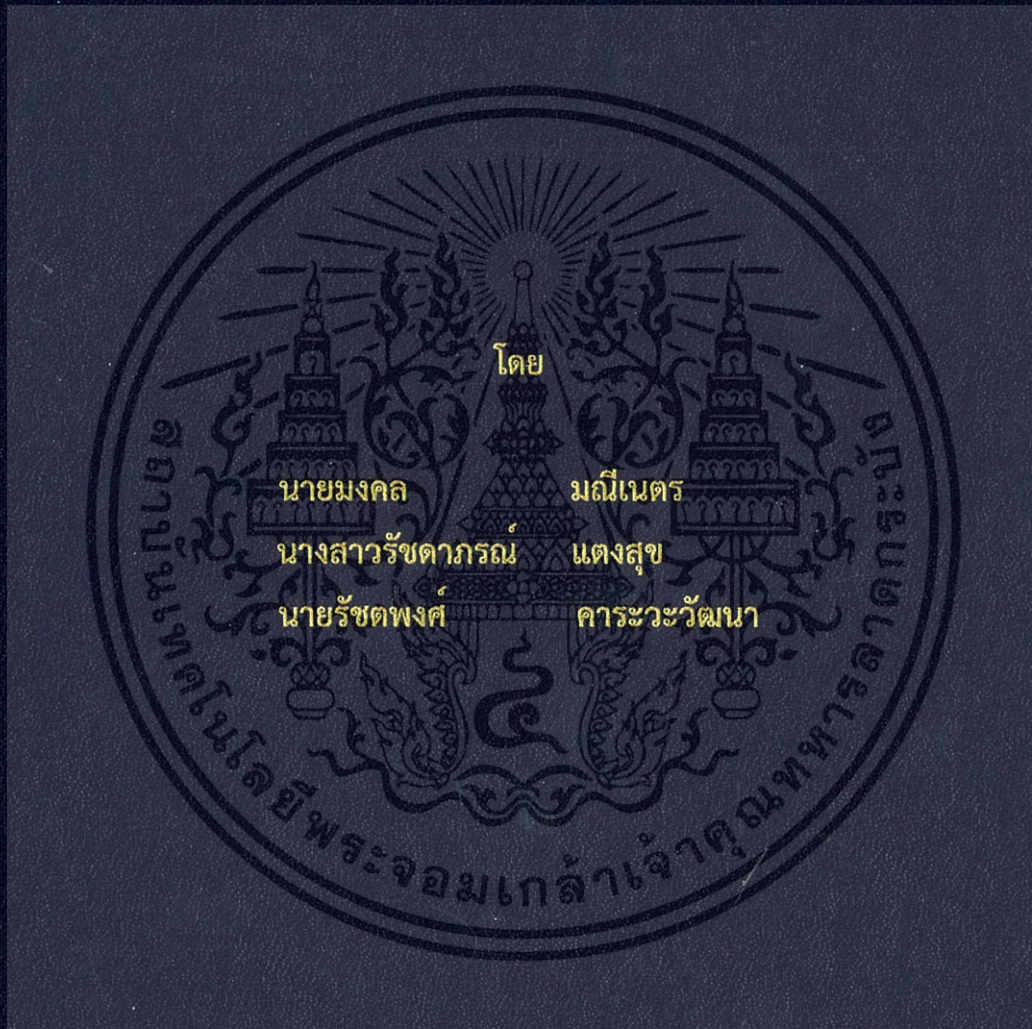


การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ

STUDY ON ENERGY STORAGE SYSTEM CONTROL

FOR A STAND-ALONE MICROGRID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ
STUDY ON ENERGY STORAGE SYSTEM CONTROL
FOR A STAND-ALONE MICROGRID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON ENERGY STORAGE SYSTEM CONTROL
FOR A STAND-ALONE MICROGRID



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

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ
STUDY ON ENERGY STORAGE SYSTEM CONTROL
FOR A STAND-ALONE MICROGRID



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ

ผู้จัดทำ

1. นาย มงคล มณีเนตร
2. นางสาว รัชดาภรณ์ แต่งสุข
3. นาย รัชตพงศ์ คาระวะวัฒนา



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. สมภพ ผลไม้)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. อิศระชัย งามหรุ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ

นาย มงคล มณีเนตร
นางสาว รัชดาภรณ์ แต่งสุข
นาย รัชตพงศ์ คาระวะวัฒนา
ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวความคิดการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ ระบบกักเก็บพลังงานในไมโครกริดที่ทำงานด้วยสถานะแยกอิสระมีความสำคัญในการทำหน้าที่สำรองพลังงานให้กับระบบเพื่อใช้ในสถานการณ์ต่างๆ ในรายงานฉบับนี้ระบบกักเก็บพลังงานถูกใช้ประโยชน์ในการประวิงความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชดเชยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในระบบไมโครกริดเพื่อปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าด้านความถี่ของระบบให้ดีขึ้น ระบบกักเก็บพลังงานในการศึกษานี้ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน การควบคุมรับจ่ายกำลังของระบบกักเก็บพลังงานถูกควบคุมด้วยค่าสถานะของประจุของแบตเตอรี่ร่วมกับสถานะการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โปรไฟล์ของกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบกักเก็บพลังงานถูกกำหนดจากโปรไฟล์ของค่ากำลังงานแสงอาทิตย์ทางอุดมคติ กำลังไฟฟ้ารวมของระบบกักเก็บพลังงานและระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มีความราบเรียบทำให้ความถี่ไฟฟ้าของระบบได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์น้อยลง ในช่วงกลางคืนพลังงานที่กักเก็บไว้จะถูกนำมาใช้เพื่อลดภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามหลักการการประวิงความต้องการกำลังไฟฟ้า ในรายงานฉบับนี้ระบบไมโครกริดและระบบกักเก็บพลังงานถูกโมเดลด้วย MATLAB/Simulink ผลการจำลองการทำงานของระบบไมโครกริดและระบบกักเก็บพลังงานแสดงผลการแกว่งของความถี่ที่ลดลง และสามารถสำรองพลังงานและนำออกมาใช้ได้ตามที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON ENERGY STORAGE SYSTEM CONTROL FOR A STAND-ALONE MICROGRID

Mr. Mongkon	Maneenetr	
Ms. Ratchadaporn	Taengsuk	
Mr. Rachtapong	Karawawattana	
Dr.Sompob	Polmai	Advisor

ABSTRACT

This engineering project proposed a control technique for energy storage system in a stand-alone microgrid. The energy storage system is an important component in the stand-alone microgrid for the energy storage required for various scenarios. In this report, the energy storage system is utilized for generator's load demand shifting and for power quality improvement in term of the frequency deviation by compensating fluctuated power of the photovoltaic system in the microgrid. The lead-acid battery is considered as the energy storage device in this study. The power of the energy storage system is controlled by the state of charge of the battery along with the generated power of the photovoltaic system. Power profile of the energy storage system is defined by the ideal insolation profile so that the combined power from the photovoltaic and the energy storage system is smoothed and lessen the effect of fluctuated power on the frequency deviation. In the night time, the stored energy is delivered to the microgrid to reduce the burden of the generator to realize the principle of demand shifting. In this report the microgrid and energy storage system is model in MATLAB/Simulink. The simulation results show lower frequency deviation and the utilization of the stored energy are in accordance with the design.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ และ ศ.ดร.อิสรระชัย งามทร อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ แนวทางในการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนเป็นอาจารย์ประจำสาขาผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำ ให้ความรู้ในการทำโครงการ และภาคหน้าสืบต่อไป

ขอขอบคุณคุณ Darith Leng พี่ปริญญาเอก คุณกิตติโชติ สุนทรทวีทรัพย์ พี่ปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือมาตลอดในการทำโครงการ ไม่ว่าจะเป็นส่วนเนื้อหา การนำเสนอ และเป็นขวัญกำลังใจให้คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ส่งเสริมสนับสนุน การศึกษา การวิจัย และการทำโครงการของนักศึกษา

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการ Power Electronic Application and Energy Conversion Research Laboratory หรือ PEARL LAB ที่คอยช่วยเหลือด้านต่างๆ รวมทั้งเป็นขวัญกำลังใจให้กับคณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลผู้มีความสำคัญที่สุดในชีวิตที่ทำให้ข้าพเจ้ามี ทุกวันนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดา อันเป็นที่รักยิ่ง ซึ่งได้อบรมเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี และยังสนับสนุน ทั้งด้านการศึกษา การเงิน กำลังใจ และเอาใจใส่ในทุกๆด้านเสมอมา

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการ “MEIDENSHA CORPORATION ENDOWDED COURSE IN KMITL”

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ III เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 โครงสร้างของเนื้อหาของปริญญานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ระบบไมโครกริด	5
2.1.1 ความหมายและความเป็นมาของไมโครกริด	5
2.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์	6
2.1.3 ข้อดีของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์	6
2.1.4 โครงข่ายระบบจำหน่ายแบบแอกทีฟ	6
2.1.5 กรอบความคิดของไมโครกริด	7
2.1.6 ส่วนประกอบของไมโครกริด และหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ	8
2.1.7 ตัวควบคุมในระบบไมโครกริด	9
2.1.8 แหล่งพลังงานในไมโครกริด	14
2.1.9 การจัดการและปัญหาการดำเนินงานของไมโครกริด	14
2.2 ระบบมัลติเอเจนต์	14
2.2.1 คุณสมบัติของเอเจนต์	14
2.2.2 แบบจำลองการจัดการเอเจนต์	15
2.2.3 คุณลักษณะของระบบมัลติเอเจนต์	17
2.2.4 การติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนต์	17
2.3 การพัฒนาระบบมัลติเอเจนต์ด้วย Boris	19
2.3.1 การติดตั้ง Boris	19
2.3.2 แนวคิดของ Boris	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.3 หน้าต่างคอนโซลการจัดการของ Boris	23
2.3.4 การตั้งค่าการใช้งานเร้าเตอร์	24
2.3.5 การสร้างพอร์ตัล	25
2.3.6 การสร้างเอเจนท์	25
2.3.7 การเริ่มใช้งานเอเจนท์จากคอนโซล	26
2.3.8 การใช้งานมอนิเตอร์	27
2.3.9 การแก้จุดบกพร่อง (Debuging)	28
บทที่ 3 การทำงานของมัลติเอเจนท์ในไมโครกริด และการเชื่อมต้อระบบสำรองพลังงาน	30
3.1 ระบบไมโครกริดและเอเจนท์สำหรับการทดลอง	30
3.2 โปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบไมโครกริด	31
3.3 Flowchart และ State Diagram การทำงานของเอเจนท์ต่างๆในระบบ	35
3.3.1 Flowchart ของ Generator Agent	35
3.3.2 Flowchart ของ Load Agent	36
3.3.3 Flowchart ของ Control Agent	37
3.3.4 Flowchart ของ Renewable Energy Agent	38
3.3.5 State Diagram ของ Microgrid Operation System	39
3.4 ขั้นตอนการทดลองการทำงานของมัลติเอเจนท์	40
3.4.1 ทำการตั้งค่า Boris	40
3.4.2 ขั้นตอนการควบคุมระบบ	41
3.5 การเชื่อมต้อระบบสำรองพลังงาน	44
3.6 การจำลองแบตเตอรี่	45
3.6.1 กราฟคุณลักษณะแบตเตอรี่	45
3.6.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบตเตอรี่	46
3.6.3 สมการคุณลักษณะแบตเตอรี่	48
3.6.4 โมเดล SIMULINK ที่ใช้ในการคำนวณแบตเตอรี่	50
3.7 Energy Strorage ในไมโครกริดและการควบคุม	52
3.7.1 การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณอ้างอิง Insolation ต่อวัน	53
3.7.2 การควบคุมการ Charge และ Discharge ด้วยปริมาณ State of Charge	56
3.8 พลังงานจากแบตเตอรี่	57
3.9 การ Simulation ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
4.1 ผลการทดลองไมโครกริตก่อนการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน	61
4.2 ผลการทดลองไมโครกริตหลังการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน	62
4.3 ผลการใช้งานพลังงานจากแบตเตอรี่	64
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
5.2.1 อุปสรรค	65
5.2.2 แนวทางการแก้ไข	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก บทความวิชาการ	69
ภาคผนวก ข Datasheet Battery BSB12-65	74
ประวัติผู้เขียน	79



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด	8
2.2	รูปแบบทั่วไปของ MC	10
2.3	V-Q Droop Controller	11
2.4	คุณลักษณะครุรูปของกำลังจริงเทียบกับความถี่	12
2.5	แบบจำลองระบบเอเจนต์ตามมาตรฐาน FIPA (FIPA 2002)	16
2.6	รูปแบบทั่วไปของระบบมัลติเอเจนต์	17
2.7	การเชื่อมต่อของ Single Portal ใน Visual Machine	20
2.8	การเชื่อมต่อของ MAS แบบกระจายศูนย์รูปแบบที่ 1	21
2.9	การเชื่อมต่อของ MAS แบบกระจายศูนย์รูปแบบที่ 2	21
2.10	การเชื่อมต่อของ MAS แบบกระจายศูนย์รูปแบบที่ 3	22
2.11	หน้าตาการทำงานของ Boris	24
2.12	การประกาศ Portal บน Boris	26
2.13	การใช้งานมอนิเตอร์บน Boris	27
2.14	หน้าตา Boris ขณะใช้งาน	28
2.15	การประกาศเอเจนต์	28
2.16	การกระทำบนเอเจนต์	29
3.1	ไมโครกริดสาธิต	30
3.2	หน้าตาการใช้งาน Generator Agent	31
3.3	หน้าตาการใช้งาน Load Agent	32
3.4	หน้าตาการใช้งาน Control Agent	33
3.5	หน้าตาการใช้งาน Renewable Energy Agent	34
3.6	หน้าตาการใช้งาน Boris	34
3.7	Flowchart การทำงานของ Generator Agent	35
3.8	Flowchart การทำงานของ Load Agent	36
3.9	Flowchart การทำงานของ Control Agent	37
3.10	Flowchart การทำงานของ Renewable Energy Agent	38
3.11	State Diagram ของ Microgrid Operation System	39
3.12	ประกาศชื่อเร้าเตอร์	40
3.13	ประกาศ Port และทำการเชื่อมต่อ	40
3.14	การเชื่อมต่อเอเจนต์ กับ Boris	41
3.15	การใช้งานของ Load Agent	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ VII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
3.16 Generator ที่พิกัด 1100 W	42
3.17 การ Limit Load ใน Load Agent	42
3.18 การ Shed Load ใน Load Agent	43
3.19 Control Agent ขณะที่มีการจ่ายกำลังไปยังภาระทางไฟฟ้า	43
3.20 การผลิตกำลังไฟฟ้าเมื่อมีระบบสำรองพลังงาน	44
3.21 Equivalent Circuit ของแบตเตอรี่ ตามMATLAB/SIMULINK	45
3.22 Typical Discharge Model	45
3.23 พารามิเตอร์ที่ใช้กับแบตเตอรี่ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	46
3.24 Exponential Model	50
3.25 Discharge Model	50
3.26 Charge Model	50
3.27 State of Charge Model	51
3.28 Battery Model	51
3.29 ระบบไมโครกริดจำลองด้วย MATLAB/SIMULINK	52
3.30 ระบบ Energy Storage จำลองด้วย MATLAB/SIMULINK	52
3.31 วงจรการต่อแบตเตอรี่	53
3.32 กราฟ PV Generation ,Ideal Insolation และ Expecting Insolation	53
3.33 การเปรียบเทียบ PQsolar และ Insolation ใน MATLAB/SIMULINK	55
3.34 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตามสภาพการใช้งาน	56
3.35 การควบคุมแบตเตอรี่ด้วยค่า SOC ใน MATLAB/SIMULINK	56
3.36 ไดอะแกรมการกระทำ Pfast และ Pslow	57
3.37 สัญญาณ Pfast	58
3.38 สัญญาณ Pslow	58
3.39 ไดอะแกรมการควบคุมแบตเตอรี่	59
4.1 การจำลองการควบคุมไมโครกริดสาธิต	60
4.2 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบก่อนเพิ่มระบบ Energy Storage	61
4.3 ความถี่กำลังไฟฟ้าก่อนเพิ่มระบบ Energy Storage	62
4.4 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบหลังเพิ่มระบบ Energy Storage	62
4.5 ความถี่กำลังไฟฟ้าหลังเพิ่มระบบ Energy Storage	63
4.6 ผลลัพธ์การ Charge และ Discharge แบตเตอรี่	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวทางการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าภายในพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็ก โดยที่ผลิตไฟฟ้าได้ในระดับแรงดันต่ำ ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบเข้ากับภาระไฟฟ้า และเชื่อมต่อกับกริดไฟฟ้าหลักได้ เรียกระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเหล่านี้ว่า “ไมโครกริด” (Microgrid) โดยที่จะเป็นการจ่ายไฟฟ้าให้กับกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็กที่อยู่ไม่ไกลกัน เช่น หมู่บ้าน สถานศึกษา ศูนย์การค้า โรงงาน หรือย่านอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยขนาดของไมโครกริดจะมีขนาดใกล้เคียงกับภาระทางไฟฟ้าของไมโครกริดนั้น ซึ่งโดยทั่วไปแนวโน้มการใช้แหล่งพลังงานที่ให้ไมโครกริดนั้นให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทนมากขึ้นด้วย สิ่งที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าด้วยไมโครกริด คือการรักษาสมดุลระหว่างความต้องการการใช้ไฟฟ้ากับปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อรักษาคุณภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบ ระบบการจัดการพลังงานสำหรับไมโครกริดจึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด การสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลการใช้พลังงานอย่างถูกต้องจึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการในระบบไมโครกริด เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์จึงถูกนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบไมโครกริด

การควบคุมการทำงานของระบบไมโครกริดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ เป็นการใช้ศาสตร์ในแขนงวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในส่วนของการสื่อสารของระบบ เพื่อพัฒนาให้ทันกับเทรนด์หรือแนวโน้มของเทคโนโลยีเครือข่ายของระบบไฟฟ้าในอนาคตอันใกล้ที่ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพให้การสื่อสารของอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ระบบมัลติเอเจนต์จะอำนวยความสะดวกให้กับส่วนต่างๆในระบบไมโครกริดโดยการทำงานอย่างเป็นระบบ และการสื่อสารระหว่างเอเจนต์ซึ่งแทนส่วนต่างๆของระบบที่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม และให้กำลังไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการ โดยปราศจากปัญหาทั้งในโหมดเชื่อมต่อ และโหมดแยกอิสระ ระหว่างการดำเนินงานของระบบมัลติเอเจนต์ในระบบไมโครกริดจะมีการแสดงผลข้อมูลผ่านมอนิเตอร์ และสามารถควบคุมการทำงานผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์ได้ โดยในโครงการนี้ได้มีการใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio C# ควบคุมไปกับ BORIS ซึ่งสามารถสื่อสารกันได้ผ่านเครือข่ายบนอินเทอร์เน็ต

การแสดงผลของข้อมูลและควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ เป็นการเขียนโดยใช้ภาษา C# ซึ่งแบ่งการเชื่อมต่อของโปรแกรมออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ การเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและภาระไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ CANUSB และการเชื่อมต่อระหว่างซอฟต์แวร์หรือเอเจนต์ด้วยกันเองผ่านทางระบบ LAN หรือ TCP/IP โดยเอเจนต์ที่เราได้ออกแบบนั้นจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ Load Agent จะมีหน้าที่ในการควบคุมการเปิด-ปิดโหลด รวมทั้งจำกัดหรือตัดโหลดในกรณีที่กำลังไฟฟ้ามียุติมากเกินไปตามสถานการณ์นั้นๆ โดยจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Arduino เพื่อรับคำสั่งไปทำการสั่งบอร์ดรีเลย์ ส่วนที่สองคือ Generator Agent จะมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยควบคุมแบบ Droop control เมื่อโหลดมีค่าถึงค่าหนึ่งที่เรากำหนดไว้เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว ช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างเหมาะสมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประสิทธิภาพรวมทั้งยังสามารถหยุดการจ่ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีที่มีความต้องการโหลดน้อยได้อีกด้วย โดยจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ DSP เพื่อนำไปเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในส่วนสุดท้ายนั้นคือ Control Agent หรือ เอเจนต์ควบคุมจะทำหน้าที่ในการแสดงค่าและสถานะภาพการทำงานของเอเจนต์ทั้งหมดว่ามีค่ากำลังไฟฟ้า ภาระทางไฟฟ้า หรือ ค่าแสดงสถานะว่ามีอุปกรณ์ใดที่กำลังทำงานอยู่ในขณะนั้นบ้างและยังสามารถที่จะสั่งการให้ภาระทางไฟฟ้าเปิดหรือปิดได้อีกทางหนึ่ง โดยจะมีซอฟต์แวร์ที่ใช้ในสื่อสารคือ Boris ซึ่งจะช่วยให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น จะเห็นได้ว่า ไมโครกริดในโครงการนี้มีการสื่อสารกันครบถ้วนแล้วระหว่างระบบการผลิต และภาระทางไฟฟ้า ทำให้ต้องมีการพัฒนาขึ้นไปอีกขั้นโดยการเพิ่ม Energy Storage

โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Renewable Energy จะมีปริมาณการผลิตที่ไม่แน่นอนหรือมีความผันผวนเป็นอย่างมาก หรือแม้แต่กำลังไฟฟ้าจากกริดหลักที่มาตามสายส่งระยะยาวนั้นทำให้สูญเสียพลังงานตามสายส่งและลดประสิทธิภาพลง การใช้ Energy Storage จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในระบบไมโครกริด Energy Storage จะทำการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้เป็นพลังงานสำรองให้กับระบบไมโครกริด สามารถแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้าจาก Renewable Source โดยการปรับปรุงคุณภาพทางไฟฟ้าและกักเก็บไว้ก่อนที่จะจำหน่ายต่อไป การมี Energy Storage จึงเปรียบเสมือนการมีสิ่งรองรับหรือช่วยลดภาระในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับไมโครกริดได้ ซึ่งโครงการนี้จะนำ Energy Storage เข้ามาใช้เพื่อทำให้ไมโครกริดมีองค์ประกอบที่ครบสมบูรณ์ และมีเสถียรภาพที่มากขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้าง และหลักการทำงานของระบบไมโครกริด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการของระบบผลิตเอเจนต์สำหรับการควบคุมระบบไมโครกริด
- 1.2.3 เพื่อนำ Energy Storage มาประยุกต์ใช้ในระบบไมโครกริด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบระบบไมโครกริดในระบบปฏิบัติการที่มีระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า
- 1.3.2 ออกแบบระบบผลิตเอเจนต์เพื่อควบคุมระบบไมโครกริด

1.4 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาหลักการของมัลติเอเจนต์ และหลักการทำงานของไมโครกริด										
ศึกษาการทำงานเอเจนต์โดย Boris และ MVS C# เพื่อนำมาใช้งานร่วมกับระบบไมโครกริด										
เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการสื่อสารของเอเจนต์โดยใช้ Boris และ MVS C#										
ทดสอบโปรแกรม และแก้ไขข้อผิดพลาด										
เตรียมนำเสนอ และจัดทำเอกสารทางวิชาการผลการศึกษาในภาคเรียนที่ 1										
ศึกษาการนำ Energy Storage มาใช้ในระบบไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ										
ทดลองปฏิบัตินำ Energy Storage มาติดตั้ง เชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดในห้องปฏิบัติการ										
เตรียมนำเสนอ และจัดทำเอกสารทางวิชาการผลการศึกษาในภาคเรียนที่ 2										
ปรับปรุงและเพิ่มเติมระบบให้สมบูรณ์										

←-----→ แสดงระยะเวลาที่วางแผนจะทำการปฏิบัติ

←-----→ แสดงระยะเวลาจริงที่ทำการปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเข้าใจโครงสร้างพื้นฐาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบไมโครกริด และทำการควบคุม แก้ปัญหาเบื้องต้นได้

1.5.2 สามารถเขียนและเข้าใจหลักการทำงานของโปรแกรม Microsoft Visual Studio C# และ Boris เบื้องต้น เพื่อนำไปสู่การสร้างระบบมัลติเอเจนต์ได้

1.5.3 สามารถเข้าใจหลักการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ พัฒนาเพื่อให้เกิดการสื่อสารกันระหว่างเอเจนต์ได้ และนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นนอกเหนือจากระบบไมโครกริดได้

1.6 โครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, วัตถุประสงค์ของโครงการ, ขอบเขตการศึกษา, แผนการดำเนินงาน

บทที่ 2 เป็นการอธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างของไมโครกริด แหล่งพลังงานของไมโครกริด การจัดการในระบบไมโครกริด และระบบมัลติเอเจนต์ซึ่งนำมาซึ่งนำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของไมโครกริด รวมทั้งกล่าวถึงเอเจนต์ว่ามีคุณสมบัติในการสื่อสารอย่างไร

บทที่ 3 เป็นการจำลองระบบไมโครกริดร่วมกับเอเจนต์ที่พัฒนาขึ้นมาซึ่งมีหน้าที่ต่างกัน นำเสนอวิธีการทำงานของเอเจนต์ต่างๆในระบบไมโครกริด และทดสอบการสื่อสารกันเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ และการเชื่อมต่อระบบสำรองพลังงาน โดยอธิบายถึงการจำลองและออกแบบ Energy Storage การควบคุมการ Charge และ Discharge และการใช้งานพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไมโครกริด

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองที่ทำการ Simulation ผ่านโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยแบ่งเป็นผลการทดลองการโมเดล และผลการทดลองการเชื่อมต่อระบบ Energy Storage โดยมีผลการ Simulation ของระบบไมโครกริดก่อนการเชื่อมต่อระบบ Energy Storage เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งจะแสดงกำลังไฟฟ้า และความถี่กำลังไฟฟ้าเป็นหลัก

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบจัดการพลังงานสำหรับไมโครกริด (Microgrid Energy Management System) เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าภายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่เรียกว่า ไมโครกริด (Microgrid) เข้ากับเทคโนโลยีที่ชื่อว่า ระบบมัลติเอเจนต์ (Multi Agent Development Framework) โดยนำความรู้ในด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) มาควบคุมการทำงานในด้านต่างๆภายในระบบไฟฟ้า โดยใช้การพัฒนาโปรแกรมในรูปแบบดอตเน็ต (.NET) และภาษา C# (Visual Studio C#) ระบบซอฟต์แวร์ชุดนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันภายในระบบไฟฟ้าขนาดเล็กหรือไมโครกริดเพื่อ ให้สามารถทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถที่จะตัดสินใจสั่งการส่วนต่างๆของระบบได้ด้วยตัวของมันเอง

2.1 ระบบไมโครกริด

2.1.1 ความหมายและความเป็นมาของไมโครกริด

กริด (Grid) หมายถึง ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังซึ่งในปัจจุบันมีระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดระบบกริดที่เป็นขนาดใหญ่จนกลายเป็นโครงข่าย ด้วยระบบที่ใช้เทคโนโลยีเดิมนี้นำส่งผลให้เกิดความสูญเสีย (Loss) ขึ้นในระบบไฟฟ้ามาก เนื่องจากต้องส่งไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีระยะทางไกลจากผู้ใช้ไฟฟ้า และใช้เวลาในการแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องนาน เนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งที่เกิดเหตุผิดปกติ (Fault) จากสาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดแนวคิดต่างๆเพื่อมาพัฒนาระบบกริดให้ดียิ่งขึ้น โดยการนำเทคโนโลยีหลายๆอย่างมาทำงานร่วมกัน ก่อให้เกิดระบบต่างๆ เช่น ระบบไมโครกริด

ระบบไมโครกริด คือ การเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานทดแทน เป็นระบบสายส่งแรงดันต่ำเพื่อจ่ายให้แก่กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกัน โดยมีหลักการสำคัญของการผลิตไฟฟ้าในระบบไมโครกริด คือการสร้างสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากดังกล่าวข้างต้น ให้พอดีกับภาระทางไฟฟ้าภายในไมโครกริด ขณะเดียวกันไมโครกริดยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่เดิมได้ด้วย ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก (Grid) ไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำงานในแบบผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Island) ได้อย่างอัตโนมัติและสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไข การเพิ่มขึ้นของไมโครกริดจะไม่ทำให้เกิดปัญหาภัยกับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ในขณะเดียวกันก็ช่วยเสริมความมั่นคงของการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าน้อยลงจากการใช้พลังงานหมุนเวียน

แนวคิดไมโครกริดจะถูกมองเป็นระบบควบคุมหน่วยหนึ่งจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และจะไม่สร้างปัญหาเช่นการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า การแกว่งไกวของความถี่ไฟฟ้า เป็นต้น ให้กับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดที่มีคุณสมบัตินี้ถูกนิยามให้เป็น พลเมืองดี (Good Citizen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานที่ผิดกฎหมายจะมีความผิดตามกฎหมายลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบกำลังไฟฟ้าหลัก ในขณะที่เดียวกันไมโครกริดยังสามารถช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้ เช่น การให้บริการคุณภาพไฟฟ้าขั้นเยี่ยม การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น ไมโครกริดที่มีคุณสมบัตินี้ถูกนิยามให้เป็นพลเมืองตัวอย่าง (Model Citizen) ของระบบไฟฟ้ากำลังหลัก แนวความคิดไมโครกริดนี้ถูกให้ความสำคัญอย่างมากในหลายประเทศ

2.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์

เป็นการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียน เช่น ก๊าซธรรมชาติ พลังงานลม เซลล์แสงอาทิตย์ ระบบไมโครเทอร์โบ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อเครือข่ายการจำหน่าย การผลิตไฟฟ้าแบบศูนย์กระจาย หรือ Distributed Generation (DG) และแหล่งพลังงานเหล่านี้จะเรียกว่า แหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ หรือ Distributed Energy Resources (DER) จากการศึกษาและวิจัยได้ข้อสรุปลักษณะทั่วไปของ DG ได้ดังต่อไปนี้

1. ไม่เป็นศูนย์กลางของระบบไฟฟ้าหรือศูนย์กลางการจำหน่ายไฟฟ้า
2. มีขนาดเล็กกว่า 50 เมกะวัตต์
3. แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์มักจะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีขนาดของแรงดัน 230/415 V ถึง 145 kV

2.1.3 ข้อดีของระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์

1. ความจำเป็นในความต้องการของพลังงานทั่วไปที่เพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าลดลง ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องหาพลังงานทดแทนและหมุนเวียนมาเพื่อเป็นพลังงานสำรอง
2. ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เป็นพลังงานสะอาดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก
3. มีการใช้ประโยชน์จากความร้อนเสียของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานทั้งหมดของโรงจักรไฟฟ้า
4. เนื่องจากระยะทางจากโหนดถึงแหล่งจ่ายไม่ไกลกันจึงทำให้ง่ายต่อการค้นหาและช่วยลดในเรื่องของการก่อสร้างและเงินทุน อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียในการส่งจ่าย
5. การดำเนินงานในโหมดแยกอิสระ (Stand-alone) และโหมดเชื่อมต่อกับกริด (Grid-connect) ของ DER จะช่วยในการขยายการผลิตและนับเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือโดยรวม

2.1.4 โครงข่ายระบบจำหน่ายแบบแอกทีฟ

โครงข่ายระบบแบบจำหน่ายที่ไม่มี DG นั้นจะเรียกว่าเป็นโครงข่ายระบบจำหน่ายแบบพาสซีฟ และจะกลายเป็นระบบแบบแอกทีฟเมื่อมีหน่วย DG เพิ่มเข้าไปในระบบจำหน่าย จึงกลายเป็นการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทาง โครงข่ายระบบจำหน่ายแบบแอกทีฟจำเป็นที่จะต้องมีการรวมเอาความยืดหยุ่นและความชาญฉลาดในการควบคุมเข้าไว้ด้วยกัน และเพื่อเป็นการควบคุมพลังงานให้เป็นพลังงานที่สะอาดจากการผลิตของ DER ที่เป็นพลังงานหมุนเวียน ดังนั้นโครงข่ายระบบการจำหน่ายแบบแอกทีฟจึงควรจะนำมาใช้ในการปฏิบัติงานของโครงข่ายระบบจำหน่ายในอนาคตซึ่งจะนำไปสู่การเป็นกริดอัจฉริยะหรือสมาร์ทกริด (Smart Grid) หรือโครงข่ายไมโครกริด (Microgrid) ดังนั้นในการที่จะใช้วิวัฒนาการโครงข่ายระบบการจำหน่ายแบบแอกทีฟเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการดำเนินงานที่มีความยืดหยุ่นและสั่งการอย่างชาญฉลาด การวิจัยที่ครอบคลุมจึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยการวิจัยจะมุ่งเน้นในประเด็นเหล่านี้เป็นหลัก

- การควบคุมพื้นที่บริเวณกว้าง
- ความสามารถในการปรับตัวสำหรับการป้องกันและควบคุม
- อุปกรณ์ในการจัดการโครงข่าย
- การจำลองระบบโครงข่ายแบบเวลาจริง
- เซ็นเซอร์และเครื่องมือวัดระดับสูง
- การสื่อสารอย่างกว้างขวางในระบบการจำหน่าย
- กระบวนการคิดและวิเคราะห์ด้วยวิธีการอันชาญฉลาด

2.1.5 กรอบความคิดของไมโครกริด

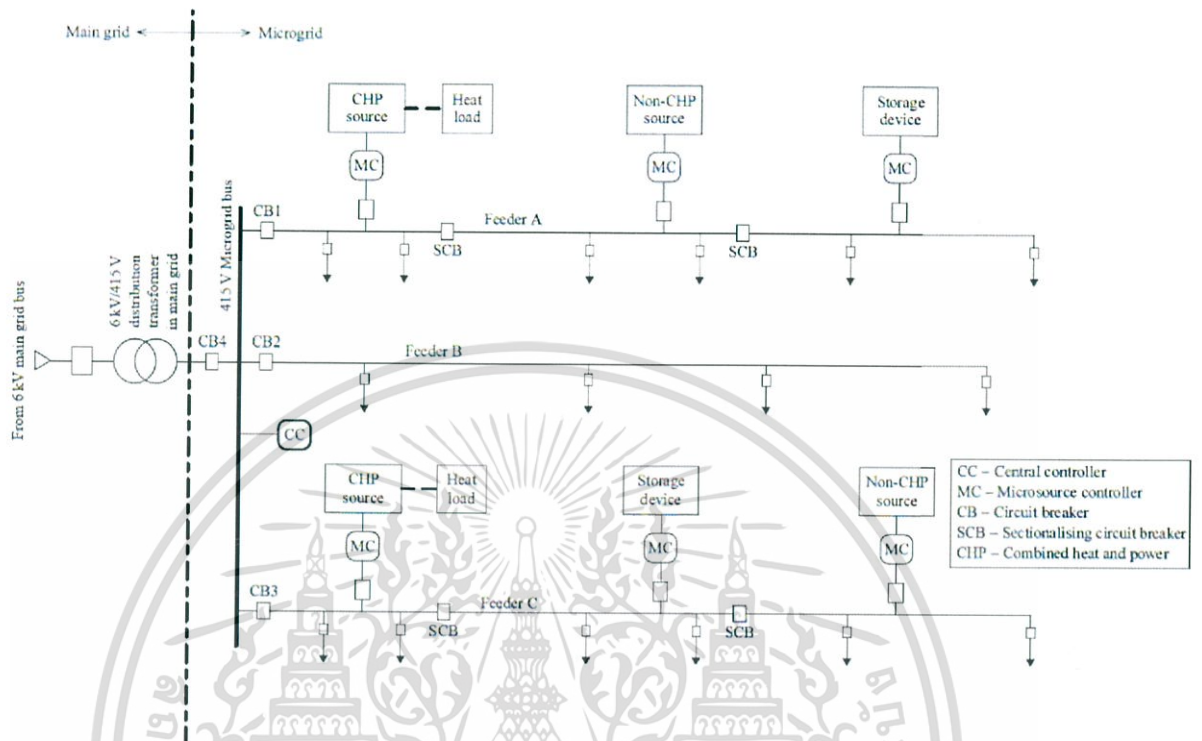
เป็นระบบแรงดันต่ำโดยที่โครงข่ายการรองรับการจ่ายโหลดด้วยระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Combined Heat and Power : CHP) ได้ถูกออกแบบมาเพื่อผลิตไฟฟ้าและโหลดความร้อนสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก โดยส่วนใหญ่แล้วไมโครกริดจะเป็นโครงข่ายระบบจำหน่ายแบบแอกทีฟเสียส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากแนวคิดของไมโครกริดนั้นได้รวมเอาระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ (DG) และโหลดที่แตกต่างกัน ณ ระดับแรงดันไฟฟ้าในการจำหน่ายเข้าไว้ด้วยกัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งจ่ายขนาดเล็กที่ใช้ในระบบไมโครกริดส่วนมากเป็นพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทน ซึ่งแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ณ จุดใช้งาน (DER) จะรวมเอาแหล่งพลังงานทั้ง 2 เข้าด้วยกันเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าที่แรงดันของระบบจำหน่าย

ในมุมมองของกริดหลัก (Main Grid) สามารถมองไมโครกริดรวมเป็นภาระทางไฟฟ้าได้เลย ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการควบคุม สามารถรักษาระดับแรงดันโดยไม่ส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือ และความปลอดภัยในการใช้ประโยชน์จากกำลังไฟฟ้า

ในมุมมองจากผู้บริโภค ไมโครกริดนั้นจะมีประโยชน์มากในด้านการรองรับช่วงไฟดับ ปรับปรุงความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า ช่วยลดกำลังสูญเสียบนสายส่งและมีการรองรับระดับแรงดันภายในพื้นที่อีกด้วย

ในมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อม ไมโครกริดนั้นจะลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและภาวะโลกร้อนผ่านการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์

2.1.6 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด และหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริดเป็นไปตามรูป



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด

ไมโครกริดนั้นจะเชื่อมต่อกับกริดหลัก (Main Grid) แรงดันระดับกลางผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งเป็นจุดต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) หรือ CB4 ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อและตัดตอนไมโครกริด ทั้งหมดจากกริดหลักตามโหมดที่เลือกการดำเนินงานนั้นคือ ถ้า CB4 ปิดแสดงว่าไมโครกริดทำงานอยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับกริด (Grid-connected) แต่ถ้า CB4 เปิดแสดงว่าไมโครกริดทำงานอยู่ในโหมดแยกอิสระ (Stand-alone)

ไมโครกริดดำเนินการในสองโหมด : (1) เชื่อมต่อกับกริด และ (2) ในโหมดแยกอิสระ โดยในโหมดเชื่อมต่อกับกริดนั้น ไมโครกริดจะยังคงเชื่อมต่อกับกริดหลักทั้งหมดหรือบางส่วนและนำเข้าหรือส่งกำลังไปยังกริดหลัก ในกรณีที่เกิดสัญญาณรบกวนในกริดหลัก ไมโครกริดจะสลับไปยังโหมดแยกอิสระในขณะที่ยังคงจ่ายกำลังให้กับภาระที่สำคัญเหมือนเดิม

การทำงานจะต้องผ่านตัวควบคุมซึ่งทำงานร่วมกันผ่านตัวควบคุมแหล่งจ่าย (MC) และตัวควบคุมส่วนกลาง (CC)

Energy Management Module หรือ EMM จะทำการส่งค่าของจุดอ้างอิงของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน แรงดันไฟฟ้าละความถี่ไปยังแต่ละ MC เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Protection Co-ordination Module หรือ PCM จะทำการตอบสนองต่อความผิดปกติของไมโครกริดรวมถึงกริดหลักและสภาวะหายไปของกริด

2.1.7 ตัวควบคุมในระบบไมโครกริด

ในระบบไมโครกริดจะมีตัวควบคุมหลักๆ อยู่ 2 ชนิดคือตัวควบคุมแหล่งจ่ายและตัวควบคุมส่วนกลาง

1. ตัวควบคุมแหล่งจ่าย (Micro Source Controller: MC)

เงื่อนไขการทำงานคือ (i) การเพิ่มแหล่งจ่ายตัวใหม่เข้าไปในระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิม (ii) ไมโครกริดสามารถสับ/ปลด โดยตัวเองได้อย่างรวดเร็ว (iii) สามารถควบคุมกำลังจริงและกำลังเสมือนได้อิสระ (iv) สามารถแก้ไขแรงดันตก (Voltage Sag) และความไม่สมดุลของระบบได้ (v) สามารถจัดการกับความผิดปกติต่างๆได้ (vi) ไมโครกริดสามารถตอบสนองความต้องการของพลศาสตร์ของภาระได้

MC จะถูกออกแบบเพื่อติดต่อสื่อสารกับ CC และกระทำตามคำสั่งของตัวมันเอง มันสามารถแทนที่คำสั่งของ CC ที่แหล่งจ่ายไม่สามารถยอมรับได้

ฟังก์ชันการควบคุมของตัวควบคุมแหล่งจ่าย ประกอบด้วย

- การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน (Active and Reactive Power Control)
- การควบคุมแรงดัน (Voltage Control)
- ความต้องการในการจัดเก็บพลังงานสำหรับการติดตามภาระอย่างรวดเร็ว
- การจัดสรรภาระผ่านการควบคุมกำลังและความถี่ (P-f Control)

การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน (Active and Reactive Power Control)

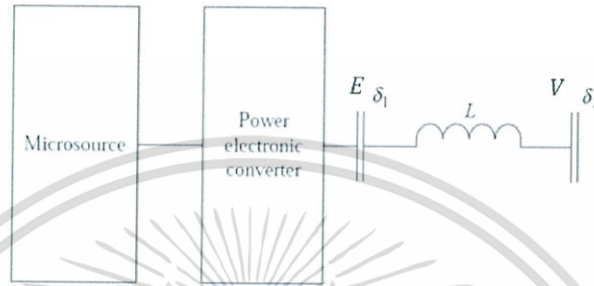
แหล่งจ่ายขนาดเล็กที่เรียกว่า Micro Source อาจเป็นแหล่งจ่ายแหล่งจ่าย กระแสตรง อย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) อุปกรณ์สำรองพลังงาน (Storage Battery) สำหรับแหล่งจ่ายกระแสตรงนั้นจะถูกแปลงเป็นกระแสสลับโดยตรงที่ P-f (50/60 Hz) แต่ขณะที่กระแสสลับซึ่งมีความถี่ที่ไม่เป็นที่แน่นอนจะถูกแปลงเป็นกระแสตรงก่อนและจึงแปลงกลับเป็นกระแสสลับอีกครั้งที่ความถี่ปกติด้วยอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทั้งสองอย่างต่างก็ต้องใช้ DC/AC Converter

ในรูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทั่วไปของ MC ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายขนาดเล็ก (Micro Source) และอินเวอร์เตอร์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic Converter) โดยอินเวอร์เตอร์ของแหล่งจ่ายแรงดัน ในส่วนของคอนเวอร์เตอร์จะควบคุมขนาดแรงดัน (V) และ มุมเฟส (δ_1) ของแรงดันขาออก ($E \angle \delta_1$) ที่ปลายบัส 1 (Bus-1) Micro Source จะควบคุมการจ่ายกำลังที่บัส 2 (Bus-2) ที่แรงดัน ($V \angle \delta_2$) ผ่านค่าความเหนี่ยวนำที่มีค่ารีแอกแตนซ์ X โดยปกติ ($E \angle \delta_1$) จะนำหน้า ($V \angle \delta_2$) อยู่ที่มุมกำลัง (δ) โดยที่ ($\delta = \delta_1 - \delta_2$) การไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) จะถูกควบคุมโดยการควบคุม (δ) ส่วนกำลังไฟฟ้าเสมือน จะถูกควบคุมโดยการควบคุม V ตัวควบคุมจะอยู่

พื้นฐานของการควบคุมลูปปิด (Feedback Loop) ของกำลังขาออก P และ ขนาดแรงดันบัส E ซึ่ง เป็นไปตาม สมการที่ 2.1 และ สมการที่ 2.2 ตามลำดับ ดังนี้

$$P = \frac{3EV}{2X} \sin(\delta) \quad (2.1)$$

$$Q = \frac{3V}{2X} (E \cos(\delta) - V) \quad (2.2)$$

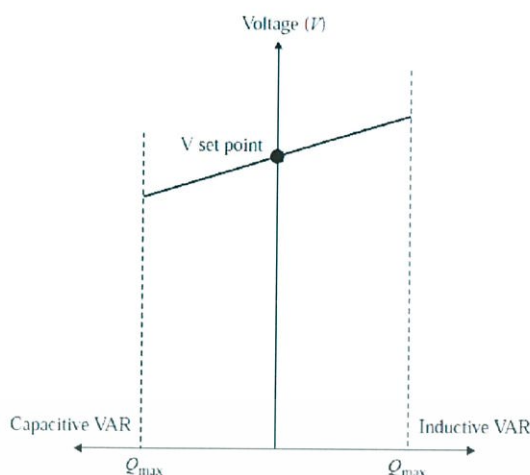


รูปที่ 2.2 รูปแบบทั่วไปของ MC

การควบคุมแรงดัน (Voltage Control)

นอกจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) แล้ว การควบคุมแรงดันที่บัสของไมโครกริดจะมีความสำคัญต่อเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของไมโครกริดอีกด้วย ไมโครกริดที่มีแหล่งจ่ายจำนวนมาก อาจมีปัญหาในเรื่องการแกว่งของกำลังเสมือน (Reactive Power) ซึ่งเกิดจากไม่มีการควบคุมแรงดันที่บัสให้เหมาะสม ฟังก์ชันควบคุมแรงดันของ MC จะจัดการปัญหากระแสแอคทีฟไหลวนระหว่างไมโครกริดให้บรรเทาลง ในส่วนของไมโครกริดนั้นยังมีปัญหาคอนข้างชัดเจน เนื่องจากสายป้อนมักเป็นจุดกระจายรัศมีซึ่งมีอิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายต่ำ

บางครั้งกระแสไหลวนเหล่านี้อาจทำให้กระแสของแหล่งจ่ายมีค่าเกินพิกัด แม้ว่าจุดอ้างอิงแรงดันจะมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย กระแสไหลวนเหล่านี้สามารถถูกควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมรูปแรงดันรีแอคทีฟ (Voltage-Reactive Power (V-Q) Droop Controller) กับคุณลักษณะการลดตัวซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 V-Q Droop Controller

การควบคุมแรงดันที่บัสของไมโครกริดนั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาของเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของไมโครกริด ไมโครกริดที่มีแหล่งจ่ายจำนวนมากอาจมีปัญหาให้เรื่องการแกว่งของกำลังเสมือน (Reactive Power) หากปราศจากการควบคุมแรงดันที่เหมาะสม ฟังก์ชันควบคุมแรงดันของ Micro Source จะจัดการปัญหากระแสไหลวน (Circulating Reactive Current) ระหว่างสองไมโครกริดให้น้อยลง ในไมโครกริดกระแสไหลวนเหล่านี้สามารถถูกควบคุมโดยวิธี (Voltage Reactive Power (V-Q) Droop Controller) ดังกราฟแสดงคุณลักษณะลดลงของแรงดันซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3

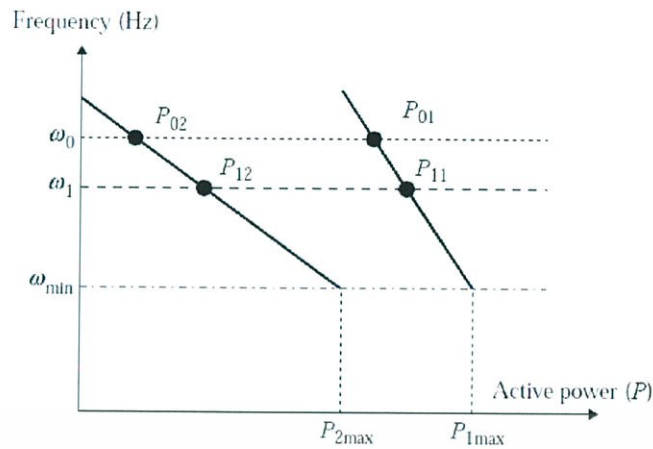
ข้อกำหนดในการสำรองพลังงานเพื่อสมดุลโหลด

สำหรับการทำงานของไมโครกริดโหมดการเชื่อมต่องริตความสมดุลของกำลังเริ่มต้นขณะที่มีการต่อภาระเพิ่มเข้ามาใหม่จะได้รับการดูแลโดยความเฉื่อยที่มีมากของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่สำหรับการดำเนินงานในโหมดแยกอิสระ ไมโครกริดจะต้องมีการรักษาสมดุลของกำลังเริ่มต้นโดยการใช้อุปกรณ์จัดเก็บสำรองพลังงานที่มีประสิทธิภาพพอเป็นความเฉื่อยในระบบไมโครกริด อุปกรณ์สำรองพลังงานกระแสตรงจะถูกเชื่อมต่อที่บัสกระแสตรง (DC bus) ของ แหล่งจ่ายขณะที่อุปกรณ์สำรองพลังงานกระแสสลับจะถูกเชื่อมต่อโดยตรงที่บัสของไมโครกริด ดังนั้น MC จะสร้างความมั่นใจในการใช้อุปกรณ์สำรองพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการติดตามโหลดอย่างรวดเร็ว

การจัดสรรภาระผ่านการควบคุมกำลังและความถี่ (P-f Control)

ตัวควบคุมไมโครกริดต้องทำให้แน่ใจว่าเกิดความเรียบและเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติจากโหมดเชื่อมต่องริตเป็นโหมดแยกอิสระ ซึ่งหลักการนี้จะมีความคล้ายกับการดำเนินการของระบบสำรองไฟฟ้า (Uninterrupted Power Supply : UPS) โดยในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโหมดแยกอิสระนั้น MC ของแต่ละแหล่งจ่าย จะใช้การควบคุมกำลังและความถี่ เพื่อเปลี่ยนจุดที่ดำเนินการเพื่อให้เกิดความสมดุลของกำลังไฟฟ้าเมื่อปรับเปลี่ยนโหมดใหม่ ตัวควบคุมจะทำการดำเนินงานด้วยตนเองหลังจากการติดตามโหลดโดยไม่ต้องรอคำสั่งจาก CC หรือ MC ตัวอื่น รูปที่ 2.4 แสดงคุณลักษณะของกำลังและความถี่ที่ใช้ใน MC สำหรับการควบคุมกำลังและความถี่ (P-f Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 คุณลักษณะครุของกำลังจริงเทียบกับความถี่

ในโหมดแยกอิสระโหนดของไมโครกริดจะได้รับพลังงานจากทั้งกริดหลักและจากแหล่งจ่ายขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค เมื่อแหล่งจ่ายจากกริดหลักเกิดการหยุดชะงัก (Interrupt) เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ไมโครกริดจะสลับเปลี่ยนเป็นโหมดแยกอิสระ ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงโหมดการทำงานมุมเฟสของแรงดันที่แหล่งจ่ายจะเปลี่ยนแปลงตาม นำไปสู่เกิดการตกของกำลังไฟฟ้าขาออกได้อย่างชัดเจน ทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลง โดยในกรณีนี้แหล่งจ่ายแต่ละตัวจะมีการจัดสรรภาระเสียใหม่โดยไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้ามาจาก CC ยกตัวอย่างเช่น กำหนดให้ แหล่งจ่าย 2 แหล่งดำเนินการที่ความถี่ปกติที่สุดที่ความจุ P_{1max} และ P_{2max} ในโหมดเชื่อมต่อกับกริด นั้นจะทำงานที่ความถี่พื้นฐานในการส่งกำลัง P_{01} และ P_{02} ตามลำดับ เมื่อความต้องการโหนดเปลี่ยนไป แหล่งจ่ายจะทำงานที่ความถี่ที่แตกต่างอันเป็นเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของมุมกำลังและความถี่ในการทำงานที่ลดลงจากปกติกับสัดส่วนความแตกต่างของภาระ ซึ่งจะเกิดเป็นคุณลักษณะของกำลังกับความถี่ (P-f) ดังรูปที่ 2.4 เมื่อความถี่ในไมโครกริดลดลงแล้ว ดังนั้น MC ก็ต้องรวบรวมฟังก์ชันเพื่อฟื้นฟูการทำงานที่ความถี่พิถีพิถันกับการแบ่งสัดส่วนโหนดที่เหมาะสมและควบคุมความถี่ไม่ให้เกินช่วง $\pm 5\%$

2. ตัวควบคุมส่วนกลาง (Central Controller: CC)

CC มีอำนาจควบคุมผ่านโมดูลการจัดการพลังงานและโมดูลป้องกันในการทำงานร่วมกัน

โมดูลการจัดการพลังงาน

โมดูลการจัดการพลังงาน (Energy Management Module : EMM) ประกอบด้วยฟังก์ชันการควบคุมต่างๆ สำหรับการควบคุมพลังงานในไมโครกริดได้อย่างเหมาะสม

ฟังก์ชันพื้นฐานในการควบคุมแหล่งจ่าย

EMM แบบพื้นฐานจะทำการหาจุดอ้างอิงของกำลังไฟฟ้าจริงและแรงดันของ MC ในขณะที่พื้นฐานควบคุมแหล่งจ่ายจะทำงานผ่าน MC เท่านั้น ค่าแรงดันอ้างอิงจะถูกเก็บในแถบที่ตั้งไว้เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในการรักษาระดับแรงดันในไมโครกริด

การควบคุมแรงดัน (Voltage Control)

โดยปกติโหลดและตัวประกอบกำลังในไมโครกริดจะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนขนาดแรงดันและมุมเฟสของแหล่งจ่ายเพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนในการควบคุม EMM การควบคุมแรงดันและตัวประกอบกำลังของแหล่งจ่ายจะถูกบังคับผ่าน MC และไม่ผ่าน EMM ซึ่ง EMM จะทำเพียงแค่หาค่าแรงดันอ้างอิงไปยัง MC สำหรับบัสที่สำคัญบางบัสของไมโครกริด เมื่อสายป้อนในการจำหน่ายไม่ได้จ่ายโหลดเต็มพิกัดในไมโครกริด อาจมีแนวโน้มแรงดันเพิ่มขึ้นที่สายป้อน ในการหยุดการเพิ่มของแรงดันนั้น MC จะต้องคอยตรวจสอบแรงดันและจัดการป้อนค่ากลับไปให้ EMM จากนั้น EMM จะนำค่าแรงดันอ้างอิงไปยัง MC เพื่อปรับให้ได้แรงดันที่ต้องการ เป้าหมายของวิธีการควบคุมเช่นนี้คือ เพื่อควบคุมให้ภาระทำงานที่เป็นค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1 (Unity p.f.) และควบคุมให้แรงดันไม่ใช้เกินช่วง $\pm 5\%$

การควบคุมตัวประกอบกำลัง (Power Factor Control)

ตัวประกอบกำลังจึงขึ้นอยู่กับโหลด MC ทุกตัวจะมีการควบคุมค่าตัวประกอบกำลังพร้อมคุณสมบัติฟังก์ชันการติดตามโหลด อย่างไรก็ตามสามารถนำเอาอิเล็กทรอนิกส์กำลังของแหล่งจ่ายบางตัวซึ่งอาจประกอบด้วยการควบคุมตัวประกอบกำลังมาควบคุมมุมเฟสของกระแสและลดฮาร์มอนิกส์ให้น้อยที่สุด คุณลักษณะการควบคุมตัวประกอบกำลังจะถูกจัดรวมไว้ใน MC ดังเช่นนั้นแล้ว จึงไม่ปรากฏคำสั่งใดๆ จาก EMM อีก ยกเว้นค่าแรงดันอ้างอิง

การควบคุมความเร็วต้นกำลัง (Prime Mover Speed Control)

คุณลักษณะนี้จะมีสำหรับแหล่งจ่ายที่มีการหมุนด้วยต้นกำลังเช่น กังหันแก๊สขนาดเล็ก (Micro Turbine) หรือ กังหันลม เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดของไมโครกริด ต้นกำลังของแหล่งจ่ายจะต้องปรับความเร็วให้สอดคล้องกับภาวะโหลดใหม่ ในที่นี้ต้นกำลังที่ความเร็วคงที่ควรจะเป็นเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของต้นกำลังโดยประสิทธิภาพจะเป็นฟังก์ชันของเชื้อเพลิงที่ใช้และความเร็ว ดังนั้น การควบคุมความเร็วของต้นกำลังควรทำให้เกิดความมั่นใจว่าจะทำให้แหล่งจ่ายเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการออกแบบเบื้องต้น การควบคุมนี้จะถูกบังคับผ่าน MC

การรักษาระดับความถี่ (Frequency Regulation)

ไมโครกริด สามารถผลิตกำลังได้ตามต้องการด้วยการช่วยจากระบบคอนเวอร์เตอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Power Electronic Converter) ของ MC ของมันเอง ในโหมดเชื่อมต่อกับกริด MC ไม่จำเป็นต้องสั่งการควบคุมกำลังและความถี่ (P-f Control) ผ่านคุณลักษณะดังรูปของกำลังและความถี่เพราะการเปลี่ยนความถี่จะสามารถดูแลตัวเองได้ ส่วนในโหมดแยกอิสระ MC จำเป็นต้องสั่งการควบคุมกำลังและความถี่ เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบความถี่คงที่ สำหรับทั้งสองโหมดการทำงาน EMM จะไม่รบกวนคุณลักษณะการควบคุมของ MC อย่างไรก็ตาม EMM ก็ยังคงคอยตรวจสอบความถี่ในไมโครกริดตลอด และเมื่อใดที่ความถี่ตกและไม่ได้รับการฟื้นฟูจาก MC ภายในระยะเวลาที่กำหนด EMM จะทำการปลดโหลดอย่างรวดเร็วในยามฉุกเฉิน เพื่อให้เกิดความสมดุลของกำลังไฟฟ้าและทำให้เกิดเสถียรภาพในไมโครกริด

2.1.8 แหล่งพลังงานในไมโครกริด

เป็นแหล่งจ่ายขนาดเล็ก (Micro Sources) มีวัตถุประสงค์เพื่อรวมนำข้อดีของแหล่งกำเนิดพลังงานที่ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำและแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อน (Combined Heat and Power : CHP) ที่มีประสิทธิภาพสูง DER ที่ใช้ในไมโครกริดมีดังนี้

- Combined Heat and Power
- Wind Energy Conversion
- Solar Photovoltaic
- Small-scale Hydroelectric
- Storage Device

2.1.9 การจัดการและปัญหาการดำเนินงานของไมโครกริด

ด้านสิ่งแวดล้อม

การลดการใช้เชื้อเพลิงแก๊สให้น้อยที่สุดและลดการแพร่ของ CO2 ให้น้อยที่สุด ลดการกำหนดใช้ในวงจำกัดโดยควรจะเป็นกระบวนการเผาไหม้ในขั้นสุดท้ายเพื่อช่วยระบบทั้งหมด เมื่อแหล่งจ่ายงานอื่นทำงานได้ไม่เพียงพอ การใช้ไมโครกริดและแหล่งผลิตพลังงานย่อยควรช่วยกันเพิ่มความตระหนัก ของการใช้พลังงานไปในทางที่เหมาะสม

ด้านการใช้งานและการเงิน

การลดค่าความสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าในการส่งและการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าและช่วยลดการลงทุนสร้างการขยายของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจัดการใช้ทรัพย์สินในวงจำกัด

ด้านคุณภาพของกำลังไฟฟ้า

มีความสอดคล้องกันอย่างดีระหว่างการจ่ายพลังงานไฟฟ้าพอเพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า การลดผลกระทบของ ค่ากำลังไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, ความถี่ในการใช้งานได้ เมื่อระบบส่งจ่ายและผลิตกำลังไฟฟ้าของส่วนกลางขาดหายไป

2.2 ระบบมัลติเอเจนต์ (Multi-Agent System)

พื้นฐานแนวคิดเทคโนโลยีเอเจนต์มีต้นกำเนิดมาจากสาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มีการคิดค้นแนวทางใหม่ เพื่อที่จะทำให้โปรแกรม มีความฉลาดและสามารถนำไปพัฒนาและใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ทำให้มีการริเริ่มแนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีเอเจนต์ขึ้นมา ภายใต้กลุ่มวิจัยปัญญาประดิษฐ์ [Wooldridge,1996]

2.2.1 คุณสมบัติของเอเจนต์

Wooldridge และ Jennings ได้กำหนดคุณสมบัติของเอเจนต์ไว้ดังนี้

- Autonomy เป็นคุณสมบัติที่เอเจนต์สามารถที่จะกระทำสิ่งต่างๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องถูกสั่งจากผู้ใดโดยตรง และเอเจนต์สามารถที่จะควบคุมการกระทำของตนเองได้
- Reactivity เอเจนต์สามารถเข้าใจสิ่งแวดล้อมของตนเองได้และสามารถแสดงการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภายในสิ่งแวดล้อมนั้นได้
- Pro-activeness เอเจนต์ไม่ได้เพียงตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้นแต่สามารถที่จะแสดงพฤติกรรมเพื่อมุ่งไปสู่เป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ตั้งแต่เริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Social Ability เอเจนทสามารถติดต่อกับเอเจนทด้วยกันได้โดยผ่านทางภาษาสื่อสารในรูปแบบของเอเจนท และสามารถที่จะทำงานร่วมกับเอเจนทอื่นเพื่อที่จะให้บรรลุเป้าหมาย จากคำนิยามและคุณสมบัติต่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปคำนิยามเอเจนทใน ความหมายดังนี้ “เอเจนทเป็นชิ้นส่วนของโปรแกรมที่สามารถทำงานได้ด้วยตนเองโดยมีเป้าหมาย เป็นของตนเอง สามารถที่จะติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนทเพื่อให้บริการและร้องขอบริการกับเอเจนท อื่นได้”

เอเจนท์ (Agent) คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งทำงานอัตโนมัติแทนคนหรือองค์กร โดยแต่ละเอเจนท์จะมีเธรด (Thread) การประมวลผลของตนเองซึ่งสามารถเริ่มการทำงานเองได้ ทั้งนี้ OMG ได้แบ่งประเภทของเอเจนท์ไว้เป็น 2 ประเภท คือ

- เอเจนท์แบบสเตชันนารี (Stationary Agent)
- เอเจนท์แบบเคลื่อนที่ (Mobile Agent)

เอเจนท์แบบสเตชันนารี

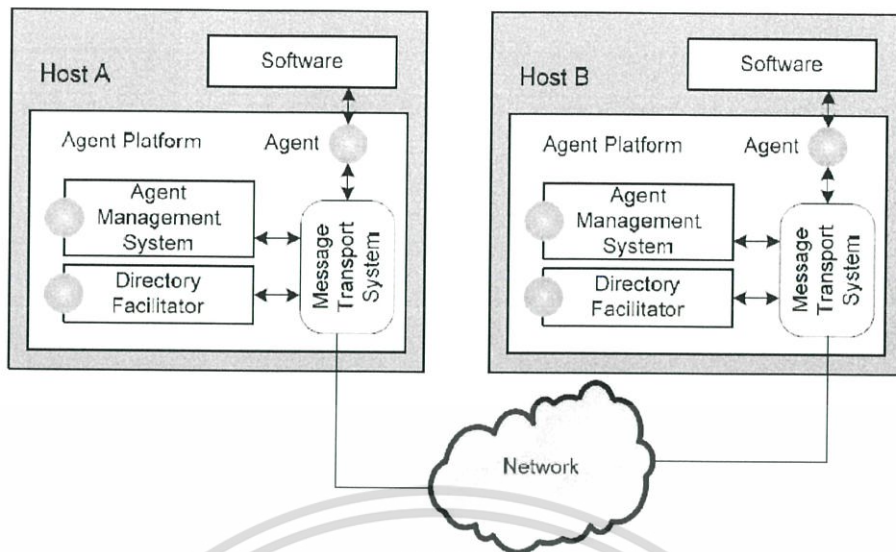
เอเจนท์แบบสเตชันนารี คือ เอเจนท์ที่จะทำการประมวลผลได้เฉพาะบนระบบที่ สร้างเอเจนท์นั้น หากเอเจนท์ต้องการติดต่อกับเอเจนท์ที่อยู่ในระบบอื่นก็ต้องทำการติดต่อผ่าน กลไกการติดต่อสื่อสารด้วยการเรียกใช้ส่วนการทำงานระยะไกล (Remote Procedure Call หรือ RPC)

เอเจนท์แบบเคลื่อนที่

เอเจนท์แบบเคลื่อนที่ คือ เอเจนท์ที่ไม่ถูกผูกติดกับระบบที่เอเจนท์เริ่มต้นทำการ ประมวลผล โดยสามารถเคลื่อนที่ตัวมันเองไปยังระบบอื่นในเครือข่ายได้ ความสามารถในการเคลื่อน ที่นี้ทำให้เอเจนท์เคลื่อนย้ายไปยังระบบเอเจนท์ปลายทางที่มีวัตถุที่เอเจนท์ต้องการติดต่อด้วยได้ และ เอเจนท์อาจใช้บริการของวัตถุนั้นได้

2.2.2 แบบจำลองการจัดการเอเจนท์ (Agent Management Reference Model)

องค์ประกอบระบบเอเจนท์เคลื่อนที่เสนอในข้อกำหนดตามมาตรฐานของ FIPA แสดงด้วยแบบจำลองการจัดการเอเจนท์ (Agent Management Reference Model) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแบบจำลองนี้ได้ถูกนำไปพัฒนาเป็นเอเจนท์แพลตฟอร์ม (Agent Platform ; AP) หรือระบบ เอเจนท์นั่นเอง



รูปที่ 2.5 แบบจำลองระบบเอเจนต์ตามมาตรฐาน FIPA (FIPA 2002)

องค์ประกอบของระบบเอเจนต์ในแบบจำลองการจัดการเอเจนต์ตามมาตรฐาน FIPA ประกอบด้วย

Agent Platform (AP)

AP เป็นระบบเอเจนต์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพที่เอเจนต์สามารถทำงานได้ โดยระบบเอเจนต์ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบปฏิบัติการซอฟต์แวร์สนับสนุนเอเจนต์ องค์ประกอบในการจัดการเอเจนต์และเอเจนต์ การออกแบบภายในระบบเอเจนต์เป็นประเด็นสำหรับผู้พัฒนาระบบเอเจนต์และไม่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐานใน FIPA โดยเอเจนต์ที่อยู่ในระบบเอเจนต์เดียวกันไม่จำเป็นต้องอยู่บนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันก็ได้ ทั้งนี้แต่ละระบบเอเจนต์จะทำงานโดยใช้หนึ่ง Process และแต่ละเอเจนต์จะทำงานโดยใช้เธรด

Agent Management System (AMS)

AMS เป็นเอเจนต์ที่ทำการควบคุมการเข้าถึงและการใช้งานระบบเอเจนต์โดยภายในหนึ่งระบบเอเจนต์จะมีได้เพียงหนึ่ง AMS เท่านั้น หน้าที่ของ AMS ได้แก่ การเก็บรายการ Agent Identifiers (AID) ของเอเจนต์ที่ลงทะเบียนในระบบ การจัดการการดำเนินการเกี่ยวกับเอเจนต์ เช่น การสร้างเอเจนต์ การลบเอเจนต์และการย้ายเอเจนต์เข้ามาหรือออกจากระบบเอเจนต์อื่น การสอบถามรายละเอียดของระบบเอเจนต์อื่นก่อนที่จะดำเนินการย้ายเอเจนต์ และการดูแลวงจรชีวิตของเอเจนต์ที่ลงทะเบียนไว้กับระบบเอเจนต์

Directory Facilitator (DF)

DF เป็นเอเจนต์ที่ให้บริการไดเรกทอรี (Directory) สำหรับการสืบค้นบริการของเอเจนต์ ทำหน้าที่ในการเก็บรักษารายการบริการของเอเจนต์และให้บริการข้อมูลเกี่ยวกับเอเจนต์ที่อยู่ในไดเรกทอรีแก่เอเจนต์อย่างเท่าเทียมกันโดยเอเจนต์สามารถลงทะเบียนบริการของตนไว้กับ DF หรือสอบถาม DF ว่าเอเจนต์อื่นมีบริการอะไรบ้าง ซึ่งแต่ละระบบเอเจนต์อาจมีหลาย DF ร่วมกันทำงาน เอเจนต์ที่ต้องการให้บริการแก่เอเจนต์อื่นต้องลงทะเบียนรายละเอียดบริการของเอเจนต์ไว้กับ DF แต่เอเจนต์อาจจะปฏิเสธการให้บริการได้หลังจากที่ทำการลงทะเบียนไว้แล้ว ดังนั้น DF จึงไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรับรองความเป็นปัจจุบันของข้อมูลที่ลงทะเบียนไว้ นอกจากนี้เอเจนต์อาจทำการถอนการลงทะเบียนที่ DF หรือแก้ไขรายละเอียดเอเจนต์ได้ในภายหลัง

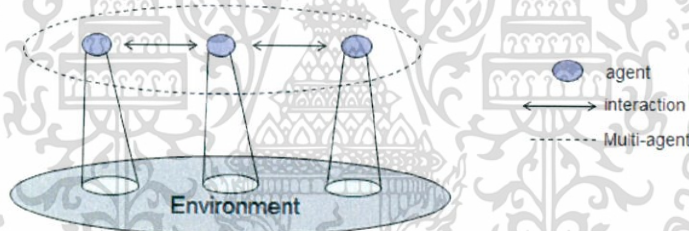
Message Transport System (MTS)

MTS ทำหน้าที่ในการส่งข้อความระหว่างเอเจนต์โดยการรับส่งข้อความระหว่างเอเจนต์จะทำผ่าน MTS เท่านั้น

ดังนั้นเอเจนต์จึงเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำงานแบบอัตโนมัติและติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์เพื่อทำงานตามที่กำหนด เอเจนต์ติดต่อสื่อสารกันโดยใช้ภาษาในการติดต่อสื่อสารของเอเจนต์ (Agent Communication Language หรือ ACL) และอาจมีบริการสำหรับให้เอเจนต์อื่นสามารถเรียกใช้งานได้ นอกจากนี้เอเจนต์ต้องมีเจ้าของเอเจนต์ (Owner) ซึ่งอาจเป็นคนหรือองค์กร และมีชื่อเอเจนต์เพื่อใช้ในการอ้างอิงถึง (Agent Identifier หรือ AID) และติดต่อกับเอเจนต์อื่น

2.2.3 คุณลักษณะของระบบมัลติเอเจนต์

ระบบมัลติเอเจนต์ คือระบบที่ประกอบไปด้วยเอเจนต์ที่มากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งเอเจนต์ภายในระบบจะต้องสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยที่เป้าหมายของเอเจนต์หนึ่งสามารถทำให้เป้าหมายของอีกเอเจนต์หนึ่งบรรลุได้ และเอเจนต์สามารถตอบโต้กับสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน และเอเจนต์สามารถตอบโต้กับสิ่งแวดล้อมได้เช่นกันดังรูปแบบทั่วไปแสดงในภาพประกอบรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบทั่วไปของระบบมัลติเอเจนต์

2.2.4 การติดต่อสื่อสารระหว่างเอเจนต์

เมื่อเอเจนต์ต้องการสื่อสารกับเอเจนต์อื่น มีหลายวิธีที่สามารถทำได้คือ การติดต่อกันโดยตรงโดยใช้ภาษาเดียวกัน หรือทำการติดต่อผ่านตัวแปลภาษา หรือตัวอำนวยความสะดวก และด้วยวิธีนี้ต้องรู้ว่าทำอะไรถึงจะติดต่อกับตัวแปลภาษาได้ และทำให้ตัวแปลภาษาติดต่อกับเอเจนต์อื่นได้

พื้นฐานของภาษาประกอบไปด้วย ไวยากรณ์และรูปแบบของข้อความ หากพิจารณาให้ลึกไปกว่านี้ มีคำแปลและมีความหมาย ไวยากรณ์นั้นสามารถเข้าใจได้ง่าย แต่ความหมายนั้นเป็นเรื่องที่ทำความเข้าใจได้ยาก ตัวอย่างเช่นถ้าเอเจนต์สองตัวสื่อสารกันด้วยการใช้ภาษาอังกฤษอาจเกิดการสับสนได้ ถ้าเอเจนต์ตัวหนึ่งกล่าวถึง Boot และ Bonnet กับอีกตัวหนึ่งกล่าวถึง Trunk และ Hood ดังนั้นทั้งคู่ต้องรวมแบ่งปันคำศัพท์และความหมายกัน โดยการแบ่งปันศัพท์เรียกว่า Ontology

ในหมวดของความรู้ที่ต่างกันต่างก็มี Ontology ของตนเอง เช่น ในทางการแพทย์หรือทางด้านคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเมื่อ เอเจนต์ที่ต้องการทำการติดต่อสื่อสาร ต้องแน่ใจว่าสามารถเข้าใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ และความหมายกันได ตัวอย่างเช่น XML (eXtensible Markup Language) ด้รับการยอมรับในวงการอุตสาหกรรม และมีการใช้งานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอย่างกว้าง ใน XML จะใช้ DTD (Data Type Definitoin) ในการกำหนด Ontology และอธิบายความหายของ HTML ก็ถูกสร้างโดยการใช้ XML ถัดไปจะแนะนำถึงภาษาที่ใช้ในการศึกษาของเอเจนต์ ACL (Agent Communication Language) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

Knowledge Query and Manipulation Language (KQML)

KQML ช่วยให้ Framework และโปรแกรมสำหรับเอเจนต์สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและความรู้ โดยที่ KQML ถูกคิดค้นขึ้นโดย DARPA Knowledge Sharing Effort โดยการศึกษาจะเน้นความสนใจเกี่ยวกับรูปแบบของข้อความ และ กติกาวิธีการ (Protocol) สำหรับจัดการกับข้อความระหว่างที่เอเจนต์กำลังทำงานอยู่ มีการประกาศคำสั่งที่เอเจนต์จะต้องทำงาน และมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานสำหรับเอเจนต์ที่ทำหน้าที่แบ่งปันความรู้ผ่านเอเจนต์พิเศษที่จะทำหน้าที่เรียกว่า Facilitators ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนเลขานุการสำหรับเอเจนต์ที่คอยอำนวยความสะดวกดูแลการสื่อสารประสานงานบริการ

ข้อความของ KQML เราจะเรียกว่า Performatives ซึ่งเป็นคำที่มาจากทฤษฎี Speech-act ประกอบไปด้วยข้อความหลายรูปแบบของ Speech act ได้แก่ Directives ซึ่งเป็นการแสดงคำสั่ง (Command) หรือคำร้องขอ (Request) แต่ละข้อความก็จะระบุถึงการกระทำที่ต่างกันออกไปโดยมีการประกาศข้อความต่าง ๆ เป็นจำนวนมากใน KQML ซึ่งเอเจนต์ สนับสนุน บางส่วนเท่านั้น Performatives เป็นคำสั่งสำหรับ KQML การนำ Performatives มาใช้ทำให้เอเจนต์สามารถที่จะทำการร้องขอข้อมูล ส่งข้อมูลไปยังเอเจนต์อื่น เพื่อขอใช้บริการ หรือให้บริการกับเอเจนต์อื่นได้

KQML ใช้ Topologies เพื่อให้แน่ใจว่าเอเจนต์สองตัวสามารถที่สื่อสารกันในภาษาเดียวกัน และสามารถที่จะแปลความหมายในคำสั่งในภาษานั้นได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่นเมื่อเราพูดภาษาอังกฤษว่า Java เราอาจนึกถึงกาแฟ หรือ เกาะในมหาสมุทร หรือแม้แต่ภาษาโปรแกรม ซึ่งสำคัญมากใน KQML ที่ต้องกำจัดการกำกวมเหล่านี้ โดยการนำเอา Topologies มาใช้

KQML เขารหัสข้อมูลในข้อความเป็นสามระดับคือ Content, Message และ Communication ตัวอย่างของ KQML เมื่อ Joe สอบถามราคาจากคลังสินค้าของ SUN จะได้ KQML ดังนี้

(ask-one

: sender Joe

: content (real price = sun.price())

: reciever stock-server

: reply-with sun-stock

: language java

KQML Performative คือ Ask-one ผู้รับข้อความคือ Agent ที่มี ชื่อว่า Stock-server โดยประโยค :content จะอยู่ในระดับ Content และในประโยค : sender , : receiver และ Reply-with จะอยู่ในระดับของ Communication ที่เหลือคือ :language และ :ontology เป็นระดับของ Message โดยที่เราสามารถส่งข้อความที่มีเฉพาะบางส่วน หรือ ใช้ในภาษาที่ต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Topology ที่ต่างกันได้ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงในส่วนของข้อความได้ แต่ในส่วนของ Ask-one ที่เป็น Performative จะต้องคงไว้

เอเจนต์สองตัวใดๆ ที่ต้องการสื่อสารกันด้วย KQML จะต้องสื่อสารผ่านทาง KQML Facilitator หรือ Matchmaker Agent สื่อสารกับ Matchmaker ผ่านทางข้อความ KQML มาตรฐาน โดยที่เอเจนต์สามารถที่จะลงทะเบียนเพื่อเป็นผู้ให้บริการ หรือผู้ให้บริการโดยใช้ Performative Advertise Agent สามารถที่จะทำการ Recommend เอเจนต์อื่นได้โดยการใช้ข้อความ Recommend, Recruit และ Broke Performative ได้ และ Matchmaker จะทำหน้าที่บริการ สถานที่นัดพบ และสร้างสังคมสำหรับเอเจนต์เมื่อมีการสื่อสารกัน ข้อสังเกต Matchmaker ไม่สามารถที่จะยืนยันความน่าเชื่อถือของเอเจนต์ที่ทำการลงทะเบียนให้บริการได้ นั่นคือจะทราบได้อย่างไรว่าเอเจนต์นั้นสามารถให้ข้อมูลที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม Matchmaker ก็ทำหน้าที่สำคัญในระบบมัลติเอเจนต์

KQML ถูกนำไปใช้กับหลายๆ โปรแกรมประยุกต์ระบบมัลติเอเจนต์ แต่ไม่ได้หมายความว่า KQML เอเจนต์ ตัวหนึ่งจะสามารถคุยกับอีกตัวหนึ่งได้ทันที โดยส่วนมากแล้ว การสร้าง KQML มักจะขึ้นกับ Performatives และวิธีการที่ได้ทำการระบุไว้

ไม่ว่าจะระบบมัลติเอเจนต์ทุกระบบจะเห็นว่า KQML เป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่ก็ยังเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็น KQML ที่ถูกพัฒนาไปใช้เป็น ACL ในมาตรฐาน FIPA

2.3 การพัฒนาระบบมัลติเอเจนต์ด้วย Boris

Boris เป็นแพลตฟอร์มของการสำหรับการพัฒนา Multi-Agent Systems (MAS) ซึ่ง Boris ถูกพัฒนามาจากการค้นคว้า และวิจัยเพื่อการทำงานจริงในด้านของระบบมัลติเอเจนต์ โดยที่ Boris ถูกออกแบบให้รองรับการทำงานของเอเจนต์ซึ่งสามารถใช้งานได้ง่ายสำหรับผู้ศึกษาใหม่ Boris จะจำลอง Application Programming Interface ซึ่งสร้างขึ้นจากพื้นฐานโดย Java

2.3.1 การติดตั้ง Boris

การติดตั้ง Boris สามารถดาวน์โหลดไฟล์ที่เป็นไฟล์ Jar ไว้ไฟล์เดียวแล้วสามารถใช้งานได้เลย เมื่อทำการดาวน์โหลดไฟล์ที่เป็น Jar ไฟล์ไว้แล้ว จะสามารถดำเนินการพัฒนาระบบมัลติเอเจนต์ผ่าน API ของ Java ได้ โดยขั้นตอนต่อไปนี้จะบ่งบอกการใช้งาน

1. ดาวน์โหลด และเซฟโปรแกรม Boris.jar ลงใน workspace
2. ตั้งค่า classpath โดยกำหนด Boris.jar ไว้ด้วย ตัวอย่างเช่น
CLASSPATH=.;F:\dev\jars\boris.jar;

จากนั้นจะสามารถทำการเขียนโปรแกรม Java ให้ใช้เอเจนต์ ได้จาก Boris โดยในการใช้งาน Boris ทุกงานเขียนโปรแกรมจะต้องมีการเพิ่ม Statements ที่เกี่ยวข้องประกาศไว้ที่ด้านบนของโปรแกรม Java ที่ต้องการใช้งานร่วมกับ Boris ด้วย

boris.kernel ประกอบด้วยฟังก์ชันสำคัญในการทำงานของ Boris

boris.monitor ประกอบด้วย Console ของ Boris

boris.utils ประกอบด้วยคำสั่งต่างๆ ในการพัฒนาโปรแกรมควบคู่กับ Boris

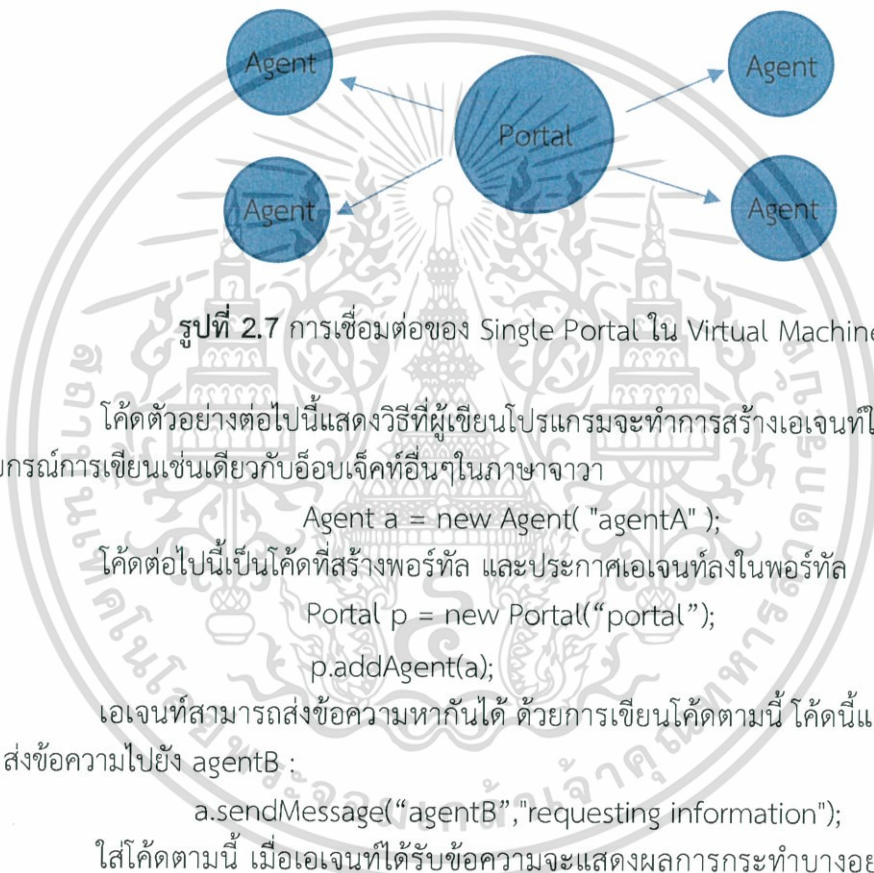
ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดฉบับสมบูรณ์ได้จากเอกสารประกอบ API

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แนวคิดของ Boris

เอเจนต์ใน Boris ที่ถูกโปรแกรมขึ้นจะถูกคาดหวังจากผู้ใช้งานให้ทำงานเป็นเอเจนต์ได้ทุกรูปแบบ โดยอย่างแรก เอเจนต์สามารถทำงานเป็น Entities อย่างอิสระได้ หรือทำงานใน Entities ตัวอื่นได้ อย่างที่สอง เอเจนต์สามารถส่งข้อมูลได้ โดยการทำงานในแต่ละคลาสของเอเจนต์ จะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

การสื่อสารระหว่างเอเจนต์จะถูกกระทำผ่านองค์ประกอบของ Platform ที่เรียกว่า Portals เอเจนต์แต่ละตัวจะสื่อสารกันได้ หรือที่เรียกว่าเป็นระบบมัลติเอเจนต์นั้น การสื่อสารจะผ่าน Portals แต่ละตัวที่มีเอเจนต์เป็นสมาชิกอยู่ Portals จะทำให้เอเจนต์สื่อสารกันง่ายขึ้นในระบบคอมพิวเตอร์ที่เป็น Virtual Machine (VM)



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อของ Single Portal ใน Virtual Machine

โค้ดตัวอย่างต่อไปนี้แสดงวิธีที่ผู้เขียนโปรแกรมจะทำการสร้างเอเจนต์ในภาษาจาวา ซึ่งใช้ไวยากรณ์การเขียนเช่นเดียวกับอ็อบเจ็กต์อื่นๆในภาษาจาวา

```
Agent a = new Agent( "agentA" );
```

โค้ดต่อไปนี้เป็นโค้ดที่สร้างพอร์ทัล และประกาศเอเจนต์ลงในพอร์ทัล

```
Portal p = new Portal("portal");
```

```
p.addAgent(a);
```

เอเจนต์สามารถส่งข้อความหากันได้ ด้วยการเขียนโค้ดตามนี้ โค้ดนี้แสดงถึงการที่ agentA ส่งข้อความไปยัง agentB :

```
a.sendMessage("agentB","requesting information");
```

ใส่โค้ดตามนี้ เมื่อเอเจนต์ที่ได้รับข้อความจะแสดงผลการกระทำบางอย่าง ซึ่งเขียนโปรแกรมได้ดังที่แสดงนี้:

```
a . addMessageListener ( new MessageListener( )
```

```
{
```

```
Public void messageReceived( String from, String to, String msg, MsgId msgId )
```

```
{
```

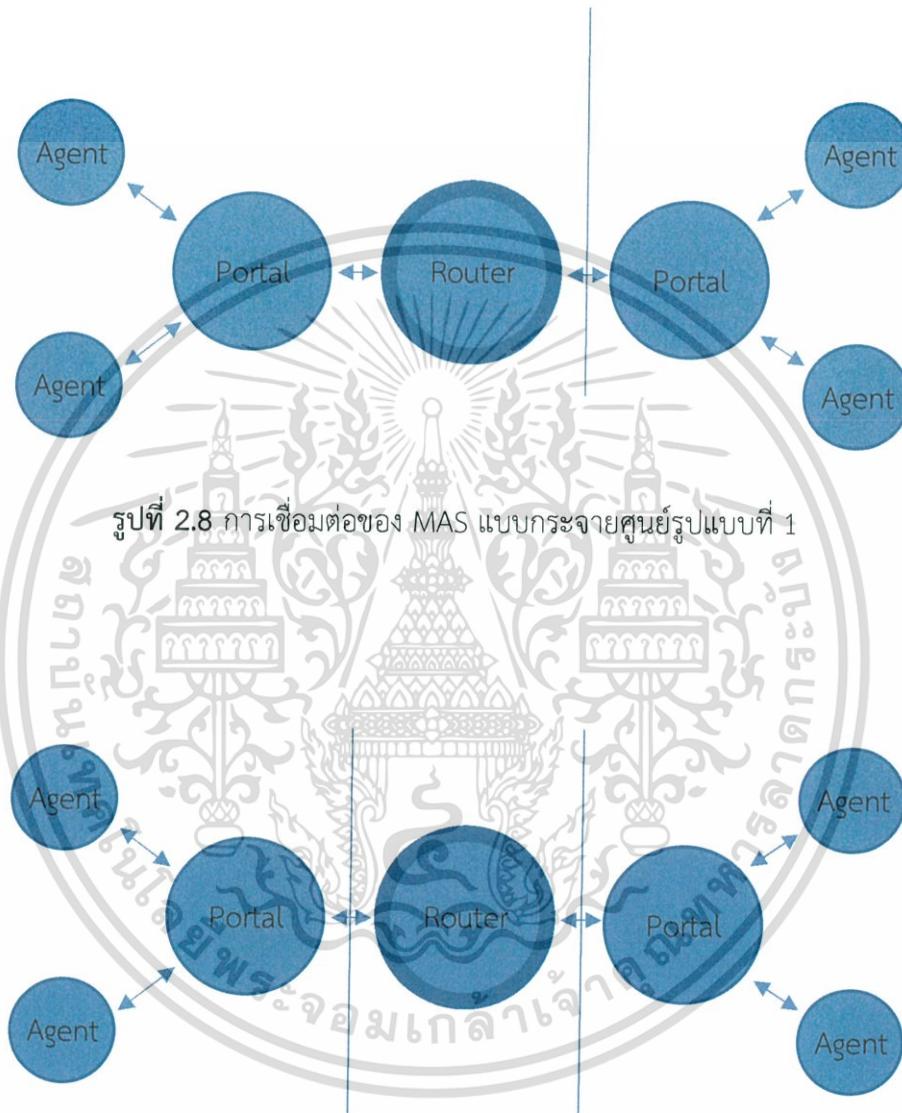
```
// agent functional code
```

```
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยชุดคำสั่ง messageReceived จะทำงานเมื่อเอเจนต์ได้รับข้อความ ซึ่งเอเจนต์จะทำการตัดสินใจบนพื้นฐานของการกระทำที่เกี่ยวข้องกับการรับข้อความ

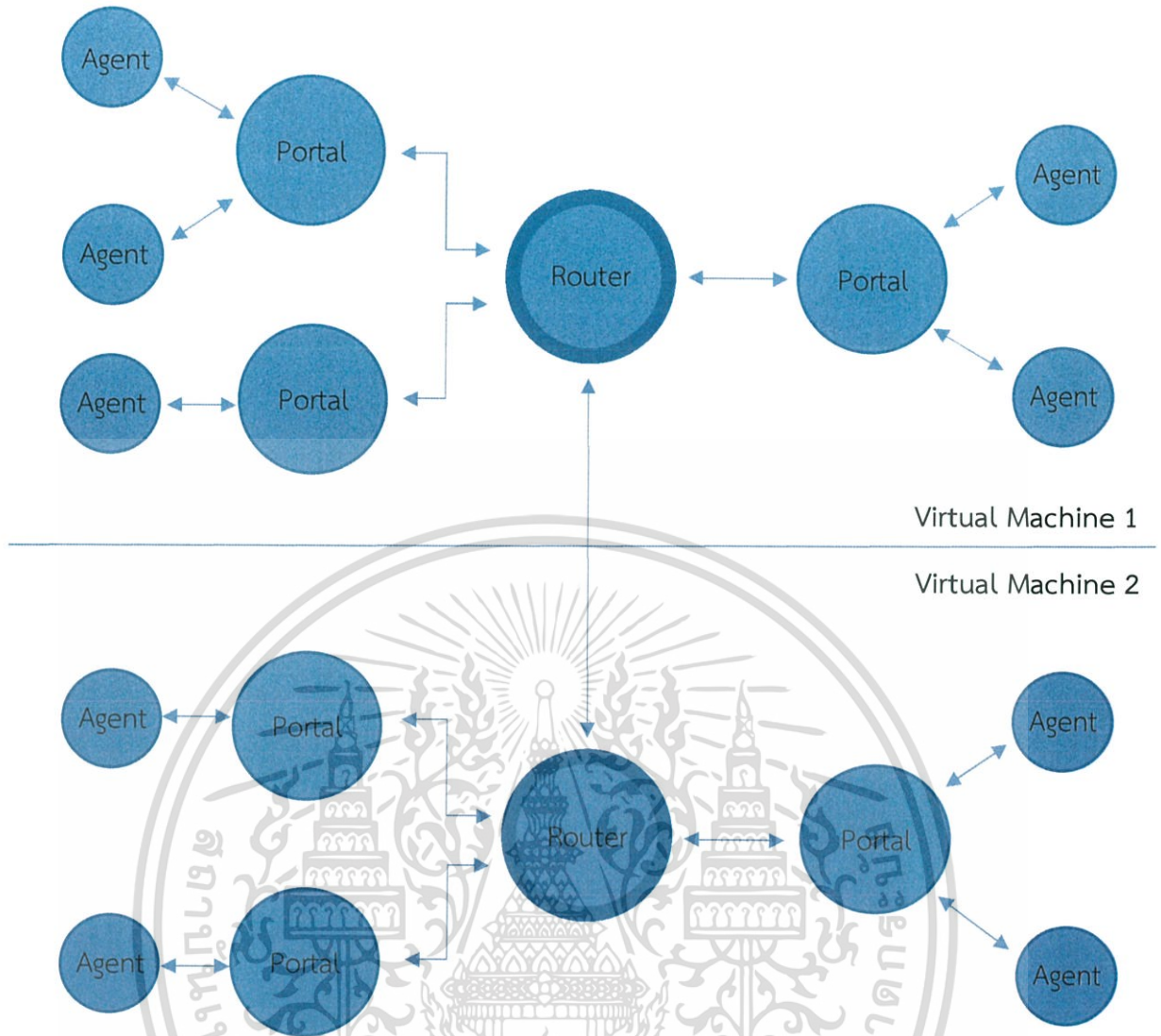
การสื่อสารระหว่าง Virtual Machine ที่แตกต่างกันจะถูกกระทำผ่าน Routers ซึ่ง Portal แต่ละ Portal จะเชื่อมต่อกับอยู่กับ Router เดียวกัน ซึ่งจะทำให้เอเจนต์ที่กระจายอยู่ในแต่ละ Portals สื่อสารถึงกันได้ด้วย



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อของ MAS แบบกระจายศูนย์รูปแบบที่ 1

รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อของ MAS แบบกระจายศูนย์รูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อของ MAS แบบกระจายศูนย์รูปแบบที่ 3

เราท์เตอร์ก็จะถูกสร้างในลักษณะเดียวกัน :

```
Router router = new Router( "routername" );
router.advertiseConnection ( 1234 );
```

เมื่อเราท์เตอร์ถูกประกาศขึ้นมาบนหมายเลขของพอร์ตดังที่แสดงไว้ข้างต้น พอร์ตลและเราท์เตอร์อื่นสามารถสร้างการเชื่อมต่อได้โดยใช้เลขพอร์ตนี้ พอร์ตลและเราท์เตอร์ (Nodes) ใน VMs เครื่องอื่นและ Physical Machines เชื่อมกันผ่านเลขพอร์ตเหมือนใช้ที่อยู่ IP เครื่องของเราท์เตอร์ที่ประกาศขึ้น เอเจนท์ที่ถูกแนบมากับเราท์เตอร์จึงอาจสามารถส่งข้อความหากันเองได้ ซึ่งหมายความว่าเอเจนท์สามารถถูกพัฒนาอย่างอิสระในโครงสร้างของระบบมัลติเอเจนท์ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามการติดตั้งที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดข้างล่างแสดงถึงวิธีที่ พอร์ต p ที่สร้างขึ้นก่อนหน้าจะเชื่อมต่อไปยังเราท์เตอร์ที่ประกาศขึ้น :

```
// to connect to a router advertising on port 1234 on the same physical machine
```

```
p.connectToGrid( 1234 );
```

```
// to connect to a router advertising on port 1234
```

```
// on a different machine with IP address 151.71.6.21
```

```
p.connectToGrid( "156.71.6.21", 1234 );
```

// this method call halts the current thread until a connection has been made.

// This is useful as agents can only send messages after this connection procedure

```
// has been completed
```

```
p.waitForConnection();
```

2.3.3 หน้าต่างคอนโซลการจัดการของ Boris

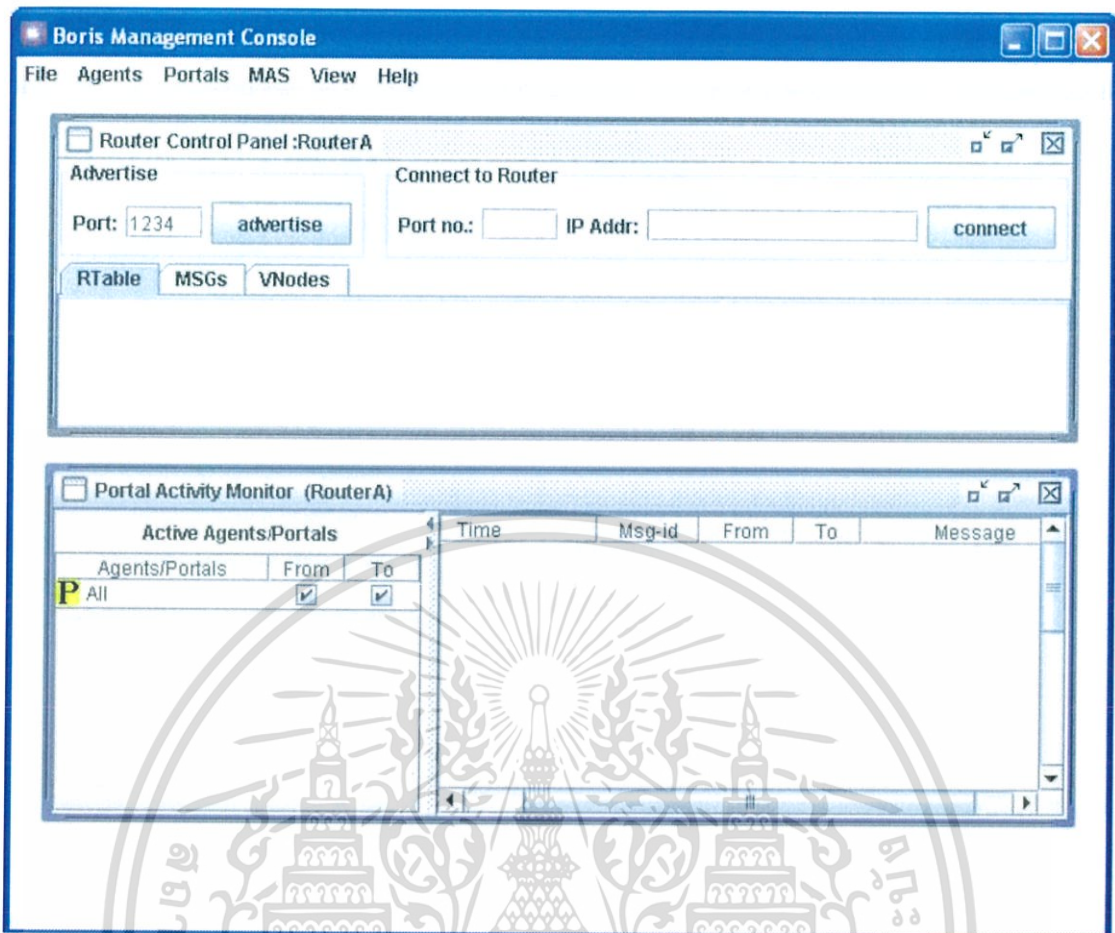
คอนโซลการจัดการของ Boris จะทำให้การตั้งค่าโครงสร้างระบบมัลติเอเจนต์เป็นไปอย่างอัตโนมัติ ซึ่งโปรแกรมเมอร์จะต้องสร้างชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมต่อ โดยตั้งค่าให้มีการเชื่อมต่อพอร์ต และกำหนดเอเจนต์ขึ้นมาเพียงเท่านั้น ในหน้าต่างคอนโซลการจัดการของ Boris ยังมีตัวเลือกในการแก้ไขข้อบกพร่อง การจัดการใช้งาน และแสดงผลของการทำงานในระบบมัลติเอเจนต์ไว้ด้วย ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตสิ่งที่เป็นไปได้ในการทำงานบนโปรแกรม Boris

ในการเริ่มการทำงาน

ดับเบิลคลิกที่ไฟล์ Boris.jar หรือใส่ java-java Boris.jar ในช่อง Command

Prompt

เมื่อหน้าต่างคอนโซลปรากฏขึ้นหน้าต่างจะแสดงว่าต้องการชื่อของเราท์เตอร์เพื่อปรากฏในหน้าต่างการทำงาน และชื่อจะถูกสร้างโดยอัตโนมัติต่อไป



รูปที่ 2.11 หน้าต่างการทำงานของ Boris

หมายเหตุ หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในการเปิดหน้าต่างคอนโซล จะมีข้อความแสดงความผิดพลาดปรากฏขึ้นใน Directory เดียวกับ boris.jar ซึ่งจะรวมถึงผลลัพธ์ต่างๆของระบบในโปรแกรมด้วย

2.3.4 การตั้งค่าการใช้งานเราท์เตอร์

เราท์เตอร์จะถูกสร้างขึ้นอัตโนมัติจากการกำหนดชื่อเข้าไปในโปรแกรม ซึ่งจะปรากฏอยู่ด้านบนของหน้าต่างในแถบ Title Bars ในหน้าต่าง Router Control Panel สามารถใช้ในการตั้งค่าต่างๆ อย่างเช่นการ Advertise ของเลขพอร์ตก่อนทำการเชื่อมต่อ ในการ Advertise นั้น จะต้องใส่เลขพอร์ต และคลิกที่ปุ่ม Advertise ถ้าเราท์เตอร์สามารถทำการ Advertise ได้ข้อความจะสามารถปรากฏบนพื้นที่ประกาศข้อความได้

เมื่อต้องการเชื่อมต่อกับเราท์เตอร์อื่นที่เชื่อมต่ออยู่บนเครื่องเดียวกัน ให้ทำการใส่เลขพอร์ตและทำการเชื่อมต่อต่อไป หากเมื่อต้องการเชื่อมต่อกับเราท์เตอร์กับเครื่องอื่น ให้ใส่ IP Address ไปในช่องและทำการเชื่อมต่อ เอเจนต์ที่เชื่อมต่ออยู่กับพอร์ตที่บนเราท์เตอร์จะสามารถสื่อสารถึงกันได้ด้วยเราท์เตอร์ตัวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การสร้างพอร์ตัล

เมื่อทำการ Advertise เร้าท์เตอร์แล้ว ในการสร้างพอร์ตัลสามารถกระทำได้ดังนี้

1. เลือก Portal ในแถบ Title Bars และเลือก Create New
2. ทำการใส่ชื่อของพอร์ตัลตามที่ต้องการและเลือก OK พอร์ตัลตัวใหม่จะปรากฏขึ้นบนหน้าต่างของโปรแกรม
3. พอร์ตัลตัวนี้จะเชื่อมต่อกับเร้าท์เตอร์ที่ Advertise ไว้แล้ว

2.3.6 การสร้างเอเจนท์

เมื่อมีการสร้างพอร์ตัลขึ้นมาแล้วเอเจนท์จะสามารถถูกสร้างขึ้นเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตัลได้ ซึ่งจะต้องการการประกาศคำสั่งที่เฉพาะ ซึ่งอาจจะต้องใช้ Argument ของชนิดของพอร์ตัลขึ้นมา และ Argument อื่นซึ่งอาจเป็นชนิด String เพื่อใช้สำหรับการประกาศชื่อเอเจนท์

ชุดคำสั่งต่อไปนี้จะแสดงถึงตัวอย่างคลาสในการเรียก InputAgent ซึ่งในคลาสจะเป็น JFrame ซึ่งแสดงกล่องข้อความ หรือ Text Field และปุ่ม ผู้ใช้จะทำการใส่ข้อความลงใน text field และเลือกที่ปุ่ม เมื่อปุ่มถูกกด เอเจนท์จะส่งข้อความไปยังเอเจนท์ที่เรียกคำสั่ง OutAgent

```
import boris.kernel.*;
public class BasicInput extends JFrame
{
    ...
    public BasicInput(Portal iPortal)
    {
        //--- set up agent ----
        final Agent iAgent = new Agent( "InputAgent" );
        iPortal.addAgent(iAgent);
        //--- setup GUI and listeners ---
        final JTextField msg = new JTextField(20);
        JButton submit = new JButton( "Send" );
        submit.addActionListener( new ActionListener()
        {
            public void actionPerformed( ActionEvent e )
            {
                iAgent.sendMessage("OutputAgent", msg.getText() );
            }
        });
        //--- layout GUI ---
        setLayout( new BorderLayout() );
        add( new Label(" Click to send message"), BorderLayout.NORTH );
        add(msg, BorderLayout.CENTER);
        add( submit, BorderLayout.SOUTH );
        //--- final ----
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pack();
setVisible(true);
}

// alternate constructor
public BasicInput(Portal iPortal, String agentName)
{
    //--- set up agent ---
    final Agent iAgent = new Agent( agentName );
    ...
}
}

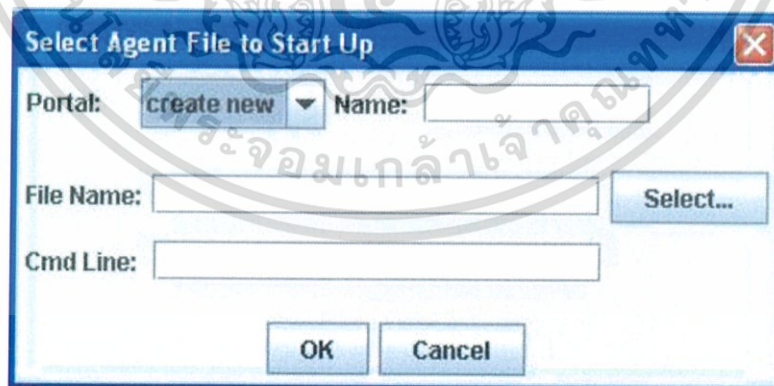
```

หมายเหตุ

1. เริ่มต้นจากการใส่คำสั่ง
2. กำหนดพารามิเตอร์ประเภทพอร์ตัล และทำการเพิ่มเอเจนต์ลงในพอร์ตัล
3. เอเจนต์ที่ประกาศขึ้นจะเป็นครั้งสุดท้าย เพื่อป้องกันการส่งข้อมูลผิดพลาดในกรณีที่มีการประกาศ ActionListener class ไว้ใน Inner Class ของ Submit Button
4. ในบรรทัดสุดท้ายของคำสั่งจะมีการเรียกใช้ Pack และ Visible()

2.3.7 การเริ่มใช้งานเอเจนต์จากคอนโซล

- เลือก Agent จาก Title bars-> เลือก Start Up จะปรากฏเป็นหน้าต่างดังนี้ขึ้นมา



รูปที่ 2.12 การประกาศ Portal บน Boris

- เลือกพอร์ตัลที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้าจากช่อง Portal หรือทำการสร้างใหม่โดยเลือกเป็น Create new ที่พอร์ตัลและใส่ชื่อไว้ในช่อง Name

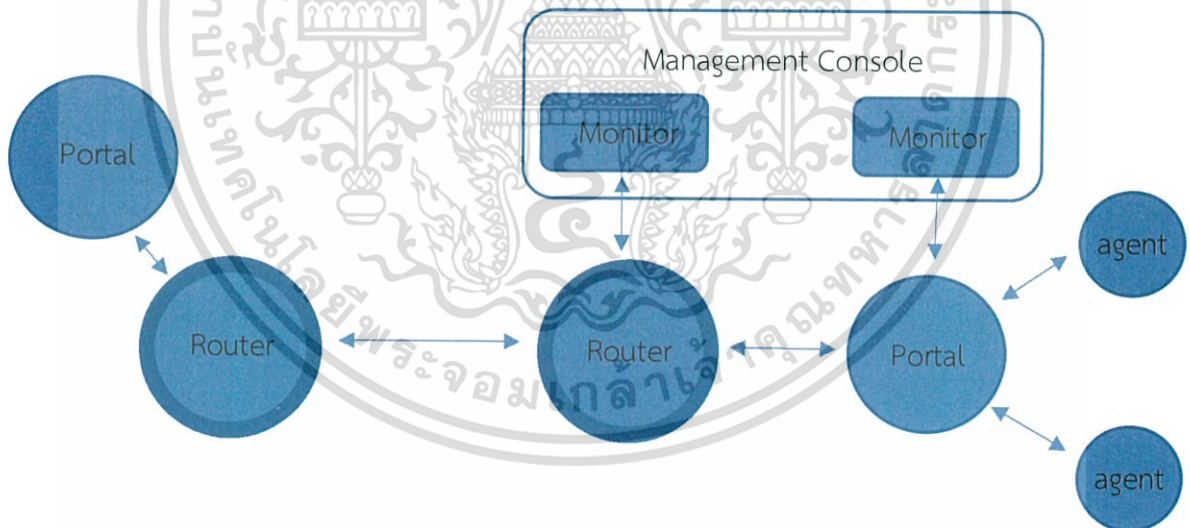
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในช่อง Cmd Line ให้ใส่ Argument เพิ่มเติมเพื่อให้ภายในคลาสมีเอเจนต์รวมอยู่ด้วย หรือเว้นว่างไว้ในกรณีที่มีการดำเนินการไว้แล้ว
- เลือกรุ่น OK เพื่อเริ่มการใช้งานเอเจนต์ หากเอเจนต์ยังไม่ทำงานให้ดูหน้าต่าง Console Window จะปรากฏข้อความ Error ขึ้นเพื่อทำการแก้ไขต่อไป ตัวอย่างข้อความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น:

- an agent of that name is already registered
- the class constructor does not have type Portal as its first parameter, and if it has a second parameter, it is not of type String. The constructor may not have a third parameter.
- agent is not a window type object e.g. JFrame

2.3.8 การใช้งานมอนิเตอร์

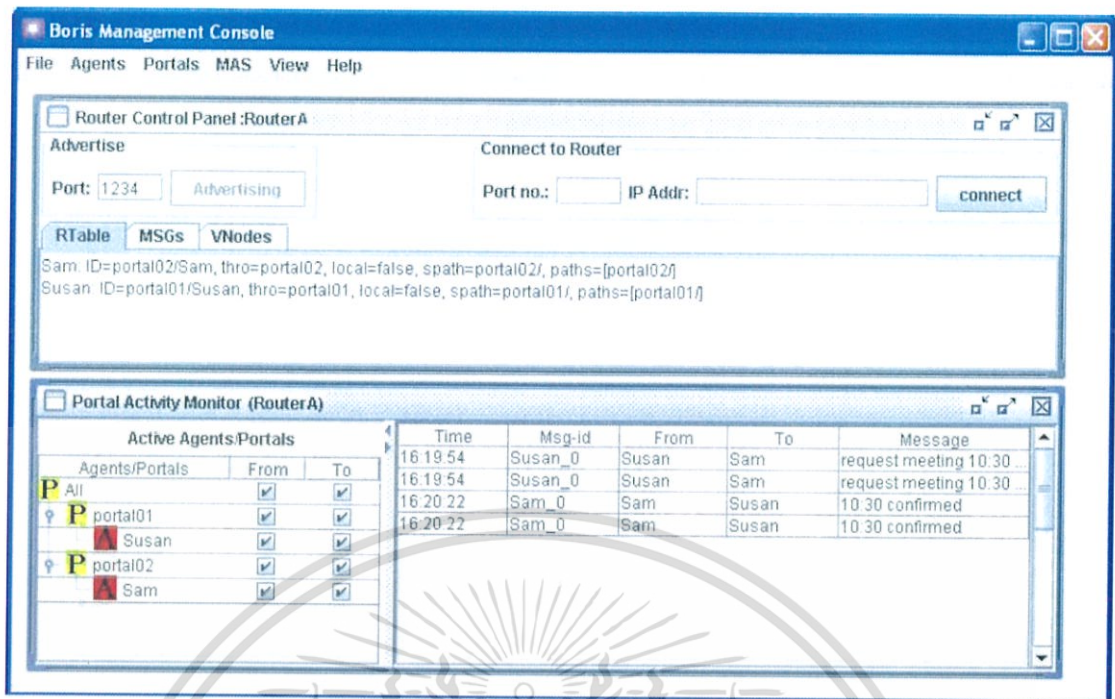
พอร์ทัล และเราท์เตอร์ จะมีหน้าต่างแสดงผลที่เรียกว่า Portal Monitor และ Router Monitor ตามลำดับหน้าต่างแสดงผลนี้จะปรากฏให้เห็นถึงการกระทำต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างเอเจนต์ที่เชื่อมต่ออยู่กับพอร์ทัล และเราท์เตอร์ หน้าต่างแสดงผลนี้จะทำให้นักพัฒนา หรือ ผู้ใช้งานเห็นความเป็นไปได้ง่ายขึ้นในการกระทำงานต่างๆในระดับพอร์ทัล หรือ ระดับเอเจนต์



รูปที่ 2.13 การใช้งานมอนิเตอร์บน Boris

ไดอะแกรมด้านบนแสดงให้เห็นถึงคอนโซลของการจัดการข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับเราท์เตอร์ และพอร์ทัลที่เชื่อมต่อกัน โดยการกระทำอื่นที่เกิดขึ้นในเราท์เตอร์อื่นๆจะไม่ปรากฏทับซ้อนกัน หรือหมายความว่า การกระทำเราท์เตอร์นั้นๆ จะปรากฏในเราท์เตอร์นั้นๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 หน้าต่าง Boris ขณะใช้งาน

หน้าต่าง Portal Activity Monitor จะแสดงผลการกระทำในท่าพอร์ทัล โดย Router Control Panel จะแสดงการเชื่อมต่อของพอร์ทัลที่เชื่อมต่อกับเราเตอร์ตัวนั้นๆ โดยข้อความที่มีการสื่อสารกันจะแสดงในหน้าจอทางด้านขวามือ และช่อง checkbox จะใช้เพื่อเลือกดูการสื่อสารของเอเจนต์ตัวนั้นๆ

2.3.9 การแก้จุดบกพร่อง (Debugging)

เพื่อที่จะทำการรองรับการแก้ไขข้อบกพร่องในโครงสร้าง และการเชื่อมต่อของระบบมัลติเอเจนต์ และทดสอบการเชื่อมต่อ และการทำงานของเอเจนต์ที่ทำงานอย่างอิสระนั้น การกระทำนี้จะถูกเรียกว่าการ DebugAgent ซึ่งเป็นความสามารถของโปรแกรม Boris และกระทำได้ในหน้าต่างคอนโซล

- เลือก Agents -> เลือก Debug Agent จากเมนู หน้าต่างนี้จะปรากฏขึ้น



รูปที่ 2.15 การประกาศเอเจนต์

- เลือกพอร์ทัลที่ต้องการทำการ DebugAgent หรือเลือก Create new และใส่ชื่อลงในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดชื่อเอเจนต์ขึ้นมาเพื่อทำการ Debug เอเจนต์
เมื่อทำการเลือกปุ่ม OK แล้วหน้าต่างแสดงการกระทำของเอเจนต์จะปรากฏขึ้นมานอกจากนี้การกระทำต่างๆจะปรากฏในมอนิเตอร์ของ Portal Activity Monitor ด้วย

inputAgent: messaging data	
Agent	Message
<input type="text"/>	<input type="text"/>

agent message

Clear All
Submit

รูปที่ 2.16 การกระทำบนเอเจนต์

ในหน้าต่างนี้จะสังเกตเห็นได้ว่า เอเจนต์จะส่งข้อความ หรือสื่อสารได้ในระบบมัลติเอเจนต์ โดยการใส่ชื่อของเอเจนต์ที่ต้องการจะสื่อสารด้วย และใส่ข้อความที่ต้องการส่งไปยังเอเจนต์ตัวนั้นๆ จากนั้นเลือก Submit เพื่อทำการส่งข้อความนั้นไป โดยข้อความที่ทำการสื่อสารนั้นควรจะไปปรากฏบนตารางแสดงการกระทำด้านบนด้วย

โดยนอกจากที่ข้อความที่ส่งไปยังเอเจนต์ตัวอื่นๆ จะแสดงผลแล้ว (ในกรณีนี้เอเจนต์ก็จะทำการส่งข้อความคือ Agent01 ที่ปรากฏบนแถบ Title Bars) ข้อความที่รับเข้ามาจากเอเจนต์ตัวนั้นๆต้องแสดงผลในมอนิเตอร์แสดงผลของเอเจนต์ และคอนโซลด้วย

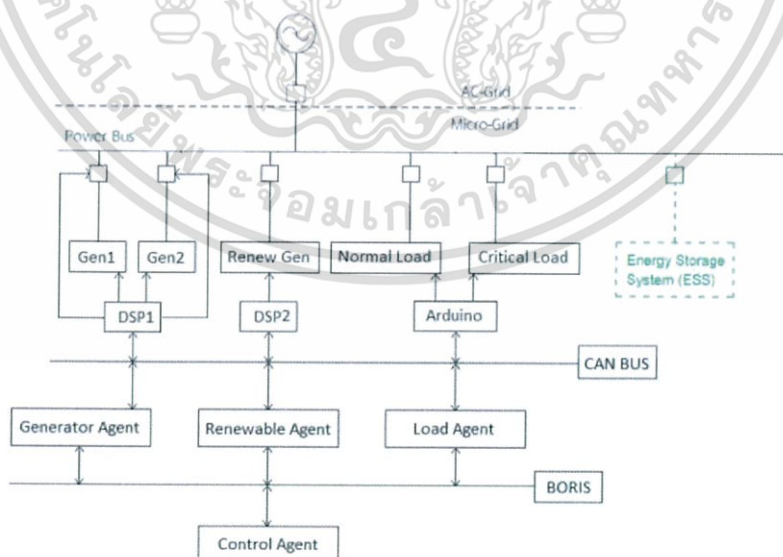
บทที่ 3

การทำงานของมัลติเอเจนต์ในไมโครกริด และการเชื่อมต่อบริเวณสำรองพลังงาน

ในการควบคุมไมโครกริดนั้นจะทำการจำลองเอเจนต์ต่างๆเพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆของระบบที่จะทำหน้าที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็น เจเนอเรเตอร์เอเจนต์ที่แสดงผลการทำงานของแหล่งจ่ายพลังงานที่อยู่ในการทดลอง โหลดเอเจนต์เพื่อทำการควบคุมการทำงานของโหลด คอนโทรลเอเจนต์ ที่ใช้ในการควบคุมโหลดได้บางส่วน และแสดงผลการทำงานได้ การทำงานของเอเจนต์แต่ละตัวจะทำงานกันอย่างอิสระ และประสานงานซึ่งกันและกัน โดยเอเจนต์แต่ละตัวจะทำงานในเงื่อนไขในตัวเอง โดยมีการจัดสรรกำลังไฟฟ้า และคอยรักษาระดับแรงดันด้านโหลดและความถี่ของระบบให้คงที่ จัดการกำลังไฟฟ้าที่ส่งไปที่โหลด และรักษาเสถียรภาพของระบบ

3.1 ระบบไมโครกริดและเอเจนต์สำหรับการทดลอง

ระบบไมโครกริดสำหรับการทดลองเป็นระบบที่เรียกว่า Isolated หรือระบบแยกอิสระ และระบบแบบ Grid-Connected หรือระบบแบบต่อกิดหลัก ในการที่จะให้องค์ประกอบส่วนต่างๆของระบบมีการทำงานร่วมกันได้ จะใช้ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในการประสานงานกัน โดยเอเจนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นซอฟต์แวร์ Platform รูปแบบหนึ่งที่ใช้ Boris เป็นสื่อกลางในการสื่อสารระหว่างเอเจนต์ เอเจนต์ต่างๆจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ผู้ใช้ต้องการ ในการทดลองนี้เอเจนต์จะทำงานประสานกันเพื่อให้เงื่อนไขสำเร็จ โดยในการทำงานของเอเจนต์แต่ละตัวจะมีการแสดงผลการทำงานได้ด้วย เช่นแสดงกำลังไฟฟ้า แสดงสถานการณ์เปิดปิดโหลด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขทั้งสิ้น



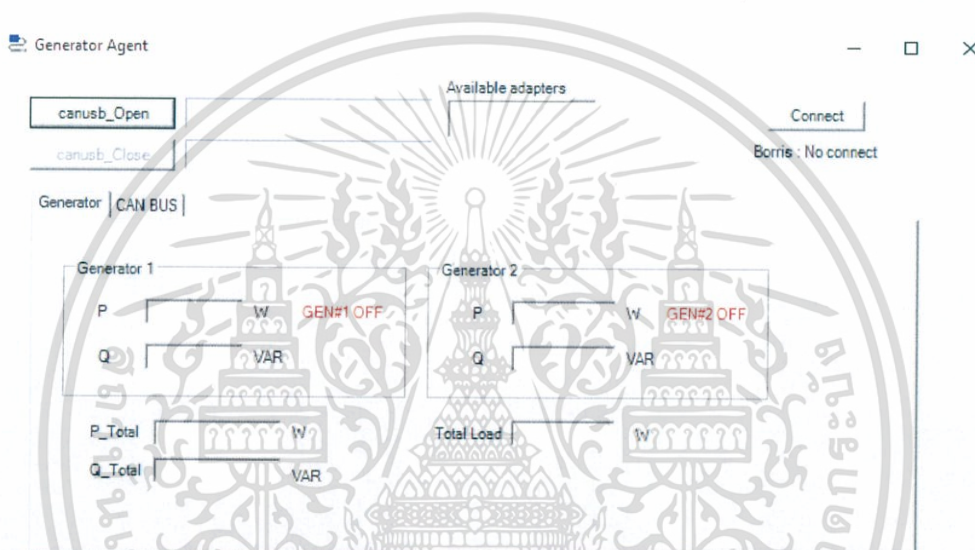
รูปที่ 3.1 ไมโครกริดสาธิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบไมโครกริด

เอเจนต์ที่ใช้ในการทดลองถูกเขียนขึ้นมาด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio C# โดยประกอบด้วยเอเจนต์ที่ทำงานต่าง ๆ กัน และตั้งชื่อตามหน้าที่การทำงาน ในการทดลองนี้ประกอบด้วย เจเนอเรเตอร์เอเจนต์ โหลดเอเจนต์ และคอนโทรลเอเจนต์

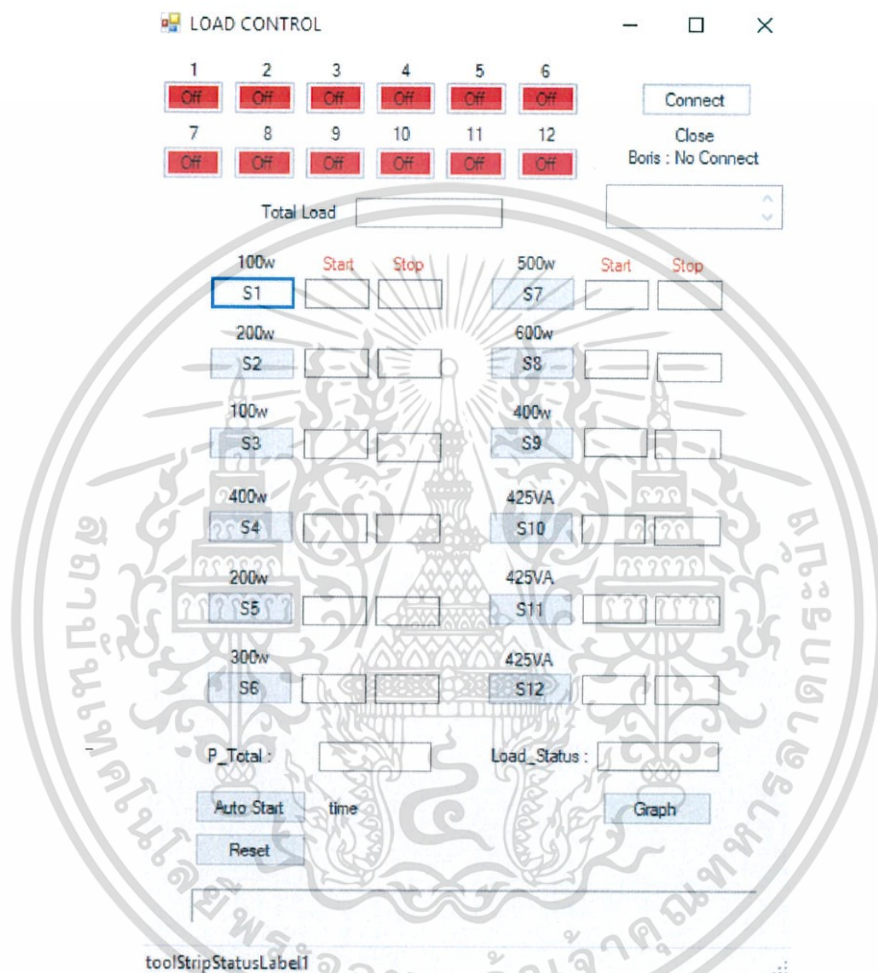
เจเนอเรเตอร์เอเจนต์ (Generator Agent) ทำการรับค่า และแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้ง P และ Q ของแหล่งกำเนิดทั้ง 2 ตัว โดยค่าที่ได้นี้มาจากแหล่งกำเนิดในห้องปฏิบัติการ โดยจะมีการแสดงผลของ P และ Q ของแหล่งกำเนิดทั้ง 2 ตัวรวมกันด้วย ซึ่งค่าที่แสดงจะผ่านกระบวนการ Droop Control แล้วผ่านโปรเซสเซอร์ DSP 2 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมตัวแหล่งกำเนิดทั้ง 2 เครื่อง



รูปที่ 3.2 หน้าต่างการใช้งาน Generator Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

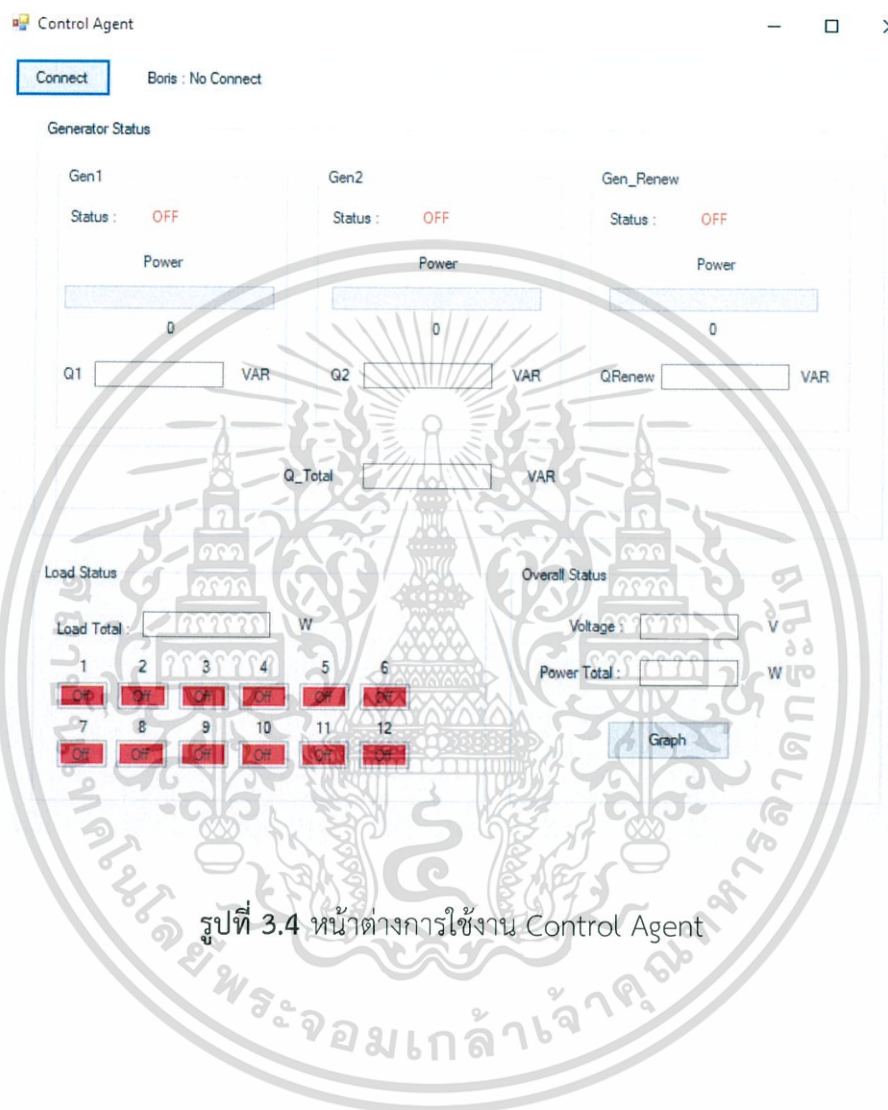
โหลดเอเจนต์ (Load Agent) หน้าที่ใช้ในการจัดการทรัพยากรโหลดโดยการเปิด-ปิด ทั้งนี้ยังมีเงื่อนไขกำหนดขึ้นมาเพื่อทำการ Limiting และ Shading ด้วย โดยมีเงื่อนไขดังนี้คือที่ ต่ำกว่า 1400 W เป็น Enabled Load และ 1400 W ถึง 1800 W เป็น Limiting Load และ 1800W ขึ้นไปเป็น Shading Load ทั้งนี้ยังมีการแสดงผลรวมของโหลดที่เปิดขึ้นมาด้วย



รูปที่ 3.3 หน้าต่างการใช้งาน Load Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนโทรลเอเจนต์ (Control Agent) มีหน้าที่ในการสรุปผลและแสดงผลการทำงานของเอเจนต์ทั้งสองตัวก่อนหน้า โดยมีหน้าที่ดังนี้ แสดงสถานการณ์ทำงานของแหล่งกำเนิดทั้ง 3 ตัว และทำการเปิดปิดโหลดได้



รูปที่ 3.4 หน้าต่างการใช้งาน Control Agent

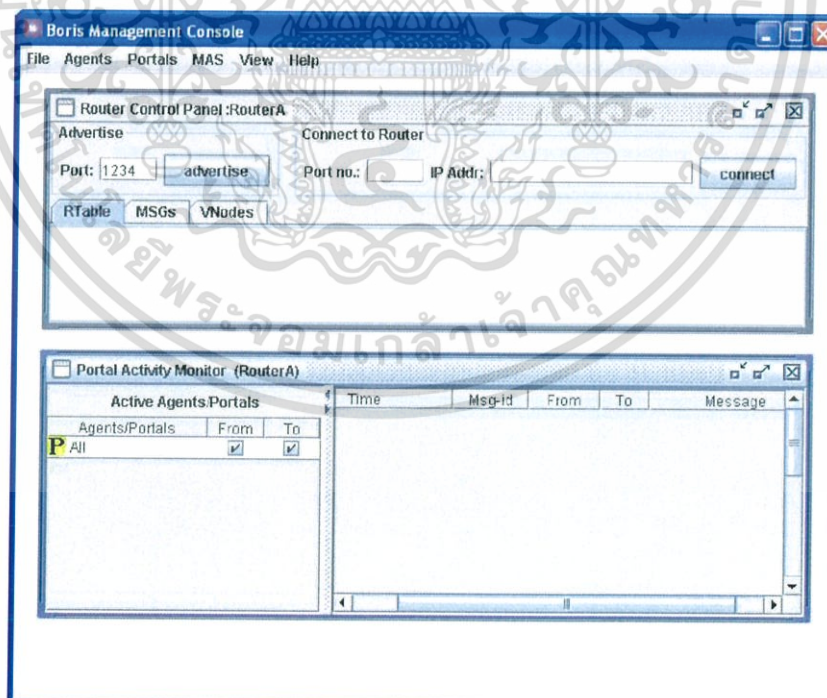
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Renewable Energy เอเจนต์ (Renewable Energy Agent) มีหน้าที่ในการควบคุมและแสดงผลการทำงานของแหล่งจ่ายที่เป็น Renewable Source โดยจะมีเงื่อนไขต่างๆก่อนเริ่มทำงาน



รูปที่ 3.5 หน้าต่างการใช้งาน Renewable Energy Agent

ทั้งนี้ในการเชื่อมต่อเอเจนต์ด้วยกัน เพื่อให้เกิดการสื่อสารจะมีโปรแกรมที่เป็นสื่อกลาง ซึ่งก็คือโปรแกรม Boris โดยจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวกลางเพื่อให้เอเจนต์มาเชื่อมต่อ และการทำการสื่อสารกันต่อไป

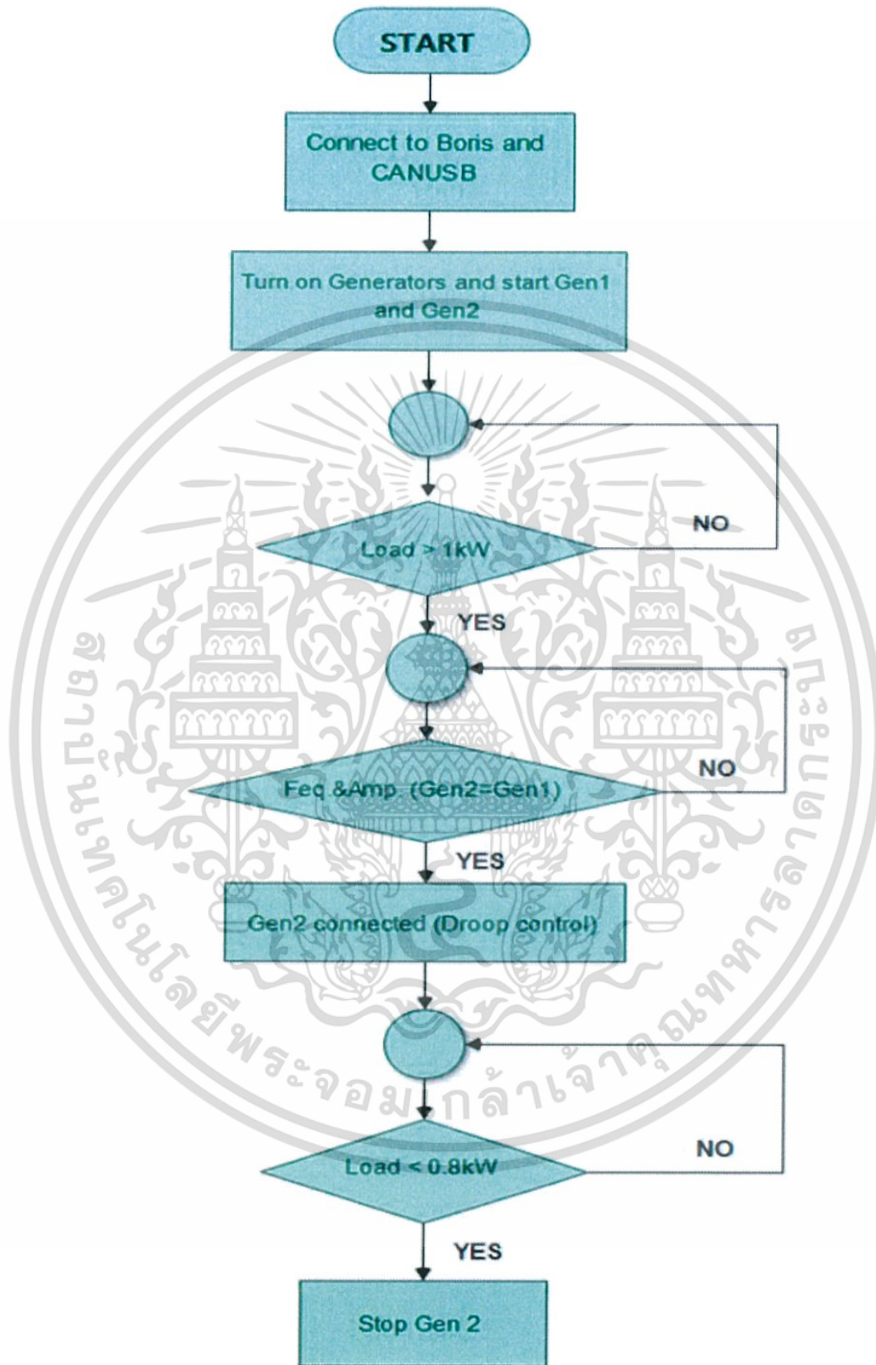


รูปที่ 3.6 หน้าต่างการใช้งาน Boris

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Flowchart และ State Diagram การทำงานของเอเจนต์ต่างๆในระบบ

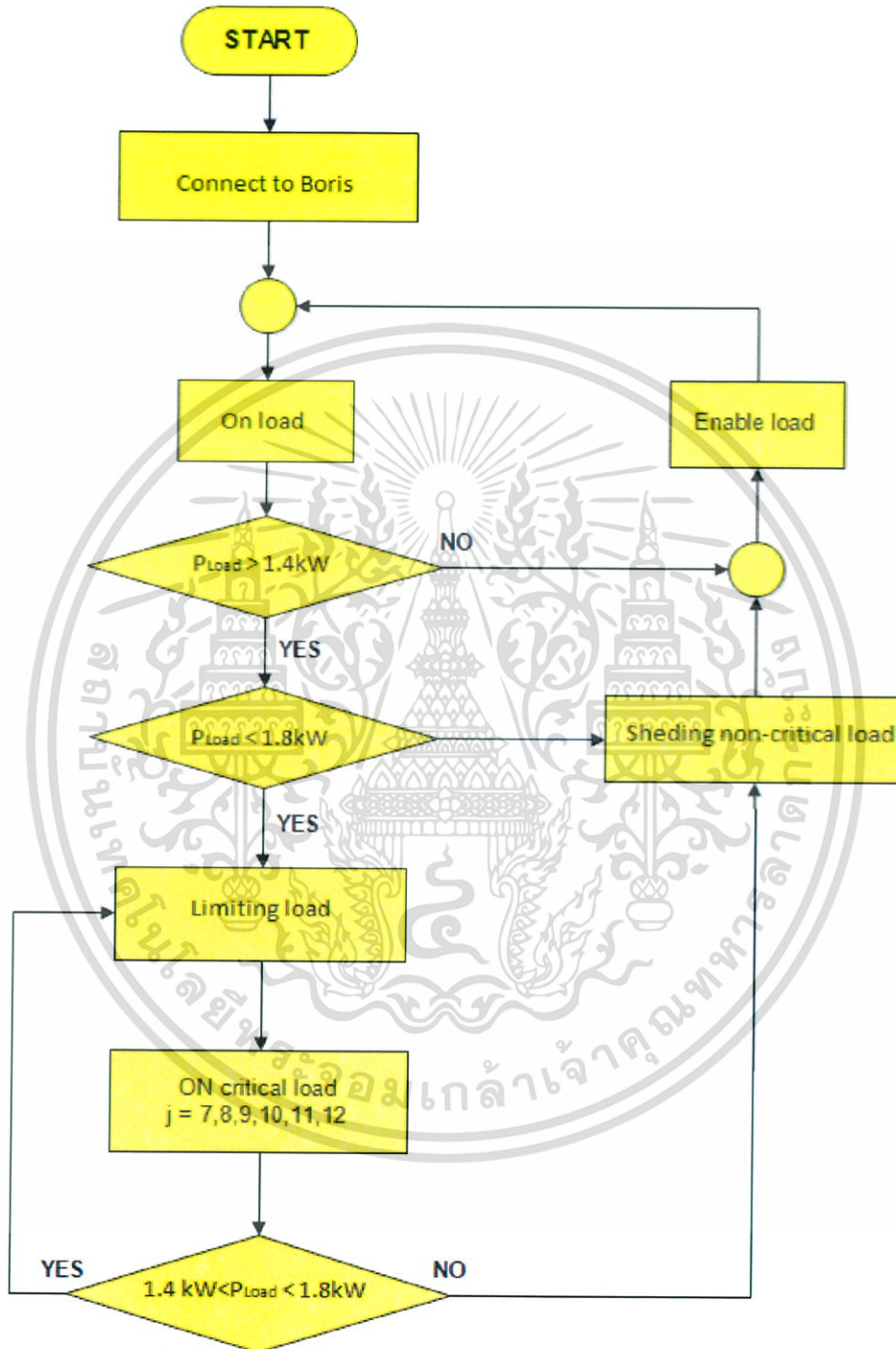
3.3.1 Flowchart ของ Generator Agent



รูปที่ 3.7 Flowchart การทำงานของ Generator Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

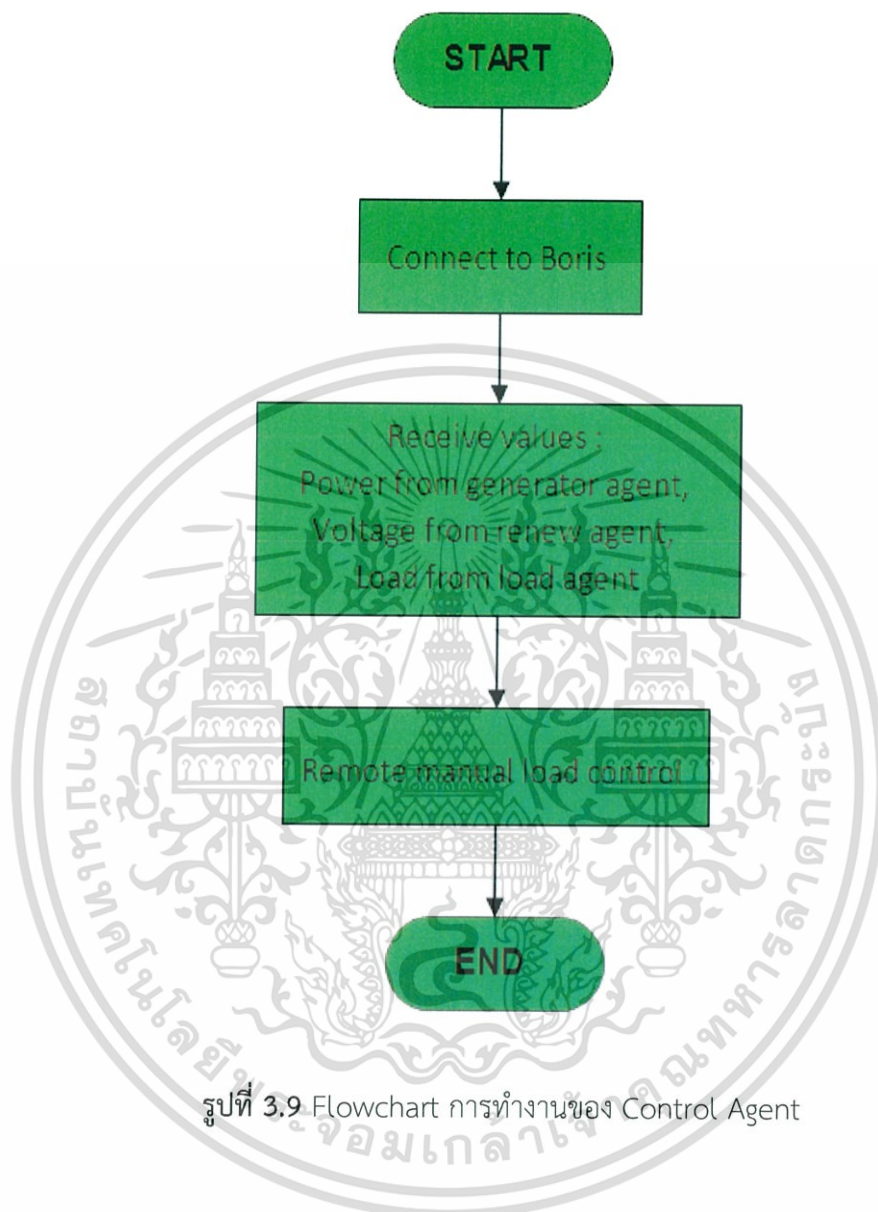
3.3.2 Flowchart ของ Load Agent



รูปที่ 3.8 Flowchart การทำงานของ Load Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

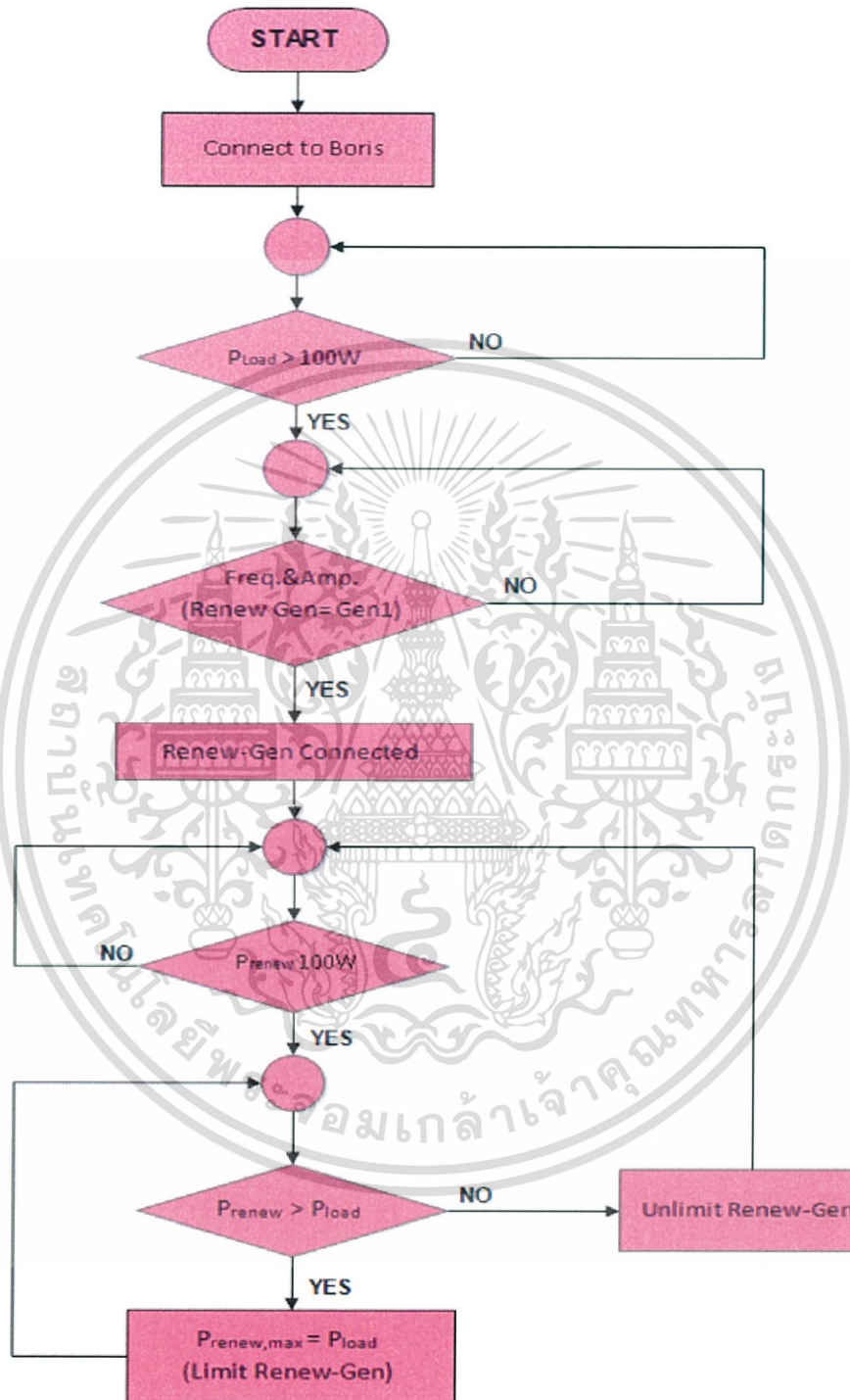
3.3.3 Flowchart ของ Control Agent



รูปที่ 3.9 Flowchart การทำงานของ Control Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

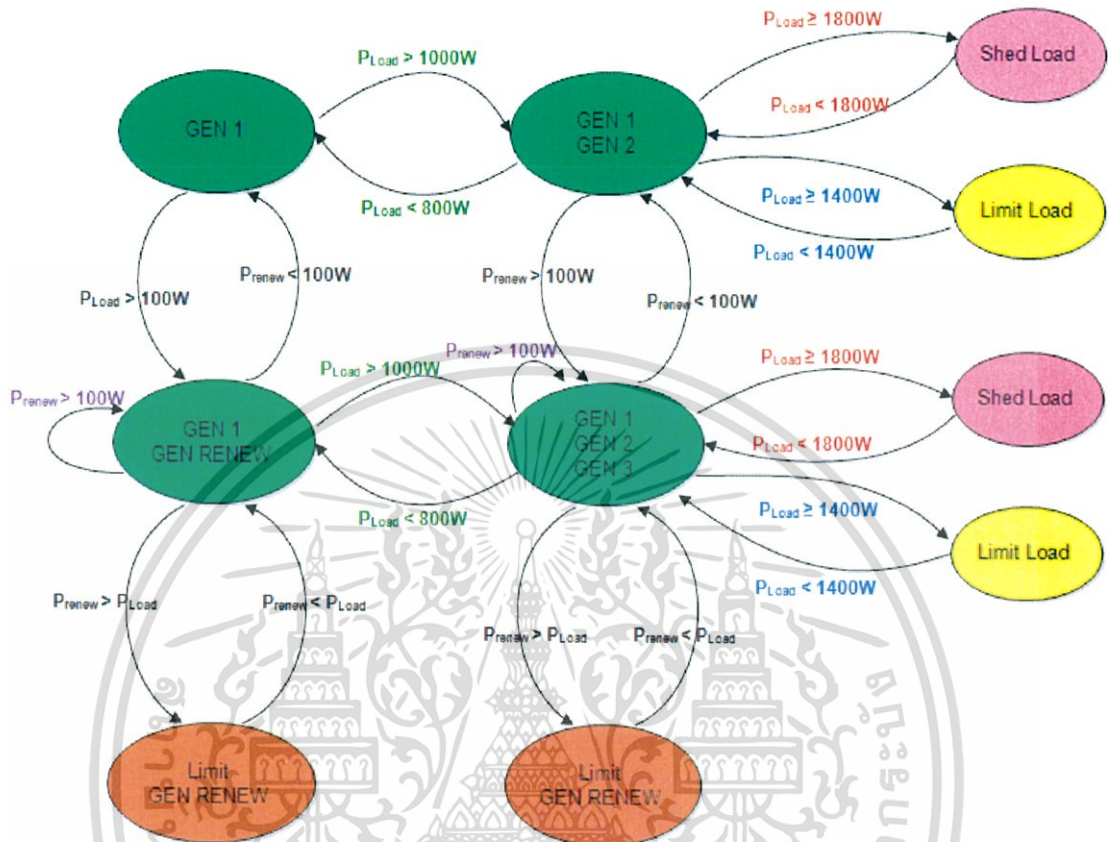
3.3.4 Flowchart ของ Renewable Energy Agent



รูปที่ 3.10 Flowchart การทำงานของ Renewable Energy Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 State Diagram ของ Microgrid Operation System



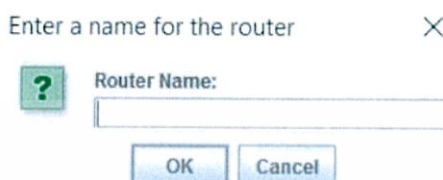
รูปที่ 3.11 State Diagram ของ Microgrid Operation System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการทดลองการทำงานของมัลติเอเจนต์

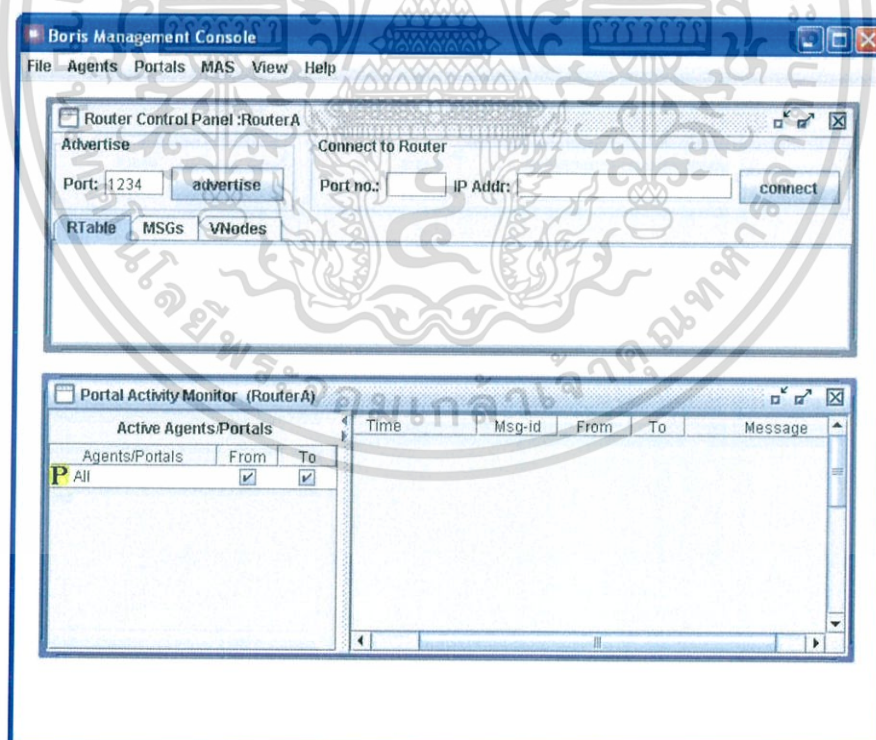
3.4.1 ทำการตั้งค่า Boris

ขั้นตอนที่1 เมื่อทำการเปิดโปรแกรม Boris ขึ้นมาแล้ว โปรแกรมจะให้ทำการตั้งชื่อ Router และทำการยืนยันกด OK



รูปที่ 3.12 ประกาศชื่อเราเตอร์

ขั้นตอนที่2 หลังจากนั้นในช่อง Advertise ทำการตั้งค่า Port ตามที่ได้กำหนดไว้ (ตามเงื่อนไขในโปรแกรมเอเจนต์) และทำการ Advertise หากต้องการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ หรือเอเจนต์อื่นๆ ให้ทำการตั้งค่า Port no. และ IP Addr. ในช่อง Connect to Router จากนั้นทำการ Connect

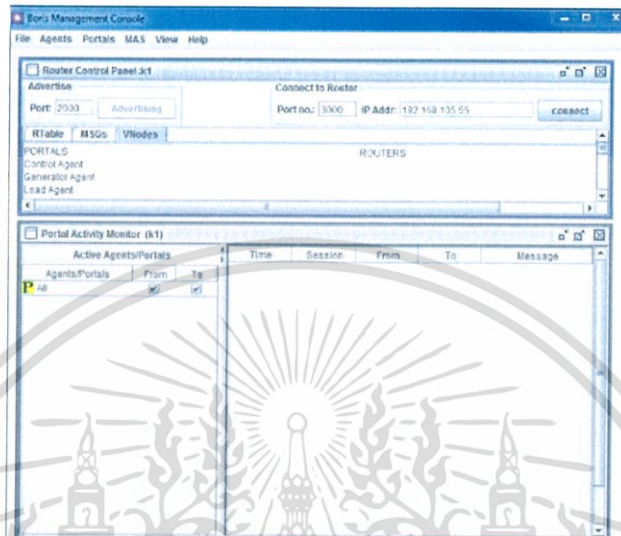


รูปที่ 3.13 ประกาศ Port และทำการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

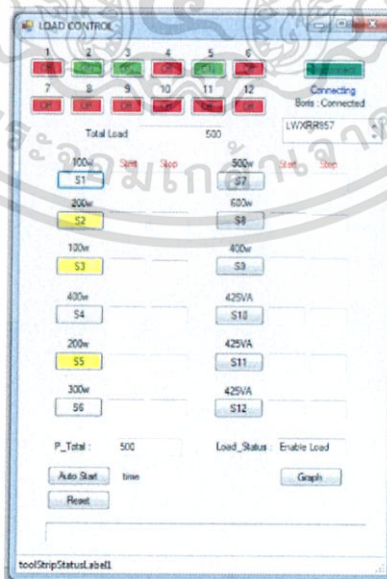
3.4.2 ขั้นตอนการควบคุมระบบ

ขั้นตอนที่ 1 เปิดเอเจนต์ที่ได้ทำการสร้างไว้เรียบร้อยแล้วแต่ละตัว และทำการเปิด Boris จากนั้นเชื่อมต่อเอเจนต์ทุกตัวให้เชื่อมเข้ามาที่ Boris



รูปที่ 3.14 การเชื่อมต่อเอเจนต์ กับ Boris

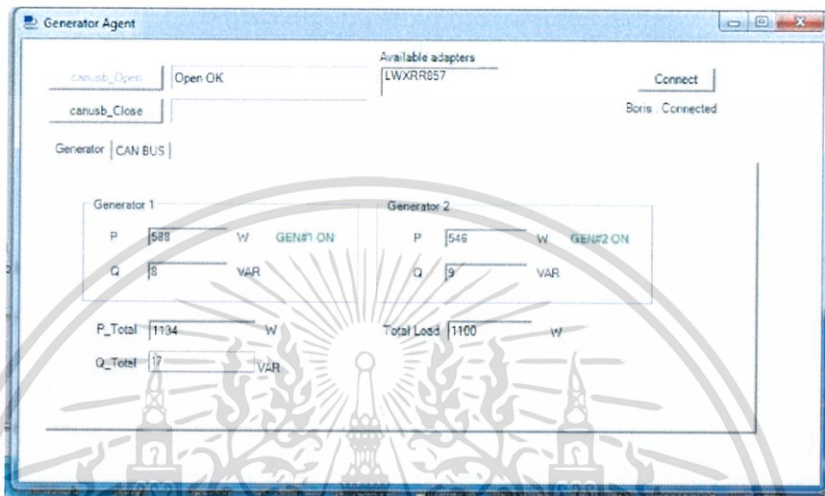
ขั้นตอนที่ 2 พิจารณา Load Agent ทำการทดลองเปิดปิดโหลดที่ Button Switch S ต่างๆ โดยจะมีการแสดงสถานะ P_Total ซึ่งรับค่ามาจาก Generator Agent Total Load สถานะของ โหลดที่เปิดอยู่รวมกัน โดยจะพบได้ว่าที่ Control Agent จะมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 3.15 การใช้งานของ Load Agent

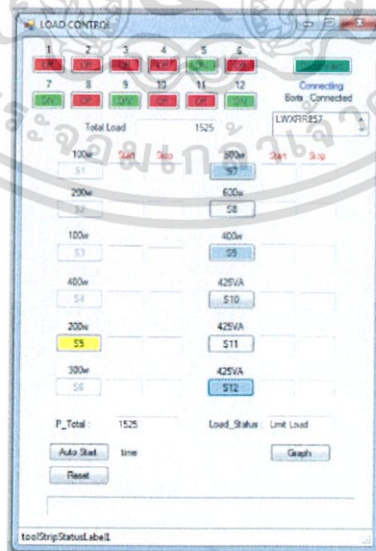
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อทำการทดลองเปิด-ปิดโหลดต่อไป จนเมื่อถึงกำลังไฟฟ้ารวมกันของโหลดประมาณ 1100 w แหล่งกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2 จะเริ่มทำงาน เนื่องจากมีการตั้งเงื่อนไขเอาไว้ และเริ่มกระบวนการ Droop Control ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ Generator Agent จะสังเกตได้ว่าเจเนอเรเตอร์ทั้งสองตัวมีค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.16 Generator ที่พิกัด 1100 W

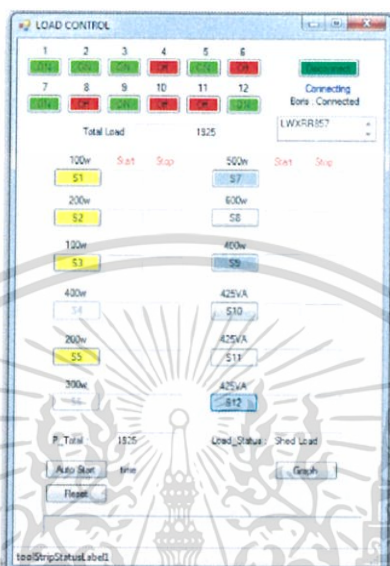
ขั้นตอนที่ 4 ทดลองเปิดโหลดไปที่ประมาณ 1525 W จะพบว่าที่ Load Agent จะมีการจำกัดโหลดไว้ทำให้ไม่สามารถเปิดโหลดเพิ่มอีกได้ เนื่องจากเงื่อนไขที่มีการตั้งไว้ก่อนหน้าให้เกิดการจำกัดโหลด Limiting ที่ 1400 W - 1800 W



รูปที่ 3.17 การ Limit Load ใน Load Agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ทดลองเปิดโหลดไปที่ประมาณ 1925 W จะพบว่าที่ Load Agent จะมีการกำจัดโหลดออกไปทำให้ไม่สามารถเปิดโหลดเพิ่มอีกได้ เนื่องจากเงื่อนไขที่มีการตั้งไว้ก่อนหน้าให้เกิดการจำกัดโหลด Shadding ที่ 1800 W ขึ้นไป



รูปที่ 3.18 การ Shed Load ใน Load Agent

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือกเพิ่มเข้ามา จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มเข้ามาจะช่วยจ่ายให้กับระบบ ซึ่งจะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 และ 2 จะลดลงตามลำดับ

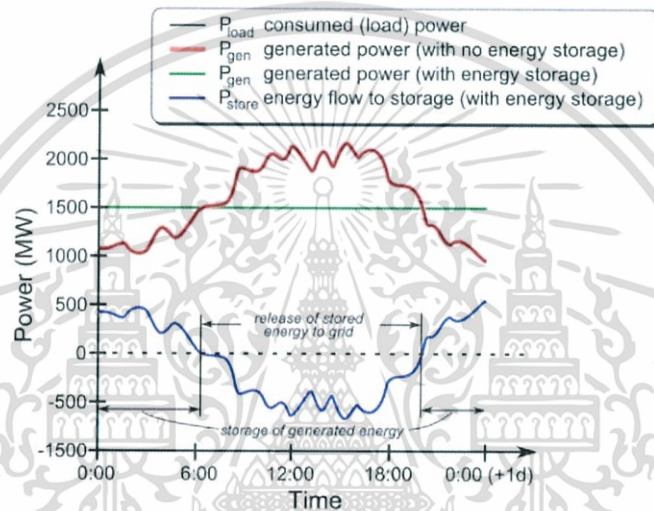


รูปที่ 3.19 Control Agent ขณะที่มีการจ่ายกำลังไปยังภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเชื่อมต่อระบบสำรองพลังงาน

การเชื่อมต่อระบบสำรองพลังงาน (Energy Storage) หรือแบตเตอรี่เข้ากับระบบไมโครกริดเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน Backup ให้กับระบบในสถานการณ์ฉุกเฉิน และจะช่วยปรับปรุงคุณภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริด จากความไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้าโดยเฉพาะการผลิตด้วยพลังงานทดแทนเนื่องจากความผันผวนเนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบจากกระบวนการ P-f Droop Control ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแหล่งพลังงานทดแทน เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความถี่ไฟฟ้ากำลัง



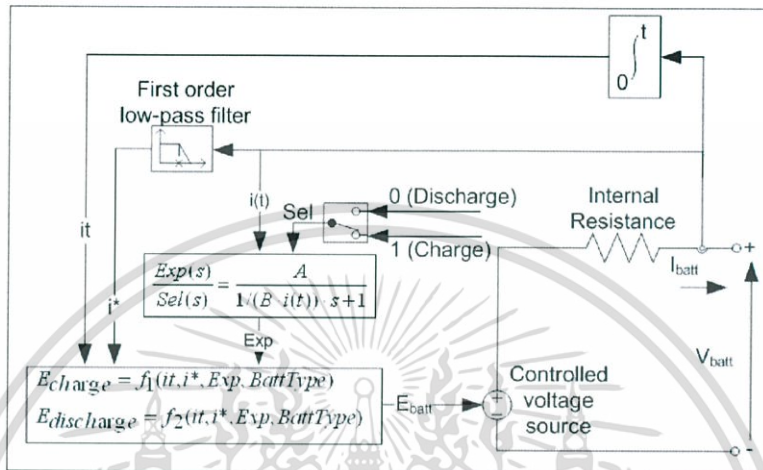
รูปที่ 3.20 การผลิตกำลังไฟฟ้าเมื่อมีระบบสำรองพลังงาน

ระบบสำรองพลังงานจะถูกนำมาจำลององค์ประกอบทางคณิตศาสตร์จากกราฟคุณลักษณะการ Discharge หรือ Typical Discharge Characteristics Model ซึ่งจะสามารถจำลองและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆจากสมการ Discharge และ Charge ของแบตเตอรี่ได้ โดยการจำลององค์ประกอบของแบตเตอรี่จะถูกกระทำผ่านโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

การควบคุมแบตเตอรี่เพื่อทำการชาร์จ และดิสชาร์จในตอนกลางวันจะทำโดยการเปรียบเทียบปริมาณอ้างอิงพลังงาน Insolation และปริมาณการผลิตไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้น เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของช่วงการชาร์จ และดิสชาร์จในแต่ละเวลา และทำการจำกัดปริมาณการ Discharge ของแบตเตอรี่โดยใช้ค่า State of Charge (SOC) หรือ Fuel Gauge ของแบตเตอรี่ในการควบคุมซึ่งอ้างอิงปริมาณนี้ได้จากอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยพลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนในการทำงาน คือ Pfast ใช้ในการปรับปรุงความถี่ของระบบ และ Pslow ใช้เพื่อความสม่ำเสมอของการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และการจ่ายโหลด (Demand Shifting)

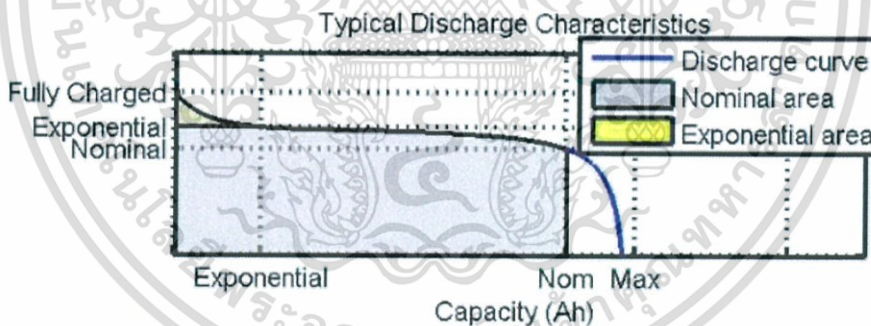
3.6 การจำลองแบตเตอรี่

ในการทดลองนำระบบสำรองพลังงานหรือแบตเตอรี่เสริมเข้าไปในระบบไมโครกริดนั้น จะทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK ดังนั้นจึงต้องมีการอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลการทดลองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้พารามิเตอร์ตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่ที่ใช้



รูปที่ 3.21 Equivalent Circuit ของแบตเตอรี่ตาม MATLAB/SIMULINK

3.6.1 กราฟคุณลักษณะแบตเตอรี่



รูปที่ 3.22 Typical Discharge Characteristics Model

จากโมเดลการ Discharge แบตเตอรี่ในรูปที่ 3.22 ในส่วนแรกแสดงถึงการตกของแรงดันแบบ Exponential ซึ่งจะกว้าง หรือแคบขึ้นกับชนิดของแบตเตอรี่ ในส่วนที่สองแสดงถึงช่วงการใช้งานแบตเตอรี่ที่แรงดันปกติจนกระทั่งถึงจุดที่แรงดันต่ำกว่าแรงดันปกติ และในส่วนที่สามเป็นช่วงที่ดิสชาร์จจากแบตเตอรี่จนเกือบหมด แรงดันจะตกอย่างรวดเร็ว โดยพฤติกรรมนี้สามารถนำมาอ้างอิงเป็นสมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแบตเตอรี่เมื่อกระแสมีการเปลี่ยนแปลงจากวงจร Open Circuit Voltage (OCV) ในรูปที่ 3.21 โดยเทอมของ Polarization Voltage และ Polarization Resistance ได้ถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อแสดงลักษณะของวงจร OCV โดยจะแสดงสมการการ Charge และ Discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบตเตอรี่

Block Parameters: Battery2

Battery (mask) (link)

Implements a generic battery that model most popular battery types. Uncheck the "Use parameters based on Battery type and nominal values" parameter to edit the discharge characteristics.

Parameters View Discharge Characteristics Battery Dynamics

Battery type **Lead-Acid**

Nominal Voltage (V)
12

Rated Capacity (Ah)
65

Initial State-Of-Charge (%)
100

Use parameters based on Battery type and nominal values

Maximum Capacity (Ah)
67.7083

Fully Charged Voltage (V)
13.0658

Nominal Discharge Current (A)
13

Internal Resistance (Ohms)
0.0018462

Capacity (Ah) @ Nominal Voltage
20.1681

Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)]
[12.2171 0.216667]

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 3.23 พารามิเตอร์ที่ใช้กับแบตเตอรี่ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Battery Type

แบตเตอรี่ชนิดที่ใช้เป็นชนิดตะกั่ว-กรด แบบ Valve-Regulated Lead Acid Batteries

Nominal Voltage (V)

Nominal Voltage (V) ของแบตเตอรี่ แสดงถึงค่าสุดท้ายของแรงดันในช่วง Nominal Zone ของกราฟคุณลักษณะแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้มีค่า 12 V ซึ่งเป็นค่าที่ผู้ผลิตกำหนดบนผลิตภัณฑ์

Rated Capacity (Ah)

ค่าอัตราความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นค่าที่ผู้ผลิตกำหนดบนผลิตภัณฑ์ ในหน่วยแอมแปร์ ชั่วโมง (Ah) ซึ่งจะเป็นค่า Minimum Effective ของแบตเตอรี่นั้นๆ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้มีค่า 65 Ah

Initial State of Charge (%)

State of Charge เปอร์เซ็นต์การใช้งานคงเหลือของแบตเตอรี่ หากแบตเตอรี่เริ่มต้นมีค่า SOC ที่ 100% หมายความว่าแบตเตอรี่ถูกประจุอยู่เต็มแล้ว หากค่า SOC มีค่า 0% หมายความว่าแบตเตอรี่ถูกดิสชาร์จจนหมดแล้ว โดยค่า SOC เริ่มต้นจะไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะใดๆของ Discharge Characteristics Curve

Use Parameter Based on Battery Type and Nominal Values

เมื่อทำการใส่เครื่องหมายให้ชื่อนี้ ตัวแปรที่ใส่ไว้ข้างต้นจะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาค่าของตัวแปรที่กำหนดอยู่ด้านล่างต่อไป และถ้าหากต้องการปรับเปลี่ยน Discharge Curve ด้วยตัวเองให้นำเครื่องหมายนี้ออก

Maximum Capacity (Ah) (ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)

ค่าความจุสูงสุดของแบตเตอรี่สังเกตได้จากกราฟคุณลักษณะของแบตเตอรี่ เมื่อทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่จนกระทั่งแรงดันแบตเตอรี่เป็น 0 ซึ่งทำการคำนวณด้วยสมการคุณลักษณะแบตเตอรี่

Fully Charged Voltage (V)

ค่าแรงดันสูงสุดที่เวลาเป็น 0 ตั้งแต่เริ่มทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งหลังจากนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นลักษณะ Exponential

Nominal Discharge Current (A)

ค่ากระแส Discharge จากแบตเตอรี่ตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่ ซึ่งโดยปกติแล้วผู้ผลิตจะกำหนดไว้ที่ 0.2C เมื่อ C คือ Rated Capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internal Resistance (Ohms)

ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่จะมีค่าคงที่ในขณะที่มีการชาร์จ ดิสชาร์จ และไม่เปลี่ยนแปลงตาม Amplitude ของ กระแส

Capacity (Ah) @ Nominal Voltage

ค่าความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่เมื่อแรงดันแบตเตอรี่มีค่าถึงจุดสิ้นสุดช่วง Norminal Voltage โดยคำนี้อาจอยู่ระหว่าง Q_{exp} และ Q_{max}

Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)]

ทั้ง 2 ค่านี้จะถูกสังเกตได้จากกราฟ Discharge Characteristics โดย V_{exp} และ Q_{exp} คือแรงดัน และความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่จุดสิ้นสุดช่วง Exponential

3.6.3 สมการคุณลักษณะแบตเตอรี่

สมการคุณลักษณะแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง เป็นสมการคุณลักษณะแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด ซึ่งแสดงพฤติกรรม Charge และ Discharge ของแบตเตอรี่ โดยสมการจะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้

$$\text{Discharge : } V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - i_t} \cdot (i_t + i^*) + \text{Exp}(t) \quad (3.1)$$

$$\text{Charge : } V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{i_t - 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \frac{Q}{Q - i_t} \cdot i_t + \text{Exp}(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ

- V_{batt} = แรงดันแบตเตอรี่ ณ เวลานั้นๆ (V)
 E_0 = ค่าคงที่แรงดันแบตเตอรี่ (V) (ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)
 R = ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ω)
 i = กระแสแบตเตอรี่ (A)
 K = ค่าความต้านทานโพลาริเซชัน (Ω) หรือค่าคงที่โพลาริเซชัน (V/Ah) (ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)
 Q = ความจุแบตเตอรี่ (Ah)
 i_t = $\int idt$ = ค่าการประจุแบตเตอรี่ (Ah)
 i^* = กระแสที่ผ่าน Low-pass Filter (A)
 A = Exponential Zone Amplitude (V) (ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)
 B = Exponential Zone Time Constant Inverse (Ah)⁻¹ = $3/Q_{exp}$ (ตั้งค่าเป็น Initial ในโปรแกรม MATLAB)
 $\text{Exp}(s)$ = Exponential Zone Dynamics
 $\text{Sel}(s)$ = โหมดของ Battery เมื่อ Charge เป็น 1 และ Discharge เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการที่แสดงถึง Exponential Zone ในสมการ 3.1 และ 3.2 จะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการ Charge และ Discharge เป็นปรากฏการณ์ Hysteresis โดยจะไม่ขึ้นกับค่า State of Charge ของแบตเตอรี่ โดยพฤติกรรมนี้จะปรากฏในช่วง Exponential Zone เท่านั้นตามรูปที่ 3.22 โดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$\dot{Exp}(t) = B \cdot |i(t)| \cdot (-Exp(t) + A \cdot u(t)) \quad (3.3)$$

เมื่อ

$Exp(t)$ = แรงดันในช่วง Exponential Zone

$i(t)$ = กระแสแบตเตอรี่

$u(t)$ = สถานะของการ Charge และ Discharge

แรงดันในช่วง Exponential Zone จะขึ้นอยู่กับค่า $Exp(t_0)$ และสถานะของการ Charge ($u(t)=0$) และการ Discharge ($u(t)=1$)

การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 จะนำค่ามาจาก Datasheet โดยผู้ผลิตแบตเตอรี่จะกำหนดมาให้ โดยค่าที่กำหนดมาให้แล้วคือค่า Fully Charged Voltage (V_{full}) ค่าพารามิเตอร์ในช่วงสิ้นสุด Exponential Zone (Q_{exp}, V_{exp}) ค่าพารามิเตอร์ในช่วงสิ้นสุด Norminal Zone (Q_{nom}, V_{nom}) คือในช่วงก่อนที่แรงดันตกอย่างรวดเร็ว ค่า Maximum Capacity (Q) และค่า Internal Resistance (R) โดยค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดข้างต้นนี้จะสามารถนำมาหาพารามิเตอร์ A, E_0 และ K ได้จากสมการที่ 3.4-3.6 โดยต้องทำการถอดสมการ V_{full}, V_{exp} และ V_{nom} พร้อมกันด้วยวิธีเมทริกโดยใช้ $i = 0.2c$

$$V_{full} = E_0 - R \cdot i + A \quad (3.4)$$

ในช่วงสิ้นสุดของ Exponential Zone ค่า B สามารถประมาณได้ด้วย $3/Q_{exp}$

$$V_{exp} = E_0 - K \frac{Q}{Q - Q_{exp}} \cdot (Q_{exp} + i) - R \cdot i + A \exp\left(\frac{-3}{Q_{exp}} \cdot Q_{exp}\right) \quad (3.5)$$

และแรงดันที่ Norminal Zone คือ

$$V_{nom} = E_0 - K \frac{Q}{Q - Q_{nom}} \cdot (Q_{nom} + i) - R \cdot i + A \exp\left(\frac{-3}{Q_{exp}} \cdot Q_{nom}\right) \quad (3.6)$$

เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB แล้วจะได้ค่า Exponential Zone Amplitude คือ 0.8208 V ค่า Exponential Zone Time Constant Inverse คือ $13.8461 (Ah)^{-1}$ ค่า Polarization Constant คือ 0.0052 และ ค่าคงที่แรงดันแบตเตอรี่ คือ 12.3230 V

ค่า i^* สามารถคำนวณได้จากการทดลองหรือ Simulation ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดย Time Constant เพื่อทำการทดลองจะเท่ากับ 30 วินาที โดยการ Simulation ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะเป็นค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามการชาร์จ และดิชาร์จของแบตเตอรี่ ค่า

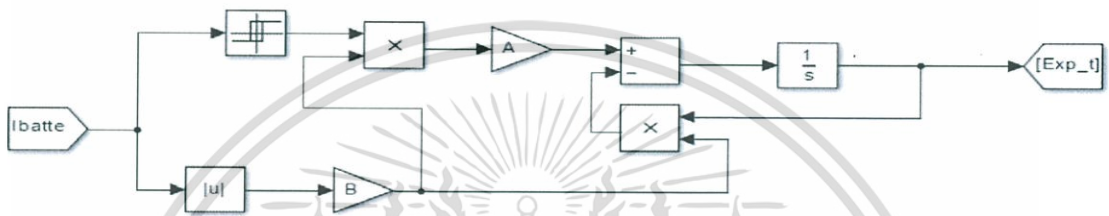
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจุของแบตเตอรี่จะไม่เปลี่ยนตาม Amplitude ของกระแส อุณหภูมิจะไม่เป็นผลต่อการ Simulation นี้ และแบตเตอรี่ที่ทำการ Simulation ไม่มี Memory Effect

3.6.4 โมเดล SIMULINK ที่ใช้ในการคำนวณแบตเตอรี่

โมเดลการคำนวณสมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ แสดงให้เห็นถึงสมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ข้างต้นที่ได้กล่าวถึงแล้ว โดยสมการได้ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ในการโมเดลในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยมีตัวอย่างแสดงดังนี้

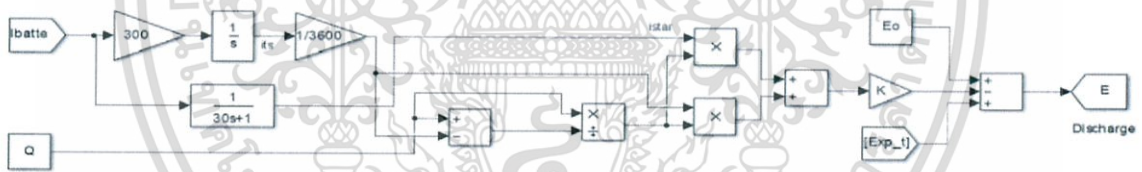
Exponential Model



รูปที่ 3.24 Exponential Model

จากสมการที่ 3.3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงช่วงการเกิด Exponential Zone ของกราฟคุณลักษณะแบตเตอรี่

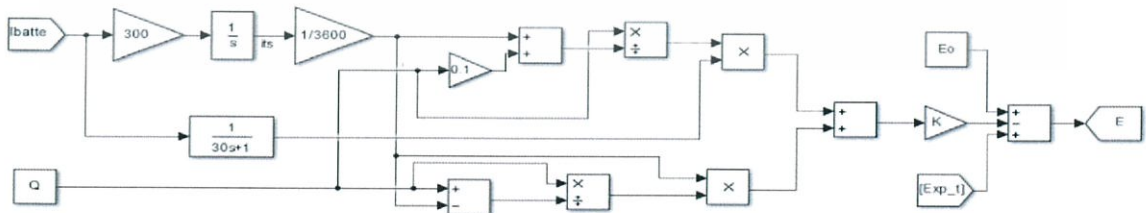
Discharge Model



รูปที่ 3.25 Discharge Model

จากสมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ ตามสมการที่ 3.1 หรือสมการการ Discharge

Charge Model

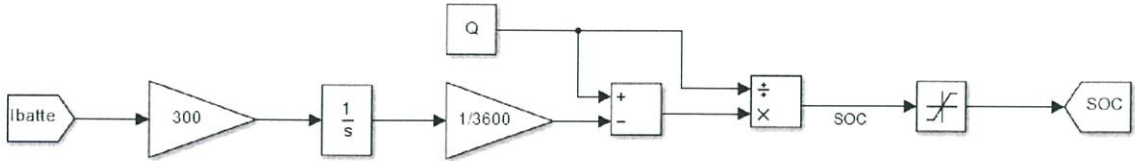


รูปที่ 3.26 Charge Model

จากสมการคุณลักษณะของแบตเตอรี่ ตามสมการที่ 3.2 หรือสมการการ Charge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

State of Charge Model

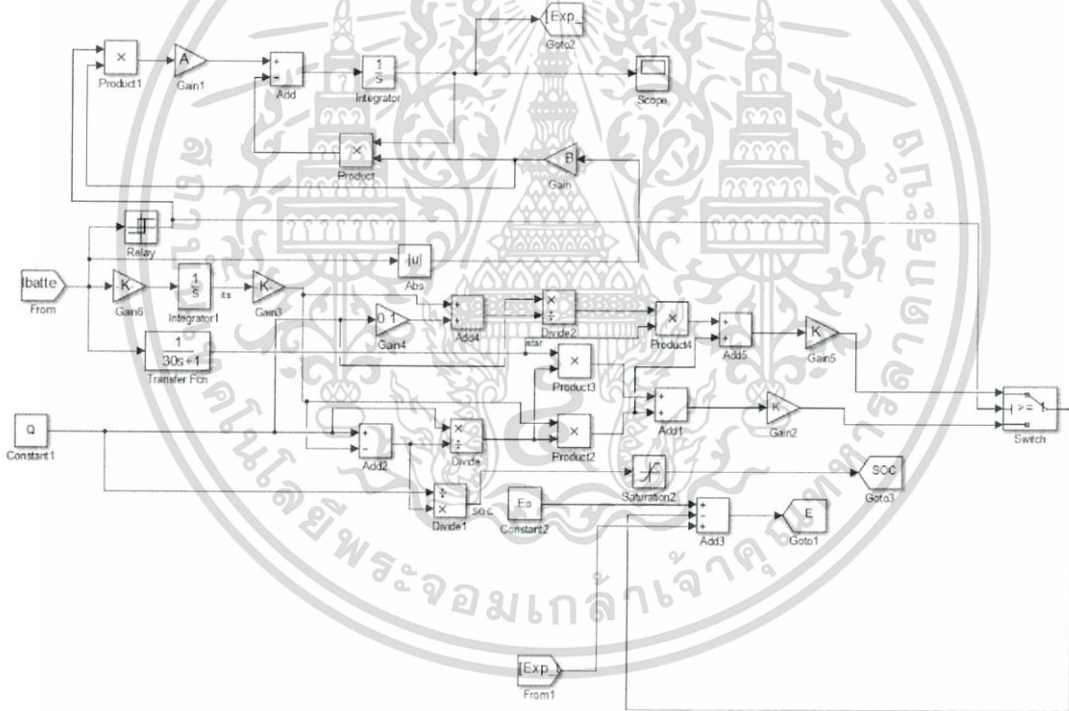


รูปที่ 3.27 State of Charge Model

ค่า State of Charge (SOC) คือค่าที่บ่งบอกระดับการใช้งานคงเหลือของแบตเตอรี่ระหว่าง 0%(ดิสชาร์จจนหมด) ถึง 100% (ชาร์จจนเต็ม) โดยสมการของค่า SOC แสดงได้ดังนี้

$$SOC = \frac{Q-it}{Q} \tag{3.7}$$

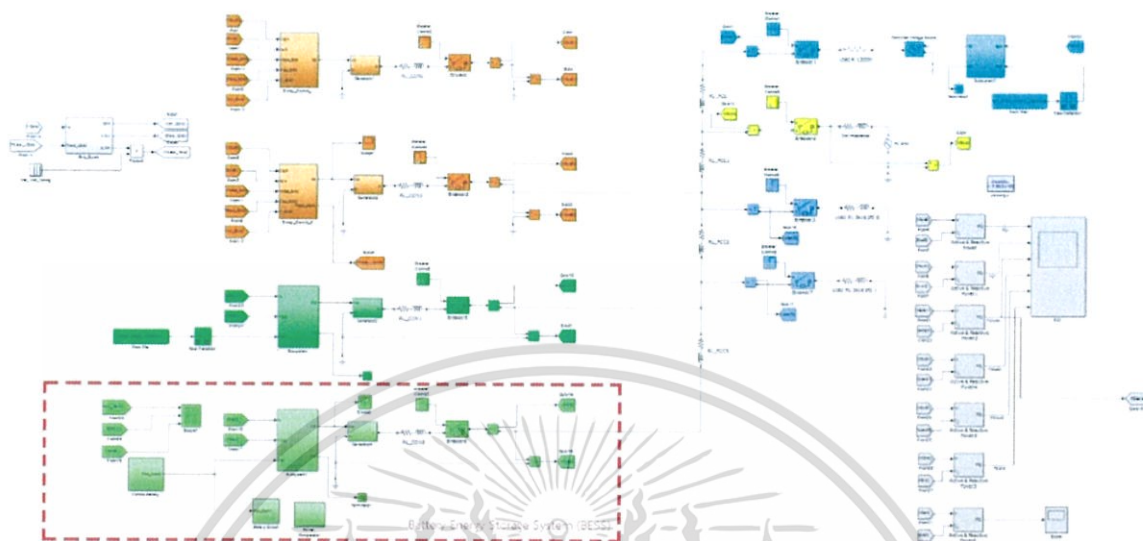
Battery Model



รูปที่ 3.28 Battery Model

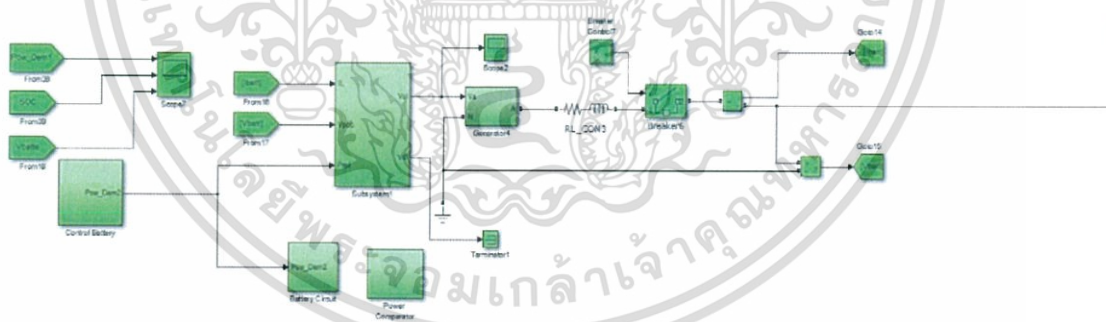
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 Energy Storage ในไมโครกริดและการควบคุม



รูปที่ 3.29 ระบบไมโครกริดจำลองด้วย MATLAB/SIMULINK

ไมโครกริดในการทดลองจะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 หน่วย (สี่สั้ม) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 1 หน่วย (สี่เหลี่ยมเข้ม) ภาระทางไฟฟ้าโดยใช้โพรไฟล์จากการไฟฟ้านครหลวง (สี่ฟ้า) AC grid (สี่เหลือง) โหลดคงที่ของระบบ (สี่น้ำเงิน) และระบบสำรองพลังงาน หรือ Battery Energy Storage System (สี่เขียวอ่อน) ที่ได้ทำการเพิ่มเข้ามา

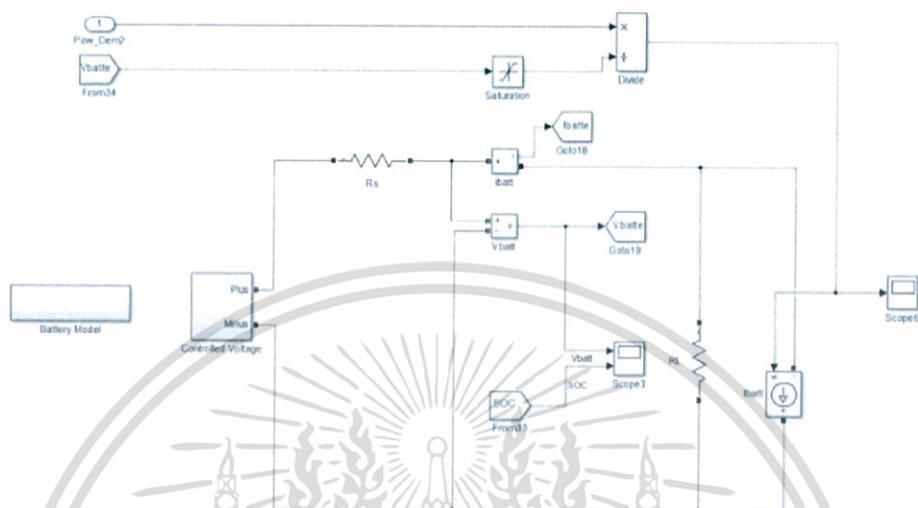


รูปที่ 3.30 ระบบ Energy Storage จำลองด้วย MATLAB/SIMULINK

เมื่อทำการเพิ่มระบบ Battery Energy Storage System เข้ากับระบบไมโครกริด จะต้องมีการควบคุมการ Charge และ Discharge ของแบตเตอรี่ เพื่อให้ระบบมีการควบคุมที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

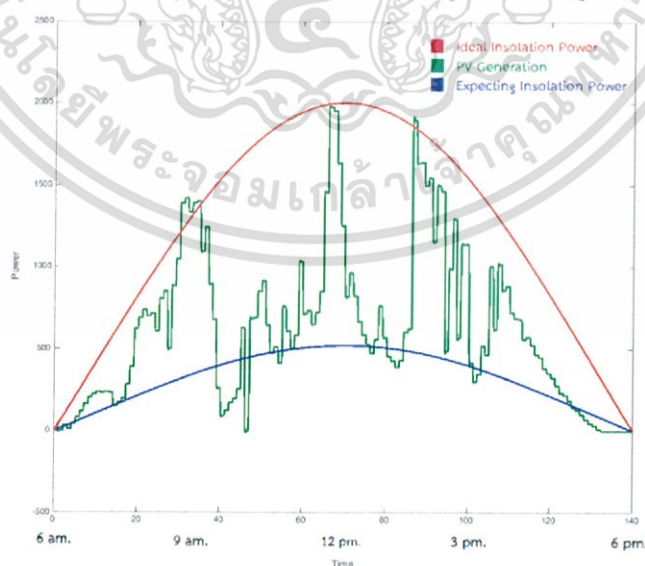
การควบคุมแบตเตอรี่จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต่อวัน และปริมาณอ้างอิง Insolation ต่อวันของดวงอาทิตย์ ขั้นตอนที่ 2 คือการควบคุมการชาร์จ และดิสชาร์จของแบตเตอรี่ด้วยค่า State of Charge (SOC)



รูปที่ 3.31 วงจรการต่อแบตเตอรี่

3.7.1 การเปรียบเทียบปริมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณอ้างอิง Insolation ต่อวัน

Insolation คือพลังงานเฉลี่ยจากแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่บนแนวระนาบ (Horizontal) มีหน่วยเป็นพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ โดยขึ้นอยู่กับความสูงของดวงอาทิตย์บนพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งวันตามการขึ้น-ตกของดวงอาทิตย์ จะมีลักษณะเป็นรูปแบบครึ่งลูกคลื่น sine



รูปที่ 3.32 กราฟ PV Generation, Ideal Insolation และ Expecting Insolation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insolation แทนได้ด้วยสมการ

$$I = ScosZ \quad (3.8)$$

เมื่อ S คือ พลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar Constant มีค่าประมาณ 1367 w/m^2

$$Z = \cos^{-1}(\sin\theta \sin\delta + \cos\theta \cos\delta \cos H) \quad (3.9)$$

เมื่อ Z คือ มุม Zenith ซึ่งจะขึ้นอยู่กับละติจูด (θ), Hour Angle(H) และ Solar Declination Angle (δ) ประเทศไทยอยู่บนพิกัด Latitude 15 องศาเหนือ โดยมุม Hour Angle คือมุมชั่วโมง ใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจากเส้นเมริเดียนท้องฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกาไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าจนถึงวงกลมชั่วโมงที่ผ่านตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังนั้น H จะมีค่าอยู่ระหว่าง +180 องศา ถึง -180 องศา ซึ่งเป็นลบก่อนช่วงเที่ยงวัน และเป็นบวกในช่วงบ่าย Solar Declination Angle คือมุมผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุนของโลก หาได้จากระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้จากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ขึ้นหรือลงไปตามเส้นหรือแนวดวงอาทิตย์ โดยค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงแต่ละวันอยู่ที่ -23.45 องศา ถึง +23.45 องศา ในช่วง 1 รอบปี

เมื่อทำการคำนวณตามสมการ Insolation ช่วงต้นในช่วงเวลา 1 วันและนำมาพล็อตกราฟ Insolation จะให้ลักษณะดังรูปที่ 3.32 โดยกราฟ Ideal Insolation นี้แสดงพลังงานเฉลี่ย Insolation ที่อาจจะเกิดขึ้นใน 1 วัน ของเดือนกุมภาพันธ์ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. หรือตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งตก และกราฟ PV Generation จะแสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่บันทึกจริงมาจาก Solar Panel ซึ่งมีความผันผวนและจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งวัน โดยจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศที่เกิดขึ้น เช่น หากมีปริมาณเมฆมาก หรือสภาพอากาศแปรปรวน การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพลดลงตามไปด้วย

เนื่องจากความผันผวนในการผลิตไฟฟ้าของพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งผลเสียต่อความถี่ไฟฟ้าหลังจากการรวมกันจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ด้วย P-f Droop Control ดังนั้นการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในช่วงที่ผันผวนไว้ในแบตเตอรี่ก่อน และนำไปใช้ต่อไปตามวัตถุประสงค์ต่างๆจะเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า และประสิทธิภาพของระบบ

การกักเก็บพลังงานให้กับแบตเตอรี่ จะสามารถคำนวณ หรือประมาณปริมาณพลังงานได้โดยการกำหนด Expecting Insolation ซึ่งหมายถึงปริมาณ Ideal Insolation ที่ทำการ Scale แล้วและนำมาเปรียบเทียบกับการผลิตจริงหรือ PV Generation

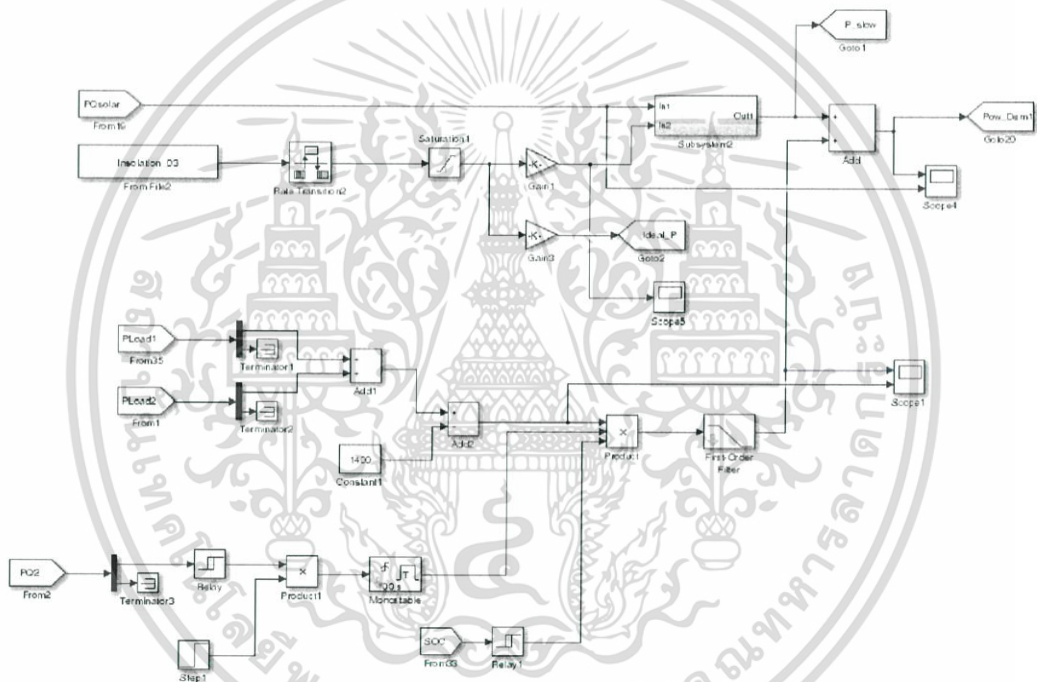
การเปรียบเทียบกราฟ PV Generation และ Expecting Insolation จะแสดงถึงช่วงเวลาการชาร์จ และดิชาร์จให้แก่แบตเตอรี่ โดยกำหนดให้หากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ PV Generation มากกว่า Expecting Insolation ในช่วงเวลาใดๆ จะเป็นการชาร์จพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ ในทางกลับกันหาก PV Generation น้อยกว่า Expecting Insolation จะเป็นช่วงเวลาที่ทำการดิชาร์จพลังงาน และพลังงานที่ดิชาร์จในช่วงนี้จะจ่ายไปยังไมโครกริดต่อไป

การคำนวณค่า Gain ของ Expecting Insolation ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน โดยในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชาร์จพลังงานให้เต็มความจุของแบตเตอรี่ก่อนช่วงกลางคืน ดังนั้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้ เนื่องจากกำหนดให้เมื่อดวงอาทิตย์เริ่มขึ้น Initial State of Charge ของแบตเตอรี่อยู่ที่ 50% หรือครึ่งหนึ่งของความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ทั้งหมด และต้องการให้ความจุพลังงานของแบตเตอรี่เต็ม ก่อนดวงอาทิตย์ตกดินจึงต้องทำการประมาณ Expecting Insolation ซึ่งจะได้ค่า Gain ที่ 0.26 เนื่องจากทำการประมาณแล้วว่าพลังงานที่จะทำการชาร์จให้กับแบตเตอรี่เพียงพอที่จะทำให้แบตเตอรี่มีความจุประจุเต็มก่อนดวงอาทิตย์ตกดินแล้ว

การเปลี่ยนแปลงของค่า Gain ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และปริมาณพลังงานที่ต้องการชาร์จให้กับแบตเตอรี่ ทั้งนี้การประมาณค่า Gain ในการทดลองยังมีความไม่แม่นยำ หากต้องการประมาณหรือคำนวณให้เกิดความแม่นยำจะต้องใช้กระบวนการทางสถิติ และเก็บข้อมูลเพื่อทำการคำนวณ หรือการศาสตร์ของ Artificial Neural Network ต่อไป

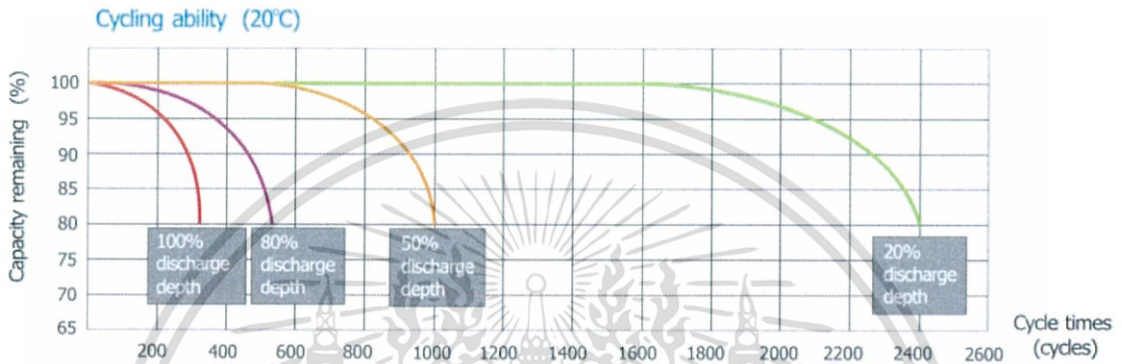


รูปที่ 3.33 การเปรียบเทียบ PQsolar และ Insolation ใน MATLAB/SIMULINK

จากรูปที่ 3.33 เงื่อนไขเพิ่มเติมคือการปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 โดยการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เมื่อกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการมีค่าลดลงจนกระทั่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 มีพิกัดต่ำกว่า 1400 W จะทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 ออกจากระบบ เนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 และพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สามารถทำการจ่ายพลังงานให้โหลดได้เพียงพอแล้ว

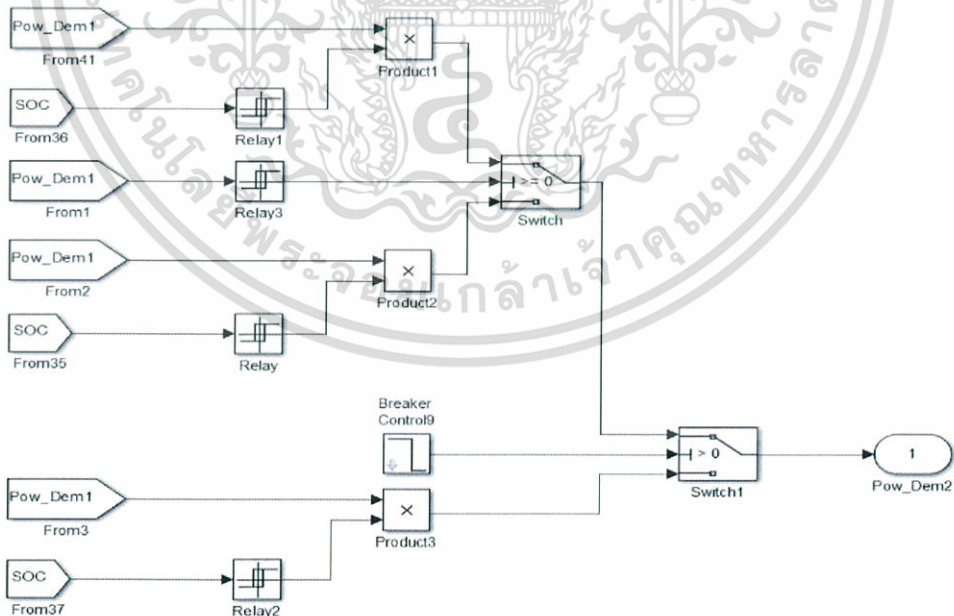
3.7.2 การควบคุมการ Charge และ Discharge ด้วยปริมาณ State of Charge (SOC)

ในการตั้งค่าปริมาณ State of Charge (SOC) เพื่อการชาร์จ และดิสชาร์จได้อย่างอิงมาจากอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ในกรณีตัวอย่างเช่น หากดิสชาร์จแบตเตอรี่จนกระทั่งเหลือ SOC จำนวนน้อยมากในทุกครั้งในการใช้งานจะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ลดลง และประสิทธิภาพการใ้ใช้งานจะลดลง แต่ถ้าหากดิสชาร์จแบตเตอรี่ในปริมาณน้อยๆ โดยให้เหลือ SOC เป็นปริมาณมากๆ และทำการชาร์จกลับเข้ามาใหม่จะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่มากขึ้น



รูปที่ 3.34 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตามสภาพการใช้งาน

จากรูปที่ 3.34 แสดงค่า Depth of Discharge (DOD) ซึ่งเป็นการแสดงค่าตรงข้ามกับ SOC โดยจะแสดงปริมาณที่ดิสชาร์จออกจากแบตเตอรี่ไป



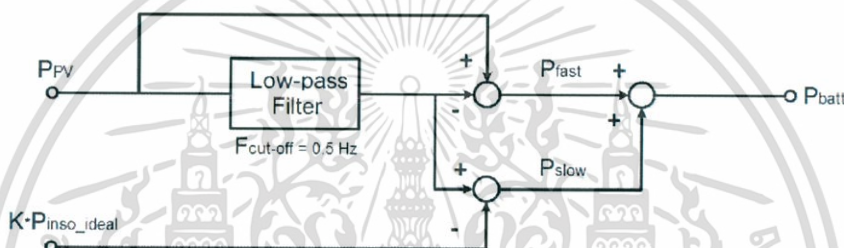
รูปที่ 3.35 การควบคุมแบตเตอรี่ด้วยค่า SOC ใน MATLAB/SIMULINK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานของแบตเตอรี่จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ SOC ของแบตเตอรี่ โดย P_{ow_Dem1} คือพลังงานแบตเตอรี่ ในการทดลองนี้ ค่า SOC ถูกกำหนดไว้ที่ค่าต่ำสุด 30% โดยจะไม่ทำการดีสชาร์จแบตเตอรี่อีกเมื่อถึงค่า SOC นี้ และจะมีค่า SOC สูงสุดที่ 95% โดยพลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกใช้งานในช่วง SOC นี้เท่านั้นในช่วงเวลาปกติ ซึ่งอาจจะมีการใช้งานนอกเหนือกรณีนี้หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน การใช้งานแบตเตอรี่โดยจำกัด SOC ที่ 30% จะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่เต็มประสิทธิภาพจะยาวนานประมาณ 2 ปี

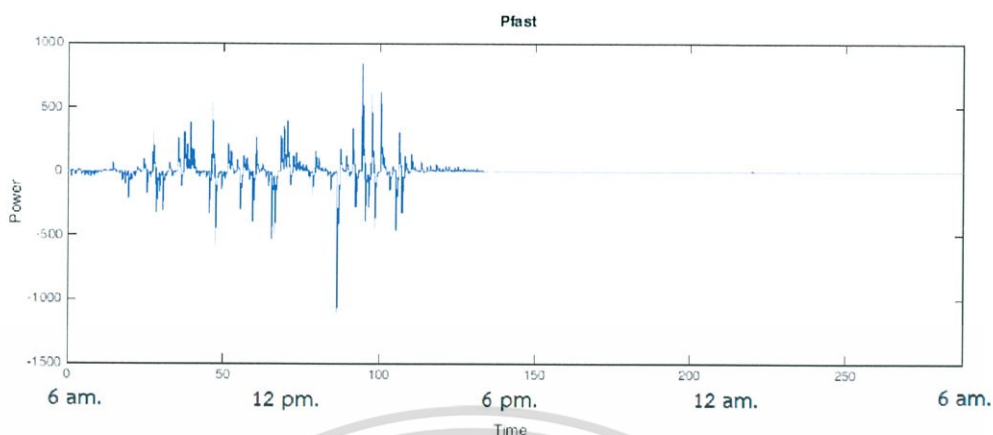
3.8 พลังงานจากแบตเตอรี่

พลังงานจากแบตเตอรี่จะนำมาใช้ประโยชน์ให้กับระบบไมโครกริด 2 ส่วนคือ P_{fast} และ P_{slow} โดยชื่อที่ได้มาจากลักษณะการฉีดพลังงานจากแบตเตอรี่เข้าระบบ



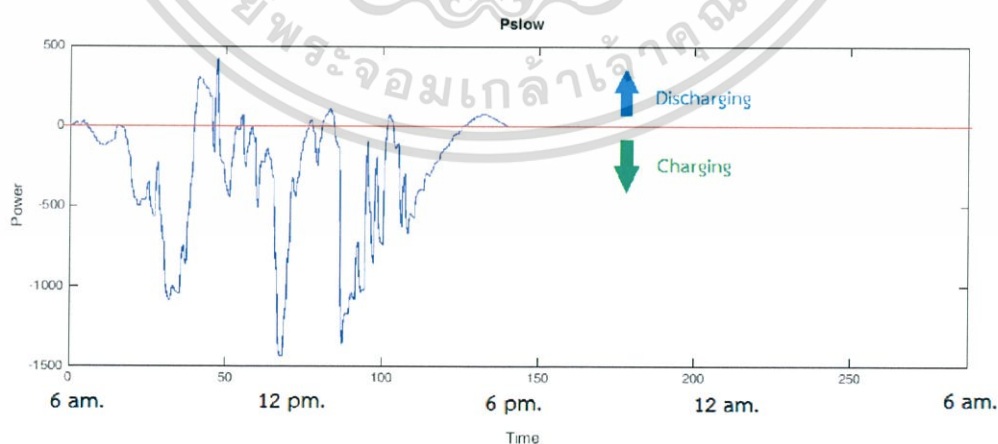
รูปที่ 3.36 โดอะแกรมการกระทำ P_{fast} และ P_{slow}

P_{fast} เป็นสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงที่ได้จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยเกิดจากการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามเวลาจริง และกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามเวลาจริงที่ผ่าน Low-pass Filter แล้ว โดยนำสัญญาณทั้งสองลบกัน ผลต่างของสัญญาณทั้งสองจะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่รวดเร็วเนื่องจากความผันผวนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งปริมาณพลังงานเหล่านี้ส่งผลเสียต่อความถี่ของระบบเนื่องจากกระบวนการ P-f Droop Control ดังนั้น P_{fast} จึงใช้ในการชดเชยกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาอย่างรวดเร็ว โดยจะทำการดีสชาร์จ จากแบตเตอรี่ตลอดเวลา ในทุกช่วงของ P-f Droop Control ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ทำให้กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ของระบบสม่ำเสมอขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความถี่ของระบบมีความผันผวนน้อยลง P_{fast} จะไม่ส่งผลกระทบต่อ SOC ของแบตเตอรี่เนื่องจากดีสชาร์จจากแบตเตอรี่ในปริมาณที่น้อยมากและรวดเร็ว



รูปที่ 3.37 สัญญาณ Pfast

Pslow เป็นสัญญาณที่บ่งบอกปริมาณการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ โดยเกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามเวลาจริงที่ผ่าน Low-pass Filter แล้วและสัญญาณพลังงาน Ideal Insolation Power ที่คูณด้วยค่า Gain ($K = 0.26$) แล้ว Pslow จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ทำการชาร์จ และดิสชาร์จโดยหากพลังงานมากกว่า 0 ขึ้นไปจะเป็นการดิสชาร์จให้กับระบบ และหากพลังงานน้อยกว่า 0 จะเป็นการชาร์จให้กับแบตเตอรี่ ดังนั้น Pslow จะส่งผลกระทบต่อ SOC โดยตรงเนื่องจากการดิสชาร์จจากแบตเตอรี่ในปริมาณที่มาก ประโยชน์ของ Pslow คือการจ่ายพลังงานให้กับระบบเพื่อทำการแบ่งเบาภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำให้การผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยพลังงานไฟฟ้าที่ดิสชาร์จออกไปจะแทนที่การผลิตที่ตกลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอันเป็นผลมาจาก P-f Droop Control และทำการดิสชาร์จ Pslow ในการกระทำ Demand Shifting โดยจะจ่ายให้กับโหลดในช่วงเวลากลางคืนเพื่อลดภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.38 สัญญาณ Pslow

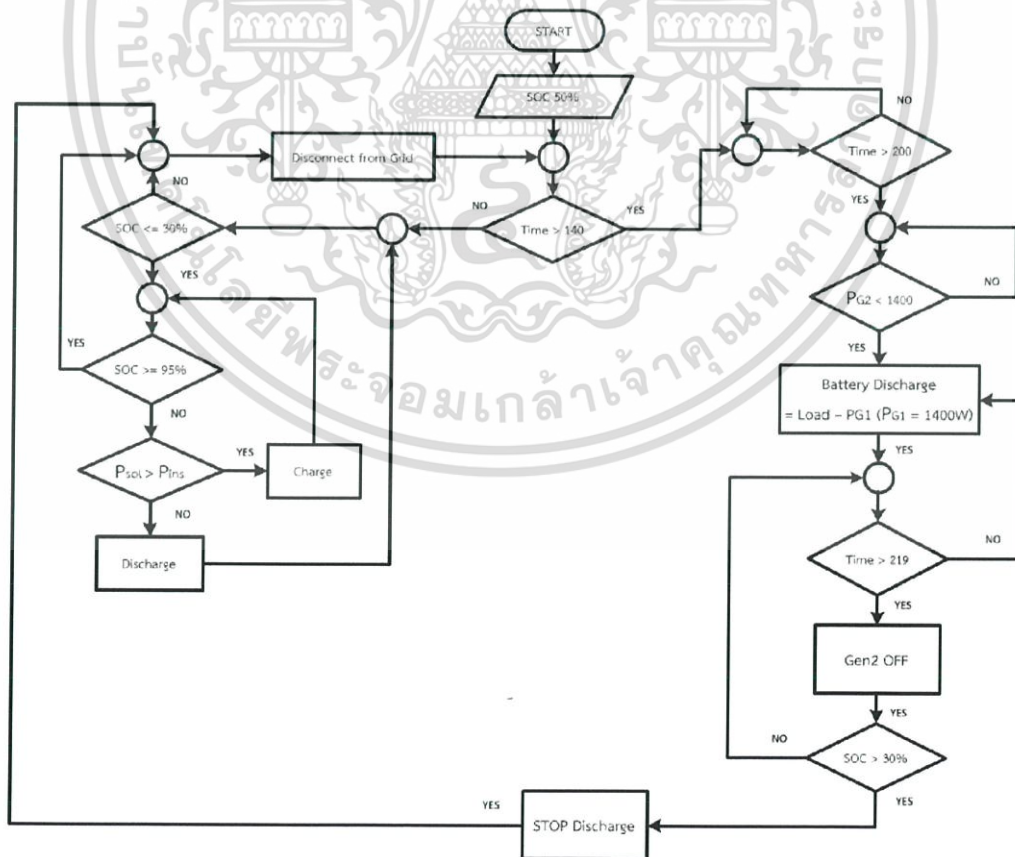
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การ Simulation ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

การ Simulation จะแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง โดยเริ่มที่เวลา 6.00 น. ถึง 6.00 น. ในวันถัดไป และเวลาในการ Simulation จะทำการย่อขนาดเวลาลง ซึ่งทุกๆ 5 นาทีของเวลาจริงจะคิดเป็นเวลาในการ Simulation 1 วินาที

ในเวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. หรือที่ t ประมาณ 0 ถึง 140 จะทำการชาร์จให้กับแบตเตอรี่เพื่อให้ SOC เป็น 95% ก่อนหมดวันเพื่อให้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้ในตอนกลางคืน และเมื่อถึงเวลาประมาณ 1.00 น. หรือที่ t ประมาณ 200 ปริมาณโหลดจะเริ่มลดลง จนกระทั่งเวลาประมาณ 1.30 น. หรือ t ประมาณ 219 จึงทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 ออกจากระบบ และใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 ในการทดแทนให้กับโหลด ซึ่งพลังงานจากแบตเตอรี่จะลดลงเรื่อยๆ โดยจะไม่ต่ำกว่า SOC ที่ 30%

ในการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 ออกจากระบบ กำลังการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 และ 2 ต้องน้อยกว่า 2800 W ซึ่งจากกระบวนการ P-f Droop Control จะแบ่งกำลังการผลิตเครื่องละประมาณ 1400 W โดยหากทำการตรวจสอบแล้วกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 ผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 1400 W แล้ว และพลังงานจากแบตเตอรี่จ่ายมายังไม่ใคร่ครุฑแล้ว หลังจากนั้นจะทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 2 ออกจากระบบ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1 ยังคงผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายกำลังหลักให้กับระบบ

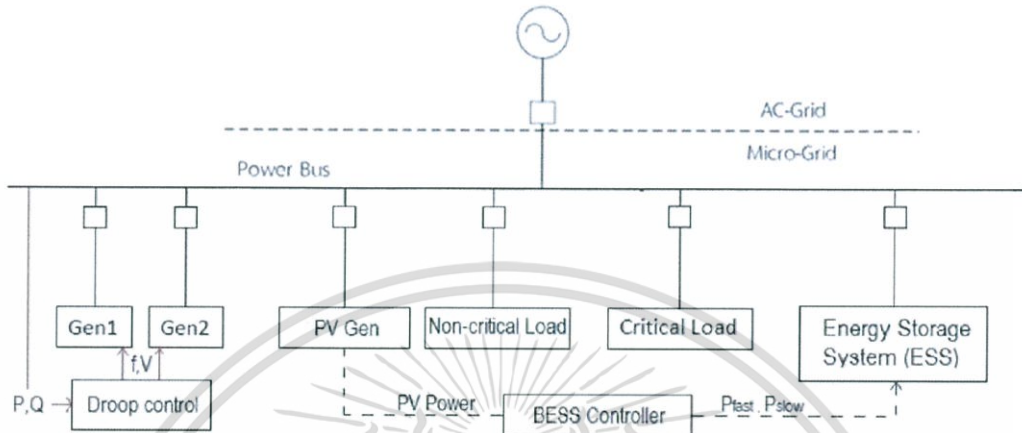


รูปที่ 3.39 ไดอะแกรมการควบคุมแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 การจำลองการควบคุมไมโครกริด

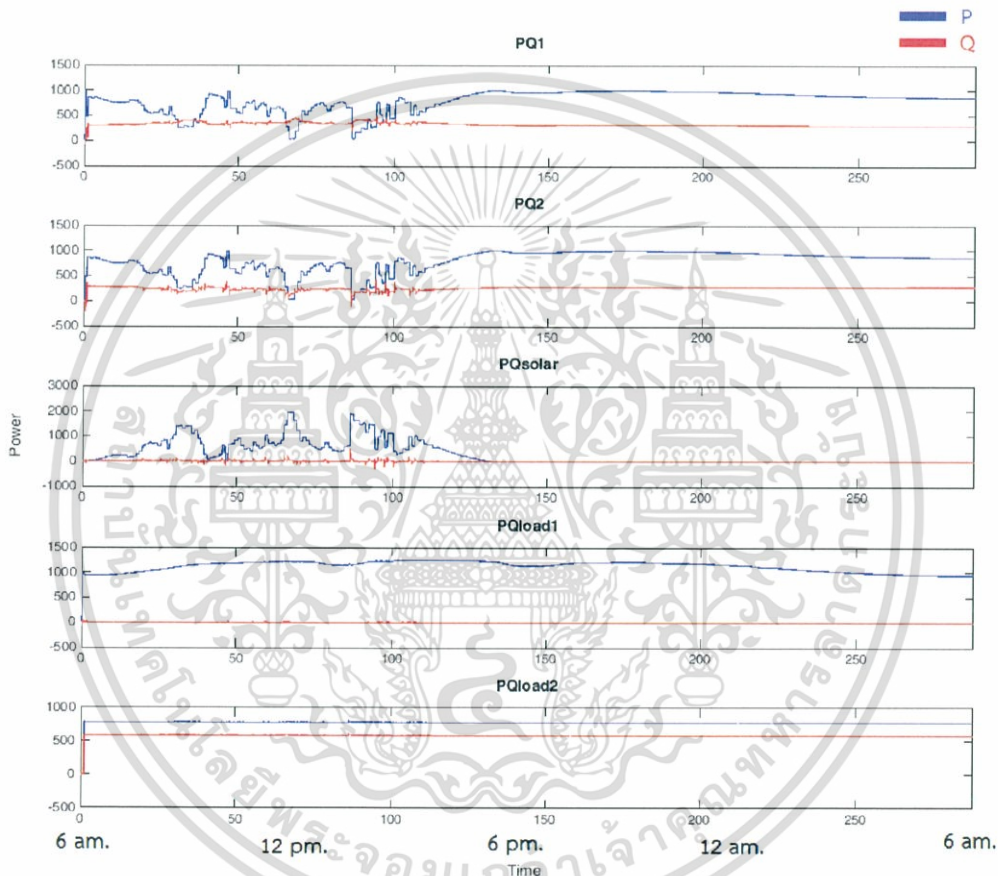
ไมโครกริดในการทดลองมีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 หน่วย ซึ่งมีพิกัดการผลิตพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 2000 VA โดยเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจะมีกระบวนการ P-f Droop Control ควบคุมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับไมโครกริด PV Gen หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีพิกัด 3000 VA โดยจะมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้าไปกักเก็บในแบตเตอรี่ และทำการดิสชาร์จพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้ภายในไมโครกริดโดยผ่านกระบวนการควบคุม นอกจากนี้ยังมีมีภาระทางไฟฟ้าสำคัญ และไม่สำคัญต่ออยู่ด้วย โดยโหลดไม่สำคัญแทนด้วยโปรไฟล์การใช้โหลดที่ได้จากการไฟฟ้านครหลวงแบบ Small General Service Load Profile แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 12 V 65 Ah โดยต่ออนุกรมด้วยกัน 8 หน่วย

การทดลองจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือการทดลองไมโครกริดก่อนการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน และการทดลองไมโครกริดหลังการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน โดยจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการเพิ่มระบบ เนื่องจากปัญหาของระบบไมโครกริดก่อนการเพิ่มระบบกักเก็บพลังงานคือความผันผวนของความถี่กำลังไฟฟ้าอย่างมากเนื่องจากการควบคุมด้วย P-f Droop Control ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวมอยู่ในระบบด้วย

เวลาในการ Simulation จะทำการย่อขนาดเวลาลง ซึ่งทุกๆ 5 นาทีของเวลาจริงจะคิดเป็นเวลาในการ Simulation 1 วินาที

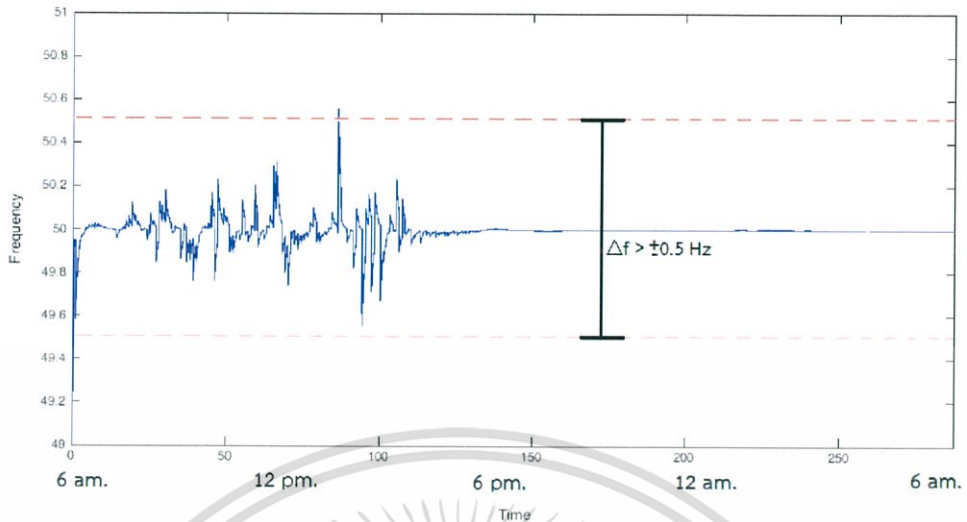
4.1 ผลการทดลองไมโครกริดก่อนการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน

ผลของการ Simulation ก่อนทำการเพิ่มระบบ Energy Storage ในช่วงการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (PQsolar) เมื่อทำการควบคุม P-f Droop Control ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 หน่วยแล้ว จะสังเกตได้ว่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1(PQ1) และ 2(PQ2) จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยซึ่งเป็นผลจาก P-f Droop Control ซึ่งจะทำให้ความถี่กำลังไฟฟ้าของระบบมีการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นตามไปด้วย



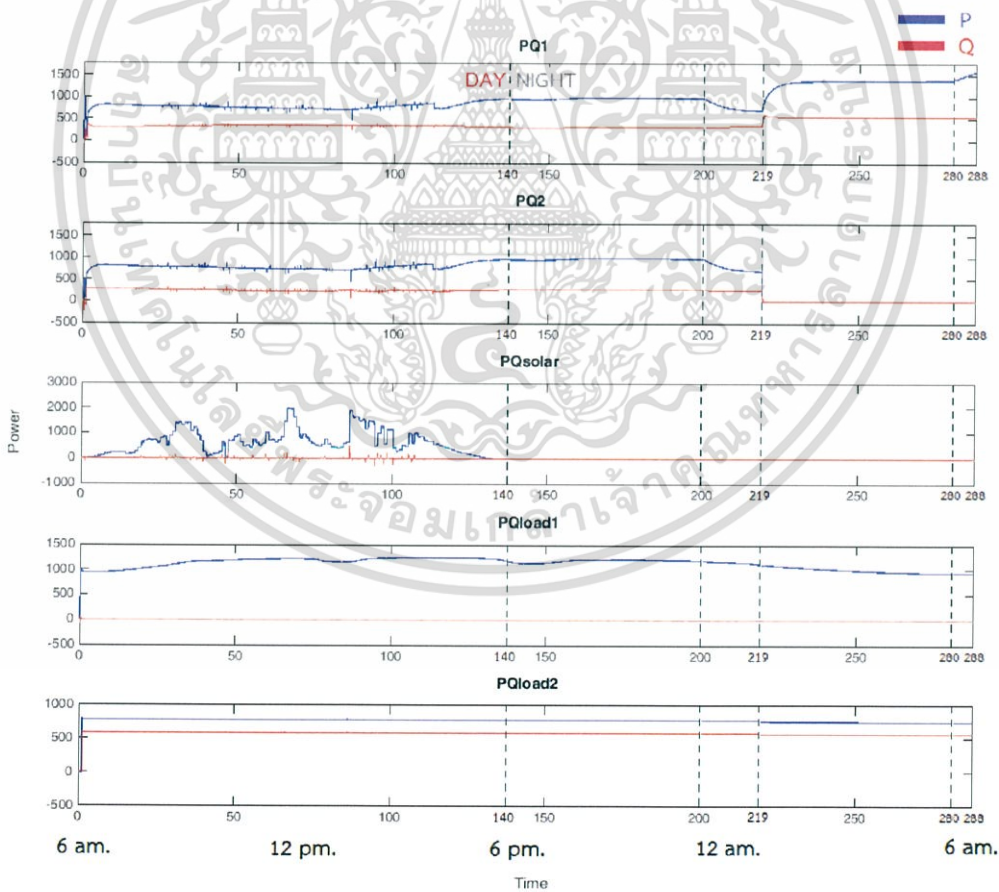
รูปที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบก่อนเพิ่มระบบ Energy Storage

ความถี่กำลังไฟฟ้าของระบบก่อนทำการเพิ่มระบบ Energy Storage จะมีความผันผวน (Frequency Fluctuation) ที่มาก โดยการเปลี่ยนแปลงของการผลิตในช่วงเวลานั้นๆ ส่งผลต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับความถี่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 ความถี่กำลังไฟฟ้าก่อนเพิ่มระบบ Energy Storage

4.2 ผลการทดลองไมโครกริดหลังการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน



รูปที่ 4.4 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบหลังเพิ่มระบบ Energy Storage

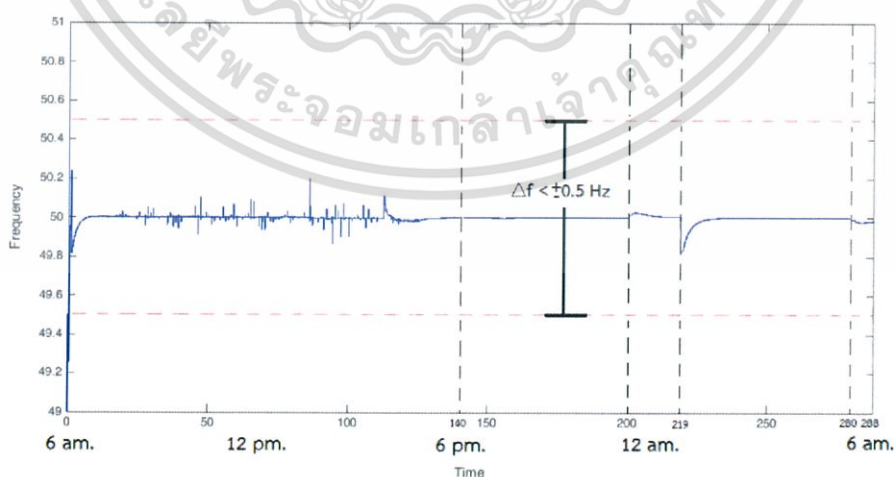
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มระบบ Energy Storage ให้กับระบบ ไมโครกริดแล้ว ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 6.00 น. ถึง 18.00 น. จะสามารถทำการผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ได้ โดยการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 และ 2 หรือ PQ1 และ 2 จะมีความสม่ำเสมอราบเรียบมากขึ้น เนื่องจากการทดแทนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ทันทีในช่วงที่มีการตกของการผลิตกำลังไฟฟ้า เป็นผลอันเนื่องมาจาก P-f Droop Control ร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งการทดแทนด้วยพลังงานจาก Energy Storage นี้คือการใช้ Pslow นั้นเอง

ในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 1.30 น. หรือที่ t ประมาณ 140 ถึง 219 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า PQ1 และ 2 ยังคงทำงานร่วมกันด้วยการควบคุมแบบ P-f Droop Control และยังคงผลิตให้กับ ไมโครกริดอยู่ พร้อมทั้งการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังไมโครกริดในช่วงเวลา t ประมาณ 200 โดย ในช่วงนี้จะเริ่มการจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ที่เรียกว่า Demand Shifting หรือเป็นการใช้พลังงาน จากแบตเตอรี่ในช่วงเวลาอื่นหลังจากการชาร์จ

ในช่วงเวลาประมาณ 1.30 น. ถึง 6.00 น. หรือที่ t ประมาณ 219 ถึง 280 จะทำการตัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า PQ2 ออกจากระบบ เนื่องจากปริมาณโหลดเริ่มลดลงแล้ว เพื่อให้พลังงานจาก แบตเตอรี่ได้จ่ายออกไปยังไมโครกริดเพิ่มขึ้น สังเกตได้ว่า PQ1 จะยังคงทำการผลิตกำลังไฟฟ้า และ แบตเตอรี่จะทำการจ่ายพลังงานทดแทนให้กับโหลด จนกระทั่งเวลาประมาณ 4.00 น. หรือ t ประมาณ 280 พลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกดีสชาร์จจน SOC เป็น 50% และเตรียมพร้อมใช้งานในวันถัดไป

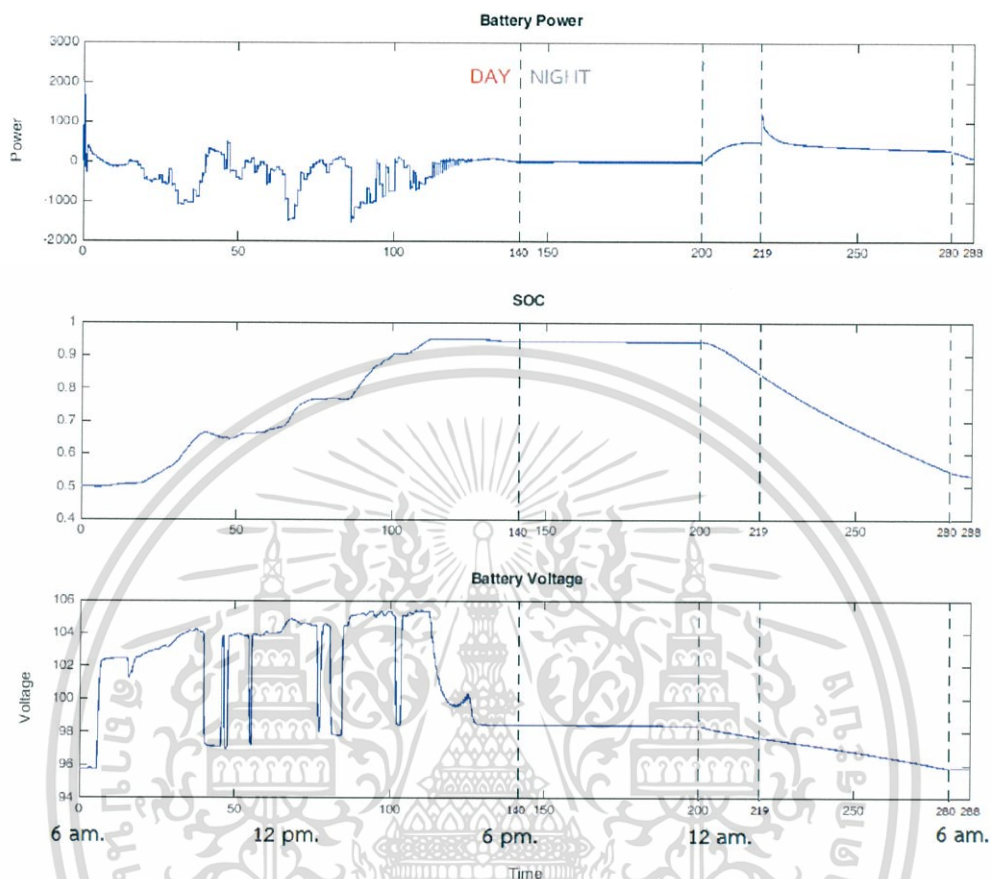
ความถี่กำลังไฟฟ้าในรูปที่ 4.5 ของระบบมีความผันผวนน้อยลงหลังจากการเพิ่มระบบ Energy Storage โดยไม่เกินค่ามาตรฐาน หรืออยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 Hz เนื่องจากการทดแทนด้วยพลังงาน Pfast ซึ่งทดแทนด้วยความรวดเร็วในช่วงที่เกิดการผันผวนของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ใน ระยะเวลาสั้นๆ เพื่อให้เมื่อทำการ P-f Droop Control แล้วจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความถี่ที่ มากเกินไป ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบได้



รูปที่ 4.5 ความถี่กำลังไฟฟ้าหลังเพิ่มระบบ Energy Storage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการใช้งานพลังงานจากแบตเตอรี่



รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์การ Charge และ Discharge แบตเตอรี่

พลังงานของแบตเตอรี่จะถูกแสดงดังรูป 4.6 (กราฟบนสุด) โดยหากพลังงานมากกว่า 0 จะเป็นการ Discharge ออกจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับระบบ และหากน้อยกว่า 0 จะเป็นการชาร์จให้กับแบตเตอรี่ ในช่วงเวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นช่วงเวลากลางวันซึ่งสังเกตได้ถึงการเปลี่ยนของการชาร์จ และดิสชาร์จอย่างมากเนื่องจากความผันผวนของการผลิตไฟฟ้า ในช่วงกลางคืนหลังจากเวลา 18.00 น. ถึงประมาณ 1.30 น. พลังงานในแบตเตอรี่ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้ายังคงพอเพียงต่อระบบไมโครกริด หลังจากเวลา 1.30 น. พลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกจ่ายออกมากขึ้นเนื่องจากทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PQ2 ออกจากระบบ แบตเตอรี่ทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามปริมาณไหลเพื่อให้มีการใช้งาน Energy Storage ในด้าน Demand Shifting

State of Charge (SOC) แสดงให้เห็นถึงปริมาณพลังงานในแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดวัน โดยเมื่อเริ่มต้นวัน SOC ถูกกำหนดให้เป็น 50% และทำการชาร์จให้กับแบตเตอรี่ก่อนหมดช่วงกลางวันให้ได้ SOC 95% ตามที่ได้ออกแบบค่า Gain ของ Expectation Insolation ไว้ที่ $K = 0.26$ โดยในช่วงกลางคืนเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์จึงทำการดิสชาร์จอย่างเดียวโดยจะเหลือค่า SOC ที่ 50% ก่อน 6.00 น. ของวันถัดไป อย่างไรก็ตาม SOC ถูกกำหนดไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 30% ยกเว้นกรณีฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาโครงสร้าง และหลักการทำงานของระบบไมโครกริดโดยใช้ระบบมัลติเอเจนต์สำหรับการควบคุมระบบไมโครกริด ซึ่งเป็นการใช้ศาสตร์ในแขนงวิทยาการคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในส่วนการสื่อสารของระบบ และเพื่อศึกษาการนำ Energy Storage มาประยุกต์ใช้ในระบบไมโครกริด ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วย Renewable Energy Resource จะมีการผลิตไฟฟ้าที่ผันผวนเป็นอย่างมากในแต่ละวันตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง โดย Energy Storage จะสามารถแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้าจาก Renewable Energy Resource ได้ และยังช่วยแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบและทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

ในการออกแบบระบบ Energy Storage เริ่มจากการศึกษาคุณลักษณะของแบตเตอรี่ชนิด Lead-acid ที่ใช้ในโครงการ โดยสมการการชาร์จ และดิสชาร์จของแบตเตอรี่จะถูกนำมาออกแบบโปรแกรม MATLAB/SIMULINK พร้อมการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อทำการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับระบบไมโครกริดจะมีการควบคุมการชาร์จ และดิสชาร์จเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด พลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Insolation จะใช้เป็นค่าอ้างอิงในการถ่ายเทประจุเข้าและออกจากแบตเตอรี่ โดย Expectation Insolation จะใช้ในการคาดคะเนปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะชาร์จให้กับแบตเตอรี่ให้เพียงพอก่อนหมดวัน เพื่อใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ต่อไปในตอนกลางคืน โดยการ Discharge จากแบตเตอรี่จะต้องไม่น้อยไปกว่า SOC 30% โดยจะทำให้ Cycles การใช้งานของแบตเตอรี่ได้ประมาณ 2 ปี การใช้งานพลังงานจากแบตเตอรี่แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Pfast และ Pslow โดย Pfast จะทำให้ความผันผวนของความถี่ลดลง และมีความรบกวนมากขึ้น และ Pslow จะทำการแบ่งเบาภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 และ 2 ในการ Sharing Load ทั้งนี้ยังใช้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดในช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้

การจำลองระบบ Energy Storage ที่ใช้ในระบบไมโครกริดในโครงการนี้เป็นการจำลองและศึกษาผ่านทางโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ทั้งในเรื่องของคุณลักษณะแบตเตอรี่ที่ใช้ หน้าทีของระบบสำรองพลังงานที่ต้องกระทำ กระบวนการควบคุม เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ และกระบวนการทำงานของระบบก่อนจะเตรียมการออกแบบระบบ Hardware ในการเชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดของจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุปสรรค

การ Simulation โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ใช้เวลานาน เนื่องจากโปรแกรมของไฟล์ของโหลด และโปรแกรมการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ย่ออัตราส่วนจากเวลาจริงลงมาโดยคิดเป็น 5 นาทีจะเท่ากับ

1 วินาทีในการ Simulation ดังนั้นในการ Simulation 1 ครั้งจะต้องใช้เวลามาก ซึ่งยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการ Simulation ด้วย ทั้งยังไม่สามารถใช้งานได้ในเวลาที่มีการ Simulation จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

เมื่อทำการ Simulation แต่ละครั้ง ควรใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ และใช้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นเพื่อใช้งานต่อไป เพื่อทำการลดเวลาในการทำงานให้น้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Daniel E. Olivares, Ali Mehrizi-Sami, Amir H. Etemadi, Claudio A. Canizares and Rodrigo Palma-Behnke, "Trends in Microgrid Control," IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, vol.5, no.4, July 2014, pp. 1905-1919.
- [2] Darith Leng, "Study of a multi-agent system for a single-phase microgrid", Thesis for the degree of master in engineering computing system, International College, King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2015
- [3] นายกิตติโชติ สุนทรทวีทรัพย์, นายชวิศ โม้ไบ, นาย ชานน ชมเสาร์หัต "ระบบมัลติเอเจนท์ สำหรับการควบคุมไมโครกริด", ปรินญาณพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558
- [4] Olivier Tremblay, Louis-A. Dessaint, "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications", World Electric Vehicle Journal Vol.3, ISSN 2032-6653, May 2009, pp.0289-0298.
- [5] Sergei Melentjev, Deniss Lebedev, "Overview of Simplified Mathematical Models of Batteries", Tallinn University of Technology (Estonia), pp.231-235.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ

STUDY ON ENERGY STORAGE SYSTEM CONTROL

FOR A STAND-ALONE MICROGRID

มงคล มณีมนตรี รัชดาภรณ์ แดงสุข รัชตพงศ์ ธาระวะวัฒนา

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 0-2739-2478

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้นำเสนอแนวความคิดการควบคุมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริดแบบแยกอิสระ ระบบกักเก็บพลังงานในไมโครกริดที่ทำงานด้วยสถานะแยกอิสระมีความสำคัญในการทำหน้าที่สำรองพลังงานให้กับระบบเพื่อใช้ในสถานการณ์ต่างๆ ในรายงานฉบับนี้ระบบกักเก็บพลังงานถูกใช้ประโยชน์ในการประวิงความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในระบบไมโครกริดเพื่อปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าด้านความถี่ของระบบให้ดีขึ้น ระบบกักเก็บพลังงานในการศึกษานี้ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงานงาน การควบคุมรับจ่ายกำลังของระบบกักเก็บพลังงานถูกควบคุมด้วยค่าสถานะของประจุของแบตเตอรี่ร่วมกับสถานะการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โปรไฟล์ของกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบกักเก็บพลังงานถูกกำหนดจากโปรไฟล์ของกำลังงานแสงอาทิตย์ทางอุดมคติ กำลังไฟฟ้ารวมของระบบกักเก็บพลังงานและระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มีความราบเรียบทำให้ความถี่ไฟฟ้าของระบบได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์น้อยลง ในช่วงกลางคืนพลังงานที่กักเก็บไว้จะถูกนำมาใช้เพื่อลดภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามหลักการการประวิงความต้องการกำลังไฟฟ้า ในรายงานฉบับนี้ระบบไมโครกริดและระบบกักเก็บพลังงานถูกโมเดลด้วย MATLAB/Simulink ผลการจำลองการทำงานของระบบไมโครกริดและระบบกักเก็บพลังงานแสดงผลการแกว่งของความถี่ที่ลดลง และสามารถสำรองพลังงานและนำออกมาใช้ได้ตามที่ออกแบบ

คำสำคัญ: ไมโครกริด, ระบบกักเก็บพลังงาน, Simulation

Abstract

This engineering project proposed a control technique for energy storage system in a stand-alone microgrid. The lead-acid battery is considered as the energy storage device in this study. The power of the energy storage system is controlled by the state of charge of the battery along with the generated power of the photovoltaic system. Power profile of the energy storage system is defined by the

ideal insolation profile so that the combined power from the photovoltaic and the energy storage system is smoothed and lessen the effect of fluctuated power on the frequency deviation. In the night time, the stored energy is delivered to the microgrid to reduce the burden of the generator to realize the principle of demand shifting. In this report the microgrid and energy storage system is model in MATLAB/Simulink. The simulation results show lower frequency deviation and the utilization of the stored energy are in accordance with the design.

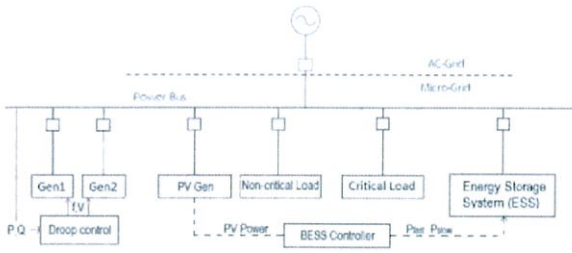
Keyword: Microgrid, Energy Storage, Simulation

1. บทนำ

ระบบไมโครกริด เป็นการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจายศูนย์ในให้สมดุลกับการะไฟฟ้าภายในพื้นที่ใกล้เคียง โดยแหล่งพลังงานจะนิยมเป็นพลังงานหมุนเวียน ขณะเดียวกันไมโครกริดยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในโครงข่ายหลักได้ด้วย ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก (Grid) ไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำการส่งกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Island) ได้อย่างอัตโนมัติและสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปยังระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไข ไมโครกริดจะช่วยเสริมความมั่นคงของการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้า และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าก็จากการใช้พลังงานหมุนเวียน[1]

การเชื่อมต่อระบบสำรองพลังงาน (Energy Storage) หรือแบตเตอรี่เข้ากับระบบไมโครกริดจะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ และจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริดเมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากเมื่อทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมีผลโดยตรงต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะทำให้คุณภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ามีความผันผวนอันเนื่องมาจากการควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ภายใต้ P-f Droop Control ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงจะมีผลต่อความถี่กำลังไฟฟ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



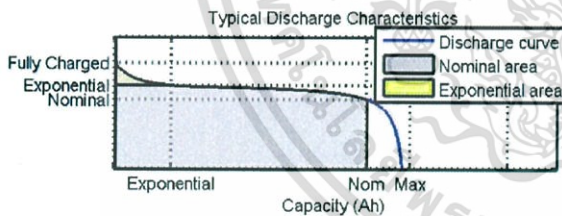
รูปที่ 1 ไมโครกริดสาธิต

Components	Spec.
Generator 1,2	2000 VA each
PV Generator	3000 VA
Lead-acid Battery	12 V 65 Ah 8 Units

ตารางที่ 1 พิกัดของอุปกรณ์ต่างๆ

2. การจำลองแบตเตอรี่ด้วยองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์

การติดตั้งระบบ Energy Storage จะเริ่มจากการจำลององค์ประกอบทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ โดยศึกษากราฟคุณลักษณะของแบตเตอรี่ ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสามช่วง คือ ช่วงแรกเป็น Exponential Zone แรงดันจะตกหลังจากเริ่ม Discharge ในช่วงที่สองเป็นการใช้งานแบตเตอรี่ที่แรงดันปกติตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่ และหลังจาก Discharge จนกระทั่งประจุใกล้หมด แรงดันจะตกทันทีทันใด โดยกราฟคุณลักษณะของแบตเตอรี่จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของแบตเตอรี่ และผู้ผลิต



รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะแบตเตอรี่

[2][3] อธิบายได้ด้วยสมการ Discharge และ Charge ดังต่อไปนี้

$$\text{Discharge} : V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - i_t} \cdot (i_t + i') + Exp(t) \quad (1)$$

$$\text{Charge} : V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{i_t - 0.1 \cdot Q} \cdot i' - K \frac{Q}{Q - i_t} \cdot i_t + Exp(t) \quad (2)$$

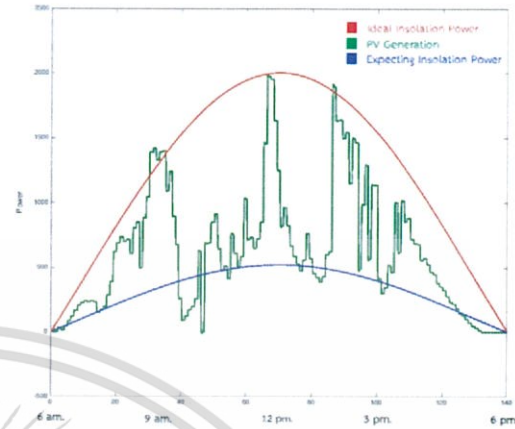
โดยในช่วง Exponential Zone อธิบายได้ด้วยสมการ

$$Exp(t) = B \cdot |i(t)| \cdot (-Exp(t) + A \cdot u(t)) \quad (3)$$

เมื่อ V_{batt} คือแรงดันแบตเตอรี่ (V), E_0 คือแรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ (V), R คือความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ω), i คือกระแสแบตเตอรี่ (A), K คือค่าความต้านทานโพลาไรเซชัน (Ω) หรือค่าคงที่โพลาไรเซชัน (V/Ah), Q คือความจุแบตเตอรี่ (Ah), i_t หรือ i_{dt} คือค่าการประจุแบตเตอรี่ (Ah), i' คือกระแสที่ผ่าน Low-pass Filter (A), A คือแรงดันในช่วง Exponential Zone, B คือความจุในช่วง Exponential Zone

, $Exp(s)$ คือ Exponential Zone Dynamics, $Sel(s)$ คือ โหมดของ Battery เมื่อ Charge เป็น 1 และ Discharge เป็น 0

3. การควบคุมระบบสำรองพลังงานในระบบไมโครกริด

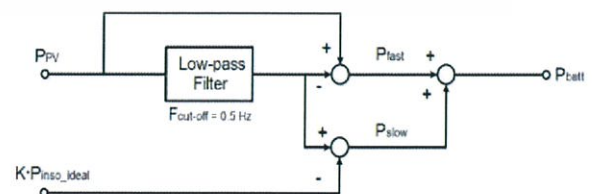


รูปที่ 3 Insolation เพื่อใช้อ้างอิงการ Charge และ Discharge แบตเตอรี่

การควบคุมระบบสำรองพลังงานจะอ้างอิงกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ และ State of Charge (SOC) ของแบตเตอรี่ โดย Insolation หรือพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้บนผิวโลกจะถูกนำมาอ้างอิง โดยประมาณจากความจุแบตเตอรี่คงเหลือในแต่ละวัน และประเมินสภาพอากาศที่อาจเกิดขึ้นในวันถัดไป โดย Expecting Insolation Power เป็นการคูณ Gain K ($K=0.26$) กับ Ideal Insolation ในวันนั้นๆ เพื่อจำกัดปริมาณการ Charge ให้กับแบตเตอรี่ เพื่อให้ SOC แบตเตอรี่ สูงที่สุด ($SOC=95\%$) ก่อนพระอาทิตย์ตกดิน โดยเมื่อการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จริงมากกว่า Expecting Insolation Power จะเป็นการ Charge ให้กับแบตเตอรี่ ในทางกลับกันเมื่อ Expecting Insolation Power มากกว่า จะเป็นการ Discharge เพื่อจ่ายให้กับไมโครกริด SOC ของแบตเตอรี่จะถูกกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 30% โดยจะทำให้ Cycles การใช้งานประมาณ 2 ปีตามการอ้างอิง Datasheet ของผู้ผลิตแบตเตอรี่ซึ่งเป็นชนิดตะกั่ว-กรด

4. การใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

พลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ Pfast และ Pslow ซึ่งตั้งชื่อตามลักษณะของสัญญาณที่ได้

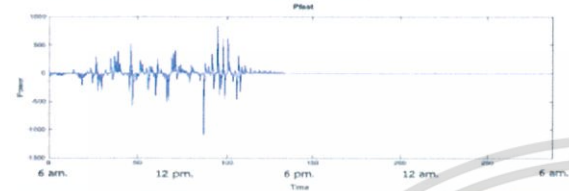


รูปที่ 4 รูปแบบการคำนวณ Pfast และ Pslow

Pfast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

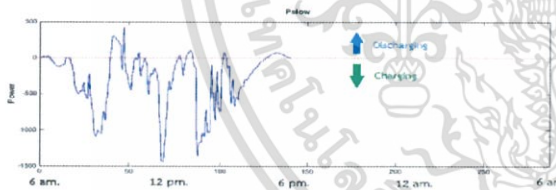
- สัญญาณ Pfast เป็นสัญญาณของค่าประกอบความถี่สูงซึ่งเกิดจากความผันผวนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์
- ทำให้ความผันผวนของความถี่ไฟฟ้ากำลังของระบบลดลง ซึ่งเป็นผลมาจาก P-f Droop Control โดยทำการทดแทน Pfast ในทุกช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายภายในระบบ
- Pfast จะไม่ส่งผลกระทบต่อ SOC ของแบตเตอรี่เนื่องจากการใช้พลังงานในส่วนนี้จะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ



รูปที่ 5 สัญญาณ Pfast

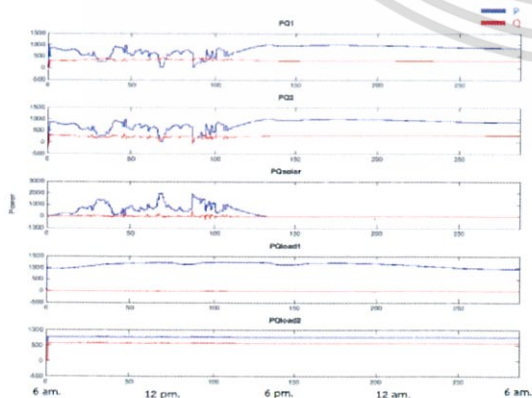
Pslow

- สัญญาณ Pslow บ่งบอกปริมาณการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่
- ช่วยให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าของ Generator1 และ 2 มีความผันผวนน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจาก P-f Droop Control ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพลังงานในส่วนนี้จะเข้าไปทดแทนในส่วนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง
- ใช้ในการจ่ายโหลดเพื่อแบ่งเบาภาระ Generator โดยจะช่วยทำการจ่ายโหลดในช่วงเวลากลางวัน และทำการจ่ายโหลดได้ในช่วงเวลาฉุกเฉินได้
- ใช้ได้ในช่วง $30 < SOC < 95$



รูปที่ 6 สัญญาณ Pslow

5. ผลการเชื่อมต่อระบบสำรองพลังงาน

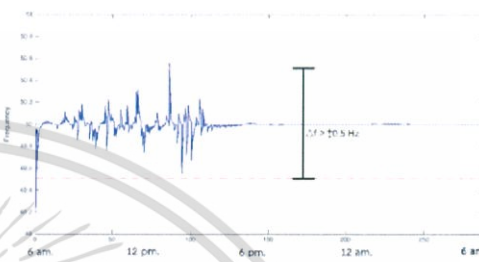


รูปที่ 7 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบก่อนการเพิ่ม

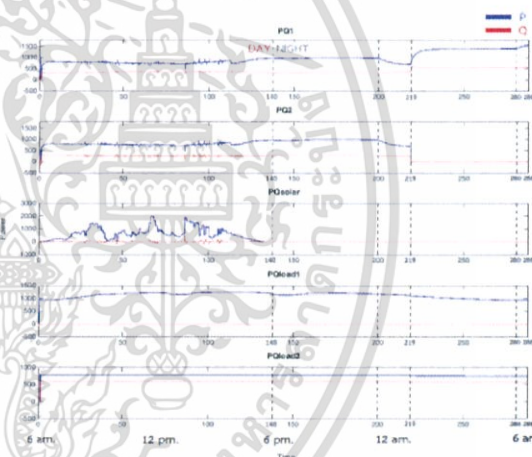
ระบบ Energy Storage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการ Simulation ก่อนทำการเพิ่มระบบ Energy Storage ในช่วงการผลิตที่ไม่สัมพันธ์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์(PQsolar) เมื่อทำการควบคุม P-f Droop Control ระหว่าง Generator ทั้ง 3 หน่วยแล้ว จะสังเกตได้ว่ากำลังไฟฟ้าจาก Generator 1(PQ1)และ 2(PQ2) จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยซึ่งเป็นผลจาก P-f Droop Control ซึ่งจะทำให้ความถี่กำลังไฟฟ้าของระบบมีการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับความถี่ระบบไฟฟ้า



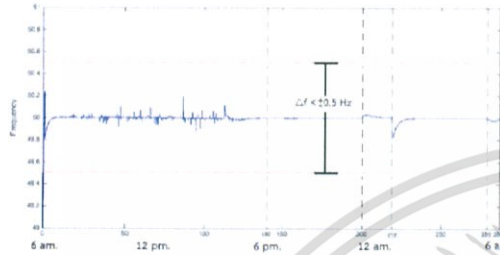
รูปที่ 8 ความถี่ไฟฟ้ากำลังก่อนเพิ่มระบบ Energy Storage



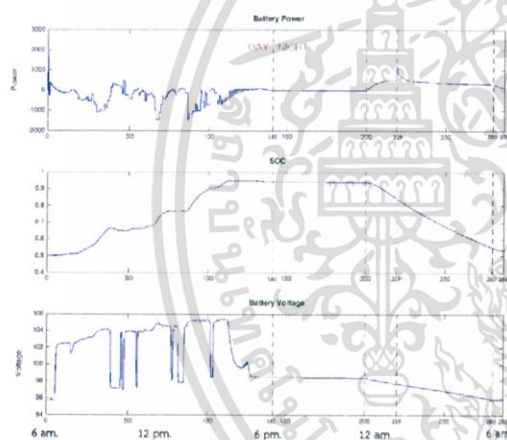
รูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนที่เกิดขึ้นของระบบหลังการเพิ่มระบบ Energy Storage

จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มระบบ Energy Storage ให้กับระบบไมโครกริดแล้ว การผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Generator1 และ 2 หรือ PQ1 และ 2 จะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากการทดแทนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ทันทีในช่วงที่มีการตกของการผลิตกำลังไฟฟ้าเป็นผลอันเนื่องมาจาก P-f Droop Control ร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งการทดแทนด้วยพลังงานจาก Energy Storage นี้คือการใช้ Pslow นั่นเอง ในช่วงเวลากลางวันพลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกจ่ายให้กับโหลด และทำการปิด Genrator2 เพื่อลดภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้พลังงานจากการ Charge ในตอนกลางคืนก่อนที่แสงอาทิตย์จะหมด หรือเป็นการ Demand Shifting

ความถี่กำลังไฟฟ้าของระบบมีความผันผวนน้อยลง หลังจาการเพิ่มระบบ Energy Storage โดยไม่เกินค่ามาตรฐาน หรืออยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 Hz เนื่องจากการทดแทนด้วยพลังงาน Pfast ซึ่งทดแทนด้วยความรวดเร็วในช่วงที่เกิดการผันผวนของการผลิตไฟฟ้า ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะเวลาสั้นๆ เพื่อให้เมื่อทำการ P-f Droop Control แล้วจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความถี่ที่มากขึ้นไป ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบได้



รูปที่ 10 ความถี่ไฟฟ้ากำลังหลังเพิ่มระบบ Energy Storage



รูปที่ 11 ผลลัพธ์การ Charge และ Discharge แบตเตอรี่

พลังงานของแบตเตอรี่จะถูกแสดงดังรูป (กราฟบนสุด) โดยหากพลังงานมากกว่า 0 จะเป็นการ Discharge ออกจากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายให้กับระบบ และหากน้อยกว่า 0 จะเป็นการ Charge ให้กับแบตเตอรี่

6. สรุป

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา โครงสร้าง และ หลักการทำงานของระบบไมโครกริดเพื่อศึกษาการนำ Energy Storage มาประยุกต์ใช้ในระบบไมโครกริด โดย Energy Storage จะสามารถแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้าจาก Renewable Energy Resource ได้ และยังช่วยแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบและทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

ในการออกแบบระบบ Energy Storage เริ่มจากการศึกษา คุณลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดที่ใช้ในโครงการ

คำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อทำการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับระบบไมโครกริด จะมีการควบคุมการ Discharge และ Charge โดย Expectation Insolation Power จะใช้ในการคาดคะเนปริมาณพลังงานที่จะ Charge ให้กับแบตเตอรี่ให้เพียงพอก่อนหมดวัน โดยการ Discharge จากแบตเตอรี่จะต้องไม่น้อยไปกว่า SOC 30% การใช้งานพลังงานจากแบตเตอรี่แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Pfast และ Pslow โดย Pfast จะทำให้ความผันผวนของความถี่ลดลง และมีความรายเรียงมากขึ้น และ Pslow จะทำการแบ่งเบาภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า GeneratorI และ 2 ในการ Sharing Load ทั้งนี้ยังใช้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดในช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้

การจำลองระบบ Energy Storage ที่ใช้ในระบบไมโครกริดในโครงการนี้ศึกษาผ่านทางโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ทั้งในเรื่องของคุณลักษณะแบตเตอรี่ที่ใช้หน้าที่ของระบบสำรองพลังงานที่ต้องกระทำ กระบวนการควบคุมเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ และกระบวนการทำงานของระบบก่อนจะเตรียมการออกแบบระบบ Hardware ในการเชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดของจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายกิตติโชค ตันทรทวีทรัพย์, นายวิชาญ โมไบบ, นายชานน ชมเสาว์หัทธ์ “ระบบนำถือนาฬิกาสำหรับการควบคุมไมโครกริด”, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558
- [2] Olivier Tremblay, Louis-A. Dessaint, “Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications”, World Electric Vehicle Journal Vol.3, ISSN 2032-6653, May 2009, pp.0289-0298.
- [3] Sergei Melentjev, Denis Lebedev, “Overview of Simplified Mathematical Models of Batteries”, Tallinn University of Technology (Estonia), pp.231-235.

ประวัติผู้เขียน



นาย มงคล มณีแฉกร
วันเดือนปีเกิด 12 ธันวาคม 2537
3/51 ถ.บรมราชชนนี แขวงจตุรรมิตรนาคร เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
Email: pluemsk@gmail.com



นางสาว รชดากรณ์ แดงสุ
วันเดือนปีเกิด 24 มกราคม 2538
3/9 ม.10 ด.หนองโรง อ.หนองแค จ.สระบุรี 18140
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนวมินทราชินวิทยาลัย
Email: bansuan_muk@hotmail.com



นาย รชตพงษ์ การะวะวัฒนา
วันเดือนปีเกิด 17 ธันวาคม 2537
248/56 ถ.จรัญศุนทิวรังษ์ แขวงบางพลัด เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
Email: rachtapong@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
Datasheet Battery Solar 12-65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Series SLA Battery

Range Summary

By combining the newly developed nano gel electrolyte with high density paste, BSB created an innovative range of Solar batteries. The range offers high recharge efficiency at the very low charge current. The acid stratification is highly depressed by adding of gel. This range battery is highly suited to energy storage for renewable energy such as PV and wind turbine power systems applications.

Application

- Photovoltaic system
- Renewable Energy System
- Electric Utility
- Outdoor control Equipment
- Railroad Utility

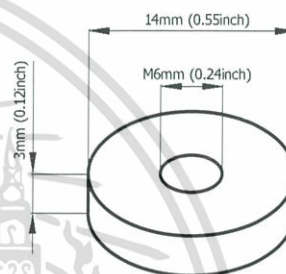


General Features

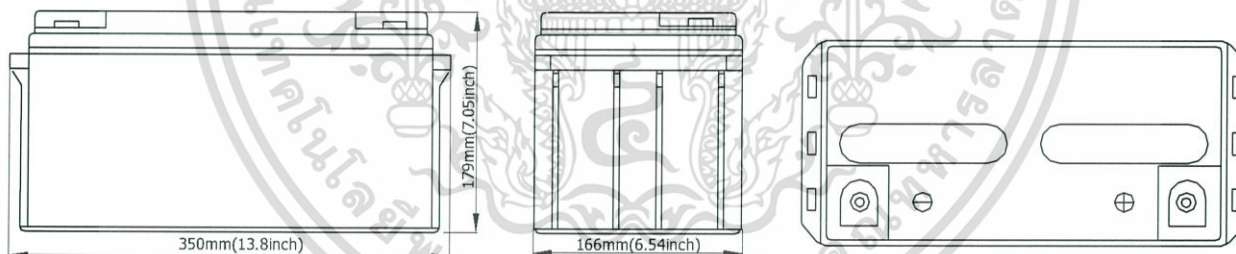
- 12 years float life at 20°C
- Up to 5 years design life at renewable energy applications
- Wide operating temperature range of -15 to 60°C
- Nano gel electrolyte eliminate the acid stratification and prolong cycle life
- Round trip efficiency as high as 85%
- Thick positive flat plate with high density paste
- Low self-discharge rate and long shelf life(1 year at 25°C)
- Excellent deep discharge recovery capability

Construction

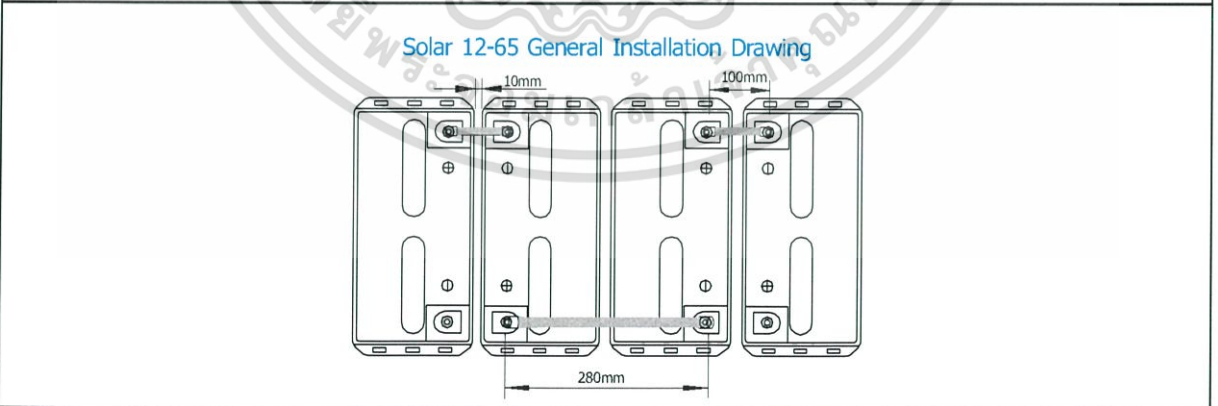
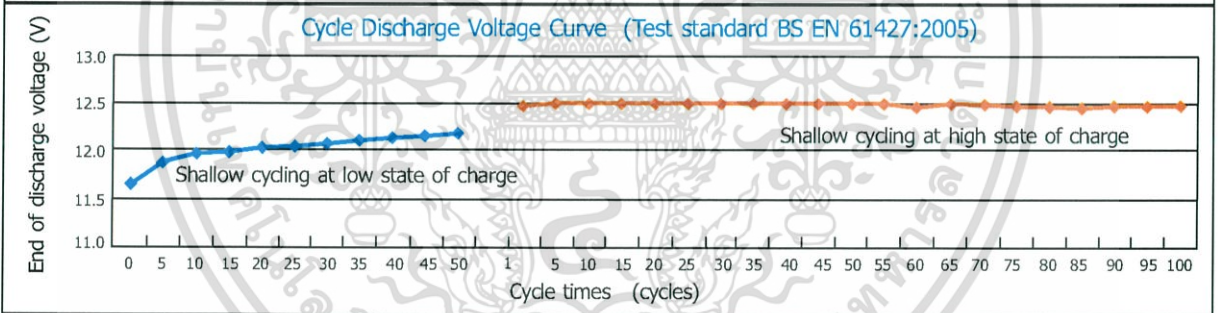
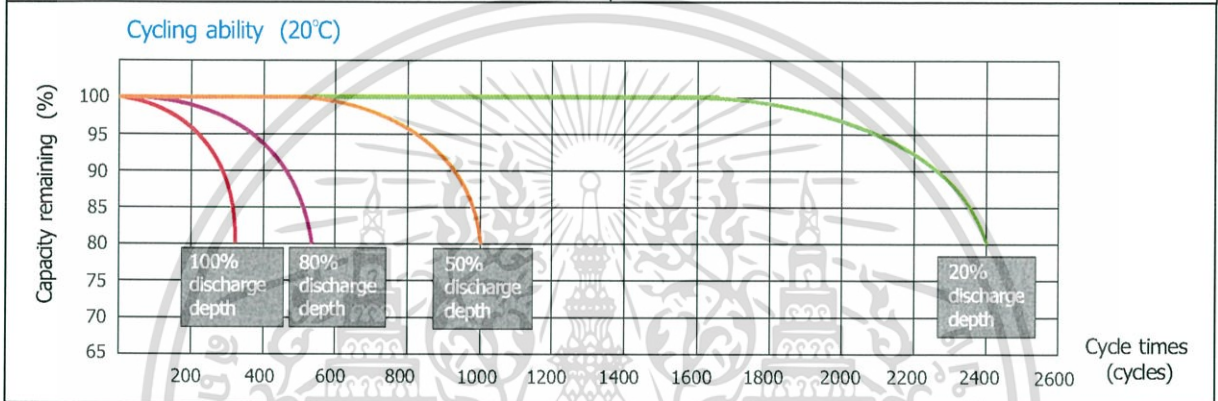
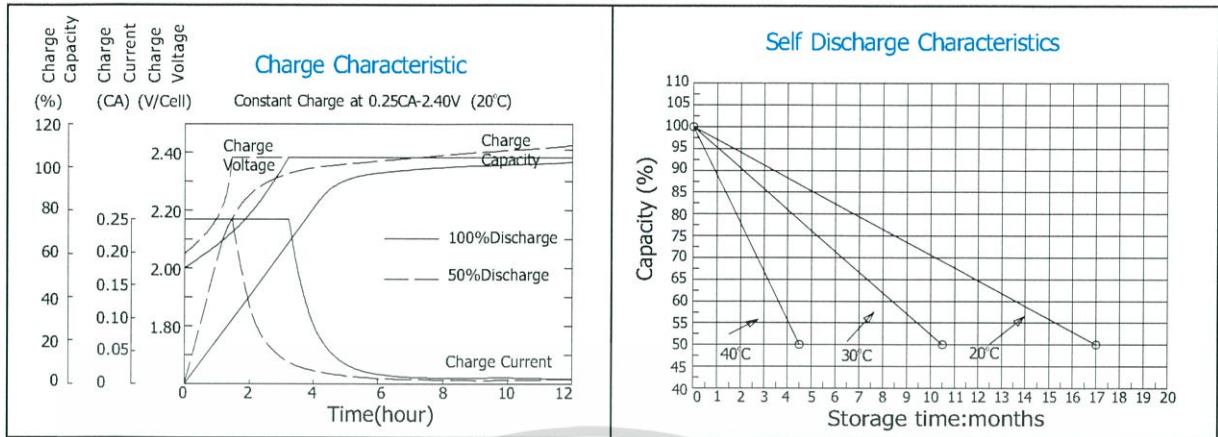
- Positive Lead dioxide
- Negative Lead
- Container ABS
- Cover ABS
- Sealant Epoxy Resin
- Safety valve EPDR
- Terminal Copper
- Separator AGM
- Electrolyte Acid with gel



Terminal Dimensions



Battery Model	Solar 12-65			
Designed Floating Life	12 Years			
Designed Cycle Life (According to IEC61427)	5 Years			
Capacity(20°C)	10HR(6.5A,1.80V)	24HR(2.88A,1.80V)	48HR(1.52A,1.80V)	100HR(0.78A,1.80V)
	65Ah	69Ah	73Ah	78Ah
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	350mm(13.8inch)	166mm(6.54inch)	179mm(7.05inch)	179mm(7.05inch)
Approx. Weight	21.2Kg (46.7 lbs)			
Internal Resistance	Full charged at 20°C: 0.006 Ohm			
Self Discharge	3% of capacity dedined per month at (20°C)			
Capacity Affected by Temp.(10HR)	40°C	20°C	0°C	-15°C
	109%	100%	85%	65%
Charge Voltage(20°C)	Cycle use		Float use	
	14.4-14.8V(-30mV/°C), max. Current: 16.25A		13.6-13.8V(-18mV/°C)	



Constant current discharge ratings-amperes at 20°C

TIME	1h	3h	5h	10h	24h	48h	72h	100h	120h
CUT-OFF VOLTAGE	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
CAPACITY(Ah)	41	49	56	65	69	73	76	78	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... เพื่อ... กรุณา... มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า...
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 COPYRIGHT BSB POWER COMPANY LIMITED



Solar Series

BSB Solar Series Valve-regulated Lead Acid batteries use particular alloy and material technology design to ensure a excellent performance in various environments, especially high and low temp. BSB Solar series batteries is optimal for storage and conversion of photovoltaic energy and wind energy.

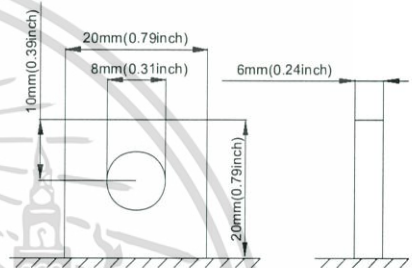
Application

- Photovoltaic system
- Alternative Energy System
- Electric Utility
- Outdoor control Equipment
- Railroad Utility



General Features

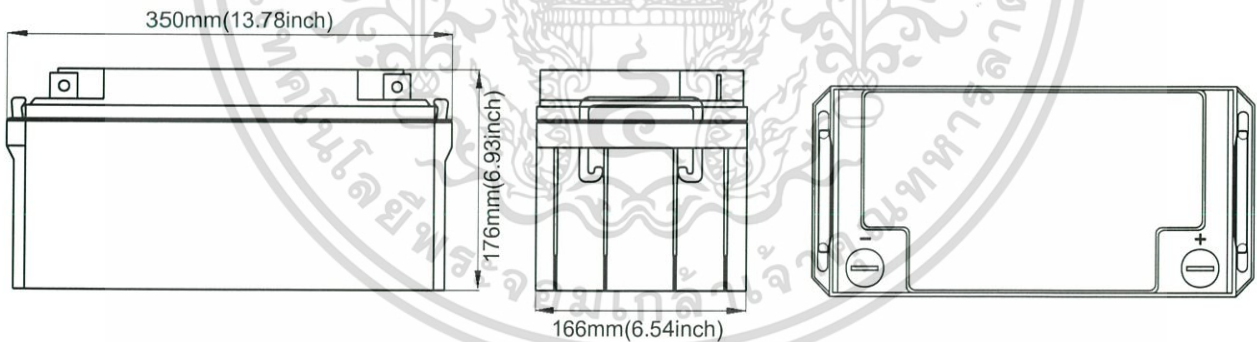
- Sealed and maintenance free operation.
- Non-Spillable construction design.
- ABS containers and covers(UL94HB, UL94V-0) optional.
- Safety valve installation for explosion proof.
- High quality and high reliability.
- Exceptional deep discharge recovery performance.
- Low self discharge characteristic.
- Flexibility design for multiple install positions.



Construction

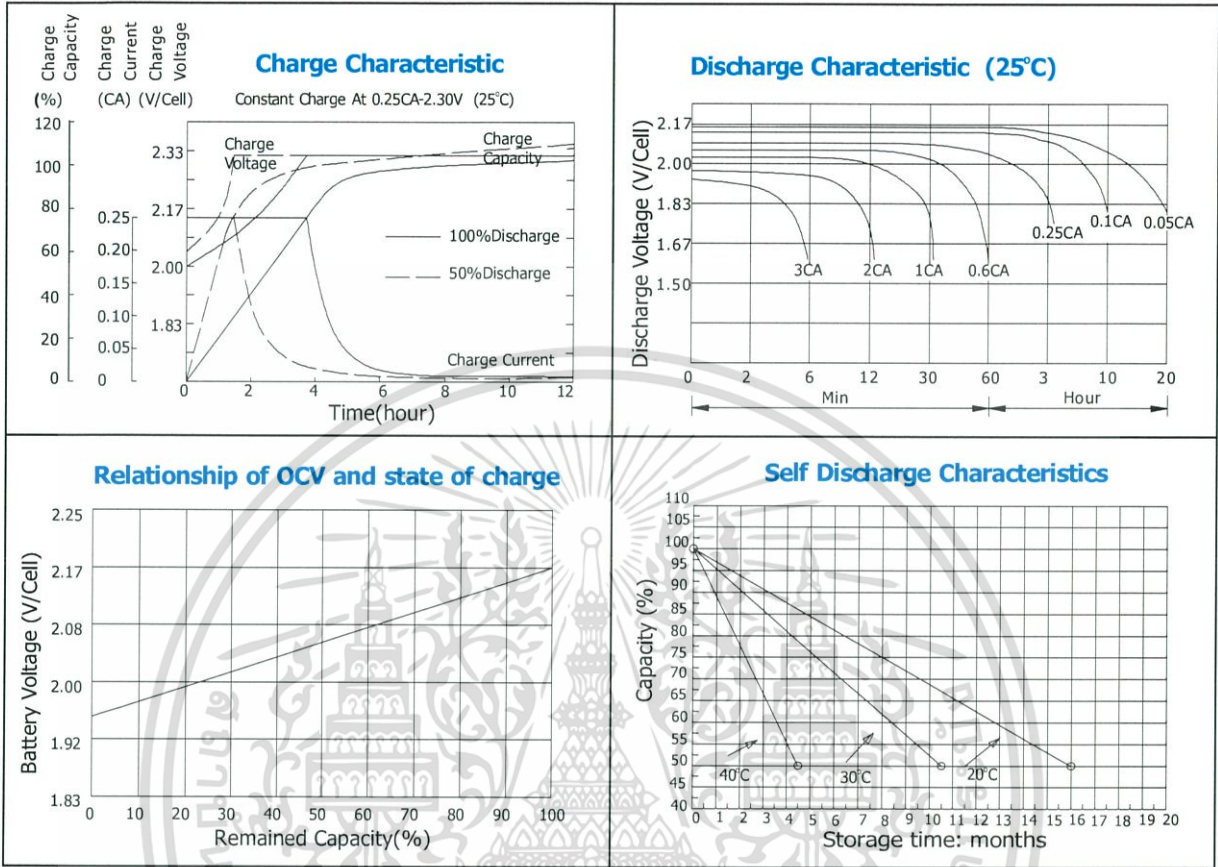
- ComponentRaw material
- PositiveLead dioxide
- NegativeLead
- ContainerABS
- CoverABS
- SealantEpoxy Resin
- Safety valveEPDR
- TerminalCopper
- SeparatorAGM
- Electrolytesulfuric acid

Terminal Dimensions



Battery Model	Solar 12-65			
Designed Floating Life	8 Years			
Capacity(25°C)	20HR(3.3A,1.75V)	10HR(6.5A,1.75V)	5HR(11A,1.75V)	1HR(40A,1.75V)
	66AH	65AH	55AH	40AH
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	350mm(13.78inch)	166mm(6.54inch)	176mm(6.93inch)	176mm(6.93inch)
Approx. Weight	21.6Kg (47.63 lbs)			
Internal Resistance	Full charged at 25°C: 0.006 Ohm			
Self Discharge	3% of capacity declined per month at (25°C)			
Capacity Affected by Temp.(20HR)	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
Charge Voltage(25°C)	Cycle use		Float use	
	14.4-15V(-30mV/ °C), max. Current: 16.25A		13.6-13.8V(-20mV/ °C)	

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่รับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Constant current discharge ratings-amperes at 25°C

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	3HR	5HR	10HR	20HR
1.60V	228	156	114	68.3	42.9	17.7	12.4	6.89	3.43
1.67V	205	142	111	66.3	42.8	17.7	12.3	6.79	3.41
1.70V	194	137	107	65.0	42.7	17.7	12.3	6.74	3.41
1.75V	173	127	101	63.7	42.3	17.6	12.2	6.62	3.40
1.80V	156	118	96.2	61.8	41.7	17.5	12.1	6.51	3.28
1.85V	118	96.9	83.2	56.8	41.3	17.4	12.0	6.39	3.20

Constant power discharge ratings-watts at 25°C

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	3HR	5HR	10HR	20HR
1.60V	375	259	202	129	84.5	34.1	23.7	13.8	6.85
1.67V	356	255	200	126	81.7	34.1	23.7	13.6	6.83
1.70V	332	249	196	123	79.6	34.1	23.7	13.5	6.83
1.75V	309	233	185	120	78.8	33.5	23.5	13.2	6.80
1.80V	278	216	174	116	77.5	33.1	23.1	13.0	6.56
1.85V	222	179	151	107	76.8	33.0	22.8	12.8	6.41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address: Meilong Road, LongHua Town, BaoAn District, Shenzhen, China.

TEL:86-755-28094189

Fax:86-755-8372 2565

Email:info@wbrbattery.com

Http:// www.wbrbattery.com

ประวัติผู้เขียน



นาย มงคล มณีเนตร

วัน/เดือน/ปีเกิด 12 ธันวาคม 2537

3/51 ถ.บรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย

Email: pluemsk@gmail.com



นางสาว รัชดาภรณ์ แดงสุข

วัน/เดือน/ปีเกิด 24 มกราคม 2538

3/9 ม.10 ต.หนองโโรง อ.หนองแค สระบุรี 18140

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมาลาสวรรค์พิทยา

Email: bansuan_muk@hotmail.com



นาย รัชตพงศ์ คาระวะวัฒนา

วัน/เดือน/ปีเกิด 17 ธันวาคม 2537

248/56 ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางพลัด เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย

Email: rachtapong@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้