{act} = actual speed
n_{ref} = speed reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Torque control performance figures

The drive can perform precise torque control without any speed feedback from the motor shaft. The table below shows typical performance figures for torque control.

Torque control	No pulse encoder	With pulse encoder
Non-linearity	± 5% with nominal torque (± 20% at the most demanding operating point)	± 5% with nominal torque
Torque step rise time	< 10 ms with nominal torque	< 10 ms with nominal torque



T_N = rated motor torque
T_{ref} = torque reference
T_{act} = actual torque

Scalar control

It is possible to select scalar control as the motor control method instead of vector control. In the scalar control mode, the drive is controlled with a frequency reference.

It is recommended to activate the scalar control mode in the following special applications:

- In multimotor drives: 1) if the load is not equally shared between the motors, 2) if the motors are of different sizes, or 3) if the motors are going to be changed after the motor identification.
- If the nominal motor current is less than 20% of the nominal output current of the drive.
- When the drive is used for test purposes with no motor connected.

The scalar control mode is not recommended for permanent magnet synchronous motors.

In the scalar control mode, some standard features are not available.

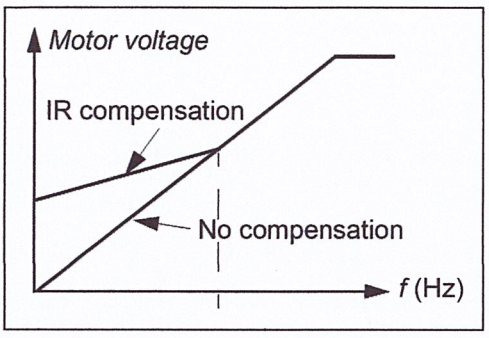
Settings

Parameter *9904 MOTOR CTRL MODE*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR compensation for a scalar controlled drive

IR compensation is active only when the motor control mode is scalar (see section *Scalar control* on page *146*). When IR compensation is activated, the drive gives an extra voltage boost to the motor at low speeds. IR compensation is useful in applications that require high break-away torque. In vector control, no IR compensation is possible/needed.



Settings

Parameter *2603 IR COMP VOLT*

Programmable protection functions

AI<Min

AI<Min function defines the drive operation if an analog input signal falls below the set minimum limit.

Settings

Parameters *3001 AI<MIN FUNCTION*, *3021 AI1 FAULT LIMIT* and *3022 AI2 FAULT LIMIT*

Panel loss

Panel loss function defines the operation of the drive if the control panel selected as the control location for the drive stops communicating.

Settings

Parameter *3002 PANEL COMM ERR*

External fault

External faults (1 and 2) can be supervised by defining one digital input as a source for an external fault indication signal.

Settings

Parameters *3003 EXTERNAL FAULT 1* and *3004 EXTERNAL FAULT 2*

Stall protection

The drive protects the motor in a stall situation. It is possible to adjust the supervision limits (frequency, time) and choose how the drive reacts to the motor stall condition (alarm indication / fault indication & drive stop / no reaction).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

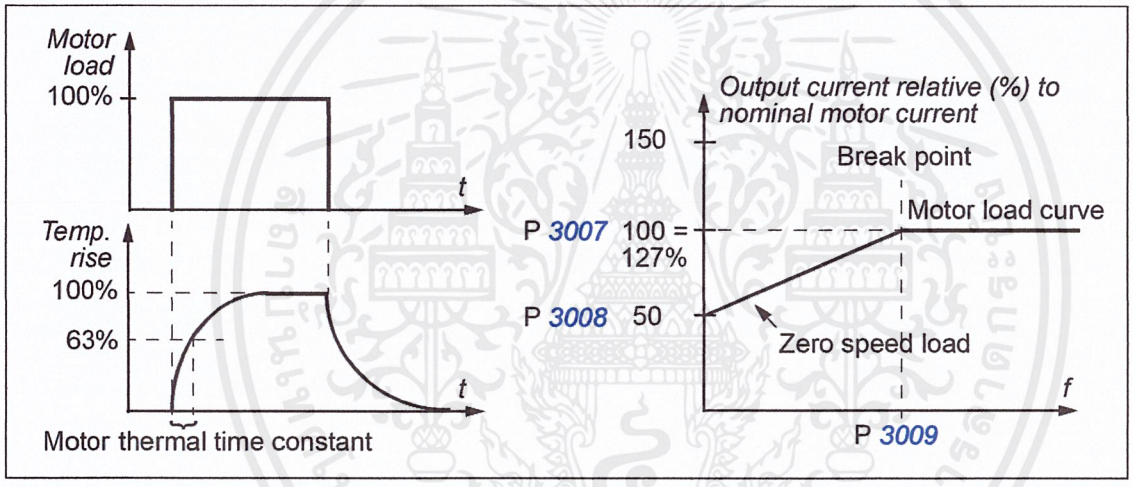
Parameters *3010 STALL FUNCTION*, *3011 STALL FREQUENCY* and *3012 STALL TIME*

Motor thermal protection

The motor can be protected against overheating by activating the Motor thermal protection function.

The drive calculates the temperature of the motor on the basis of the following assumptions:

- The motor is in the ambient temperature of 30 °C (86 °F) when power is applied to the drive.
- Motor temperature is calculated using either the user-adjustable or automatically calculated motor thermal time constant and motor load curve (see the figures below). The load curve should be adjusted if the ambient temperature exceeds 30 °C (86 °F).



Settings

Parameters *3005 MOT THERM PROT*, *3006 MOT THERM TIME*, *3007 MOT LOAD CURVE*, *3008 ZERO SPEED LOAD* and *3009 BREAK POINT FREQ*

Note: It is also possible to use the motor temperature measurement function. See section *Motor temperature measurement through the standard I/O* on page *157*.

Underload protection

Loss of motor load may indicate a process malfunction. The drive provides an underload function to protect the machinery and process in such a serious fault condition. Supervision limits - underload curve and underload time - can be specified as well as the action taken by the drive upon the underload condition (alarm indication / fault indication & drive stop / no reaction).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

Parameters *3013 UNDERLOAD FUNC*, *3014 UNDERLOAD TIME* and *3015 UNDERLOAD CURVE*

Earth fault protection

The Earth fault protection detects earth faults in the motor or motor cable. The protection can be selected to be active during start and run or during start only.

An earth fault in the input power line does not activate the protection.

Settings

Parameter *3017 EARTH FAULT*

Incorrect wiring

Defines the operation when incorrect input power cable connection is detected.

Settings

Parameter *3023 WIRING FAULT*

Input phase loss

Input phase loss protection circuits supervise the input power cable connection status by detecting intermediate circuit ripple. If a phase is lost, the ripple increases.

Settings

Parameter *3016 SUPPLY PHASE*

Pre-programmed faults

Overcurrent

The overcurrent trip limit for the drive is 325% of the drive nominal current.

DC overvoltage

The DC overvoltage trip limit is 420 V (for 200 V drives) and 840 V (for 400 V drives).

DC undervoltage

The DC undervoltage trip limit is adaptive. See parameter *2006 UNDERVOLT CTRL*.

Drive temperature

The drive supervises the IGBT temperature. There are two supervision limits: Alarm limit and fault trip limit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Short-circuit

If a short-circuit occurs, the drive will not start and a fault indication is given.

Internal fault

If the drive detects an internal fault, the drive is stopped and a fault indication is given.

Operation limits

The drive has adjustable limits for speed, current (maximum), torque (maximum) and DC voltage.

Settings

Parameter group *20 LIMITS*

Power limit

Power limitation is used to protect the input bridge and the DC intermediate circuit. If the maximum allowed power is exceeded, the drive torque is automatically limited. Maximum overload and continuous power limits depend on the drive hardware. For specific values, see chapter *Technical data* on page *373*.

Automatic resets

The drive can automatically reset itself after overcurrent, overvoltage, undervoltage, external and "analog input below a minimum" faults. The Automatic resets must be activated by the user.

Settings

Parameter	Additional information
Group *31 AUTOMATIC RESET*	Automatic reset settings

Diagnostics

Alarm	Additional information
AUTORESET	Automatic reset alarm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Supervisions

The drive monitors whether certain user selectable variables are within the user-defined limits. The user may set limits for speed, current etc. The supervision status can be indicated through relay or digital output.

The supervision functions operate on a 2 ms time level.

Settings

Parameter group *32 SUPERVISION*

Diagnostics

Actual signal	Additional information
1401	Supervision status through RO 1
1402/*1403*/*1410*	Supervision status through RO 2...4. With option MREL-01 only.
1805	Supervision status through DO
8425, *8426* / *8435*, *8436* /.../*8495*, *8496*	Sequence programming state change according to supervision functions

Parameter lock

The user can prevent parameter adjustment by activating the parameter lock.

Settings

Parameters *1602 PARAMETER LOCK* and *1603 PASS CODE*

PID control

There are two built-in PID controllers in the drive:

- Process PID (PID1) and
- External/Trim PID (PID2).

The PID controller can be used when the motor speed needs to be controlled based on process variables such as pressure, flow or temperature.

When the PID control is activated, a process reference (setpoint) is connected to the drive instead of a speed reference. An actual value (process feedback) is also brought back to the drive. The drive compares the reference and the actual values, and automatically adjusts the drive speed in order to keep the measured process quantity (actual value) at the desired level (reference).

The control operates on a 2 ms time level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process controller PID1

PID1 has two separate sets of parameters (*40 PROCESS PID SET 1*, *41 PROCESS PID SET 2*). Selection between parameter sets 1 and 2 is defined by a parameter.

In most cases when there is only one transducer signal wired to the drive, only parameter set 1 is needed. Two different parameter sets (1 and 2) are used, eg, when the load of the motor changes considerably in time.

External/Trim controller PID2

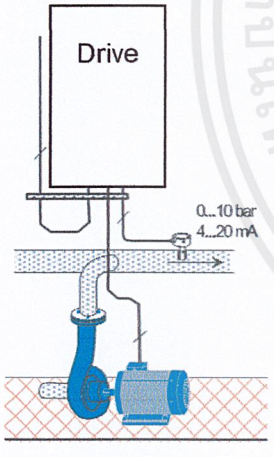
PID2 (*42 EXT / TRIM PID*) can be used in two different ways:

- External controller: Instead of using additional PID controller hardware, the user can connect PID2 output through drive analog output or fieldbus controller to control a field instrument like a damper or a valve.
- Trim controller: PID2 can be used to trim or fine tune the reference of the drive. See section *Reference trimming* on page *130*.

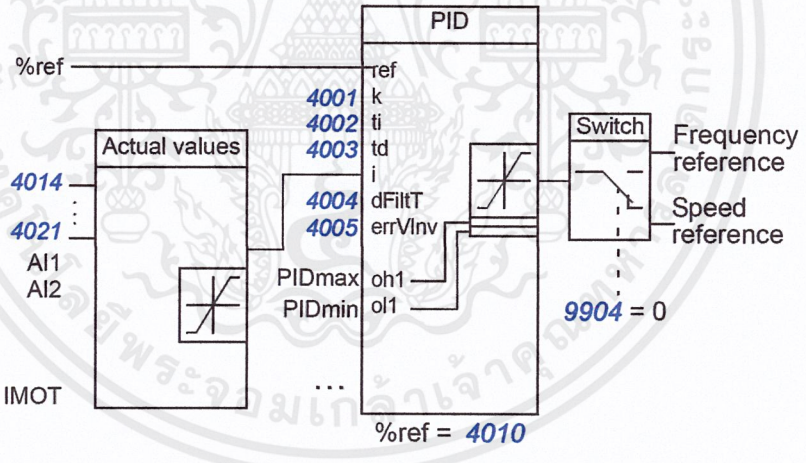
Block diagrams

The figure below shows an application example: The controller adjusts the speed of a pressure boost pump according to the measured pressure and the set pressure reference.

Example:
Pressure boost pump

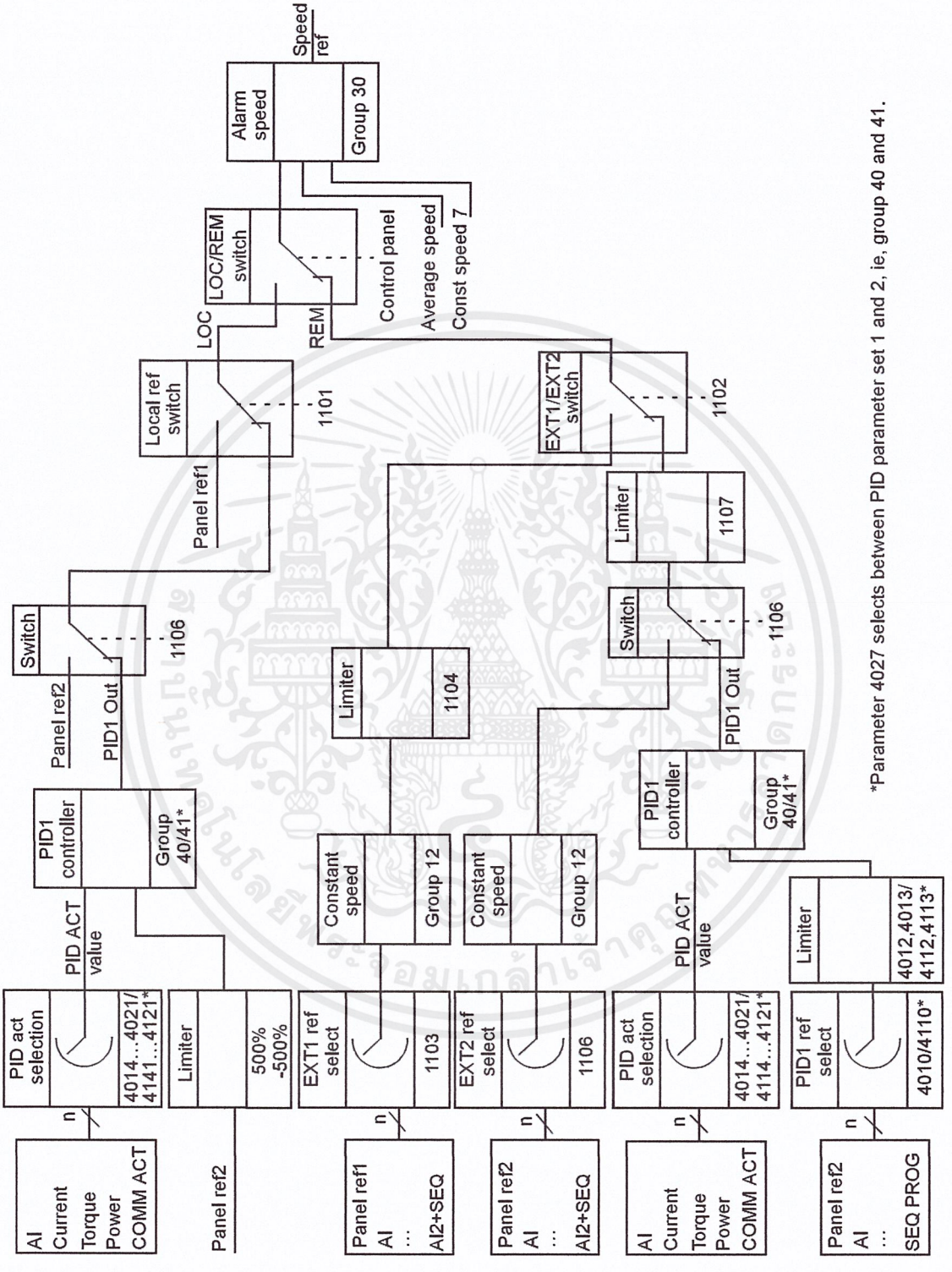


PID control block diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The following figure presents the speed/scalar control block diagram for process controller PID1.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

Parameter	Additional information
1101	Local control mode reference type selection
1102	*EXT1*/*EXT2* selection
1106	PID1 activation
1107	REF2 minimum limit
1501	PID2 output (external controller) connection to AO
9902	PID control macro selection
Groups *40 PROCESS PID SET 1*...*41 PROCESS PID SET 2*	PID1 settings
Group *42 EXT / TRIM PID*	PID2 settings

Diagnostics

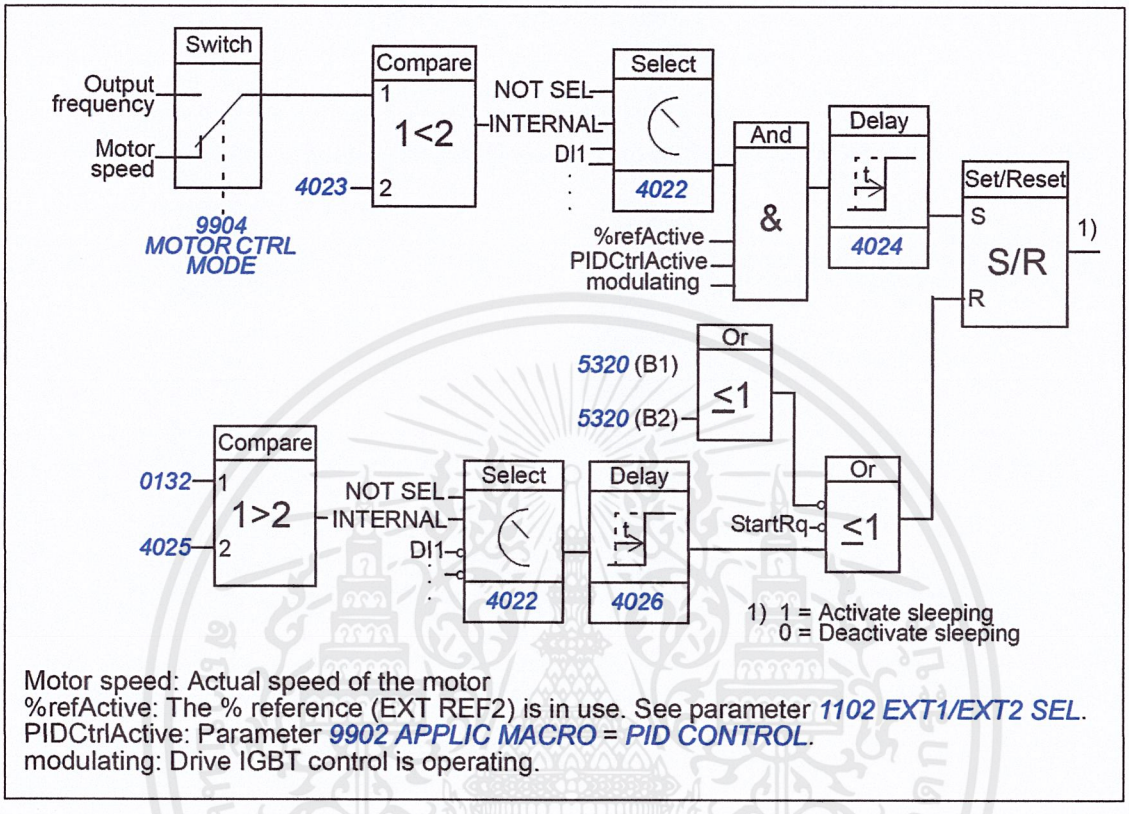
Actual signal	Additional information
0126/*0127*	PID 1/2 output value
0128/*0129*	PID 1/2 setpoint value
0130/*0131*	PID 1/2 feedback value
0132/*0133*	PID 1/2 deviation
0170	AO value defined by Sequence programming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sleep function for the process PID (PID1) control

The sleep function operates on a 2 ms time level.

The block diagram below illustrates the sleep function enable/disable logic. The sleep function can be put into use only when the PID control is active.

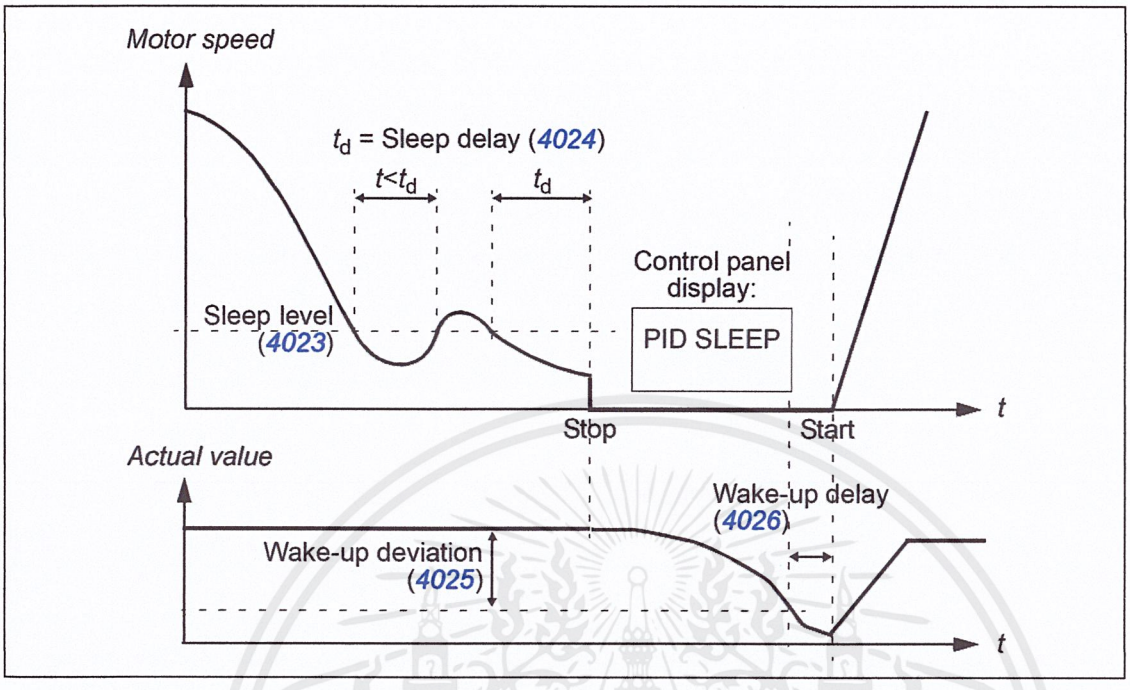


Motor speed: Actual speed of the motor
%refActive: The % reference (EXT REF2) is in use. See parameter *1102 EXT1/EXT2 SEL*.
PIDCtrlActive: Parameter *9902 APPLIC MACRO* = *PID CONTROL*.
modulating: Drive IGBT control is operating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Example

The time scheme below visualizes the operation of the sleep function.



Sleep function for a PID controlled pressure boost pump (when parameter *4022 SLEEP SELECTION* is set to *INTERNAL*): The water consumption falls at night. As a consequence, the PID process controller decreases the motor speed. However, due to natural losses in the pipes and the low efficiency of the centrifugal pump at low speeds, the motor does not stop but keeps rotating. The sleep function detects the slow rotation, and stops the unnecessary pumping after the sleep delay has passed. The drive shifts into sleep mode, still monitoring the pressure. The pumping restarts when the pressure falls under the allowed minimum level and the wake-up delay has passed.

Settings

Parameter	Additional information
9902	PID control activation
4022...4026, *4122...4126*	Sleep function settings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

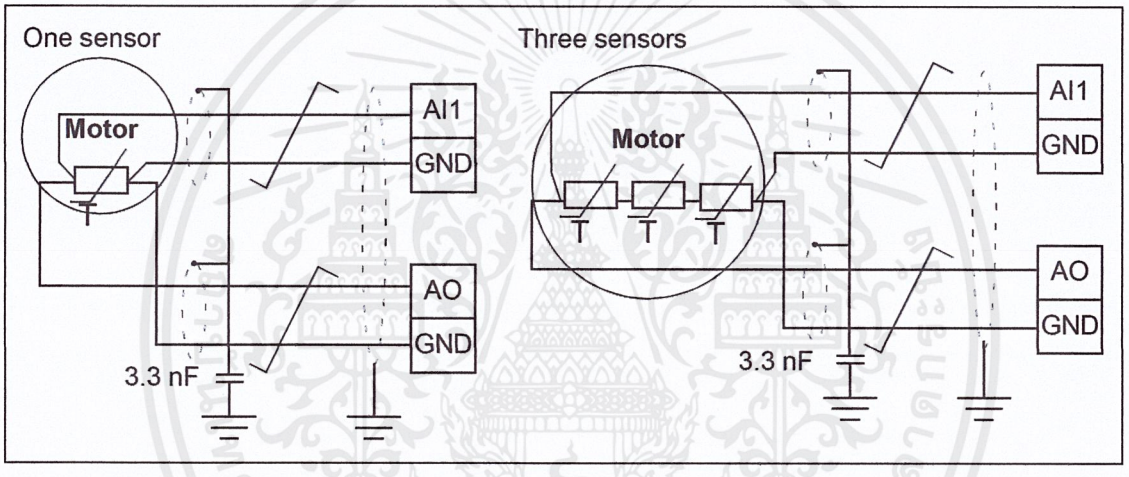
Diagnostics

Parameter	Additional information
1401	PID sleep function status through RO 1
1402/*1403*/*1410*	PID sleep function status through RO 2...4. With option MREL-01 only.
Alarm	**Additional information**
PID SLEEP	Sleep mode

Motor temperature measurement through the standard I/O

This section describes the temperature measurement of one motor when the drive I/O terminals are used as the connection interface.

Motor temperature can be measured using Pt100 or PTC sensors connected to analog input and output.

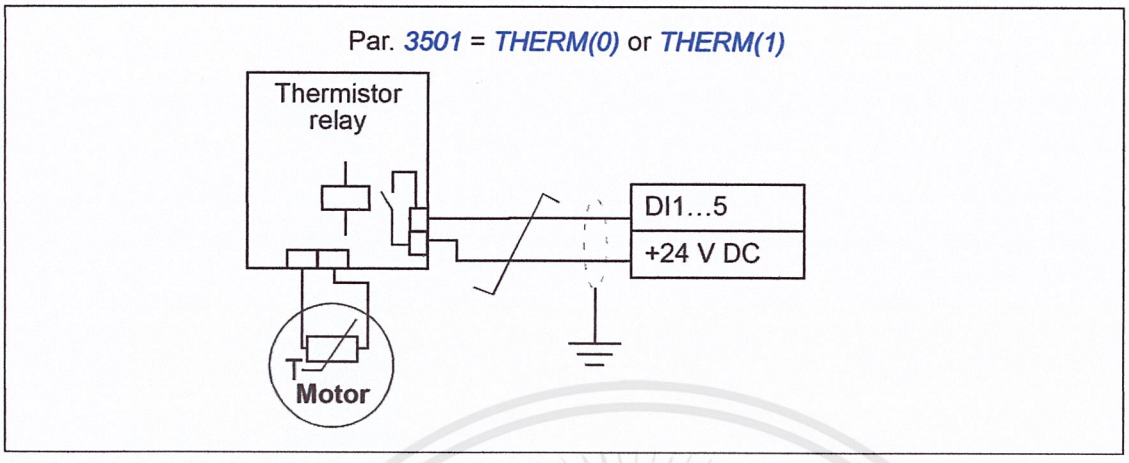


WARNING! According to IEC 60664, the connection of the motor temperature sensor requires double or reinforced insulation between motor live parts and the sensor. Reinforced insulation entails a clearance and creepage distance of 8 mm (0.3 in) (400/500 V AC equipment).

If the assembly does not fulfill the requirement, the I/O board terminals must be protected against contact and they may not be connected to other equipment, or the temperature sensor must be isolated from the I/O terminals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

It is also possible to monitor motor temperature by connecting a PTC sensor and a thermistor relay between the +24 V DC voltage supply offered by the drive and a digital input. The figure below displays the connection.



WARNING! According to IEC 60664, the connection of the motor thermistor to the digital input requires double or reinforced insulation between motor live parts and the thermistor. Reinforced insulation entails a clearance and creeping distance of 8 mm (0.3 in) (400/500 V AC equipment).

If the thermistor assembly does not fulfill the requirement, the other I/O terminals of the drive must be protected against contact, or a thermistor relay must be used to isolate the thermistor from the digital input.

Settings

Parameter	Additional information
Group *13 ANALOG INPUTS*	Analog input settings
Group *15 ANALOG OUTPUTS*	Analog output settings
Group *35 MOTOR TEMP MEAS*	Motor temperature measurement settings
Other	
At the motor end the cable shield should be grounded through, eg, a 3.3 nF capacitor. If this is not possible, the shield is to be left unconnected.	

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0145	Motor temperature
Alarm/Fault	**Additional information**
MOTOR TEMP/MOT OVERTEMP	Excessive motor temp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

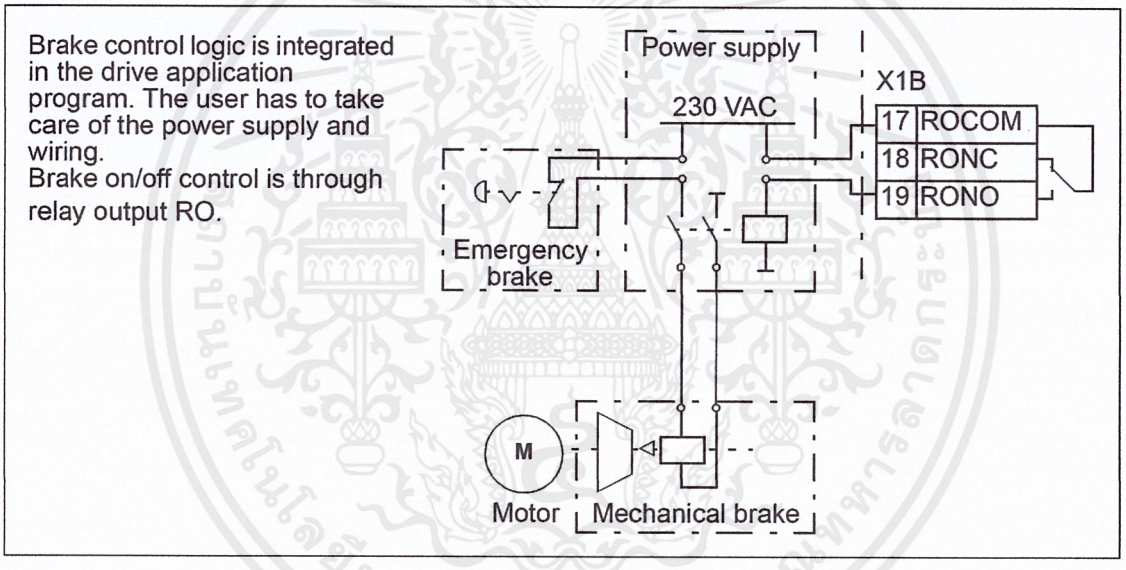
Control of a mechanical brake

The mechanical brake is used for holding the motor and driven machinery at zero speed when the drive is stopped, or not powered.

Example

The figure below shows a brake control application example.

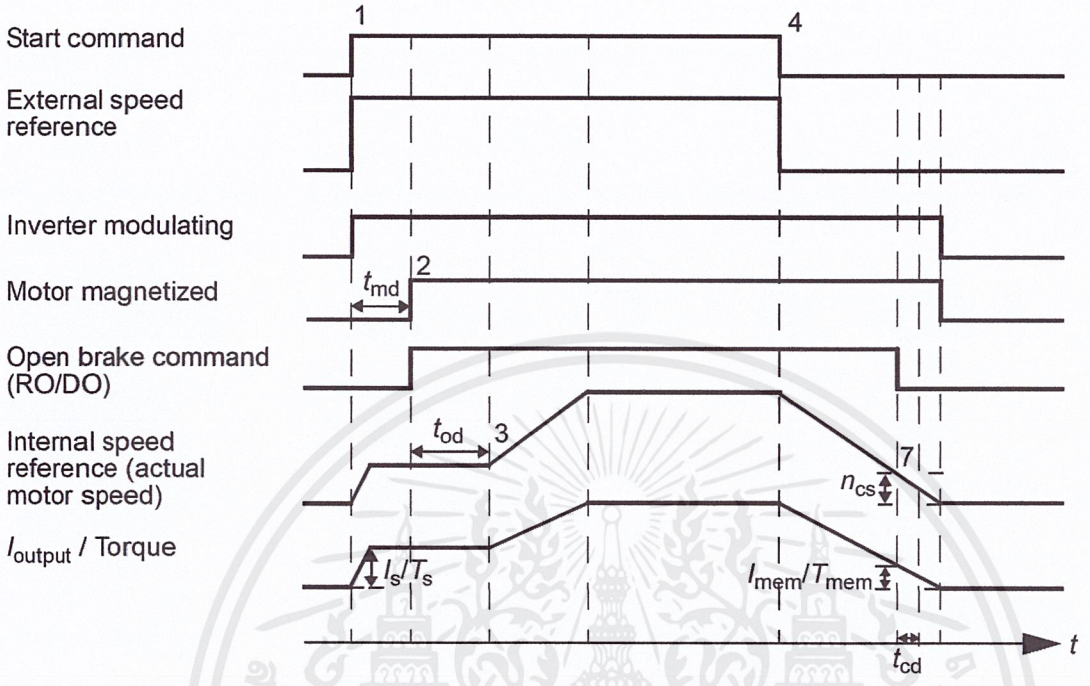
WARNING! Make sure that the machinery into which the drive with brake control function is integrated fulfills the personnel safety regulations. Note that the frequency converter (a Complete Drive Module or a Basic Drive Module, as defined in IEC 61800-2), is not considered a safety device mentioned in the European Machinery Directive and related harmonized standards. Thus, the personnel safety of the complete machinery must not be based on a specific frequency converter feature (such as the brake control function), but it has to be implemented as defined in the application specific regulations.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation time scheme

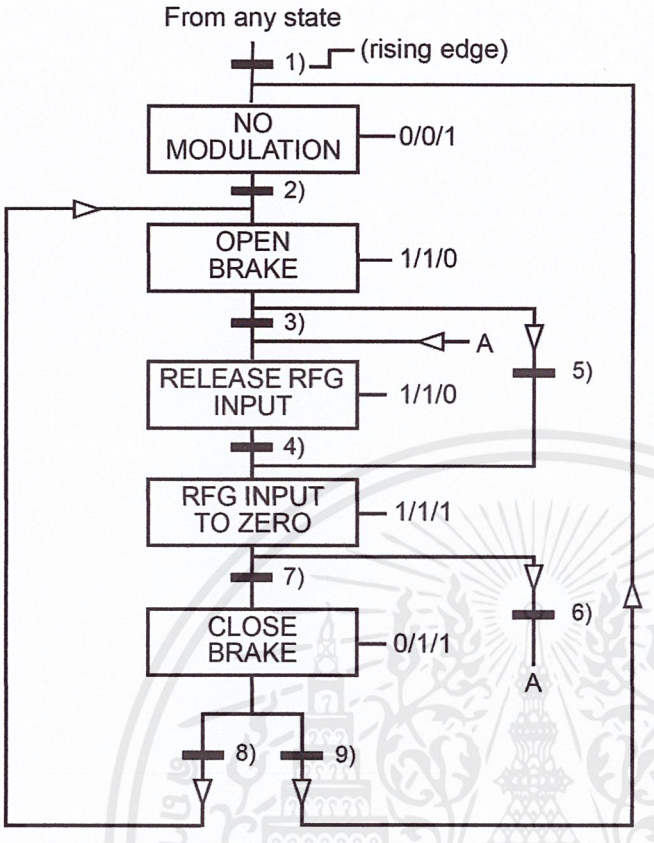
The time scheme below illustrates the operation of the brake control function. See also section *State shifts* on page *161*.



I_s/T_s	Brake open current/torque (parameter *4302 BRAKE OPEN LVL* or current/torque from parameter *0179 BRAKE TORQ MEM*)
I_{mem}/T_{mem}	Brake close current/torque (saved in parameter *0179 BRAKE TORQ MEM*)
t_{md}	Motor magnetizing delay (parameter *4305 BRAKE MAGN DELAY*)
t_{od}	Brake open delay (parameter *4301 BRAKE OPEN DLY*)
n_{cs}	Brake close speed (parameter *4303 BRAKE CLOSE LVL*)
t_{cd}	Mechanical brake close delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

State shifts



RFG = Ramp function generator in the speed control loop (reference handling).

State (Symbol NN — X/Y/Z)

- NN: State name
- X/Y/Z: State outputs/operations

X = 1 Open the brake. The relay output set to brake on/off control energizes.

Y = 1 Forced start. The function keeps the internal Start on until the brake is closed in spite of the status of the external Start signal.

Z = 1 Ramp in zero. Forces the used speed reference (internal) to zero along a ramp.

State change conditions (Symbol ▬)

1) Brake control active 0 -> 1 OR Inverter is modulating = 0
2) Motor magnetised = 1 AND Drive running = 1
3) Brake is open AND Brake open delay passed AND Start = 1
4) Start = 0
5) Start = 0
6) Start = 1
7) |Actual motor speed| < Brake close speed AND Start = 0
8) Start = 1
9) Brake is closed AND Brake close delay passed = 1 AND Start = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

Parameter	Additional information
1401/*1805*	Mechanical brake activation through RO 1 / DO
1402/*1403*/*1410*	Mechanical brake activation through RO 2…4. With option MREL-01 only.
2112	Zero speed delay
Group *43 MECH BRK CONTROL*	Brake function settings

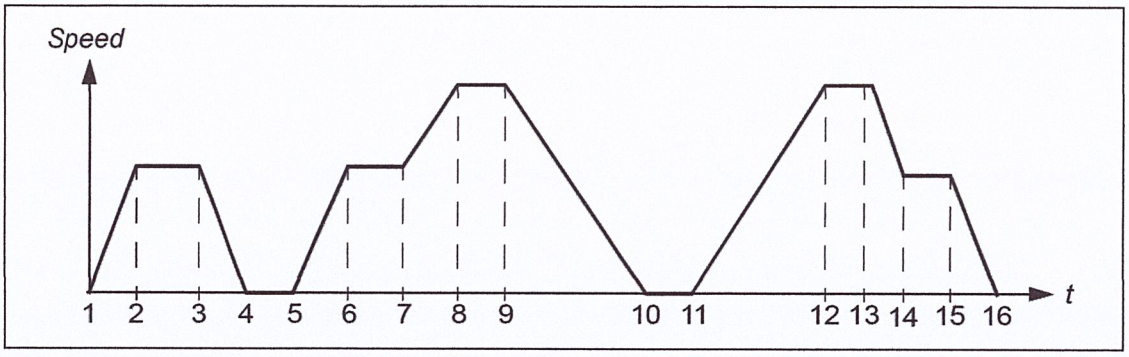
Jogging

The jogging function is typically used to control a cyclical movement of a machine section. One push button controls the drive through the whole cycle: When it is on, the drive starts, accelerates to a preset speed at a preset rate. When it is off, the drive decelerates to zero speed at a preset rate.

The figure and table below describe the operation of the drive. They also represent how the drive shifts to normal operation (= jogging inactive) when the drive start command is switched on. Jog cmd = State of the jogging input, Start cmd = State of the drive start command.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The function operates on a 2 ms time level



Phase	Jog cmd	Start cmd	Description
1-2	1	0	Drive accelerates to the jogging speed along the acceleration ramp of the jogging function.
2-3	1	0	Drive runs at the jogging speed.
3-4	0	0	Drive decelerates to zero speed along the deceleration ramp of the jogging function.
4-5	0	0	Drive is stopped.
5-6	1	0	Drive accelerates to the jogging speed along the acceleration ramp of the jogging function.
6-7	1	0	Drive runs at the jogging speed.
7-8	x	1	Normal operation overrides the jogging. Drive accelerates to the speed reference along the active acceleration ramp.
8-9	x	1	Normal operation overrides the jogging. Drive follows the speed reference.
9-10	0	0	Drive decelerates to zero speed along the active deceleration ramp.
10-11	0	0	Drive is stopped.
11-12	x	1	Normal operation overrides the jogging. Drive accelerates to the speed reference along the active acceleration ramp.
12-13	x	1	Normal operation overrides the jogging. Drive follows the speed reference.
13-14	1	0	Drive decelerates to the jogging speed along the deceleration ramp of the jogging function.
14-15	1	0	Drive runs at the jogging speed.
15-16	0	0	Drive decelerates to zero speed along the deceleration ramp of the jogging function.

x = state can be either 1 or 0

Note: The jogging is not operational when the drive start command is on.

Note: The jogging speed overrides the constant speeds.

Note: The jogging uses ramp stop even if parameter *2102 STOP FUNCTION* selection is *COAST*.

Note: The ramp shape time is set to zero during the jogging (ie, linear ramp).

Jogging function uses constant speed 7 as jogging speed and acceleration/deceleration ramp pair 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

It is also possible to activate jogging function 1 or 2 through fieldbus. Jogging function 1 uses constant speed 7 and jogging function 2 uses constant speed 6. Both functions use acceleration/deceleration ramp pair 2.

Settings

Parameter	Additional information
1010	Jogging activation
1208	Jogging speed
1208/*1207*	Jogging speed for jogging function 1/2 activated through fieldbus
2112	Zero speed delay
2205, *2206*	Acceleration and deceleration times
2207	Acceleration and deceleration ramp shape time: Set to zero during the jogging (ie, linear ramp).

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0302	Jogging 1/2 activation through fieldbus
1401	Jogging function status through RO 1
1402/*1403*/*1410*	Jogging function status through RO 2...4. With option MREL-01 only.
1805	Jogging function status through DO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Real-time clock and timed functions

Real-time clock

The real-time clock has the following features:

- four daily times
- four weekly times
- timed boost function, eg, a constant speed which is on for a certain pre-programmed time.
- timer enable with digital inputs
- timed constant speed selection
- timed relay activation.

For more information, see Group *36 TIMED FUNCTIONS* on page *269*.

Note: To be able to use the timed functions, the internal clock has to be set first. For information on the Time and date mode, see section *Time and date mode* on page *100*.

Note: The timed functions work only when the assistant control panel is connected to the drive.

Note: Removing the control panel for upload/download purposes does not affect the clock.

Note: Daylight saving changeover is automatic if activated.

Timed functions

A variety of drive functions can be time controlled, eg, start/stop and EXT1/EXT2 control. The drive offers

- four start and stop times (*START TIME 1*...*START TIME 4*, *STOP TIME 1*...*STOP TIME 4*)
- four start and stop days (*START DAY 1*...*START DAY 4*, *STOP DAY 1*...*STOP DAY 4*)
- four timed functions for collecting the selected time periods 1...4 together (*TIMED FUNC 1 SRC*...*TIMED FUNC 4 SRC*)
- booster time (an additional booster time connected to timed functions).

Configuring the timed functions

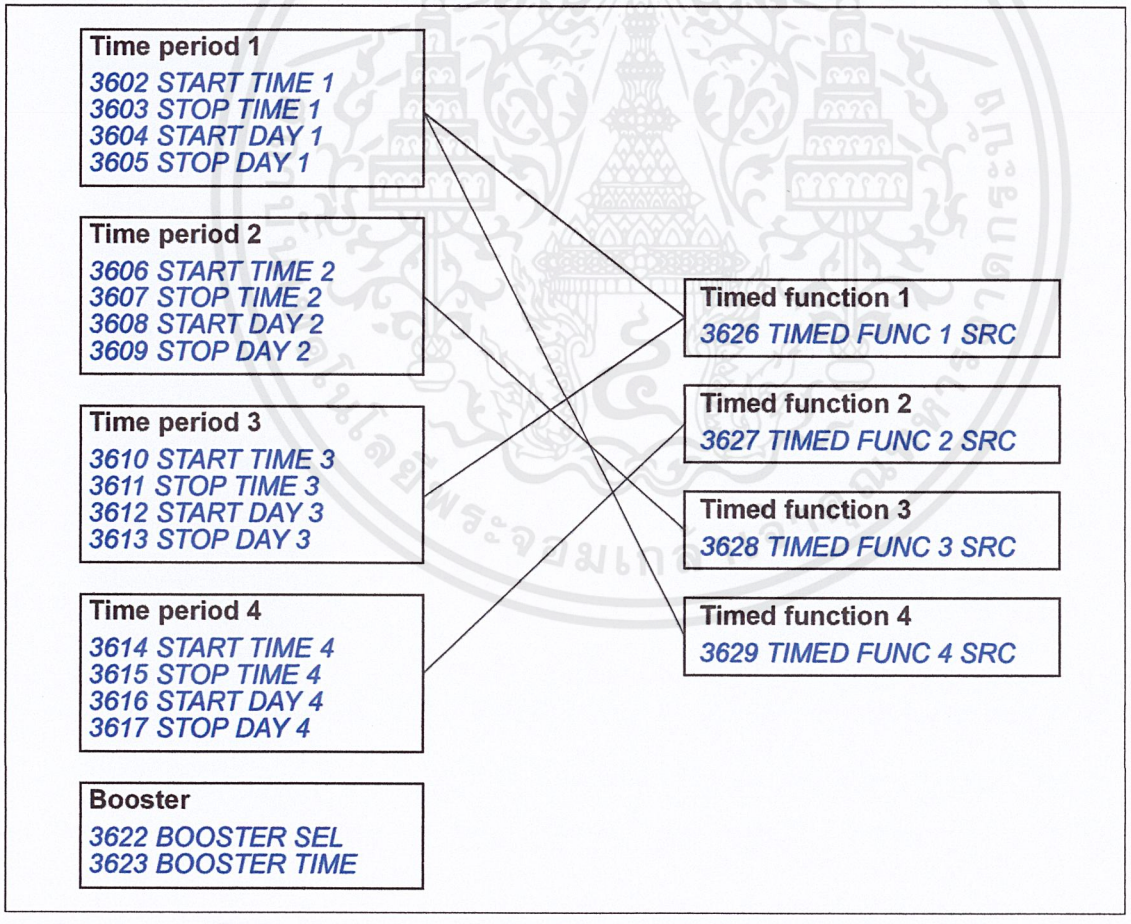
You can use the Timed functions assistant for easy configuring. For more information on the assistants, see section *Assistants mode* on page *96*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Use the control panel to configure the timer in four stages:

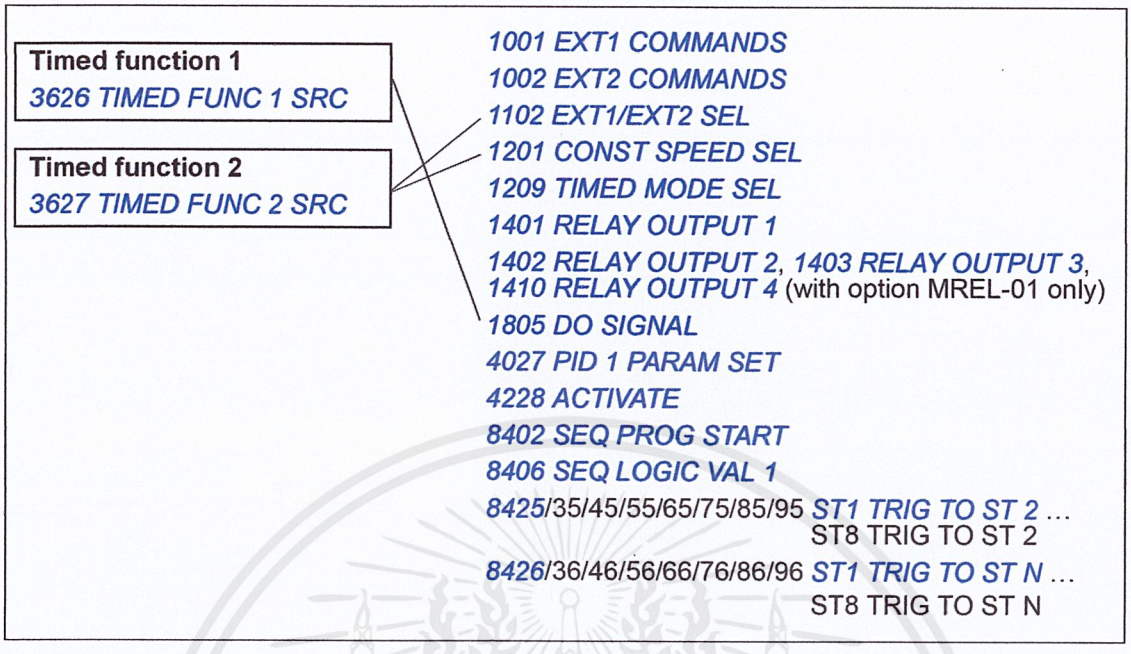
1. Enable the timer.
   Configure how the timer is activated. The timer can be enabled from one of the digital inputs or inverted digital inputs.
2. Set the time period.
   Define the start and stop times and start and stop day when the timer operates. These constitute a time period.
3. Create the timer.
   Assign the selected time period to certain timer(s). Different time periods can be collected in a timer and connected to parameters. The timer can act as the source of start/stop and change direction commands, constant speed selection and relay activation signals. Time periods can be in multiple timed functions, but a parameter can only be connected to a single timer. It is possible to create up to four timers.
4. Connect selected parameters to the timer.
   A parameter can only be connected to one timer.

A timed function can be connected to multiple time periods.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A parameter which is triggered by a timed function can be connected to only one timed function at a time.



Example

Air conditioning is active on weekdays from 8:00 to 15:30 (8 a.m to 3:30 p.m) and on Sundays from 12:00 to 15:00 (12 to 3 p.m). By pressing the extension time switch, the air-conditioning is on for an extra hour.

Parameter	Setting
3601 TIMERS ENABLE	*DI1*
3602 START TIME 1	08:00:00
3603 STOP TIME 1	15:30:00
3604 START DAY 1	*MONDAY*
3605 STOP DAY 1	*FRIDAY*
3606 START TIME 2	12:00:00
3607 STOP TIME 2	15:00:00
3608 START DAY 2	*SUNDAY*
3609 STOP DAY 2	*SUNDAY*
3622 BOOSTER SEL	*DI5* (cannot be the same as parameter *3601* value)
3623 BOOSTER TIME	01:00:00
3626 TIMED FUNC 1 SRC	*T1+T2+B*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

Parameter	Additional information
36 TIMED FUNCTIONS	Timed functions settings
1001, *1002*	Timed start/stop control
1102	Timed EXT1/EXT2 selection
1201	Timed constant speed 1 activation
1209	Timed speed selection
1401	Timed function status indicated through relay output RO 1
1402/*1403*/*1410*	Timed function status indicated through relay output RO 2…4. With option MREL-01 only.
1805	Timed function status indicated through digital output DO
4027	Timed PID1 parameter set 1/2 selection
4228	Timed external PID2 activation
8402	Timed Sequence programming activation
8425/*8435*/…/*8495* *8426*/*8436*/…/*8496*	Sequence programming state change trigger with timed function

Timer

Drive start and stop can be controlled with timer functions.

Settings

Parameter	Additional information
1001, *1002*	Start/stop signal sources
Group *19 TIMER & COUNTER*	Timer for start and stop

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0165	Start/stop control time count

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Counter

Drive start and stop can be controlled with counter functions. The counter function can also be used as state change trigger signal in Sequence programming. See section *Sequence programming* on page *169*.

Settings

Parameter	Additional information
1001, *1002*	Start/Stop signal sources
Group *19 TIMER & COUNTER*	Timer for start and stop
8425, *8426* / *8435*, *8436* /.../*8495*, *8496*	Counter signal as state change trigger in Sequence programming

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0166	Start/stop control pulse count

Sequence programming

The drive can be programmed to perform a sequence where the drive shifts typically through 1...8 states. User defines the operation rules for the whole sequence and for each state. The rules of a particular state are effective when the Sequence program is active and the program has entered the state. The rules to be defined for each state are:

- Run, stop and direction commands for the drive (forward/reverse/stop)
- Acceleration and deceleration ramp time for the drive
- Source for the drive reference value
- State duration
- RO/DO/AO status
- Signal source for triggering the shift to the next state
- Signal source for triggering the shift to any state (1...8).

Every state can also activate drive outputs to give an indication to external devices.

Sequence programming allows state transitions either to the next state or to a selected state. State change can be activated with, eg, timed functions, digital inputs and supervision functions.

Sequence programming can be applied in simple mixer applications as well as in more complicated traverse applications.

The programming can be done with control panel or with a PC tool. The drive is supported by version 2.91 or later of the DriveWindow Light 2 PC tool which includes a graphical Sequence programming tool.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note: By default all Sequence programming parameters can be changed even when the Sequence programming is active. It is recommended that after the Sequence programming parameters are set, parameters are locked with parameter *1602 PARAMETER LOCK*.

Settings

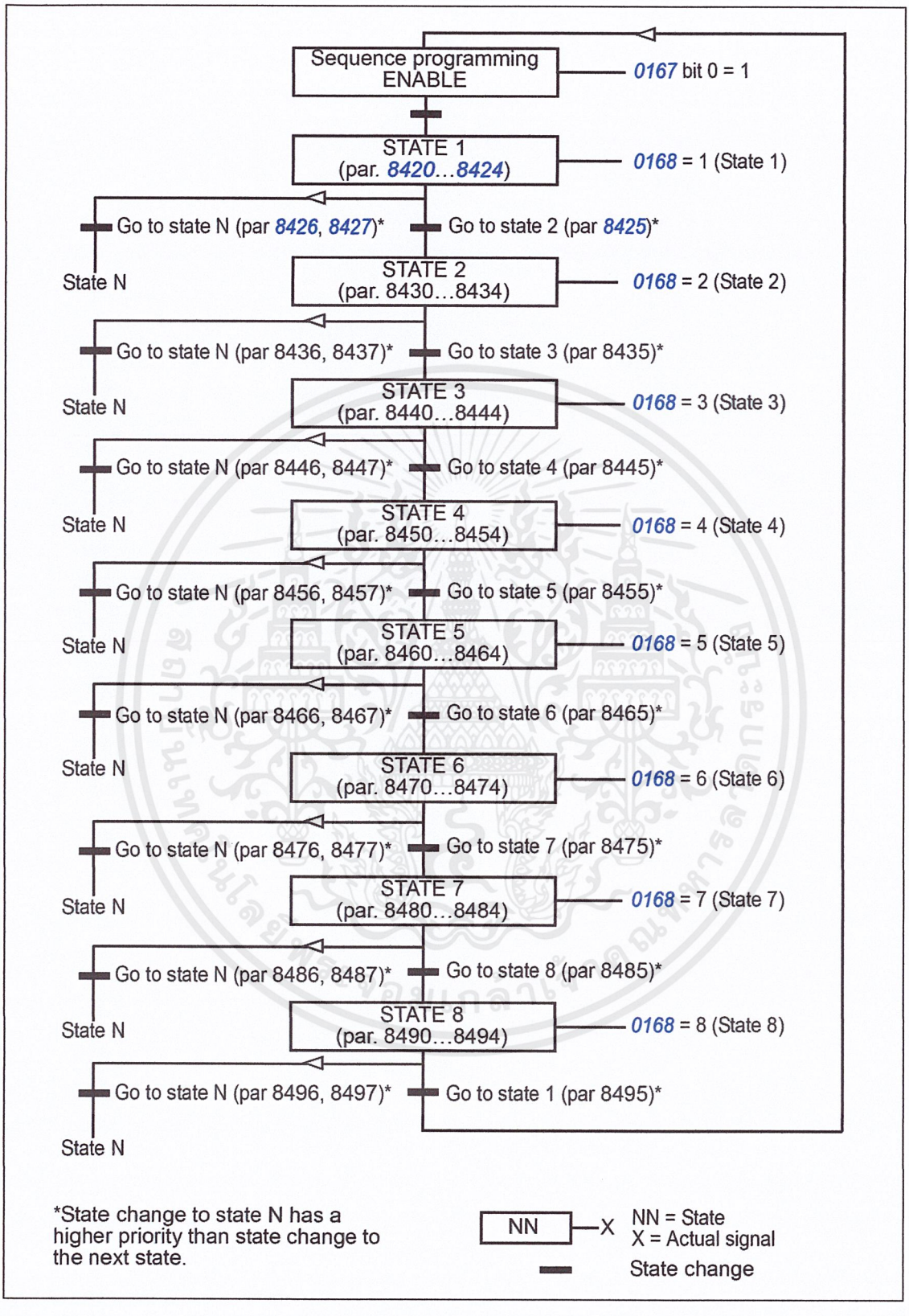
Parameter	Additional information
1001/*1002*	Start, stop and direction commands for EXT1/EXT2
1102	EXT1/EXT2 selection
1106	REF2 source
1201	Constant speed deactivation. Constant speed always overrides the Sequence programming reference.
1401	Sequence programming output through RO 1
1402/*1403*/*1410*	Sequence programming output through relay output RO 2…4. With option MREL-01 only.
1501	Sequence programming output through AO
1601	Run enable activation/deactivation
1805	Sequence programming output through DO
Group *19 TIMER & COUNTER*	State change according to counter limit
Group *32 SUPERVISION*	Timed state change
2201...*2207*	Acceleration/deceleration and ramp time settings
Group *32 SUPERVISION*	Supervision settings
4010/*4110*/*4210*	Sequence programming output as PID reference signal
Group *84 SEQUENCE PROG*	Sequence programming settings

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0167	Sequence programming status
0168	Sequence programming active state
0169	Current state time counter
0170	Analog output PID reference control values
0171	Executed sequence counter

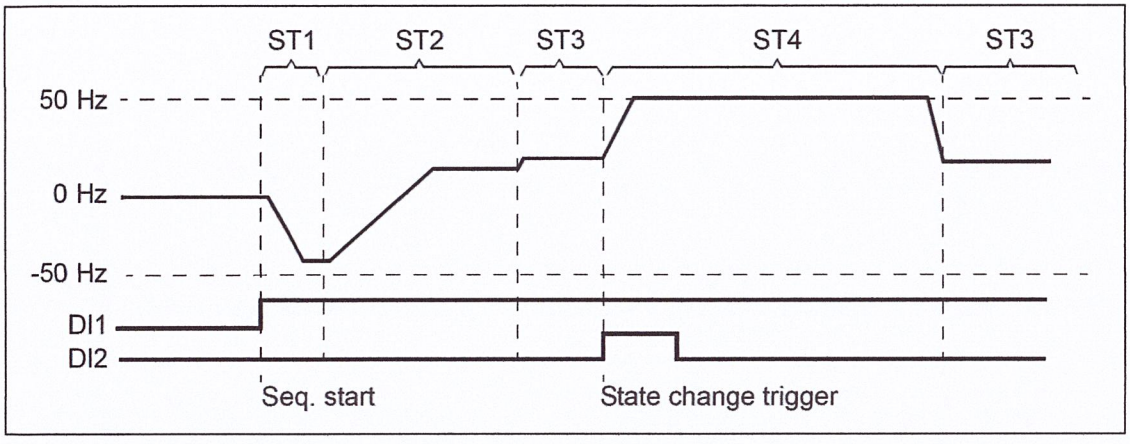
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

State shifts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Example 1



Sequence programming is activated by digital input DI1.

ST1: Drive is started in reverse direction with -50 Hz reference and 10 s ramp time. State 1 is active for 40 s.

ST2: Drive is accelerated to 20 Hz with 60 s ramp time. State 2 is active for 120 s.

ST3: Drive is accelerated to 25 Hz with 5 s ramp time. State 3 is active until the Sequence programming is disabled or until booster start is activated by DI2.

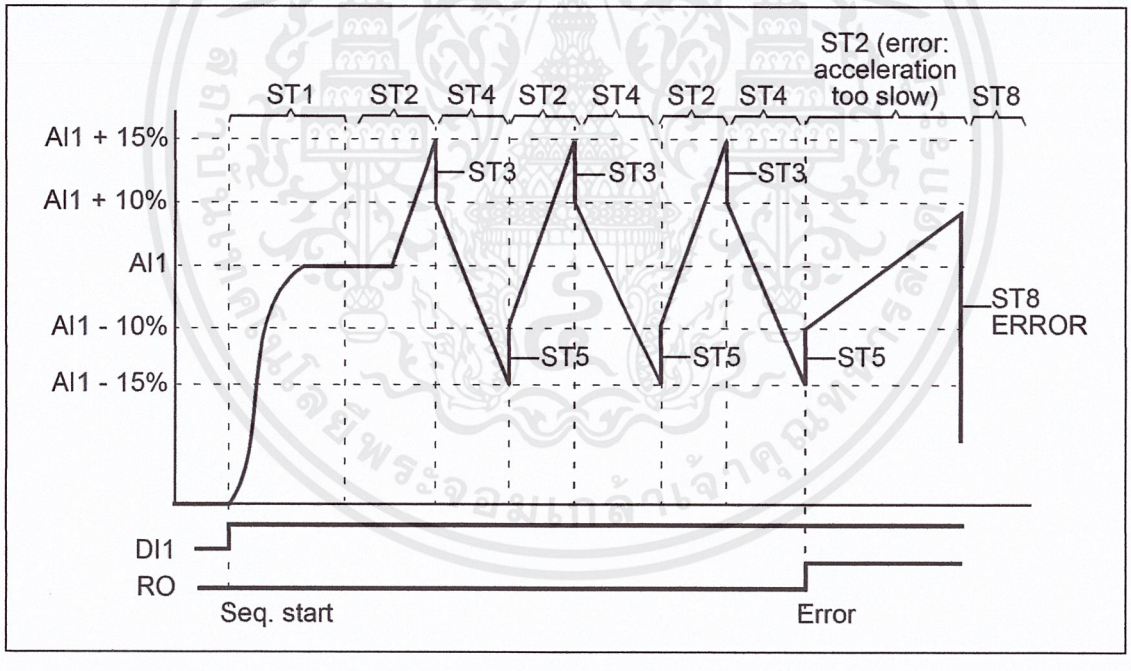
ST4: Drive is accelerated to 50 Hz with 5 s ramp time. State 4 is active for 200 s and after that the state shifts back to state 3.

Parameter	Setting	Additional information
1002 EXT2 COMMANDS	*SEQ PROG*	Start, stop, direction commands for EXT2
1102 EXT1/EXT2 SEL	*EXT2*	EXT2 activation
1106 REF2 SELECT	*SEQ PROG*	Sequence programming output as REF2
1601 RUN ENABLE	*NOT SEL*	Deactivation of Run enable
2102 STOP FUNCTION	*RAMP*	Ramp stop
2201 ACC/DEC 1/2 SEL	*SEQ PROG*	Ramp as defined by parameter *8422/.../8452.*
8401 SEQ PROG ENABLE	*ALWAYS*	Sequence programming enabled
8402 SEQ PROG START	*DI1*	Sequence programming activation through digital input (DI1)
8404 SEQ PROG RESET	*DI1(INV)*	Sequence programming reset (ie, reset to state 1, when DI1 signal is lost (1 -> 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ST1		ST2		ST3		ST4		Additional information
Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	
8420 ST1 REF SEL	100%	*8430*	40%	*8440*	50%	*8450*	100%	State reference
8421 ST1 COMMANDS	*START REV*	*8431*	*START FRW*	*8441*	*START FRW*	*8451*	*START FRW*	Run, direction and stop command
8422 ST1 RAMP	10 s	*8432*	60 s	*8442*	5 s	*8452*	5 s	Ramp time
8424 ST1 CHANGE DLY	40 s	*8434*	120 s	*8444*		*8454*	200 s	State change delay
8425 ST1 TRIG TO ST 2	*CHANG E DLY*	*8435*	*CHANG E DLY*	*8445*	*DI2*	*8455*		State change trigger
8426 ST1 TRIG TO ST N	*NOT SEL*	*8436*	*NOT SEL*	*8446*	*NOT SEL*	*8456*	*CHANG E DLY*	
8427 ST1 STATE N	-	*8437*	-	*8447*	-	*8457*	*STATE 3*	

Example 2



Drive is programmed for traverse control with 30 sequences.

Sequence programming is activated by digital input DI1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ST1: Drive is started in forward direction with AI1 (AI1 + 50% - 50%) reference and ramp pair 2. State shifts to the next state when reference is reached. All relay and analog outputs are cleared.

ST2: Drive is accelerated with AI1 + 15% (AI1 + 65% - 50%) reference and 1.5 s ramp time. State shifts to the next state when reference is reached. If reference is not reached within 2 s, state shifts to state 8 (error state).

ST3: Drive is decelerated with AI1 + 10% (AI1 + 60% - 50%) reference and 0 s ramp time[1]. State shifts to the next state when reference is reached. If reference is not reached within 0.2 s, state shifts to state 8 (error state).

ST4: Drive is decelerated with AI1 - 15% (AI1 + 35% -50%) reference and 1.5 s ramp time. State shifts to the next state when reference is reached. If reference is not reached within 2 s, state shifts to state 8 (error state).[2]

ST5: Drive is accelerated with AI1 -10% (AI1 + 40% -50%) reference and 0 s ramp time[1]. State shifts to the next state when reference is reached. Sequence counter value is increased by 1. If sequence counter elapses, state shifts to state 7 (sequence completed).

ST6: Drive reference and ramp times are the same as in state 2. Drive state shifts immediately to state 2 (delay time is 0 s).

ST7 (sequence completed): Drive is stopped with ramp pair 1. Digital output DO is activated. If Sequence programming is deactivated by the falling edge of digital input DI1, state machine is reset to state 1. New start command can be activated by digital input DI1 or by digital inputs DI4 and DI5 (both inputs DI4 and DI5 must be simultaneously active).

ST8 (error state): Drive is stopped with ramp pair 1. Relay output RO is activated. If Sequence programming is deactivated by the falling edge of digital input DI1, state machine is reset to state 1. New start command can be activated by digital input DI1 or by digital inputs DI4 and DI5 (both inputs DI4 and DI5 must be simultaneously active).

[1] 0 second ramp time = drive is accelerated/decelerated as rapidly as possible.

[2] State reference must be between 0...100%, ie, scaled AI1 value must be between 15...85%. If AI1 = 0, reference = 0% + 35% -50% = -15% < 0%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Setting	Additional information
1002 EXT2 COMMANDS	*SEQ PROG*	Start, stop, direction commands for EXT2
1102 EXT1/EXT2 SEL	*EXT2*	EXT2 activation
1106 REF2 SELECT	*AI1+SEQ PROG*	Sequence programming output as REF2
1201 CONST SPEED SEL	*NOT SEL*	Deactivation of constant speeds
1401 RELAY OUTPUT 1	*SEQ PROG*	Relay output RO 1 control as defined by parameter *8423*/.../*8493*
1601 RUN ENABLE	*NOT SEL*	Deactivation of Run enable
1805 DO SIGNAL	*SEQ PROG*	Digital output DO control as defined by parameter *8423*/.../*8493*
2102 STOP FUNCTION	*RAMP*	Ramp stop
2201 ACC/DEC 1/2 SEL	*SEQ PROG*	Ramp as defined by parameter *8422*/.../*8452*.
2202 ACCELER TIME 1	1 s	Acceleration/deceleration ramp pair 1
2203 DECELER TIME 1	0 s	
2205 ACCELER TIME 2	20 s	Acceleration/deceleration ramp pair 2
2206 DECELER TIME 2	20 s	
2207 RAMP SHAPE 2	5 s	Shape of the acceleration/deceleration ramp 2
3201 SUPERV 1 PARAM	171	Sequence counter (signal *0171 SEQ CYCLE CNTR*) supervision
3202 SUPERV 1 LIM LO	30	Supervision low limit
3203 SUPERV 1 LIM HI	30	Supervision high limit
8401 SEQ PROG ENABLE	*EXT2*	Sequence programming enabled
8402 SEQ PROG START	*DI1*	Sequence programming activation through digital input (DI1)
8404 SEQ PROG RESET	*DI1(INV)*	Sequence programming reset (ie, reset to state 1, when DI1 signal is lost (1 -> 0)
8406 SEQ LOGIC VAL 1	*DI4*	Logic value 1
8407 SEQ LOGIC OPER 1	*AND*	Operation between logic value 1 and 2
8408 SEQ LOGIC VAL 2	*DI5*	Logic value 2
8415 CYCLE CNT LOC	*ST5 TO NEXT*	Sequence counter activation, ie, sequence count increases every time the state changes from state 5 to state 6.
8416 CYCLE CNT RST	*STATE 1*	Sequence counter reset during state transition to state 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ST1		ST2		ST3		ST4		Additional information
Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	
8420 ST1 REF SEL	50%	*8430*	65%	*8440*	60%	*8450*	35%	State reference
8421 ST1 COMMANDS	*START FRW*	*8431*	*START FRW*	*8441*	*START FRW*	*8451*	*START FRW*	Run, direction and stop commands
8422 ST1 RAMP	-0.2 (ramp pair 2)	*8432*	1.5 s	*8442*	0 s	*8452*	1.5 s	Acceleration/ deceleration ramp time
8423 ST1 OUT CONTROL	*R=0,D=0 ,AO=0*	*8433*	*AO=0*	*8443*	*AO=0*	*8453*	*AO=0*	Relay, digital and analog output control
8424 ST1 CHANGE DLY	0 s	*8434*	2 s	*8444*	0.2 s	*8454*	2 s	State change delay
8425 ST1 TRIG TO ST 2	*ENTER SETPNT*	*8435*	*ENTER SETPNT*	*8445*	*ENTER SETPNT*	*8455*	*ENTER SETPNT*	State change trigger
8426 ST1 TRIG TO ST N	*NOT SEL*	*8436*	*CHANG E DLY*	*8446*	*CHANG E DLY*	*8456*	*CHANG E DLY*	
8427 ST1 STATE N	*STATE 1*	*8437*	*STATE 8*	*8447*	*STATE 8*	*8457*	*STATE 8*	

ST5		ST6		ST7		ST8		Additional information
Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	
8460 ST5 REF SEL	40%	*8470*	65%	*8480*	0%	*8490*	0%	State reference
8461 ST5 COMMANDS	*START FRW*	*8471*	*START FRW*	*8481*	*DRIVE STOP*	*8491*	*DRIVE STOP*	Run, direction and stop commands
8462 ST5 RAMP	0 s	*8472*	1.5 s	*8482*	-0.1 (ramp pair 1)	*8492*	-0.1 (ramp pair 1)	Acceleration/ deceleration ramp time
8463 ST5 OUT CONTROL	*AO=0*	*8473*	*AO=0*	*8483*	*DO=1*	*8493*	*RO=1*	Relay, digital and analog output control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ST5		ST6		ST7		ST8		Additional information
Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	Par.	Setting	
8464 ST5 CHANGE DLY	0.2 s	*8474*	0 s	*8484*	0 s	*8494*	0 s	State change delay
8465 ST5 TRIG TO ST6	*ENTER SETPNT*	*8475*	*NOT SEL*	*8485*	*NOT SEL*	*8495*	*LOGIC VAL*	State change trigger
8466 ST5 TRIG TO ST N	*SUPRV1 OVER*	*8476*	*CHANG E DLY*	*8486*	*LOGIC VAL*	*8496*	*NOT SEL*	
8467 ST5 STATE N	*STATE 7*	*8477*	*STATE 2*	*8487*	*STATE 1*	*8497*	*STATE 1*	

Safe torque off (STO) function

See *Appendix: Safe torque off (STO)* on page *417*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

บทความเชิงวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฮม

Reactive Power Compensation using Inverter-Air Condition for Smart Home Application

นางสาวกมลทร ผาติธรรมธร[1] นายกิติภัฏ ร่มเทชร[2] นายพิทรพงษ์ นาวีระ[3] นางสาวรสริน อัจฉริยบุญยงค์[4]
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: rossarin.ach@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อช่วยลดค่าความสูญเสียในบ้านพักอาศัยและปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับรองรับระบบสมาร์ทโฮม โดยการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โครงงานวิจัยนี้ได้ใช้วงจร Back to Back คอนเวอร์เตอร์เข้ามาควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ให้สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการด้วยการควบคุมแบบ PI ในขณะเดียวกัน Back to Back คอนเวอร์เตอร์นี้ก็ทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าไปชดเชยให้กับโหลดต่างๆ ภายในบ้าน โดยอาศัยการควบคุมแบบเวกเตอร์แยกอิสระระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งจากผลการทดลองของโครงงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในระบบสมาร์ทโฮมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์, การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน, วงจรBack to back คอนเวอร์เตอร์, การควบคุมแบบเวกเตอร์, การควบคุมแบบ PI

Abstract

This thesis presents the applying of the inverter-air condition to reduce loss in the resident by compensating power factor, and stabilizing the voltage level that also can be used in Smart home. Back-to-back converter is used in vector control-mode for separately control real power and reactive power. Although the inverter-air condition has inverters that are connected to compressor for control the speed and converters that connected to grid in the other side, the inverter-air condition is still working correctly. This thesis uses PI control in air condition to maintain the temperature. Simulations and experiments show that the theory of PI control and vector control using in the inverter-air condition can be applied to practically use for Smart home in the future.

Keyword: Inverter-air condition, Reactive power compensation, Back - to -back converter, Vector control, PI control

1.บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันการใช้เครื่องปรับอากาศทั่วไป ได้ถูกแทนที่ด้วยเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลาย โดยระบบอินเวอร์เตอร์คือระบบควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง อุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงถึงระดับที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นคอมเพรสเซอร์จะปรับรอบการทำงานลงเพื่อคงอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ตลอดเวลา ในขณะที่เครื่องปรับอากาศทั่วไปจะทำงานแบบ ON-OFF ทำให้อุณหภูมิภายในห้องของเครื่องปรับอากาศทั่วไปเปลี่ยนแปลงมากกว่าเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ และด้วยผลจากการทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ลดลงตามไปด้วย ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ โดยอินเวอร์เตอร์จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงประมาณร้อยละ70 ซึ่งจะเหลือกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งอินเวอร์เตอร์ทั่วไปจะถูกปล่อยทิ้งไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการนำกำลังไฟฟ้าเสมือนนี้มาใช้ประโยชน์

โครงงานนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ เพื่อนำกำลังไฟฟ้าเสมือนที่เหลือจากอินเวอร์เตอร์นั้นมาเข้าวงจรควบคุมและแสดงการแก้ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของโหลดภายในบ้านให้ดียิ่งขึ้น

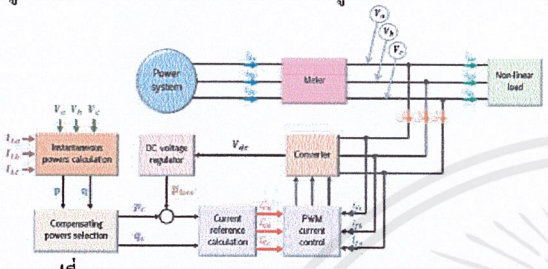
2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี p-q ในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน

แนวคิดพื้นฐานของการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน โดยการชดเชยแบบขนานเป็นวงจรแอกทีฟฟิวเตอร์ (Active filter) ซึ่งสามารถใช้ได้กับการควบคุมแหล่งจ่ายกระแส โดยจะทำการเลือก

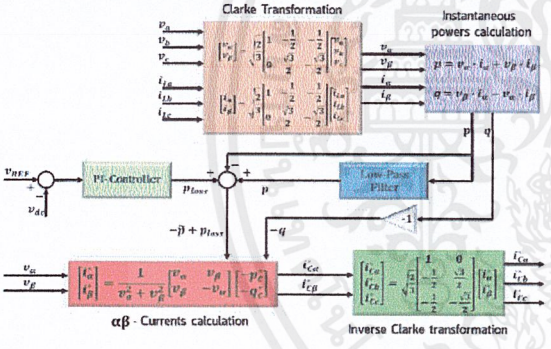
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ต้องการชดเชยได้แก่ i_{Ca}^{*}, i_{Cb}^{*}, i_{Cc}^{*} หลักการพื้นฐานเริ่มจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง p ของโหลดซึ่งมีองค์ประกอบเป็นค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจริง ($\bar{p}$) และค่ากวัดแกว่งของกำลังไฟฟ้าจริง ($\tilde{p}$) และจะทำการเลือกกำลังไฟฟ้าที่ถูกชดเชยคือ p_C^{*} และ q_C^{*} หลังจากนั้นแปลงแกนของกระแส αβ ไปแกน abc ซึ่งก็คือค่าของกระแสชั่วขณะที่ถูกชดเชย i_{Ca}^{*}, i_{Cb}^{*}, i_{Cc}^{*} โดยหลักการของการชดเชยกระแสไฟฟ้าคือการนำค่ากระแสที่ถูกชดเชยลบออกจากกระแสของโหลดดังรูปที่1



รูปที่ 1 Three-wire shunt active filter for current compensation

วงจรควบคุมโดยสมบูรณ์ของการชดเชยกำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟสแอกทีฟฟิวเตอร์แบบขนาน โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าจริงกวัดแกว่งของโหลดกับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะเป็นดังรูปที่ 2

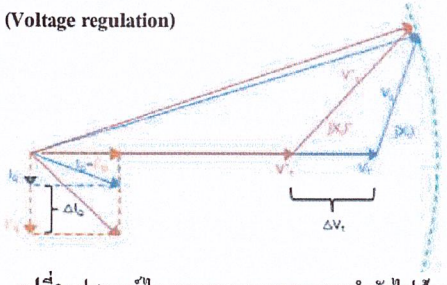


รูปที่2 วงจรควบคุมสำหรับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

3.ออกแบบการทดลอง

3.1 ออกแบบการทำออกแบบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

(Voltage regulation)



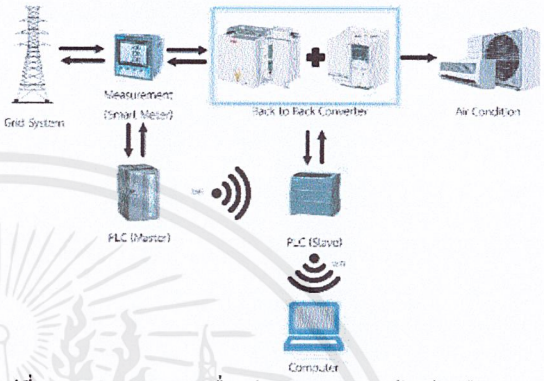
รูปที่3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

3.1.1 การเพิ่มกำลังไฟฟ้าเสมือนจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) ลดลงมากกว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าจริง (ในเปอร์เซ็นต์การเพิ่มเดียวกัน)

3.1.2 การลดกำลังไฟฟ้าเสมือนจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) เพิ่มขึ้นมากกว่าการลดกำลังไฟฟ้าจริง (ในเปอร์เซ็นต์การลดเดียวกัน)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าได้ดังรูปที่3

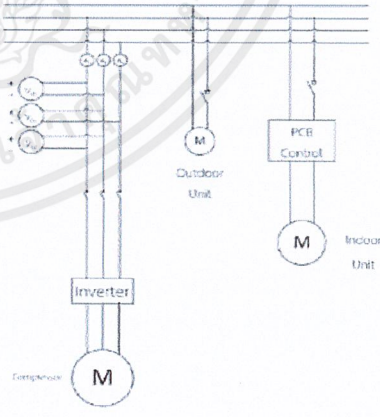
3.2 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน



รูปที่4 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

การเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนดังรูปที่4 โดยมีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจะต่อเข้ากับสมาร์ทมิเตอร์ของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน(REAL LAB) ก่อนไปเชื่อมต่อกับBack to back converter และจะใช้ PLC ในการส่งและรับข้อมูลผ่านทางระบบสื่อสารแบบไร้สาย(wifi) กับระบบไมโครสมาร์ทกริดของREAL LAB เพื่อสามารถควบคุมและแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

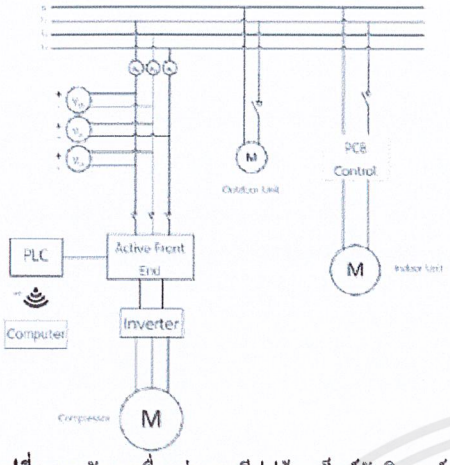
3.3 การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์



รูปที่5 แผนผังการต่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อปรับปรุงเครื่องปรับอากาศทั่วไปเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

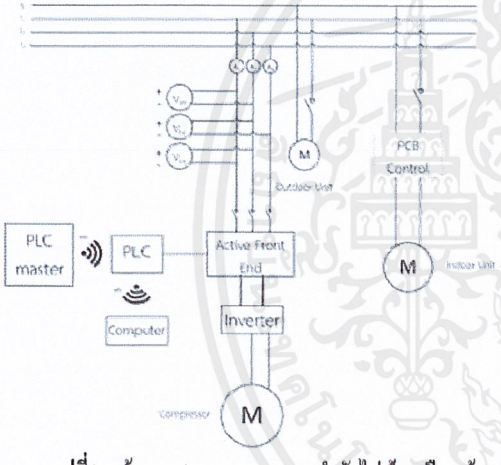
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟร้อนต์เอ็นด์



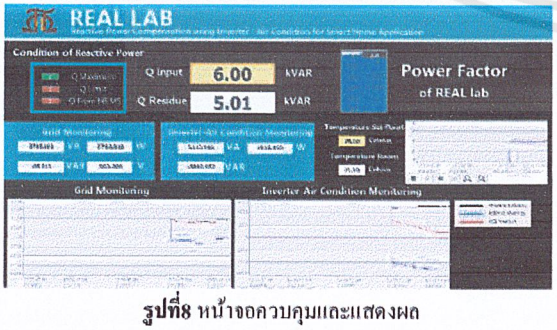
รูปที่6 แผนผังการเชื่อมต่อแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์

3.5 การรับและส่งข้อมูลด้วยโปรแกรม PLC แบบเรียลไทม์ในระบบไมโครสมาร์ทกริดของ REAL LAB



รูปที่8 หน้าจอแสดงผลการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

3.6 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและแสดงผลการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน



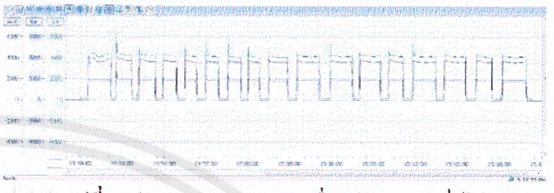
รูปที่8 หน้าจอควบคุมและแสดงผล

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง

จากปริญญานิพนธ์นี้แบ่งการทดลองเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องปรับอากาทั่วไปกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

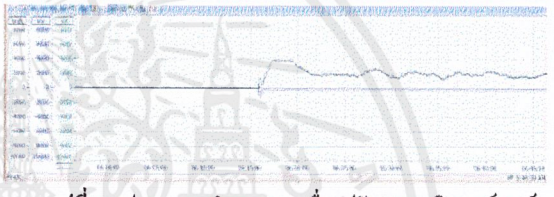
4.1 การทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์

4.1.1 ผลการทดลองระบบเครื่องปรับอากาศทั่วไป



รูปที่9 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไป

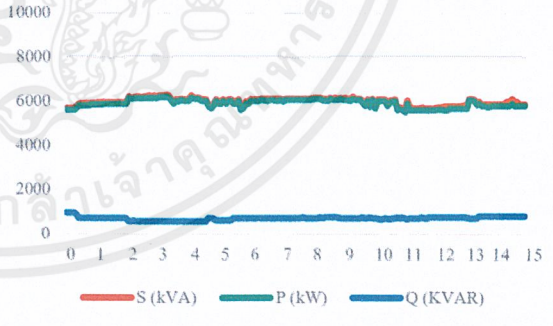
4.2.2 ผลการทดลองระบบเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์



รูปที่10 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

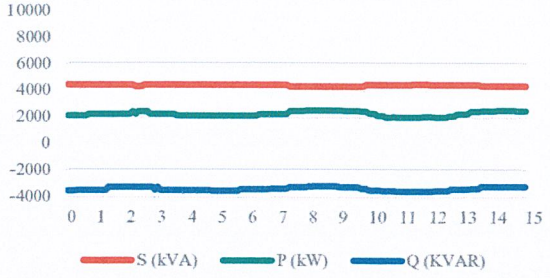
4.2 การทดลองโปรแกรมสำหรับควบคุมและแสดงผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ตัวอย่างผลการทดลองเมื่อแอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด

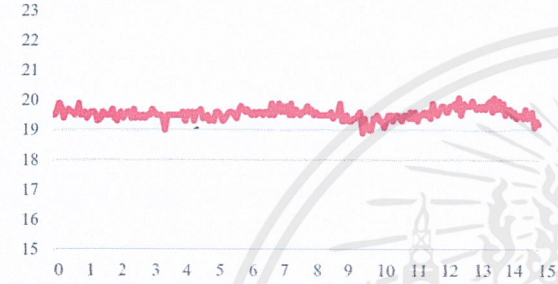


รูปที่11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา

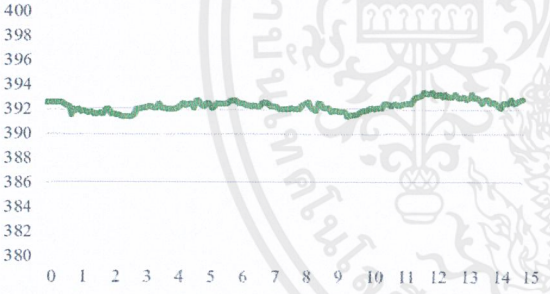
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



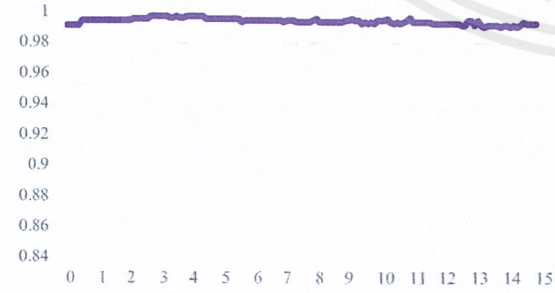
รูปที่12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เทียบกับเวลา



รูปที่13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กำหนด (set point) และอุณหภูมิห้อง (room) ปรับอากาศเทียบกับเวลา



รูปที่14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดเทียบกับเวลา



รูปที่15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเทียบกับเวลา

4.2.1 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบไมโครสมาร์ทกริดเมื่อแอคทีฟฟรอนเอ็นจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามกรณีต่างๆ

ตารางที่1 แอคทีฟฟรอนเอ็นจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ค่าสูงสุด

$Q_{REAL\ LAB}$	P_{grid} (W)	V_{grid} (V)	PF_{grid}
Not Supplying Q	6246.2	391.4	0.92
1 kVAR	6295.6	391.9	0.95
2 kVAR	6137.6	392.7	0.96
3 kVAR	5990.6	393.7	0.98
Auto	5906.1	393.8	0.99

จากตารางที่ 1 เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบไมโครสมาร์ทกริดของREAL มากขึ้น ก็จะทำให้ระบบไมโครสมาร์ทกริดบริโภคกำลังไฟฟ้าจริงในปริมาณที่ลดลง ในขณะเดียวกันส่งผลให้ระดับแรงดันไฟฟ้ารวมของระบบไมโครสมาร์ทกริดเพิ่มขึ้น อีกทั้งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครสมาร์ทกริดมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้ 1

โดยการให้แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์ของเครื่องต้นแบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไมโครสมาร์ทกริดมีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด (unity power factor)

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนกลับสู่ระบบไมโครสมาร์ทกริดส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และรวมไปถึงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งในกรณีที่แอคทีฟฟร้อนเอ็นด์จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนตามปริมาณความต้องการของระบบไมโครสมาร์ทกริด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีที่สุด กล่าวคือลดภาวะแรงดันไฟฟ้าตก ลดค่าการสูญเสียในระบบ และสามารถลดค่าปรับจากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, and Mauricio Aredes, **Instantaneous Power Theory and Applications to PowerConditioning,** John Wiley & Sons, Inc., 2007.

[2] Kyosuke Funami and Hiroaki Nishi, "Evaluation of Power Consumption and Comfort using Inverter Control of Air-conditioning", **IEEE,** 2011, pp 3236-3241.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวกมลพร ผาติธรรมธร
วัน เดือน ปีเกิด 29 สิงหาคม 2537
ที่อยู่ 1730/22 หมู่ 6 ตำบลอู่ทอง
อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี 72160

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอู่ทอง

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ไดกิ้นอินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด
แผนก Quality Control ฝ่าย Market Quality Control
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2559

ชื่อ-นามสกุล นายกิติภัฏ ร่มเพชร
วัน เดือน ปีเกิด 8 กรกฎาคม 2537
ที่อยู่ 85/15 หมู่ 3 ถนนมาลัยแมน
ตำบลนครปฐม อำเภอเมืองนครปฐม
จังหวัดนครปฐม 73000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอ็นเค จำกัด
แผนก Electrical maintenance
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล นายพิพรพงษ์ นาวีระ

วัน เดือน ปีเกิด 25 พฤศจิกายน 2537

ที่อยู่ 1 หมู่ 3 ตำบลแม่ลา

อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี 16130

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสิงห์บุรี

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท มิตซูบิชิ เฮฟวี อินดัสทรีส์ มหาจักร แอร์คอนดิชั่น
แผนก Electrical maintenance และ Painting
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2559

ชื่อ-นามสกุล นางสาวรสริน อัจฉริยบุญยงค์

วัน เดือน ปีเกิด 11 มกราคม 2538

ที่อยู่ 109/115 ม.2 หมู่บ้าน รติรมย์2
ถ.ไม้ดอกไม้ประดับ ต.มหาสวัสดิ์
อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ นนทบุรี

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
แผนก ECM/E ฝ่าย Electrical Engineer
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้