

การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยทฤษฎีกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ
โดยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการประยุกต์
ใช้ในสมาร์ทโฮม

REACTIVE POWER COMPENSATION USING INSTANTANEOUS POWER
THEORY FOR AN INVERTER AIR CONDITIONER IN SMART HOME
APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-020-186

การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยทฤษฎีกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ
โดยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการประยุกต์
ใช้ในสมาร์ทโฮม

REACTIVE POWER COMPENSATION USING INSTANTANEOUS POWER
THEORY FOR AN INVERTER AIR CONDITIONER IN SMART HOME
APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-020-186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REACTIVE POWER COMPENSATION USING INSTANTANEOUS
POWER THEORY FOR AN INVERTER AIR CONDITIONER IN SMART
HOME APPLICATIONS



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECETRICAL ENGINEERING
FACUALTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL-2017-EN-M-020-186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยทฤษฎีกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ โดย เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการประยุกต์ใช้ในสมาร์ต โฮม
นักศึกษา	นายเอกนรินทร์ อรุณ
รหัสประจำตัว	57601100
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ร่วมกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกัน (Back to back converter) เพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงานคงที่ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor) ของระบบไฟฟ้าของสมาร์ตโฮมมีค่าที่ดีขึ้นหรือใกล้เคียง 1 โดยในงานวิจัยนี้มีการทดลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน 2 แบบคือการจ่ายแบบคงที่ที่ค่าๆหนึ่ง และจ่ายที่ค่าสูงสุดที่อินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศสามารถจ่ายได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองโดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบ 3 เฟส 38600 บีทียู เชื่อมต่อกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกันโดยวงจรฝั่งหนึ่งมีหน้าที่ควบคุมเครื่องปรับอากาศให้ทำงานแบบเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และอีกฝั่งหนึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายในสมาร์ตโฮมโดยใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์เพื่อแยกการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าจริงให้เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของสมาร์ตโฮมนั้นเป็นไปได้และสามารถนำผลการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับระบบการจัดการพลังงานในที่พักอาศัย (HEMS) ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	REACTIVE POWER COMPENSATION USING INSTANTANEOUS POWER THEORY FOR AN INVERTER AIR CONDITIONER IN SMART HOME APPLICATIONS
Student	Mr. Aeknarin Aroon
Student ID.	57601100
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Surin Khomfoi

ABSTRACT

This proposed paper introduces the application of the inverter air conditioner by using the back to back converter to provide the reactive power during the steady state operation. This technique is used for improving the power factor of the smart home system or to provide the reactive power in the appropriate situation in both of constant reactive power supply and the maximum reactive power supply mode. A 3-phase 38,600 BTU is used for the experimental setup and supported the reactive power back to the utility grid system. The back to back converter is used to with an air conditioner. The propose back to back converter can be controlled using vector control technique for providing desired active and reactive power. The results show that remained power rating during steady state can be use to compensate the reactive power as a function of smart home which can be used to apply with home energy management system(HEMS).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมไปถึงข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงการเอาใจใส่และให้คำปรึกษาที่ตีมาโดยตลอด โดยเริ่มต้นจากการแนะนำทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการให้คำปรึกษาต่าง ๆ เมื่อเกิดปัญหาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนอาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้คำสั่งสอนและให้ความรู้ซึ่งเป็นทรัพย์สินที่มีค่าที่สุดในการประกอบอาชีพ

ขอขอบพระคุณอาคารปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน REAL (Renewable Energy Application Laboratory) ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดลอง ขอขอบคุณปู่ น้องต่าง น้องกอล์ฟ น้องโรส น้องมน ตลอดจนผู้ที่ให้การช่วยเหลือทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนจนปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อประดิษฐ์ และคุณแม่ปิ่นดา อรุณ ที่ได้อุปการะเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนส่งเสริมทางด้านการศึกษามาจนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้ ได้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาโทเล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบใจแก่ทุกท่านที่สนใจสามารถนำไปศึกษา ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและใช้ในงานวิจัยด้านอื่น ๆ ต่อไป

เอกนรินทร์ อรุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	IX
สารบัญตาราง.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	3
1.4 วิธีการใช้ในโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย.....	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)	8
2.3.1 แบบลูกสูบ.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 แบบโรตารี.....	8
2.3.3 แบบสโครล์.....	8
2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	9
2.4.1 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)	9
2.5 การมอดูเลตของอินเวอร์เตอร์.....	10
2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	12
2.7 แบบทูปแบคคอนเวอร์เตอร์ (Back-to-Back Converter)	14
2.8 การควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control)	14
2.9 ทฤษฎีการแปลงแกนแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation).....	15
2.10 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรสวิตซ์โหมดคอนเวอร์เตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย 3 เฟส... 23	
2.10.1 การทำงานในโหมดเร็คตีไฟเออร์.....	24
2.10.2 การทำงานในโหมดอินเวอร์ทิง.....	28
2.11 การสื่อสารอนุกรม RS-232.....	32
2.11.1 RS-232.....	32
2.11.2 หลักการของ RS-232.....	33
2.11.3 การใช้งาน RS-232.....	33
2.11.3.1 วิธีการใช้ Hyper Terminal ที่มาที่กับ Windows ตรวจสอบ.....	33
2.11.3.2 วิธีการใช้โปรแกรม Expert Comport Test.....	34
2.11.3.3 วิธีใช้ LED ต่อกับความต้านทาน R 1 k โอห์ม.....	34
2.11.4 สาเหตุที่ทำให้ RS-232 เสียได้.....	34
2.11.5 วิธีการป้องกันไม่ให้ RS-232 เสียได้ง่าย.....	34
2.11.6 ข้อดีและข้อเสียของ RS-232.....	34
2.12 โปรแกรม DriveStudio.....	35
2.12.1 DriveStudio คืออะไร.....	35
2.12.2 การเชื่อมต่อ Drive กับโปรแกรม DriveStudio.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม DriveStudio เบื้องต้น.....	36
2.13 สรุป.....	38
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง.....	39
3.1 บทนำ.....	39
3.2 ออกแบบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulation)	39
3.3 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ.....	40
3.4 การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์.....	41
3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็น เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์.....	41
3.4.2.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	41
3.4.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนผนัง (FLOOR / CEILING TYPE).....	43
3.4.2.3 Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100.....	43
3.4.2.4 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	44
3.5 การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอกทีฟพรีออนเอ็นด์.....	45
3.5.1 แผนผังการเชื่อมต่อแอกทีฟพรีออนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์.....	45
3.5.2 อุปกรณ์การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอกทีฟพรีออนเอ็นด์.....	46
3.5.2.1 แอกทีฟพรีออนเอ็นด์ (AFE) รุ่น ACSM1-204 โมดูลรีเจนซ์พลาซมาของ ABB.....	46
3.5.2.2 PLC ของบริษัท Siemens.....	48
3.5.2.3 SIEMENS 6ES7232-4HA30-0XB0.....	49
3.5.2.4 เร้าเตอร์.....	50
3.5.3 โปรแกรม PLC เพื่อใช้ในการควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	51
3.6 สรุป.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล.....	55
4.1 บทนำ.....	55
4.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปโดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการ ทำงานของคอมเพรสเซอร์.....	55
4.2.1 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป.....	55
4.2.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์.....	56
4.3 การทดลองผลจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบในรูปแบบของการปรับปรุงค่าตัว ประกอบกำลัง.....	57
4.4 ผลการทดลองการบริโภคพลังงานหลังจากชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	59
4.5 ผลการทดลองการปรับปรุงฮามอนิกหลังจากชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	61
4.6 สรุป.....	63
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	64
5.1 บทนำ.....	64
5.2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลืออยู่จากการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเทียบ กับการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์.....	64
5.3 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองเรื่องการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศ แบบอินเวอร์เตอร์.....	66
5.3.1 กรณีผลของแรงดันที่เปลี่ยนไปหลังจากชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	66
5.3.2 กรณีผลของค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่เปลี่ยนไป.....	67
5.4 ระยะเวลาการคืนทุน.....	69
5.5 สรุป.....	69
บทที่ 6 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ **VII** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.1 บทสรุป.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ.....	71
6.3 แนวทางการพัฒนา.....	71
เอกสารอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
เครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ.....	75
แอดทีฟพรีอนเอนด์.....	76
ภาคผนวก ข.....	81
เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	80
ภาคผนวก ค.....	83
คู่มือการใช้งาน ACSM1 Regen Supply Control และ ACS355 drives.....	84
ภาคผนวก ง.....	152
บทความเชิงวิชาการ.....	152
ประวัติผู้เขียน.....	158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ **VIII** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. 1 ระบบการบริหารจัดการความต้องการพลังงานของอาคาร.....	1
1. 2 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ในส่วนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์.....	2
1. 3 แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จนเข้าสู่ช่วง STEADY STATE (%).....	3
2. 1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ [4].....	7
2. 2 คอมเพรสเซอร์แบบสโครล์ [5]	9
2. 3 สัญลักษณ์และกราฟคุณลักษณะของไอจีบีที.....	10
2. 4 รูปคลื่นและฮาร์มอนิกส์สเปกตรัมของอินเวอร์เตอร์สามเฟส.....	12
2. 5 วงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟส (TWO-LEVEL INDIRECT FREQUENCY CONVERTER WITH VOLTAGE SOURCE INVERTER AND DIODE BRIDGE RECTIFIER).....	12
2. 6 แรงดันเอาต์พุตจากโหมดอินเวอร์เตอร์.....	13
2. 7 แรงดันเอาต์พุตจากโหมดเรกติไฟเลอร์.....	14
2.8 วงจรแบบคูกูแบคคอนเวอร์เตอร์ (BACK-TO-BACK CONVERTER).....	14
2. 9 รูปแบบการแปลงแกน ABC ไปยังแกน AB.....	17
2. 10 แรงดันและกระแสในรูปแบบเวกเตอร์ในระบบ AB.....	18
2. 11 กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะสามเฟส.....	19
2. 12 หลักการพื้นฐานในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน.....	20
2. 13 ไดอะแกรมควบคุมการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานด้วยแกน P – Q.....	21
2. 14 THREE-WIRE SHUNT ACTIVE FILTER FOR CURRENT COMPENSATION.....	22
2. 15 วงจรควบคุมสำหรับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ.....	22
2. 16 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 1.....	24
2. 17 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 2.....	25
2. 18 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 3.....	26
2. 19 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 4.....	27
2. 20 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 5.....	28
2. 21 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 6.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2. 22 การทำงานของสวิตช์โหมตคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 7.....	30
2. 23 การทำงานของสวิตช์โหมตคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 8.....	31
2. 24 ภาพของ RS-232.....	32
2. 25 ไอคอนโปรแกรม DRIVESTUDIO.....	35
2. 26 หน้าจอโปรแกรมเมื่อต่อกับ RS-232.....	36
2. 27 หน้าจอการกำหนดพารามิเตอร์ของแอกทีฟฟรอนต์เอนด์ (AFE).....	36
2. 28 การเลือกค่าพารามิเตอร์ในการมอนิเตอร์ริง.....	37
2. 29 หน้าจอมอนิเตอร์ริง.....	37
3. 1 เฟสเซอร์ไต่อะแกรมของการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	39
3. 2 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ.....	40
3. 3 อินเวอร์เตอร์ ACS355-03E-15A6-4 ของบริษัท ABB.....	41
3. 4 วงจรการทำงานเบื้องต้นของ ACS355 DRIVES.....	42
3. 5 แผนผังแสดงการควบคุมของ PID รูปแบบต่าง ๆ ของ ACS355 DRIVES.....	42
3. 6 เครื่องปรับอากาศสามเฟสยี่ห้อ STAR AIRE.....	43
3. 7 TEMPERATURE SENSOR ชนิด RTD รุ่น PT100.....	44
3. 8 รถเข็นสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศ.....	44
3. 9 แผนผังการเชื่อมต่อแอกทีฟฟรอนต์เอนด์กับอินเวอร์เตอร์.....	45
3. 10 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (BACK TO BACK CONVERTER).....	46
3. 11 ACSM1-204 ไมโครลิเนจันซ์ฟลายของ ABB.....	47
3. 12 วงจรหลักและอินเตอร์เฟซของการควบคุม.....	47
3. 13 ข้อมูลจำเพาะของ SIMATIC S7-1200 ของบริษัท SIEMENS.....	48
3. 14 โมเดลของ CPU ของหน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท SIEMENS.....	49
3. 15 โมดูล 6ES7232-4HA30-0XB0.....	49
3. 16 เราท์เตอร์ของบริษัท TP-LINK รุ่น TL-WR802N.....	50
3. 17 แผนผังการเชื่อมต่อของ PLC ในการรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและอุณหภูมิ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3. 18 LADDER ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด.....	52
3. 19 TAGS ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด.....	52
3. 20 หน้าจอแสดง TAGS สำคัญที่ใช้ในการควบคุมและการแสดงผล.....	56
4. 1 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป.....	56
4. 2 หน้าจอสำหรับแสดงผลข้อมูลของแอร์อินเวอร์เตอร์.....	56
4. 3 ค่าปริมาณการกินกระแสไฟของแอร์อินเวอร์เตอร์.....	57
4. 4 ภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ผ่านโปรแกรม DRIVESTUDIO.....	57
4. 5 รูปแบบการส่งจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนให้คงที่.....	58
4. 6 รูปหน้าจอคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการส่งจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน.....	59
4. 7 ค่าการบริโภคพลังงานก่อนการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน.....	60
4. 8 ค่าการบริโภคพลังงานหลังจากการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน.....	60
4. 9 ค่าฮาร์มอนิกก่อนการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	61
4. 10 ค่าฮาร์มอนิกหลังจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	65
4. 11 ค่าฮาร์มอนิกหลังจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของตัวแอร์อินเวอร์เตอร์.....	62
5. 1 กราฟการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป.....	64
5. 2 การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์.....	65
5. 3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ แบบทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์.....	66
5. 4 แสดงช่วงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหลังจากการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน.....	67
5. 5 กราฟแสดงช่วงเวลาก่อนการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	68
5. 6 แสดงผลกระทบจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนในรูปแบบเฟสเซอร์.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ **XI** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. 1 แผนการดำเนินโครงการ	4
2.1 โหมดของสวิตช์และแรงดันของเฟส.....	23
3. 1 ข้อมูลจำเพาะของ SIMATIC S7-1200	50



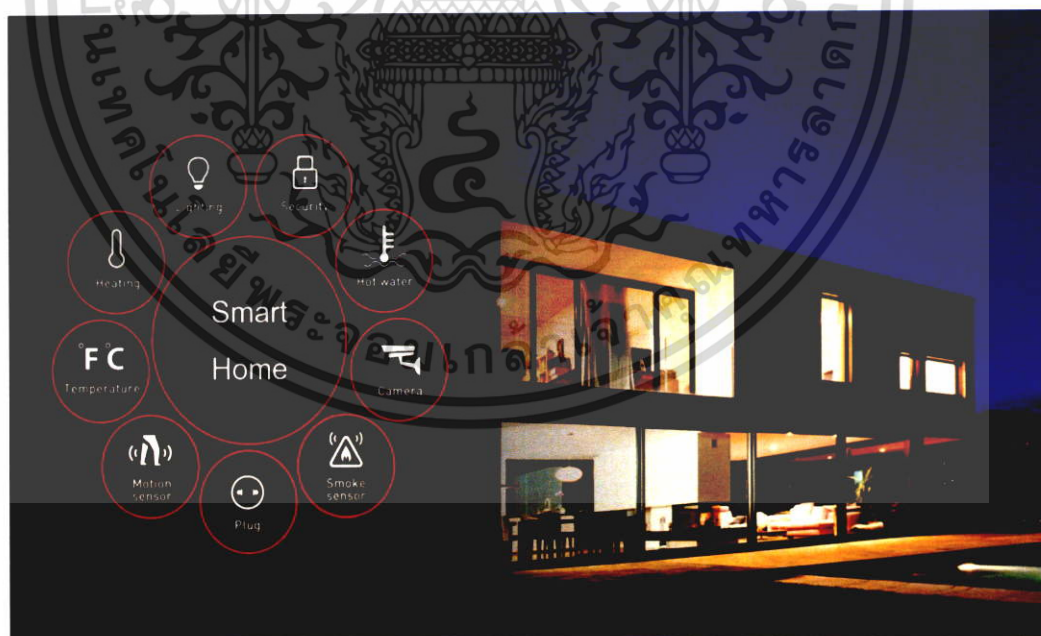
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตซึ่งประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆปี ซึ่งทำให้เกิดปัญหา กำลังการผลิตไฟฟ้าในประเทศไม่เพียงพอต่อการขยายตัวแต่ละภาคส่วนไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุตสาหกรรม หรือ คริวเรือน อีกทั้งยังส่งผลต่อสภาวะเรือนกระจกซึ่งเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ กลยุทธ์การบริหารจัดการความต้องการพลังงาน Demand-Side Management (DSM) จึงได้เข้ามามีส่วนสำคัญในการช่วยจัดการพลังงานซึ่งกำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น ระบบการบริหารจัดการความต้องการพลังงานของบ้าน Home energy management system (HEMS) ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและทราบค่าการใช้งานในขณะนั้น [1]



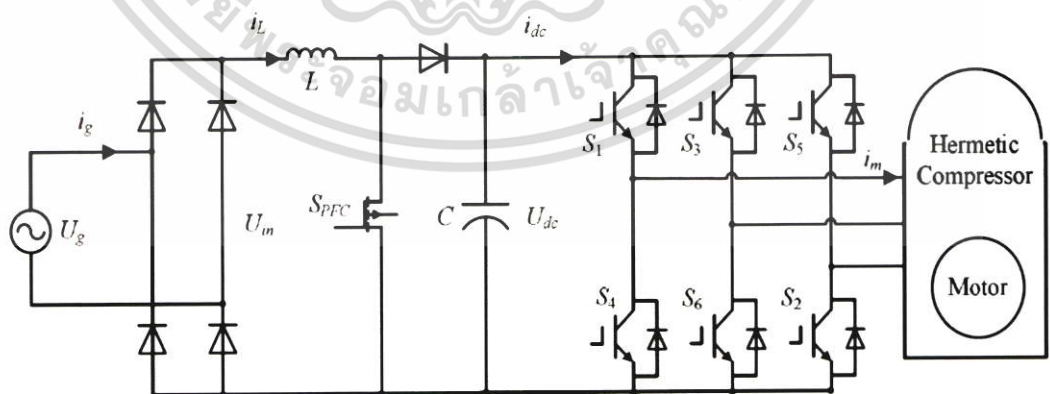
รูปที่ 1.1 ระบบการบริหารจัดการความต้องการพลังงานของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบริหารจัดการความต้องการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) นั้นมีรูปแบบและจุดประสงค์ในการควบคุมและปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวประกอบกำลัง (Power factor) โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านนั้นสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้เช่น อุปกรณ์ส่องสว่าง เครื่องปรับอากาศ และ อุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ โดยที่การบริโภคพลังงานของเครื่องปรับอากาศจะมีการบริโภคพลังงานที่มากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นสภาวะโดยทั่วไปของการใช้พลังงานภายในบ้าน ทั้งนี้เครื่องปรับอากาศสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทซิลเลอร์ เป็นเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ที่มีหน้าที่ในการผลิตน้ำเย็นหรือปรับอุณหภูมิน้ำเย็นและส่งไปยังเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่ในห้องต่างๆภายในอาคาร ซึ่งนิยมใช้ในอาคารที่มีขนาดใหญ่ และอีกประเภทคือ เครื่องปรับอากาศแบบสปริตไทร์ เป็นประเภทที่แยกกันทำงานโดยมีส่วนประกอบหลักๆ คือ คอยล์ร้อน คอยล์เย็น คอมเพรสเซอร์และอุปกรณ์ลดความดัน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไปภายในบ้าน

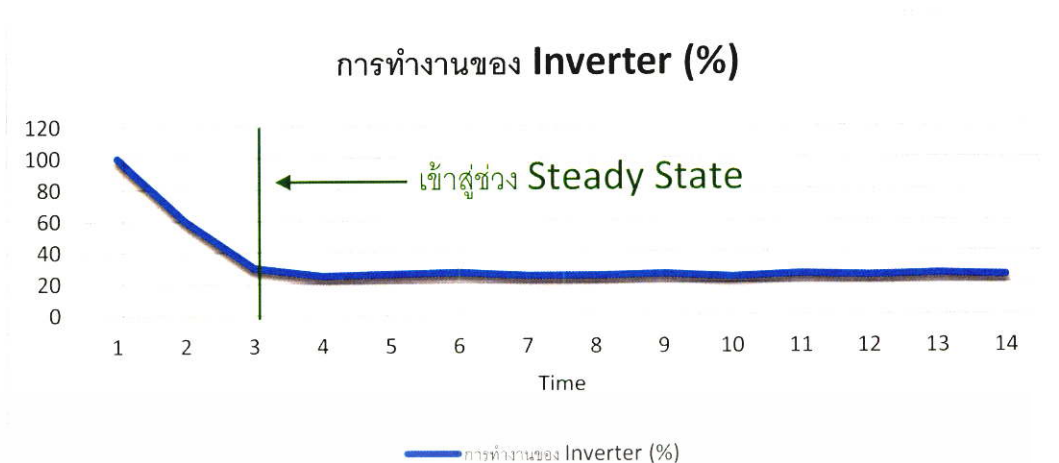
เครื่องปรับอากาศแบบสปริตไทร์แบบทั่วไป ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นในรูปแบบของการนำระบบการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์[2] มาช่วยในการทำงานเพิ่มลดกระแสไฟฟ้าโดยมีหลักการการทำงานที่ใช้ระบบไฟฟ้าที่สามารถปรับความถี่จากการทำงานของสวิทซ์ชิ่งในอินเวอร์เตอร์มาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ให้ทำงานอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิคงที่[3] จึงทำให้ช่วยให้ประหยัดพลังงานมากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบเดิม 30 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยนี้ได้นำการใช้พลังงานของแอร์อินเวอร์เตอร์ ที่เหลือในขณะที่ทำงานไม่เต็มพิกัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ มาช่วยในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้าภายในระบบบ้านอัจฉริยะ โดยการจำลองสภาพการใช้พลังงานการใช้ไฟฟ้าจาก reallab



รูปที่ 1. 2 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ในส่วนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จนเข้าสู่ช่วง Steady State (%)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อปรับปรุงให้ค่าแรงดันมีเสถียรภาพ
2. เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของระบบไฟฟ้าภายในบ้านให้ดีขึ้น
3. เพื่อลดค่าการสูญเสียจากระบบภายในบ้าน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

งานวิจัยนี้ได้นำเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา ขนาด 38,600 บีทียู ขนาด 3 เฟส 380 โวลต์ มาปรับปรุงให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแบบ PID ด้วยการนำอินเวอร์เตอร์มาต่อ และมีการต่ออินเวอร์เตอร์แบบแอคทีฟพาวเวอร์เอนด์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะทำการชดเชยรีแอคทีฟพาวเวอร์ให้แก่ระบบบ้าน

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษารูปแบบการจัดการของบ้านอัจฉริยะ
2. ศึกษารูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป
3. ศึกษาหลักการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบอินเวอร์เตอร์
4. ศึกษาแบบวิธีการสื่อสารของรูปแบบบ้านอัจฉริยะในการส่งข้อมูล
5. จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์
6. ทำการทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบปกติ
7. ทำการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศให้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์
8. ทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ให้มีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน
9. รวบรวมข้อมูลการทดลองและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1. 1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. ศึกษารูปแบบการจัดการของบ้านอัจฉริยะ									
2. ศึกษารูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป									
3. ศึกษาหลักการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบอินเวอร์เตอร์									
4. ศึกษารูปแบบวิธีการสื่อสารของรูปแบบบ้านอัจฉริยะในการส่งข้อมูล									
5. จัดเตรียมและจัดหาอุปกรณ์									
6. ทำการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศให้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์									
7. ทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ให้มีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแก่ระบบบ้าน									
8. รวบรวมข้อมูลการทดลองและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. วิทยานิพนธ์นี้ช่วยให้มีความเข้าใจการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
2. วิทยานิพนธ์นี้ช่วยให้มีความเข้าใจการทำงานของวงจรควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
3. วิทยานิพนธ์นี้มีส่วนช่วยในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพทางพลังงานของบ้านพักอาศัยเพิ่มมากยิ่งขึ้น
4. วิทยานิพนธ์นี้ช่วยให้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีการตัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะอ้างอิงถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการชดเชยรีแอกทีฟพาวเวอร์ที่มีการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในระบบสมาร์ทโฮม โดยมีหลักการควบคุมแบบเวกเตอร์คอนโทรล(Vector control)

2.2 เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)

การปรับอากาศเป็นกระบวนการควบคุมสภาวะของอากาศให้เป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปปัจจัยหรือพารามิเตอร์ของอากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วยอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และปริมาณลม การปรับอากาศมุ่งให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัยหรือในอุตสาหกรรม 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) ทำหน้าที่เพิ่มความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นในสถานะแก๊ส คอมเพรสเซอร์จะอัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีความดันและอุณหภูมิต่ำให้มี

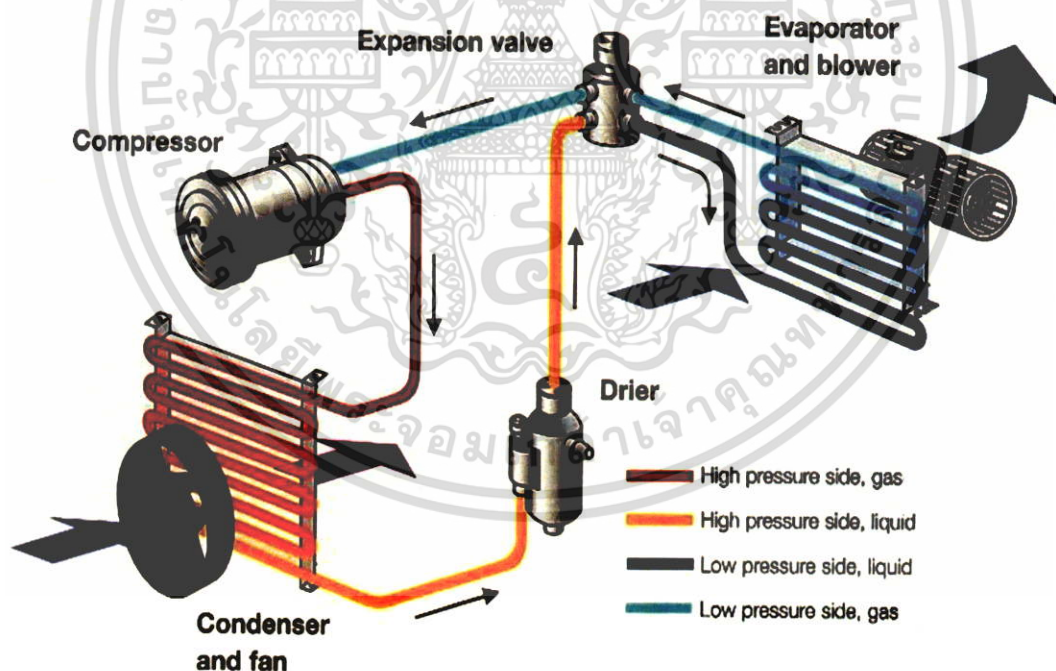
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อส่งต่อไปยังคอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียนในระบบและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะระบายความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

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 วงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์คืออุปกรณ์ที่เพิ่มความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะที่เป็นไอ คอมเพรสเซอร์จะดูดน้ำยาที่เป็นไอน้ำยิ่งยวด ทางท่อดูดเข้าสู่คอมเพรสเซอร์แล้วอัดแก๊สนี้ให้มีความดันสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และส่งเข้ายังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านเข้าทางวาล์วขยายตัวเพื่อไปกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ด้วยการระบายความร้อนออกจากน้ำยาอีกทีหนึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 2.1 คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันในระบบระหว่างด้านความดันสูงและความดันต่ำน้ำยาที่ถูกดูดเข้ามาในคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สที่มีความดันต่ำและน้ำยาที่อัดส่งจากคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สซึ่งมีความดันสูง

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้กันอยู่ในระบบปรับอากาศมีอยู่หลายชนิดโดยที่นิยมใช้กันในเครื่องปรับอากาศแยกส่วนมีดังนี้

2.3.1 แบบลูกสูบ (Piston)

คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบนับว่าพบใช้กันมากที่สุด คือพบใช้กับเครื่องทำความเย็นตั้งแต่ขนาดเล็กประมาณ 1/20 แรงม้าขึ้นไปจนกระทั่งถึงเครื่องทำความเย็นในระบบใหญ่ขนาด 50-60 ตัน

2.3.2 แบบโรตารี (Rotary)

คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีมีขีดจำกัดในการใช้งานคือใช้ได้กับระบบที่มีกำลังม้าน้อย เช่น ตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศที่ขนาดไม่เกิน 32000 Btu/h แต่ถ้าระบบใหญ่กว่านี้คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีจะไม่เหมาะในการใช้งาน

2.3.3 แบบสโครล์ (Scroll)

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



รูปที่ 2. 2 คอมเพรสเซอร์แบบสโครล์ [5]

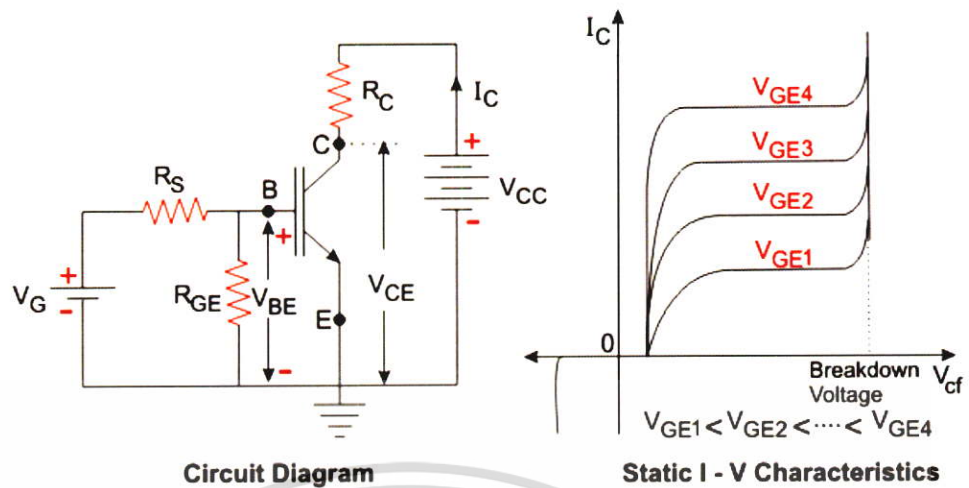
2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้อุปกรณ์สวิตชิงเพื่อควบคุมการสร้างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ ไอจีบีที (IGBT)

2.4.1 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)

เป็นอุปกรณ์สวิตชิงที่รวมข้อดีของมอสเฟตกำลัง ทรานซิสเตอร์กำลัง และจีทีโอไธริสเตอร์มารวมด้วยกัน กล่าวคือสามารถควบคุมให้นำกระแสไฟฟ้า และควบคุมให้หยุดนำกระแสไฟฟ้าโดยการควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตได้และมีความถี่ของการสวิตซ์สูงเช่นเดียวกับมอสเฟตกำลัง มีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขณะนำกระแสไฟฟ้าต่ำคล้ายกับทรานซิสเตอร์กำลัง และถูกออกแบบมาให้ทนแรงดันไฟฟ้าด้านลบได้คล้ายกับจีทีโอไธริสเตอร์ ทำให้ไอจีบีทีสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งด้านบวกและลบ อีกทั้งยังมีพิกัดกำลังที่มากกว่ามอสเฟต จึงอาจเรียกได้ว่าเป็นอุปกรณ์ประเภทไม่จำเป็นต้องมีสแน็บเบอร์ (Snubberless)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 3 สัญลักษณ์และกราฟคุณลักษณะของไอจีบีที

2.5 การมอดูเลตของอินเวอร์เตอร์

เทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse-width Modulation)

เทคนิคนี้จะใช้หลักการโดยนำแรงดันควบคุมรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐานที่ต้องการ มาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ที่ออกแบบไว้ ค่าแอมพลิจูดมอดูเลชันอินเด็กซ์จะหมายถึง ค่าอัตราส่วนของขนาดของแอมพลิจูดของรูปคลื่นไซน์อ้างอิงเทียบกับขนาดของแอมพลิจูดของรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงได้ดังนี้

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

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

เมื่อ \hat{V}_{control} คือ ค่าขนาดของแอมพลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงและ

\hat{V}_{tri} คือ ค่าขนาดของแอมพลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม

สำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส นั้น จะใช้สัญญาณสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง 3 สัญญาณ โดยแต่ละสัญญาณจะต่างเฟสกัน 120 องศา ซึ่งจะได้สัญญาณควบคุม 6 สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณขั้วเกิดของอุปกรณ์สวิตช์ ค่าอัตราส่วนระหว่างความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณอ้างอิงจะนิยามไว้ด้วยค่า m_f โดยกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ $f_{control}$ คือ ค่าความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณอ้างอิงและ
 f_{tri} คือ ค่าความถี่ของรูปสัญญาณสามเหลี่ยม

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

ในการพิจารณาสัญญาณเอาต์พุตแรงดันที่เกิดจากรูปคลื่นนี้สามารถพิจารณาได้ 2 ย่าน คือ

1. ย่านลิเนียร์มอดูเลชัน ($m_a \leq 1$) เป็นย่านที่แรงดันเอาต์พุตแปรผันตามเชิงเส้นกับค่าแอมพลิจูดมอดูเลชันอินเด็กซ์ โดยค่าแรงดันโลว์-พู-โลว์ เอาต์พุตมีค่าประมาณดังสมการต่อไปนี้

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

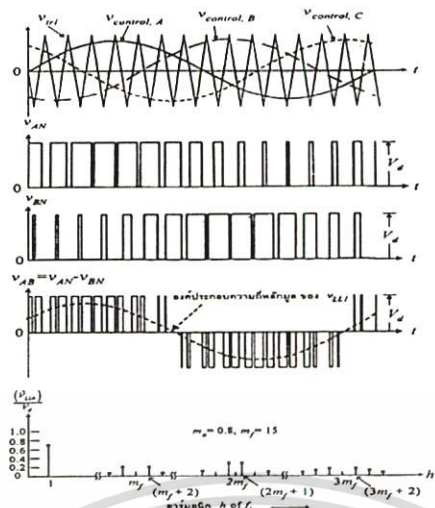
เมื่อค่า V_d เป็นค่าระดับแรงดันดีซีลิงค์

จากสมการที่ (2.4) สามารถเขียนเป็นค่าประมาณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{LL,rms} \approx 0.612 m_a V_d \quad (2.5)$$

ย่านโอเวอร์มอดูเลชัน ($m_a > 1$) เป็นย่านที่แรงดันเอาต์พุตไม่แปรผันตรงแบบเชิงเส้นกับค่าแอมพลิจูดมอดูเลชันอินเด็กซ์ซึ่ง โดยมากมักไม่มีการนำย่านนี้ไปใช้งาน

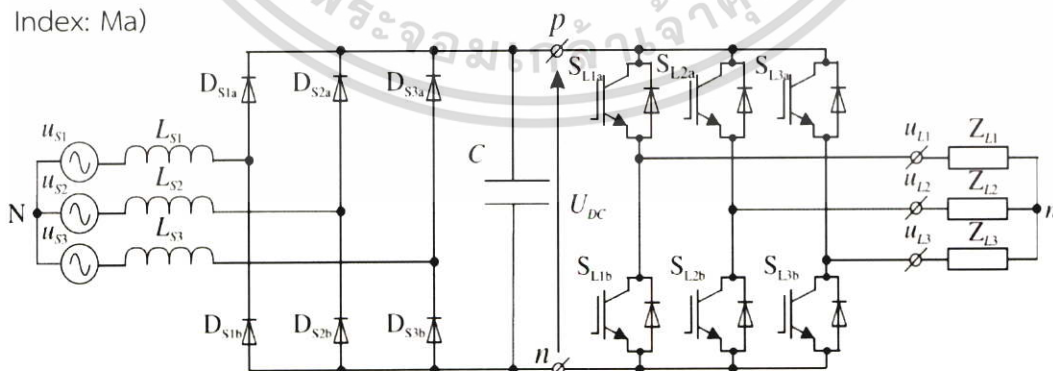
ข้อดีของการสวิตช์แบบนี้คือ สามารถลดขนาดของฮาร์มอนิกส์ลำดับต่ำได้ ทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นลดน้อยลง แต่มีข้อเสียคือ ให้ค่าองค์ประกอบแรงดันเอาต์พุตของความถี่มูลฐานน้อยลง ตัวอย่างของลักษณะการสวิตช์แบบชายนพีดับเบิลยูเอ็มแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2. 4 รูปคลื่นและฮาร์มอนิกส์สเปกตรัมของอินเวอร์เตอร์สามเฟส

2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

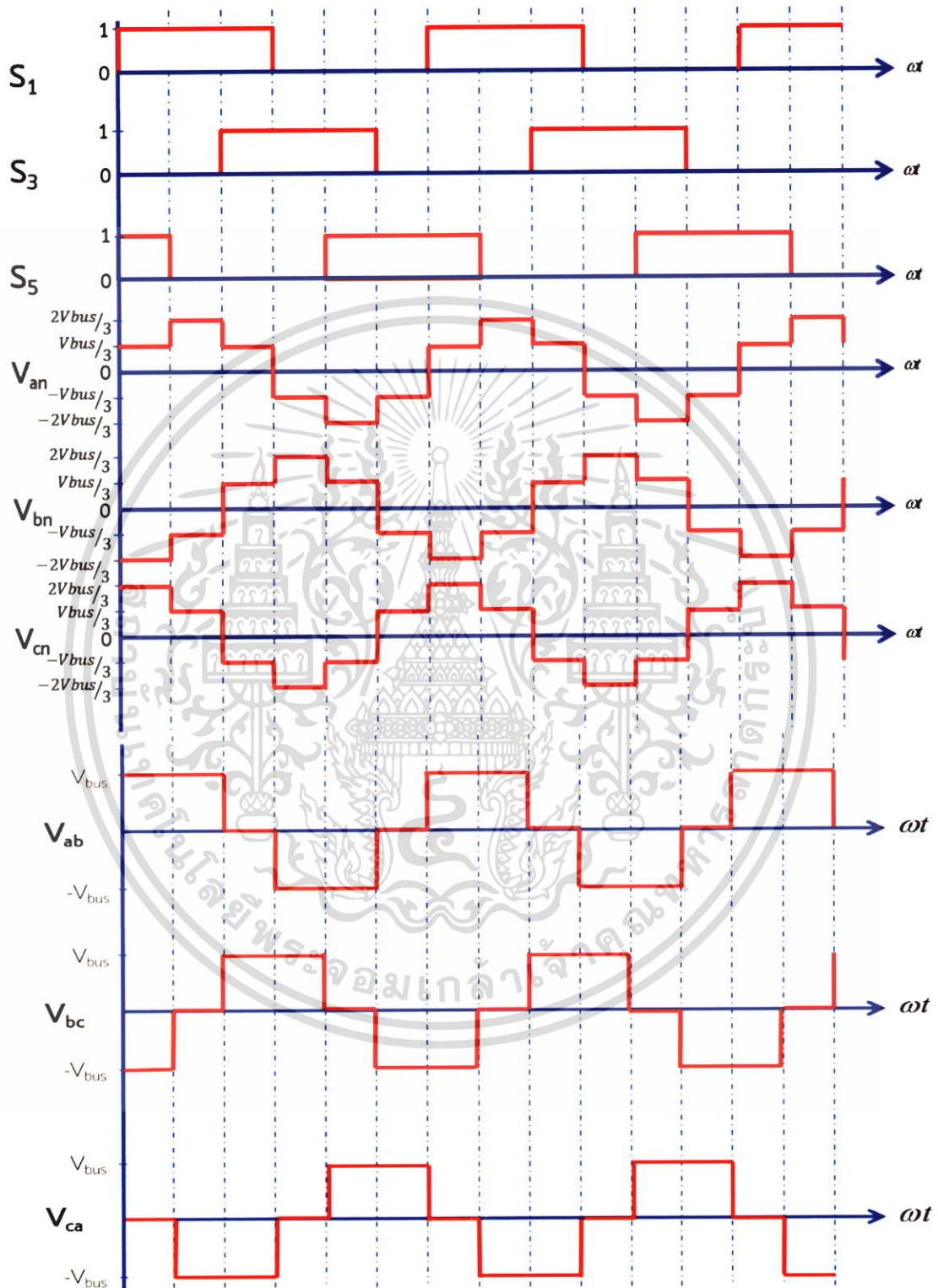
อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC to AC Converter) ทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับตามขนาดและความถี่ที่ต้องการ หากต้องการปรับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์สามารถทำได้โดยการรักษาระดับอัตราการขยาย (Gain) ของอินเวอร์เตอร์ให้คงที่ด้วยการคงค่าความถี่ แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าอินพุต (Voltage Input: V_{in}) หรือคงค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตแล้วเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายของอินเวอร์เตอร์โดยการปรับค่าความถี่ก็สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้เช่นกัน อัตราการขยายของอินเวอร์เตอร์สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตต่อค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต หรือสามารถปรับที่ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index: M_a)



รูปที่ 2. 5 วงจรบริดเรียงกระแสสามเฟส (Two-level indirect frequency converter with voltage source inverter and diode bridge Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

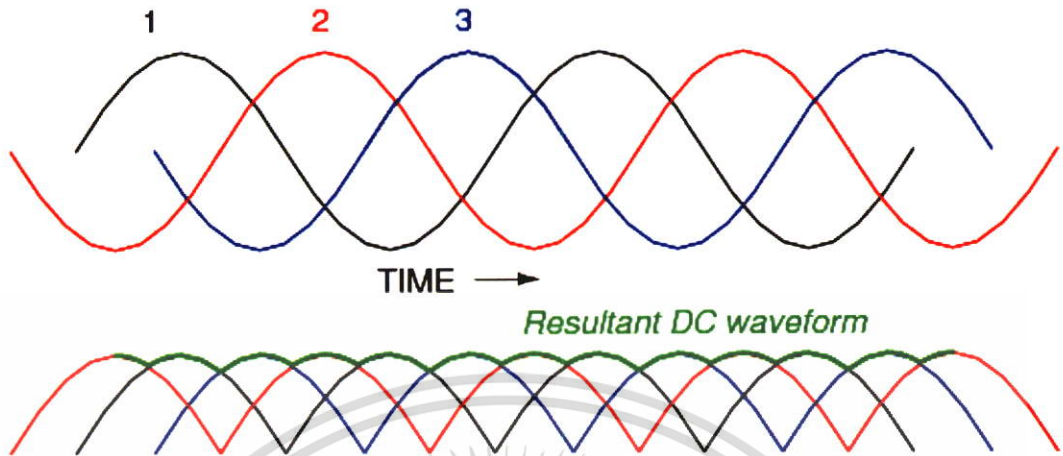
โหมดอินเวอร์เตอร์ (Inverter mode)



รูปที่ 2. 6 แรงดันเอาต์พุตจากโหมดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

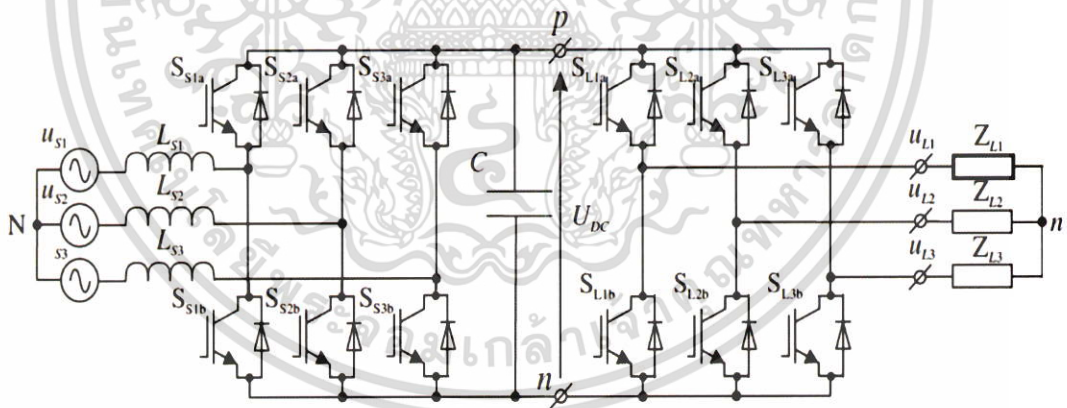
โหมดเรกติไฟเลอร์ (Rectifier mode)



รูปที่ 2.7 แรงดันเอาต์พุตจากโหมดเรกติไฟเลอร์

2.7 แบคทูแบคคอนเวอร์เตอร์ (Back-to-Back Converter)

วงจรกำลังคอนเวอร์เตอร์แบบหันหลังชนกัน เป็นวงจรที่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้สองทิศทาง สามารถทำงานได้ทั้งหมดทั้งจ่ายพลังงานสู่โหลด และโหมดจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย (Inverter Mode)



รูปที่ 2.8 วงจรแบคทูแบคคอนเวอร์เตอร์ (Back-to-Back Converter)

2.8 การควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control)

การควบคุมแบบเวกเตอร์เป็นการควบคุมที่เสนอมุมมองใหม่ของปริมาณไฟฟ้า 1 เฟส ไปเป็นเวกเตอร์ในระบบ 2 แกน ซึ่งมีพฤติกรรมทำนองเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก คือมีปริมาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสนาม (Field Winding) เพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กและมีปริมาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ใช้ในการสร้างแรงบิด ซึ่งรูปแบบควบคุมการทำงานจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการแปลงแกนจาก 3 แกน (a,b,c) ไปเป็นเวกเตอร์แบบ 2 แกน (d,q) โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ ในการแปลงแกนที่เวกเตอร์กระแสในแกน d จะมีทิศทางขนานกับสนามแม่เหล็ก ในขณะที่เวกเตอร์กระแสในแกน q จะมีทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กตลอดเวลา หัวใจของการควบคุมคือการควบคุมสนามแม่เหล็กให้คงที่ในระดับพอเหมาะเพื่อไม่เกิดปัญหาเรื่องการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็ก รวมทั้งสามารถลดปริมาณสนามแม่เหล็กเพื่อเร่งความเร็วรอบให้เกินค่าความเร็วพิกัดได้ ในขณะเดียวกันก็สามารถควบคุมค่าแรงบิดได้โดยตรงและเป็นอิสระจากการควบคุมสนามแม่เหล็กอีกด้วย ซึ่งการทำงานจะรับคำสั่งสนามแม่เหล็กและคำสั่งแรงบิดซึ่งผ่านมาทางปริมาณกระแสคำสั่ง I_d^* และ I_q^* แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อทำการควบคุมสนามแม่เหล็กและแรงบิดดังกล่าว โดยการทำงานจะต้องอาศัยการตรวจจับของกระแสจำนวน 3 เฟส ที่มีการแปลงให้อยู่ในรูป d,q และค่าความเร็วมาทำการคำนวณ สมการที่ใช้ในการคำนวณนี้จะขึ้นอยู่กับว่าจะอ้างอิงกับสนามโรเตอร์ สนามสเตเตอร์หรือสนามในช่องว่างอากาศ

การควบคุมแบบไร้ตัวตรวจจับความเร็ว (Sensorless Vector Control)

การควบคุมแบบนี้จะมีการทำงานที่คล้ายกับการควบคุมแบบเวกเตอร์แต่จะไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับค่าความเร็วรอบ โดยการทำงานจะอาศัยการตรวจจับของกระแสและแรงดันแทน ซึ่งค่าที่วัดได้นี้จะถูกนำไปคำนวณเป็นค่าความเร็วที่โรเตอร์แทน ค่าของความเร็วและค่าฟลักซ์ที่โรเตอร์จะได้จากการประมาณ โดยอาศัยโมเดลพื้นฐานของมอเตอร์ ค่าความถูกต้องจากการวัดจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการคำนวณ เนื่องจากหากสามารถหาตำแหน่งของเวกเตอร์ได้แม่นยำเพียงใดก็สามารถควบคุมเวกเตอร์ได้ถูกต้องเท่านั้น แต่ถ้าหากค่าความเร็วรอบในตัวจำลองผิดพลาดก็จะส่งผลให้ค่ากระแสและแรงดันที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง เมื่อนำค่าความผิดพลาดเหล่านี้มาใช้ในการปรับปรุงค่าความเร็วก็จะสามารถทำให้มีค่าความเร็วที่ถูกต้องได้ ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะใช้ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์นี้กับงานที่ต้องการความแม่นยำและความเร็วในการตอบสนองสูง

2.9 ทฤษฎีการแปลงแกนแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

สามารถเขียนสมการการแปลงแกนจากระบบ 3 เฟส ให้อยู่ในรูป 2 เฟสในรูปเมตริกซ์ แรงดันชั่วขณะสามเฟสสามารถแปลงเป็นแกน $\alpha\beta 0$ บนแกน $\alpha\beta 0$ ได้ดังสมการ (2.6) ซึ่งแสดงการแปลงแกนแรงดันผกผันแบบคลาร์ก (Inverse Clark Transformation) และสมการ (2.7) แสดงการแปลงแกนแรงดันแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

เช่นเดียวกับกับค่ากระแสไลน์ชั่วขณะสามเฟสสามารถแปลงเป็นแกน $\alpha\beta 0$ บนแกน abc ได้ดังสมการ (2.8) ซึ่งแสดงการแปลงแกนกระแสผกผันแบบคลาร์ก (Inverse Clark Transformation) และสมการ (2.9) แสดงการแปลงแกนกระแสแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

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

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

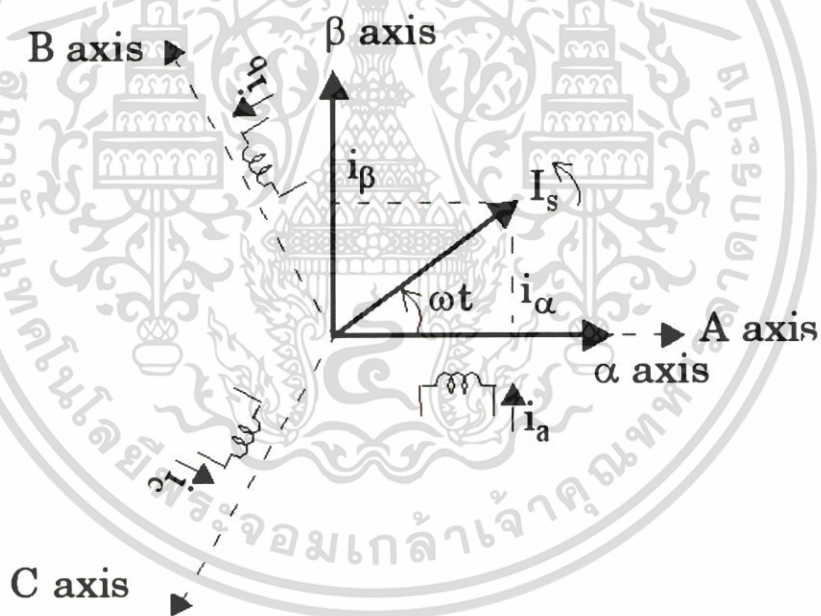
ข้อดีของการแปลงแกน $\alpha\beta 0$ คือสามารถแยกส่วนขององค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero-sequence components) ออกจากองค์ประกอบสามเฟส abc ได้จึงสามารถตัดส่วนของ i_0 และ V_0 ออกได้ในกรณีที่สามเฟสสมดุลจึงลดจากสามแกนเหลือสองแกนดังสมการ (2.10) แสดงการแปลงแกนแรงดันผกผันแบบคลาร์ก (Inverse Clark Transformation) และสมการ (2.11) การแปลงแกนแรงดันแบบคลาร์ก (Clarke's Transformation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.10) และ (2.11) สามารถแสดงเป็นรูปแบบเวกเตอร์ได้ดังรูปที่ 2.9 โดยเราสามารถแยกแกนสามเฟส a, b, c ให้อยู่ในแกน $\alpha\beta$ ซึ่งแกน α จะทำมุมฉากกับ β โดยแกน α จะขนานกับแกน a ส่วนแกน β จะขึ้นกับลำดับการหมุนของแกน abc



รูปที่ 2. 9 รูปแบบการแปลงแกน abc ไปยังแกน $\alpha\beta$

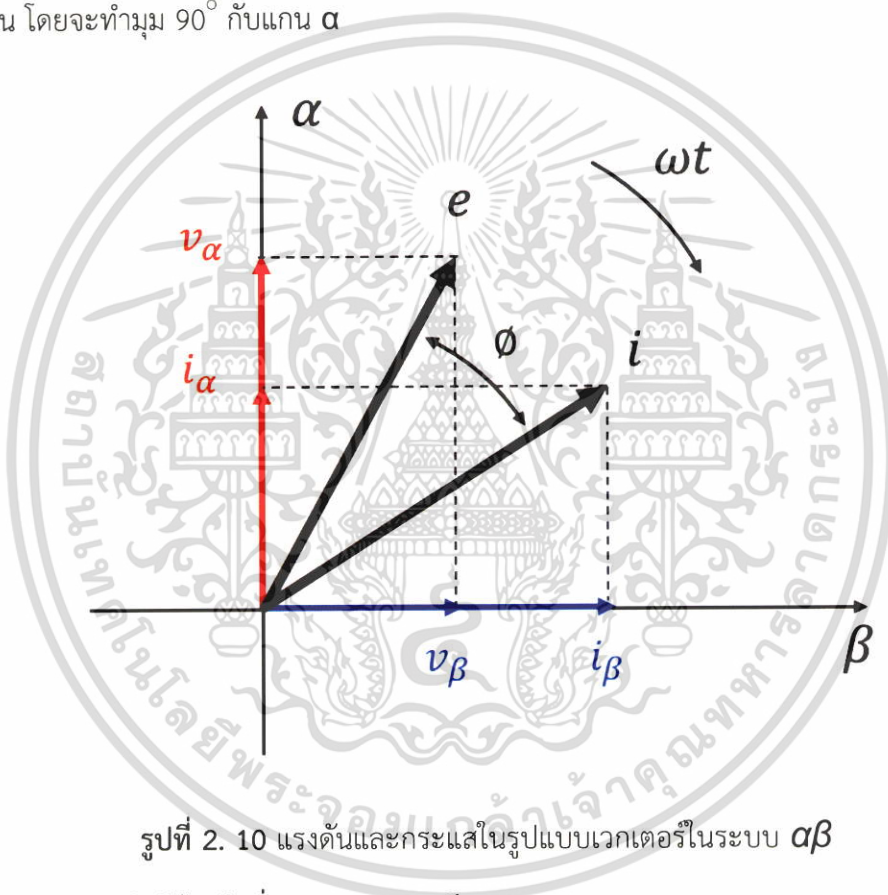
การคำนวณแรงดันและกระแสในรูปแบบเวกเตอร์ เมื่อไม่พิจารณา v_0 แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและกระแสไลน์ชั่วขณะสามารถเขียนในฟังก์ชันเวลา โดยมี ω และ ϕ คือมุมเฟสของแรงดันและกระแส ได้ดังสมการเวกเตอร์แรงดัน (2.12) และสมการเวกเตอร์กระแส (2.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ในกรณีที่สามเฟสสมดุล สามารถแสดงเวกเตอร์แรงดันและกระแสที่ขนาดเท่ากัน และหมุนไปในทิศทางเดียวกันหรือหมุนจาก α ไป β ที่ความเร็วเชิงมุม ω ได้ดังรูปที่ (2.12) โดยแกน a จะเทียบเท่าแกน α นั่นคือแกนจริงในระบบเชิงซ้อน แกน b จะเทียบเท่าแกน β นั่นคือแกนเชิงซ้อน โดยจะทำมุม 90° กับแกน α



รูปที่ 2. 10 แรงดันและกระแสในรูปแบบเวกเตอร์ในระบบ $\alpha\beta$

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะของทฤษฎี p - q

ทฤษฎี p - q เป็นทฤษฎีที่นำเสนอระบบสามเฟสชั่วขณะ (ไม่มีนิวทรอล) โดยให้

p_0 คือ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะลำดับศูนย์

p คือ กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ

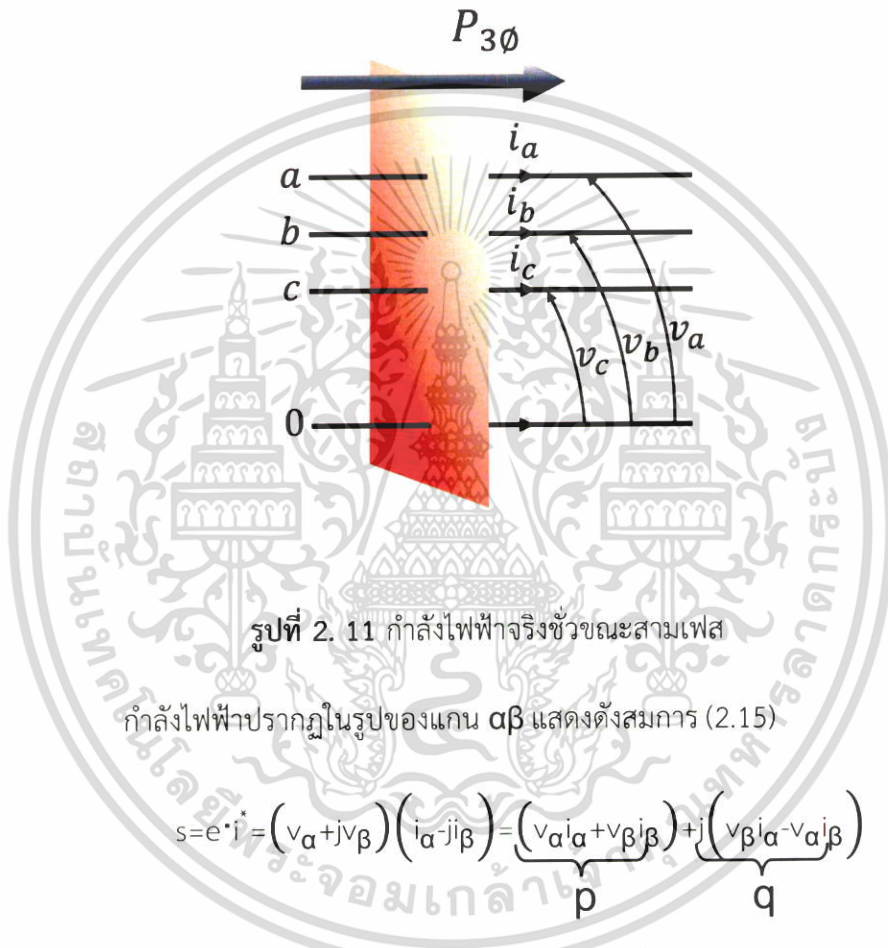
q คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนชั่วขณะ

ซึ่งแสดงในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสชั่วขณะในแกน $\alpha\beta$ ดังแสดงในสมการ (2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ $i_0=0$ จะได้ว่ากำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ p คือพลังงานทั้งหมดที่โอนถ่ายต่อเวลา
ในเทอมของ $\alpha\beta$ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะสามเฟส

กำลังไฟฟ้าปรากฏในรูปของแกน $\alpha\beta$ แสดงดังสมการ (2.15)

$$s = e \cdot i = (v_\alpha + jv_\beta)(i_\alpha - ji_\beta) = \underbrace{(v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta)}_p + j \underbrace{(v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta)}_q \quad (2.15)$$

โดยสามารถแตกองค์ประกอบของกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะในแกน $\alpha\beta$ ได้ดังสมการ (2.16)

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

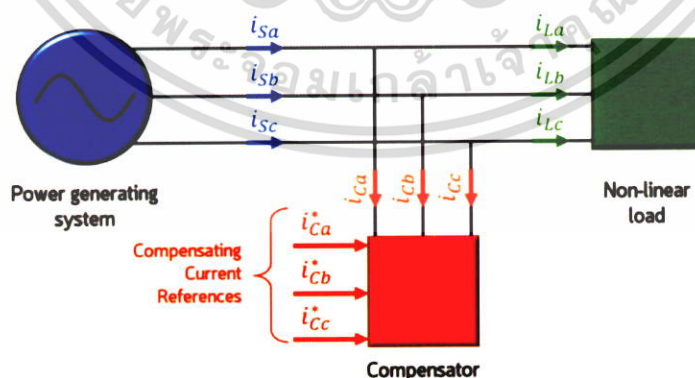
ซึ่งเราจะควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนชั่วขณะได้โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าใน
แนวแกน $\alpha\beta$ ด้วยสมการ (2.16) เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี p - q ในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน

	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

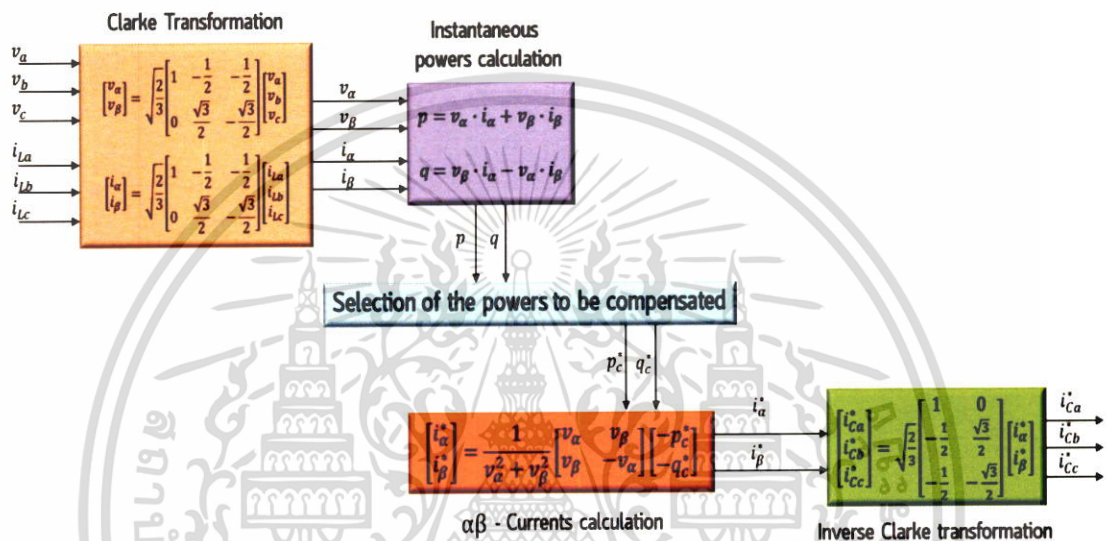
แนวคิดพื้นฐานของการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน แสดงดังรูป 2.12 เมื่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งผลิต (Power generating system) ส่งกำลังไฟฟ้ามายังโหลดไม่คงที่ (Non-linear load) เราจะสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าได้โดยใช้ในรูปแบบการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน ซึ่งการชดเชยแบบขนานเป็นวงจรแอกทีฟฟิวเตอร์ (Active filter) การชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานจะสามารถใช้ได้กับการควบคุมแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งจะทำการเลือกกระแสที่ต้องการชดเชยได้แก่ i_{ca}^* , i_{cb}^* , i_{cc}^*



รูปที่ 2. 12 หลักการพื้นฐานในการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการพื้นฐานในการควบคุมการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนาน เริ่มจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง p ของโหลดซึ่งสามารถแตกออกเป็น 2 ส่วนคือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจริง (\bar{p}) และค่ากระเพื่อมของกำลังไฟฟ้าจริง (\tilde{p}) และจะทำการคำนวณเพื่อเลือกกำลังไฟฟ้าที่ถูกชดเชย นั่นคือ p_c^* และ q_c^* หลังจากนั้นก็ทำการแปลงแกนของกระแส $\alpha\beta 0$ เป็นแกน abc ซึ่งจะได้เป็นกระแสชั่วขณะที่ใช้ชดเชย i_{ca}^* , i_{cb}^* , i_{cc}^* โดยหลักการของการชดเชยกระแสไฟฟ้าคือการนำค่ากระแสที่ถูกชดเชยลบออกจากกระแสของโหลด



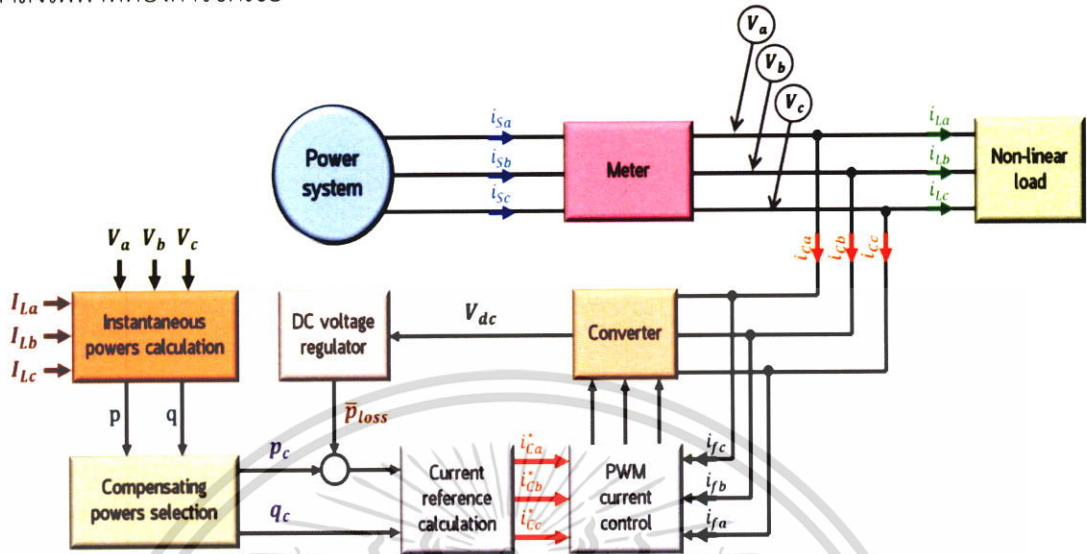
รูปที่ 2. 13 โดอะแกรมควบคุมการชดเชยกระแสไฟฟ้าแบบขนานด้วยแกน $p - q$

โดอะแกรมควบคุมจะนำไปคำนวณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (instantaneous power) โดยจะวัดค่าแรงดันในแต่ละเฟสที่จุด PCC (Point of Common Coupling) และวัดค่ากระแสไลน์ที่จ่ายไปยังโหลดซึ่งจะเป็นส่วนที่นำมาคำนวณกระแสชดเชย ตัวควบคุมแอกทีฟฟิวเตอร์ (active filter controller) จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักดังรูปที่ 2.14

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

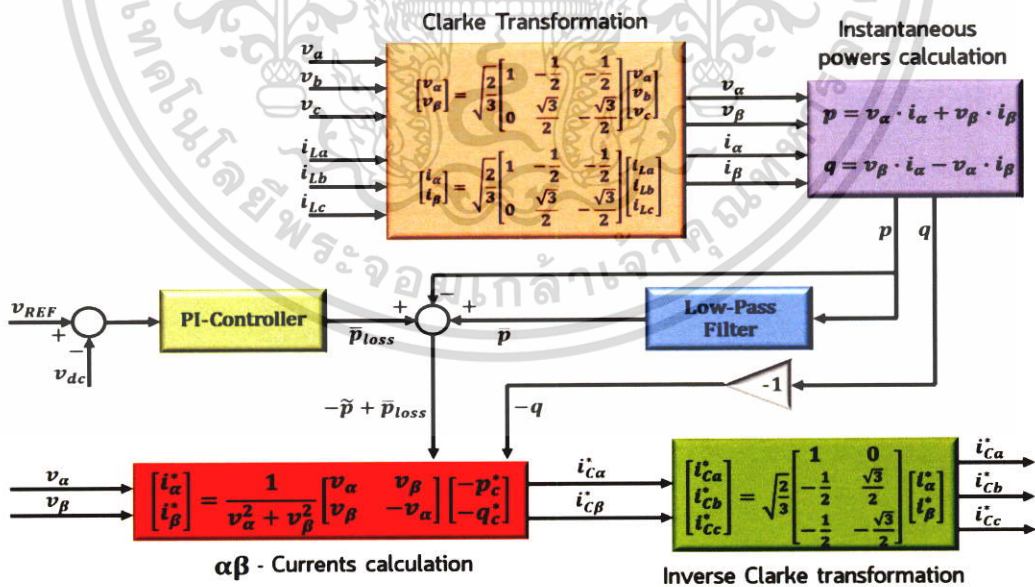
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณค่ากระแสอ้างอิง (current reference calculation) เพื่อระบุกำลังไฟฟ้าที่ต้องการชดเชย



รูปที่ 2. 14 Three-wire shunt active filter for current compensation

วงจรควบคุมโดยสมบูรณ์ของการชดเชยกำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟส แยกที่ฟิวเตอร์แบบขนาน โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าจริงกวดแกว่งของโหลด กับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะเป็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2. 15 วงจรควบคุมสำหรับหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรสวิตช์โหมตคอนเวอร์เตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย 3 เฟส

การทำงานของวงจรสวิตช์โหมตคอนเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็น 2 โหมตคือ โหมตเรกติไฟเออร์ และโหมตอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการทำงานในโหมตเรกติไฟเออร์ นั้นจะพิจารณาที่กระแส i_s มีเฟสตรงกันกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ v_s และมีการทำงานอยู่ 4 โหมต ส่วนโหมตอินเวอร์เตอร์ นั้นจะพิจารณาที่กระแส i_s มีมุมต่างเฟสกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ v_s เป็นมุม 180 องศาทางไฟฟ้า และมีการทำงานอยู่ 4 โหมตเช่นเดียวกัน โดยจะพิจารณาเฉพาะเฟส a ซึ่งสองเฟสที่เหลือจะทำงานลักษณะเดียวกัน

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

$$\begin{aligned} V_{an} &= \frac{2}{3} V_{a0} - \frac{1}{3} (V_{b0} + V_{c0}) \\ V_{bn} &= \frac{2}{3} V_{b0} - \frac{1}{3} (V_{a0} + V_{c0}) \\ V_{cn} &= \frac{2}{3} V_{c0} - \frac{1}{3} (V_{a0} + V_{b0}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

ตารางที่ 2.1 โหมตของสวิตช์และแรงดันของเฟส

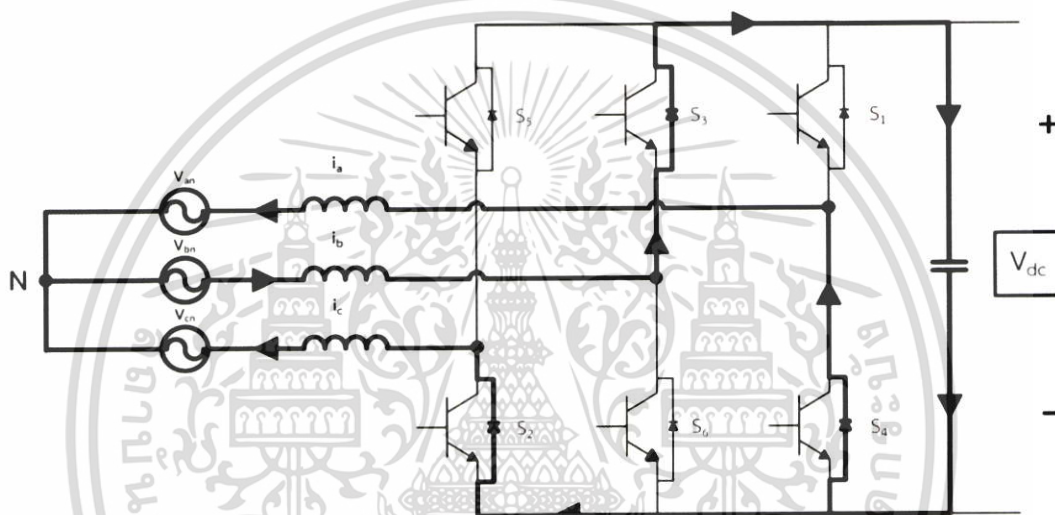
โหมต	สวิตช์ที่ ON			แรงดันของเฟส a
1	Q_1	Q_6	Q_5	$+1/3V_B$
2	Q_1	Q_3	Q_2	$+1/3V_B$
3	Q_1	Q_3	Q_5	0
4	Q_1	Q_6	Q_2	$+2/3V_B$
5	Q_4	Q_6	Q_2	0
6	Q_4	Q_3	Q_5	$-2/3V_B$
7	Q_4	Q_3	Q_2	$-1/3V_B$
8	Q_4	Q_6	Q_5	$-1/3V_B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ เมื่อ Q_4 ON จะทำหน้าที่ชาร์จประจุและเมื่อ Q_1 ON จะทำหน้าที่คายประจุ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการทำงานของวงจรสวิตซ์โหมดคอนเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็น 2 โหมดคือ โหมดเรกติไฟเออร์ และโหมดอินเวอร์เตอร์

2.10.1 การทำงานในโหมดเรกติไฟเออร์ (Rectifier mode)

โหมดที่ 1

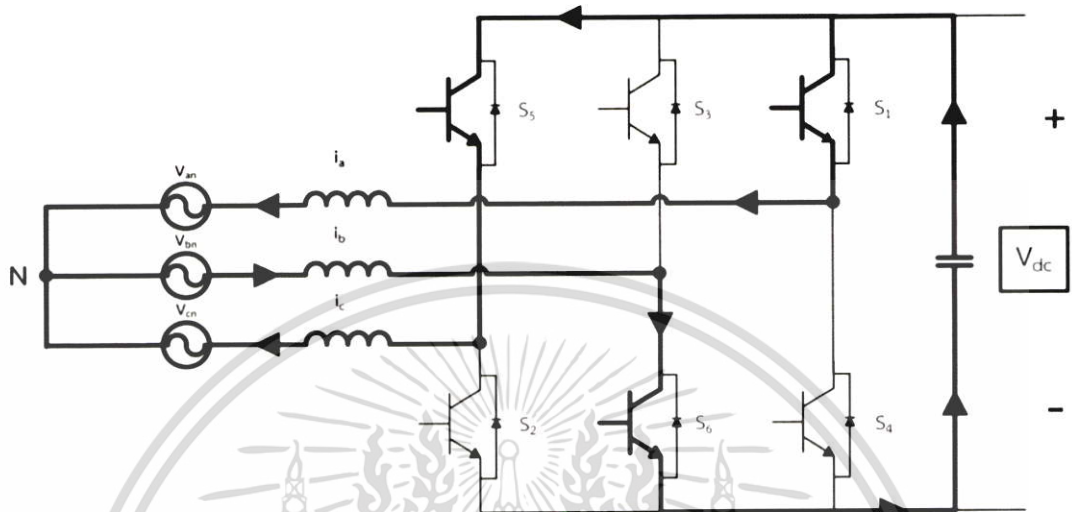


รูปที่ 2. 16 การทำงานของสวิตซ์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 1

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

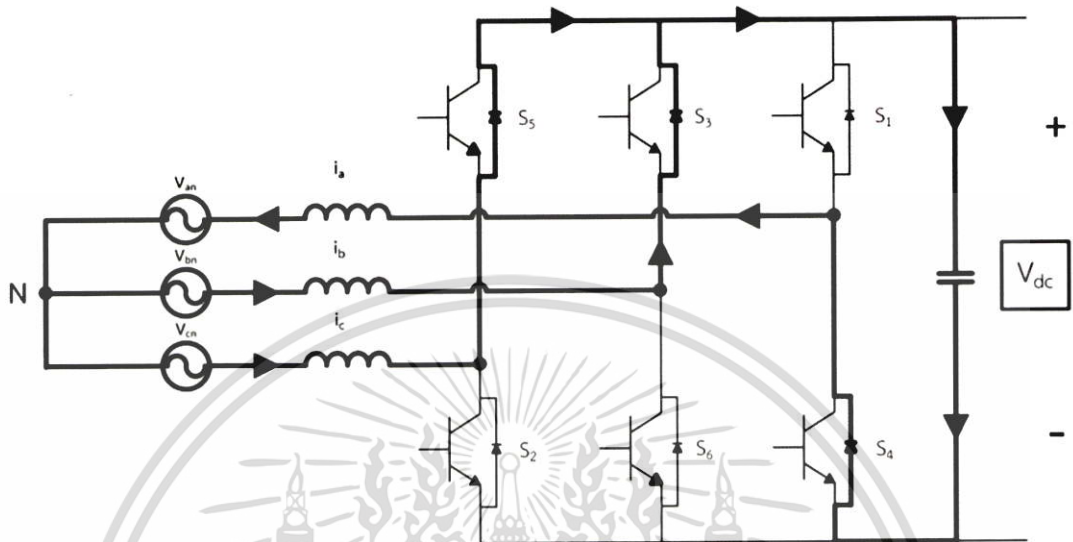
โหมดที่ 2



รูปที่ 2. 17 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 2

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

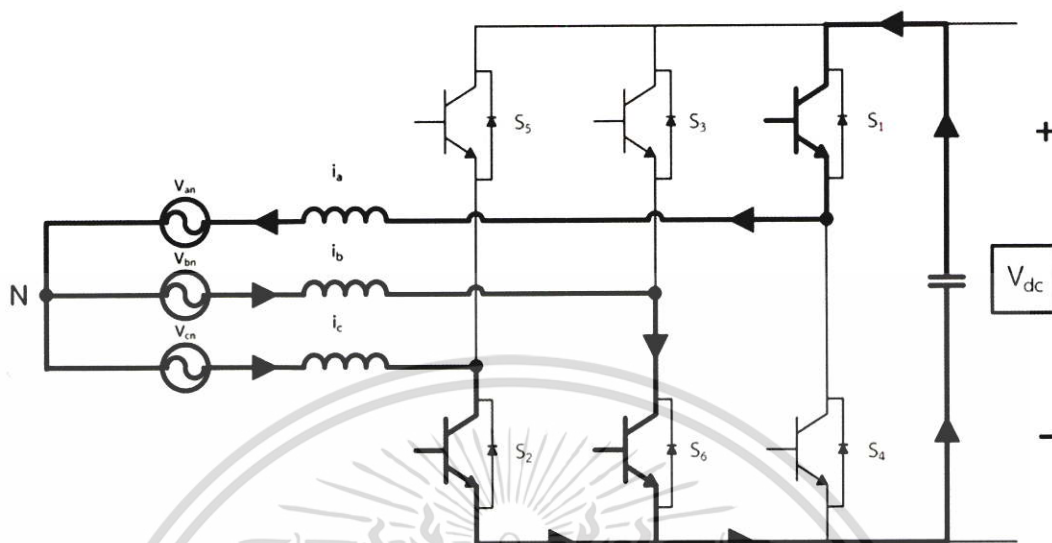
โหมดที่ 3



รูปที่ 2.18 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 3

โดยโหมดนี้จะทำงานในช่วง 180 ถึง 360 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นเรกติไฟเออร์โหมดดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่านไดโอด D_4, D_3, D_5 เพื่อที่จะทำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์ และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลง

โหมดที่ 4

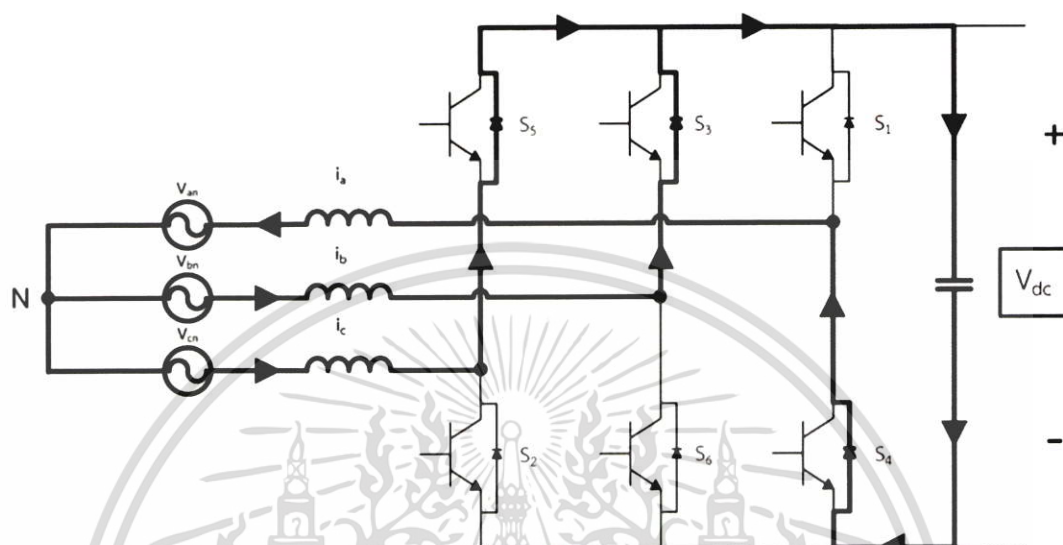


รูปที่ 2.19 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 4

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

2.10.2 การทำงานในโหมดอินเวอร์ติ้ง (Inverting mode)

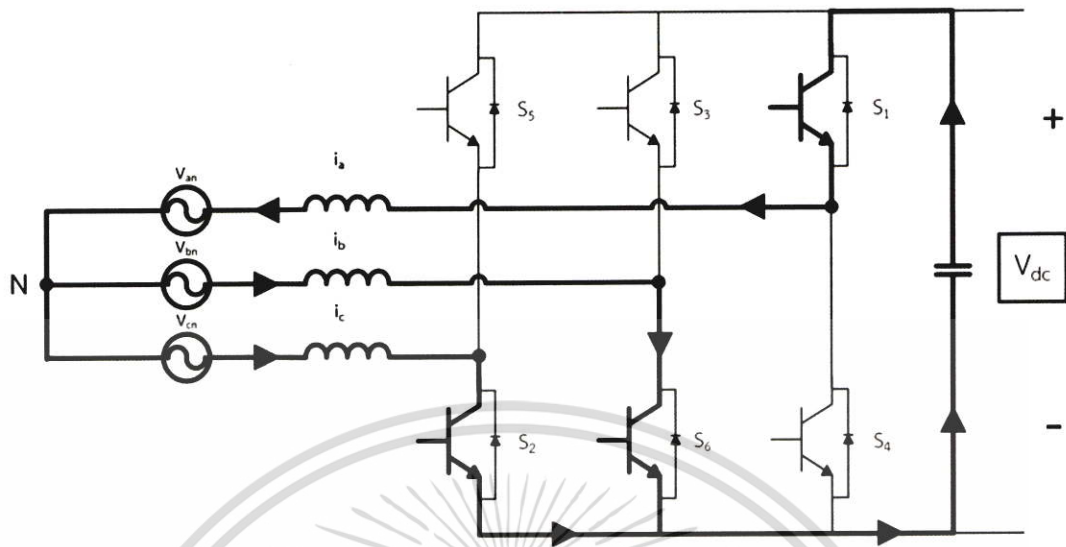
โหมดที่ 5



รูปที่ 2. 20 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 5

โดยโหมดนี้จะทำงานในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ดังนั้นกระแส i_s จะไหลผ่านไดโอด D_4, D_3, D_5 เพื่อที่จะทำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์ และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนามีค่าลดลง

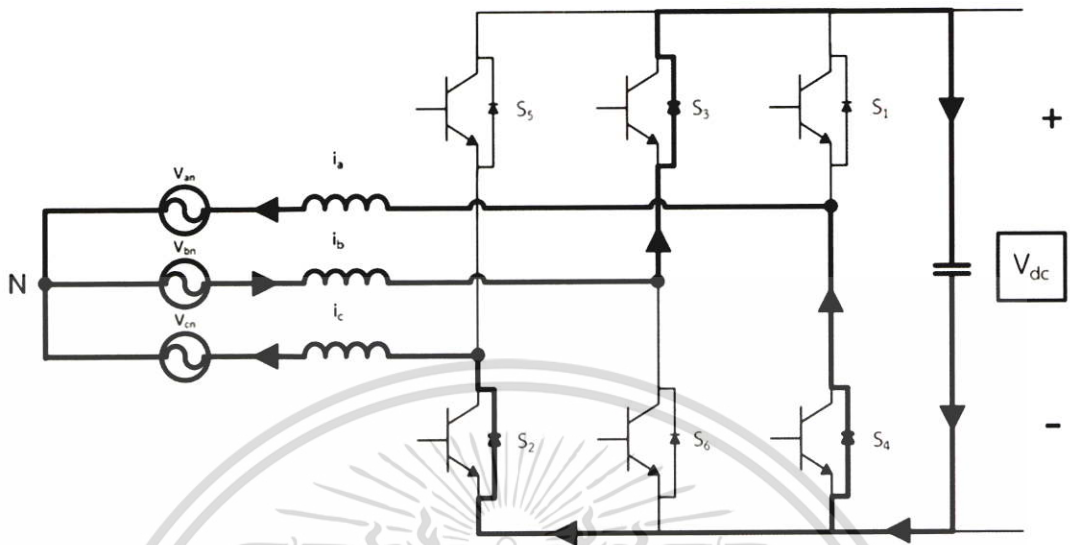
โหมดที่ 6



รูปที่ 2. 21 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 6

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

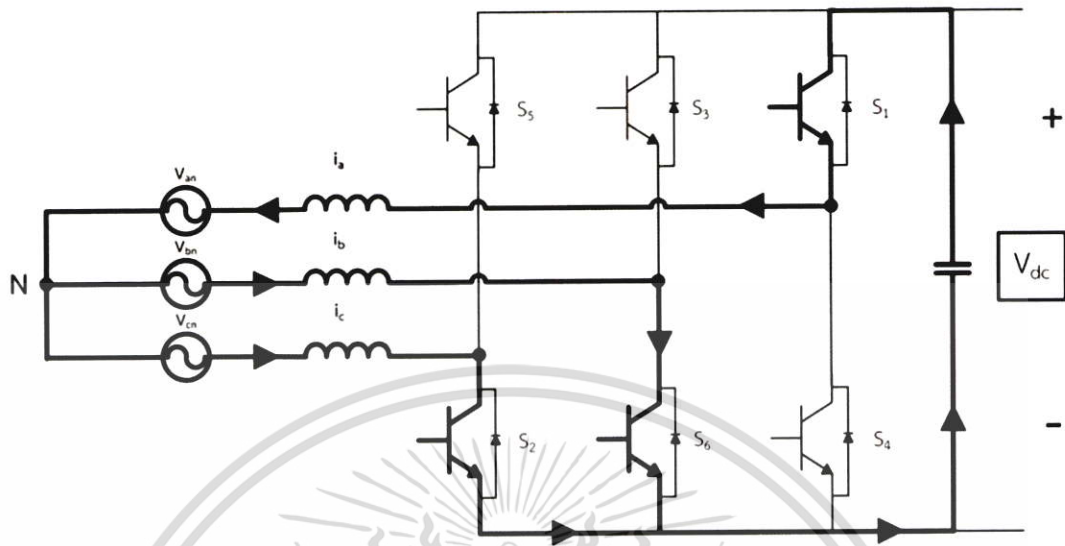
โหมดที่ 7



รูปที่ 2.22 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 7

โดยโหมดนี้จะทำงานในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ดังนั้นกระแส i_a จะไหลผ่านไดโอด D_4 , D_3 , D_2 เพื่อที่จะทำการชาร์จประจุให้กับคาปาซิเตอร์ และแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลง

โหมดที่ 8

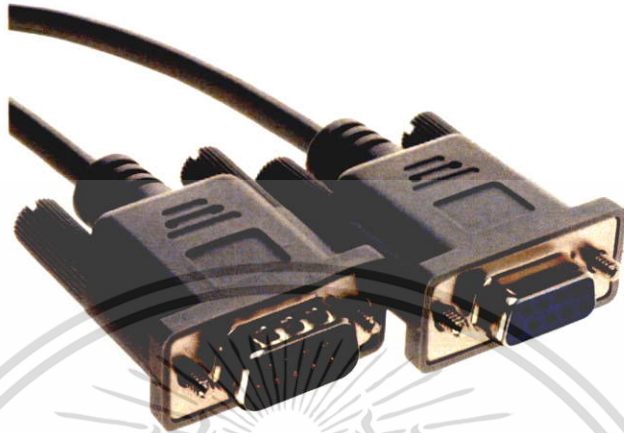


รูปที่ 2. 23 การทำงานของสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดที่ 8

โดยในโหมดนี้จะทำงานในช่วง 0 ถึง 180 องศาทางไฟฟ้า โหมดนี้จะทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์โหมด ในการทำงานนั้นสวิตช์ Q_1 , Q_6 , Q_2 จะ ON โดยในขณะนั้นแรงดัน 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



รูปที่ 2. 24 ภาพของ 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 เพื่อทำแฮนด์เชก (Hand Shake) หรือไม่มีก็ได้

RS-232 มีจุดเริ่มต้นจากความต้องการที่จะกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มในสมัยนั้น ตัวมาตรฐานจะกำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อนี้ด้วยกันทั้งหมด 4 หัวข้อหลัก ๆ ด้วยกันคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 หลักการของ RS-232

มาตรฐาน RS-422 หรือ RS-422-A ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือ EIA เช่นเดียวกับกับมาตรฐาน RS-232 โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะแก้ปัญหาเรื่องความยาวของสายสื่อสารโดยใช้การส่งสัญญาณแบบผลต่าง (Differential) แทนที่จะใช้การส่งสัญญาณแบบอ้างอิงกับจุดกราวด์ (หรือสายดิน) เช่นเดียวกับกับมาตรฐาน RS-232 การส่งสัญญาณแบบ Differential นี้ช่วยลดปัญหาสัญญาณรบกวนจาก 2 ปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ปัญหาแรงดันกราวด์ 2 ผังสายไม่เท่ากัน อันเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายกราวด์ที่ยาวมาก ๆ ก่อให้เกิดความต่างศักย์และปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไหลในสาย โดยหากสายไฟที่ใช้ถูกตีเกลียวและวางไว้ใกล้กัน เมื่อมีแรงดันเหนี่ยวนำจะปรากฏแรงดันรบกวนบนสายทั้งสองเท่า ๆ กันเป็นผลให้ตัวรับที่อ่านความต่างศักย์ระหว่างสายอ่านข้อมูลได้เช่นเดิม ทั้งสองปัจจัยนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนของการสื่อสารแบบ RS-232 ต่ำกว่า RS-422 ตามมาตรฐาน RS-422 นี้จะใช้สายสัญญาณทั้งหมด 4 เส้น (2 เส้นสำหรับส่งสัญญาณ และอีก 2 เส้นสำหรับรับสัญญาณ) และสามารถใช้ความยาวสายสัญญาณได้ถึง 4,000 ฟุต (หรือ 1.2 กม.) ที่ความเร็ว 100,000 บิตต่อวินาที และการสื่อสารเป็นแบบ 2 ทาง พร้อมกันมาตรฐาน 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-รับสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ (ความต้านทานเสมือน) สูงขึ้นซึ่งเราอาจเพิ่มจำนวนจุดเชื่อมต่อขึ้นได้ถึง 128 จุด ความยาวของสายสัญญาณตามมาตรฐาน RS-485 นี้สามารถยาวได้ถึง 1.2 กม เช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422 แต่การสื่อสารจะเป็นแบบสองทางไม่พร้อมกัน (Half Duplex) มีเพียงคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ตัวเดียวเท่านั้นที่สามารถส่งสัญญาณออกได้ ณ เวลานั้น 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 อาจจะไม่ยอมทำงานเราต้องตรวจสอบของจริง (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terminal ตั้งชื่อไฟล์ -> เลือก Port ที่มีอยู่ใน Windows system และพิมพ์ข้อความบนจอภาพ ถ้า Port ยังทำงานได้คือข้อมูลข้อมูลที่ส่งออกทาง TX จะย้อนกลับมาทาง RX ข้อความที่พิมพ์จะแสดงบนจอภาพ แต่หาก Port TX หรือ RX เสีย จะไม่ปรากฏข้อมูลที่พิมพ์บนจอภาพ

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 ข้อความจะแสดงในช่องข้อมูลที่ได้รับได้ โปรแกรมนี้ยังสามารถตัดข้อมูลบางส่วนจาก String ที่รับได้มาแสดงผล สามารถตรวจสอบรหัส ASCII ของข้อมูลใน String ที่เราอ่านได้

2.11.3.3 วิธีใช้ LED ต่อกับความต้านทาน R 1 k โอห์ม

หลอด LED จะกระพริบเมื่อมีสัญญาณ (ข้อมูล) ถ้าตั้งค่าไว้ที่ความเร็วต่ำ (Baud Rate) หลอด LED ก็จะไม่กระพริบ แต่ถ้าหลอด 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 ก่อนเชื่อมโยงระบบตรวจสอบระบบกราวด์ อุปกรณ์ทุกตัวต้องมีสายกราวด์จริง ๆ และห้ามหักขากราวด์ ให้ใช้มิเตอร์วัดแรงดันของไฟระหว่างกราวด์ของอุปกรณ์ทั้งสองใช้สายไฟเชื่อมตัวถังของอุปกรณ์ (ที่เป็นโลหะ) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อไม่ให้เกิดความต่างศักย์ของกราวด์ เมื่อฝนตกฟ้าคะนอง ควรดึงสายโทรศัพท์ออกจาก Modem และดึงปลั๊กไฟออกจากระบบไฟฟ้า 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)

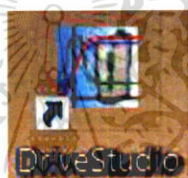
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.12 โปรแกรม DriveStudio

2.12.1 DriveStudio คืออะไร

DriveStudio คือ โปรแกรมที่ออกแบบมาใช้กับ แอคทีฟพรีอนต์เอ็นด์ (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

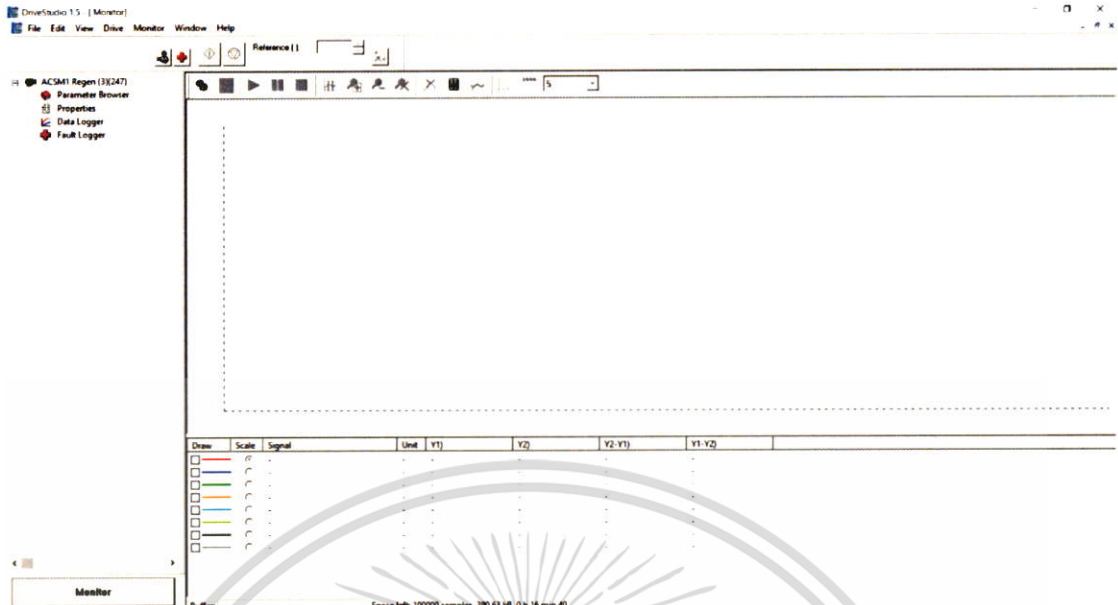


รูปที่ 2. 25 ไอคอนโปรแกรม DriveStudio

2.12.2 การเชื่อมต่อ Drive กับโปรแกรม DriveStudio

จะเชื่อมต่อด้วยสายสัญญาณ RS-232 โดยเชื่อมต่อฝั่ง Drive ด้วยพอร์ต LAN และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ต USB เมื่อเชื่อมต่อเสร็จแล้วจะสามารถควบคุมการทำงานของ Drive ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยสามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ขึ้นมาบนจอภาพได้แบบเรียลไทม์ ดังรูปที่

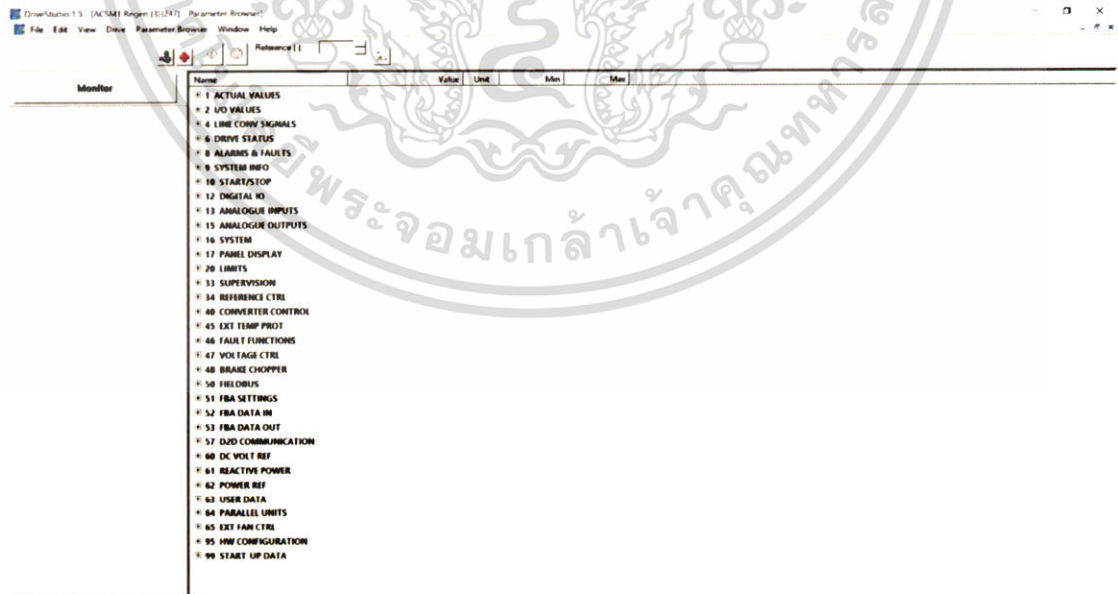
2.26



รูปที่ 2. 26 หน้าจอโปรแกรมเมื่อต่อกับ RS-232

2.12.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม DriveStudio เบื้องต้น

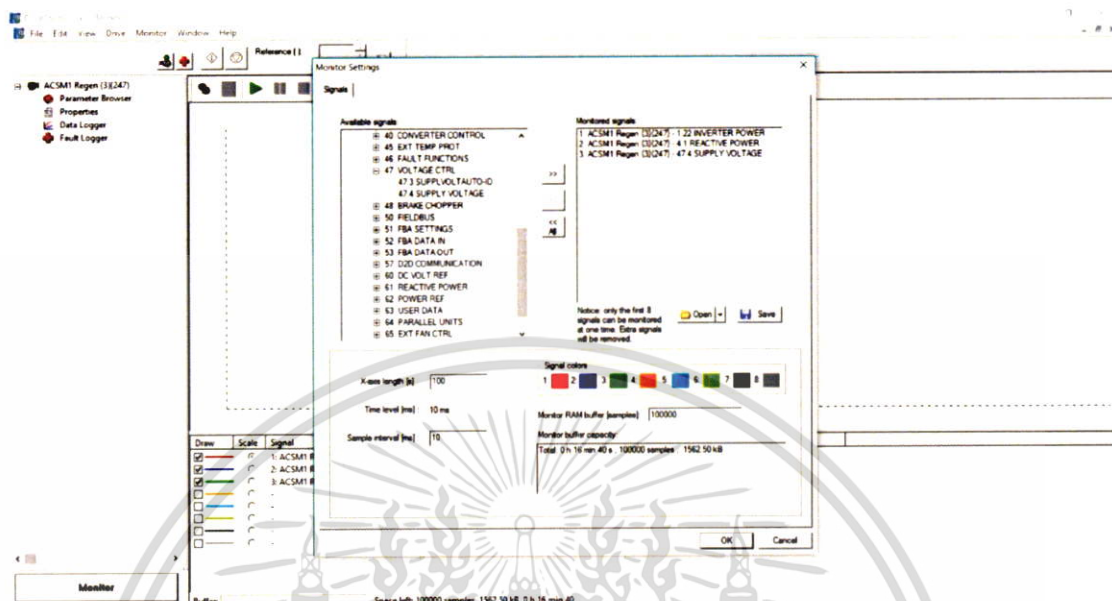
DriveStudio เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ โดยมีการเปิดให้ดาวน์โหลดตัวโปรแกรมได้ที่ <http://drivestudio.software.informer.com/> เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม จะมีหน้าจอหลักที่มุมซ้ายบนจะสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้เป็นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2. 27 หน้าจอการกำหนดพารามิเตอร์ของแอดทีฟฟรอนต์เอ็นด์ (AFE)

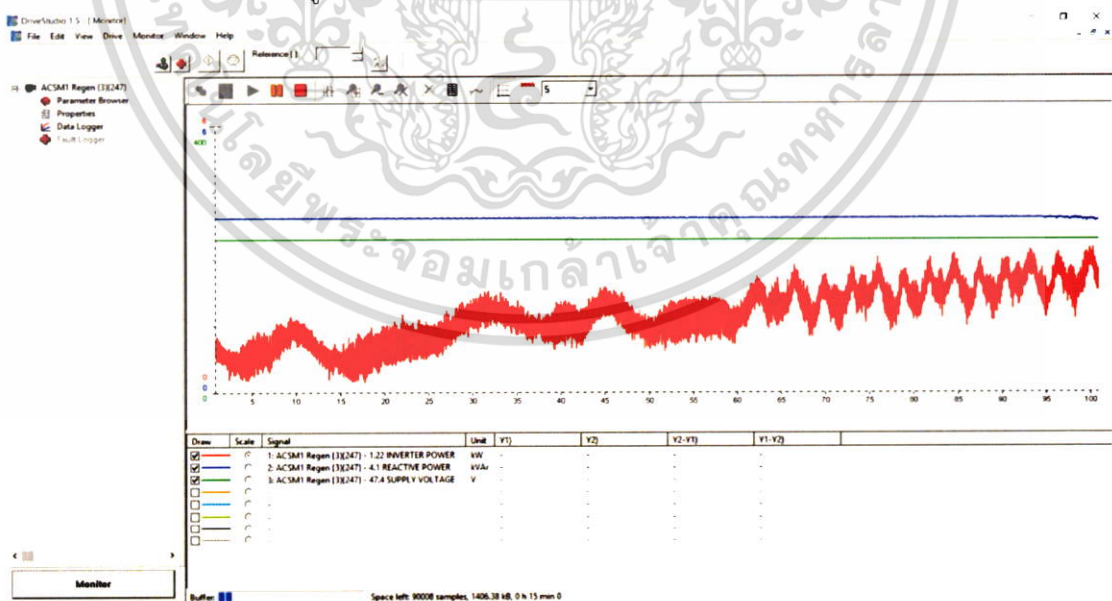
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสังเกตค่าต่าง ๆ ผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ริงที่แสดงค่าแบบเรียลไทม์ โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การเลือกค่าพารามิเตอร์ในการมอนิเตอร์ริง

หน้าจอโปรแกรมที่แสดงค่าพารามิเตอร์ อาทิ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กระแส หรือแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 หน้าจอมอนิเตอร์ริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับ ทฤษฎีที่ใช้ในการทำวิจัย และอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยและเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป โดยทางผู้วิจัยได้นำหลักการของระบบอินเวอร์เตอร์นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องปรับอากาศ ให้มีการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบการทำงานได้ ซึ่งทำให้แตกต่างจากเครื่องปรับอากาศแบบปรกติที่ไม่สามารถควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำให้มีการกินกระแสไฟฟ้าสูงในช่วงที่สตาร์ทอีกครั้ง โดยทางผู้วิจัยได้นำทฤษฎีการแปลงแกนระบบไฟฟ้า 3 เฟส มาใช้ ซึ่งจะสามารถนำแนวคิดการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนมาใช้งานร่วมกันได้ ซึ่งจะมีการอธิบายในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

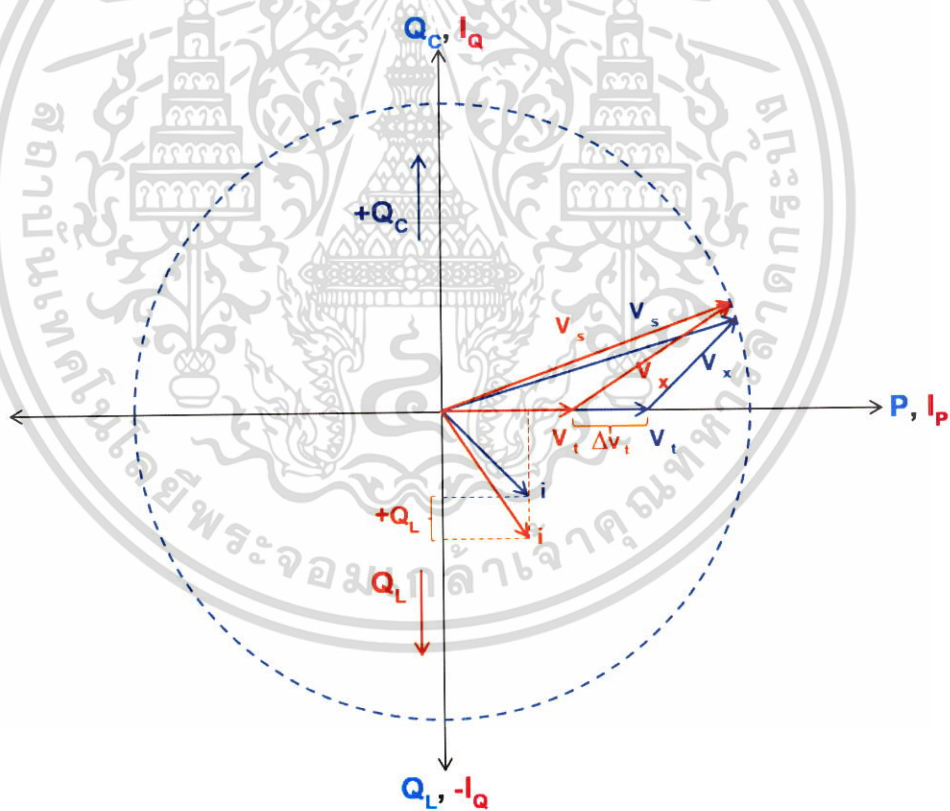
การออกแบบการทดลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดของการควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน โดยมีหลักการและความสัมพันธ์กับขนาดความต้องการไฟฟ้าของระบบบ้านอัจฉริยะ โดยมีอุปกรณ์ PLC (Program logic control) มาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารภายในระบบบ้านอัจฉริยะ

3.2 ออกแบบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulation)

เฟสเซอร์ไดอะแกรม (Phasor Diagram)



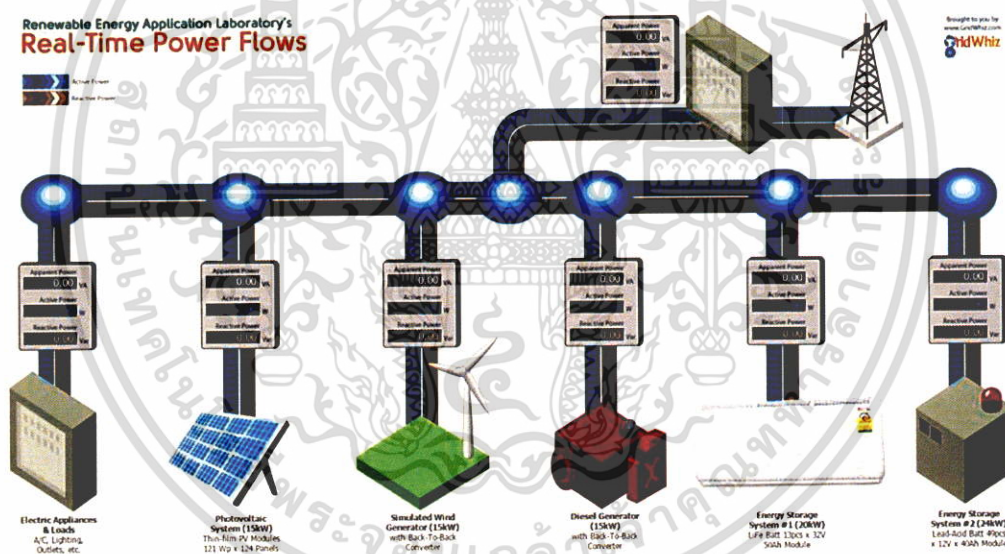
รูปที่ 3. 1 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะเห็นได้ว่าการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าฟ้าเสมือนจะส่งผลให้ค่าแรงดัน V_t มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนทำให้กระแสลดลง ส่งผลให้ค่า V_t เพิ่มขึ้น

3.3 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ

การเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบดังรูปที่ 3.2 โดยมีการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid System) ซึ่งต่ออยู่กับสมาร์ทมิเตอร์ของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน (REAL LAB) โดยจะเห็นได้ว่าการเชื่อมต่อกับระบบพลังงานทดแทนแบบอื่น ๆ ภายในระบบบ้านอัจฉริยะเชื่อมต่อกับ Back to Back Converter ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และในส่วนของ การแสดงผลข้อมูลนั้นจะใช้ PLC ส่งและรับข้อมูลผ่านทางระบบสื่อสารแบบไร้สายกับระบบสมาร์ทกริดของ REAL LAB โดยสามารถควบคุมและแสดงผลผ่านทางหน้าจอกอมพิวเตอร์



รูปที่ 3. 2 แผนผังภาพรวมการเชื่อมต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

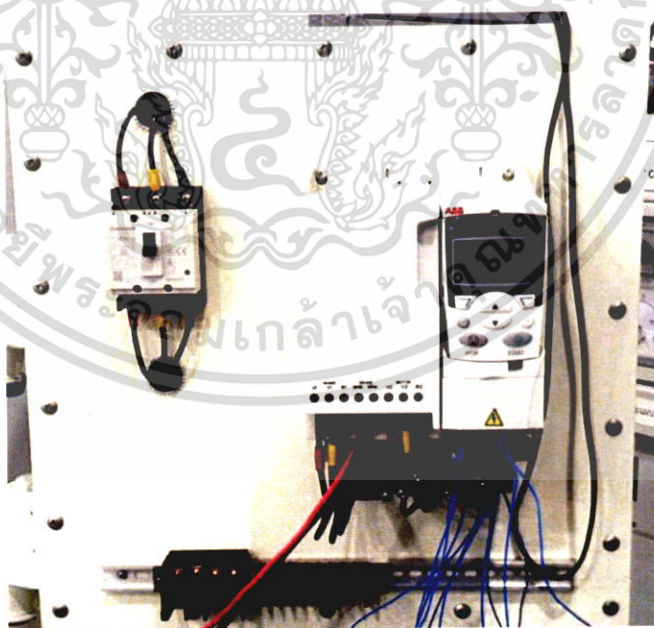
3.4 การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศให้เป็นเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์นั้น ทางผู้วิจัยได้นำอินเวอร์เตอร์ของ บริษัท ABB นำมาใช้เพื่อตัดแปลงเครื่องปรับอากาศให้สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ โดยมีการทำงานให้สอดคล้องกับอุณหภูมิที่กำหนด

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

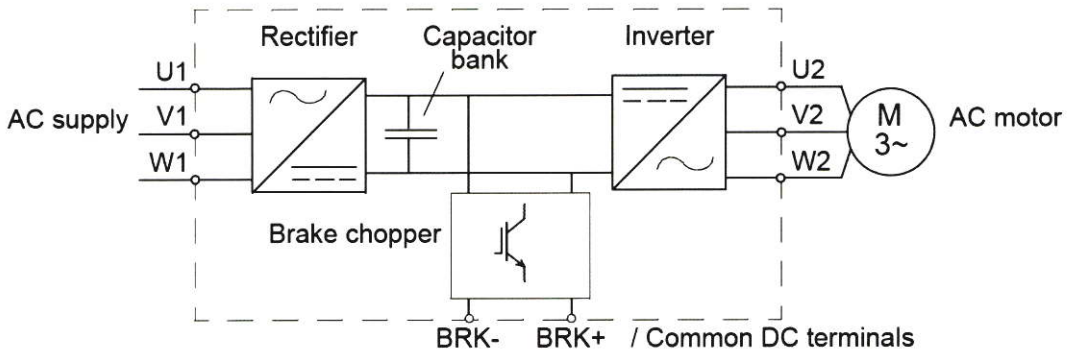
3.4.2.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ ABB machinery drives รุ่น ACS355-03E-15A6-4, 75kW (10 Hp), 380-480V, 22.1A นำไปควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วยรูปแบบฟุ้งชั้นเวกเตอร์คอนโทรลดังรูปที่ 3.3 เพื่อที่จะควบคุมความเร็วรอบให้เหมาะสมกับอุณหภูมิ ซึ่งรูปแบบวงจรการทำงานเบื้องต้นดังรูป 3.4 ที่เป็นรูปแบบการต่อวงจรกำลังตามแบบปรกติ โดยมีแผนผังวงจรการควบคุมดังรูป 3.5 ซึ่งเป็นรูปแบบการควบคุม PID ของตัวอินเวอร์เตอร์ ABB machinery drives รุ่น ACS355-03E-15A6-4

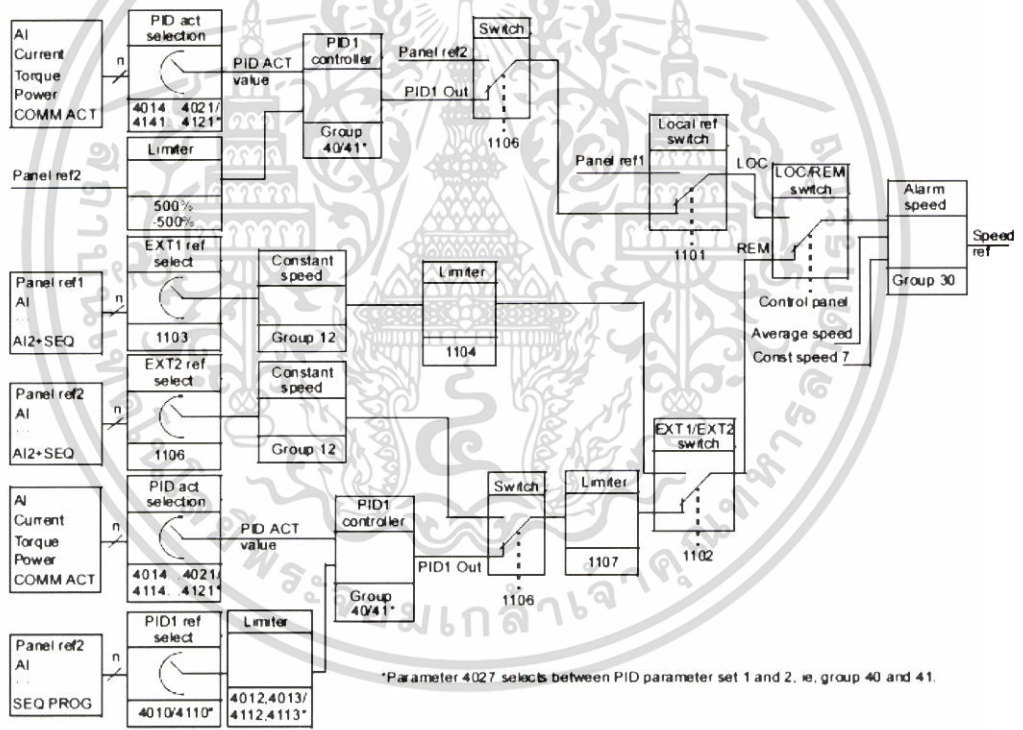


รูปที่ 3.3 อินเวอร์เตอร์ ACS355-03E-15A6-4 ของบริษัท ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรการทำงานเบื้องต้นของ ACS355 Drives

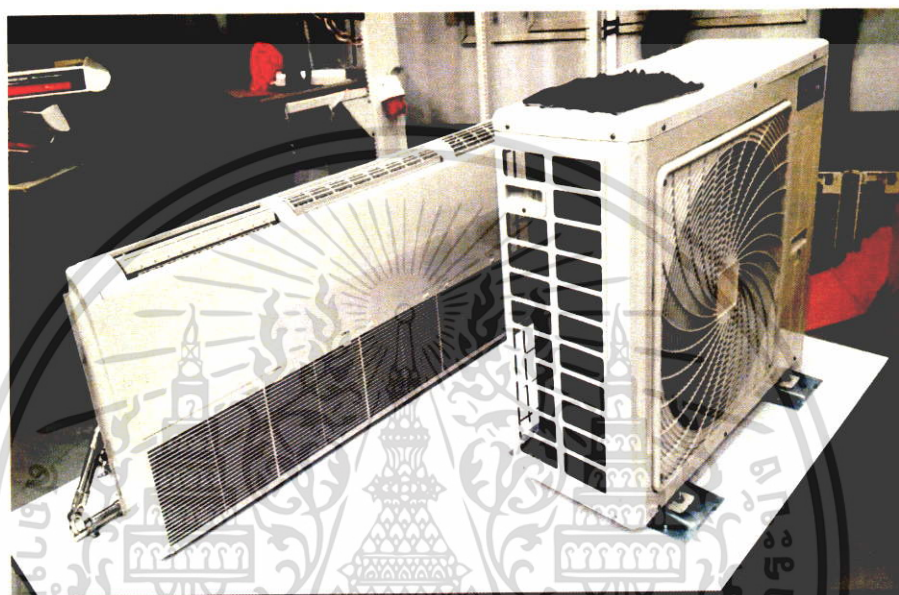


รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการควบคุมของ PID รูปแบบต่าง ๆ ของ ACS355 Drives

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนผนัง (FLOOR / CEILING TYPE)

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



รูปที่ 3. 6 เครื่องปรับอากาศสามเฟสยี่ห้อ Star Aire

3.4.2.3 Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100

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

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

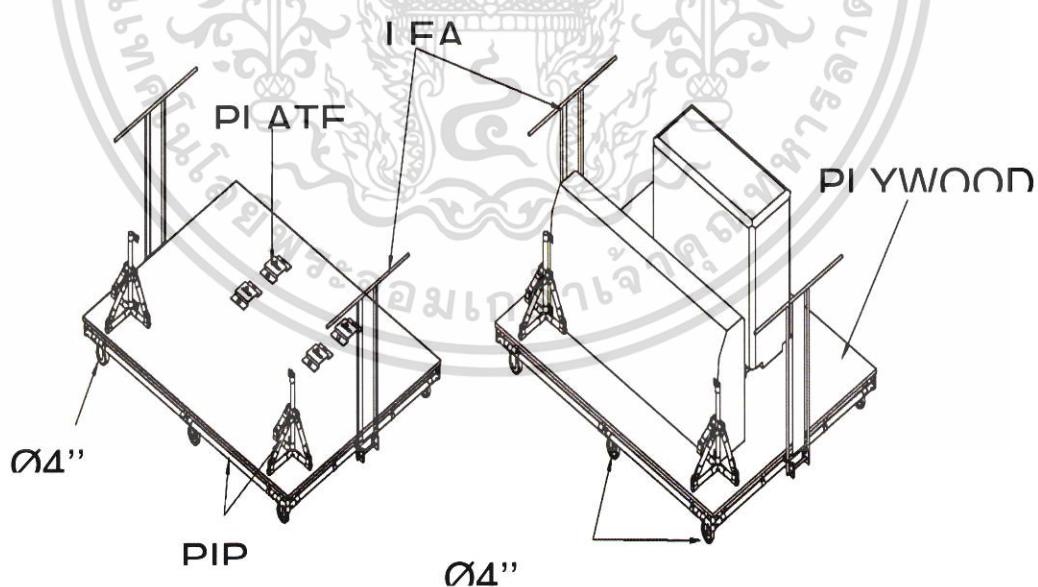
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100

3.4.2.4 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

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



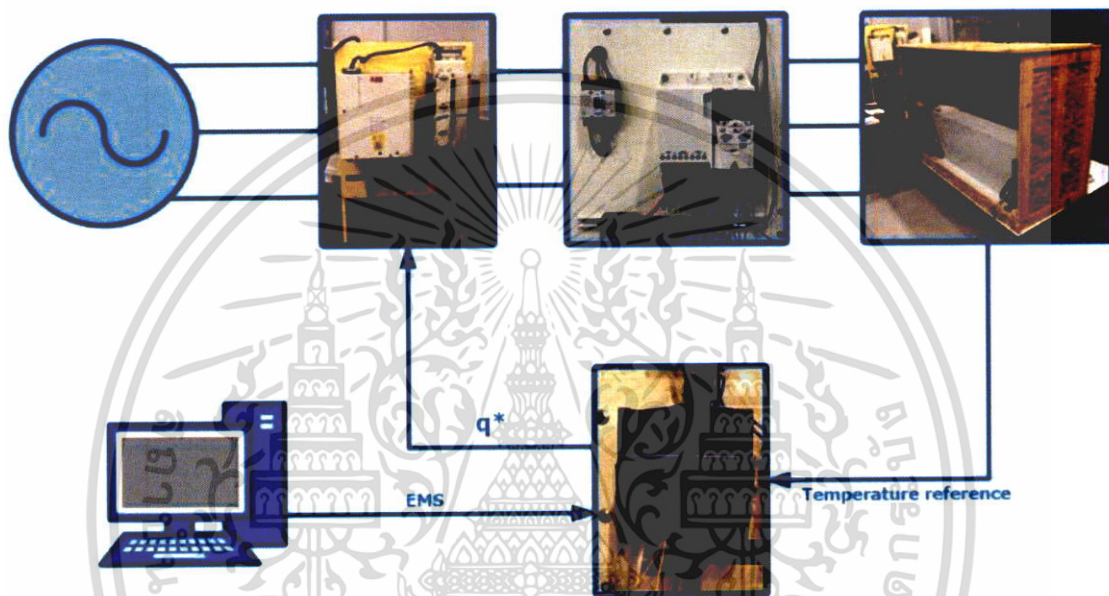
รูปที่ 3.8 รถเข็นสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอกทีฟพรีออนเอ็นด์

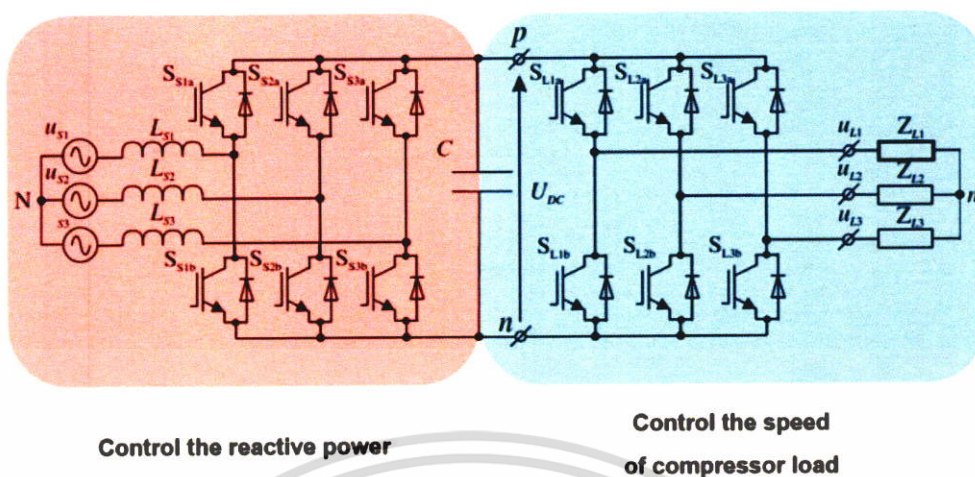
3.5.1 แผนผังการเชื่อมต่อแอกทีฟพรีออนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์

รูปแบบในการเชื่อมต่อแอกทีฟพรีออนเอ็นด์ให้สามารถทำงานร่วมกับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมคอมเพลกซ์เซอร์ได้โดยมีการควบคุมแบบสั่งการผ่านระบบ PLC ดังรูปที่ 3.9 โดยให้ตัวแอกทีฟพรีออนเอ็นด์สามารถส่งค่ากำลังเสมือนคืนกลับสู่ระบบได้ในช่วงสถานะที่เครื่องปรับอากาศทำยังในช่วงที่รักษาความเร็วรอบ



รูปที่ 3.9 แผนผังการเชื่อมต่อแอกทีฟพรีออนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์

โดยในการเชื่อมต่อระหว่างแอกทีฟพรีออนเอ็นด์กับอินเวอร์เตอร์จะเชื่อมต่อกันตรงส่วนที่เรียกว่าดีซีลิงค์ ทำให้การเชื่อมต่อมีลักษณะเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน (Back to Back Converter) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อที่กำลังไฟฟ้าสามารถไหลได้ทั้งสองทางดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3. 10 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรเชื่อมต่อแบบหันหลังชนกัน
(Back to Back Converter)

3.5.2 อุปกรณ์การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจากแอคทีฟฟรอนเอนต์

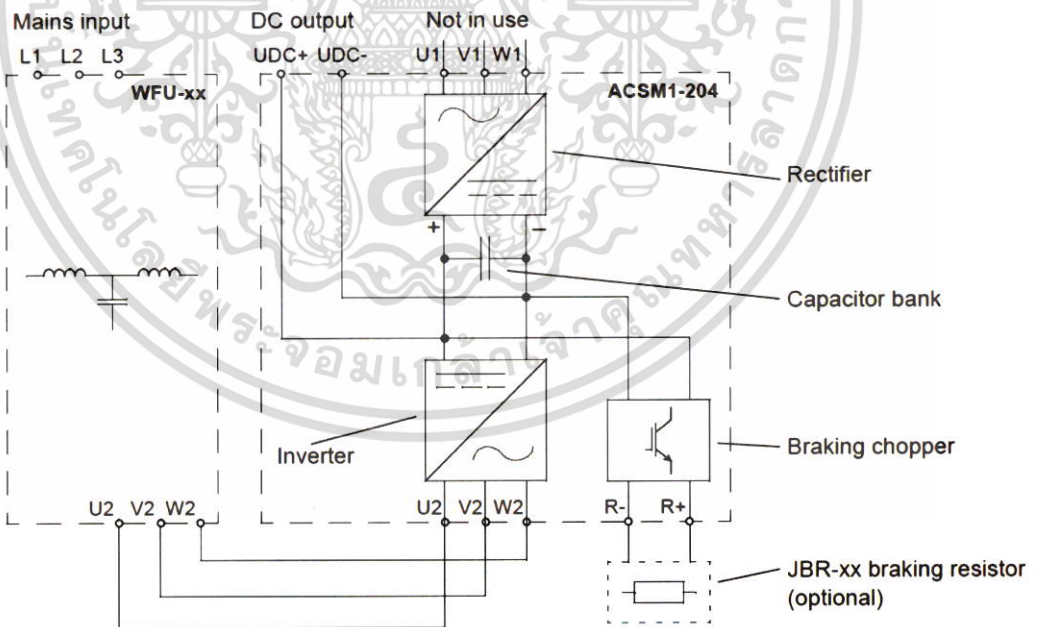
3.5.2.1 แอคทีฟฟรอนเอนต์ (AFE) รุ่น ACSM1-204 โมดูลรีเจนซ์พหลายของ ABB

แอคทีฟฟรอนเอนต์ เป็นอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ IGBT ทำงานร่วมกับฟรีวีลิ่งไดโอดมาต่อเป็นชุดวงจรบริด ทำให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานได้ ทั้งในรูปแบบนำหน้า (Leading) และรูปแบบล่าหลัง (Lagging) ในรูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 11 ACSM1-204 โมดูลรีเจนซ์พลาของ ABB



รูปที่ 3. 12 วงจรหลักและอินเทอร์เฟซของการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

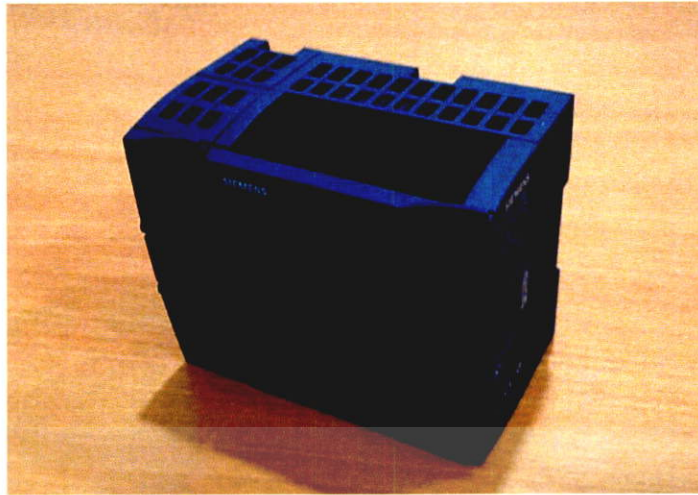
3.5.2.2 PLC ของบริษัท Siemens

ข้อมูลจำเพาะและหน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens ดังรูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และเชื่อมต่อกับระบบไมโครสมาร์ทคริตของ REAL LAB เพื่อรับค่ากำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ามาประมวลผล

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. 13 ข้อมูลจำเพาะของ SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 14 โมเดลของ CPU ของหน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200 ของบริษัท Siemens

3.5.2.3 SIEMENS 6ES7232-4HA30-0XB0



รูปที่ 3. 15 โมดูล 6ES7232-4HA30-0XB0

โมดูล 6ES7232-4HA30-0XB0 เป็นโมดูลเสริมแบบบอร์ดเดี่ยวของ SIMATIC S7-1200 ที่ทำให้ตัว PLC สามารถส่งค่าเป็นในรูปแบบของanalog

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. 1 ข้อมูลจำเพาะของ 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

3.5.2.4 เราท์เตอร์

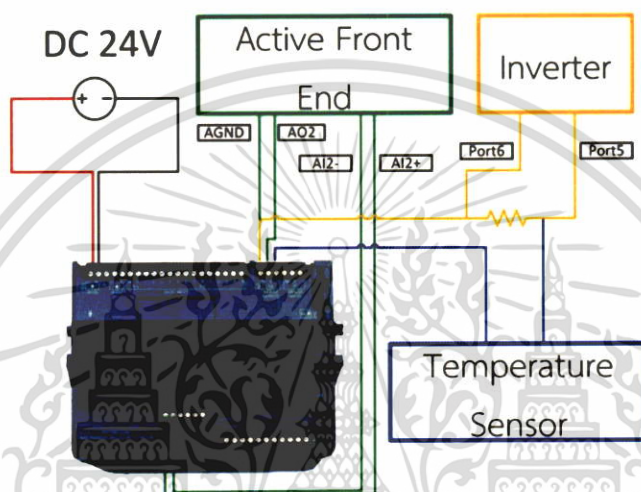
รูปที่ 3. 16 เราท์เตอร์ของบริษัท TP-LINK รุ่น TL-WR802N

เราท์เตอร์ของบริษัท TP-LINK รุ่น TL-WR802N ใช้ทำหน้าที่สร้างเครือข่ายในระบบไร้สายเพื่อส่งข้อมูลระหว่าง PLC siemens รุ่น S7-1200 กับตัวคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน และส่วนของ PLC SCADA ของระบบไมโครกริดใน REAL LAB โดยจะมีการส่งข้อมูลในรูปแบบ TCP/IP แบบเรียลไทม์ของค่าต่างๆ จากเครื่องปรับอากาศ และจากสมาทมิเตอร์ของ REAL LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 โปรแกรม PLC เพื่อใช้ในการควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน

ในการวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens เพื่อใช้ในการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน โดยมีการส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนผ่านทาง analog output ไปยังแอ็คทีฟฟรอนเอนเพื่อซัดเซยกำลังไฟฟ้าเสมือน และมีการเก็บค่าข้อมูลการใช้พลังงานต่างๆไว้ในตัวโปรแกรมเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดลองไปลำดับต่อไป



รูปที่ 3. 17 แผนผังการเชื่อมต่อของ PLC ในการรับส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนและอุณหภูมิ

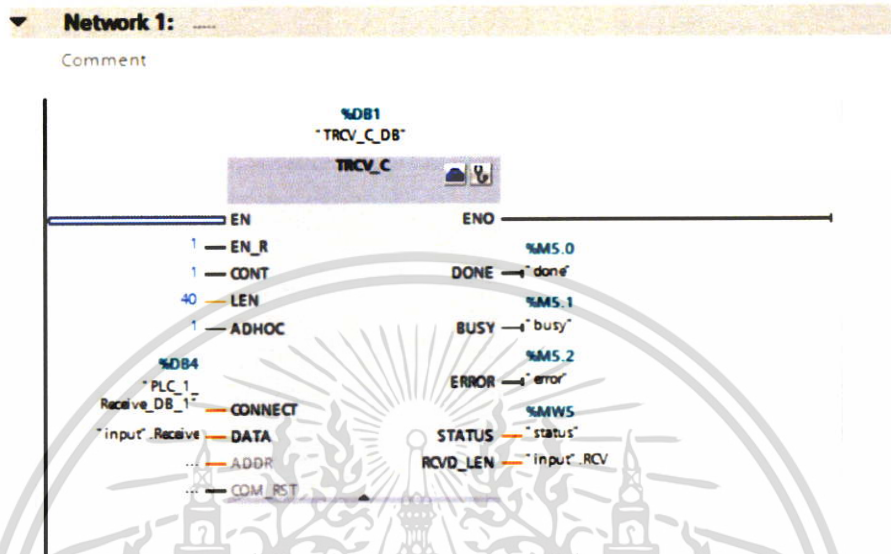
ในระบบการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนเกิดจากการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ PLC ผ่านระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wifi) เพื่อให้สามารถรับค่าข้อมูลจากระบบ SCADA ภายในระบบของไมโครสมาร์ทกริดและควบคุมการส่งข้อมูลได้แบบเรียลไทม์

โดยมีการรับส่งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

1. ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (S_{Grid})
2. ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (P_{Grid})
3. ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (Q_{Grid})
4. ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม ($p.f._{Grid}$)
5. ค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าของสมาร์ทโฮม (V_{Grid})
6. ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของโหลดเครื่องปรับอากาศ (S_{Load})
7. ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของโหลดเครื่องปรับอากาศ (P_{Load})
8. ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของโหลดเครื่องปรับอากาศ (Q_{Load})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเชื่อมต่อกับระบบไมโครสมาร์ทกริดโดยให้ PLC ของเครื่องต้นแบบเป็นตัวรับ ข้อมูลจากระบบไมโครสมาร์ทกริดผ่านบล็อก TRCV_C_DB ซึ่งรับค่ามาเป็น bytes ทั้งหมด 40 bytes และแปลงเป็นจำนวนจริงเพื่อแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่รับมาผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์



รูปที่ 3. 18 Ladder ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด

	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		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Receive[1]	Real	0.0	7731.788		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Receive[2]	Real	0.0	-1675.521		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Receive[3]	Real	0.0	391.3255		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Receive[4]	Real	0.0	2.359382e+013		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Receive[5]	Real	0.0	4850.28		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Receive[6]	Real	0.0	2800.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Receive[7]	Real	0.0	-3944.724		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Receive[8]	Real	0.0	0.5774305		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Receive[9]	Real	0.0	6.162976e-033		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Receive[10]	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	R1	Array[0..10] of Byte				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	RCV	UDInt	0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	D1	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

รูปที่ 3. 19 Tags ในการรับส่งค่าจากระบบไมโครสมาร์ทกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

...iceScale ▶ PLC_2 [CPU 1211C DC/DC/DC] ▶ PLC tags ▶ Default tag table [63]

Tags User constants System constants

Default tag table

	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	...
1	done	Bool	%M5.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	busy	Bool	%M5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	error	Bool	%M5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	status	Word	%MW5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	count	Bool	%M8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	req	Bool	%M8.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	RCVD_LEN	UDInt	%MD8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	LEN	UDInt	%MD12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	ADHOC	Bool	%M16.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	EN_R	Bool	%M16.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Tag_1	Bool	%M5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Tag_2	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Tag_3	Word	%QW80	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Tag_4	Word	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	set Temp	Real	%MD13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	set Temp_	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

รูปที่ 3. 20 หน้าจอแสดง Tags สำคัญที่ใช้ในการควบคุมและการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย ที่มีการปรับปรุงให้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์โดยมีอินเวอร์เตอร์เข้ามาควบคุมความเร็วรอบในแบบของเวกเตอร์คอลโทล รวมถึงส่วนของตัวโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันในระบบ เพื่อส่งข้อมูลระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ให้มีการแสดงผลในระบบของไมโครกริดและมีการส่งค่าที่ต้องการของค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนจากระบบ โดยมีโปรแกรม DriveStudio เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการดูข้อมูลภายในตัวแอกทีฟพรีออนเอ็น และตั้งค่าภายในตัวแอกทีฟพรีออนเอ็นให้ทำงานได้อย่างเหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและประเมินผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองของการส่งกำลังไฟฟ้าเสมือนจากตัวอินเวอร์เตอร์ back to back ที่นำไปประยุกต์ใช้กับแอร์คอนดิชันเนอร์ เข้าสู่ระบบไมโครกริดของแลปเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังภายในแลป ให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นโดยมีการส่งข้อมูลผ่านทางโปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens โดยจะแบ่งการทำงานของตัวอินเวอร์เตอร์ back to back เป็น 2 โหมดคือโหมดที่สามารถกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าคืนสู่ระบบไมโครกริดและรูปแบบที่ส่งจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบเพื่อให้มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

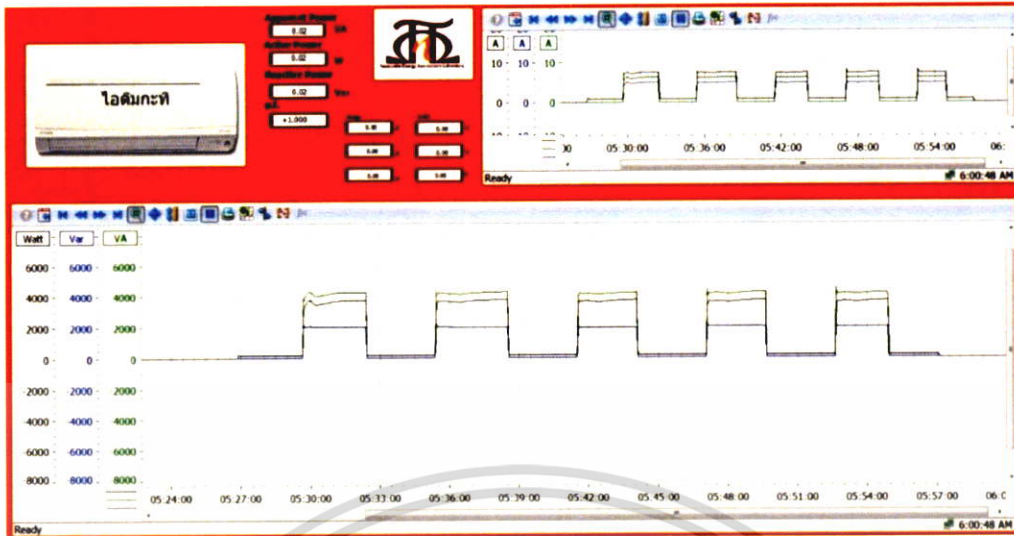
4.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปโดยใช้อินเวอร์เตอร์

ควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์

ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป และการทำงานของเครื่องปรับอากาศหลังจากมีการติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์ให้แก่ระบบ

4.2.1 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

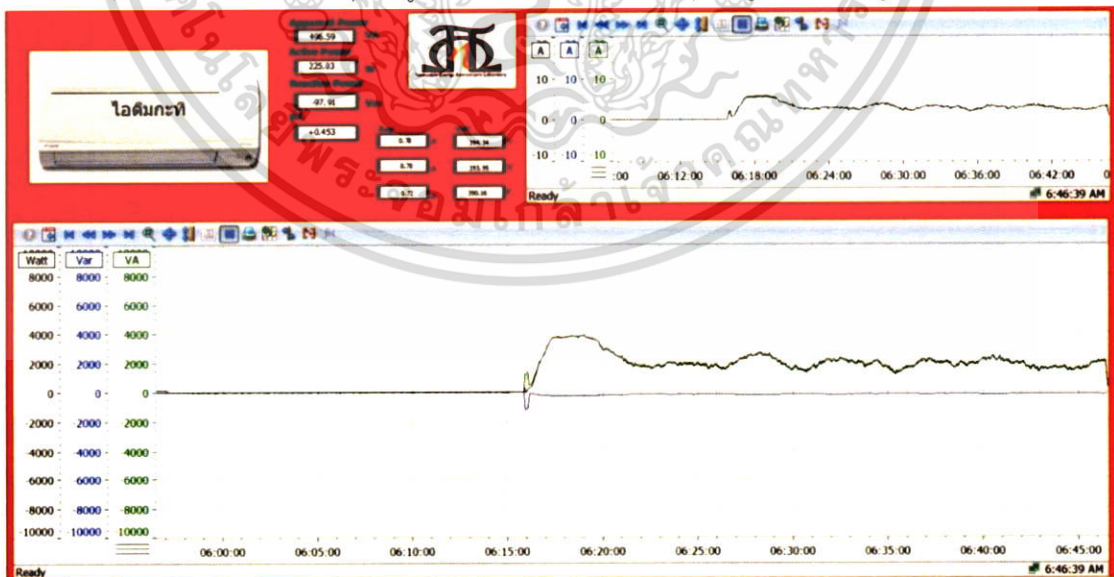
เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป โดยตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 20°C ขณะที่ห้องทดลองมีอุณหภูมิ 27°C ได้ผลเป็นกราฟกระแสและกำลังไฟฟ้างดรูปที่ 4.1



รูปที่ 4. 1 รูปแบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

4.2.2 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

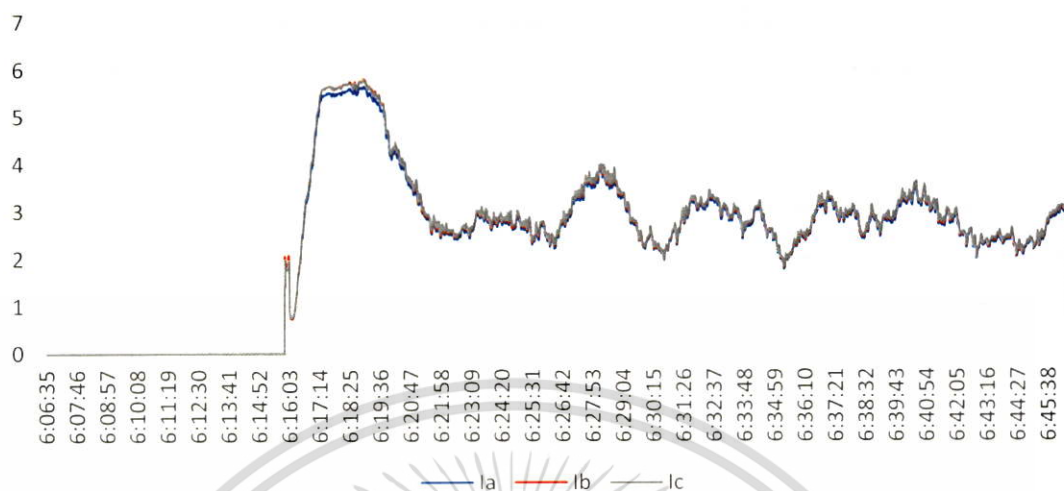
ระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ถูกควบคุมแบบ PI ซึ่งประกอบด้วย Gain = 5, Integrate = 5 ค่าอุณหภูมิ 20 °C ขณะห้องทดลองมีอุณหภูมิ 27 °C โดยใช้หลักการของเวคเตอร์คอลโทลให้การควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์ของบริษัท ABB โดยมีการปรับความเร็วรอบตามการตั้งค่าตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีการควบคุมคอมเพรสเซอร์ให้มีความเร็วรอบที่เต็มประสิทธิภาพที่ 60Hz และค่อยๆลดค่าความถี่ลง เมื่ออุณหภูมิของห้องทดลองเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 2 หน้าจอสำหรับแสดงผลข้อมูลของแอร์อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

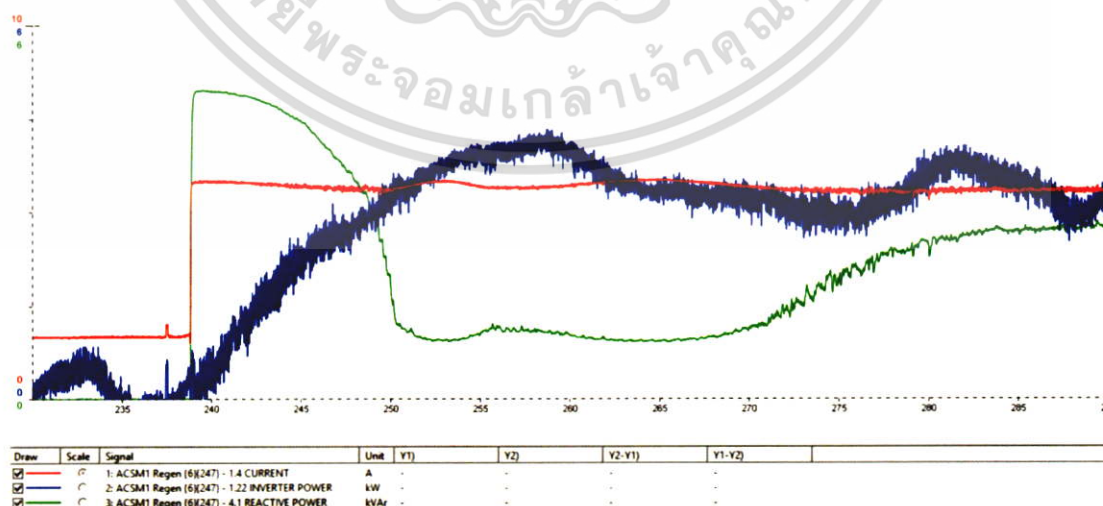
Energy consumption of Inverter - Air conditioner



รูปที่ 4.3 ค่าปริมาณการกินกระแสไฟของแอร์อินเวอร์เตอร์

4.3 การทดลองผลจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบในรูปแบบของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

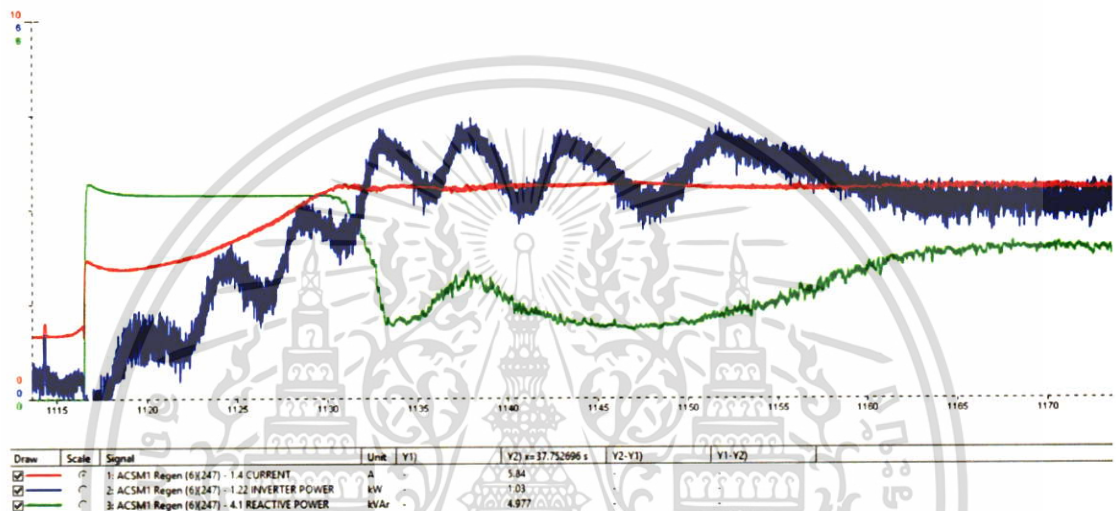
ในส่วนนี้จะนำเสนอผลที่เกิดจากการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่เกิดจากการส่งของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมแอร์คอนดิชันเนอร์ โดยจะพิจารณาจากสภาพก่อนและหลังจากชดเชยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ควรวิเคราะห์ในระบบไฟฟ้า โดยในรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงตัวอย่างการทำงานโดยผ่านโปรแกรม DriveStudio ของบริษัท ABB



รูปที่ 4.4 ภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ผ่านโปรแกรม DriveStudio

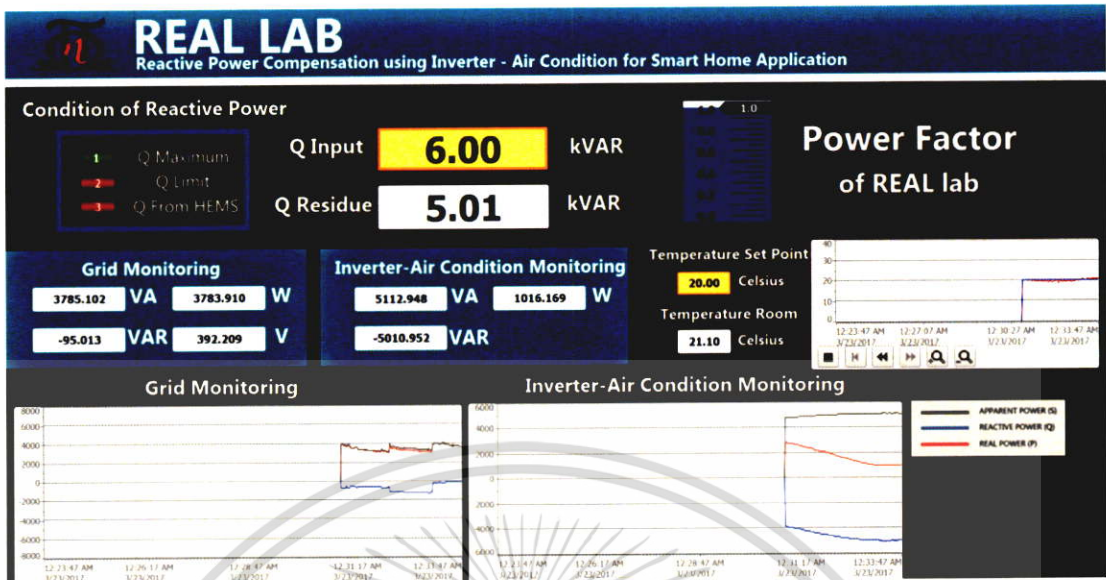
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าลักษณะการทำงานของเครื่องส่งจ่ายค่าตัวประกอบกำลังจะสามารถส่งจ่ายได้ไม่เกินค่าพิกัดของ แอร์คอนดิชันเนอร์ โดยในนี้ก็สามารถจ่ายได้ประมาณ 4kVAR ที่ปริมาณสูงสุด และจะมีค่าลดลงถ้าหาก ความต้องการในการกินกระแสของแอร์อินเวอร์เตอร์มีปริมาณสูงขึ้น และรูปที่ 4.5 เป็นรูปแบบของการจ่าย ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยมีการกำหนดค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายได้ โดยในที่นี้ได้กำหนดเป็น ค่าประมาณ 3.2 kVAR โดยลักษณะความสามารถในการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ได้มีรูปแบบเหมือนกับที่ กล่าวไว้ข้างต้น ที่มีหน้าจอสั่งการดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4. 5 รูปแบบการส่งจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยมีการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

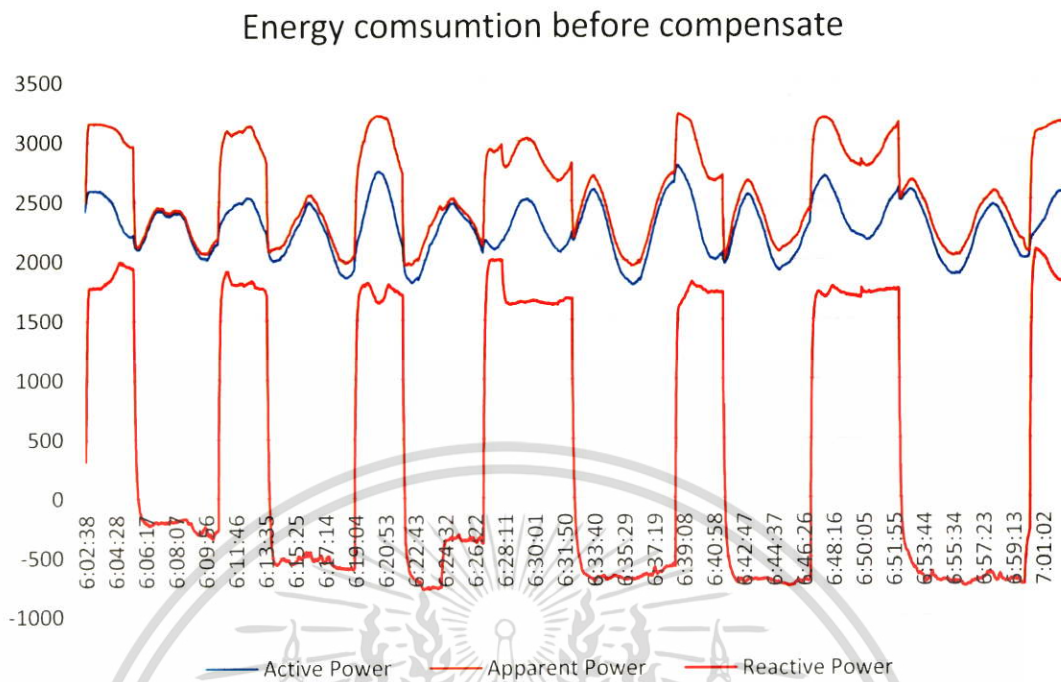


รูปที่ 4. 6 รูปหน้าจอคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการส่งจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน

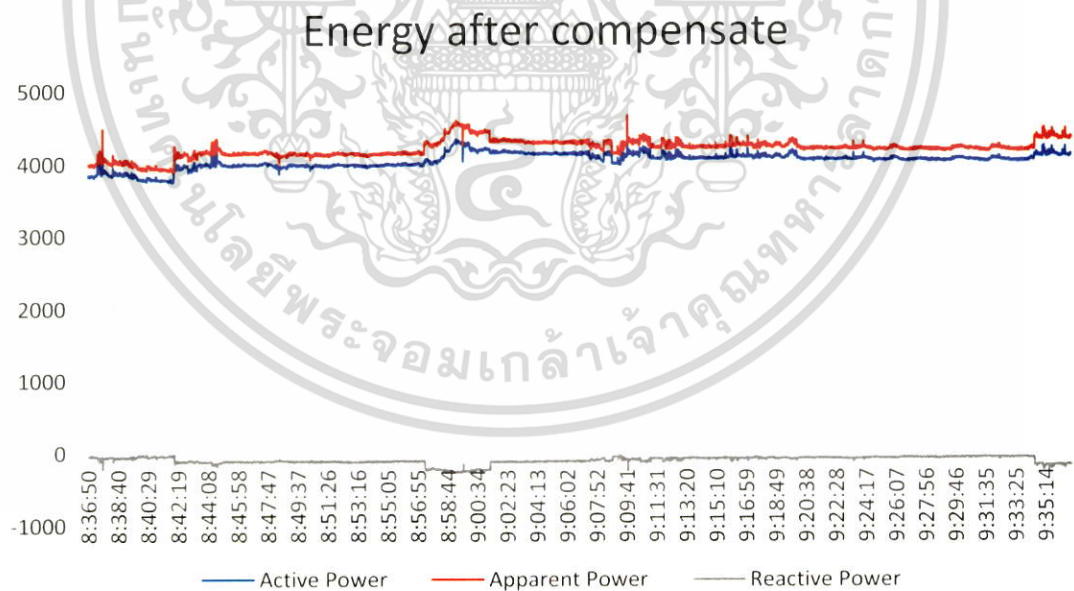
4.4 ผลการทดลองการบริโภคพลังงานหลังจากชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

ในส่วนนี้จะนำเสนอการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของระบบไมโครกริดในแล็บ โดยรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่ามีค่าการใช้กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไม่คงที่ และมีการกระเพื่อมสูงในระยาะ 2kVAR ถึง -5kVAR ทำให้ส่งผลต่อการบริโภคพลังงานไฟฟ้าปรากฏที่สูงขึ้น และในภาพที่ 4.8 จะแสดงค่าการบริโภคพลังงานหลังจากมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้แก่ระบบ จะเห็นได้ว่าค่ากำลังฟ้าเสมือนได้มีการถูกชดเชยจนมีค่าใกล้เคียง 0 ทำให้ลักษณะการบริโภคพลังงานของกำลังไฟฟ้าปรากฏ มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่าการบริโภคพลังงานก่อนการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน



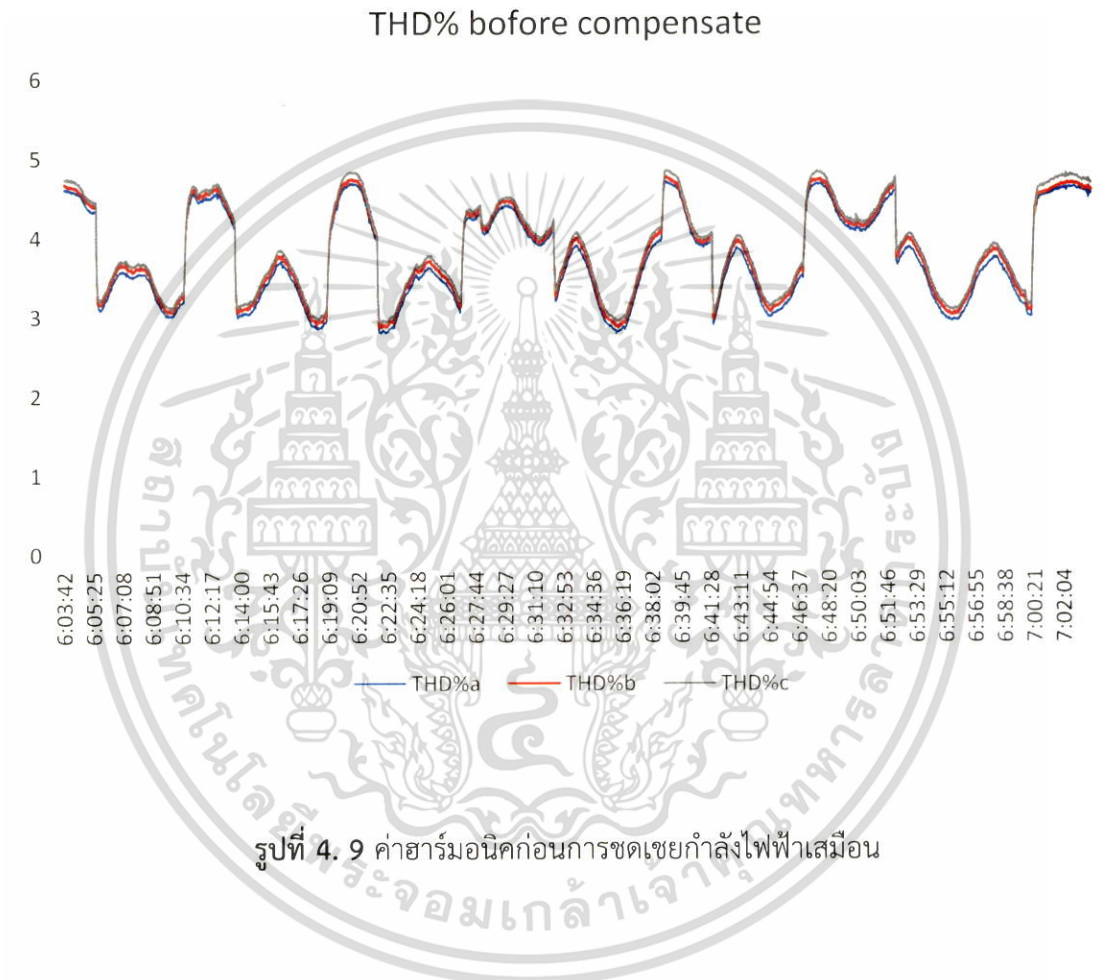
รูปที่ 4.8 ค่าการบริโภคพลังงานหลังจากการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

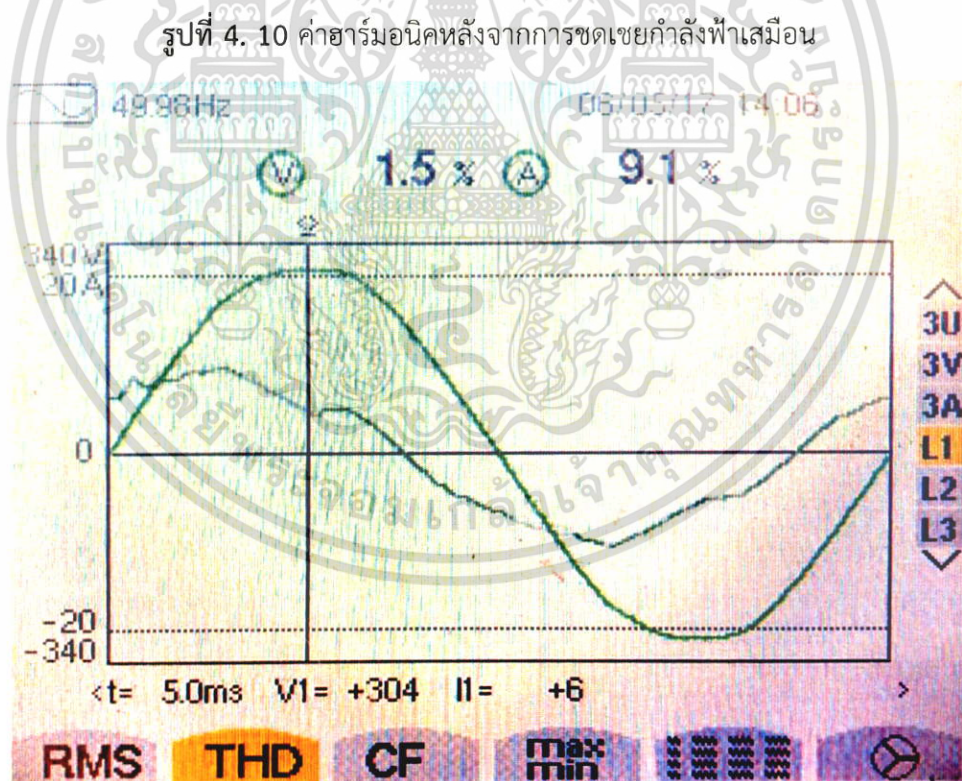
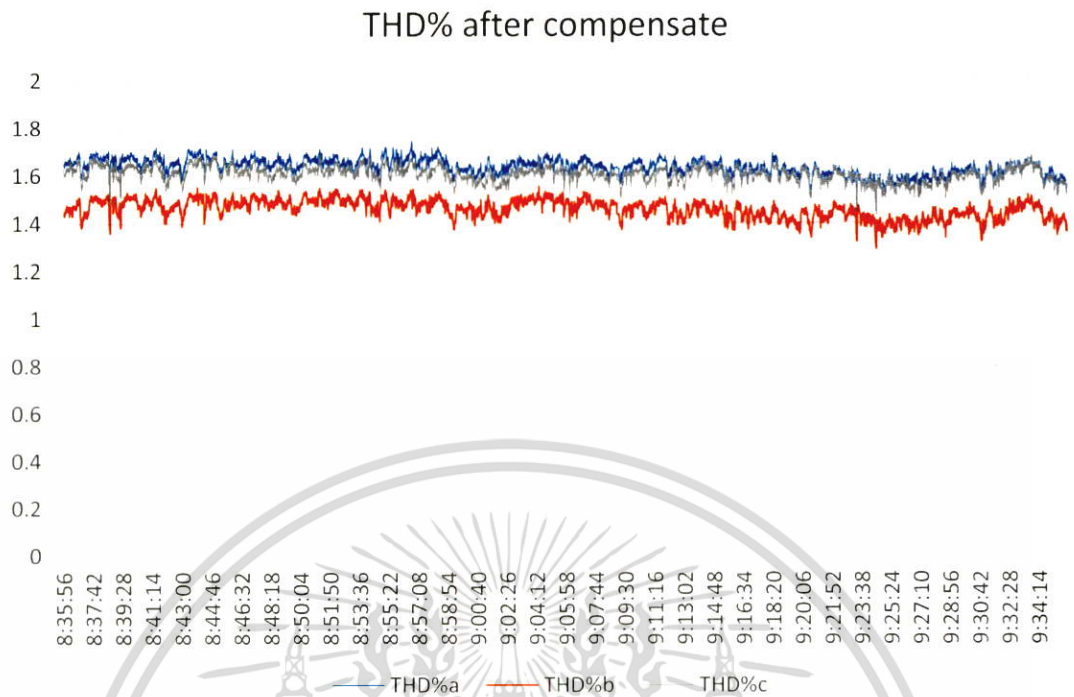
4.5 ผลการทดลองการปรับปรุงฮาร์มอนิกหลังจากชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

ในส่วนนี้จะนำเสนอสถานะของฮาร์มอนิกโดยรูปที่ 4.9 เป็นสถานะของฮาร์มอนิกในแลป โดยจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของฮาร์มอนิกอยู่ที่ 4% และรูปที่ 4.10 เป็นรูปหลังจากมีการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ทำให้มีค่า

ฮาร์มอนิกอยู่ในช่วง 1.6% และฮาร์มอนิกของกระแสตัวแอร์อินเวอร์เตอร์อยู่ที่ 9.1%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. 111 ค่าฮาร์มอนิกหลังจากการชดเชยกำลังฟ้าเสมือนของตัวแอร์อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุป

การทดลองของงานวิจัยนี้ได้แบ่งรูปแบบการทดลองเป็น 2 ส่วน คือการทดลองเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้เป็นแบบอินเวอร์เตอร์ โดยมีหลักการควบคุมแบบเวคเตอร์คอนโทรล และการทดลองอีกแบบคือการให้ส่วนของอินเวอร์เตอร์มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าสู่ระบบไมโครกริดของแลป เพื่อปรับปรุงค่าประสิทธิภาพของระบบให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น และลดค่าฮาร์มอนิกของระบบให้น้อยลง ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏมีค่าการใช้งานที่ลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

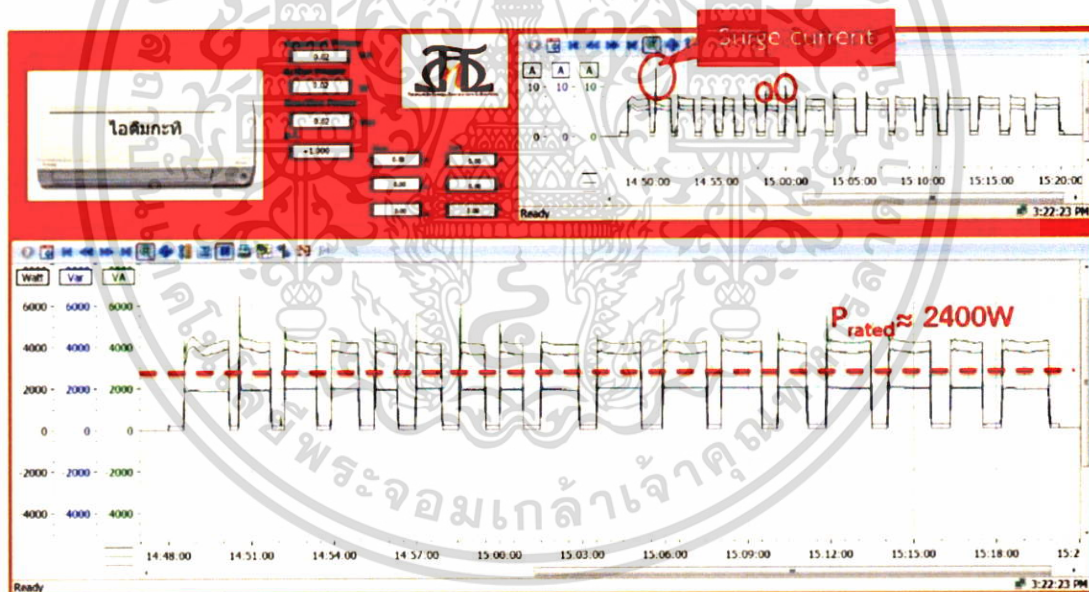
บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

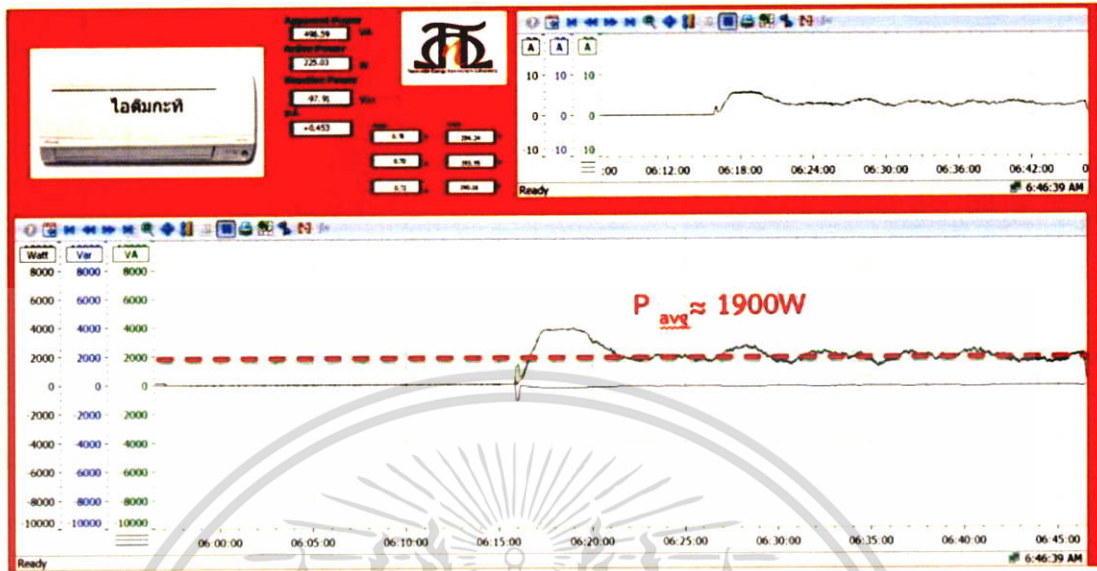
ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำผลที่ได้จากบทที่ 4 มาเพื่อวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน โดยมีการวิเคราะห์ผลการประหยัดจากการเปลี่ยนแอร์คอนดิชันแบบทั่วไป ให้กลายเป็นแบบอินเวอร์เตอร์ และในส่วนของ การชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนคินสู่ระบบเพื่อที่จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลืออยู่จากการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปเทียบกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 5. 1 กราฟการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

เมื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากกราฟของทั้งสองการทดลองได้ค่าดังนี้

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปประมาณ 2400 kWh

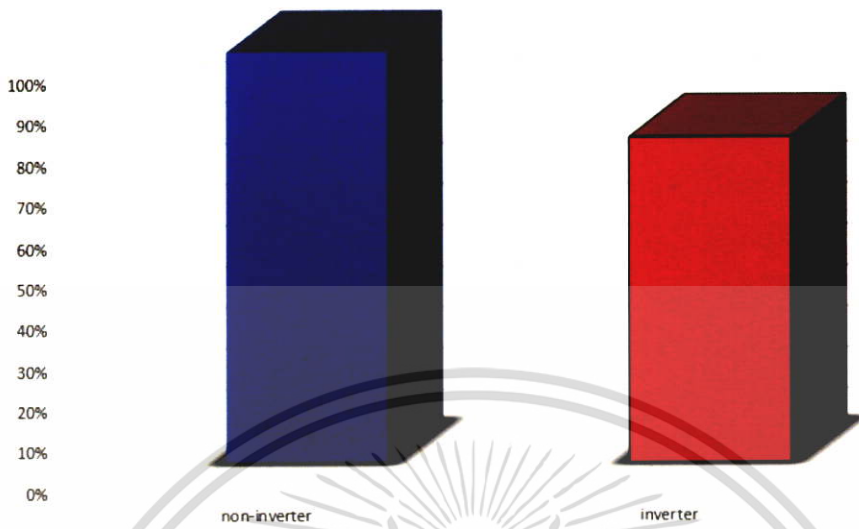
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ประมาณ 1900 kWh

เทียบเป็นอัตราการประหยัดพลังงาน $(2400-1900/2400)*100 = 20.8\%$

ทำให้ระบบเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์สามารถนำส่วนค่าฟิวกัดที่เหลือจากการทำงานของอุปกรณ์กลับมาใช้เป็นพลังงานในการส่งค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนคืนสู่ระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.3

โดยอัตราการประหยัดพลังงานมีเป็นค่าประมาณโดยมีปัจจัยอีกหลายสิ่ง เช่น ขนาดห้อง อุณหภูมิปรกติ และ อื่นๆที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



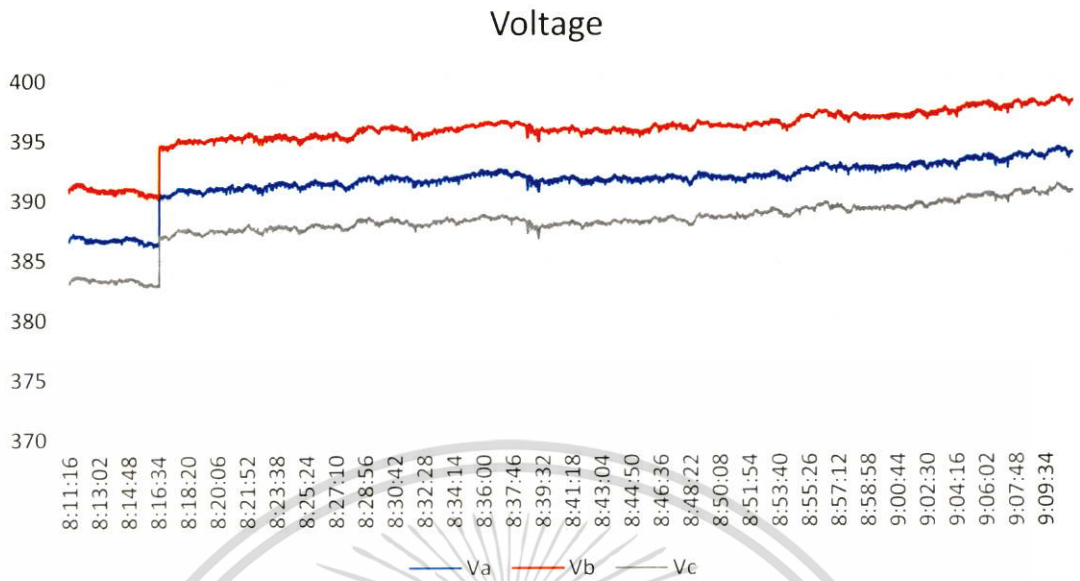
รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไประหว่างเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

5.3 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองเรื่องการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแก่ระบบ โดยมีการนำข้อมูลก่อนและหลังจากชดเชยมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบพร้อมทั้งคำนวณเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ระบบสามารถเพิ่มได้หลังจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

5.3.1 กรณีผลของแรงดันที่เปลี่ยนไปหลังจากชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

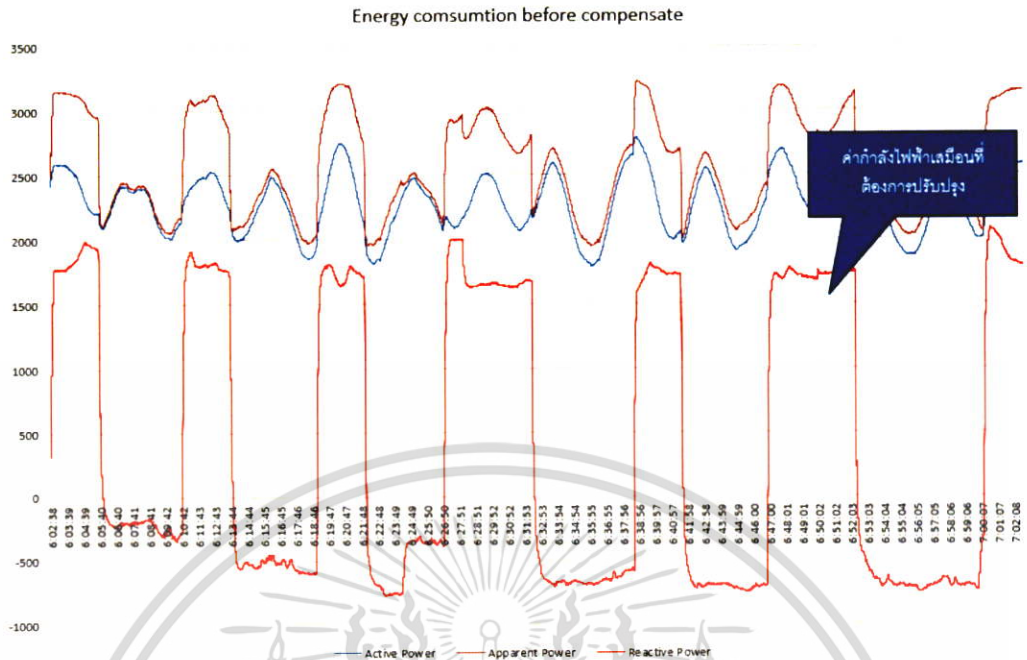
เมื่อมีการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนจะเห็นได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้ามีความเสถียรและมีค่าที่สูงขึ้นดังรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่ 8.16.34 เป็นช่วงเวลาที่ค่าแรงดันมีการเพิ่มขึ้นมาประมาณ 5 Vac โดยประมาณ อันเป็นผลมาจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน ทำให้มีการลดกำลังการสูญเสียของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 5.4 แสดงช่วงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหลังจากการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน

5.3.2 กรณีผลของค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่เปลี่ยนไป

ในกรณีนี้จะเป็นการเปรียบเทียบและยกตัวอย่างการทำลองในระบบของไมโครกริดในแล็บโดยเป็นการแสดงให้เห็นคร่าวๆถึงรูปแบบลักษณะของพลังงานที่เปลี่ยนไปโดยกราฟที่แสดงเป็นการแสดงการบริโภคพลังงานในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน ในรูปที่ 5.4.1 เป็นการโชว์ค่าก่อนการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งเมื่อมีการชดเชยแล้วจะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนเป็น 0 โดยเราสามารถยกตัวอย่างการคำนวณในการลดค่ารีแอกทีฟพาวเวอร์ได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟ โดยในรูปจะมีค่าประมาณ 16.3 kVAR ที่มีการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดอยู่ที่ 2kVAR ในขณะนั้น ตัวอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องปรับอากาศในงานวิจัยนั้น มีความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดอยู่ที่ 5kVAR และเมื่อยกตัวอย่างในขณะที่เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ทำงานอยู่ในสภาวะรักษาอุณหภูมิจะสามารถคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงช่วงเวลาก่อนการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน

ปริมาณพิกัดกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S_{rated}) มีค่า = 4 kVA

ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริง (P_{in}) มีค่า = 1.9 kW

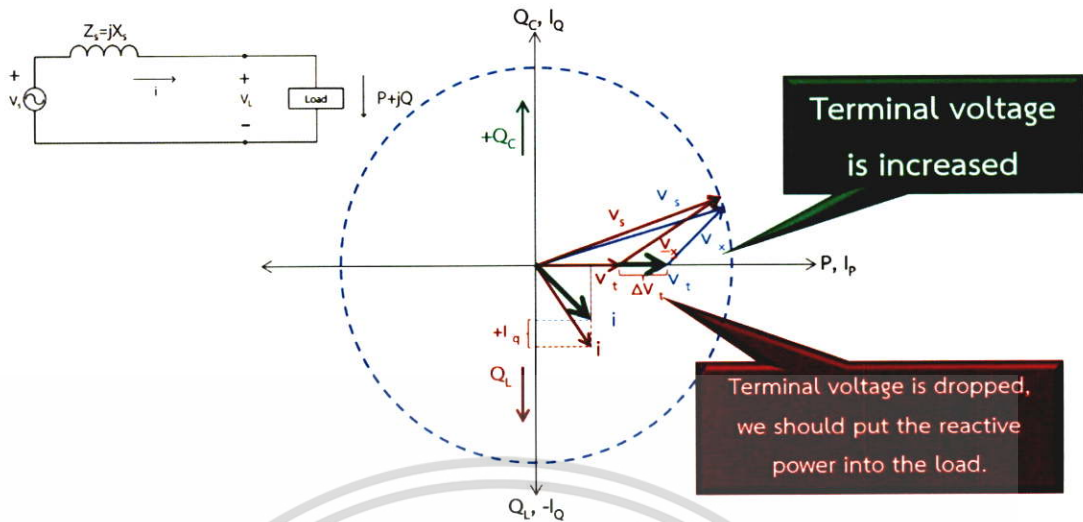
ปริมาณกำลังไฟฟ้าเสมือนทั้งหมด (Q_{in}) มีค่า = $\sqrt{S_{rated}^2 - P_{in}^2}$

$$= \sqrt{(4 \times 10^3)^2 - (1.9 \times 10^3)^2}$$

$$= 3.52 \text{ kVAR}$$

จะเห็นว่าค่าประมาณของค่าแรงดันไฟฟ้าเสมือนที่สามารถใช้ได้จริงในการใช้งานอยู่ในช่วงประมาณ 3.5kVAR โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องปรับอากาศ โดยความสามารถในการปรับปรุงค่ากำลังฟ้าเสมือนสามารถสรุปเป็นรูปภาพได้ดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงผลกระทบจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนในรูปแบบเฟสเซอร์

5.4 ระยะเวลาการคืนทุน

จากการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการคำนวณระยะเวลาการคืนทุนโดยคิดจากปริมาณการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนภายในห้องแลปที่เป็นระบบไมโครกริด

ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดต่อวัน = 2 kVAR

ค่าปรับจากการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากค่าเฉลี่ยจากทางการไฟฟ้า = 56.07 บาท

อัตราค่าปรับจากการใช้กำลังไฟฟ้าเสมือน(จ.-ศ.) = 2242.8 บาท/เดือน

ระยะเวลาการคืนทุนเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ 50000/2242.8 = 23 เดือน

5.5 สรุป

จากการทดลองระบบการควบคุมโดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้แก่ระบบทำให้พบว่าระบบไมโครกริดมีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ส่วนหลักๆคือ

- 1.ลดความสูญเสียในระบบที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า
- 2.รักษาระดับแรงดันให้คงที่อันเนื่องมาจากการลดค่าการสูญเสียของระบบ
- 3.ปรับปรุงค่ากำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- 4.สามารถบันทึกค่าพลังงานการใช้งานผ่านระบบคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

6.1 บทสรุป

1.รูปแบบการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์นั้นเป็นการช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพขึ้นจากการที่ทำให้มีการกินกระแสไฟฟ้าที่ลดลง และสม่ำเสมอ อีกทั้งยังช่วยให้มีการลดค่าไฟฟ้าลง เนื่องจากการทำงานที่ประมาณ 70-80% ของพิกัดเครื่องปรับอากาศ ทำให้เราสามารถใช้เวลาในช่วงเวลาที่เครื่องปรับอากาศทำงานได้ตอนที่ไม่มีเต็มพิกัดมาช่วยในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนแก่ระบบเพื่อให้มีประโยชน์สูงสุด

2.งานวิจัยนี้ได้นำอินเวอร์เตอร์ของบริษัท ABB ที่มีอยู่ในห้องทดลองมาใช้ในรูปแบบของ back to back converter ที่มีความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับสู่ระบบไมโครกริดที่ใช้ในแลป โดยทางผู้วิจัยได้ทำการจำกัดกระแสและพิกัดของอินเวอร์เตอร์ให้มีขนาดเท่ากับขนาดของคอมเพลสเซอร์ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้มีประสิทธิภาพตรงกับการใช้งานจริงมากที่สุด

3.การทดลองทางผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ PLC ของบริษัท Siemens มาใช้ในการสื่อสารกับระบบไมโครกริดเพื่อให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนกลับเข้าสู่ PLC ที่ใช้ในการควบคุมอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ โดยทางผู้วิจัยได้เขียนตัวโปรแกรมที่สามารถแบ่งเป็น รูปแบบต่างๆในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน พร้อมทั้งมีรูปแบบที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนให้แก่ระบบได้ตลอดเวลา

4.ผลการทดลองทำให้เห็นว่าระบบมีการปรับปรุงค่าแรงดันให้มีเสถียรภาพและมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน อันเป็นผลมาจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแก่ระบบ ทำให้ลดค่าฮาร์มอนิกและลดค่ากำลังสูญเสียในระบบลง

6.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัย มีข้อเสนอแนะและปัญหาดังนี้

1. ขนาดห้องที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กกว่าที่เครื่องปรับอากาศควรจะทำงานได้อย่างเหมาะสม ทำให้อุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการให้รวดเร็ว และทำให้ระบบเข้าสู่สถานะของรักษาอุณหภูมิเร็วกว่าปกติ
2. เครื่องปรับอากาศเป็นรูปแบบของเครื่องปรับอากาศ 3 เฟส ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเหมาะแก่การใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่สูง ที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าเสมือนที่สูง โดยจะมีผลต่อการประหยัดในส่วนของค่าปรับค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของการไฟฟ้า ในชนิดของโรงงาน

6.3 แนวทางการพัฒนา

การวิจัยนี้เป็นแนวคิดในการนำเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ในช่วงที่รักษาอุณหภูมิได้นำพลังงานที่ส่วนที่เหลือจากพิกัดนำกลับมาช่วยปรับปรุงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน โดยทางผู้วิจัยได้มองถึงการพัฒนาอุปกรณ์ของระบบแอร์อินเวอร์เตอร์ที่สามารถนำกลับไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน เพื่อแก้ปัญหาค่าแรงดันตก หรือลดค่าปรับของกำลังไฟฟ้าเสมือนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยในอนาคตหากมีการใช้งานอย่างแพร่หลายจะสามารถช่วยลด การสร้างโรงไฟฟ้าในกรณีที่ช่วยลดการสูญเสียในระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, and Mauricio Aredes, **Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning**, John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [2] Mukul C. Chandorkar, Deepakraj M.Divan, and Rambabu Adapa, "Control of Parallel Connected Inverters in Standalone ac Supply Systems", **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol. 29, No. 1, 1993, pp. 136-143.
- [3] Kyosuke Funami and Hiroaki Nishi, "Evaluation of Power Consumption and Comfort using Inverter Control of Air-conditioning", **IEEE**, 2011, pp 3236-3241.
- [4] 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.
- [5] Hirofumi Akagi, "New Trends in Active Filters for Power Conditioning", **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol. 32, No. 6, 1996, pp. 1312-1322.
- [6] 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.
- [7] H. A. Ozkan and A. Aybar, "A smart air conditioner in smart home," **IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)**, Jun. 2016.
- [8] S. Qureshi and Z. Hameed, "Reactive power compensation in solar power plants using FACTS devices", **Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)**, 2016.
- [9] T. Sobhy, N. Hemdan, M. Hamada and M. Wahab, "Coordinated reactive power management in distribution networks with renewable energy

- resources", **Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)**, 2016.
- [10] K. Prabakar, D. Rizy and F. Li, "A study on the effect of distribution circuit loading on air conditioner motor stall using a real time simulator", **IEEE PES T&D Conference and Exposition**, 2014.
- [11] M. Chandorkar, D. Divan and R. Adapa, "Control of parallel connected inverters in standalone AC supply systems", **IEEE Transactions on Industry Applications**, vol. 29, no. 1, pp. 136-143, 1993.
- [12] K. Funami and H. Nishi, "Evaluation of power consumption and comfort using inverter control of air-conditioning", **IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**, 2011.
- [13] Q. Zhang, Q. Guo and Y. 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 (CICED)**, 2016.
- [14] X. Ge, N. Chen, X. Wang, L. Jiang and J. Meng, "A coordination frequency control strategy for electric vehicles and air conditioners based on the load assessment index", **5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)**, 2015.
- [15] M. de Oliveira and M. Halonen, "Dynamic reactive power compensation: Opportunities and challenges in the mexican grid", **IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA)**, 2016.
- [16] H. Akagi, "New trends in active filters for power conditioning," **IEEE Transactions on Industry Applications**, vol. 32, no. 6, pp. 1312–1322, 1996.



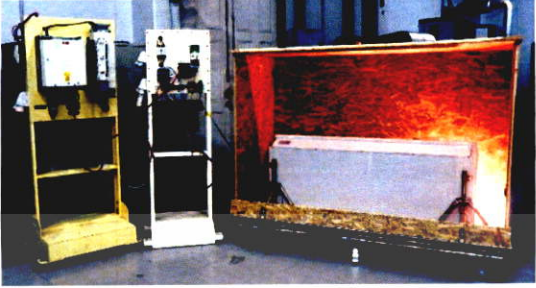
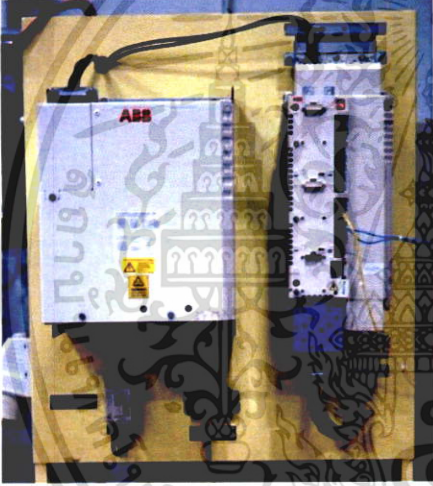
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

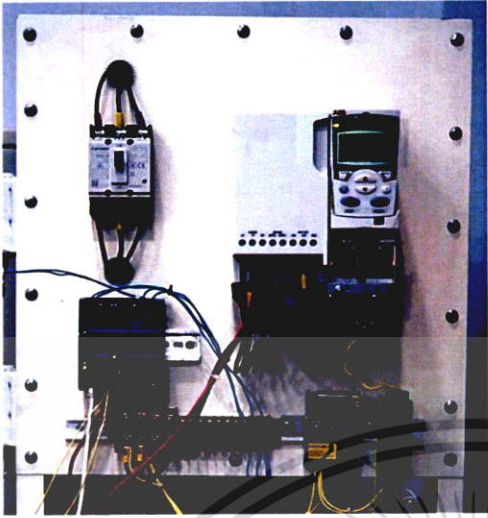


ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วยอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศ

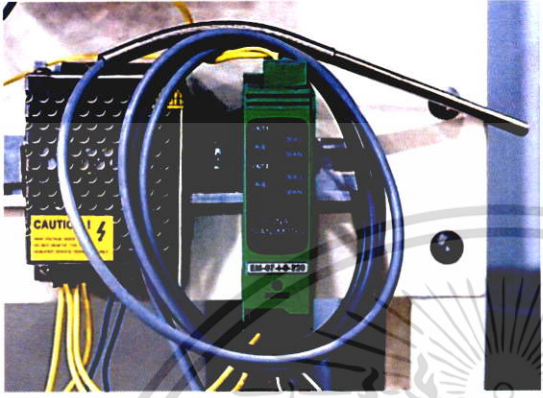
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>เครื่องต้นแบบ</p> <ul style="list-style-type: none"> - ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนได้สูงสุด 2.5 kVAR - ประหยัดพลังงานกว่า เครื่องปรับอากาศทั่วไป 65.5% - ช่วยรักษาระดับแรงดันให้คงที่ - ปรับปรุงค่า p.f. ให้สูงถึง 1
	<p>แอคทีฟฟรอนเอนด์ (AFE) รุ่น ACSM1-204 โมดูลรีเจนซีฟฟลายของ ABB</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>อินเวอร์เตอร์</p> <p>รุ่นACS355-03E-15A6-4</p> <p>ของบริษัท ABB</p>
<p>รูปถ่าย</p>	<p>รายละเอียด</p>
	<p>หน่วยประมวลผล SIMATIC S7-1200</p> <p>ของบริษัท Siemens</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programmable Logic Controller เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ SIEMENS 6ES7232-4HA3-0XB0 - เป็นโมดูลเสริมอนาล็อกเอาต์พุตของ SIMATIC S7-1200
	<p>300Mbps Wireless N Nano Router No. TL-WR802N</p> <ul style="list-style-type: none"> - Client Mode ทำให้อุปกรณ์ PLC สามารถเชื่อมต่อกันได้หลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>Temperature Sensor ชนิด RTD รุ่น PT100</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ - ใช้วัดอุณหภูมิในห้องทดลองแล้วส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้เข้าไปควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ผ่านระบบ PI ของอินเวอร์เตอร์
รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>วงจรความต้านทาน 500 Ω</p> <ul style="list-style-type: none"> - เปลี่ยนเอาต์พุตของ Temperature sensor ที่เป็นกระแสให้กลายเป็นแรงดันก่อนส่งให้กับ PLC เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้บนจอภาพ
	<p>ห้องจำลอง</p> <ul style="list-style-type: none"> - ขนาด $2 \times 0.75 \times 1.3 \text{ m}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>เครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป ของบริษัท สตาร์แอร์ (Star Aire)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ชนิด 3 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ - ขนาด 38,600 บีทียูต่อชั่วโมง
---	--



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Auto Range Digital Multimeter - MY68)</p> <p>อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า อาทิเช่น แรงดัน กระแส เป็นต้น</p>
	<p>แคลมป์มิเตอร์แบบดิจิตอล (Clamp Meter)</p> <p>อุปกรณ์ที่สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ โดยที่ไม่ต้องตัดต่อสายไฟแล้วต่อมิเตอร์แบบอนุกรมเพื่อวัดค่ากระแส</p>
	<p>เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter)</p> <p>เครื่องบันทึกและวัดค่าพลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงฮาร์มอนิกส์แบบดิจิตอล ซึ่งสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายพร้อม ๆ กัน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คู่มือการใช้งาน ACSM1 Regen Supply Control และ ACS355 drives

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB machinery drives

User's manual ACS355 drives



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารฉบับนี้ด้วย

Power and productivity
for a better world™



3

Operation principle and hardware description

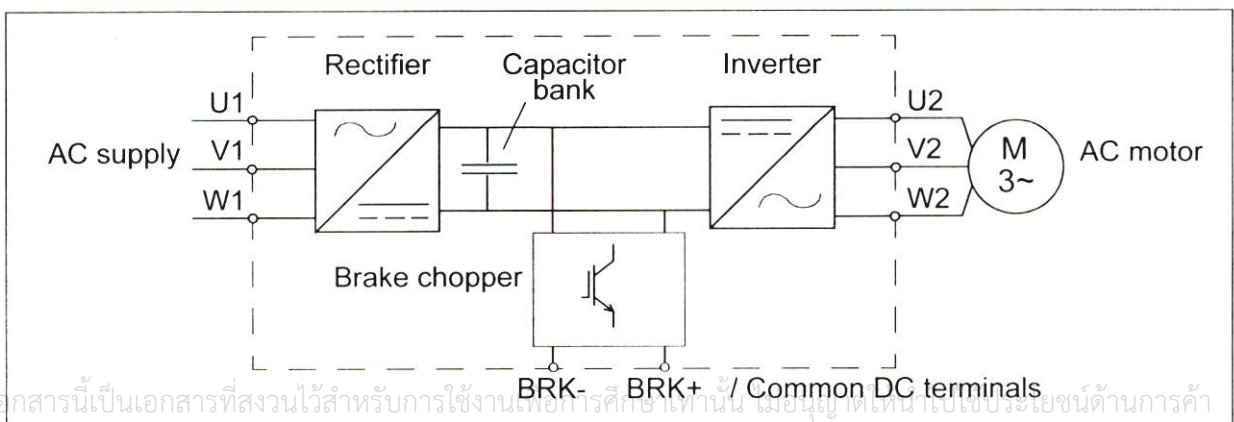
What this chapter contains

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.

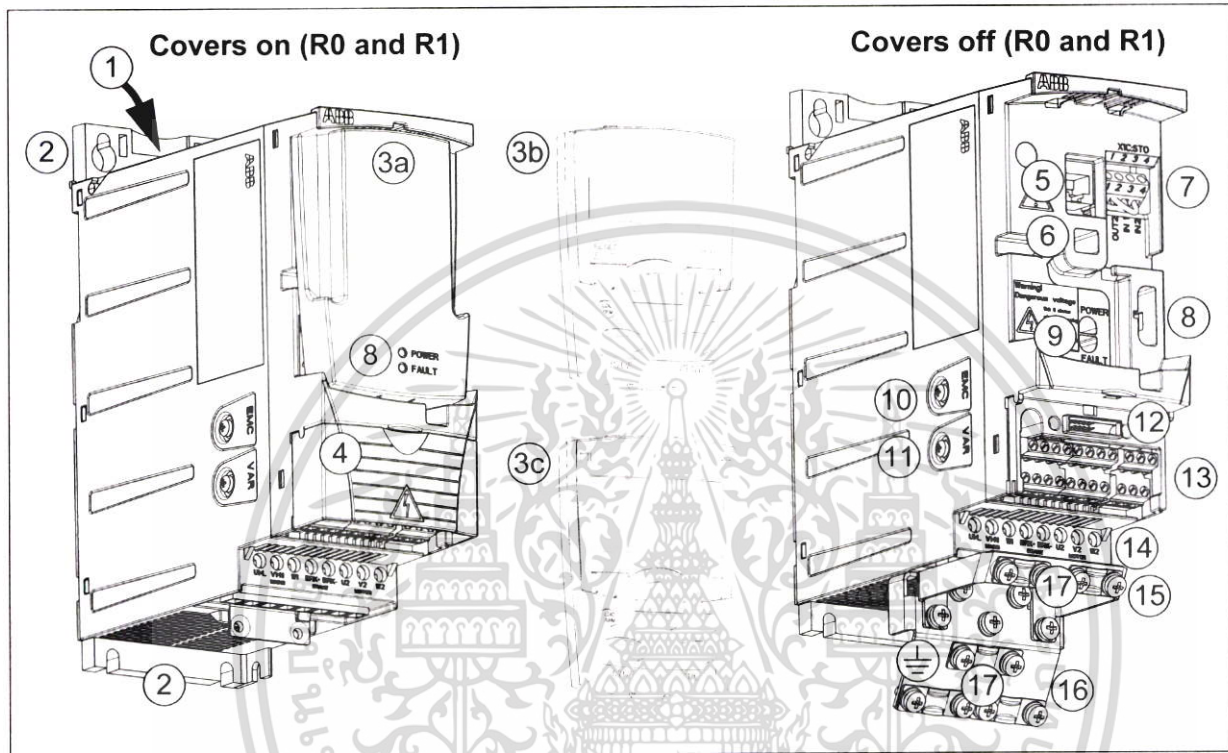


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สำหรับผู้เห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product overview

Layout

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

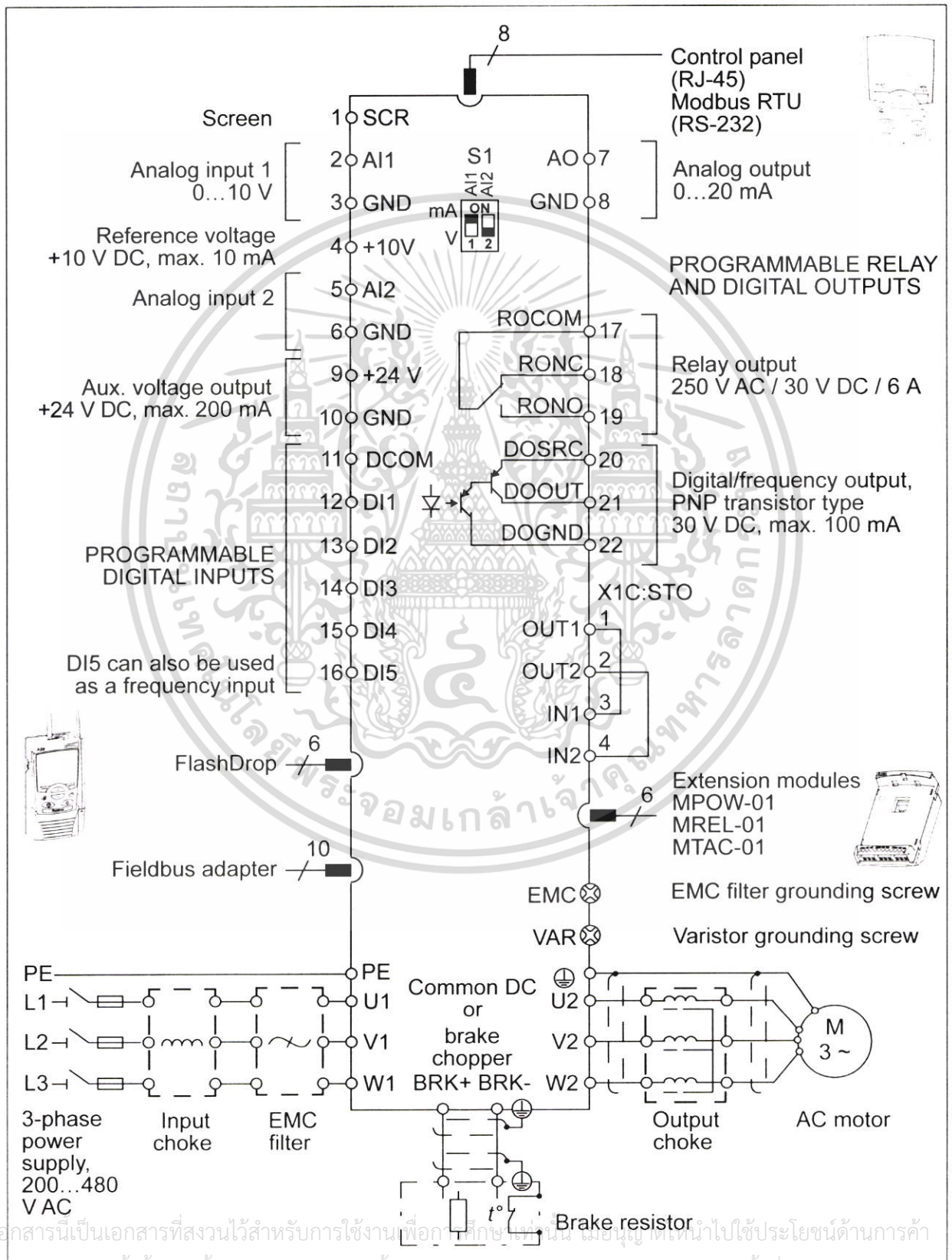


1	Cooling outlet through top cover
2	Mounting holes
3	Panel cover (a) / basic control panel (b) / assistant control panel (c)
4	Terminal cover (or optional potentiometer unit MPOT-01)
5	Panel connection
6	Option connection
7	STO (Safe torque off) connection
8	FlashDrop connection
9	Power OK and Fault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

Overview of power and control connections

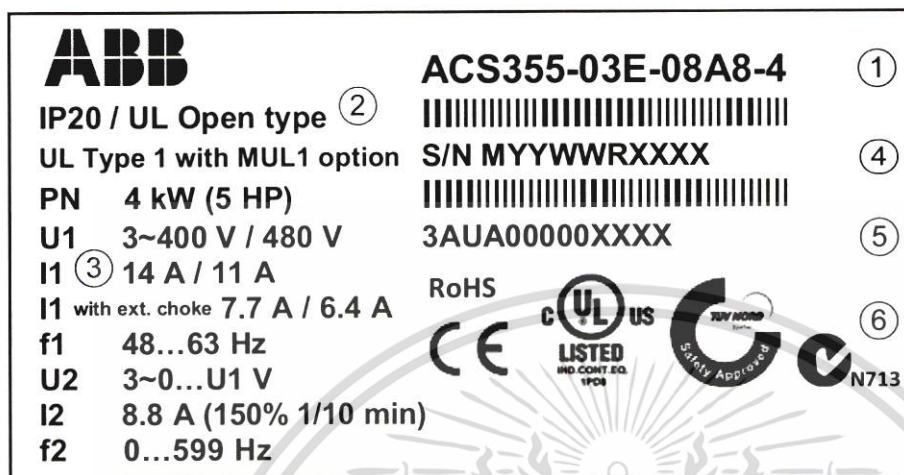
The diagram gives an overview of connections. I/O connections are parameterable. See chapter *Application macros* on page 107 for I/O connections for the different macros and chapter *Electrical installation* on page 49 for installation in general.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้น มิใช่คู่มือที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

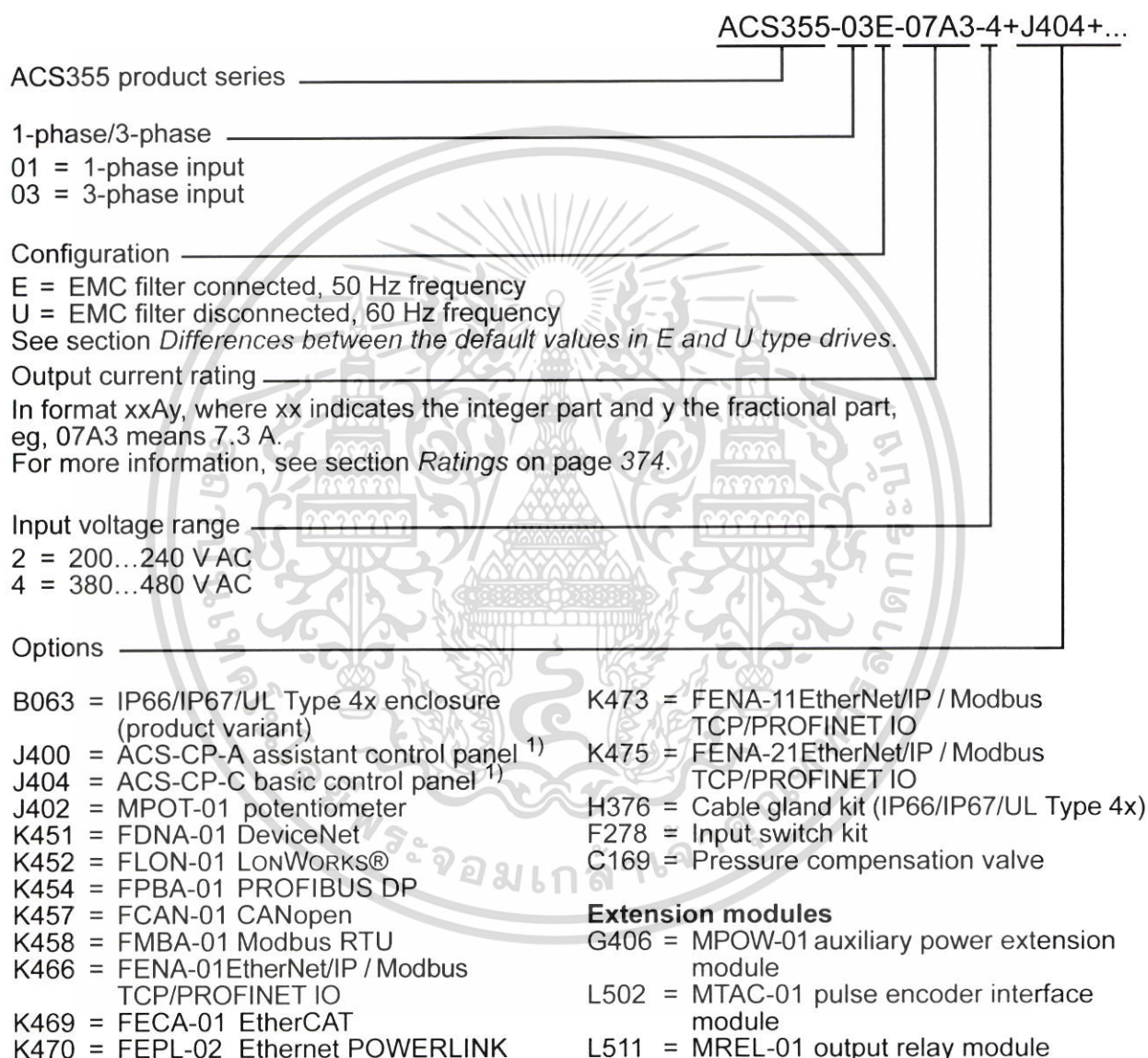


1	Type designation, see section <i>Type designation key</i> on page 31
2	Degree of protection by enclosure (IP and UL/NEMA)
3	Nominal ratings, see section <i>Ratings</i> on page 374.
4	Serial number of format MYYWWRXXXX, where M: Manufacturer YY: 10, 11, 12, ... for 2010, 2011, 2012, ... WW: 01, 02, 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.



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.

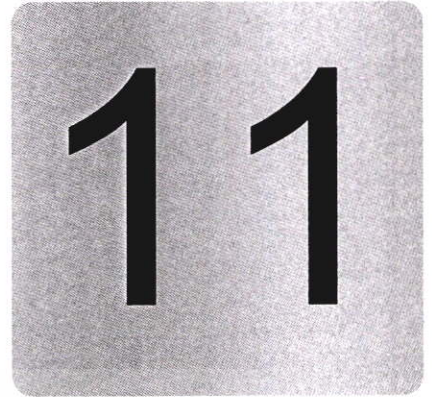
Panel type	Type code	Panel revision	Panel firmware version
Basic control panel	ACS-CP-C	M or later	1.13 or later
Assistant control panel	ACS-CP-A	F or later	2.04 or later
Assistant control panel (Asia)	ACS-CP-D	Q or later	2.04 or later

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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.

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

■ 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 <i>MOTOR TEMP MEAS</i> , group 52 <i>PANEL COMM</i> 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Contents of the assistant displays

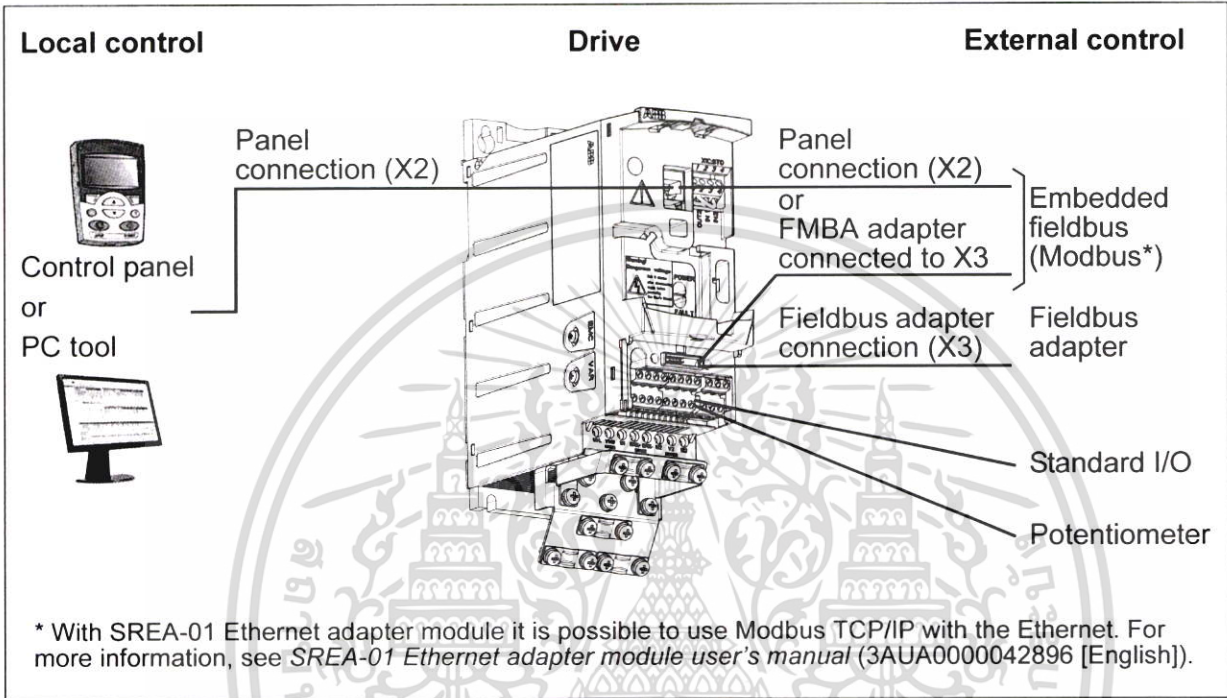
There are two types of displays in the Start-up assistant: Main displays and information displays. The main displays prompt the user to feed in information. The assistant steps through the main displays. The information displays contain help texts for the main displays. The figure below shows a typical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

	Main display	Information display
1	<pre> REM ↵ PAR EDIT 9905 MOTOR NOM VOLT 220 V </pre>	<pre> LOC ↵ HELP Set exactly as given on the motor nameplate If connected to multiple motors </pre>
2	<pre> CANCEL 00:00 SAVE </pre>	<pre> EXIT 00:00 </pre>
1	Parameter	Help text ...
2	Feed-in field	... help text continued

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

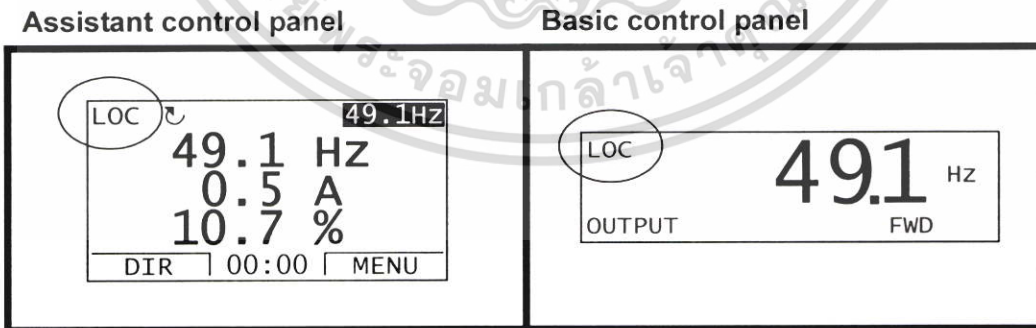
Local control vs. external control

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.



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.



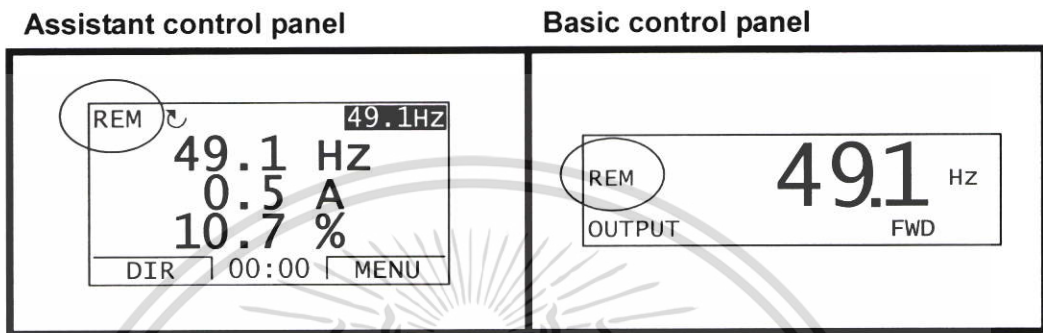
The control panel always overrides the external control signal sources when used in local control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.



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

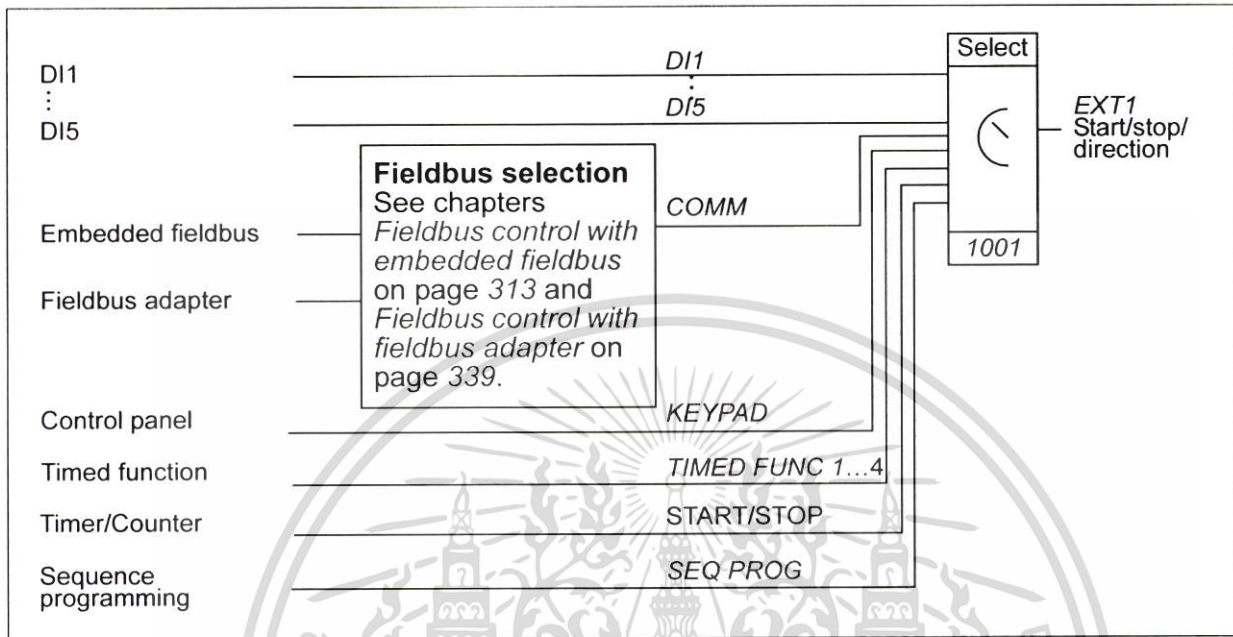
Panel key	Additional information
LOC/REM	Selection between local and external (remote) control
Parameter	
1102	Selection between <i>EXT1</i> and <i>EXT2</i>
1001/1002	Start, stop, direction source for <i>EXT1/EXT2</i>
1103/1106	Reference source for <i>EXT1/EXT2</i>

Diagnostics

Actual signal	Additional information
0111/0112	<i>EXT1/EXT2</i> reference

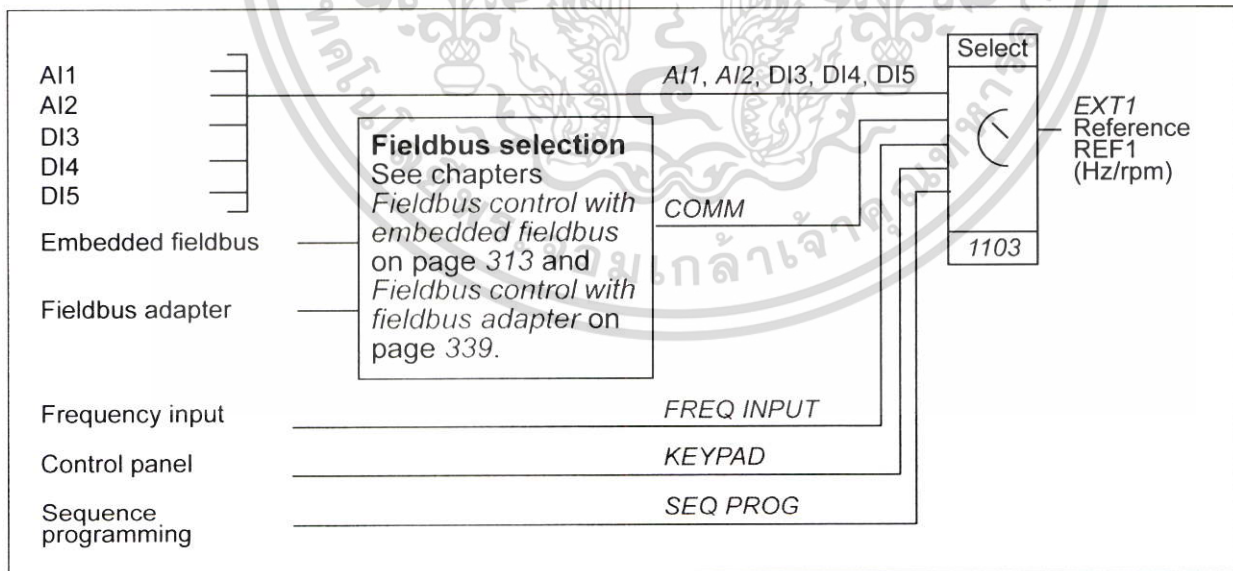
Block diagram: Start, stop, direction source for EXT1

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.



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

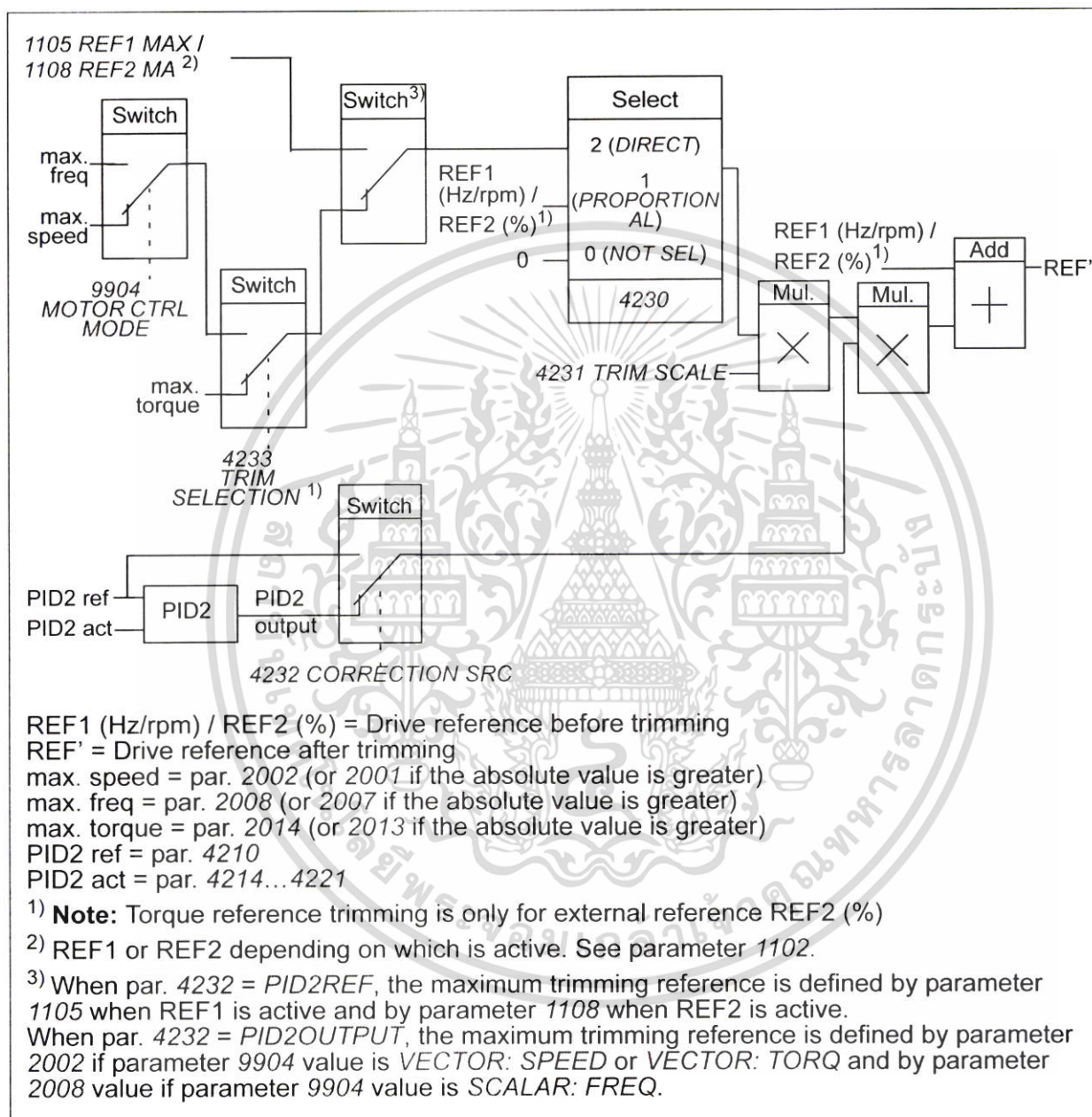
Diagnostics

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.



Settings

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

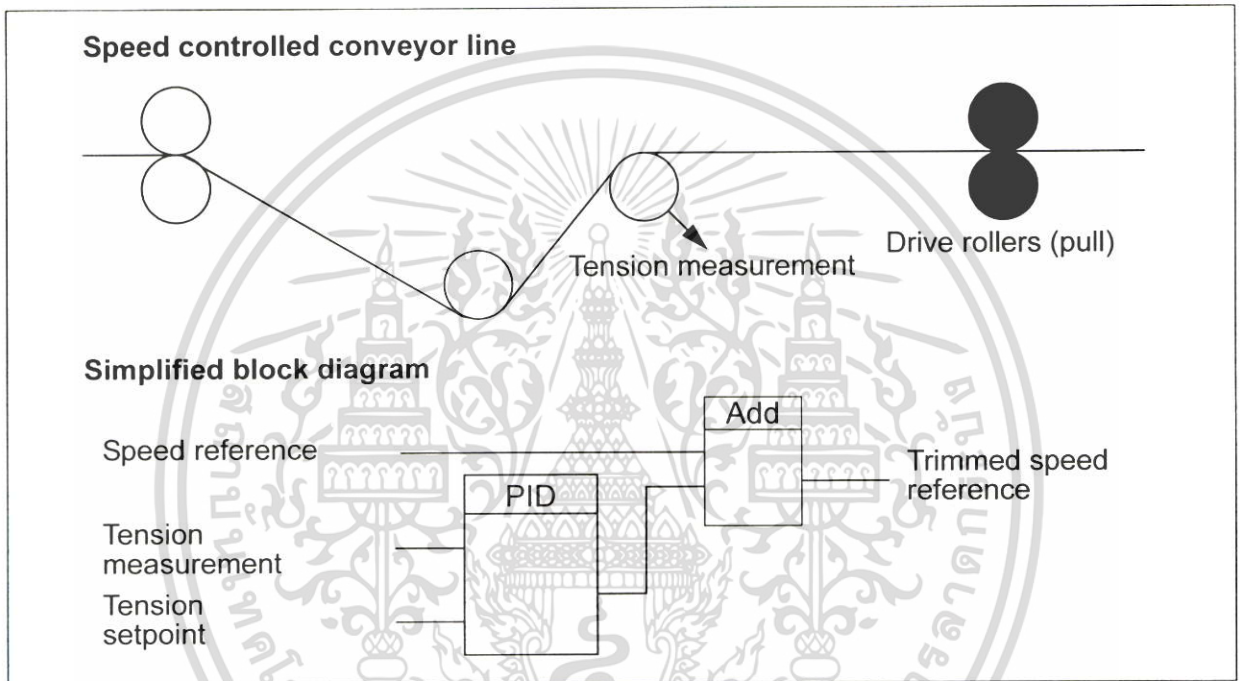
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 <i>ANALOG OUTPUTS</i>	AO value selection and processing
Group 35 <i>MOTOR TEMP MEAS</i>	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	
<i>PAR AO SCALE</i>	Incorrect AO signal scaling (1503 < 1502)

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 <i>START/STOP/DIR</i>	DI as start, stop, direction
Group 11 <i>REFERENCE SELECT</i>	DI in reference selection, or reference source
Group 12 <i>CONSTANT SPEEDS</i>	DI in constant speed selection
Group 16 <i>SYSTEM CONTROLS</i>	DI as external Run enable, fault reset or user macro change signal
Group 19 <i>TIMER & COUNTER</i>	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 <i>MOTOR TEMP MEAS</i>	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 <i>SEQUENCE PROG</i>	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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 <i>FREQ IN & TRAN OUT</i>	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 <i>SUPERVISION</i>	Actual signal supervision
Group 34 <i>PANEL DISPLAY</i>	Selection of an actual signals to be displayed on the control panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Diagnostics

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

Motor identification

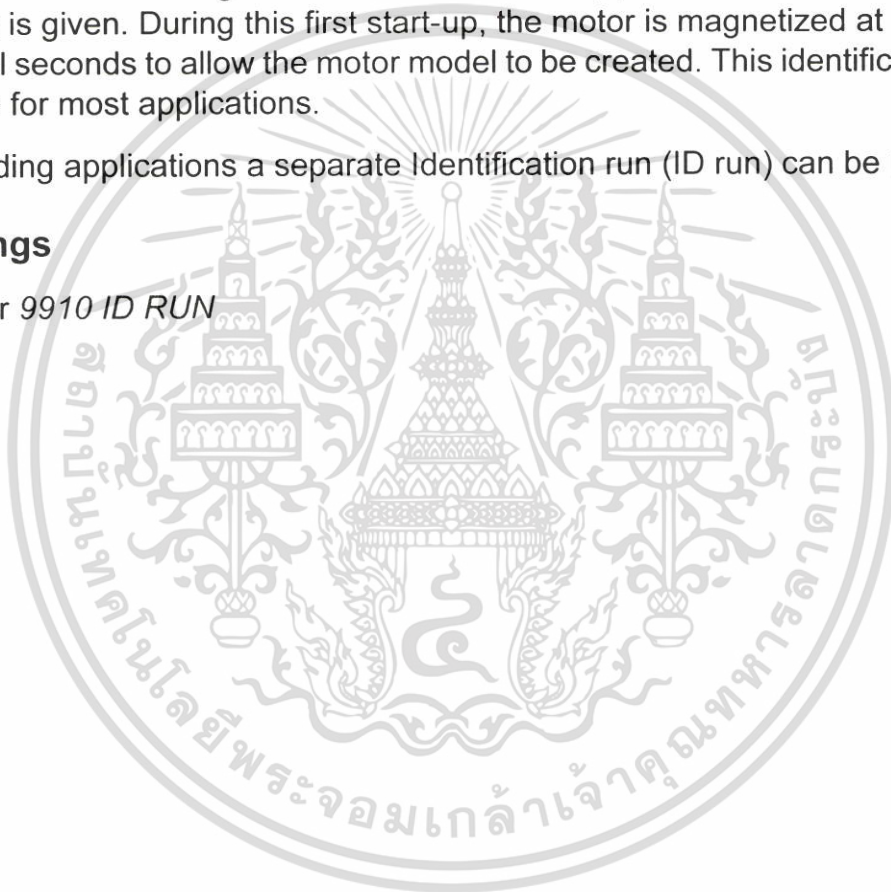
The performance of vector control is based on an accurate motor model determined during the motor start-up.

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.

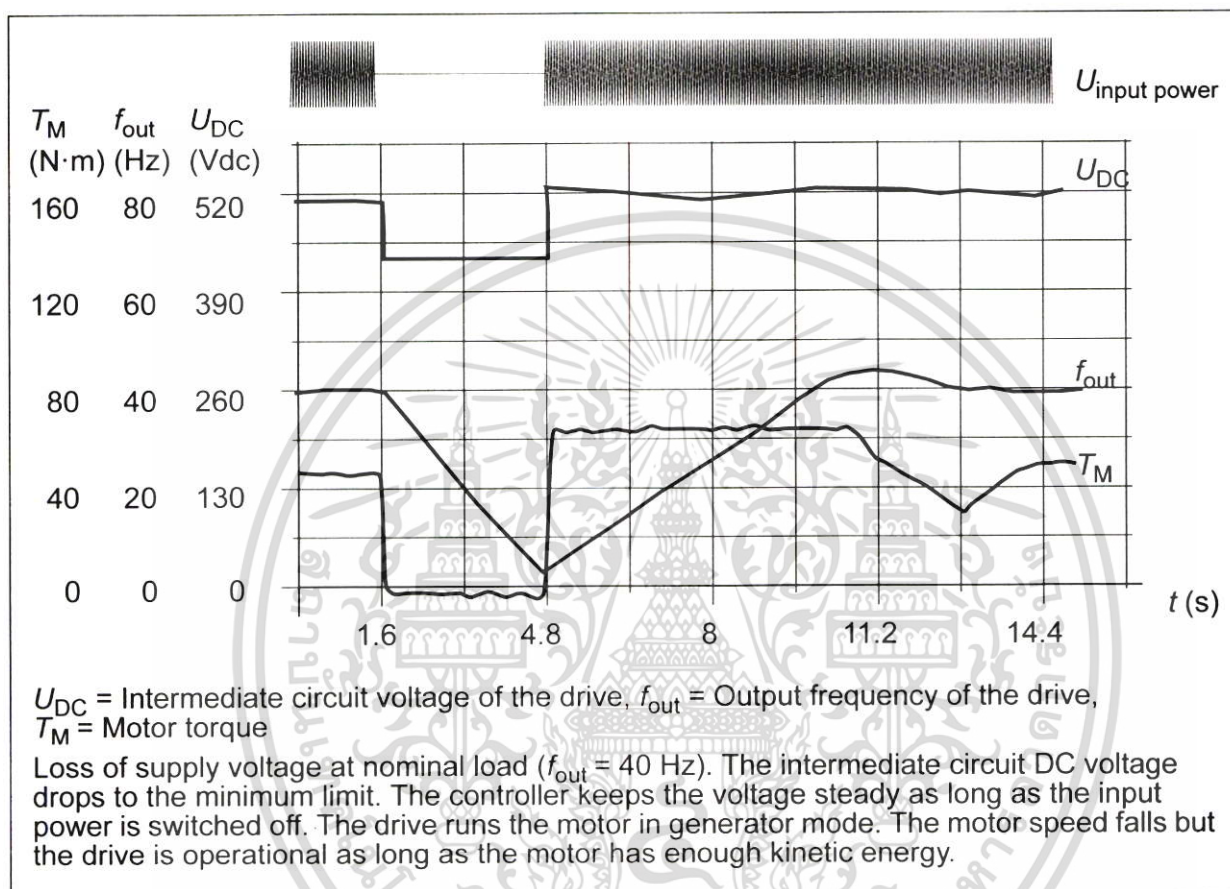
■ Settings

Parameter 9910 ID RUN



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.



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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maintenance trigger

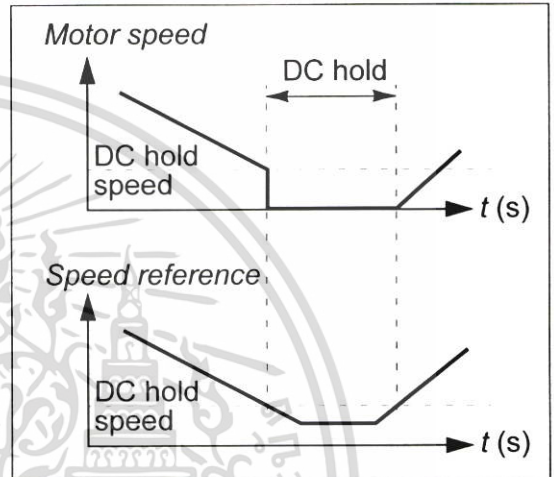
A maintenance trigger can be activated to show a notice on the panel display when, eg, drive power consumption has exceeded the defined trigger point.

■ 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.

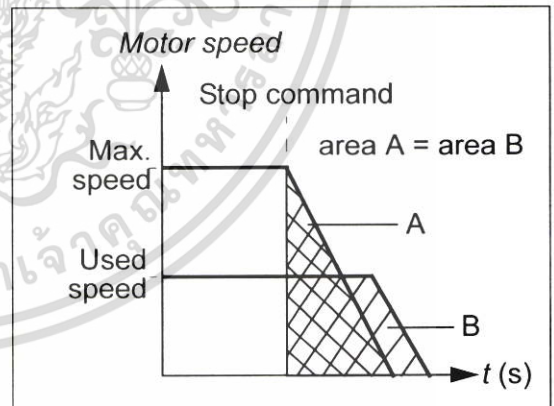


■ Settings

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.

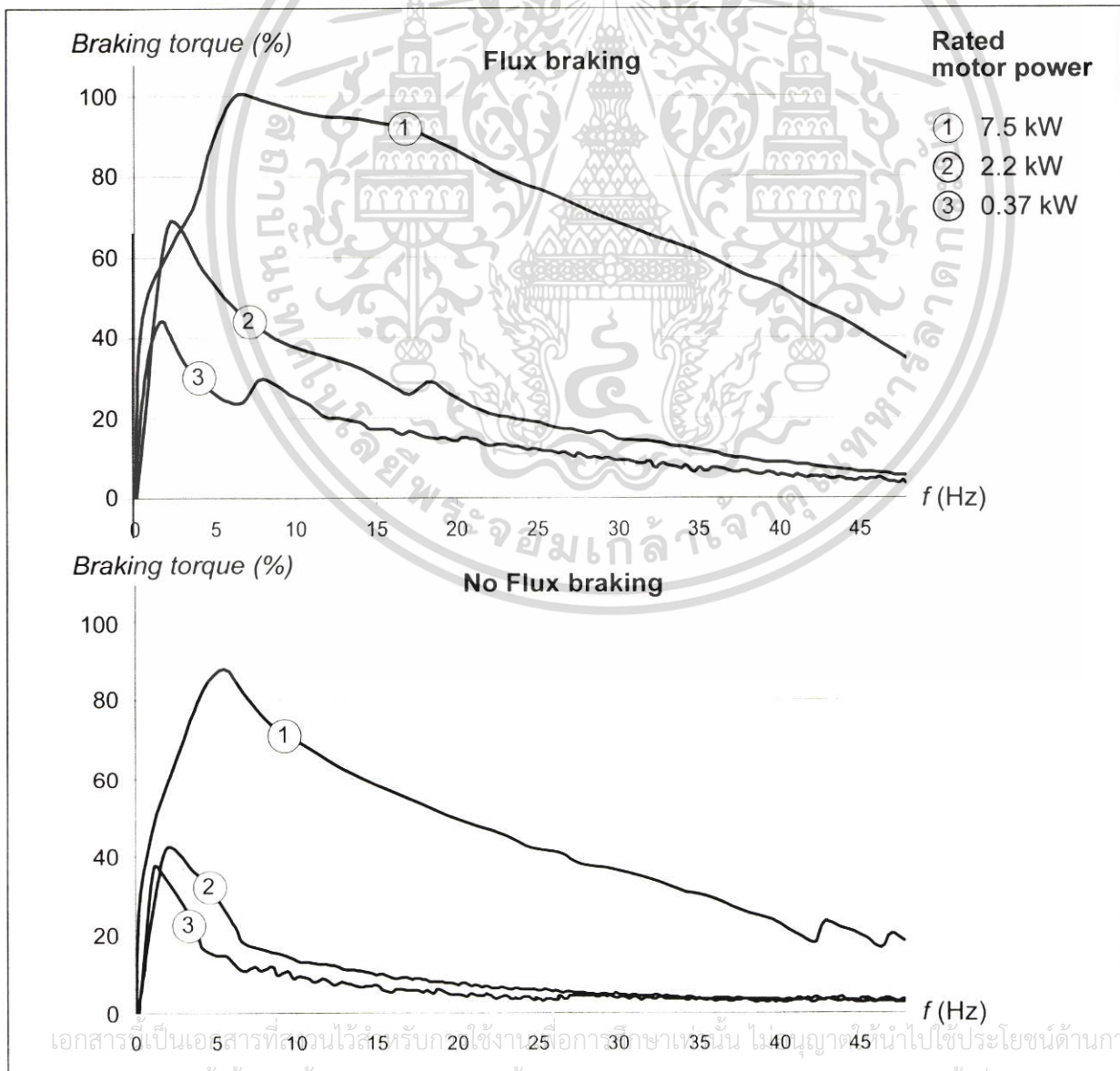
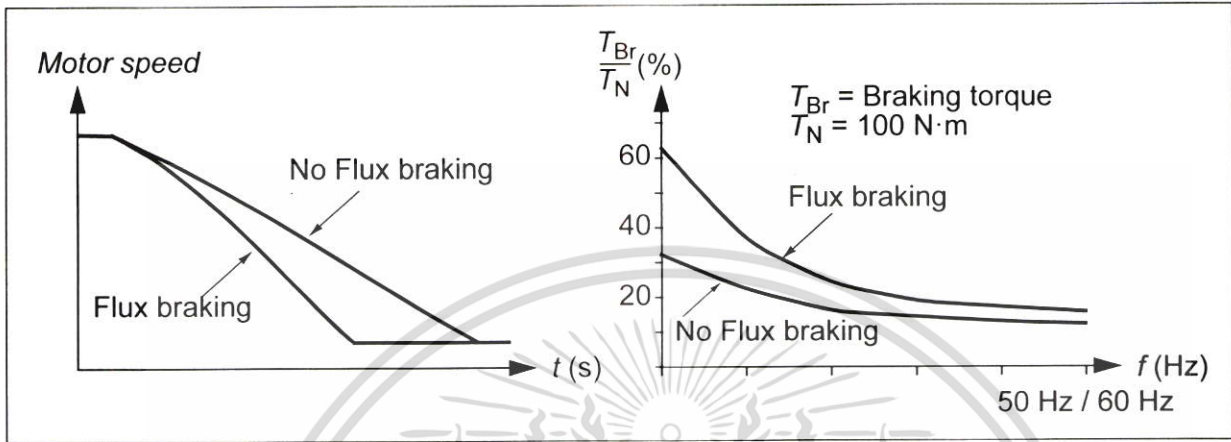
✱ Settings

Parameter 2102 STOP FUNCTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.



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

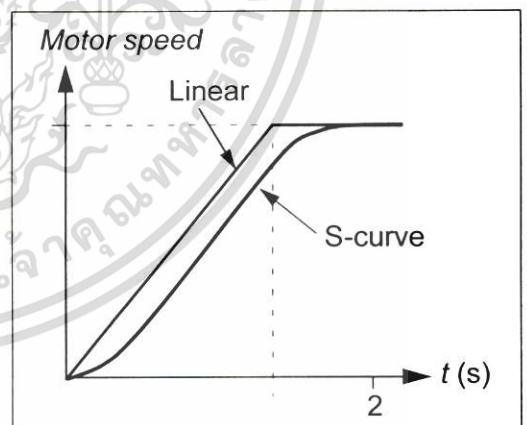
Parameter 2601 FLUX OPT ENABLE

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

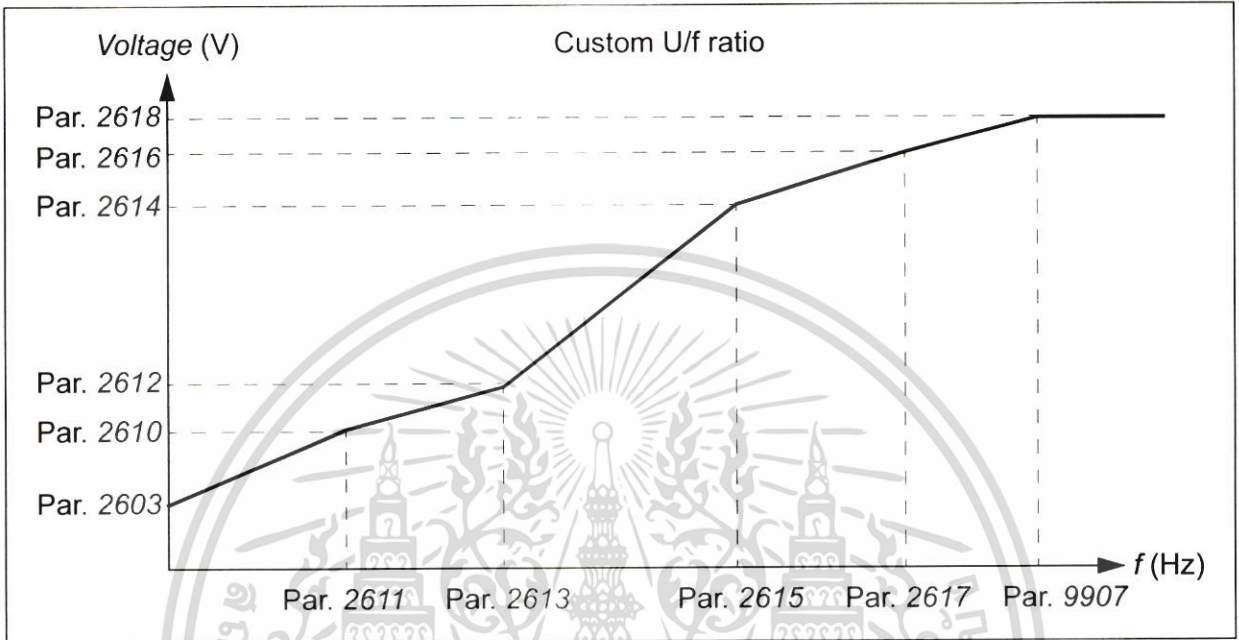
This function operates on a 2 ms time level.

■ Settings

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

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:

$$2610 < 2612 < 2614 < 2616 < 2618 \text{ and} \\ 2611 < 2613 < 2615 < 2617 < 9907$$



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

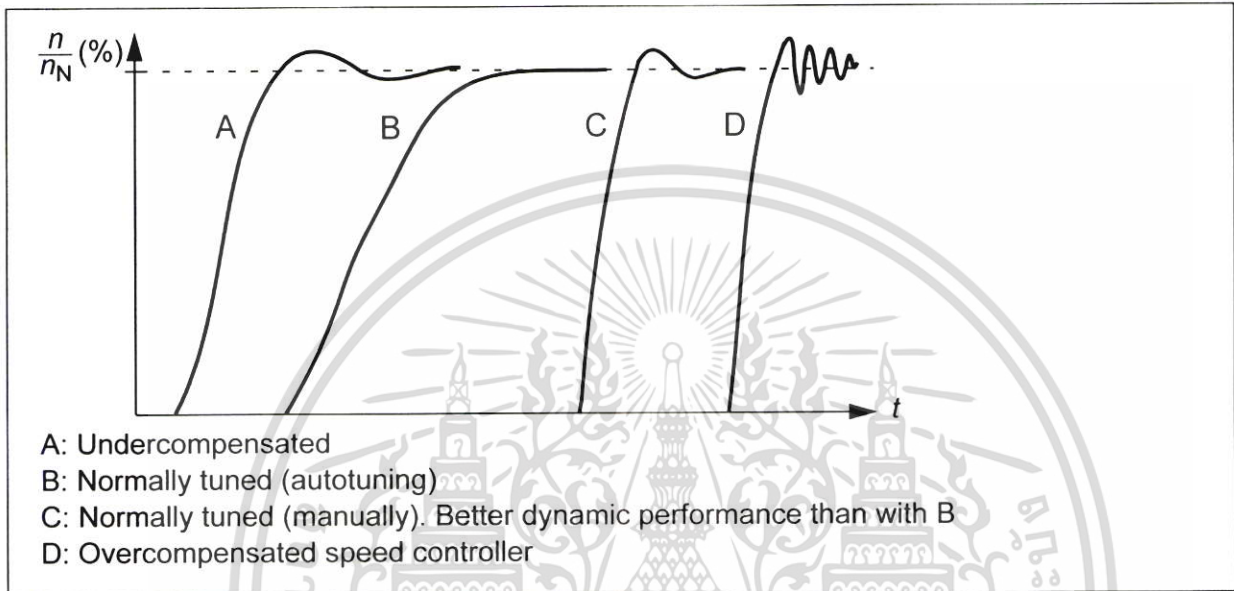
Diagnostics

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

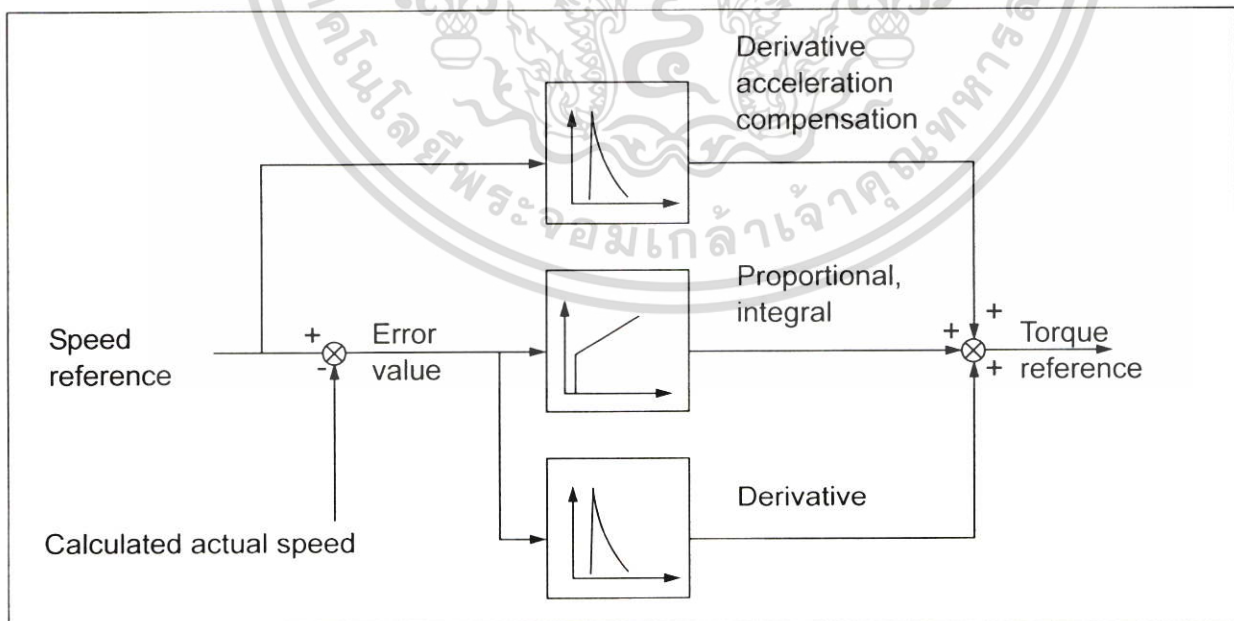
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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%).



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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ **Settings**

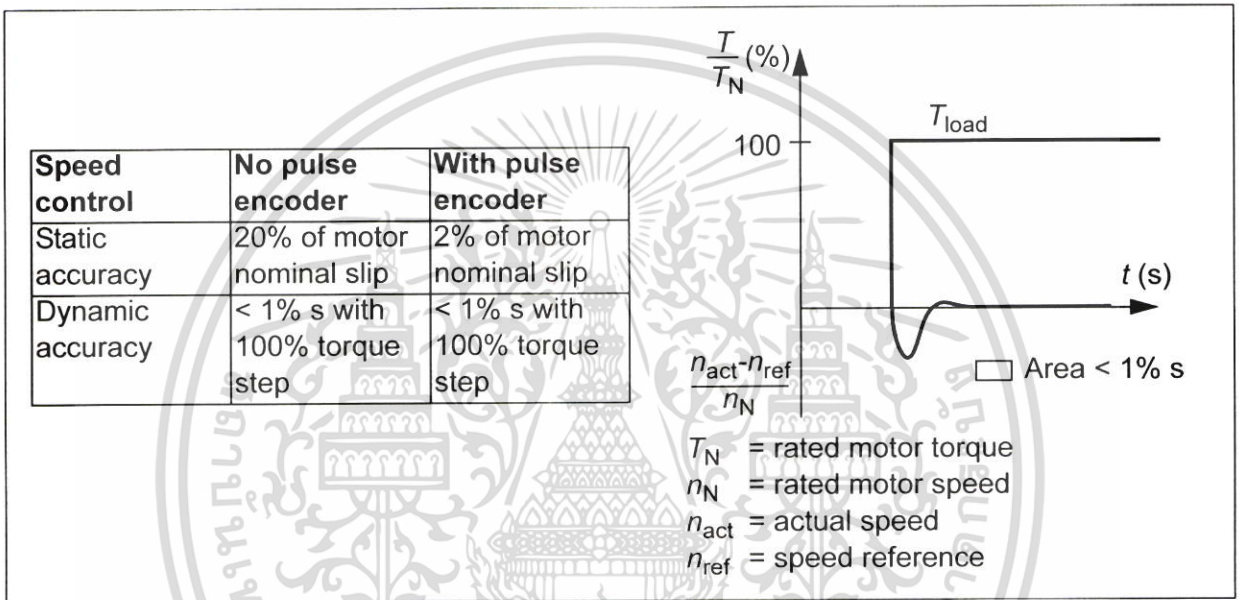
Parameter groups 23 *SPEED CONTROL* and 20 *LIMITS*

■ **Diagnostics**

Actual signal 0102 *SPEED*

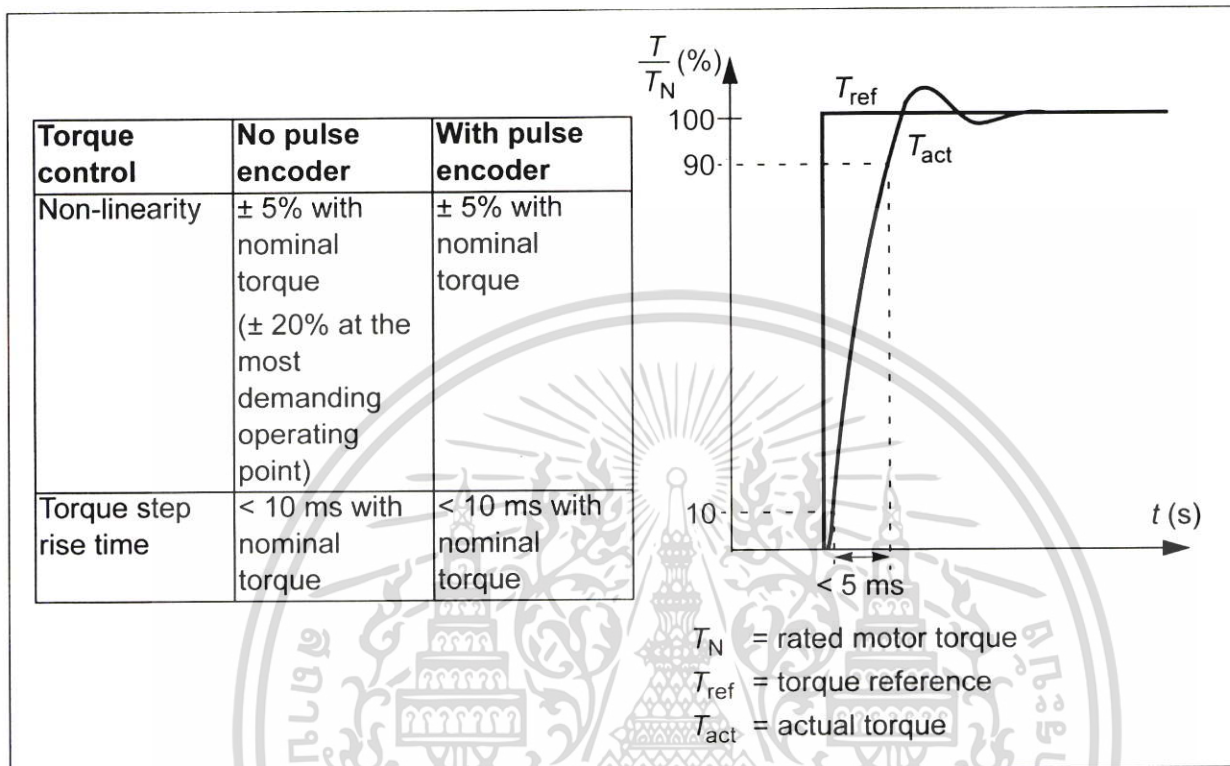
Speed control performance figures

The table below shows typical performance figures for speed control.



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.



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.

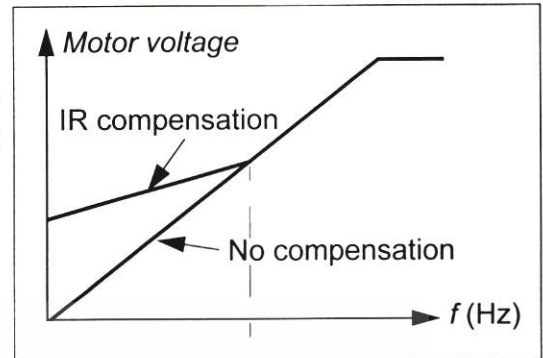
In the scalar control mode, some standard features are not available.

Settings

Parameter 9904 MOTOR CTRL MODE เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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). หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings

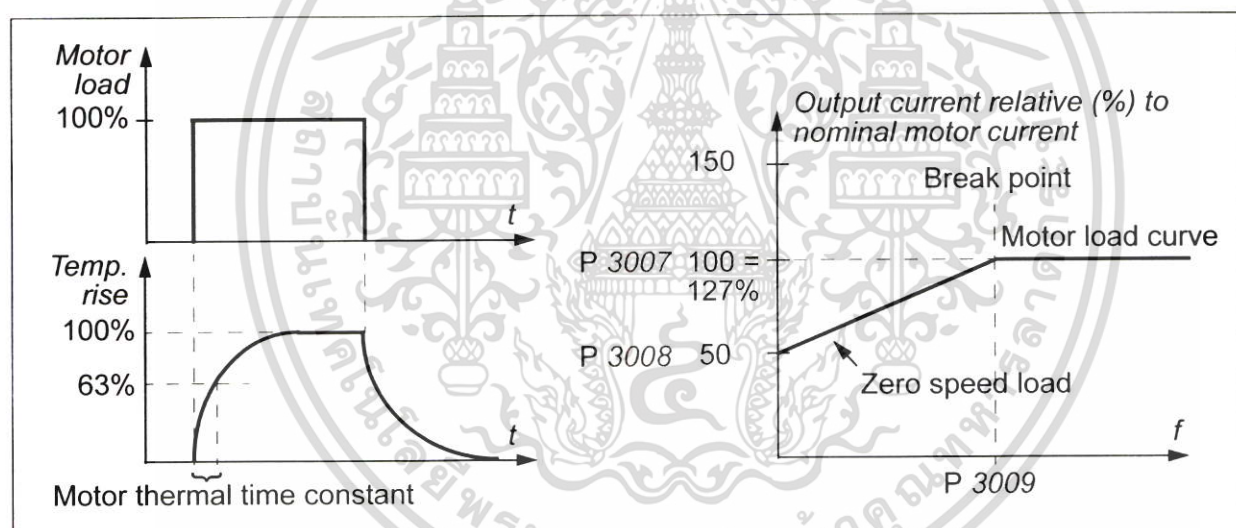
Parameters 3010 STALL FUNCTION, 3011 STALL FREQUENCY and 3012 STALL TIME

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).

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ 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

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.

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

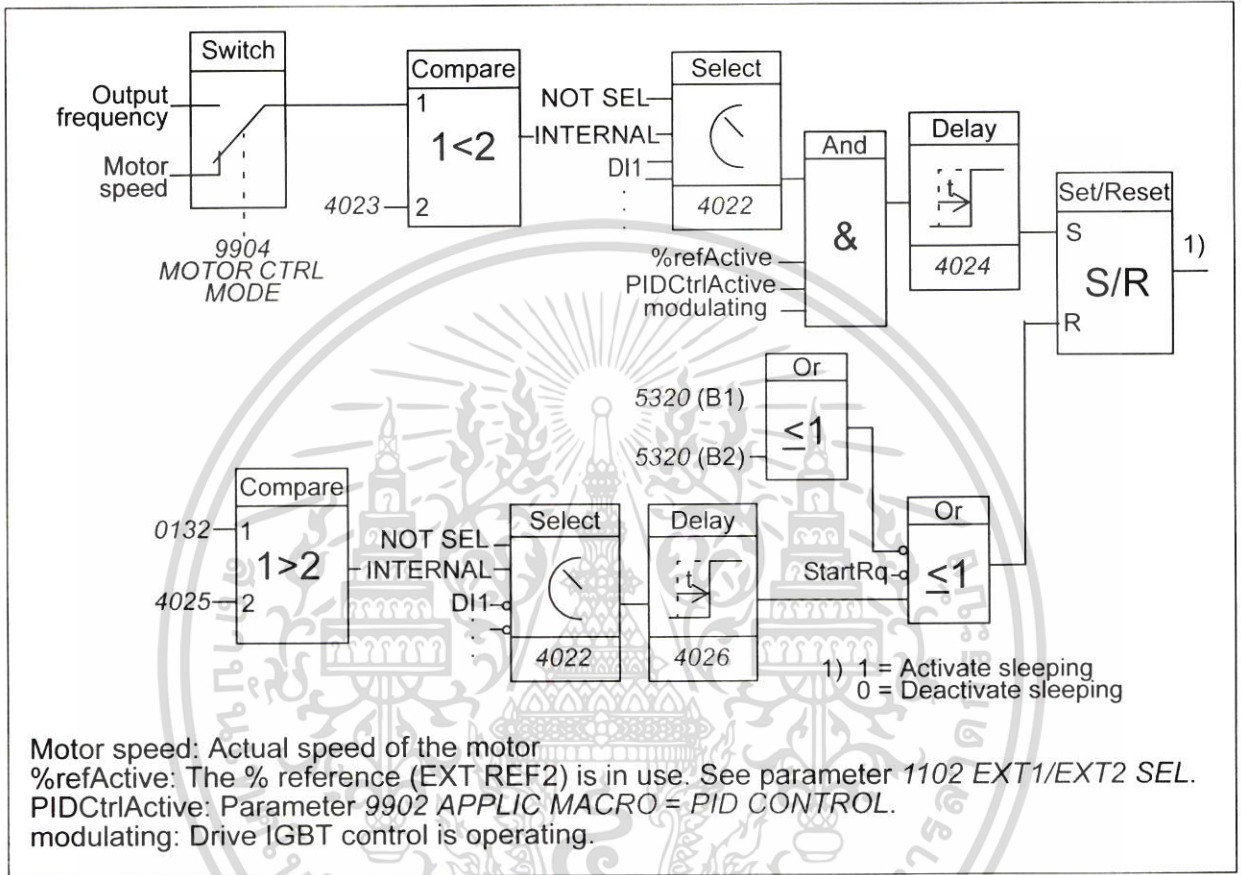
Actual signal	Additional information
0126/0127	PID 1/2 output value
0128/0129	PID 1/2 setpoint value
0130/0131	PID 1/2 feedback value
0132/0133	PID 1/2 deviation
0170	AO value defined by Sequence programming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sleep function for the process PID (PID1) control

The sleep function operates on a 2 ms time level.

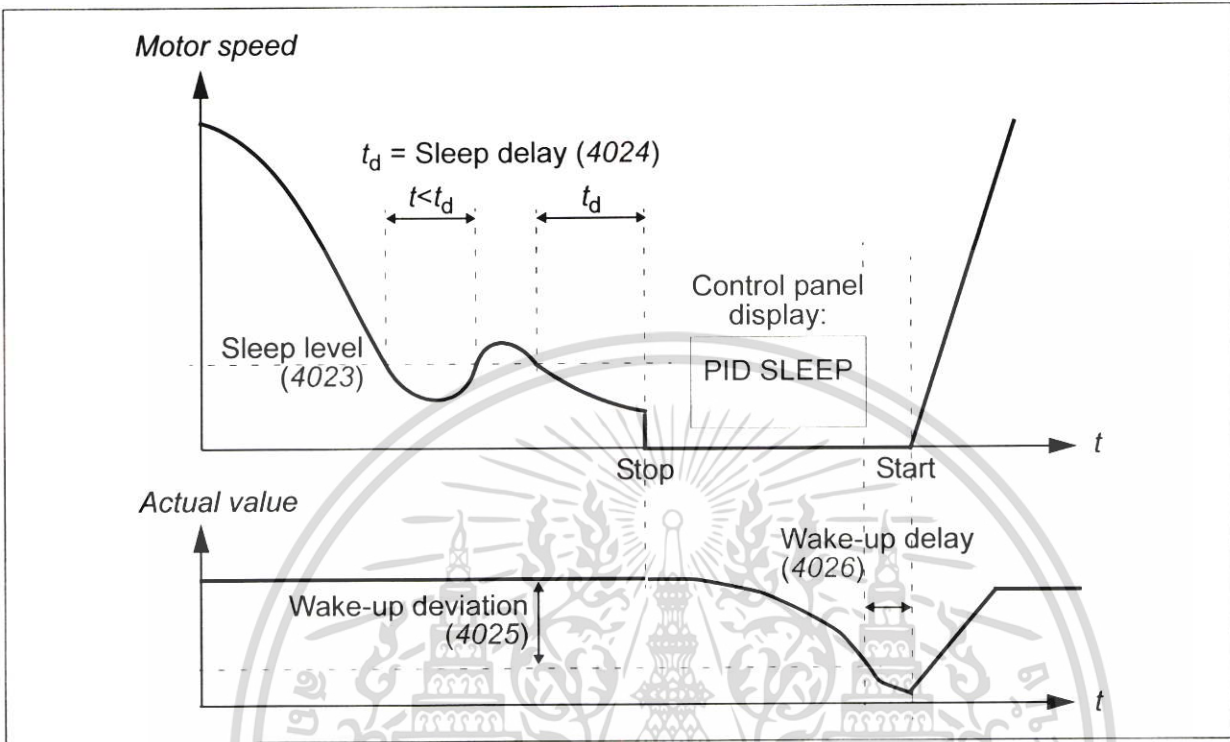
The block diagram below illustrates the sleep function enable/disable logic. The sleep function can be put into use only when the PID control is active.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

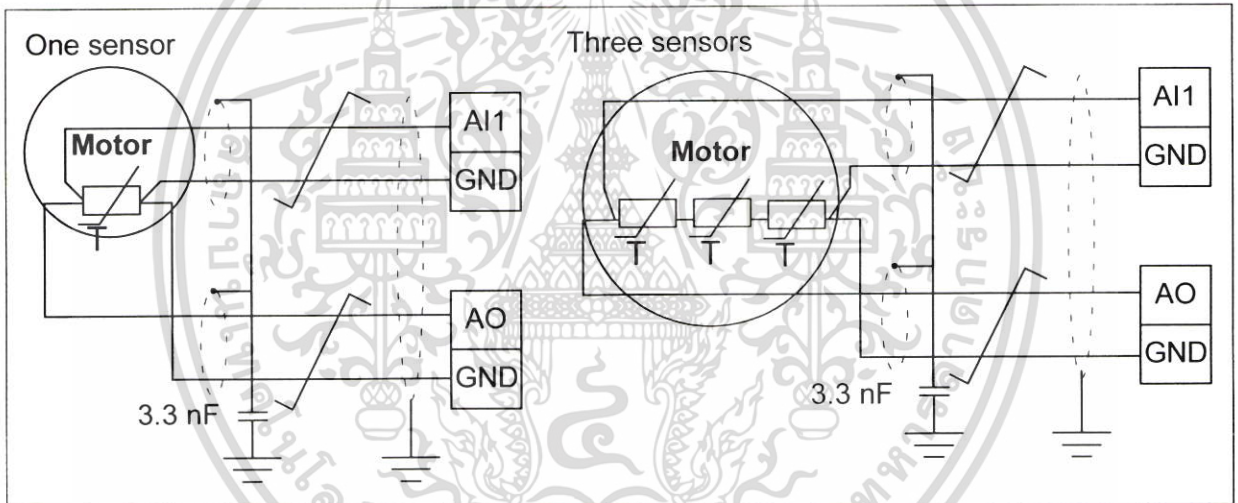
■ Diagnostics

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.

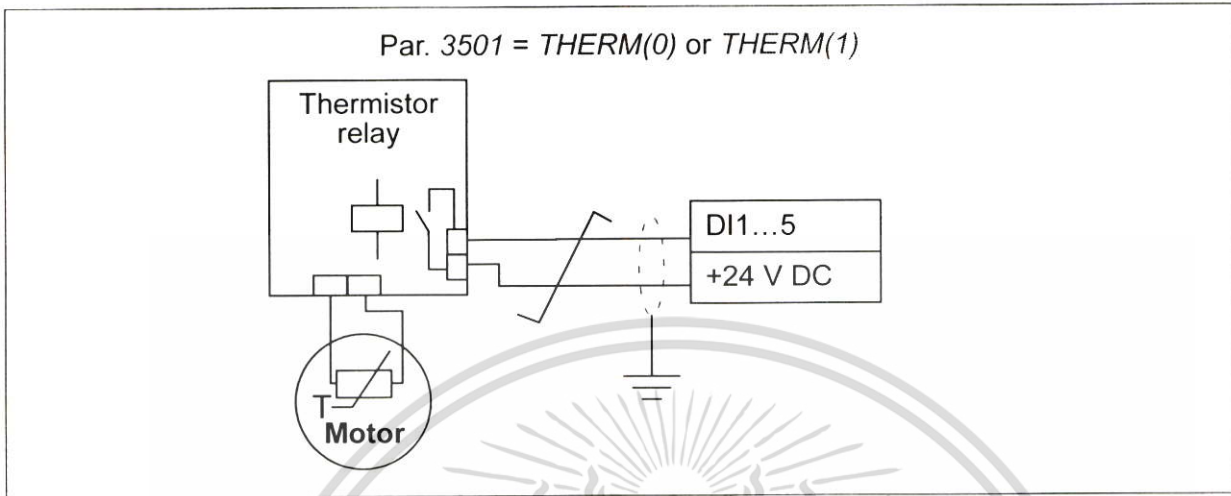
Motor temperature can be measured using Pt100 or PTC sensors connected to analog input and output.



⚡ 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.

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 <i>ANALOG INPUTS</i>	Analog input settings
Group 15 <i>ANALOG OUTPUTS</i>	Analog output settings
Group 35 <i>MOTOR TEMP MEAS</i>	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	
<i>MOTOR TEMP/MOT OVERTEMP</i>	Excessive motor temp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

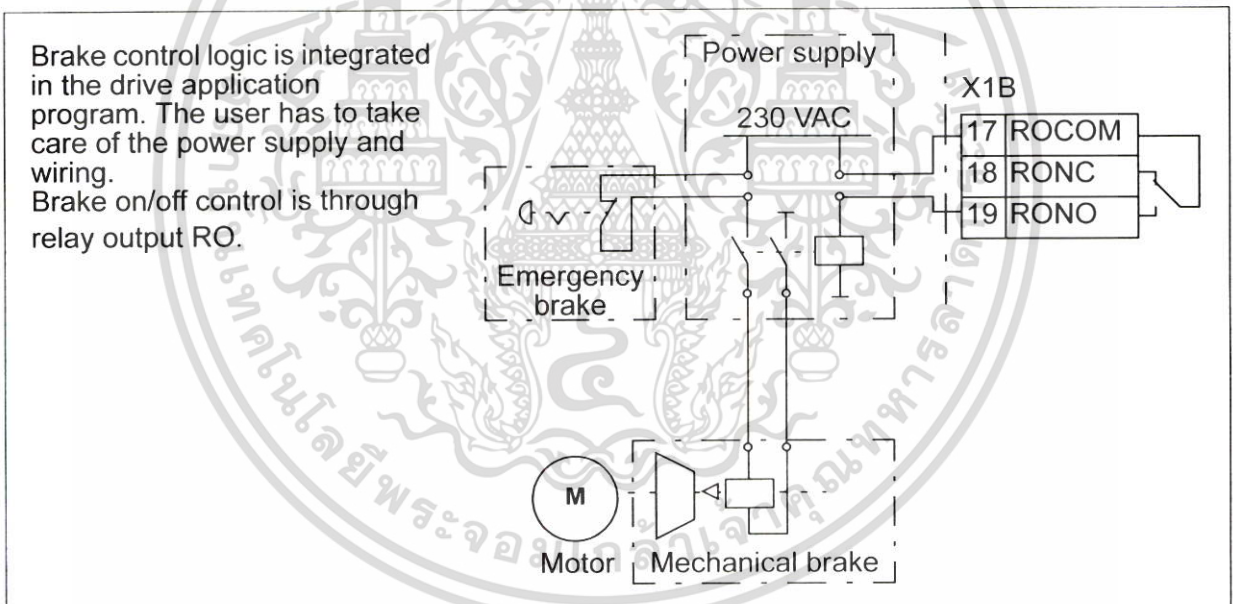
Control of a mechanical brake

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

Example

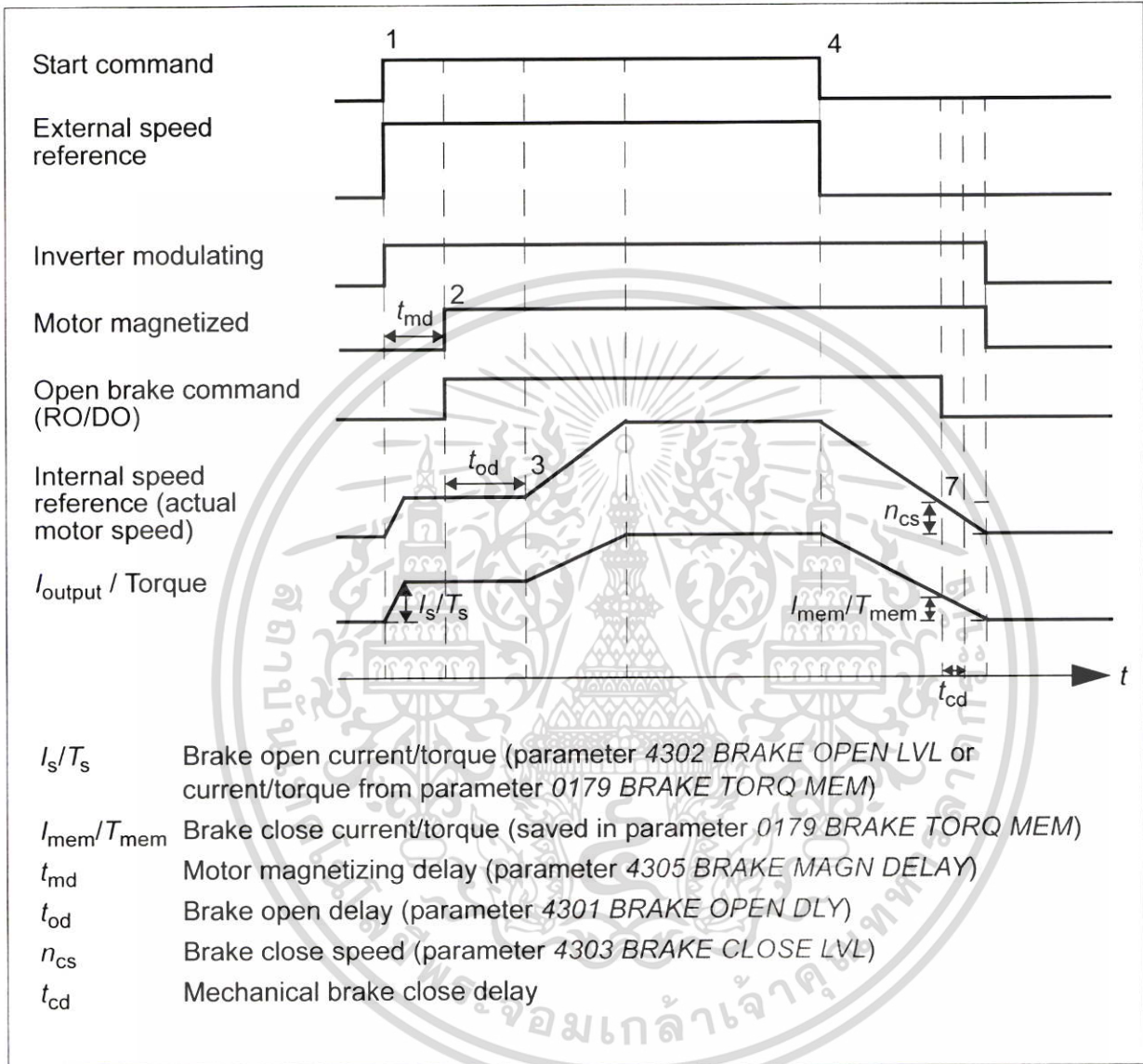
The figure below shows a brake control application example.

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.



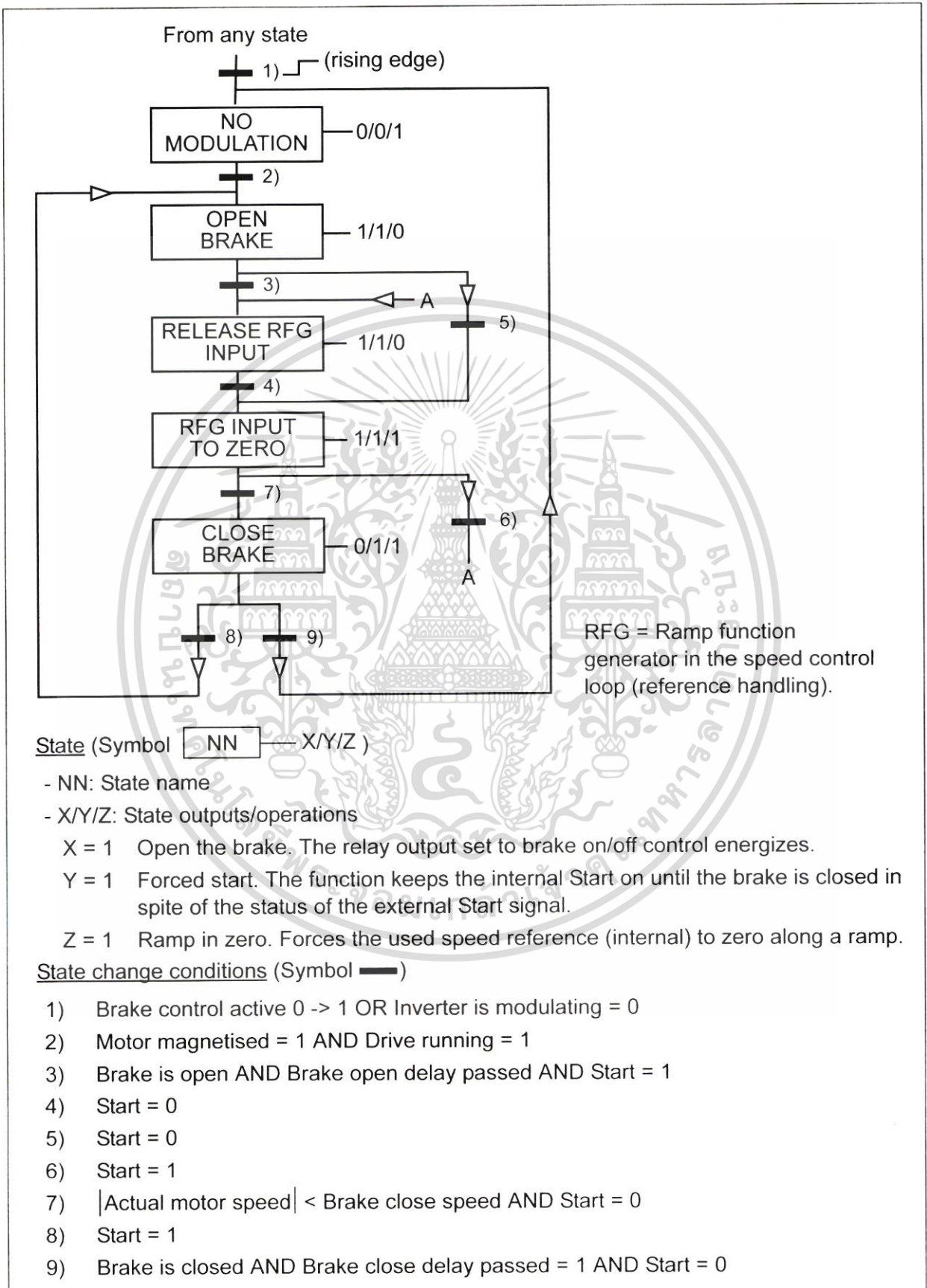
Operation time scheme

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

State shifts



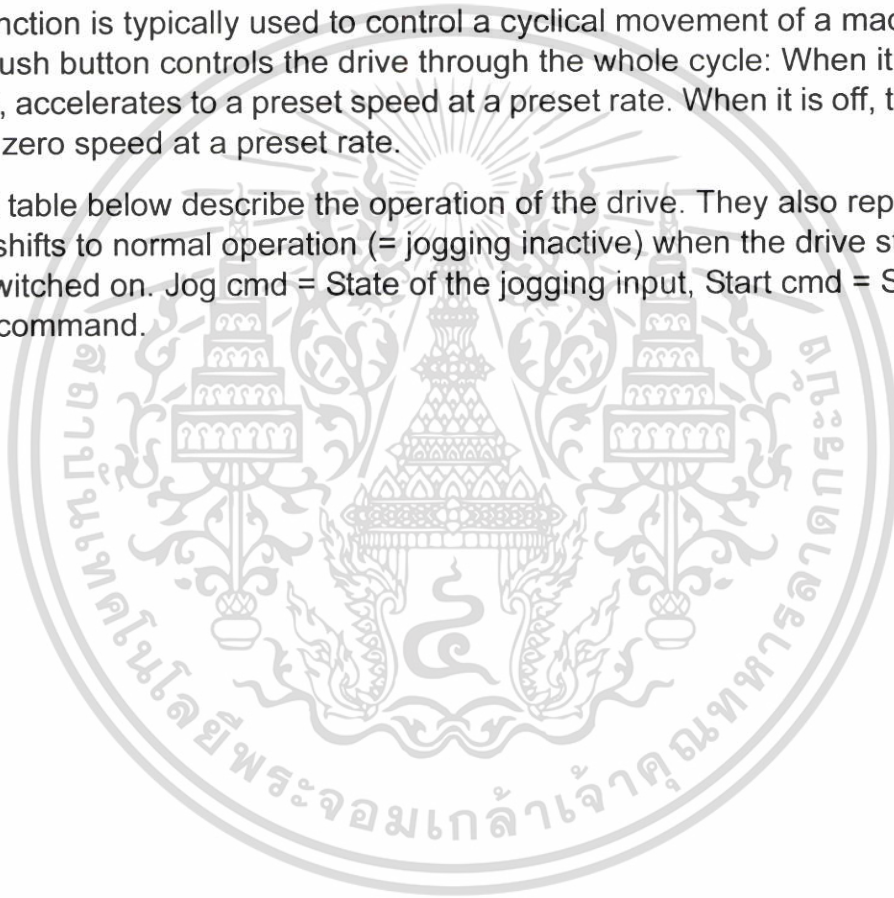
■ Settings

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

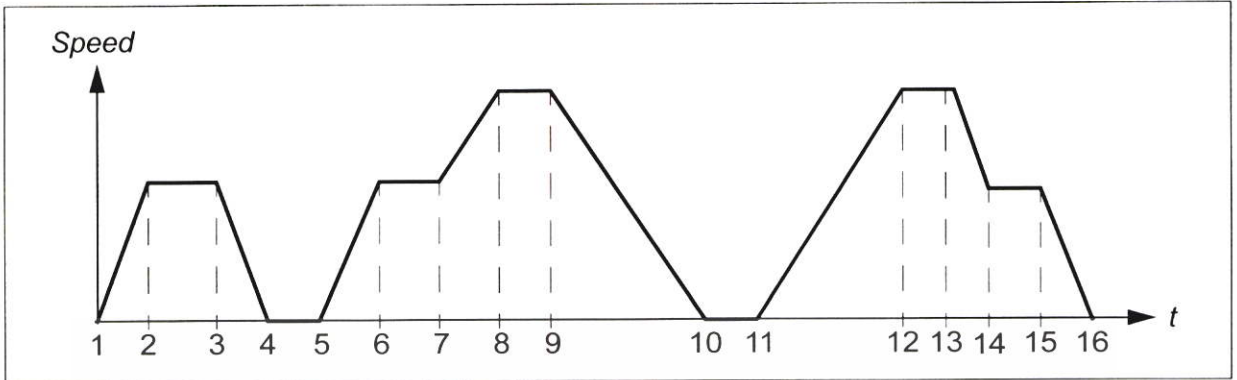
Jogging

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.



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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ACSM1

Hardware Manual

ACSM1-204 Regen Supply Modules (5.3 to 61 kW)



ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Supply module programming using PC tools

What this chapter contains

This chapter introduces the regen supply module programming using the DriveStudio and DriveSPC applications. For more information, see *DriveStudio User Manual* [3AFE68749026 (English)] and *DriveSPC User Manual* [3AFE68836590 (English)].

General

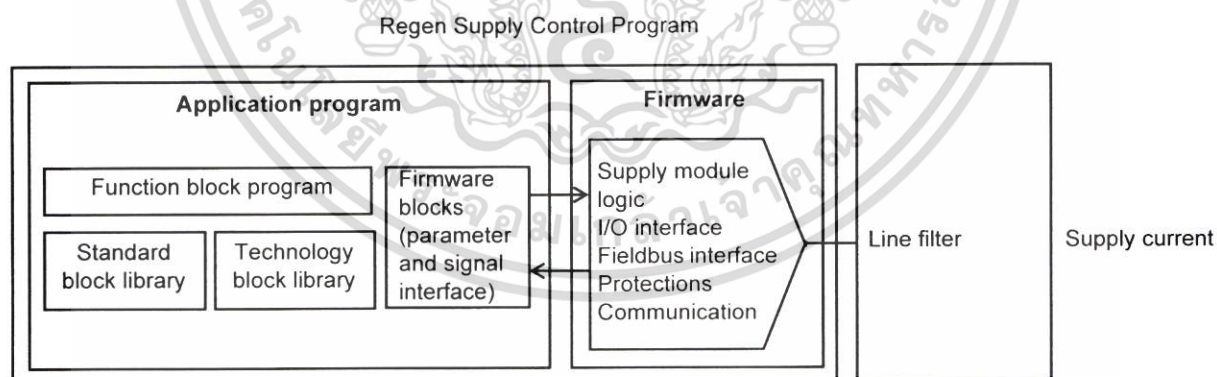
The Regen Supply Control Program is divided into two parts:

- firmware program
- application program.

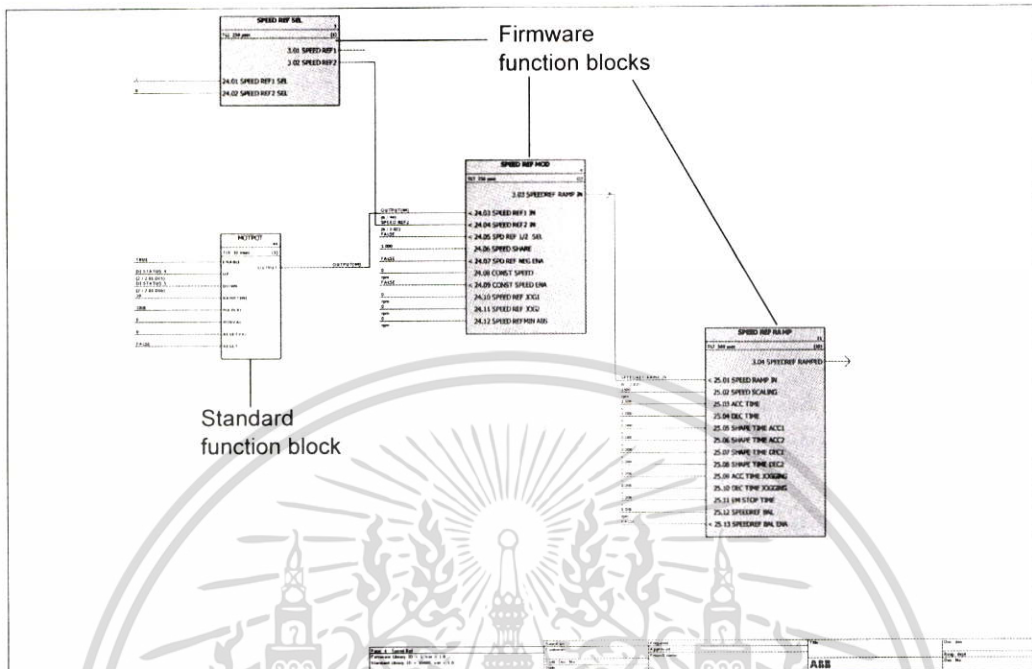
The firmware program performs the main control functions, including DC voltage and reactive power control, supply module logic (start/stop), I/O, communication and protection functions. Firmware functions are configured and programmed with parameters. The functions of the firmware program can be extended with application programming. Application programs are built out of function blocks.

The regen supply module supports two different programming methods:

- parameter programming
- application programming with function blocks (the blocks are based on the IEC-61131 standard).



The following picture presents a view from DriveSPC.



The application program template visible through DriveSPC is presented in chapter *Application program template* (page 123).

Programming via parameters

Parameters can be set via DriveStudio, supply module control panel (keypad) or the fieldbus interface. All parameter settings are stored automatically to the permanent memory of the regen supply module. (Exception: Parameters set via the fieldbus interface must be saved by par. 16.07 PARAM SAVE). Values are restored after the power switch-off. Default values can be restored by a parameter (16.04 PARAM RESTORE).

Because most parameters are used as firmware function block inputs, parameter values can also be modified via the DriveSPC tool.

Application programming

Application programs are created with the DriveSPC PC tool.

The normal delivery of the regen supply module does not include an application program. The user can create an application program with the standard and firmware function blocks. ABB also offers customised application programs and technology function blocks for specific applications. For more information, contact your local ABB representative.

Function blocks

The application program uses three types of function blocks: firmware function blocks, standard function blocks and technology function blocks.

Firmware function blocks

Most of the firmware functions are represented as function blocks in the DriveSPC tool. Firmware function blocks are part of the regen supply module control firmware, and used as an interface between the application and firmware programs.

Parameters in groups 10...99 are used as function block inputs and parameters in groups 1...9 as function block outputs. Firmware function blocks are presented in chapter *Parameters and firmware blocks*.

Standard function blocks (library)

Standard function blocks (e.g. ADD, AND) are used to create an executable application program. Blocks are based on the IEC-61131 standard. Standard function blocks are presented in *ACSM1 Speed and Torque Control Program Firmware Manual (3AFE68848261 [English])*.

Standard function block library is always included in the regen supply module delivery.

Technology function blocks

Several technology function block libraries are available for different types of applications. One technology library can be used at a time. Technology blocks are used in a similar way as the standard blocks.

Program execution

The application program is loaded to the permanent memory (non-volatile) of the memory unit (JMU). The execution of the downloaded program starts after the next reset of the supply module control board. The program is executed in real time on the same Central Processing Unit (CPU of the supply module control board) as the regen supply module firmware. The program is executed with two cyclical tasks. The time level for these tasks can be defined by the programmer (≥ 1 ms).

Note: Because the firmware and application programs use the same CPU, the programmer must ensure that the regen supply module CPU is not overloaded. See parameter 1.21 CPU USAGE.

Operation modes

The DriveSPC tool offers the following operation modes:

Off-line

When the off-line mode is used without a regen supply module connection, the user can

- open a application program file (if exists).
- modify and save the application program.
- print the program pages.

When the off-line mode is used with a regen supply module(s) connection, the user can

- connect the selected regen supply module to DriveSPC.
- upload a application program from the connected regen supply module (an empty template which includes only the firmware blocks is available as default.)
- download the configured application program to the regen supply module and start the program execution. The downloaded program contains the function block program and the parameter values set in DriveSPC.
- remove the program from the connected regen supply module.

On-line

In the on-line mode, the user can

- modify firmware parameters (changes are stored directly to the regen supply module memory).
- modify application program parameters (i.e. parameters created in DriveSPC).
- monitor the actual values of all function blocks in real time.

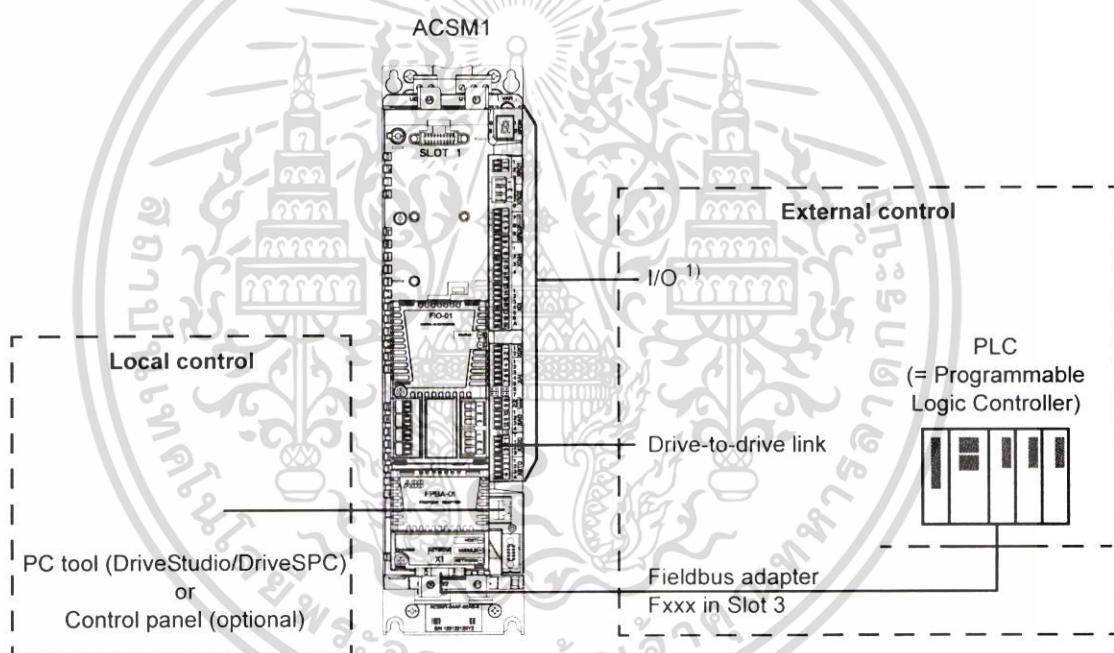
Supply module control and features

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.

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.

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.

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 network. 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%.

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.

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.



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.



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 0 0

Voltage:

J1/2 0 0

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
X7		
Control panel connection		

Default connections of the control unit ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameters and firmware blocks

What this chapter contains

This chapter lists and describes the parameters provided by the firmware.

Types of parameters

Parameters are user-adjustable operation instructions of the drive (groups 10...99). There are four basic types of parameters: Actual signals, value parameters, value pointer parameters and bit pointer parameters.

Actual signal

Type of parameter that is the result of a measurement or calculation by the drive. Actual signals can be monitored, but not adjusted, by the user. Actual signals are typically contained within parameter groups 1...9.

For additional actual signal data, e.g. update cycles and fieldbus equivalents, see chapter *Parameter data*.

Value parameter

A value parameter has a fixed set of choices or a setting range.

Example 1: You can select how the supply reacts when an earth fault or current unbalance is detected in the supply or the supply cable by selecting an option from the selection list of parameter 46.05.

Example 2: To define the constant value for DC voltage reference, set parameter 60.02 to an appropriate value.

Value pointer parameter

A value pointer parameter points to the value of another parameter. The source parameter is given in format **P.xx.yy**, where xx = Parameter group; yy = Parameter index. In addition, many value pointer parameters have a set of pre-selected choices.

Example: Converter current signal, 1.05 CURRENT PERC, is connected to analogue output AO1 by setting parameter 15.01 AO1 PTR to value P.01.05.

Bit pointer parameter

A bit pointer parameter points to the value of a bit in another parameter, or can be fixed to 0 (FALSE) or 1 (TRUE). In addition, many bit pointer parameters have a set of pre-selected choices.

When adjusting a bit pointer parameter on the optional control panel, CONST is selected in order to fix the value to 0 (displayed as "C.FALSE") or 1 ("C.TRUE"). POINTER is selected to define a source from another parameter.

A pointer value is given in format **P.xx.yy.zz**, where xx = Parameter group, yy = Parameter index, zz = Bit number.

Example: Parameter 10.08 FAULT RESET SEL is used to select the source parameter for the external fault reset signal.

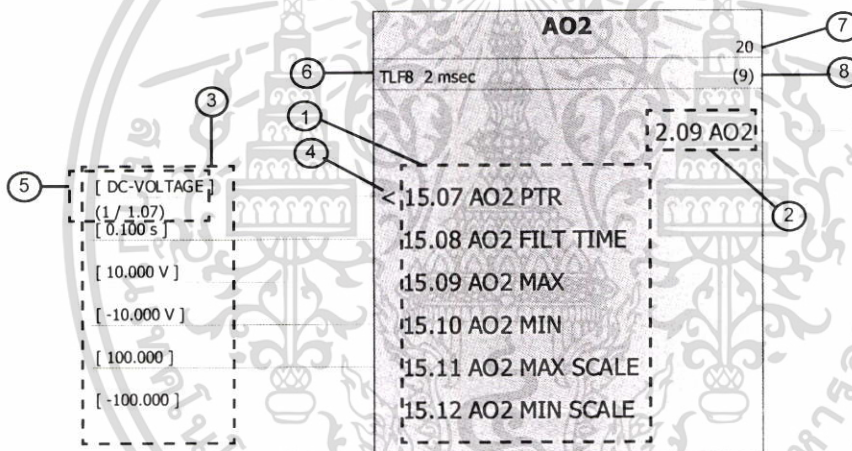
Note: Pointing to a nonexisting bit will be interpreted as 0 (FALSE).

For additional parameter data, e.g. update cycles and fieldbus equivalents, see chapter *Parameter data*.

Firmware blocks

Firmware blocks accessible from the DriveSPC PC tool are described in the parameter group most of the block inputs/outputs are included in. Whenever a block has inputs or outputs outside the current parameter group, a reference is given. Likewise, parameters have a reference to the firmware block they are included in (if any).

Note: Not all parameters are available through firmware blocks.



1	Inputs
2	Outputs
3	Input parameter values
4	Pointer parameter indicator "<"
5	Parameter 15.07 is set to value P.1.7, i.e. signal 1.07 DC-VOLTAGE. The "1" means the signal can be found on page 1 of DriveSPC.
6	ID of the time level (TLF8) and time level (2 ms). Time level, i.e. update cycle, is application-specific. See the time level of the block in DriveSPC.
7	Firmware block ID number in the application program
8	Firmware block execution order for the selected update cycle ID

Parameters and firmware blocks ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Group 01 ACTUAL VALUES

This group contains basic actual signals for monitoring the drive.

01 ACTUAL VALUES																														
Firmware block: ACTUAL VALUES (1)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ACTUAL VALUES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>TLF11 2 msec</td> <td>(1)</td> </tr> <tr> <td>1.03 FREQUENCY</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.04 CURRENT</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.05 CURRENT PERC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.07 DC-VOLTAGE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.15 TEMP INVERTER</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.16 TEMP BC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.20 BRAKE RES LOAD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.22 INVERTER POWER</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.26 ON TIME COUNTER</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.27 RUN TIME COUNTER</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.28 FAN ON-TIME</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ACTUAL VALUES			8	TLF11 2 msec	(1)	1.03 FREQUENCY		1.04 CURRENT		1.05 CURRENT PERC		1.07 DC-VOLTAGE		1.15 TEMP INVERTER		1.16 TEMP BC		1.20 BRAKE RES LOAD		1.22 INVERTER POWER		1.26 ON TIME COUNTER		1.27 RUN TIME COUNTER		1.28 FAN ON-TIME	
ACTUAL VALUES																														
	8																													
TLF11 2 msec	(1)																													
1.03 FREQUENCY																														
1.04 CURRENT																														
1.05 CURRENT PERC																														
1.07 DC-VOLTAGE																														
1.15 TEMP INVERTER																														
1.16 TEMP BC																														
1.20 BRAKE RES LOAD																														
1.22 INVERTER POWER																														
1.26 ON TIME COUNTER																														
1.27 RUN TIME COUNTER																														
1.28 FAN ON-TIME																														
1.03	FREQUENCY	FW block: ACTUAL VALUES (see above)																												
	Estimated line frequency in Hz.																													
1.04	CURRENT	FW block: ACTUAL VALUES (see above)																												
	Measured converter current in A. Note: Converter current is the AC current between the line filter and the converter.																													
1.05	CURRENT PERC	FW block: ACTUAL VALUES (see above)																												
	Converter current in percent of the nominal converter current.																													
1.07	DC-VOLTAGE	FW block: ACTUAL VALUES (see above)																												
	Measured DC link voltage in V (no filtering).																													
1.15	TEMP INVERTER	FW block: ACTUAL VALUES (see above)																												
	Measured temperature of the heatsink in % of the maximum temperature.																													
1.16	TEMP BC	FW block: ACTUAL VALUES (see above)																												
	Brake chopper IGBT temperature in % of the maximum temperature.																													
1.17	EXT TEMP	FW block: EXT TEMP PROT (page 68)																												
	Measured external temperature in Celsius (when par. 45.02 is set to KTY JCU).																													
1.19	USED SUPPLY VOLT	FW block: VOLTAGE CTRL (page 72)																												
	Either the supply voltage defined by parameter 47.04 SUPPLY VOLTAGE, or the automatically determined supply voltage if auto-identification is enabled by parameter 47.03 SUPPLVOLT-AUTO-ID.																													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ *Parameters and firmware blocks* ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.20	BRAKE RES LOAD	FW block: ACTUAL VALUES (see above)
	Estimated temperature of the braking resistor. The value is given in percent of the temperature the resistor reaches when loaded with the power defined by parameter 48.04 BR POWER MAX CNT.	
1.21	CPU USAGE	FW block: None
	Microprocessor load in percent.	
1.22	INVERTER POWER	FW block: ACTUAL VALUES (see above)
	Calculated line-side converter power in kilowatts. Positive value: Power flow from the supply network to the intermediate circuit. Negative value: Power flow from the intermediate circuit to the supply network.	
1.26	ON TIME COUNTER	FW block: ACTUAL VALUES (see above)
	This counter runs when the regen supply module is powered. The counter can be reset using the DriveStudio tool. On-time is measured in hours.	
1.27	RUN TIME COUNTER	FW block: ACTUAL VALUES (see above)
	Run time counter. The counter runs when the regen supply module modulates. The counter can be reset using the DriveStudio tool. Run-time is measured in hours.	
1.28	FAN ON-TIME	FW block: None
	On-time counter of the power unit's cooling fan. Fan on-time is measured in hours.	

Parameters and firmware blocks ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-CON 2017

2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics,
Computer, Telecommunications and Information Technology

Abstract Book



ไม่มีการรับใดๆ ทั้งสิ้น อีกที่หาจะมีที่... และต้อง... ..



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

Aeknarin Aroon, Chaitouch Maneeinn and Surin Khomfoi

Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, 10520

manulisuru@gmail.com, Chaitouch.maneeinn@hotmail.com, kkhsurin@kmitl.ac.th

Abstract—This proposed paper introduces the application of the inverter air conditioner by using the back to back converter to provide the reactive power during the steady state operation. This technique is used for improving the power factor of the smart home system or to provide the reactive power in the appropriate situation in both of constant reactive power supply and the maximum reactive power supply mode. A 3-phase 38,600 BTU is used for the experimental setup and supported the reactive power back to the utility grid system. The back to back converter is used to with an air conditioner. The propose back to back converter can be controlled using vector control technique for providing desired active and reactive power. The results show that remained power rating during steady state can be use to compensate the reactive power as a function of smart home which can be used to apply with home energy management system (HEMS).

Keywords- inverter air-condition; reactivepower; smart home;

I. INTRODUCTION

Nowadays, the increase in power consumption has enabled the smart grids to be widely used in modern day such as the HEMS or BEMS, which will lead us to determine the energy consumption of each part and access to energy management [1] and it also supports the renewable energy. Moreover, the energy system management can be applied for the better system performances or improved the smart-grid overall system efficiency by managing the demand of the home appliance devices energy in the system.

Apparently, this can be seen in that part of the household air conditioner (AC) that will increase due to the expansion of the household and the energy conservation has been emerged in public attention. Therefore, the AC inverter has started to play important role and more popular due to the advantages over AC in the conventional version. The ability to speed to the desired temperature quickly and consume less power is also the advantages of the proposed technique. Including, approaching the steady state conditions by performing only a few percent from peak performance to maintain at the desired temperature.

In the paper, the importance can be recognized and needed to develop the systems and applications of air conditioner inverter, by using the principle of back to back converter topology. Therefore, the reactive power can be provided by

the air conditioner inverter in the steady state condition for improving the system efficiency, or the inverter can even support all reactive power back to the smart-grid system by using controlling state through the PLC system.

II. THE STRUCTURE OF THE PROPOSED METHOD

A. Principle design for reactive power delivering by using back to back converter

Fig. 1. shows the back to back converter with the control topology. The inverters are connected with DC link bus for bidirectional power transferring.

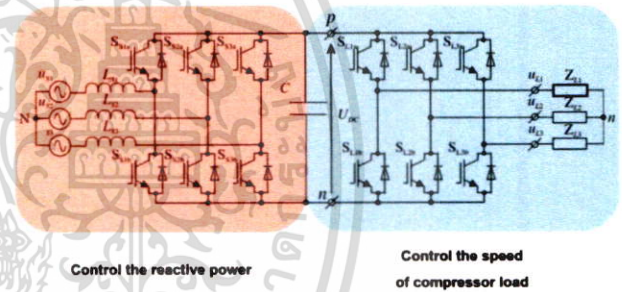


Fig. 1. The structure of the back to back converter

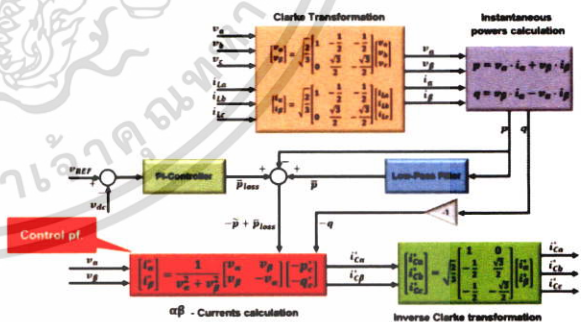


Fig. 2. Shunt current compensation structure

The proposed paper is applying the AC inverter for controlling the reactive power as show in Fig. 2. The feedback power is an exceeded power from AC inverter that is sending back the reactive power to the utility power system by using the shunt current compensation technique. The non-linear load supplying control is functioning as a controller. The Clarke transformation is used for controlling method.

Fig. 3. shows that the reactive power can compensate voltage drop due to the increased current demanded by loads. So, the terminal voltage at load will be reduced. For this results, we can inject reactive power to the source so that the terminal voltage will be increase same as an addition capacitor. The idea of the research will use the remained power from steady state inverter air condition to perform the reactive power compensation to the source instead of using a capacitor which offers the smoother and load following characteristic comparing to a conventional capacitor technique.

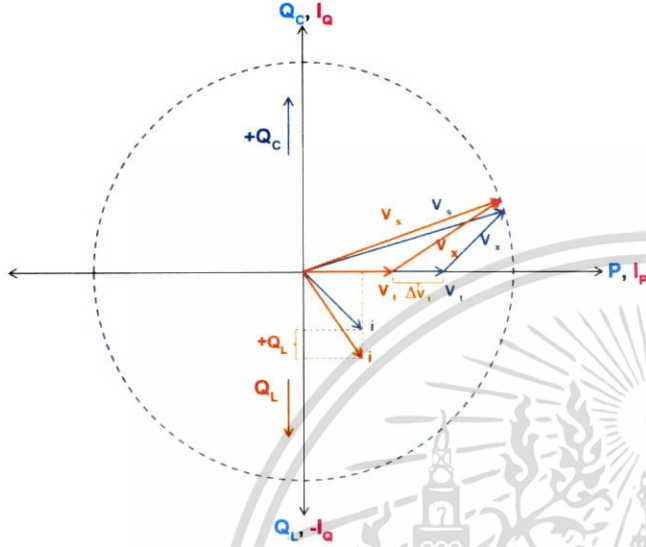


Fig.3. P-Q diagram of compensation

III. DESIGN AND EXPERIMENTATION

The experiment set-up of the present is divided into three parts: conventional air condition, back to back converter, program logic controller(PLC). Conventional air condition (38,600 BTU) is used to be a load which is controlled by back to back converter. The propose reactive power control technique will be programmed into the PLC which is utilized as an interface between energy management system and the back to back converter as shown in Fig. 4..

The concept of reactive power control used in this research is illustrate in Fig. 5. As know, the inverter air condition will operate at about 30% of rated power during steady state. This means that we can use the rest of 70% rated power to perform reactive power compensated function.

A. Air conditioner components

In this study, the 3-phase Daikin air conditioner is used for the implementation as shown in Fig. 4.. The specifications of the AC are illustrated in table 1., the compressor operates in the scroll compressor mode. Generally, the experimental setup of the environmental condition is a 2×1×1.5 m box for a rapid temperature changing in the transient condition for analyzing in this proposed paper.

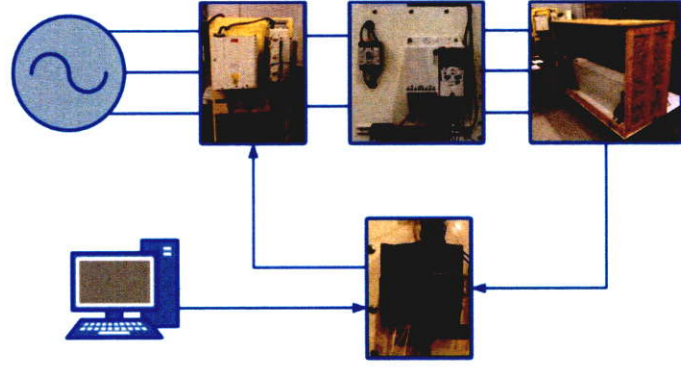


Fig. 4. The hardware experimental setup for the air conditioner

TABLE I. THE SPECIFICATIONS OF THE INVERTER ABB ACSM1-204

name	Air condition	
	Size	Unit
AC voltage (3-phase)	480 – 380	V
AC current	6.1	A
Frequency	50	Hz
Capacity	38,600	BTU
Input Power	3,380	W

B. Back to back converter components

The back to back converter in this proposed paper is using 2 inverters, which are connected to the DC link. The ABB,ACSM1-204 inverter is used as an active front end side inverter. The ABB, ACS355-03E-15A6-4 inverter is functioned as the air conditioner side inverter. and the specifications are illustrated in table 2.. Moreover, the current and power limitation is set for the air conditioner size.

TABLE II. THE SPECIFICATION OF ABB ACSM1-204 INVERTER

name	Active front end (ABB ACSM1-204)	inverter (ABB ACS355-03E-15A6-4)	Unit
	Size		
AC voltage (3-phase)	480 – 380	480 – 380	V
AC current	20 - 35	15.6	A
Frequency	48 – 63	48 – 63	Hz
DC voltage	548 – 692	548 – 692	V
DC power	23/ 31	7.5/10	kW/HP

C. The PLC controller module

The SIEMEN, SIMATIC S7-1200DC/DC/Relay power line communication(PLC) is used in this experiment. The PLC is used for controlling reactive power and also recording the power energy data. On the other hand, the data can be connected to other sources that supported by the smart home concept in term of home energy management system (HEMS).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV. THE HARDWARE IMPLEMENTATION

The aim of this proposed paper experiment is to develop the conventional air conditioner into the inverter air conditioner. The experimental objective can be categorized as a reactive power transfer in the individual state.

A. The inverter air conditioner

The ABB, ACS355-03E-15A6-4 inverter is used to transfer from conventional air conditioner into the inverter air conditioner. The PID controller functions as a controller and can be set from the inverter internal setup program.

The vector control theory is used for compressor speed controlling scheme. The algorithm conditions are added for appropriate situation in the experimentation as shown in Fig. 5..

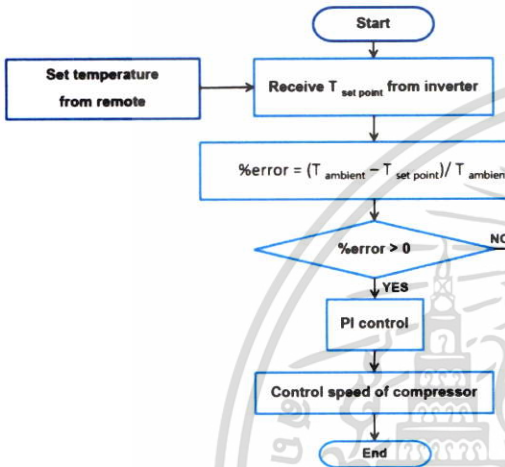


Fig. 5. The inverter air conditioner operating algorithm

B. Active front end

The ABB, ACSM1-204 inverter is used for transferring the reactive power back to the utility grid. There are 3 main conditions for PLC operation principle and parameter setup values which can be categorized as follows:

1) The reactive power transferring with full apparent power: This condition has been setup in the PLC for sending the reactive power at full rate. The condition will consider only the maximum reactive power value at that moment. Fig. 6. shows the variation in reactive power compares with power due to the air conditioner starts to operate from an initial condition to steady state condition with constant current. Fig. 4. shows the setup display controller for the PLC system. The temperature set point and actual temperature can be displayed in the real time mode. Additionally, The reactive power will also be displayed according to the changing in temperature.

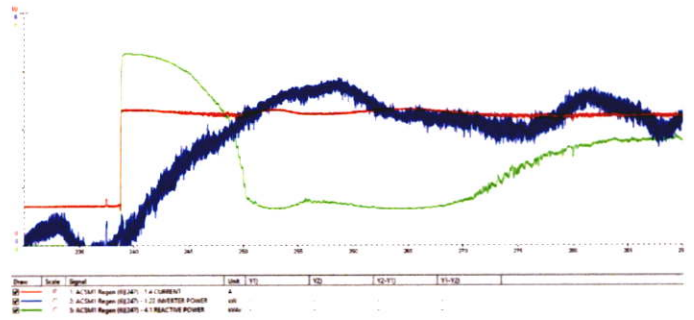


Fig. 6. The reactive power variation compared with power during the air conditioner operates at full efficient until reaching the steady state condition

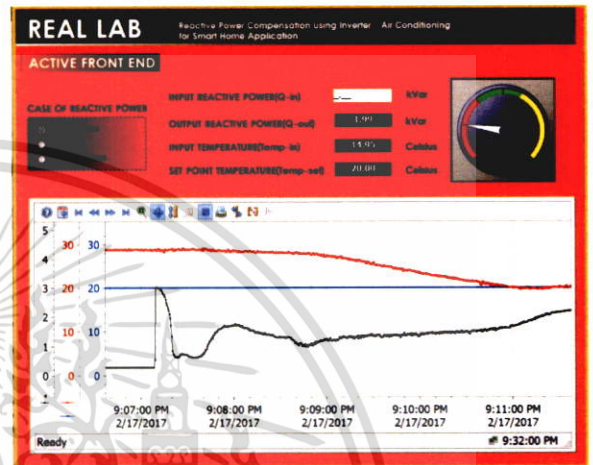


Fig. 7. The variation in the reactive power compared to the temperature

2.) Reactive power transfer with setting point: The condition has been setup for the constant reactive power with the fix value. The inverter will maintain the output at the fixed desired level. However, if the inverter air conditioner power has increased, the reactive power will be decreased according to the rated power capability of the inverter. Fig. 8. shows the power during the changing in the inverter air conditioner until it reaches the steady state condition. Moreover, the desired level of reactive power is set at 2 kVar.

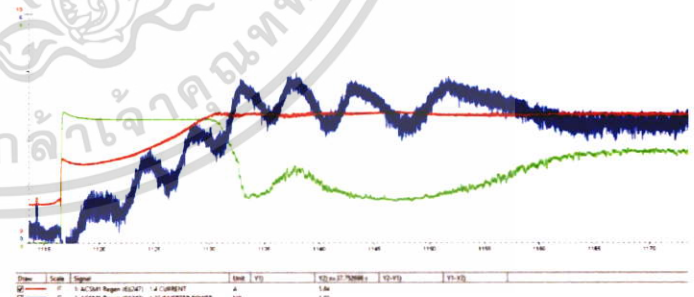


Fig. 8. The reactive power variation compared with power during the air conditioner operates at full efficient until reaching the steady state condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

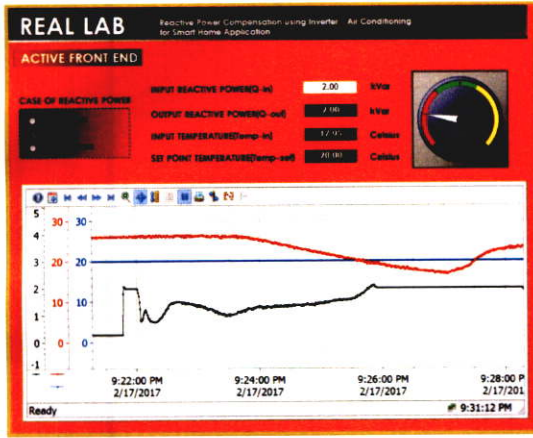


Fig. 9. The variation in the reactive power compared to the temperature

3.)Reactive power transferring in HEMS load variation:

The condition has been setup for providing the reactive power with the idea of maximizing the system power factor. The maximum value will be proportional to the reactive power of the overall system load, and the data will be computed by the PLC and delivered the signals to the inverter. Fig. 10. shows the variation of the reactive power due to the differing types of program and Fig. 11. illustrates the comparison of the variation in the reactive power and the output temperature. Apparently, the changing in reactive power can be obviously classified.

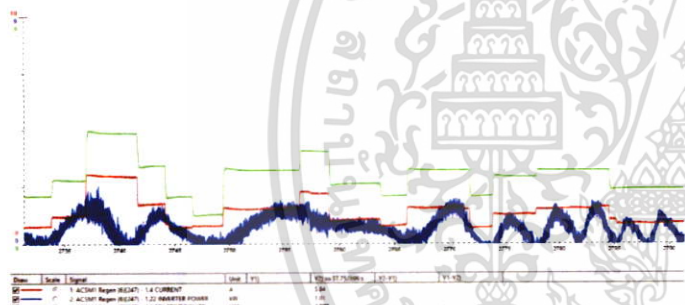


Fig. 10. The variation in the reactive power compared to the power during the steady state operating condition time

CONCLUSIONS

This proposed paper was introducing the operation of the back to back converter in order to improve the conventional air conditioner into inverter air conditioner with the reactive power feedback structure. Apparently, the inverter air conditioner in a steady state condition was enabled to provide the reactive power without the interfering the inverter air conditioner operation. Hence, the energy power can be utilized in the various fields, including the better power factor improvement in HEMS. Eventually, the feedback of the reactive power back to the utility grid system in order to improve the system efficiency is the main benefit of this proposed method.

REFERENCES

- [1] H. Akagi, "New trends in active filters for power conditioning," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, no. 6, pp. 1312–1322, 1996.
- [2] H. A. Ozkan and A. Aybar, "A smart air conditioner in smart home," 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Jun. 2016.
- [3] T. Demirdelen, M. Inci, and M. Tumay, "A New Control Approach for Shunt Hybrid Active Power Filter to Compensate Harmonics and Dynamic Reactive Power with Grid Interconnection," 2015 IEEE European Modelling Symposium (EMS), 2015.
- [4] T. Sobhy, N. Hemdan, M. Hamada and M. Wahab, "Coordinated reactive power management in distribution networks with renewable energy resources", 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 2016.
- [5] K. Prabakar, D. Rizi and F. Li, "A study on the effect of distribution circuit loading on air conditioner motor stall using a real time simulator", 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition, 2014.
- [6] S. Qureshi and Z. Hameed, "Reactive power compensation in solar power plants using FACTS devices", 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 2016.
- [7] M. Chandorkar, D. Divan and R. Adapa, "Control of parallel connected inverters in standalone AC supply systems", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, no. 1, pp. 136-143, 1993.
- [8] V. Manusov, S. Khaldarov and K. Boyko, "Design of active and reactive power flows flexible regulation devices for the effective integration of wind power into the grid", 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2016.
- [9] K. Funami and H. Nishi, "Evaluation of power consumption and comfort using inverter control of air-conditioning", IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2011.
- [10] Q. Zhang, Q. Guo and Y. Yu, "Research on the load characteristics of inverter and constant speed air conditioner and the influence on distribution network", 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2016.
- [11] M. de Oliveira and M. Halonen, "Dynamic reactive power compensation: Opportunities and challenges in the mexican grid", 2016 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA), 2016.
- [12] X. Ge, N. Chen, X. Wang, L. Jiang and J. Meng, "A coordination frequency control strategy for electric vehicles and air conditioners based on the load assessment index", 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2015.

Fig. 11. The reactive power variation with changing in parameters compared with the temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายเอกนรินทร์ อรุณ
 วัน เดือน ปีเกิด 3 เมษายน 2532
 ที่อยู่ 541 หมู่ 8 ต.แม่เมาะ อ.แม่เมาะ
 จ.ลำปาง 52220

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2560

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้