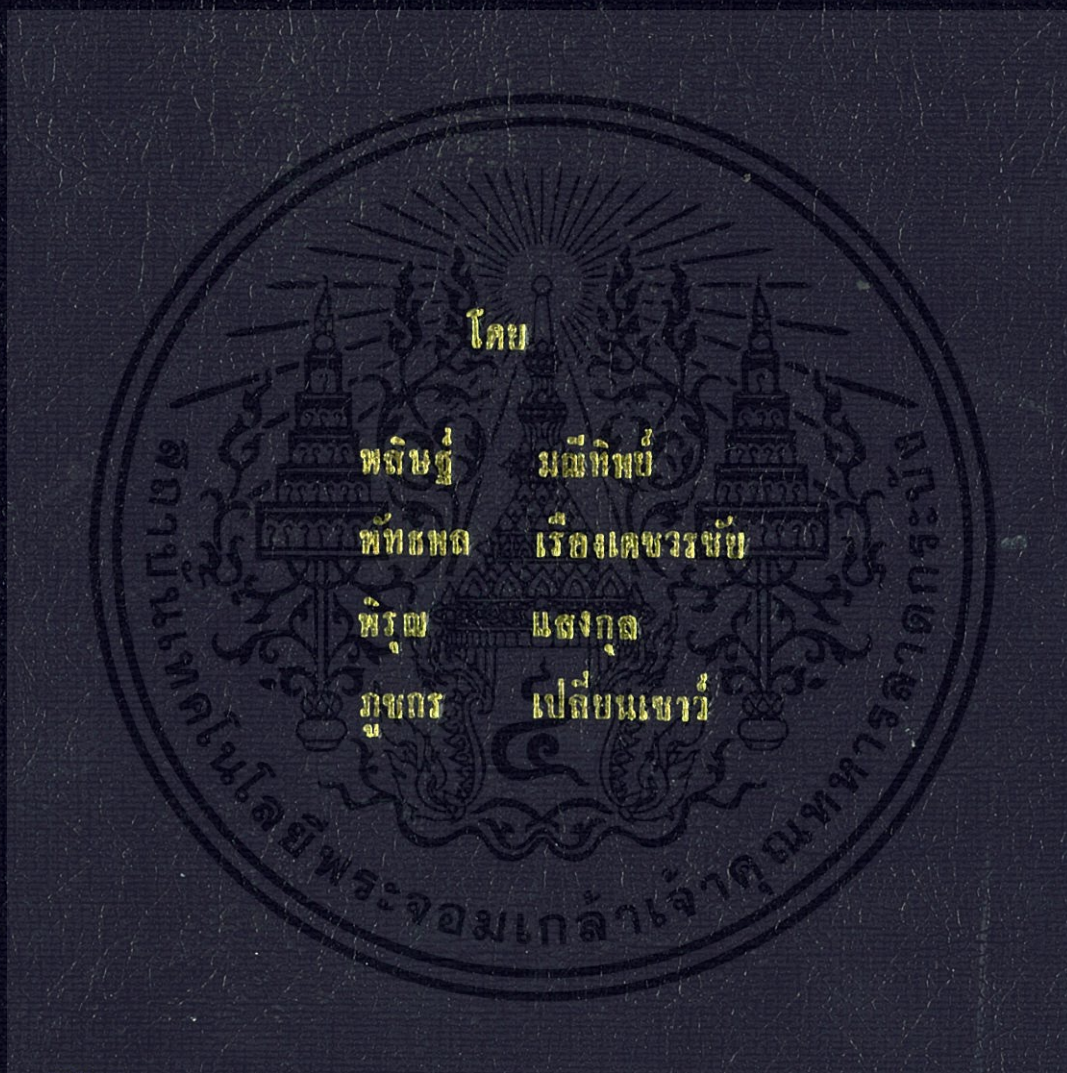


โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์วิศวกรรมระบบพลังงาน
ClaES Microgrid Demonstration : Operation and Control



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน
CInES Microgrid Demonstration : Operation and Control



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CInES Microgrid Demonstration : Operation and Control



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

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556
โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน
CInES Microgrid Demonstration : Operation and Control



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมภาพ ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน

ผู้จัดทำ



.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน

นายพิเชษฐ์	มณีทิพย์	
นายพัทธพล	เรืองเดชวรชัย	
นายพิรุณ	แสงกุล	
นายภูชกร	เปลี่ยนเขาว์	
ดร. สมภพ	ผลไม้	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการควบคุมการทำงานแบบขนานสำหรับการผลิตพลังงานในอินเวอร์เตอร์และระบบการแสดงผลสำหรับการสาธิตระบบไมโครกริดขนาด 10-kW อินเวอร์เตอร์จะสามารถรับรู้ถึงกันได้สำหรับการแบ่งโหลดกันหรือ “Plug-and-Play” ผ่านการควบคุมทางเทคนิคควบคุมมุมของแรงดันและขนาดของแรงดันโดยไม่ต้องมีการสื่อสารถึงกันระหว่างอินเวอร์เตอร์ ในปริญญานิพนธ์นี้จะแสดงระบบไมโครกริด 1 เฟสและจำลองผลผ่าน MATLAB/Simulink เพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพการใช้วิธีการควบคุมของการควบคุมแบบดรู๊ป จากนั้นระบบควบคุมจะนำไปทดลองกับระบบไมโครกริดสาธิตจริงเพื่อยืนยันถึงประสิทธิผลของการใช้งาน ผลการจำลองและการทดลองนั้นยืนยันถึงความสมบูรณ์ของวิธีการควบคุม ในระบบการแสดงผลจะถูกจัดแสดงผ่านการสื่อสารแบบ Modbus ระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับอุปกรณ์ที่ทำการวัดค่าระบบการแสดงผลจะแสดงถึงค่าปัจจุบันต่างๆของระบบไมโครกริดเช่น แรงดัน, ความถี่, กำลังไฟฟ้าจริง, และกำลังไฟฟ้าเสมือน

CInES Microgrid Demonstration : Operation and Control

Mr.Pasit	Maneethip
Mr.Pathapol	Ruangdejvorachai
Mr.Puchakorn	Plianchaow
Mr.Pirun	Saengkul
Dr. Sompob	Polmai Supervisor
Year 2013	

Abstract

This thesis presents control method for parallel operation of power generating inverters and the monitoring system for a demonstration 10-kW microgrid system. The plug-and-play concept of a microgrid for load sharing of the inverters is realized by the angle and voltage droop control technique implemented independently on each inverter without communication. In this thesis, a single-phase microgrid is modeled and simulated using MATLAB/Simulink to validate the droop control technique, and then the droop control is implemented on the demonstration system for experimentally confirmation. The simulation results and experimental results confirm the validity of the proposed control method. The monitoring system is implemented using Modbus communication between host computer and energy measuring equipment. The monitoring system can display the microgrid's conditions, i.e. voltage, frequency, active powers and reactive power, in realtime.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการนี้ผู้จัดทำโครงการได้รับความกรุณาจาก ดร.สมภพ ผลไม้ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้คำแนะนำต่างๆและความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์เป็นอย่างมาก ถ้าหากปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

นอกจากนั้นผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชาอื่นๆในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าตลอดการศึกษาในระดับปริญญาตรี

ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆ ในห้องวิจัย Power Electronic Application and Energy Conversion Laboratory (PEARL LAB) ห้อง ECC-407 ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่คอยร่วมทุกข์ร่วมสุขคอยให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้จัดทำโครงการ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆน้องๆ ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆและช่วยเหลือกำลังใจให้ผู้จัดทำเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว บิดา มารดา และญาติมิตรของข้าพเจ้าที่ให้คำสั่งสอน และเป็นกำลังใจจากครอบครัวในการให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ซึ่งทำให้กลุ่มผู้จัดทำโครงการ เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้จัดทำขอมอบคุณงามความดีและประโยชน์จากโครงการเล่มนี้ ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 คำนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 โครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ระบบไมโครกริด	5
2.1.1 ความหมายและความเป็นมาของไมโครกริด	5
2.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ Distributed Generation (DG)	6
2.1.3 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด และหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ	7
2.1.4 แหล่งพลังงานในไมโครกริด (Resources in microgrid)	9
2.1.5 ลักษณะต่างๆของไมโครกริด	11
2.2 การควบคุม Microsource	13
2.2.1 P-f Droop Characteristics	13
2.2.2 Q-V Droop Characteristics	14
2.2.3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน (Active and Reactive Power Control)	15
2.2.5 การหากล้างไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน	18
2.2.6 การควบคุมมุมของแรงดันโดยอาศัยเทคนิค Angle Droop	19
2.2.7 การควบคุมขนาดแรงดันโดยอาศัยเทคนิค Voltage Droop	20
2.3 MODBUS Protocol	20
2.3.1 MODBUS ASCII Mode	23
2.3.2 MODBUS RTU Mode	24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบวงจรควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับไมโครกริด	25
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมสำหรับไมโครกริดระบบ 1 เฟส	25
3.1.1 ค่าพารามิเตอร์และวงจรสมมูล	25
3.1.2 การออกแบบการแปลงแกนในระบบ 1 เฟส	26
3.1.3 การออกแบบระบบเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop)	26
3.1.4 การออกแบบระบบ P&Q Calculation Subsystem	27
3.1.5 การออกแบบระบบ Angle Droop Control	27
3.1.6 การออกแบบระบบ Voltage Droop Control	28
3.1.7 การออกแบบระบบ Voltage Generation Subsystem	29
3.1.8 การออกแบบระบบ Droop Control Subsystem	30
3.1.9 Power Amplifier	30
3.1.10 การออกแบบ Phase Compensator ใน Power Amplifier	31
3.1.11 การออกแบบแบบจำลองไมโครกริดในโหมด Stand-alone ของระบบ 1 เฟส	31
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	33
4.1 แบบจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมด stand-alone ในระบบ 1 เฟส	33
4.1.1 ผลการทดลองแบบจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมด stand-alone ในระบบ 1 เฟส	34
4.1.2 ผลการทดลองที่โหลดที่เปลี่ยนแปลงเป็นโหลดมีค่า P.F =0.8 การเพิ่มโหลดจากโหลดความต้านทาน 1,000W กับโหลดชนิดต่างๆ	36
4.2 การแสดงผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	38
4.2.1 โฟลว์ชาร์ต CiNES Microgrid โดยการติดต่อผ่าน RTU	41
4.2.2 โฟลว์ชาร์ต CiNES Microgrid โดยการติดต่อผ่าน TCP/IP	43
4.3 ผลการจ่ายพลังงานไฟฟ้ารายวัน/เดือน	50
4.3.1 ค่าพลังงานไฟฟ้ารายวัน	50
4.3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) รายเดือน	52
4.4 ผลการทดลองแบบจำลองไมโครกริด 1 เฟสแบบ stand-alone โดยใช้ระบบ Droop control	54
4.4.1 ระบบ Angle droop	54
4.4.2 ระบบ Voltage droop	56
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการวิจัย	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
5.2.1 อุปสรรค สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง	59
5.2.2 แนวทางแก้ไข	59
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานระบบไมโครกริดโดยใช้ DSP ด้วยภาษาซี	62
ภาคผนวก ข บทความวิชาการ	90
ประวัติผู้เขียน	95



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด	8
2.2 กราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าจริงเทียบกับความถี่ (P-f Droop Characteristics)	13
2.3 กราฟคุณลักษณะของ Voltage-Reactive Power (V-Q) droop controller	14
2.4 โมเดลอย่างง่ายของ Microsource	15
2.5 วงจร Phase-Lock Loop เบื้องต้น	16
2.6 การจับสัญญาณ (Capture Process) ของเฟสล็อกกลูป	17
2.7 Block-diagram Droop Control	18
2.8 Block-diagram การควบคุมมุมแรงดันโดยใช้เทคนิค Angle droop	19
2.9 Block-diagram การควบคุมขนาดแรงดันโดยใช้เทคนิค Voltage Droop	20
2.10 วิธีการส่งข้อมูลด้วยสัญญาณในรูปของแรงดันเป็นไบนารี	21
2.11 ไดอะแกรมสถานะของมาสเตอร์ (Master State Diagram)	21
2.12 ไดอะแกรมสถานะของสลาฟ (Slave State Diagram)	22
2.13 การติดต่อสื่อสารแบบ Master/Slave	22
2.14 ไดอะแกรมการส่งข้อมูล Modbus ในโหมด Ascii	23
2.15 ตารางการเก็บข้อมูล Modbus ในโหมด Ascii	23
2.16 ตารางการเก็บข้อมูล Modbus ในโหมด RTU	24
3.1 วงจรสมมูลเฟสเดียวของระบบที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2 การแปลงแกนในระบบ 1 เฟส	26
3.3 Phase Lock LoopSubsystem	27
3.4 P&Q Calculation Subsystem	27
3.5 Angle Droop ControlSubsystem	28
3.6 QV Droop Characteristic Subsystem	29
3.7 Voltage Control Subsystem	29
3.8 VoltageGeneration Subsystem	29
3.9 ระบบ Droop_Control_1 Subsystem	30
3.10 Power Amplifier	31
3.11 ระบบภายใน Power AmplifierSubsystem	31
3.12 แบบจำลองไมโครกริดในโหมด Stand-alone ของระบบ 1 เฟส	32
4.1 แบบจำลองไมโครกริด 1 เฟส ในโหมด stand-alone	33
4.2 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนของคอนเวอร์เตอร์ 1, 2 และกำลังไฟฟ้ารวม	34
4.3 ความถี่ที่จุดต่อร่วม (Point of common,PCC)	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แรงดันและกระแสที่จุดต่อร่วม PCC ที่บัส 1	35
4.5 แรงดันและกระแสที่จุดต่อร่วม PCC ที่บัส 2	36
4.6 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยรวม	38
4.7 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยการเชื่อมต่อผ่านมิเตอร์	38
4.8 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยการเชื่อมต่อผ่าน TCP/IP	39
4.9 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมเชื่อมต่อเว็บไซต์ ABB	39
4.10 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมเชื่อมต่อเว็บไซต์ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน	40
4.11 โพล์ชาร์ตการติดต่อแบบ RTU	42
4.12 โพล์ชาร์ตการติดต่อแบบ TCP/IP	44
4.13 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าจริงกับเวลาของอินเวอร์เตอร์ตัวที่ 1	50
4.14 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ของวันที่ 13 มีนาคม 2557	51
4.15 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ของวันที่ 14 มีนาคม 2557	51
4.16 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ของวันที่ 15 มีนาคม 2557	52
4.17 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนธันวาคม	52
4.18 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนมกราคม	53
4.19 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนกุมภาพันธ์	53
4.20 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนมีนาคม	53
4.21 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงมากขึ้น ของระบบที่ไม่มี frequency restoration	54
4.22 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงน้อยลง ของระบบที่ไม่มี frequency restoration	55
4.23 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงมากขึ้น ของระบบที่มี frequency restoration	55
4.24 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงน้อยลง ของระบบที่มี frequency restoration	56
4.25 การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เมื่อload มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนมากขึ้น	56
4.26 การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เมื่อload มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ใช้ในการทดลอง	25
4.1 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์	33
4.2 การตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านโหลดเพื่อพิจารณาผลตอบสนอง	34
4.3 ผลช่วงแรกในขณะที่ต่อโหลดความต้านทานเพียงอย่างเดียว (Load R 1,000W)	36
4.4 ผลช่วงที่สองในขณะที่มีการแชร์โหลดร่วมกัน (Load R 1,000W + Load RL ที่ค่าต่างๆ)	37
4.5 ผลรวมของกำลังไฟฟ้ารวมทั้งสองคอนเวอร์เตอร์	37
4.6 ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่ได้จากการเก็บค่าของโปรแกรม CiNES Meter ระหว่างเวลา 12.00น ถึง 12.20น วันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2557	45



บทที่ 1

คำนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัด รวมถึงความสนใจในปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น จากพันธกรณีของพิธีสารเกียวโตซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อป้องกันและบรรเทา ปัญหาโลกร้อน (Global Warming) และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากการเปิดเสรี ทางพลังงาน (Deregulation) ทำให้ความสนใจเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติหรือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resources) เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือ พลังงานชีวมวล เป็นต้น

การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ การผลิตไฟฟ้าแบบธรรมดา (Unidirectional) และการผลิตไฟฟ้าแบบทิศทางหรือแบบกระจายจากแหล่งพลังงาน (Directional) โดยการผลิตแบบธรรมดา คือ การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจำพวกถ่านหิน น้ำมันดีเซลหรือก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก การผลิตไฟฟ้าในรูปแบบนี้จะเป็นการผลิตไฟฟ้าในปริมาณมากจากโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่เพื่อส่งจ่ายไปยังระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นการจ่ายไฟฟ้าแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) จากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภค ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่จะผลิตจะต้องมีความสัมพันธ์กับภาระความต้องการในการใช้พลังงานของผู้บริโภคหรือเส้นโค้งโหลด (Load Curve) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเส้นโค้งของโหลดจะมีความหลากหลาย โดยจะมีความแตกต่างกันออกไปทั้งในแง่ของช่วงเวลา รวมไปถึงตำแหน่งสถานที่ของผู้บริโภคนั้นๆ การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบทิศทางเดียวนั้นจะมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปในระยะทางไกลๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียขึ้นในสายส่ง รวมไปถึงปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาทางด้านแรงดันตกที่ปลายสาย ทำให้การผลิตไฟฟ้าแบบทิศทางเดียวที่ได้จากโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพและความเชื่อถือของระบบค่อนข้างต่ำ และเนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และ การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resources) ซึ่งการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายนั้นจะเป็นระบบขนาดเล็ก โดยผู้ใช้มีอิสระที่จะเลือกตำแหน่งติดตั้งที่อยู่ใกล้กับภาระไฟฟ้า ทำให้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้ากับภาระไฟฟ้าที่สั้นมากจึงทำให้ลดสูญเสียพลังงานตามสายส่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบ และลดมลพิษที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศอีกด้วย

อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณที่ผันผวนเป็นอย่างมาก จึงทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบในแง่ลบทั้งในด้านของคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบในกรณีที่มีการนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จำนวนมากเข้ามาต่อกับระบบไฟฟ้า (Grid Connected Distributed Generation) จึงได้มีการนำเสนอแนวทางการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าภายในพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็ก โดยที่ผลิตไฟฟ้าได้ในระดับแรงดันต่ำ จึงทำให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบเข้ากับภาระไฟฟ้า และเชื่อมต่อกับกริดไฟฟ้าหลักได้ เรียกกระบวนการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเหล่านี้ว่า “ไมโครกริด” (Microgrid) โดยที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็กที่อยู่ไม่ไกลกัน เช่น หมู่บ้าน สถานศึกษา ศูนย์การค้า โรงงานหรือย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรม เป็นต้น โดยขนาดของไมโครกริดจะมีขนาดใกล้เคียงกับภาระทางไฟฟ้าของไมโครกริดนั้น ดังนั้นสิ่งสำคัญของการผลิตไฟฟ้าด้วยไมโครกริด คือการรักษาสมดุลระหว่างความต้องการการใช้ไฟฟ้ากับปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อรักษาคุณภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบ

ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุม Distributed Generation เหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดให้เหมาะสมกับความต้องการ และมีคุณภาพทางไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานทางด้านพลังงาน ซึ่งนำไปสู่หลักการในการควบคุมระบบการทำงานของไมโครกริดซึ่งต้องมีการทำงานทั้งในแบบ Grid Connected และในแบบ Standalone โดยใน Distributed Generation ทำการต่อแบบขนานเข้าสู่ AC Bus ผ่าน Inverter ซึ่งจะนำไปต่อกับ Unity grid ต่อไปใน การควบคุม micro grid เพื่อที่จะแบ่งจ่ายโหลดได้อย่างเหมาะสม รวมไปถึงมีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกันระหว่าง Distributed Generation ซึ่งจะใช้วิธี Droop Control ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแพร่หลายและมีความนิยมในกรณีที่ใช้ในการควบคุมการจ่ายพลังงาน กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน โดย Distributed Generation จะจ่ายโหลดให้ได้ตามความต้องการในการใช้พลังงานผ่านการควบคุมความถี่ และ แรงดัน ตามคุณลักษณะ Droop ในส่วนของการควบคุมที่สำคัญของระบบไมโครกริดคือการควบคุมไมโครกริดให้จ่ายแรงดัน, กระแส เมื่อทำการซิงโครไนซ์กับระบบอีกครั้งเพื่อที่จะได้รับ Smooth Reconnection กับ Unity Grid ซึ่งในการทำงานของระบบไม่เพียงแต่จะมีการตัดวงจรจากกริดหลักแล้วแต่ยังต้องสามารถตรวจจับกระแสความผิดปกติ (Fault) ได้และทำการต่อใหม่กับ Grid เมื่อการ Clear Fault เรียบร้อยแล้ว ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะช่วยป้องกันอันตรายให้กับโหลดต่างๆ ทาง Electronic ซึ่งอาจมีความ Sensitive ต่อกระแสหรือแรงดันที่มีการกระชากโดยในโครงงานนี้ได้นำเทคนิค Angle Droop และ Voltage Droop มาประยุกต์ใช้โดยศึกษาจากการกำหนดแบบจำลองพื้นฐานระบบไมโครกริด โดยที่เทคนิค Angle Droop และ Voltage Droop ทำให้เรามีความสามารถที่จะเชื่อมต่อ Microsource กับระบบได้ทันที (Plug and Play) โดยอาศัยข้อมูล ณ ตำแหน่งนั้น นั่นก็คือแรงดันและความถี่ วิธีการนี้ทำให้เราสามารถต่อขนานระหว่าง Microsource ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในโหมด Grid Connected และ Standalone เมื่อแหล่งจ่ายภายนอก(Grid) เกิดปัญหา

เนื่องจากไมโครกริดไม่ได้มุ่งหมายเพื่อการขายไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก หากแต่มุ่งเน้นการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ของตนเอง การเพิ่มขึ้นของไมโครกริด จะไม่ทำให้เกิดปัญหาให้กับระบบไฟฟ้ากำลังหลักใน ขณะเดียวกันก็ช่วยเสริมความมั่นคงของการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าในพื้นที่ของไมโครกริดความต้องการเสริมความมั่นคงทางพลังงานของประเทศก็จะได้รับการตอบสนอง ขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าก็น้อยลงจากการใช้พลังงานหมุนเวียนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมที่เพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและหลักการระบบไมโครกริดสาธิต ขนาด 10 kW
- 1.2.2 เพื่อออกแบบและติดตั้งไมโครกริดสาธิต ขนาด 10 kW
- 1.2.3 เพื่อศึกษาพัฒนาระบบควบคุมไมโครกริดสาธิต ขนาด 10 kW สำหรับเทคนิค

Angle Droop และ Voltage Droop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

โครงการนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรก เป็นการศึกษาการพัฒนากระบวนการควบคุมไมโครกริดด้วยเทคนิค Angle Droop และ Voltage Droop จากการสร้างแบบจำลองพื้นฐานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ รวมถึงการแสดงผลผ่านทางโปรแกรมส่วนที่สองเป็นการรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับหลักการ การติดตั้ง การบำรุงรักษา การจัดเก็บข้อมูลรวมถึงการแสดงผลผ่านทางโปรแกรม Visual Studio 2010 ของระบบไมโครกริดสาธิตขนาด 10 kW แบบเรียลไทม์

1.4 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
ศึกษาระบบการทำงานของไมโครกริด และ เทคนิคการควบคุมแบบ Voltage Droop และแบบ Angle Droop โดยใช้ MATLAB Simulink										
จำลองผลการใช้ Power Amplifier Model แทน 1 Phase Generator										
เตรียมนำเสนอและจัดทำเอกสารทางวิชาการผลการศึกษาในภาคเรียนที่ 1										
ต่อ Inverter ในโหมด Grid-Connected จ่ายไฟให้กับการไฟฟ้า โดยใช้ PV เป็นแหล่งจ่าย										
ทดลองเชื่อมต่อระบบเข้ากับโหลดจำลอง										
เขียนโปรแกรมสำหรับการแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Studio 2010										
เตรียมนำเสนอและจัดทำเอกสารทางวิชาการผลศึกษา และปริญญาานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจถึงหลักการพื้นฐานและโครงสร้างของระบบไมโครกริด

1.5.2 สามารถออกแบบและติดตั้งระบบไมโครกริดสาธิตขนาด 10 kW ได้

1.5.3 เข้าใจหลักการใช้เทคนิค Angle Droop และ Voltage Droop โดยศึกษาจากแบบจำลองพื้นฐานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อพัฒนาระบบควบคุมระบบไมโครกริดสาธิตขนาด 10 kW ได้

1.6 โครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, วัตถุประสงค์ของโครงการ, ขอบเขต การศึกษา, แผนการดำเนินงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงความหมายและความเป็นมา ส่วนประกอบ แหล่งพลังงาน ลักษณะต่างๆของไมโครกริด และเทคนิค Angle Droop และ Voltage Droop

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระบบไมโครกริดเบื้องต้น, การจำลองผลเมื่อใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังแทนแหล่งจ่ายแรงดันและการชดเชยมุมเฟสเมื่อต่อแอมพลิฟายเออร์กำลัง

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองระบบไมโครกริด 1 เฟส แบบ Stand-alone โดยใช้ MATLAB จำลองโดยการเปลี่ยนโหลดต่างๆ การแสดงผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์รวมถึงผลการจ่ายพลังงานไฟฟ้ารายวัน/เดือน และการทดลองระบบ Droopcontrol โดยใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังเป็นแหล่งจ่าย

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัย ปัญหาต่างๆที่พบในการทดลองรวมถึงแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบไมโครกริด

2.1.1 ความหมายและความเป็นมาของไมโครกริด[1]

California Energy Commission ได้ให้นิยามของ “ไมโครกริด” ไว้ว่า ไมโครกริดคือการรวมระบบพลังงานซึ่งประกอบด้วย การเชื่อมต่อของโหนดภายในระบบกับทรัพยากรพลังงานแบบกระจาย (Distributed energy resources) หรือจะเรียกได้ว่าเป็น การต่อเชื่อมแหล่ง ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ของแต่ละครัวเรือน หรือแต่ละชุมชนเข้าสู่ระบบสายส่งแรงดันต่ำ ซึ่งต่างจากระบบไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ครัวเรือนและชุมชนซึ่งไมโครกริดเป็นระบบที่สามารถปฏิบัติการคู่ขนานไปกับ กริดหลัก (Main Grid) ซึ่งเรียกว่า โหมดเชื่อมต่อกริด (Grid connect) หรือในสภาวะที่แยกตัวอิสระจากกริดหลักซึ่งเรียกว่า โหมดแยกอิสระ (Stand-alone)

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microsource) เช่น ไมโครเทอร์ไบน์ (Microturbine) หรือ เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) รวมทั้งการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน หรือรวมเรียกว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ณ จุดใช้งาน (Distributed Energy Resource, DER) เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาจากการเปิดเสรีด้านพลังงานไฟฟ้า เรียกว่าแนวคิดไมโครกริด (Microgrid Concept)

แนวคิดไมโครกริด หรือ Microgrid Concept โดยถูกนำเสนอ ในปี 1999 ภายใต้โครงการ CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology Solution) ซึ่งเป็นศูนย์วิจัยหลักสังกัดกระทรวงพลังงาน (Department of Energy, DOE) ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกับมหาวิทยาลัยบริษัทผลิตไฟฟ้าองค์กรต่างๆภายใต้แนวคิดนี้ทั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และโหนดภายในพื้นที่จะถูกมองรวมเป็นระบบอิสระขนาดเล็กระบบหนึ่ง ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก (Grid) ไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำงานในแบบไอสแลนด์ (ผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่) ได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไขไปแล้ว

โดยแนวคิดนี้ไมโครกริดจะถูกมองเป็นระบบควบคุมหน่วยหนึ่งจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และจะไม่สร้างปัญหาเช่นการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า การแกว่งไกวของความถี่ไฟฟ้า เป็นต้นให้กับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดที่มีคุณสมบัตินี้ถูกนิยามให้เป็น พลเมืองดี (Good Citizen) ของระบบกำลังไฟฟ้าหลัก ในขณะที่เดียวกันไมโครกริดยังสามารถช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้ เช่น การให้บริการคุณภาพไฟฟ้าชั้นเยี่ยม (Premium Power) การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Support) เป็นต้น ไมโครกริดที่มีคุณสมบัตินี้ถูกนิยามให้เป็นพลเมืองตัวอย่าง (Model Citizen) ของระบบไฟฟ้ากำลังหลัก แนวความคิดไมโครกริดนี้ถูกให้ความสำคัญอย่างมากในหลายประเทศ เช่น

สหรัฐอเมริกาเนื่องจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณ กว้างทางฝั่งตะวันตกใน ปี 1996, ฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2003 ทำให้ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบไฟฟ้ากำลัง และความมั่นคงใน การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างมีเสถียรภาพ เป็นหัวข้อที่สำคัญที่ได้รับความสนใจ สูงมาก นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายใน การลงทุน สร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ระบบส่งกำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ตลอดจนความต้องการในการลดค่าใช้จ่าย ด้านพลังงานและ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความต้องการไม่โครกริดขึ้นมา

สหภาพยุโรปเนื่องจากความใส่ใจของประชาคมยุโรป ต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มสูงขึ้นจึง ส่งผลให้มีการติดตั้งแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้า กำลังเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเกาะ พื้นที่ห่างไกลเป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยทำให้เกิดความต้องการระบบไม่โครกริดขึ้น

ญี่ปุ่น การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลัง งานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้า กำลังลดจน ความต้องการ ในด้าน การประหยัดพลังงาน การลดก๊าซเรือนกระจก และ การนำ ศักยภาพของ ทรัพยากรในแต่ละท้องถิ่นโดยเฉพาะแหล่งพลังงาน มาใช้ประโยชน์ให้เต็มที่ เป็นปัจจัย ทำให้เกิดความต้องการไม่โครกริดขึ้น

2.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ Distributed Generation (DG)

ระบบไฟฟ้าทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงปัญหาการลดลงของปริมาณของทรัพยากร เชื้อเพลิงฟอสซิลและการทำให้พลังงานและสภาพแวดล้อมต่างๆ ค่อยๆ ทรุดโทรมลงไป ปัญหาเหล่านี้ ได้นำไปสู่แนวความคิดใหม่ในการผลิตพลังงานภายในพื้นที่ ณ ระดับการกระจายแรงดันต่างๆ โดย การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซชีวภาพ พลังงานลม เซลล์ แสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิงความร้อนร่วม (Combined heat and power : CHP) ระบบไม่โครเทอร์ไบน์ และเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling engine) ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อ เครื่องมือการจำหน่าย การผลิตไฟฟ้าในรูปแบบนี้จะเรียกว่า ระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์หรือ Distributed Generation (DG) และแหล่งพลังงานเหล่านี้จะเรียกว่า แหล่งพลังงานแบบกระจาย ศูนย์ หรือ Distributed energy resources (DER) โดยการผลิตแบบกระจายศูนย์นี้ได้รับการ ออกแบบให้มีความแตกต่างจากการผลิตไฟฟ้าจากส่วนกลาง (Centralized conventional generation) ในสมัยก่อน และการใช้ระบบจำหน่ายร่วมกับการรวมตัวของ DG จะทำให้ระบบ ดังกล่าวเป็นระบบที่มีความรวดเร็วในการจำหน่ายไฟฟ้าไปยังส่วนต่างๆ

ในปลายปี 1990 ได้มีการให้ความสำคัญกับการศึกษาประเด็นหลักที่เกี่ยวข้องกับ DG โดยคณะทำงานของ International Council on Large Electric Systems (CIGRE) และการ ประชุมนานาชาติและ Exhibition on Electricity Distribution (CIRED) และนำเสนออยู่ในรายงาน การประชุม

ข้อกำหนดเกี่ยวกับ DG ที่พบในหลายๆ ประเทศนั้นส่วนใหญ่นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาด พิกัดของโรงจักรไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้าในการผลิต ฯลฯ จากการศึกษาและวิจัยได้ข้อสรุปลักษณะ ทั่วไปของ DG ได้ดังต่อไปนี้

1. ไม่เป็นศูนย์กลางของระบบไฟฟ้าหรือศูนย์กลางการจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีขนาดเล็กกว่า 50 เมกะวัตต์

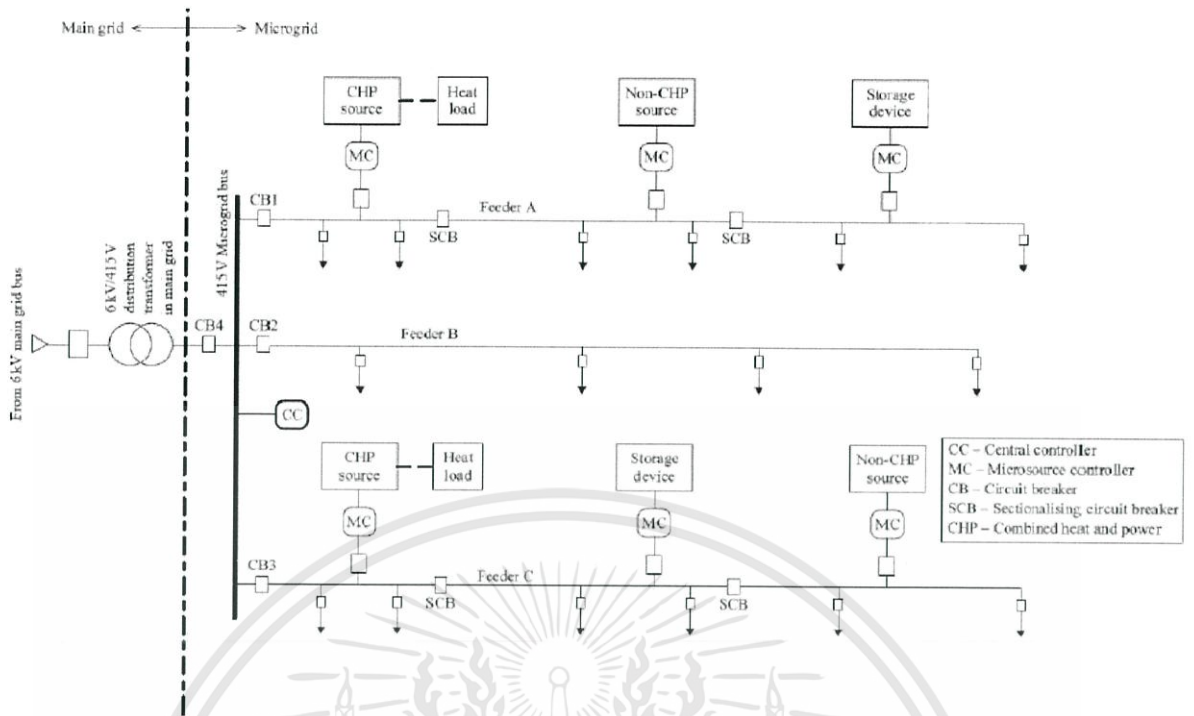
3. แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์มักจะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่มีขนาดของแรงดัน 230/415 V ถึง 145 kV

เนื่องจากไมโครกริดไม่ได้มุ่งหมายเพื่อการขายไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก หากแต่มุ่งเน้นการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ของตนเอง การเพิ่มขึ้นของไมโครกริด รวมถึง DER จะไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยเสริมความมั่นคงของการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าในพื้นที่ของไมโครกริดความต้องการเสริมความมั่นคงทางพลังงานของประเทศก็จะได้รับการตอบสนอง ขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าน้อยลงจากการใช้พลังงานหมุนเวียน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เนื่องจาก DER มีขนาดเล็กการวางแผนและติดตั้งจึงใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบการผลิตขนาดใหญ่ จึงมีส่วนช่วยกระจายความเสี่ยงของการลงทุนด้านการผลิตไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่งจากที่กล่าวมาอาจสามารถสรุปความสำคัญของแนวคิดไมโครกริดได้ดังนี้

1. การรักษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า
2. การลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง
3. การลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานหรือค่าเชื้อเพลิงลง
4. การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
5. การรักษาความมั่นคงทางพลังงาน

2.1.3 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด และหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ

ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริดเป็นไปตามรูปที่ 2.1 จะประกอบด้วยภาระทางไฟฟ้าหรือความร้อนรวมทั้งแหล่งจ่ายขนาดเล็ก (Microsource) โดยมีการเชื่อมต่อในโครงข่ายระบบจำหน่ายแรงดันต่ำจะเห็นว่าภาระจะถูกวางไว้ใกล้กับแหล่งจ่ายเพื่อลดการสูญเสียโดยเฉพาะภาระทางความร้อน (CHP source)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครกริด

ไมโครกริดนั้นจะเชื่อมต่อกับกริดหลัก (main grid) แรงดันระดับกลางผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งเป็นจุดต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) หรือ CB4 ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อและตัดต่อไมโครกริด ทั้งหมดจากกริดหลักตามโหมดที่เลือกการดำเนินงานนั้นคือ ถ้า CB4 ปิดแสดงว่าไมโครกริดทำงานอยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับกริด (grid connect) แต่ถ้า CB4 เปิดแสดงว่าไมโครกริดทำงานอยู่ในโหมดแยกอิสระ (stand-alone)

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

- (i) ตัดการเชื่อมต่อ Microgrid ทั้งหมดโดยเปิด CB4
- (ii) ตัดการเชื่อมต่อ สายป้อน A และ C โดยเปิด CB1 และ CB3

สำหรับตัวเลือก (i) ไมโครกริดจะทำงานเป็นระบบอัตโนมัติที่มีทั้งหมดแหล่งจ่ายขนาดเล็กจะจ่ายกำลังให้กับภาระทั้งหมดในสายป้อน A, B และ C

ในขณะที่ตัวเลือก (ii) สายป้อน A และ C จะจ่ายเพียงโหลดสำคัญในขณะที่สายป้อน B จะถูกตัดทิ้งไปเนื่องจากเป็นโหลดไม่สำคัญ

การดำเนินการและการจัดการของไมโครกริดในโหมดต่างๆจะถูกควบคุมและมีการทำงานร่วมกัน (co-ordinate) ผ่านตัวควบคุมแหล่งจ่าย (MC) และตัวควบคุมส่วนกลาง (CC) ที่มีฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microsource Controller (MC)

หน้าที่หลักของ Microsource Controller (MC) คือการควบคุมที่เป็นอิสระของการไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่บัสปลายของแหล่งจ่ายขนาดเล็กในการตอบสนองต่อการรบกวน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของภาระ ซึ่งคาดว่าเป็นอิสระในที่นี้หมายถึงการควบคุมโดยไม่มีการสั่งการจากตัวควบคุมส่วนกลาง(CC) นั่นเองและตัว MC นี้จะต้องทำให้มั่นใจได้ว่าแหล่งจ่ายขนาดเล็กแต่ละตัวจะต้องสามารถเพิ่มระดับการผลิตได้อย่างทันท่วงทีเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้ารวมถึงมีการจัดสรรการผลิตให้กับภาระต่างๆในโหมดแยกอิสระและสามารถกลับมาเชื่อมต่อในโหมดของการเชื่อมต่อกริดได้อย่างอัตโนมัติโดยไม่มีการสั่งการจาก CC ซึ่งคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของ MC คือการตอบสนองที่รวดเร็วต่อการตรวจสอบระดับแรงดันและกระแสภายในพื้นที่โดยไม่มีการนำเอาข้อมูลจาก MC ข้างเคียงมาพิจารณา สองคุณลักษณะพิเศษหลักของ MC คือ MC หนึ่งตัวจะทำงานโดยแยกอิสระไม่ขึ้นกับ MC ตัวอื่นๆในไมโครกริดและมันจะสามารถทำการยกเลิกคำสั่งที่มาจาก CC ที่วิเคราะห์แล้วว่า จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแหล่งจ่ายขนาดเล็กภายในระบบ

Central controller (CC)

จะจัดการควบคุมการดำเนินงานของไมโครกริดและการป้องกันผ่าน MC โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับแรงดันและความถี่ของภาระปลายทาง ผ่านการควบคุมกำลังไฟฟ้าและความถี่รวมถึงการควบคุมแรงดันไฟฟ้า

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพลังงานในไมโครกริดโดย CC ได้ถูกออกแบบมาให้ทำงานในโหมดอัตโนมัติเมื่อมีการแทรกแซงการทำงานของระบบและในยามจำเป็น

สองโมดูลการทำงานหลักของ CC คือ โมดูลการจัดการพลังงาน (Energy Management Module) และโมดูลป้องกันในการทำงานร่วมกัน (Protection Co-ordination Module)

Energy Management Module หรือ EMM

จะทำการส่งค่าของจุดอ้างอิงของกำลังไฟฟ้าจริง (active power) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (reactive power) แรงดันไฟฟ้าและความถี่ไปยังแต่ละ MC เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการดำเนินงาน

Protection Co-ordination Module หรือ PCM

จะทำการตอบสนองต่อความผิดปกติในไมโครกริดรวมถึงกริดหลัก และสภาวะการณ์หายไปของกริด (Loss of Grid : LOG) ด้วยคุณลักษณะดังกล่าวจึงทำให้มั่นใจในการทำงานร่วมกันในการป้องกันไมโครกริดได้อย่างถูกต้อง และยังรวมถึงการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อระดับกระแสผิดปกติในระหว่างเกิดการเปลี่ยนสถานะการทำงานจากโหมดเชื่อมต่อกริดไปเป็นโหมดแยกอิสระ

2.1.4 แหล่งพลังงานในไมโครกริด (Resources in microgrid)

พลังงานทดแทนหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบใหม่ๆ ได้ถูกนำมาใช้ในไมโครกริด ซึ่งถูกเรียกว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ณ จุดใช้งาน (distributed energy resource : DER) หรือ แหล่งจ่ายขนาดเล็ก (Microsources) มีวัตถุประสงค์เพื่อรวมนำข้อดีของแหล่งกำเนิดพลังงานที่ทำให้

คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำและแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อน (Combined Heat and Power : CHP) ที่มีประสิทธิภาพสูง DER ที่ใช้ในไมโครกริดมีดังนี้

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

Combined Heat and Power (CHP)

CHP นั้นเป็นแหล่งผลิตที่เป็นการผลิตพลังงานร่วม (co-generation) ที่ผลิตทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ซึ่งมีแนวโน้มอย่างมากที่จะนำมาใช้กับไมโครกริด ข้อดีก็คือมีประสิทธิภาพทางพลังงานโดยการใช้ความร้อนทิ้งที่ได้จากครัวเรือนหรือกระบวนการทางอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการซิลเลอร์สำหรับระบายความร้อนการดูดซึม พร้อมกันของการผลิตไฟฟ้า ความร้อนและระบายความร้อนเป็นที่รู้จักกันเป็น trigeneration หรือ polygeneration ระบบ CHP ช่วยให้การใช้พลังงานที่ดีขึ้นกว่ารุ่นเดิมที่อาจถึงประสิทธิภาพมากกว่า 80% เมื่อเทียบกับที่ประมาณ 35% สำหรับโรงไฟฟ้าแบบเดิม สำหรับการผลิตความร้อนร่วมขนาดเล็ก (Micro – CHP) จะถูกติดตั้งในสถานที่ที่มีขนาดเล็กเช่น บ้านหรืออาคารขนาดเล็ก ส่วนใหญ่หน่วย CHP ในอุตสาหกรรม การผลิตไฟฟ้าเป็นผลิตภัณฑ์หลักส่วนความร้อนเป็นผลพลอยได้ ในขณะที่ระบบ Micro CHP การสร้างความร้อนเป็นผลิตภัณฑ์หลักส่วนไฟฟ้าเป็นผลพลอยได้ Micro-CHP มีความเชื่อถือได้ แข็งแกร่งและราคาถูก มีกำลังการผลิตในช่วง 10-100 กิโลวัตต์

Micro CHP สามารถพัฒนาจากเทคโนโลยีหลายเทคโนโลยี เช่น เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling engines) Reciprocating engines (เครื่องยนต์สันดาปภายใน, Internal Combustion engine) และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) โดยที่เทคโนโลยีที่กล่าวถึงจะทำหน้าที่ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและนำความร้อนเหลือใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าไปใช้ในการทำความร้อน และถ้าจะผลิตความเย็นก็จะใช้ความร้อนที่ได้นี้ไปเป็นพลังงานสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม (absorbtion) เพื่อผลิตความเย็นต่อไป

Wind Energy Conversion

เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีหลักการพื้นฐานโดยใช้กังหันลมต่อควบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบเกียร์ (gearbox) ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กังหันลมจะจับพลังงานจลน์จากการไหลของลมผ่านใบพัดโรเตอร์และส่งพลังงานไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำผ่านระบบเกียร์เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกขับเคลื่อนด้วยกังหันเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับระบบเกียร์นั้นมีไว้เพื่อช่วยปรับระดับความเร็วของโรเตอร์ก่อนที่จะเข้าไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมที่ใช้มีทั้งแบบลักษณะการหมุนแนวตั้ง (Horizontal axis) และหมุนในแนวนอน (Vertical axis) ขนาดกำลังการผลิตนั้นปัจจุบันสามารถผลิตได้สูงถึง 5 เมกะวัตต์ กำลังการผลิตนั้นมีปัจจัยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ โดยจะแปรผันตรงกับความเร็วลม ขนาดใบพัด และความหนาแน่นของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Photovoltaic

พลังงานแสงอาทิตย์ เกิดจากปฏิกิริยาฟิวชั่นของดวงอาทิตย์ จะปล่อยพลังงานออกมาในรูป คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เรียกว่า รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) รังสีนี้จะแพร่กระจายออกทุกทิศทุกทาง โลกของเราก็ได้รับอิทธิพลของรังสีนี้ โดยมีความเข้มของรังสีที่ตกลงบนผิวโลกประมาณ 961 ถึง 1,191 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือคิดเป็นพลังงานประมาณ 2,000-2,500 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี

สำหรับประเทศไทย พื้นที่เกือบทั้งหมดสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 4.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ดังนั้นในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 33 เมกะวัตต์ หรือ 165,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ในปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศประมาณวันละ 250 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง ถ้าต้องการผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด จำเป็นต้องใช้พื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 0.3% ของประเทศเท่านั้น ในอดีตการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงมาก แต่เนื่องจากปัจจุบันราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงอย่างมาก และมีแนวโน้มว่าจะลดลงอีกเรื่อย ๆ เพราะประชาชนโดยทั่วไปได้ตระหนักถึงสภาวะแวดล้อมเป็นพิษเนื่องจากการใช้ เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงาน จึงหันมาใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

Small-scale hydroelectric

เป็นการกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้กังหันน้ำขนาดเล็กในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีหลักการโดยใช้ประโยชน์จากการไหลของน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กในการขับเคลื่อนกังหันกำลังการผลิตนั้นแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลของน้ำ ความหนาแน่นของน้ำ และระดับความสูงของหัวน้ำ

Storage Device

เป็นอุปกรณ์ในการเก็บสะสมพลังงานสำหรับจ่ายพลังงานฉุกเฉินในไมโครกริด ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานในช่วงเวลาสั้นๆ อุปกรณ์ในการเก็บพลังงานมีดังนี้

- Storage Battery
- Flywheels
- Ultra Capacitor

2.1.5 ลักษณะต่างๆของไมโครกริด

การส่งเสริมไมโครกริดให้ดีขึ้นนั้นนอกจากจะส่งผลดีต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังมีประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

ในด้านสิ่งแวดล้อม

ไม่จำเป็นต้องพูดเลยว่าไมโครกริดนั้นสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าพลังความร้อนมากๆแต่อย่างไรก็ตามการอ้างถึงความสำเร็จในการส่งเสริมของการควบคุมคาร์บอนและเก็บโครงการของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนไว้เพราะจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก แต่กระนั้นผลประโยชน์บางอย่างของไมโครกริดก็ควรจะมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การลดการใช้เชื้อเพลิงแก๊สให้น้อยที่สุดและลดการแพร่ของ CO₂ ให้น้อยที่สุด ลดการกำหนดใช้ในวงจำกัดโดยควรจะเป็นกระบวนการเผาไหม้ในขั้นสุดท้ายเพื่อช่วยระบบทั้งหมด เมื่อแหล่งจ่ายงานอื่นทำงานได้ไม่เพียงพอ

- การใช้ไมโครกริดและแหล่งผลิตพลังงานย่อยควรช่วยกันเพิ่มความตระหนัก ของการใช้พลังงานไปในทางที่เหมาะสม

ในด้านการใช้งานและการเงิน

ไมโครกริดนั้นทำให้มีระยะทางระหว่างแหล่งผลิตพลังงานย่อยกับโหนดได้ดังนี้

- ช่วยส่งเสริมสนับสนุนระบบทั้งหมดด้วยการเพิ่มระดับของแรงดันไฟฟ้าระบบ
- การลดความแออัดของระยะสายป้อนในการส่งและจำหน่ายกำลังไฟฟ้า
- การลดค่าความสูญเสียทางกำลังไฟฟ้าในการส่งและการจำหน่ายกำลังไฟฟ้า
- ช่วยลดการลงทุนสร้างการขยายของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงาน

ไฟฟ้า โดยจัดการใช้ทรัพย์สินในวงจำกัด

คุณภาพของกำลังไฟฟ้า

ส่งเสริมให้ดีขึ้นในคุณภาพของกำลังไฟฟ้าและความมั่นคงของระบบได้ ดังนี้

- การจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากศูนย์กลางไปยังพื้นที่ต่างๆ
- มีความสอดคล้องกันอย่างดีระหว่างการจ่ายพลังงานไฟฟ้าพอเพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า

ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า

- การลดผลกระทบของ ค่ากำลังไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, ความถี่ในการใช้งานได้ เมื่อระบบส่งจ่ายและผลิตกำลังไฟฟ้าของส่วนกลางขาดหายไป

- ลดเวลาของการไม่ทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าให้น้อยที่สุด และ เพิ่มการซ่อมแซมให้สำเร็จตลอดการกลับมาเริ่มต้นใช้งานของแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าย่อย

การประหยัดค่าใช้จ่าย

การประหยัดค่าใช้จ่ายต่อไปนี้จะประสบความสำเร็จใน ไมโครกริด :การประหยัดอย่างมีนัยสำคัญมาจากการใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งในโหมดของการทำงานของCHP นอกจากนั้นที่แหล่งจ่าย CHP ยังตั้งอยู่ใกล้กับโหนดผู้ใช้งานที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการส่งผ่านความร้อนนี้ให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมกว่า 80% เมื่อเทียบกับจำนวนสูงสุดที่ 40% สำหรับระบบไฟฟ้าทั่วไป

-การประหยัดค่าใช้จ่ายจะมีผลโดยตลอดการรวมของหลายแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าย่อยขณะที่พวกเขาจะอยู่ในประเทศในโหมด plug-and-play, ค่าใช้จ่ายที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีการลดลงอย่างมากหรือตัดออก เมื่อรวมกันเป็นไมโครกริดไฟฟ้าที่ผลิตสามารถใช้ร่วมกันในกลุ่มผู้ใช้งานในประเทศ ซึ่งนอกจากนั้นการลดลงจำเป็นต้องนำเข้า / ส่งออกพลังงานไป / กลับจากกริดหลักที่มีสายป้อนขนาดยาว

ปัญหาการตลาด

ข้อดีต่อไปนี้จะบรรลุในกรณีของตลาดการมีส่วนร่วม:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

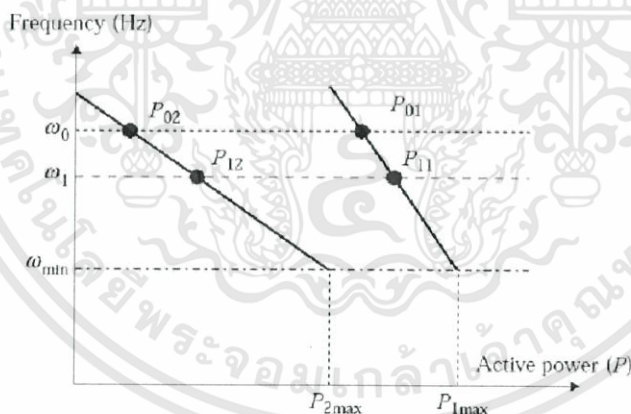
- การพัฒนาตลาดที่ขับเคลื่อนด้วยขั้นตอนการดำเนินงานของไมโครกริดจะนำไปสู่การลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากอำนาจตลาดที่จัดตั้งขึ้นโดยการกระทำของบริษัท ผลิต
- การประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางจาก Plug-and-play modular microsources อาจนำไปสู่การลดราคาพลังงานในตลาดพลังงาน
- สมดุลทางเศรษฐกิจที่เหมาะสมระหว่างเครือข่ายการลงทุนและการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์การใช้มีแนวโน้มที่จะลดระยะยาวราคาของผู้ใช้งานโดยการผลิตไฟฟ้าประมาณ 10%

2.2 การควบคุม Microsource[2]

ในการควบคุม Microsource เราจะใช้เทคนิคการควบคุม Angle และ Voltage Droop ทำให้เรามีความสามารถที่จะเชื่อมต่อ Microsource กับระบบได้ทันที(Plug and Play)

Angle Droop เป็นการควบคุมมุมของแรงดันโดยอาศัยความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงและความถี่ด้วย P-f Droop Characteristics กล่าวคือ เมื่อโหลดในระบบเปลี่ยนไปกำลังไฟฟ้าและความถี่ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล ส่วนเทคนิค Voltage Droop จะเป็นการควบคุมขนาดแรงดันจากความสัมพันธ์ของแรงดันกับกำลังไฟฟ้าเสมือนด้วย Q-V Droop Characteristics

2.2.1 P-f Droop Characteristics



รูปที่ 2.2 กราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าจริงเทียบกับความถี่ (P-f Droop Characteristics)

ในขณะที่ทำงานในโหมดเชื่อมต่อกริด (Grid connected) โหลดของไมโครกริดจะได้รับพลังงานจากทั้งกริดหลักและจากแหล่งจ่ายขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ แต่เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นบนกริดหลักเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม ไมโครกริดจะต้องแยกตัวออกจากกริดหลักโดยการสับเปลี่ยนเป็นโหมดแยกอิสระ (Stand-alone) อย่างราบเรียบและไร้รอยต่อ ในขณะที่เปลี่ยนโหมดนั้นมุมเฟสของแรงดันที่ Microsource จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยทำให้เกิดการตกลงของกำลังไฟฟ้าขาออกอย่างเห็นได้ชัด และจะทำให้ความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยในกรณีนี้แหล่งจ่ายแต่ละตัวจะมีการจัดสรรการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ภาระเสียใหม่อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องอาศัยการควบคุมผ่านการ

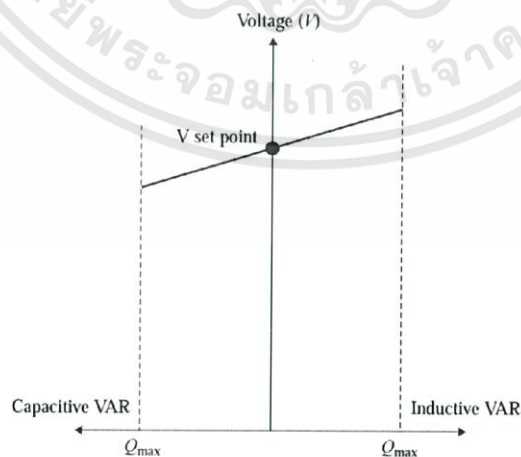
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมของ CC (Central Controller) ยกตัวอย่างเช่น กำหนดให้แหล่งจ่าย 2 แหล่งทำงานที่ความถี่ปกติต่ำสุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็น $P_{1\max}$ และ $P_{2\max}$ โดยในโหมดเชื่อมต่อกกริด แหล่งจ่ายทั้งสองจะทำงานที่ความถี่ที่ปกติในการส่งกำลังเท่ากับ P_{01} และ P_{02} ตามลำดับ เมื่อความต้องการโหลดเปลี่ยนไป แหล่งจ่ายจะทำงานที่ความถี่ที่แตกต่างกันและทำให้มุมกำลัง (θ) เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกด้วย และความถี่ในการทำงานที่ตกลงไปด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการรับภาระในแต่ละตัว จะแสดงได้ตั้งกราฟคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าจริงและความถี่ (P-f) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ m คือสัมประสิทธิ์การทรูของความถี่ (frequency droop coefficient) ดังสมการที่ 2.1

$$m = \left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{P_{\max}} \right) \times 2\pi \quad (2.1)$$

2.2.2 Q-V Droop Characteristics

การควบคุมแรงดันที่บัสของไมโครกริดนั้นจำเป็นต้องอาศัยการรวมของเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของไมโครกริด ไมโครกริดที่มีแหล่งจ่ายจำนวนมากอาจมีปัญหาในเรื่องการแกว่งของกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) หากปราศจากการควบคุมแรงดันที่เหมาะสม เช่นเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนส์ขนาดใหญ่ ฟังก์ชันควบคุมแรงดันของ Microsource จะจัดการปัญหากระแสรีแอกทีฟไหลวน (Circulating Reactive Current) ระหว่างไมโครกริดให้น้อยลง สำหรับกริดหลักนั้นกระแสไหลวนเหล่านี้โดยทั่วไปจะถูกจำกัดโดยอิมพีแดนซ์ขนาดใหญ่ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ในส่วนของไมโครกริดนั้นปัญหาค่อนข้างจะชัดเจน เนื่องจากสายป้อนมักต่อแบบราก (Radial) ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายต่ำบางครั้งกระแสไหลวนเหล่านี้อาจเกินค่าพิกัดกระแสของ Microsource แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เล็กน้อยในจุดอ้างอิงแรงดัน ฉะนั้นไมโครกริดกระแสไหลวนเหล่านี้สามารถถูกควบคุมโดยวิธี (Voltage-Reactive Power (V-Q) droop controller) ดังกราฟแสดงคุณลักษณะลดลงของแรงดันซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟคุณลักษณะของ Voltage-Reactive Power (V-Q) droop controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

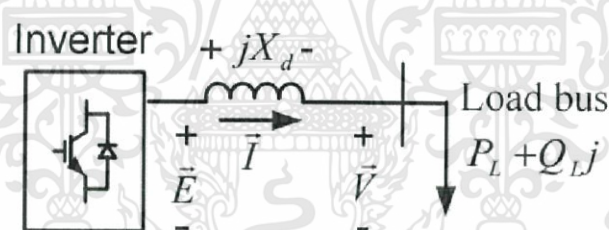
จากกำลังไฟฟ้าเสมือนนั้นแปรผันตรงกับส่วนต่างของแรงดัน \vec{E} กับ \vec{V} ดังนั้นหลักการควบคุม คือ การเพิ่มแรงดันอ้างอิง (Voltage Set Point, \vec{E}) เมื่อกระแสแอกทีฟของ Microsource มีลักษณะค่อนข้างไปทางความเหนียวนำ (Inductance) และลดแรงดันอ้างอิงลง เมื่อกระแสแอกทีฟมีลักษณะค่อนข้างไปทางความจุไฟฟ้า (Capacitance) ซึ่งการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนนั้นจะถูกจำกัดโดยพิกัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA; S) ของอินเวอร์เตอร์ และกำลังไฟฟ้าจริง (P) ที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ของ Microsource ดังสมการที่ 2.2 และ n คือสัมประสิทธิ์การครูปของแรงดัน (Voltage droop coefficient) ดังสมการที่ 2.3

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.2)$$

$$n = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{Q_{\max}} \quad (2.3)$$

2.2.3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน (Active and Reactive Power Control)

จากรูปที่ 2.4 แสดงโมเดลอย่างง่ายของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microsource) ที่ประกอบด้วยเวกเตอร์และทิศทางของแกนอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.4 โมเดลอย่างง่ายของ Microsource

สมมติให้กำลังไฟฟ้าจริง (P_L) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q_L) ที่ถูกส่งผ่านโดย Microsource จะถูกอธิบายตามสมการต่อไปนี้

$$P_L = \frac{1}{X_d} EV \sin \delta \quad (2.4)$$

$$Q_L = \frac{1}{X_d} (EV \cos \delta - V^2) \quad (2.5)$$

จากรูปและสมการด้านบนตีความได้ว่า เมื่อ $P_L > 0$ Microsource จะอัดฉีดกำลังไฟฟ้าจริงไปยังโหลดบัสและเมื่อ $P_L < 0$ Microsource จะรับเอากำลังไฟฟ้าจริงมาจากโหลดบัส ส่วนกรณีกำลังไฟฟ้า Reactive เมื่อ $Q_L > 0$ Microsource จะอัดฉีด Inductive reactive Power ไปยังโหลดบัส และเมื่อ $Q_L < 0$ Microsource จะจ่าย Capacitive reactive Power ไปยังโหลดบัส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมุมกำลัง (Power angle, δ) นั้นมีค่าน้อย (ต่ำกว่า 0.1 rad) จะสามารถประมาณได้ว่า $\sin \delta \approx \delta$ และ $\cos \delta \approx 1$ ทำให้สมการที่ (2.4) และ (2.5) สามารถเขียนในรูปย่อได้เป็น

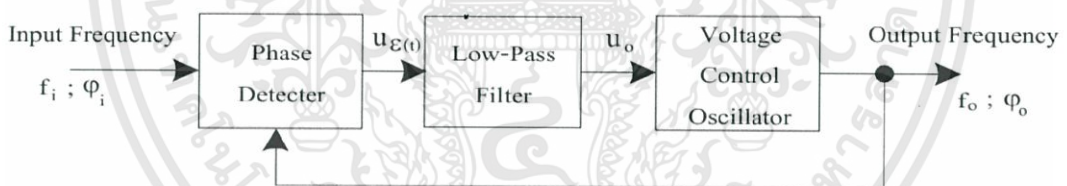
$$P_L = \frac{EV}{X_d} \sin \delta = \frac{EV}{X_d} \delta = \frac{EV}{X_d} (\theta_E - \theta_V) \quad (2.6)$$

$$Q_L = \frac{EV}{X_d} \cos \delta - \frac{V^2}{X_d} = \frac{V}{X_d} (E - V) \quad (2.7)$$

เนื่องจากตัวควบคุมสามารถวัดแรงดันที่โหลดบัส \vec{V} และควบคุมแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ \vec{E} ดังนั้นจากสมการ (2.6) แสดงให้เห็นว่า P_L นั้นแปรผันตรงกับมุมกำลัง δ โดยตัวควบคุมสามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นโดยควบคุม $\angle \delta$ ให้มีความแตกต่างกันของมุมกำลัง δ มากขึ้น สมการ (2.7) แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้า Reactive นั้นแปรผันตรงกับส่วนต่างของแรงดัน \vec{E} กับ \vec{V} ทำให้ตัวควบคุมสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้า Reactive ผ่านการควบคุมขนาดของแรงดัน \vec{E}

2.2.4 วงจรเฟสล็อกลูป

เฟสล็อกลูป (Phase-Lock Loop) เป็นระบบควบคุมความถี่โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเฟส (Phase) ของความถี่ทางด้านเอาต์พุตกับเฟสของความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งถูกป้อนเข้าทางด้านอินพุตของระบบในรูปที่ 2.5 เป็นแผนผังของ PLL เบื้องต้น



รูปที่ 2.5 วงจร Phase-Lock Loop เบื้องต้น

2.2.4.1 หลักการทำงานของเฟสล็อกลูป

- วงจรตรวจจับเฟส/ความถี่ (Phase Detector) ทำหน้าที่เปรียบเทียบความแตกต่างของเฟส (θ_e) หรือ ความถี่ ระหว่างสัญญาณอินพุต (V_{in}) และสัญญาณจากวงจรออสซิลเลเตอร์ (V_{osc}) โดยมีสัญญาณเอาต์พุตคือ สัญญาณผิดพลาด (Error Signal)
- วงจรกรอง (Loop Filter) ทำหน้าที่กำจัดองค์ประกอบความถี่สูงที่ปะปนมากับสัญญาณผิดพลาด (Error Signal)
- วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมโดยแรงดัน (Voltage-Controlled Oscillator, VCO) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเอาต์พุตไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต (V_{in}) โดยความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจะเปลี่ยนไปตามแรงดัน U_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุต

- PLL อยู่ในสภาวะล็อก เมื่อความถี่ของ VCO มีค่าเท่ากับความถี่เฉลี่ยของสัญญาณ

- PLL ในสภาวะไม่ล็อก จะมีความถี่ของ VCO มีค่าเท่ากับความถี่วิ่งอิสระ

สภาวะล็อก

- กระบวนการจับ (Capture Process) คือการที่ PLL เปลี่ยนจากสภาวะไม่ล็อกเป็น

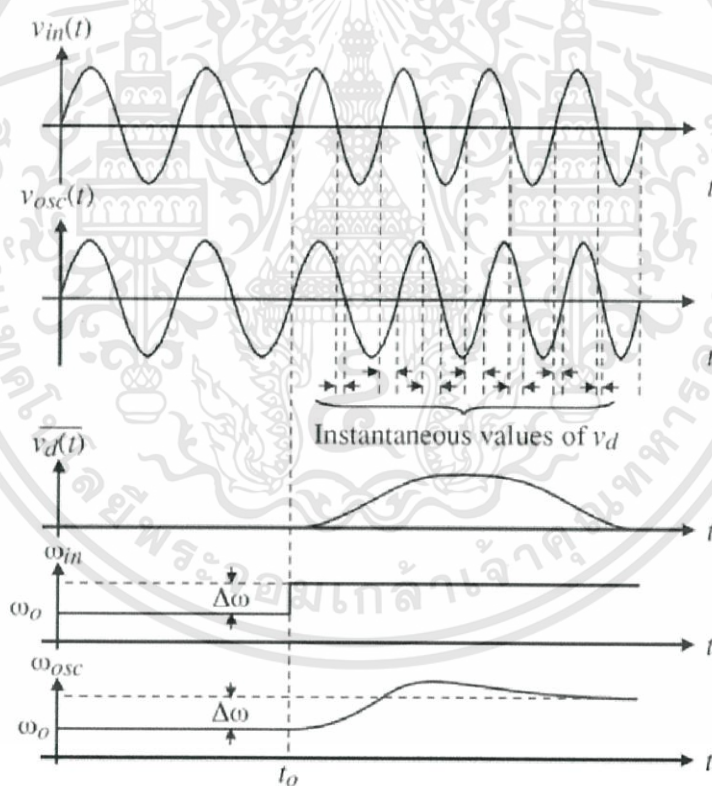
ของวงจรรอง

- ในสภาวะล็อกค่าความต่างเฟสอาจมีค่าเป็นศูนย์หรือมีค่าคงที่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด

เพิ่มขึ้น $\Delta\omega$ ณ เวลา t_0

- V_{in} จะมีเฟสหน้าหน้า V_{osc} ทำให้ V_d มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านระยะเวลาหนึ่งวงโดย

วงจรรอง ความถี่ของ VCO จะสูงขึ้นทำให้ความแตกต่างเฟสของ V_{in} และ V_{osc} ลดลงจน PLL เข้าสู่สภาวะล็อก



รูปที่ 2.6 การจับสัญญาณ (Capture Process) ของเฟสล็อก

รูปที่ 2.6 นี้แสดงให้เห็นการจับสัญญาณของเฟสล็อกคูลของสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนมุมเฟสของสัญญาณขาเข้า สัญญาณขาออกก็จะมีเฟสปรับด้วยการทำงานของเฟสล็อกคูลจนสุดท้ายมีมุมเฟสที่ตรงกันกับมุมเฟสของสัญญาณขาเข้า

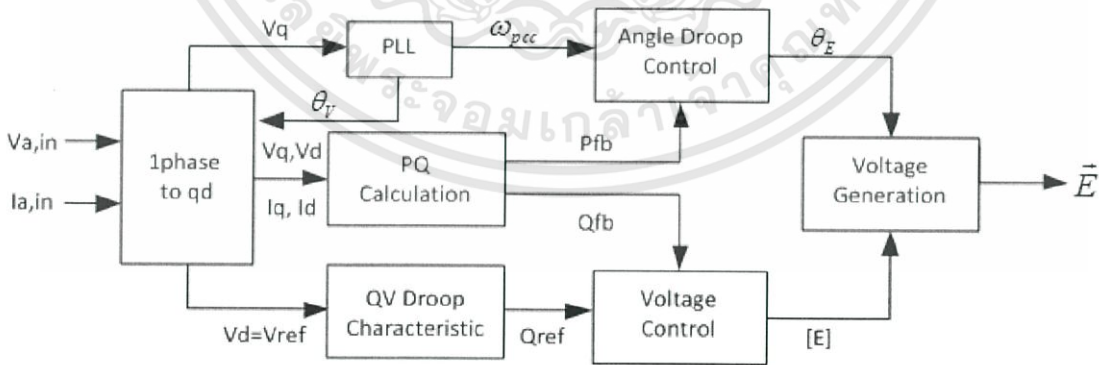
2.2.5 การหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

สมมติให้แรงดันที่บัสนั้นสมดุล และแกน d ในกรอบอ้างอิง dq ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโรตอร์นั้นใช้แกนร่วมกับเวกเตอร์แรงดันของที่บัส \vec{V} จะได้ $\vec{V}_d = \vec{V}, \vec{V}_q = 0$ และฟังก์ชันการแปลงจะถูกอธิบายโดยสมการที่ (2.8) คอนโทรลเลอร์สามารถใช้ \vec{V}_d เป็นตัวแปรควบคุม แทนที่จะใช้ \vec{V}

รูปที่ 2.7 แสดงภาพรวมของการควบคุมระบบ Droop Control โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าความถี่ที่บัส ω_{pcc} นั้นจะรับค่ามาจากบล็อกไดอะแกรมของ Phase Lock Loop (PLL) ในขณะที่ขนาดของแรงดันที่บัส $V_d = V_{ref}$ นั้นจะถูกคำนวณจากบล็อกการแปลงกรอบอ้างอิงหนึ่งเฟสเป็นกรอบอ้างอิง qd ในส่วนของ Q_{ref} จะได้มาจากโมดูล Q-V Droop Characteristic โดยโมดูล Angle Droop จะใช้เพื่อหามุมเฟสแรงดัน θ_E ที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ \vec{E} หรือ V_d ในขณะที่โมดูล Voltage control นั้นจะถูกใช้เพื่อหาขนาดของแรงดันเอาต์พุต $|E|$ โดยแรงดันเอาต์พุต \vec{E} ที่ออกมาจะเกิดจากขนาดและมุมเฟสของฟังก์ชันไซน์นั่นเองสมการที่ (2.8), (2.9) จะถูกใช้เพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่จ่ายโดย Microsource

$$P_{fb} = 1.5(V_q I_q + V_d I_d) \tag{2.8}$$

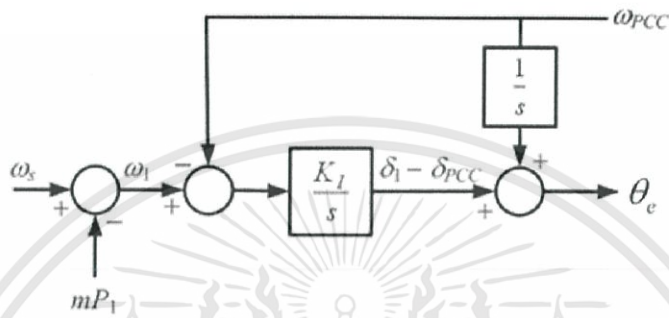
$$Q_{fb} = 1.5(V_q I_d - V_d I_q) \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.7 Block-diagram Droop Control

2.2.6 การควบคุมมุมของแรงดันโดยอาศัยเทคนิค Angle Droop

Angle droop เป็นเทคนิคในการควบคุมมุมของแรงดันโดยอาศัยค่าความผิดพลาดของความถี่ซึ่งโครนัสเทียบกับความถี่ที่ได้จาก P-f Droop Characteristics แล้วนำไปผ่านตัวควบคุมอินทิกรัล(Integral Controller) จะได้ค่าผิดพลาดของมุม เมื่อนำไปรวมกับความถี่ที่จุดต่อร่วม (ω_{pcc}) ที่ผ่านการอินทิกรัลจะได้มุมของแรงดันที่ต้องการ



รูปที่ 2.8 Block-diagram การควบคุมมุมแรงดันโดยใช้เทคนิค Angle droop

สมการ Droop ทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์

$$\omega_1 = \omega_s - mP_1 \quad (2.10)$$

$$V = V_{\max} - nQ \quad (2.11)$$

เมื่อ m และ n คือ สัมประสิทธิ์การดรอป (droop coefficient), ω_s คือความถี่ซึ่งโครนัส, V_{\max} คือ แรงดันพิกัดของระบบ V คือขนาดของแรงดันเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ และ ω_1 คือความถี่ของม่าน ในขณะที่ P และ Q แทนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายโดยคอนเวอร์เตอร์ตามลำดับ เพราะฉะนั้นความถี่และขนาดของแรงดันจะถูกควบคุมผ่านการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ออกจากแหล่งจ่าย DG

ไดอะแกรมการควบคุมมุมแรงดันจะถูกแสดงตามรูปที่ 2.6 ความถี่ ω_1 นั้นจะถูกคำนวณจากสมการที่ (2.10) ซึ่งหลังจากนั้นจะถูกเปรียบเทียบกับความถี่ที่ได้จากแรงดันตรงจุด PCC, ω_{pcc} ค่าความผิดพลาดที่ได้จะถูกรวมกับอินทิเกรตของ ω_{pcc} เพื่อหามุม θ_e โดยมุม θ_e ที่ได้จะหมุนด้วยความเร็วซึ่งโครนัส ω_1 ซึ่งจะหามุม θ_e กับแรงดันอ้างอิง ทั้งนี้หากเราเปลี่ยนค่าของ K_I เราสามารถที่จะเปลี่ยนผลตอบสนองทางไดนามิกส์ของ close loop ได้ โดยไม่มีผลกระทบบกับการควบคุมความถี่ที่สภาวะคงตัวเนื่องจาก K_I จะมีผลกับความถี่ในสถานะชั่วคราว (Transient) เท่านั้น

2.2.7 การควบคุมขนาดแรงดันโดยอาศัยเทคนิค Voltage Droop

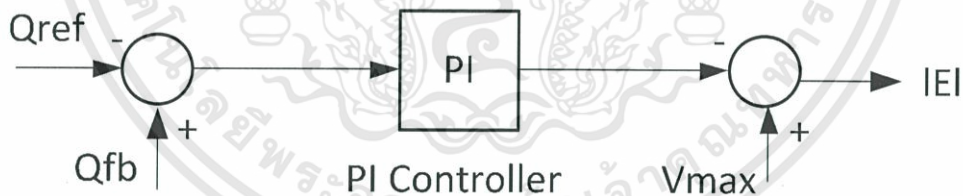
Voltage Droop เป็นเทคนิคในการควบคุมขนาดของแรงดันโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเสมือนและแรงดันจาก Q-V Droop Characteristics แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าเสมือนที่วัดจากบัสผ่านตัวควบคุมพีไอ (PI Controller) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับพิกัดแรงดันของระบบ (V_{max}) จะได้ขนาดของแรงดันที่ต้องการ

เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเสมือน Q_L นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของขนาด \vec{E} และ \vec{V} คอนโทรลเลอร์สามารถควบคุม Q_L โดยการเปลี่ยนขนาดของ \vec{E} โมดูลนี้นั้นจะถูกคำนวณขนาดแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ $|E|$ โดยที่ตัวแปรอินพุตคือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องการตามสมการที่ (2.12) และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ถูวัดที่บัส Q_b แรงดันพิกัดที่โหนดบัส V_{max} ส่วนตัวแปรเอาท์พุทคือขนาดของแรงดันของอินเวอร์เตอร์ที่ต้องการ $|E|$ ตามรูปที่ 2.9

$$Q_{ref} = \frac{V_{max} - |V_{ref}|}{n} \quad (2.12)$$

เมื่อ n คือ voltage droop coefficient ส่วนประกอบของแรงดันที่จะควบคุม ΔV นั้นจะถูกสร้างมาจากค่าผิดพลาด ΔQ ผ่าน PI controller โดย $|E|$ นั้นคือผลรวมของแรงดันพิกัด V_{max} และ ΔV ดังสมการที่ 2.13

$$|E| = V_{max} - \Delta V \quad (2.13)$$

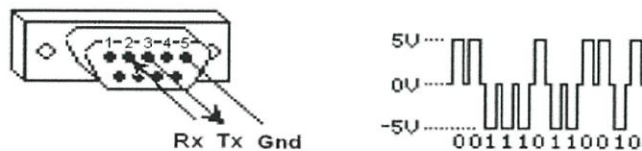


รูปที่ 2.9 Block-diagram การควบคุมขนาดแรงดันโดยใช้เทคนิค Voltage Droop

2.3 MODBUS Protocol

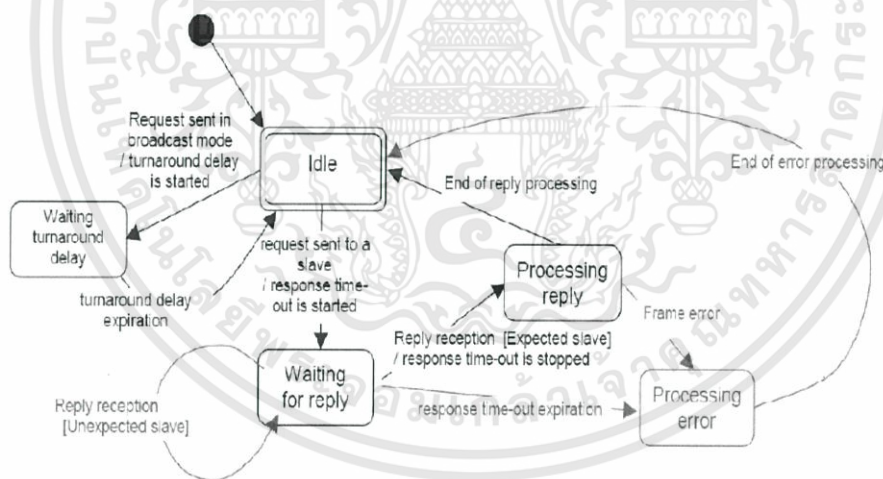
MODBUS เป็นโพรโตคอลที่มีความซับซ้อนไม่สูงและมีจำนวนฟังก์ชันการทำงานไม่มากแต่ยังคงเป็นที่นิยมในระบบทำงานที่ต้องการความแม่นยำสูงหรือมีความวิกฤติสูง เช่น โรงไฟฟ้า เป็นต้น เพราะใช้เวลาในการประมวลผลต่ำ เพื่อสื่อสารข้อมูลอินพุต/เอาต์พุตและรีจิสเตอร์ภายใน PLC ซึ่งถูกคิดค้นโดย Modicon (ปัจจุบันคือบริษัท Schneider Electric) โพรโตคอล MODBUS ได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการติดต่อสื่อสารที่เป็นแบบ Network Protocol อันเนื่องมาจาก MODBUS เป็นระบบเปิด, ไม่มีค่าใช้จ่าย, เชื่อมต่อและพัฒนาง่าย พร้อมทั้งยังสามารถนำโพรโตคอลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ไปใช้งานในอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Digital Power Meter, RTU (Remote Terminal Unit), Remote I/O, PLC เป็นต้น นอกจากนี้ MODBUS ยังสามารถรองรับและใช้งานร่วมกับ Application จำพวก SCADA และ HMI Software ได้อีกด้วย



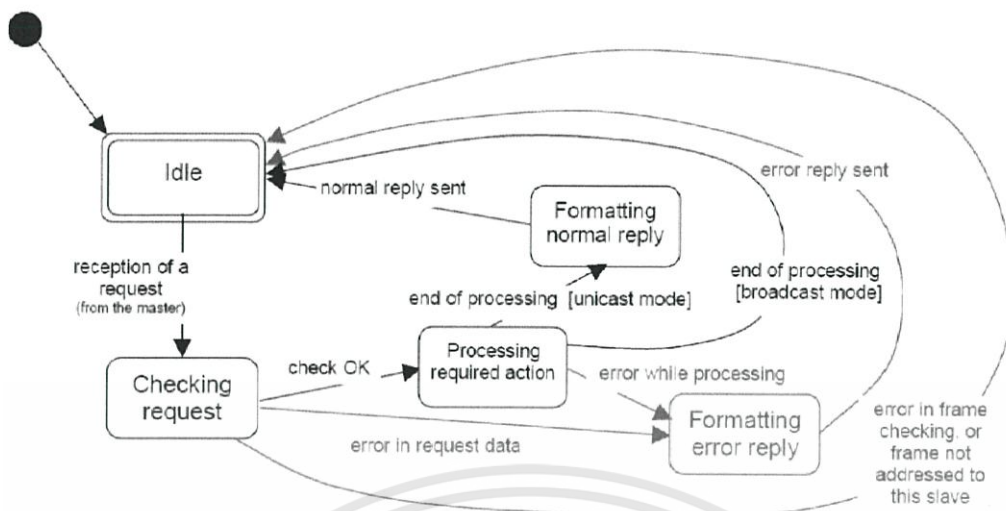
รูปที่ 2.10 วิธีการส่งข้อมูลด้วยสัญญาณในรูปของแรงดันเป็นไบนารี

MODBUS เป็นการสื่อสารโดยการส่งข้อมูลไปตามสายสัญญาณ Serial ระหว่างอุปกรณ์ โดยวิธีการสื่อสารที่ง่ายที่สุดคือการต่อสายสัญญาณ Serial ระหว่าง Master ดังรูปที่ 2.11 หนึ่งตัวกับ Slave ดังรูปที่ 2.12 หนึ่งตัว ข้อมูลจะถูกส่งต่อเนื่องกันไปด้วยสัญญาณ 0 หรือ 1 ซึ่งเราเรียกว่า Bit โดยแต่ละบิตจะอยู่ในรูปแบบแรงดัน (Voltage) โดย 0 จะแทนด้วยแรงดันด้านบวกและ 1 แทนด้วยแรงดันด้านลบ ทำให้สัญญาณ Bit ถูกส่งไปด้วยความเร็ว ความเร็วที่ใช้งานโดยทั่วไปคือ 9600 bps (bits per second) แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมสถานะของมาสเตอร์ (Master State Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมสถานะของสลาฟ (Slave State Diagram)

การรับส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล MODBUS สามารถเลือกได้ 2 โหมด คือ โหมด ASCII และโหมด RTU ซึ่งทั้ง 2 โหมดนี้มีความแตกต่างกันที่การกำหนดรูปแบบของชุดข้อมูลภายในเฟรม จะเลือกโหมดใดก็ได้แต่มีเงื่อนไขว่า อุปกรณ์ทุกตัวที่ต่อร่วมกันอยู่ในบัสหรือเครือข่ายเดียวกัน จะต้องตั้งให้เลือกใช้โหมดเดียวกันทั้งหมด

Query message from Master

Device Address
Function Code
Eight-Bit Data Bytes
Error Check

Response message from Slave

Device Address
Function Code
Eight-Bit Data Bytes
Error Check

รูปที่ 2.13 การติดต่อสื่อสารแบบ Master/Slave

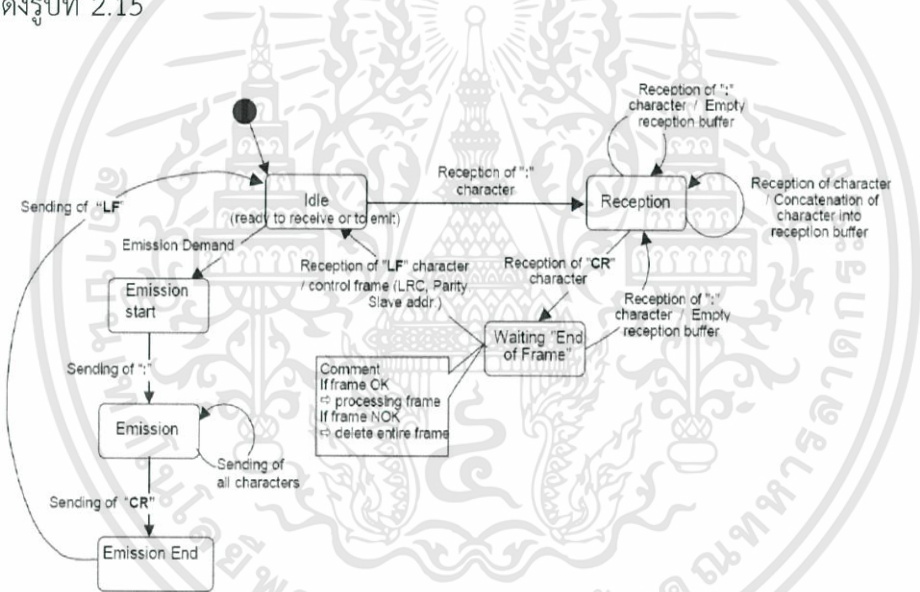
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 MODBUS ASCII Mode

เมื่อ Controllers ถูกติดตั้งให้มีการสื่อสารบน Modbus network ซึ่งใช้หลักการการส่งข้อมูลแบบ ASCII (American Standard Code for Information Interchange) Bit ของข้อมูลที่ถูกส่งแบบ ASCII mode จะถูกส่งออกไปในรูปของตัวเลขฐานสิบหก (hexadecimal) ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบ ASCII คือสามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็วโดยที่มี error เกิดขึ้นน้อยมาก

แต่ละไบต์ข้อมูลต้องการ 2 อักขระ ASCII สำหรับการเข้ารหัส ขนาดข้อมูลสูงสุดของ Modbus ASCII จะมีขนาดเป็นสองเท่าของ Modbus RTU (252) เป็นผลให้ขนาดข้อมูลสูงสุดของ Modbus ASCII อยู่ที่ 512 ไบต์

สถานะว่างคือสถานะปกติไม่มีการส่งและรับ แต่ละการรับอักขระ “:” หมายความว่าถึงจุดเริ่มต้นของเมสเสจใหม่ ถ้าเมสเสจกำลังประมวลผลการรับอยู่และได้รับอักขระ “:” อีก เมสเสจปัจจุบันที่กำลังแปลจะถูกตีความว่าไม่สมบูรณ์และถูกทิ้งไป รวมทั้งบัพเฟอร์จะถูกเคลียร์เริ่มใหม่อีกด้วย * หลังจากตรวจเจอจุดจบของเฟรม LRC จะถูกคำนวณและตรวจสอบว่าถูกต้องหรือไม่ เพื่อที่จะลดเวลาในการประมวลผล แอดเดรสจะถูกวิเคราะห์ตั้งแต่แรกโดยไม่ต้องรอถึงจุดจบของเฟรมโดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 โดอะแกรมการส่งข้อมูล Modbus ในโหมด Ascii

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	LRC CHECK	END
1 CHAR :	2 CHARS	2 CHARS	n CHARS	2 CHARS	2 CHARS CRLF

รูปที่ 2.15 ตารางการเก็บข้อมูล Modbus ในโหมด Ascii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 MODBUS RTU Mode

เมื่อ Controllers ถูกติดตั้งให้มีการสื่อสารบน Modbus network ซึ่งใช้หลักการการส่งข้อมูลแบบ RTU (Remote Terminal Unit) mode. Bit ของข้อมูลที่ถูกส่งแบบ RTU mode จะถูกส่งออกไปในรูปของ 8-bit binary

ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบ RTU คือ สามารถส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่าแบบ ASCII เมื่อมีอัตราส่ง (baudrate) ที่เท่ากันและแต่ละ message จะมีการไหลของข้อมูลแบบต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC CHECK	END
T1-T2-T3-T4	๘ BITS	๘ BITS	n x ๘ BITS	16 BITS	T1-T2-T3-T4

รูปที่ 2.16 ตารางการเก็บข้อมูล Modbus ในโหมด RTU

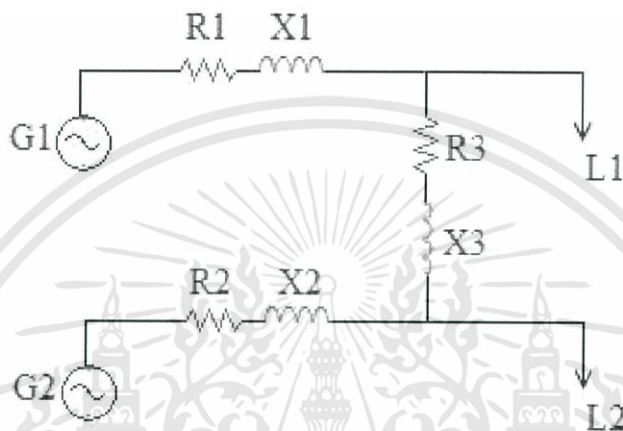
บทที่ 3

การออกแบบวงจรควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับไมโครกริด

3.1 การออกแบบวงจรควบคุมสำหรับไมโครกริดระบบ 1 เฟส

3.1.1 ค่าพารามิเตอร์และวงจรสมมูล

โดยค่า R_1, X_1 และ R_2, X_2 เป็นค่าอิมพีแดนซ์สายของบัส 1 และบัส 2 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองวงจรจะไปเชื่อมต่อกันที่จุดต่อร่วม (PCC) ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์คือ R_3 และ X_3 ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลเฟสเดียวของระบบที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์	ค่าพารามิเตอร์
G1	Power rating 2kVA , Designed for pf = 0.8
G2	Power rating 2kVA , Designed for pf = 0.8
R1	0.1446Ω
X1	4.633e-3 H
R2	0.1446Ω
X2	4.633e-3 H
R3	0.25Ω
X3	100e-6 H
L1	48.4Ω
L2 (R+jXL)	Case load RL at P.F.=0.8 Z = 19.36+14.52jΩ

3.1.2 การออกแบบการแปลงแกนในระบบ 1 เฟส

ในส่วนของ Subsystem ของการแปลงแกนในระบบ 1 เฟส จะทำการแปลงจาก V_a ไปเป็น V_α และ V_β โดยจะใช้หลักการของการเลื่อนเฟสของแรงดันดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ในส่วนของวัตถุประสงค์ของการสร้างแรงดัน V_β ขึ้นมานี้ก็เพื่อใช้ในการหาค่าความผิดพลาด(Error) ของมุมเฟส(Phase) ใน Phase Detector ต่อไปการสร้างแรงดันของ V_β นั้นจะใช้บล็อกไดอะแกรมของ Transfer function โดยมีค่าเท่ากับ $\frac{s-100\pi}{s+100\pi}$ ซึ่งเป็นการเลื่อนมุมไปอีก 90° เมื่อได้แรงดัน V_α และ V_β แล้วจะทำการเปลี่ยนแกนอ้างอิงไปสู่กรอบอ้างอิง qd ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งจะได้บล็อกไดอะแกรม(Block diagram) ในรูปที่ 3.2

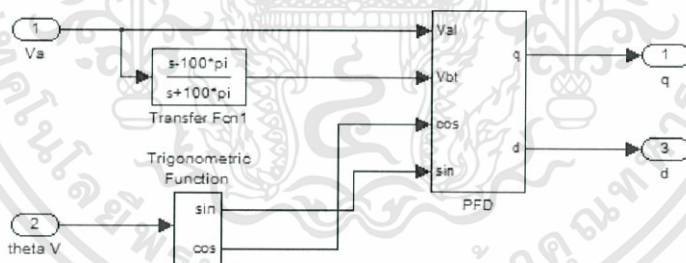
$$V_\alpha = V_a \quad (3.1)$$

$$V_\beta = V_a \left(\frac{s-100\pi}{s+100\pi} \right) \quad (3.2)$$

$$V_q = V_\alpha \cos \theta_v - V_\beta \sin \theta_v \quad (3.3)$$

$$V_d = V_\beta \cos \theta_v + V_\alpha \sin \theta_v \quad (3.4)$$

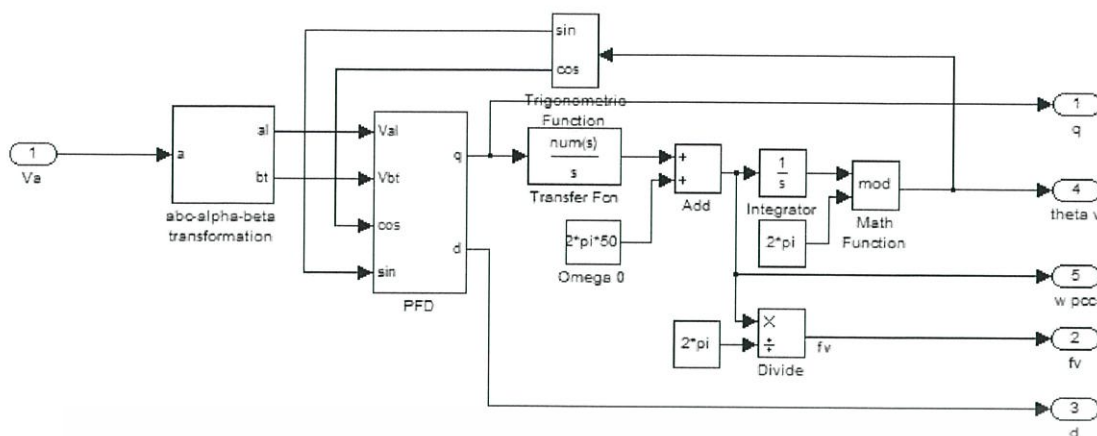
โดย θ_v จะเป็นมุมที่ได้มาจากการ Voltage Control Oscillator ของ Phase Lock Loop



รูปที่ 3.2 การแปลงแกนในระบบ 1 เฟส

3.1.3 การออกแบบระบบเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop)

การออกแบบวงจร Phase Lock Loop เป็นการออกแบบเพื่อควบคุมค่าความถี่ โดยใช้วิธีในการเปรียบเทียบมุมเฟสของความถี่ทางด้านออก(Output) กับเฟสความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งจะถูกป้อนเข้าทางด้านเข้า (Input) ของระบบ จะได้



รูปที่ 3.3 Phase Lock LoopSubsystem

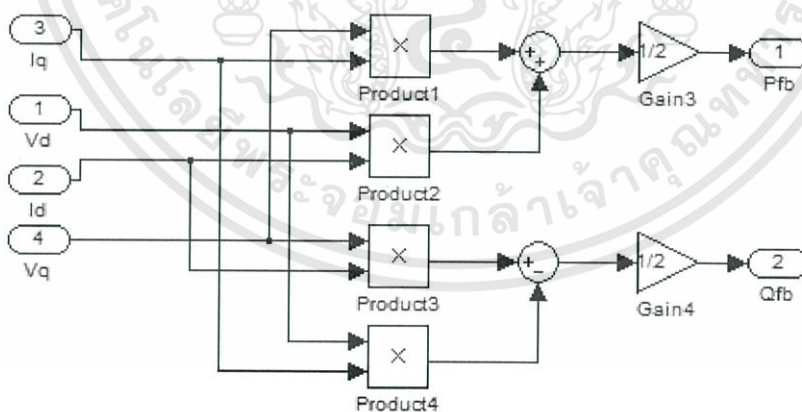
3.1.4 การออกแบบระบบ P&Q Calculation Subsystem

ในส่วนของการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง(P)และกำลังไฟฟ้าเสมือน(Q) จะใช้การคำนวณผ่านความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.8 และ 2.9 ดังนี้

$$P_{fb} = \frac{1}{2} (V_q I_q + V_d I_d)$$

$$Q_{fb} = \frac{1}{2} (V_q I_d - V_d I_q)$$

ซึ่งจากความสัมพันธ์ของสมการข้างต้น จะสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรม(Block diagram) ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 P&Q Calculation Subsystem

3.1.5 การออกแบบระบบ Angle Droop Control

ในการออกแบบระบบ Angel Droop control นั้นต้องทำการคำนวณ Frequency Droop Coefficientซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการจ่ายออกของกำลังไฟฟ้าจริงโดยยอมให้ความถี่ของระบบตกลงได้ไม่เกิน 3% ของความถี่มาตรฐาน ตามความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.1) แสดงดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = \left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{P_{\max}} \right) \times 2\pi$$

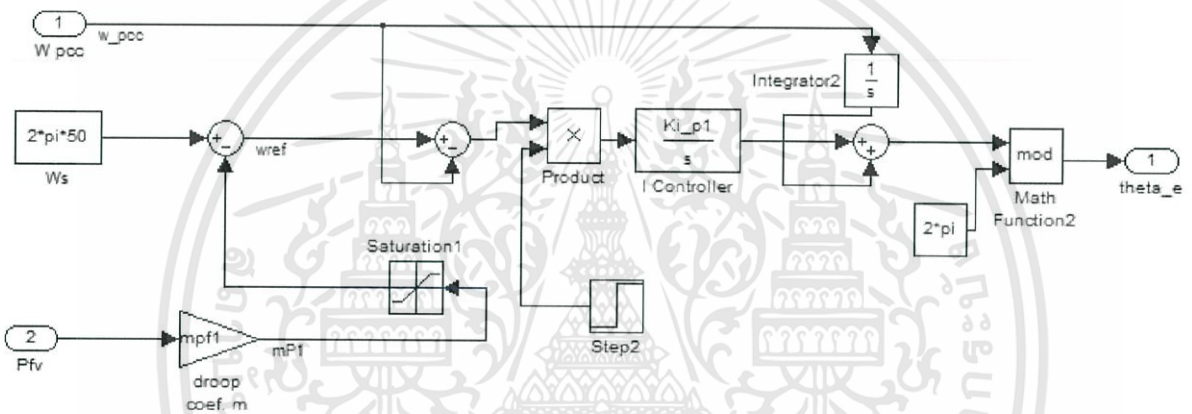
เนื่องจากระบบใช้ Power rating 2kVA , Designed for p.f. = 0.8 จะได้

$$\text{โดย } f_{\max} = 50$$

$$f_{\min} = 48.5$$

$$P_{\max} = 2000 \times 0.8 = 1600W$$

$$m = \frac{50 - 48.5}{1600} \times 2\pi = 0.0009375 \text{ Hz/Watt}$$



รูปที่ 3.5 Angle Droop Control Subsystem

3.1.6 การออกแบบระบบ Voltage Droop Control

ในการออกแบบระบบ Voltage Droop control นั้นต้องทำการคำนวณ Voltage Droop Coefficient ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดค่ากำลังไฟฟ้ารี่แอกทีฟของระบบไมโครกริด โดยให้มีค่าความผิดพลาดของขนาดของแรงดันอยู่ในย่านไม่เกิน 2.5% ตามความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.2

$$n = \left(\frac{V_{\max} - V_{\min}}{Q_{\max}} \right) \times \sqrt{2}$$

เนื่องจากระบบใช้ Power rating 2kVA , Designed for p.f. = 0.8 จะได้

$$\text{โดย } V_{\max} = 225.5$$

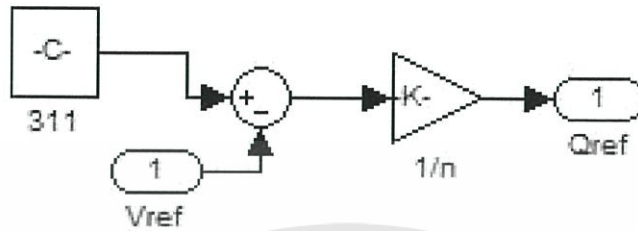
$$V_{\min} = 214.5$$

$$Q_{\max} = 1200 \text{ var}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

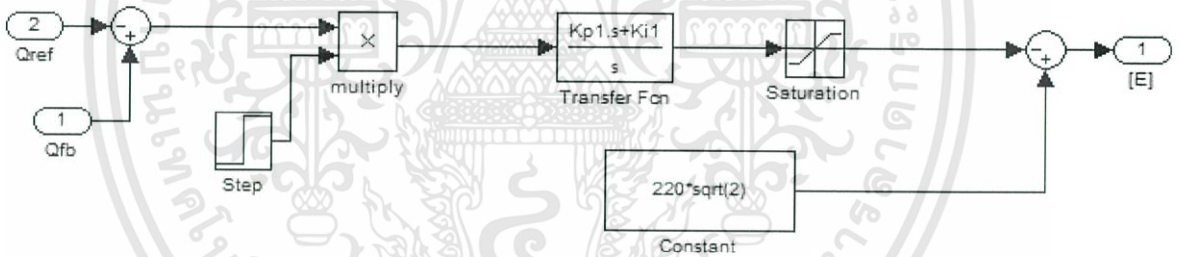
$$n = \frac{225.5 - 214.5}{1200} \times 2\pi = 0.01296 \text{ V/Var}$$

จะได้บล็อก ไดอะแกรม(block diagram) ดังรูปที่ 3.6 โดยค่า $k = \frac{1}{n}$



รูปที่ 3.6 QV Droop Characteristic Subsystem

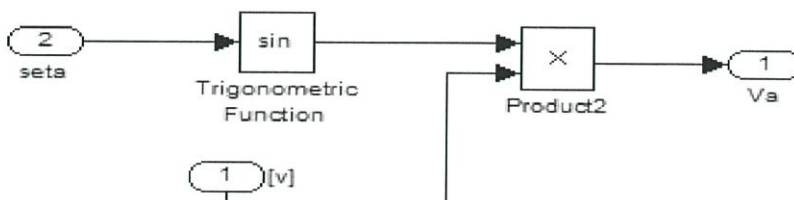
เมื่อรับค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ต้องการจาก Droop Characteristic Subsystem จะนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่วัดได้ เพื่อนำไปกำหนดขนาดของแรงดันที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์ 1 แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 Voltage Control Subsystem

3.1.7 การออกแบบระบบ Voltage Generation Subsystem

เมื่อรับค่ามุมและขนาดของแรงดันจากบล็อกไดอะแกรมของ Angle Droop Control และ Voltage Droop Control ตามลำดับแล้ว จะนำมาใช้สร้างแรงดันดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Voltage Generation Subsystem

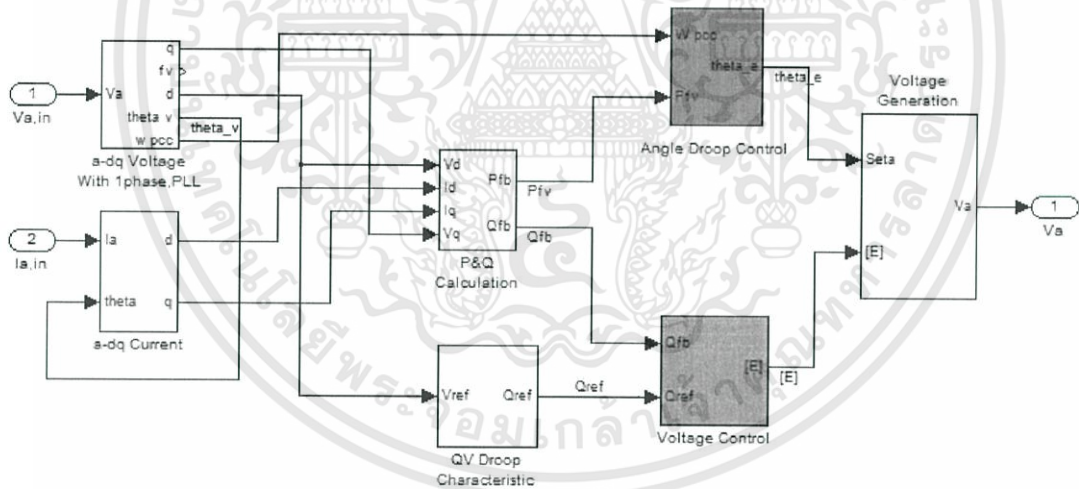
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 การออกแบบระบบ Droop Control Subsystem

เมื่อได้ทำการออกแบบบล็อกไดอะแกรมของระบบต่างๆแล้ว จึงนำมาทำการลากเส้นเชื่อมต่อกันระหว่าง Subsystem ทั้งหมดภายใน Converter1 และ Converter2 ตามรูปที่ 3.9 ซึ่งในตัวของระบบจะประกอบไปด้วย

1. a-dq Voltage with 1 phase, PLL Subsystem
2. a-dq Current Subsystem
3. P&Q Calculation Subsystem
4. QV Droop Characteristic Subsystem
5. Angle Droop Control Subsystem
6. Voltage Droop Control Subsystem
7. Voltage Generation Subsystem

เมื่อนำระบบย่อยๆ(Subsystem)ดังกล่าวมาทำการเชื่อมต่อกันแล้ว จะทำการยุบบล็อกไดอะแกรมรวมของระบบให้กลายเป็น Subsystem อีกทีหนึ่งโดยตั้งชื่อว่า Droop_Control_1 และ Droop-Control_2 ของ Converter1 และ Converter2 ตามลำดับ

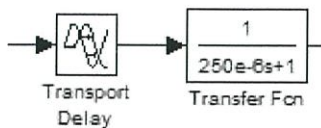


รูปที่ 3.9 ระบบ Droop_Control_1 Subsystem

3.1.9 Power Amplifier[3]

ในการศึกษานี้ใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังจำลองเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา เนื่องด้วยการทดลองใช้งานแอมพลิฟายเออร์กำลังที่ใช้งานจริง เมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของแอมพลิฟายเออร์พบว่าสัญญาณขาออกมีเฟสเลื่อนไปจากสัญญาณขาเข้า ซึ่งสามารถประเมินฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุต ได้ดังรูปที่ 3.10

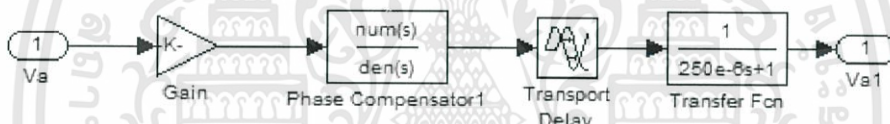
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 Power Amplifier

3.1.10 การออกแบบ Phase Compensator ใน Power Amplifier

เนื่องการเพิ่มตัว Power Amplifier จะส่งผลให้เกิดการ delay ค่าอินพุทที่เข้า เนื่องจากมีการเพิ่มตัว Transport Delay เข้าไปในระบบไมโครกริดดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบ ตัวชดเชย(Phase Compensator) เข้าไปในระบบ เพื่อทำการชดเชยค่าดังกล่าวทำให้ระบบมีเฟส ตรงกันและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นดังรูปที่ โดยจะได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวชดเชยมุมเฟสคือ $\frac{2 \times 0.0004158s + 1}{0.0004158s + 1}$ ซึ่งจากฟังก์ชันถ่ายโอนจะเป็นการเลื่อนมุมเฟสออกไป 7.7° และมีขนาดเป็น 1.02485 เท่า จึงต้องมีการลดอัตราขยายสัญญาณให้เป็น 1 โดยการใส่ block gain K ซึ่งมีค่า เท่ากับ $1/1.02485 = 0.975747$ ดังรูปที่ 3.11

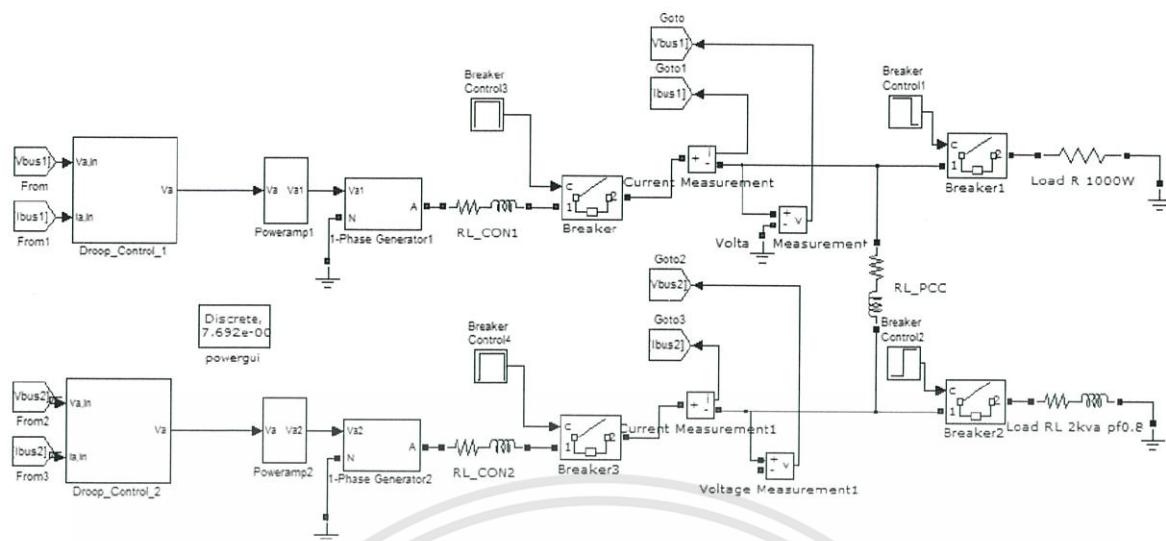


รูปที่ 3.11 ระบบภายใน Power Amplifier Subsystem

3.1.11 การออกแบบแบบจำลองไมโครกริดในโหมด Stand-alone ของระบบ 1

เฟส

นำบล็อกข้างต้นทั้งหมดมาทำการเชื่อมโยงกันให้กลายเป็นระบบไมโครกริด (Microgrid System) ในโหมด Stand-alone โดยจะมี Converter 2 ตัวคือ Converter1 และ Converter2 ในการทำหน้าที่ช่วยกันจ่ายโหลดตาม Droop Coefficient ตามรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แบบจำลองไมโครกริดในโหมด Stand-alone ของระบบ 1 เฟส



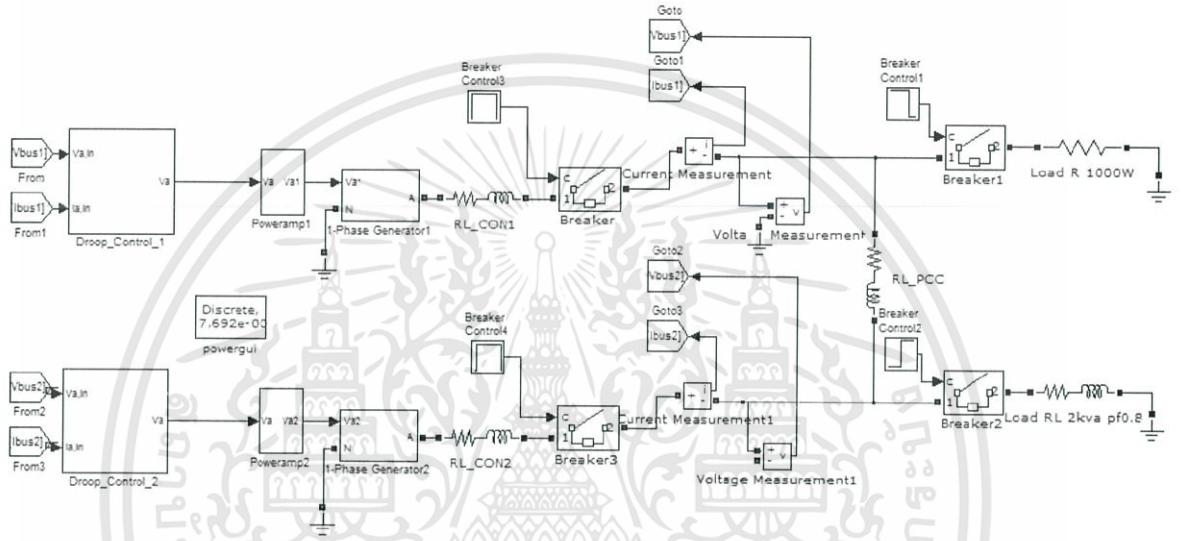
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 แบบจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมด stand-alone ในระบบ 1 เฟส

เราจะทำการจำลองการทำงานของระบบเป็นโหมด stand-alone ที่มีคอนเวอร์เตอร์สองตัวต่อเข้ากับจุดเชื่อมต่อ PCC ที่ต่างกัน ทั้งนี้คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองมีอัตราส่วน droop coefficient ratio เป็น 1:1 โดยจำลองได้เป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบจำลองไมโครกริด 1 เฟส ในโหมด stand-alone

ทั้งนี้เราจะมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์

Summary	Converter 1	Converter 2
	Maximum power rated 2kva	Maximum power rated 2kva
Basic Setting	$P_{max} = 1.6kW$ at $P.F. = 0.8$ $Q_{max} = 1.2kVAR$ $\omega_s = 50 * 2\pi$ rad / s $Z_{con_1} = 0.1446 + j4.633e-3$	$P_{max} = 1.6kW$ at $P.F. = 0.8$ $Q_{max} = 1.2kVAR$ $\omega_s = 50 * 2\pi$ rad / s $Z_{con_2} = 0.1446 + j4.633e-3$
Phase-Locked Loop parameters	$Kp_PLL=4$ $Ki_PLL=70$	$Kp_PLL=4$ $Ki_PLL=70$
phase angle droop parameters	$mpf1=0.0009375*2*pi$ $Ki_p1=0.2$ $Tp1_on_time=0.1$	$mpf2=0.0009375*2*pi$ $Ki_p2=0.2$ $Tp2_on_time=0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Ki_res=200	Ki_res=200
Voltage Droop parameters	mvq1=1/0.01296 Kp1=0.0005 Ki1=1e-4 Tq1_on_time=0.1	mvq2=1/0.01296 Kp2=0.0005 Ki2=1e-4 Tq2_on_time=0.5

*note Feeder Impedance, $Z_{feeder} = 0.25 + j100e-6$

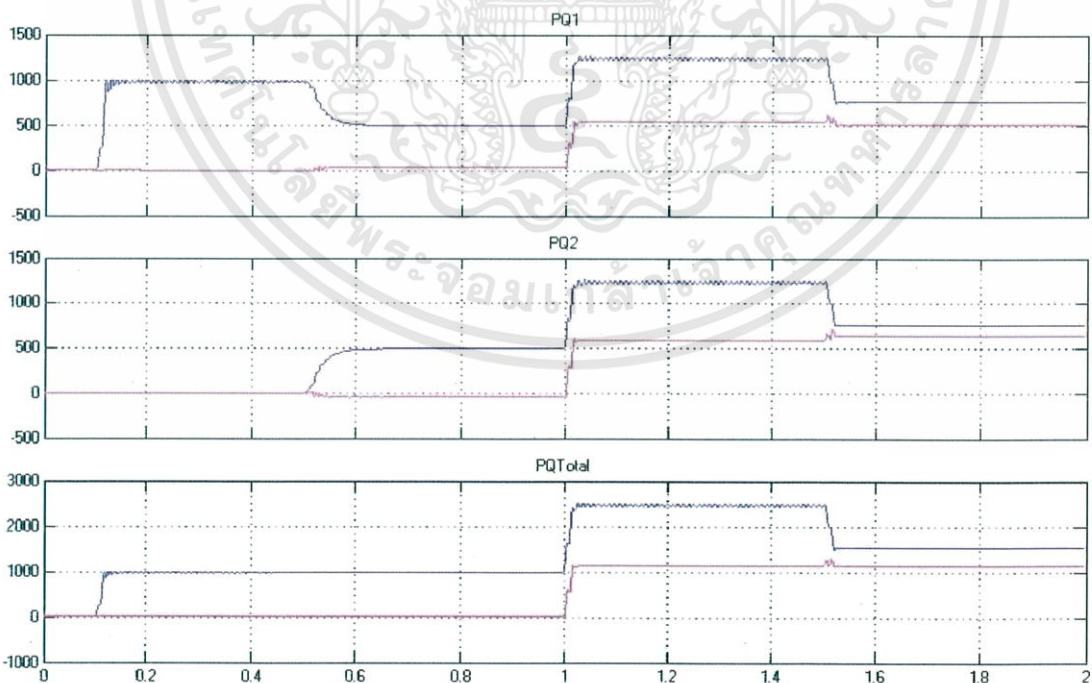
ตารางที่ 4.2 การตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านโหลดเพื่อพิจารณาผลตอบสนอง

Load timing	Load description:
T1 = 1	T = 0 - 1s Load R = 1,000W
T2 = 1.5	T = 1 - 1.5s Load R = 1,000w + Load RL (ค่าต่างๆ)
T3 = 2	T > 1.5s Load RL (ค่าต่างๆ)

4.1.1 ผลการทดลองแบบจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมด stand-alone

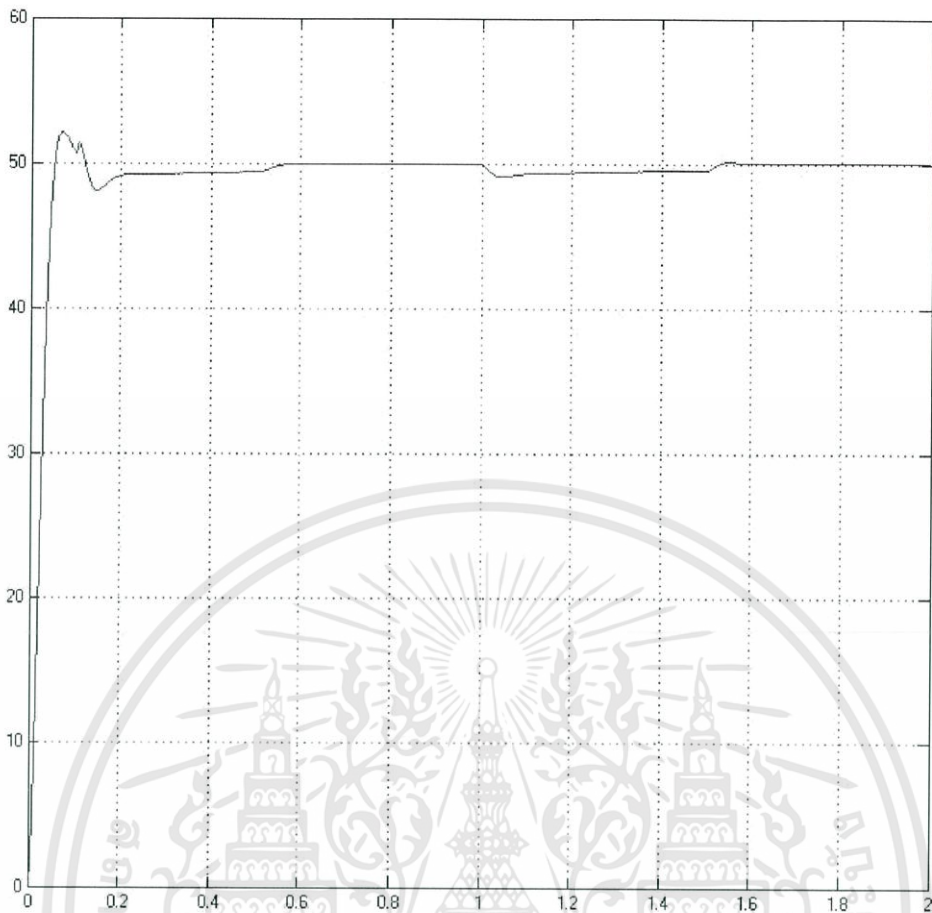
ในระบบ 1 เฟส

ต่อจากนี้จะเป็นรูปกราฟผลการทดลอง ซึ่งจะแสดงเฉพาะผลลัพธ์การจำลองที่กรณีเริ่มต้นด้วย load R 1.0kW ต่อมาเพิ่มโหลด RL ที่เวลา1.5s และปลดโหลด R ออกที่เวลา2s คงเหลือเพียงโหลดชนิด RL เพียงอย่างเดียว ตามกราฟแสดงผลที่ 4.2 - 4.5

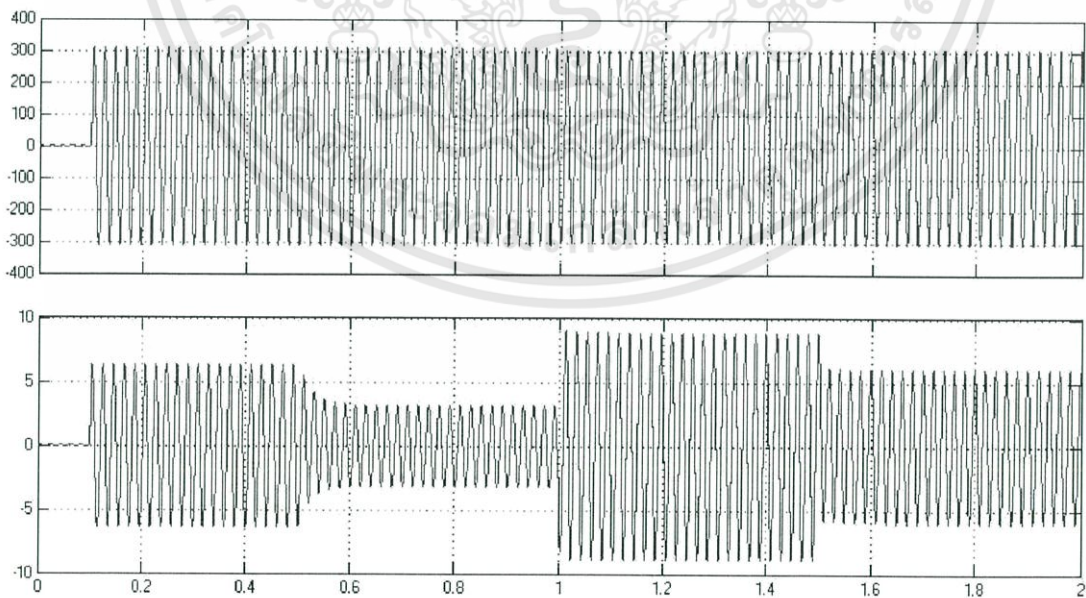


รูปที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนของคอนเวอร์เตอร์ 1, 2 และกำลังไฟฟารวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

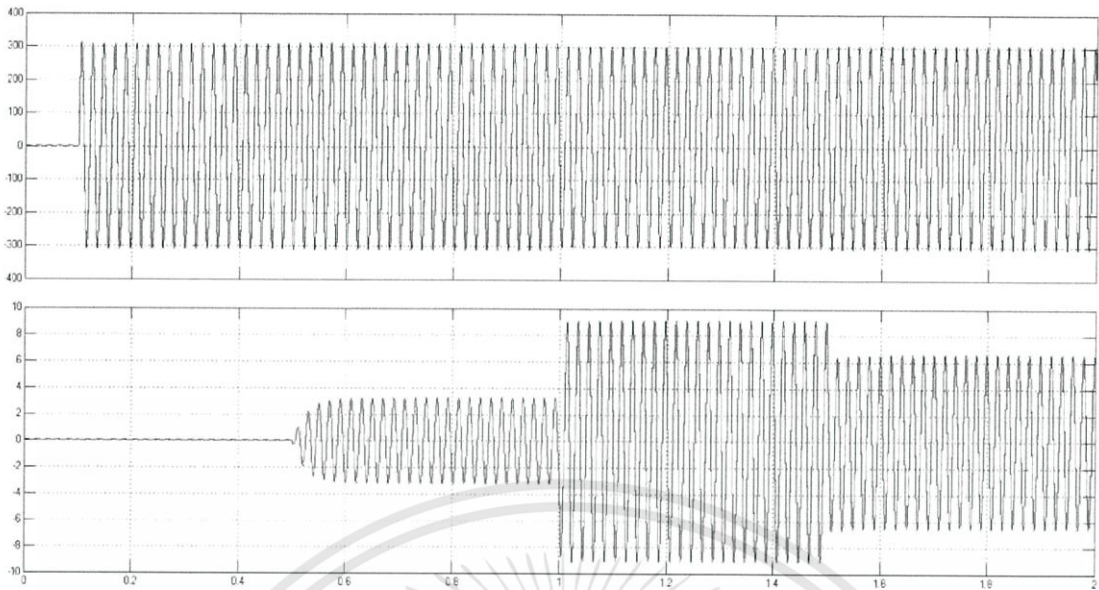


รูปที่ 4.3 ความถี่ที่จุดต่อร่วม (Point of common,PCC)



รูปที่ 4.4 แรงดันและกระแสที่จุดต่อร่วม PCC ที่บัส 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แรงดันและกระแสที่จุดต่อร่วม PCC ที่บัส 2

จากผลการทดลองเราจะเริ่มทำการตีความทางด้านกำลังไฟฟ้าก่อน โดยตัวแปรที่สนใจในหัวข้อนี้คือกำลังไฟฟ้าจริง (real power) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (reactive power) โดยวินาทีที่ 0.1 - 0.5 เป็นช่วงเวลาที่เราให้คอนเวอร์เตอร์ 1 จ่ายโหลดความต้านทานเพียงอย่างเดียว พบว่าคอนเวอร์เตอร์ 1 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ที่ 980W ต่อมาเราให้คอนเวอร์เตอร์ 2 ช่วยจ่ายที่วินาที 0.5 พบว่าคอนเวอร์เตอร์ 1 และ 2 ช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงคนละ 495W ตามอัตราส่วน droop coefficient ที่ 1:1 โดยใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยใช้เวลาประมาณ 0.1s ต่อมาเราเพิ่มโหลด RL 2kva ที่ PF=0.8 ($P=1,600W$ $Q=1,200VAR$) แล้วพบว่ากำลังไฟฟ้าที่คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองสามารถจ่ายรวมกันมีค่า 2,480W , 1,125 VAR ตามลำดับตามรูปที่ 4.2 ซึ่งถือว่าจ่ายได้ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้

ต่อมาเราจะวิเคราะห์ผลตอบสนองทางด้านความถี่จากรูปที่ 4.3 พบว่าการตอบสนองชั่วคราวในขณะที่เปลี่ยนแปลงโหลดมีค่าความถี่แกว่งไม่มากนัก และเนื่องจากการควบคุมขั้นที่สอง ความที่จะเปลี่ยนไปเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโหลด จะกลับเข้าสู่ 50 Hz

สุดท้ายเราจะมาดูผลตอบสนองทางด้านแรงดันและกระแสของจุด PCC เราจะพบว่าค่าแรงดันและกระแสนั้นมีรูปคลื่นไซน์ มีเสถียรภาพ และตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ดี

4.1.2 ผลการทดลองที่โหลดที่เปลี่ยนแปลงเป็นโหลดมีค่า P.F =0.8 การเพิ่มโหลดจากโหลดความต้านทาน 1,000W กับโหลดชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ผลช่วงแรกในขณะที่ต่อโหลดความต้านทานเพียงอย่างเดียว (Load R 1,000W)

Load R 1,000 W	P_{steady}	Q_{steady}	f	V_{peak}
Converter 1	495	0	49.9	311
Converter 2	495	0	49.9	311

ตารางที่ 4.4 ผลช่วงที่สองในขณะที่มีการแชร์โหลดร่วมกัน (Load R 1,000W + Load RL ที่ค่าต่างๆ)

Converter 1	P_{steady}	Q_{steady}	f	V_{peak}
Load R 1,000W + RL 400VA	647	90	49.85	308.0
Load R 1,000W + RL 800VA	795	220	49.75	306.9
Load R 1,000W + RL 1,200VA	945	344	49.65	305.7
Load R 1,000W + RL 1,600VA	1,090	441	49.60	304.6
Load R 1,000W + RL 2,000VA	1,240	535	49.5	303.5
Converter 2				
Load R 1,000W + RL 400VA	647	145	49.85	308.5
Load R 1,000W + RL 800VA	795	245	49.75	307.1
Load R 1,000W + RL 1,200VA	945	347	49.65	305.5
Load R 1,000W + RL 1,600VA	1,090	472	49.60	304.3
Load R 1,000W + RL 2,000VA	1,240	593	49.5	302.9

จากตารางที่ 4.4 จะแสดงให้เห็นว่าคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่ออกแบบนี้ให้ผลตอบสนองต่อโหลดประเภท RL ที่ PF=0.8 เป็นไปตามที่ออกแบบไว้

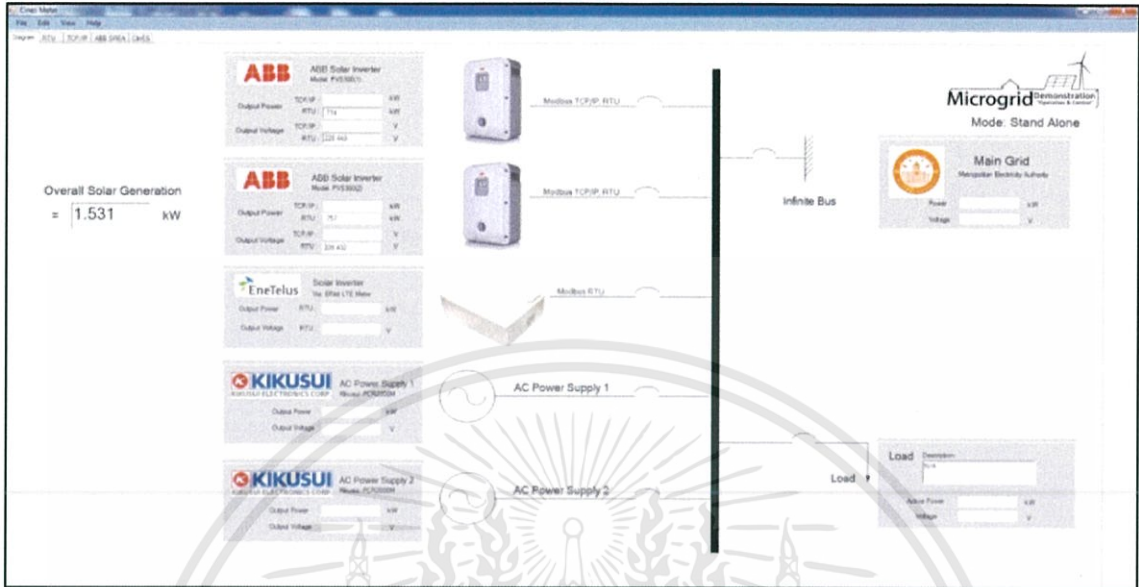
ตารางที่ 4.5 ผลรวมของกำลังไฟฟ้ารวมทั้งสองคอนเวอร์เตอร์

	กำลังไฟฟ้าในช่วงแรก		กำลังไฟฟ้าในช่วงที่สอง	
	P_{total}	Q_{total}	P_{total}	Q_{total}
Load R 1,000W + RL 400VA	980	0	1,294	235
Load R 1,000W + RL 800VA	980	0	1,590	465
Load R 1,000W + RL 1,200VA	980	0	1,890	691
Load R 1,000W + RL 1,600VA	980	0	2,180	913
Load R 1,000W + RL 2,000VA	980	0	2,480	1,128

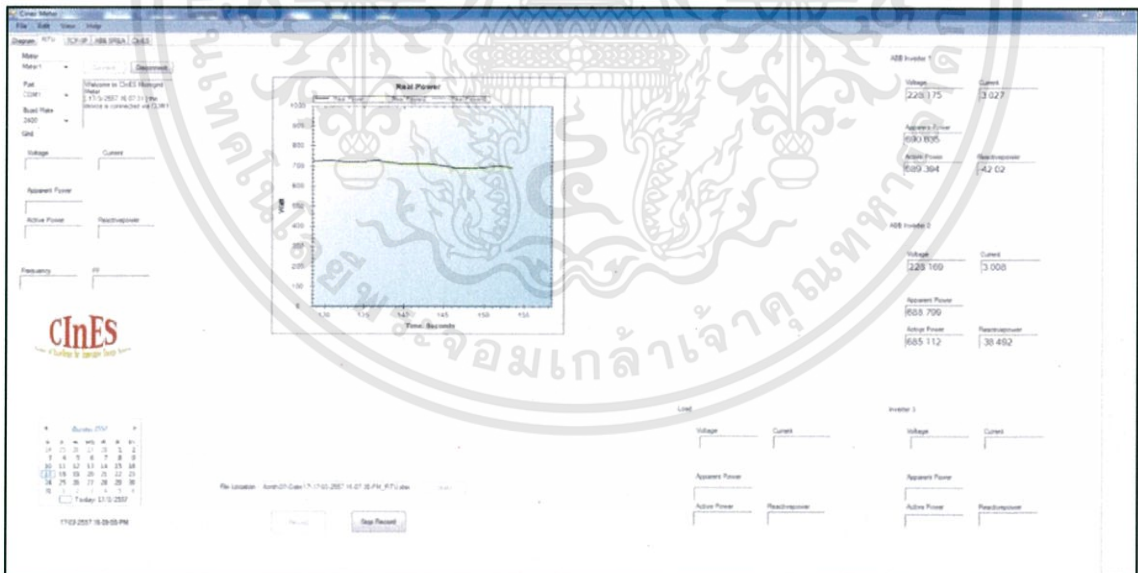
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การแสดงผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การแสดงผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเป็นดังรูปที่ 4.6 – 4.10

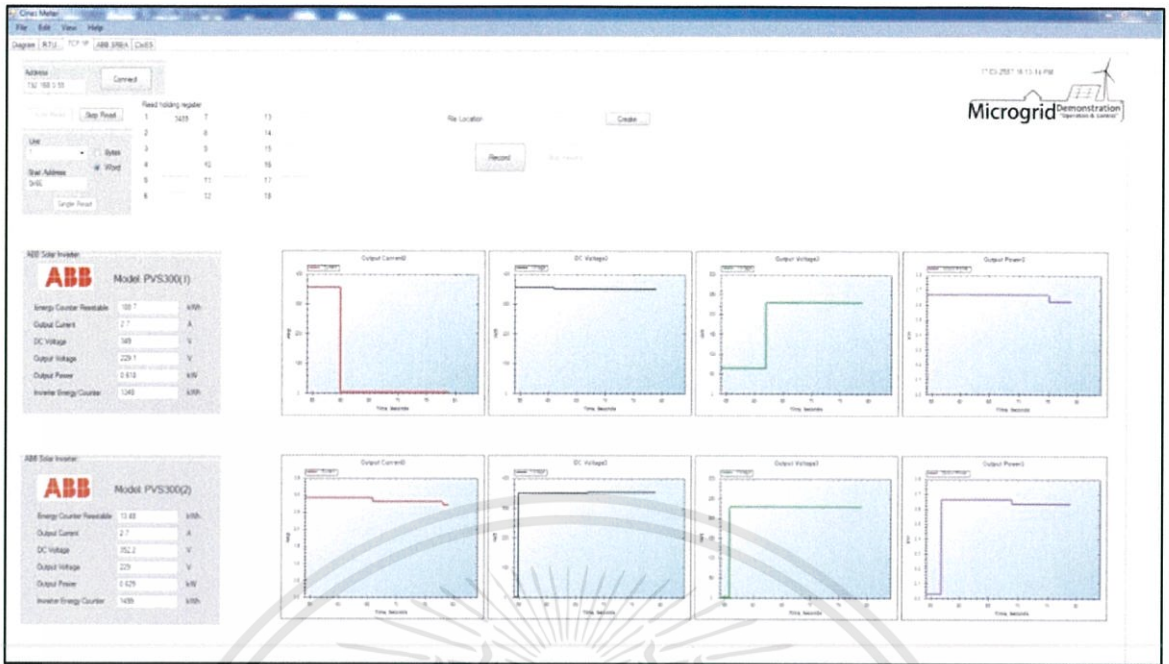


รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยรวม

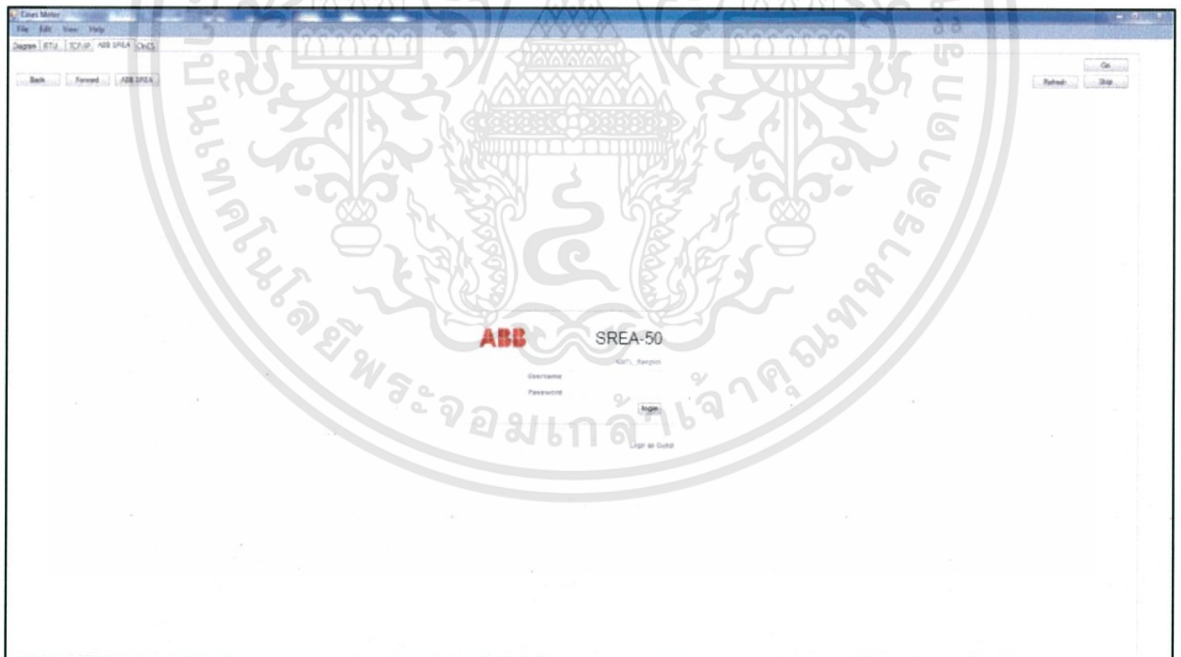


รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยการเชื่อมต่อกับมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

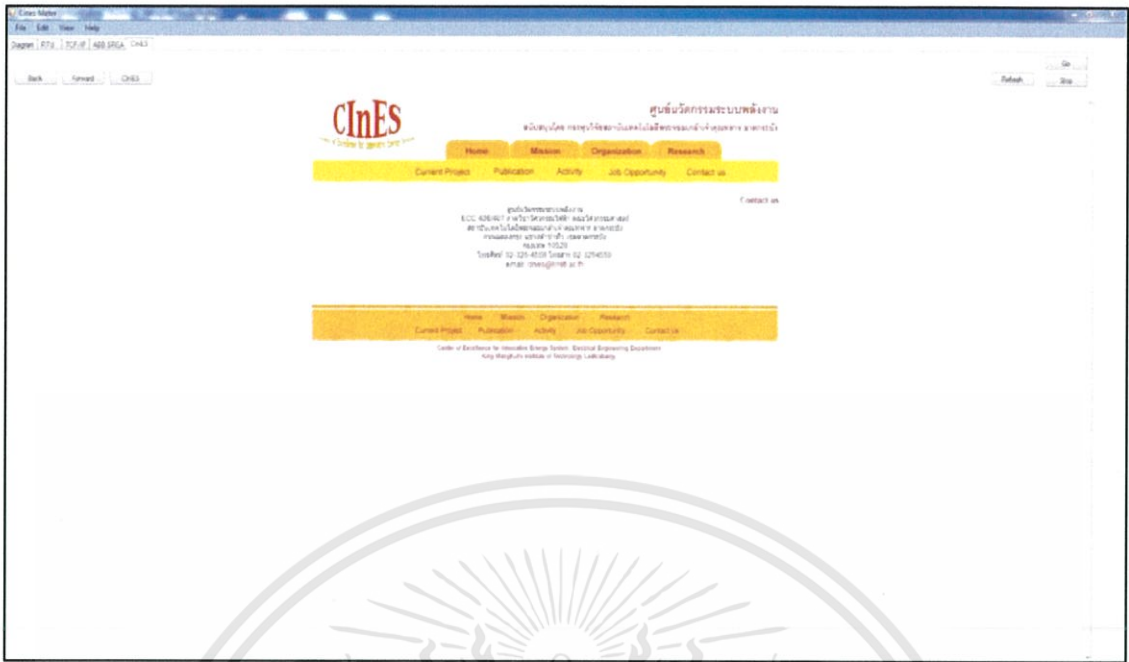


รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยการเชื่อมต่อผ่าน TCP/IP



รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมเชื่อมต่อเว็บไซต์ ABB

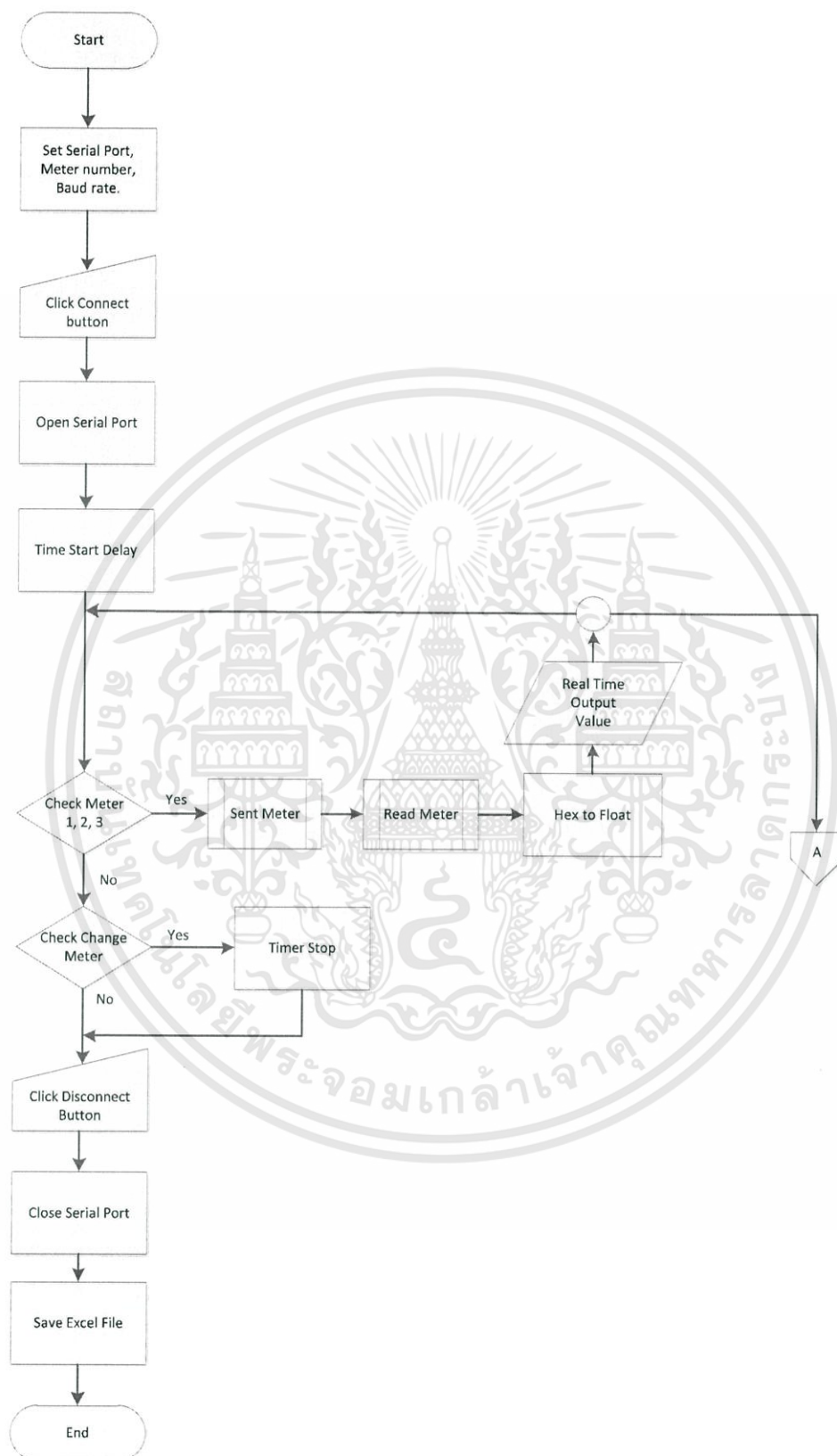
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



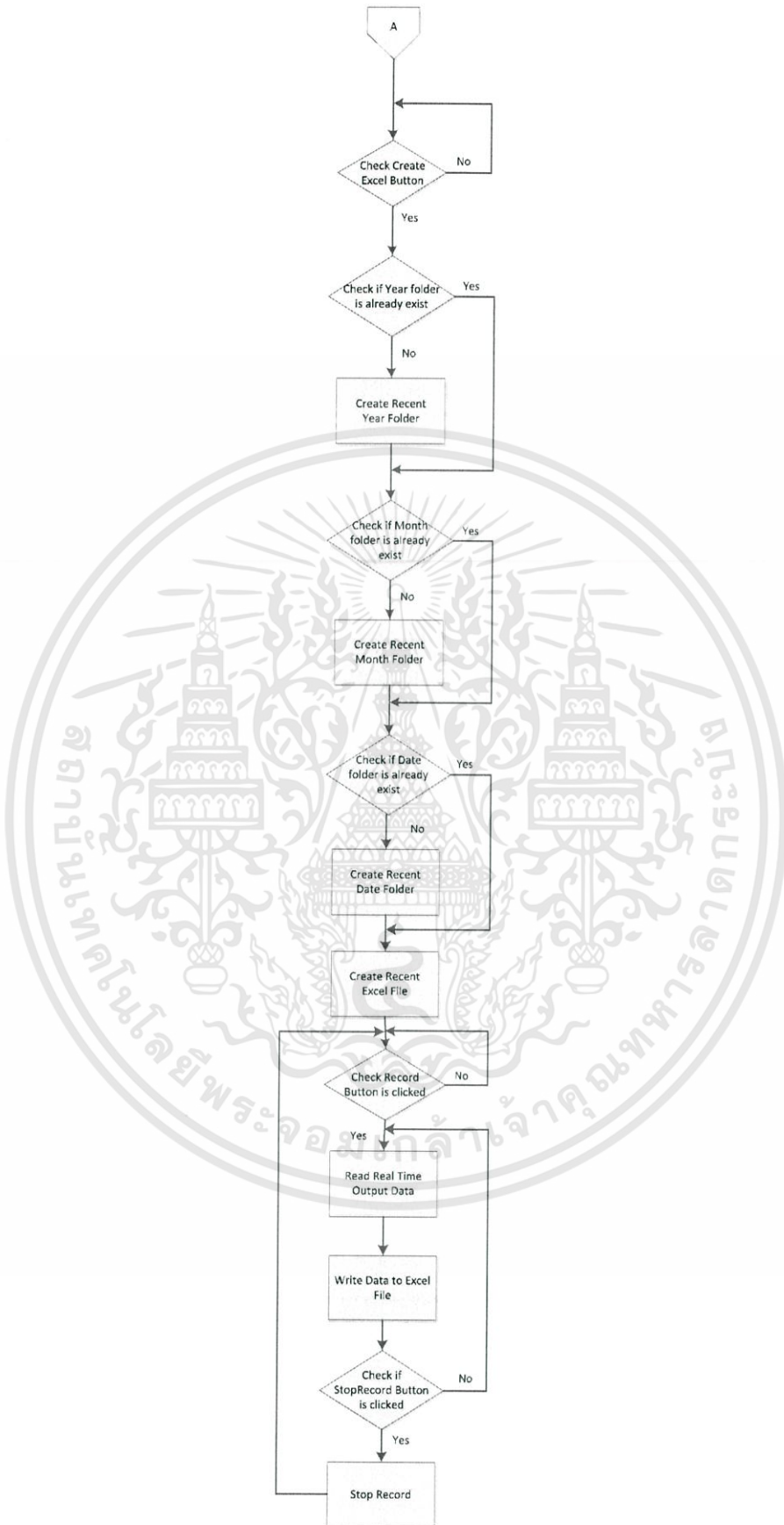
รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมเชื่อมต่อเว็บไซต์ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 โฟลว์ชาร์ต CiNES Microgrid โดยการติดต่อผ่าน RTU



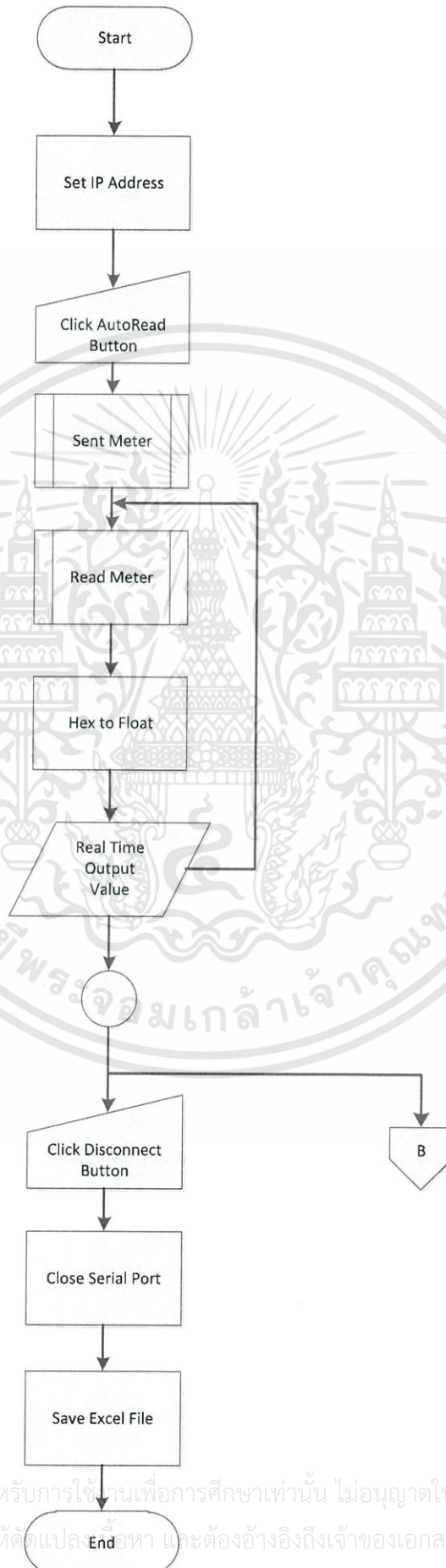
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



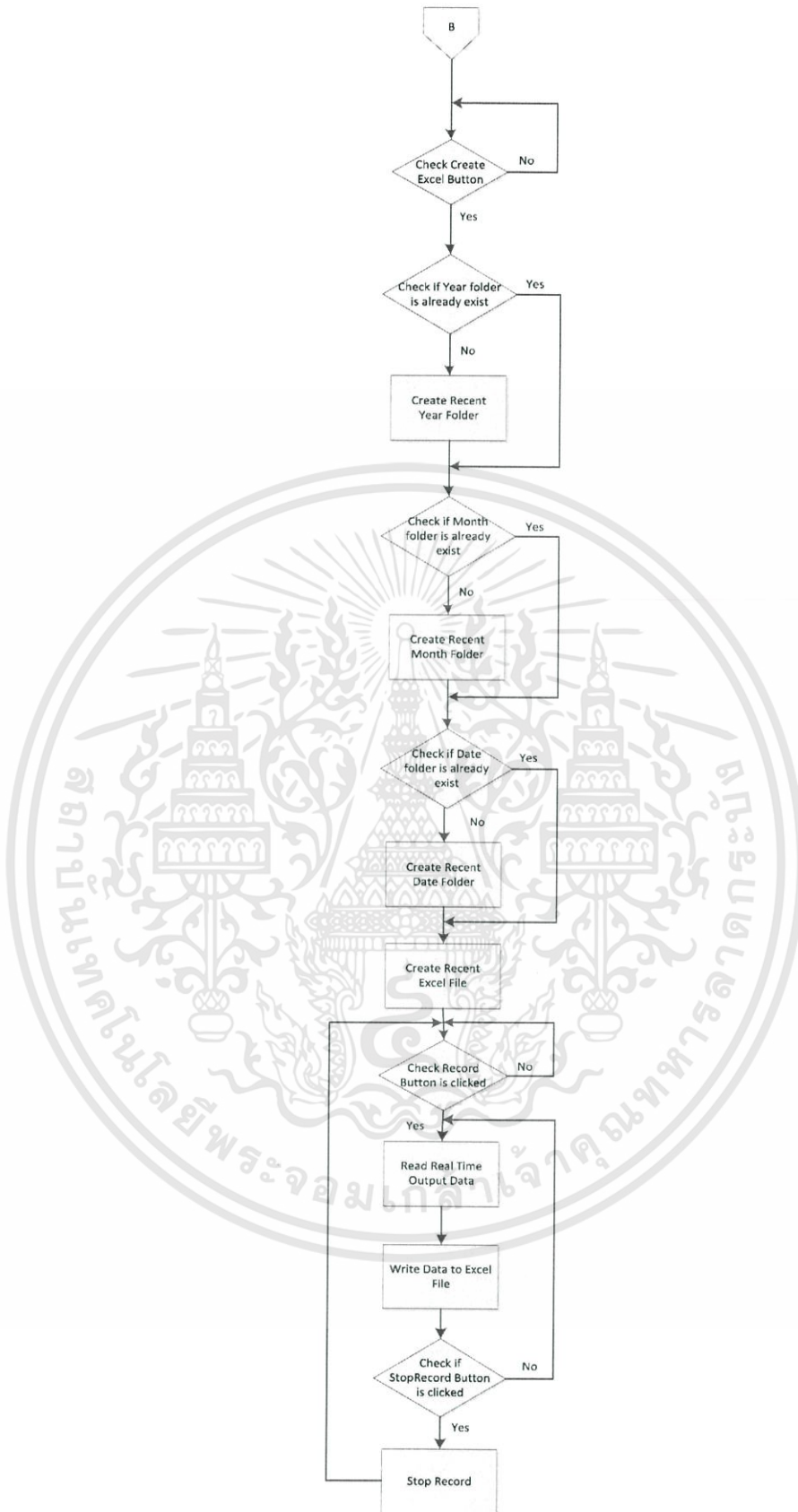
รูปที่ 4.11 โฟลว์ชาร์ตการติดต่อแบบ RTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 โฟลว์ชาร์ต CiNES Microgrid โดยการติดต่อผ่าน TCP/IP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 โฟลว์ชาร์ตการติดต่อแบบ TCP/IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) ที่ได้จากการเก็บค่าของโปรแกรม CINES Meter ระหว่างเวลา 12.00น ถึง 12.20น วันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2557

ABB Solar Inverter 1 (Connected via RTU)					
Time(HH-mm-ss)	Voltage(V)	Current(A)	Apparent Power	Active Power	Reactive Power
12-00-06-PM	230.286	10.137	2334.514	2333.499	-66.866
12-00-16-PM	230.442	9.738	2244.051	2243.038	-67.635
12-00-24-PM	230.397	9.006	2075.025	2074.083	-61.695
12-00-36-PM	230.66	9.348	2156.115	2155.064	-67.834
12-00-47-PM	230.634	9.741	2246.641	2245.582	-67.683
12-00-55-PM	230.671	9.706	2238.794	2237.707	-73.331
12-01-06-PM	230.741	9.772	2254.884	2253.773	-70.196
12-01-14-PM	230.52	6.994	1612.476	1611.409	-53.812
12-01-26-PM	230.632	6.707	1546.873	1545.801	-58.605
12-01-35-PM	230.26	4.733	1089.739	1088.78	-43.694
12-01-45-PM	230.215	4.089	941.371	940.397	-44.733
12-01-55-PM	230.24	3.988	918.251	917.225	-45.003
12-02-06-PM	230.2	3.783	870.892	869.995	-39.181
12-02-16-PM	230.212	3.812	877.541	876.414	-44.581
12-02-28-PM	230.189	3.735	859.84	858.815	-41.286
12-02-35-PM	230.109	3.771	867.736	866.705	-41.039
12-02-45-PM	230.126	3.783	870.607	869.634	-40.054
12-02-55-PM	230.035	3.835	882.275	881.332	-39.441
12-03-05-PM	230.011	3.914	900.298	899.349	-40.833
12-03-17-PM	229.928	4.051	931.421	930.399	-45.273
12-03-28-PM	229.883	4.342	998.244	997.333	-42.428
12-03-38-PM	229.947	5.254	1208.119	1207.15	-48.173
12-03-47-PM	229.687	5.432	1247.699	1246.74	-51.165
12-03-55-PM	229.89	5.017	1153.46	1152.306	-49.771
12-04-07-PM	230.064	6.327	1455.588	1454.411	-56.255
12-04-17-PM	230.22	7.245	1668.053	1666.926	-61.52
12-04-26-PM	230.358	7.438	1713.407	1712.409	-58.202

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB Solar Inverter 1 (Connected via RTU)					
Time(HH-mm-ss)	Voltage(V)	Current(A)	Apparent Power	Active Power	Reactive Power
12-04-36-PM	230.412	8.96	2064.561	2063.512	-66.283
12-04-45-PM	230.291	9.193	2117.136	2116.103	-66.381
12-04-57-PM	230.475	8.902	2051.704	2050.702	-63.781
12-05-07-PM	230.612	9.115	2101.991	2101.055	-61.677
12-05-18-PM	230.511	9.946	2292.746	2291.771	-66.476
12-05-26-PM	230.68	10.141	2339.249	2338.306	-65.89
12-05-35-PM	230.548	10.275	2368.891	2367.897	-68.363
12-05-47-PM	230.458	10.256	2363.54	2362.519	-70.374
12-05-57-PM	230.713	10.136	2338.542	2337.464	-69.138
12-06-06-PM	230.75	10.13	2337.507	2336.51	-70.757
12-06-16-PM	230.875	10.192	2352.995	2351.947	-72.017
12-06-24-PM	230.839	10.049	2319.601	2318.554	-73.103
12-06-36-PM	230.826	10.01	2310.647	2309.638	-67.82
12-06-47-PM	230.725	10.015	2310.62	2309.624	-68.724
12-06-55-PM	230.854	10.141	2341.171	2340.188	-68.173
12-07-06-PM	230.619	10.219	2356.704	2355.767	-67.346
12-07-18-PM	230.804	9.275	2140.758	2139.852	-64.587
12-07-26-PM	230.549	8.437	1945.056	1944.102	-60.912
12-07-38-PM	230.157	5.545	1276.13	1275.329	-44.917
12-07-45-PM	230.039	5.263	1210.581	1209.689	-45.86
12-07-55-PM	230.149	5.465	1257.806	1256.958	-44.696
12-08-06-PM	230.255	5.537	1274.868	1273.967	-46.992
12-08-16-PM	230.236	5.853	1347.583	1346.677	-50.071
12-08-28-PM	231.004	10.055	2322.741	2321.725	-68.96
12-08-38-PM	231.09	10.028	2317.392	2316.276	-70.218
12-08-47-PM	230.988	10.094	2331.616	2330.448	-71.127
12-08-55-PM	230.844	8.734	2016.302	2015.182	-66.255
12-09-06-PM	230.677	7.591	1750.985	1749.997	-58.968

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB Solar Inverter 1 (Connected via RTU)					
Time(HH-mm-ss)	Voltage(V)	Current(A)	Apparent Power	Active Power	Reactive Power
12-09-18-PM	230.868	8.239	1902.197	1901.094	-64.516
12-09-28-PM	230.858	8.765	2023.397	2022.382	-63.994
12-09-38-PM	230.492	9.41	2168.859	2167.884	-66.238
12-09-47-PM	230.844	9.522	2198.008	2197.03	-66.03
12-09-57-PM	231.118	9.615	2222.13	2221.071	-70.707
12-10-07-PM	231.157	9.696	2241.24	2240.193	-67.753
12-10-18-PM	231.233	9.776	2260.574	2259.414	-71.568
12-10-28-PM	231.265	9.899	2289.403	2288.228	-75.01
12-10-36-PM	231.241	9.88	2284.544	2283.362	-72.464
12-10-47-PM	231.303	7.957	1840.362	1839.357	-61.461
12-10-57-PM	231.073	8.101	1872.067	1870.994	-61.535
12-11-06-PM	230.847	5.772	1332.407	1331.457	-53.074
12-11-16-PM	230.866	5.57	1286.013	1285.168	-50.914
12-11-28-PM	230.956	6.046	1396.359	1395.395	-50.98
12-11-37-PM	230.9	6.082	1404.405	1403.534	-52.684
12-11-45-PM	230.807	5.244	1210.327	1209.298	-48.617
12-11-55-PM	230.731	5.208	1201.733	1200.836	-46.825
12-12-06-PM	230.758	5.189	1197.486	1196.422	-50.657
12-12-16-PM	230.76	4.909	1132.724	1131.892	-43.356
12-12-26-PM	230.779	7.746	1787.646	1786.692	-59.338
12-12-36-PM	230.829	9.119	2104.958	2104.004	-63.143
12-12-48-PM	230.955	9.555	2206.746	2205.726	-66.918
12-12-55-PM	231	9.841	2273.346	2272.162	-72.288
12-13-06-PM	230.909	9.617	2220.731	2219.666	-68.79
12-13-18-PM	231.062	9.062	2093.986	2092.896	-67.335
12-13-28-PM	231.154	8.65	1999.563	1998.507	-66.601
12-13-37-PM	231.161	9.183	2122.859	2121.831	-64.614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB Solar Inverter 1 (Connected via RTU)					
Time(HH-mm-ss)	Voltage(V)	Current(A)	Apparent Power	Active Power	Reactive Power
12-13-47-PM	231.106	9.459	2185.973	2185.065	-63.257
12-13-57-PM	231.051	9.633	2225.791	2224.805	-65.096
12-14-07-PM	231.234	10.178	2353.494	2352.417	-69.982
12-14-16-PM	231.148	10.169	2350.542	2349.471	-71.421
12-14-26-PM	231.059	10.24	2365.953	2364.885	-71.211
12-14-37-PM	231.213	10.318	2385.636	2384.583	-70.735
12-14-47-PM	231.173	10.288	2378.312	2377.239	-70.753
12-14-56-PM	231.192	10.342	2390.943	2389.859	-73.038
12-15-06-PM	231.283	10.305	2383.348	2382.32	-70.898
12-15-16-PM	231.401	9.753	2256.919	2255.75	-72.336
12-15-27-PM	231.325	9.995	2312.095	2311.128	-65.894
12-15-35-PM	231.336	9.54	2206.855	2205.862	-66.742
12-15-45-PM	231.431	9.614	2224.966	2223.838	-70.915
12-15-56-PM	231.389	9.83	2274.578	2273.583	-67.402
12-16-06-PM	231.309	9.785	2263.42	2262.415	-66.753
12-16-16-PM	230.743	6.202	1430.81	1429.954	-46.224
12-16-28-PM	230.291	3.521	810.798	809.797	-40.644
12-16-39-PM	230.714	4.096	945.002	944.022	-45.363
12-16-45-PM	230.588	3.428	790.429	789.526	-37.497
12-16-56-PM	230.627	3.243	747.877	746.906	-38.699
12-17-06-PM	230.714	3.203	738.915	737.946	-39.558
12-17-18-PM	230.789	2.99	690.046	688.837	40.333
12-17-28-PM	230.641	3.151	726.762	725.737	-38.814
12-17-37-PM	229.783	3.083	708.428	707.349	-38.174
12-17-47-PM	229.369	3.262	748.209	747.068	-40.02
12-17-57-PM	229.445	3.334	764.954	763.925	-40.488
12-18-08-PM	229.412	3.369	772.956	771.955	-39.508

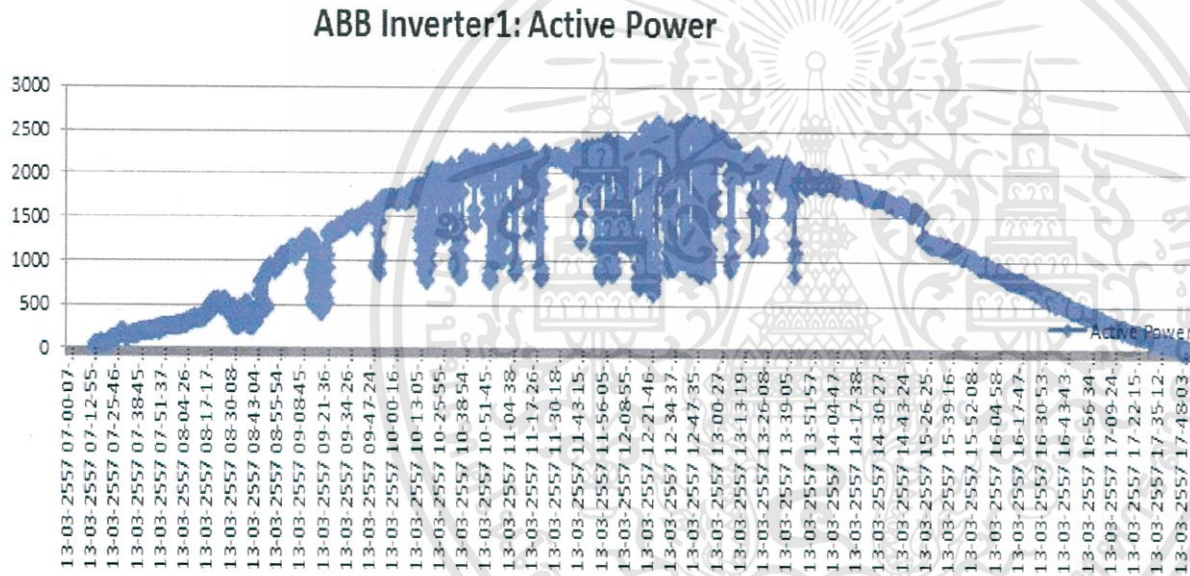
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB Solar Inverter 1 (Connected via RTU)					
Time(HH-mm-ss)	Voltage(V)	Current(A)	Apparent Power	Active Power	Reactive Power
12-18-16-PM	229.419	3.509	805.091	804.087	-39.456
12-18-27-PM	229.199	3.614	828.451	827.544	-39.567
12-18-37-PM	229.189	3.7	847.973	847.112	-36.719
12-18-47-PM	229.307	3.849	882.557	881.728	-39.071
12-18-58-PM	229.269	3.911	896.757	895.763	-42.426
12-19-06-PM	229.262	4.189	960.43	959.448	-43.123
12-19-17-PM	229.692	4.639	1065.443	1064.533	-45.325
12-19-27-PM	229.274	5.275	1209.31	1208.389	-49.206
12-19-37-PM	229.618	7.322	1681.378	1680.37	57.645
12-19-46-PM	230.327	9.294	2140.666	2139.693	-67.783
12-19-56-PM	230.42	11.012	2537.456	2536.438	-71.06
12-20-06-PM	230.386	10.977	2528.931	2527.874	-74.088

เนื่องจากโปรแกรม CiNES Meter จะทำการบันทึกค่าทุกๆ 10 วินาทีลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำไปประมวลผลทางสถิติต่อไป ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าที่ได้นั้นมีจำนวนที่สูงมาก โดยในหนึ่งวันจะสามารถเก็บค่าได้ทั้งหมดประมาณ 8640 ค่า ดังนั้นในโครงการนี้จึงทำการแสดงค่าเพียง 20 นาทีเท่านั้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มิแน่นอนของการผลิตสูงในแต่ละวัน จากการทดลองจะพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากโซลาร์เซลล์นั้นจะเริ่มผลิตได้ประมาณ 7.00น ถึงเวลา 18.00น และโซลาร์เซลล์จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วงเวลา 12.00น ถึงเวลา 13.00น ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มของแสงสูงสุดในแต่ละวัน เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ที่ได้จาก ABB Inverter ตัวที่ 1 มาพล็อตลงในกราฟจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13

4.3 ผลการจ่ายพลังงานไฟฟ้ารายวัน/เดือน

4.3.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

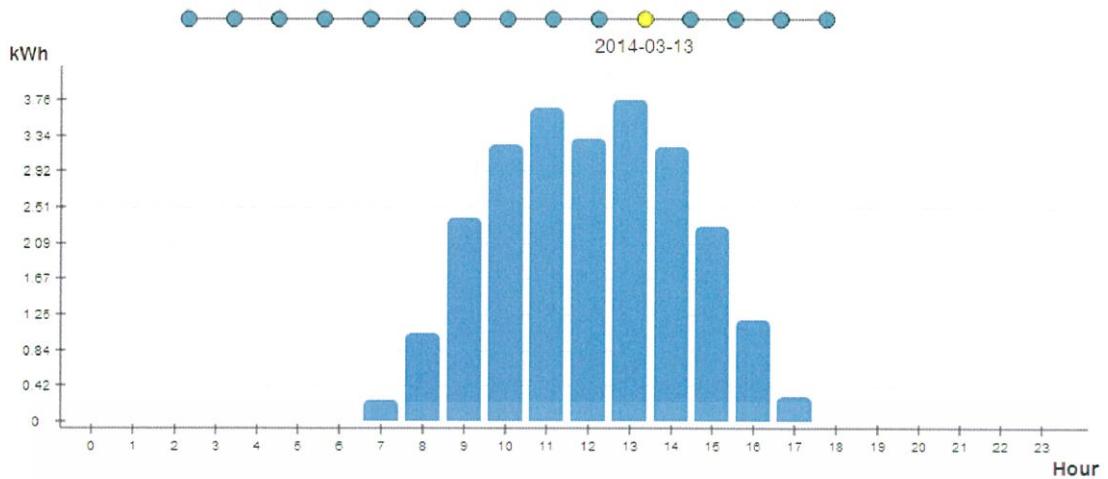


จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริง (kW) ที่ได้สูงสุดคือ 2.61 kW จะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น.

หมายเหตุ กรมอุตุนิยมวิทยา รายงานลักษณะอากาศ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล มีเมฆบางส่วนกับมีหมอกบางในตอนเช้า อุณหภูมิต่ำสุด 23 - 24 องศาเซลเซียส

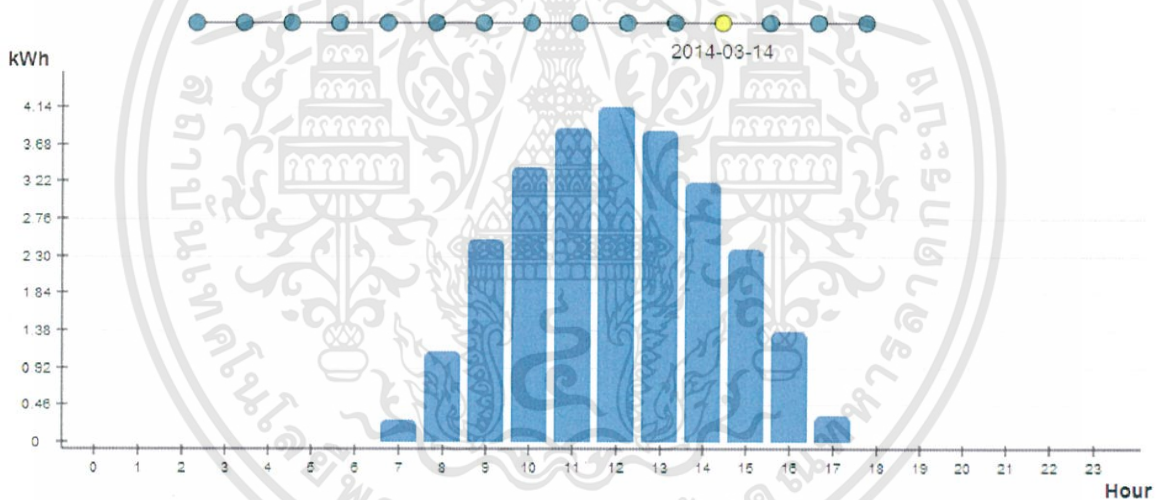
รูปที่ 4.13 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าจริงกับเวลาของอินเวอร์เตอร์ตัวที่ 1

โดยการเก็บค่าของโปรแกรม CiNES Meter ของวันที่ 13 2 มีนาคม 2557



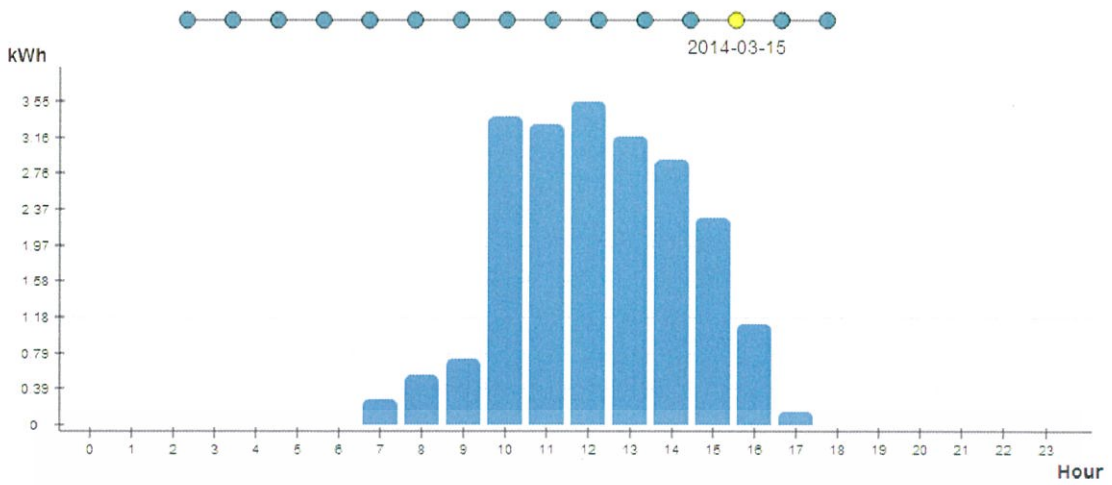
รูปที่ 4.14 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ของวันที่ 13 มีนาคม 2557

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้สูงสุดคือ 3.76 kWh จะอยู่ในช่วงเวลา 13.00 -14.00 น.



รูปที่ 4.15 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ของวันที่ 14 มีนาคม 2557

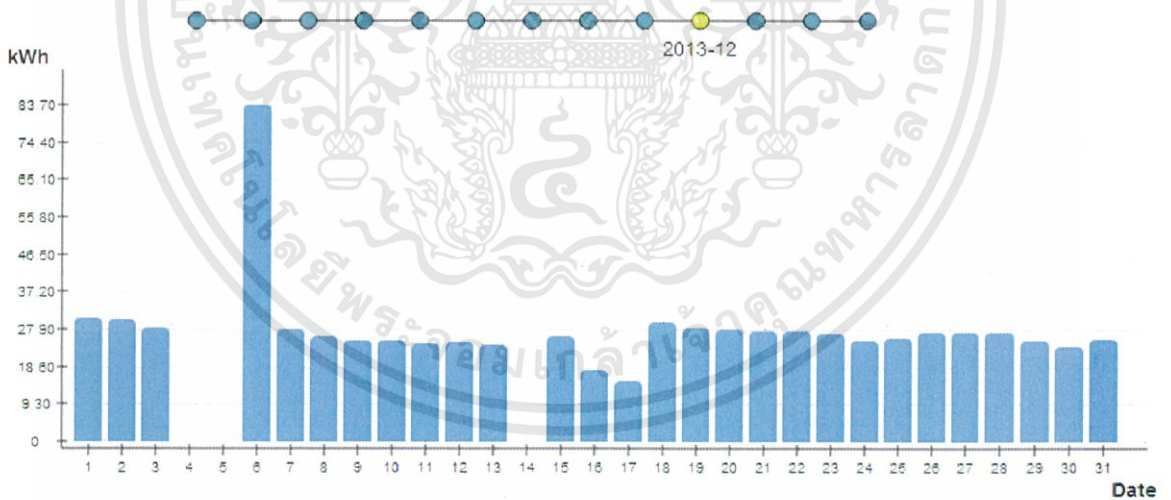
จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้สูงสุดคือ 4.14 kWh จะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 -13.00 น.



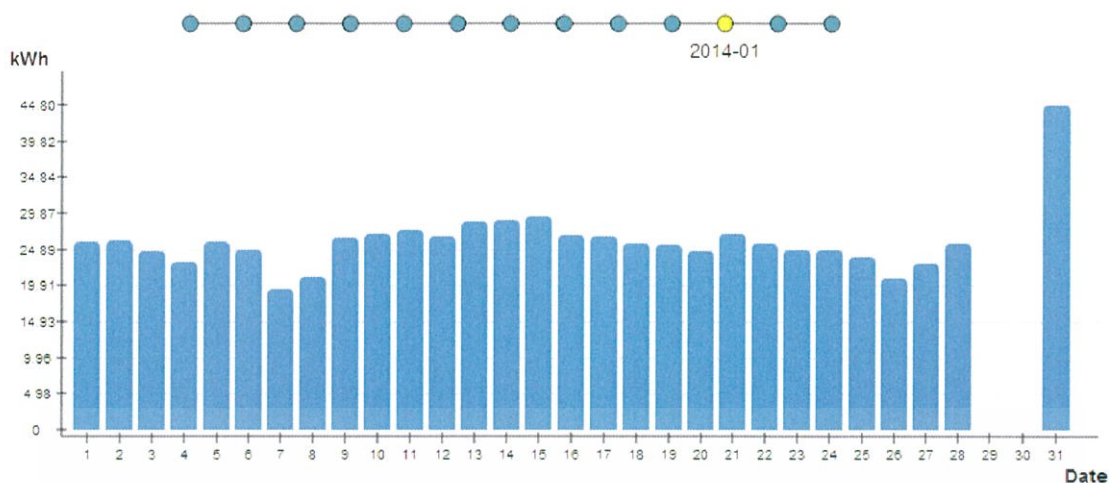
รูปที่ 4.16 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ของวันที่ 15 มีนาคม 2557

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้สูงสุดคือ 3.55 kWh จะอยู่ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น.

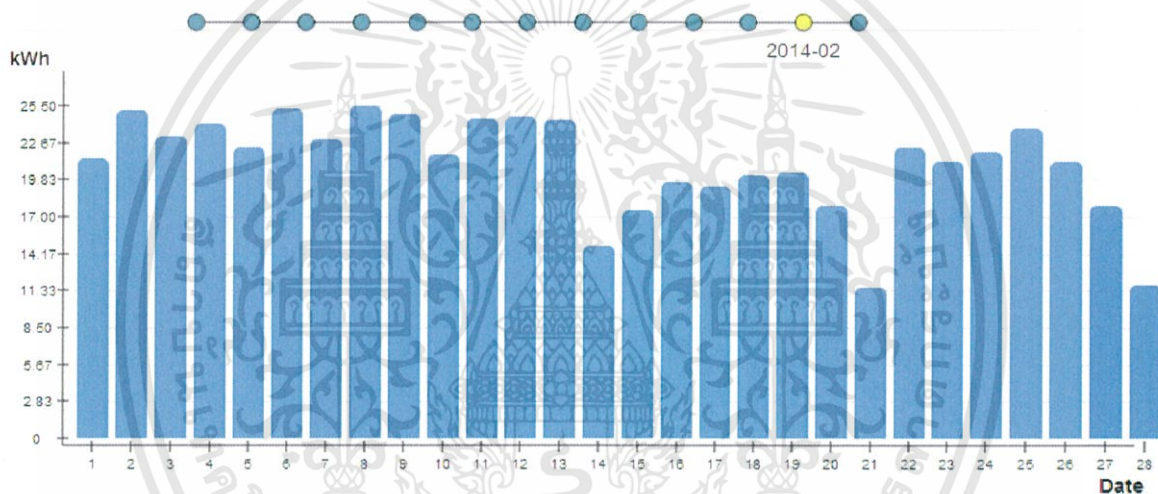
4.3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) รายเดือน



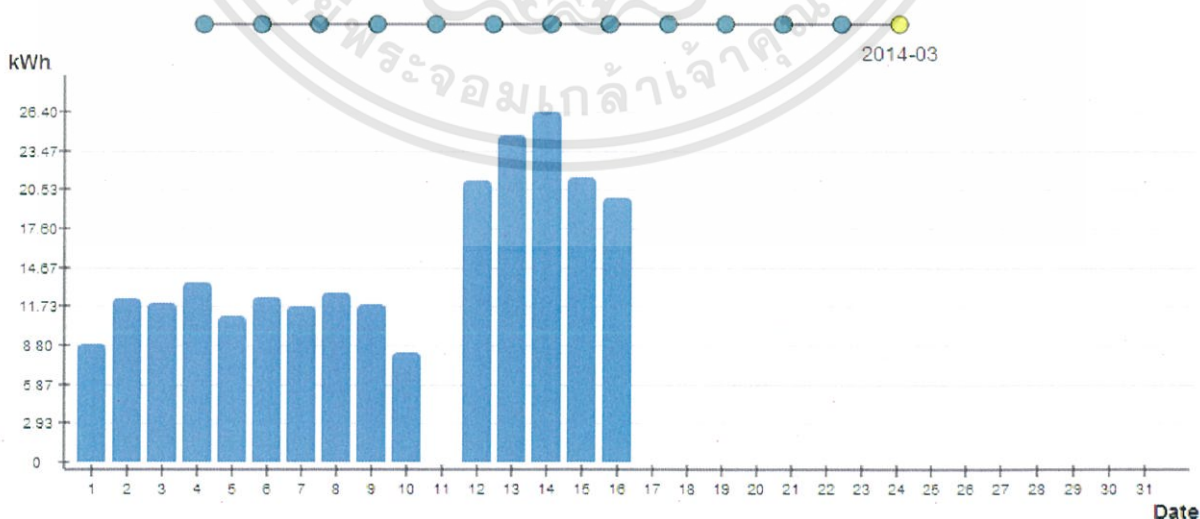
รูปที่ 4.17 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนธันวาคม



รูปที่ 4.18 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนมกราคม



รูปที่ 4.19 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนกุมภาพันธ์



รูปที่ 4.20 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ได้ในแต่ละวัน ประจำเดือนมีนาคม

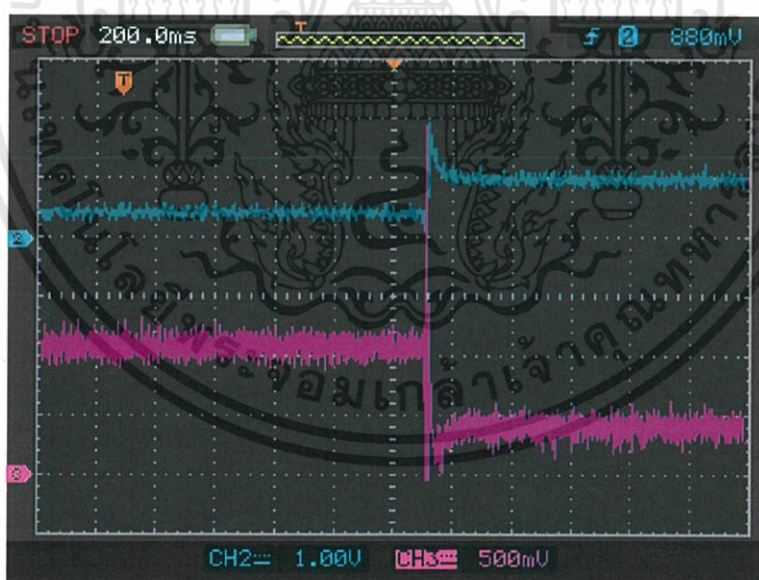
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองแบบจำลองไมโครกริด 1 เฟสแบบ stand-alone โดยจำลองระบบ Droop control

4.4.1 ระบบ Angle droop

ในการทดลองจะใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังเป็นแหล่งจ่ายโดยมีแรงดัน 220v มีโหลด R และ โหลด RL 640w ต่ออยู่ ทำให้ระบบมีความถี่ 49.50 Hz โดยจะทำการเพิ่มโหลด R โดยจะเปิดหลอดไฟ 100w 8 ดวง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนไป จะพบว่า เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นความถี่จะลดลงมาที่ 48.52 Hz ดังรูปที่ 4.21 และเมื่อปิดหลอดไฟ 100w 8 ดวง จะทำให้ความถี่กลับมาที่ 49.5 Hz ดังรูปที่ 4.22 เนื่องจากไม่มี frequency restoration ทำให้ไม่สามารถทำให้ความถี่กลับไป 50 Hz ได้

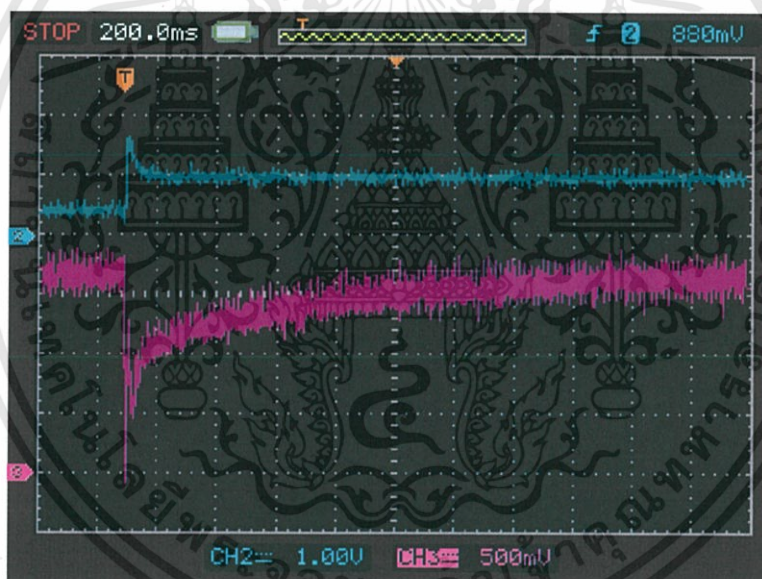
ในขณะเดียวกันที่การทดลองของระบบที่มี frequency restoration มีโหลด R และ โหลด RL 640w ต่ออยู่ โดยจะทำการเพิ่มโหลด R โดยจะเปิดหลอดไฟ 100w 8 ดวง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนไป จะพบว่า เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นความถี่จะลดลงไปที่ 48.48 Hz และจะฟื้นคืนกลับมาที่ 50 Hz โดยใช้เวลา 2 วินาที ดังรูปที่ 4.23 และในทางตรงกันข้ามเมื่อลดโหลดลงจะทำให้ความถี่เพิ่มขึ้นไปที่ 50.98 Hz และจะใช้เวลา 2 วินาที จะทำให้ความถี่กลับไป 50 Hz ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงมากขึ้น

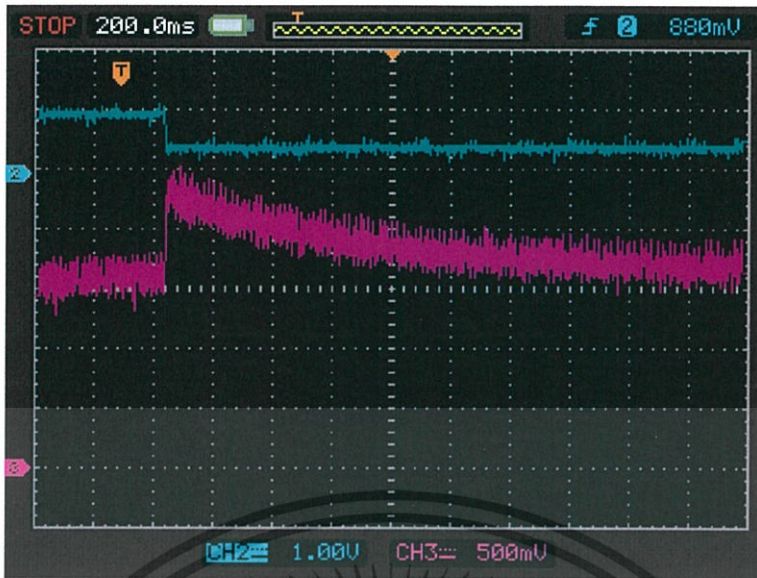


รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงน้อยลง



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงมากขึ้น

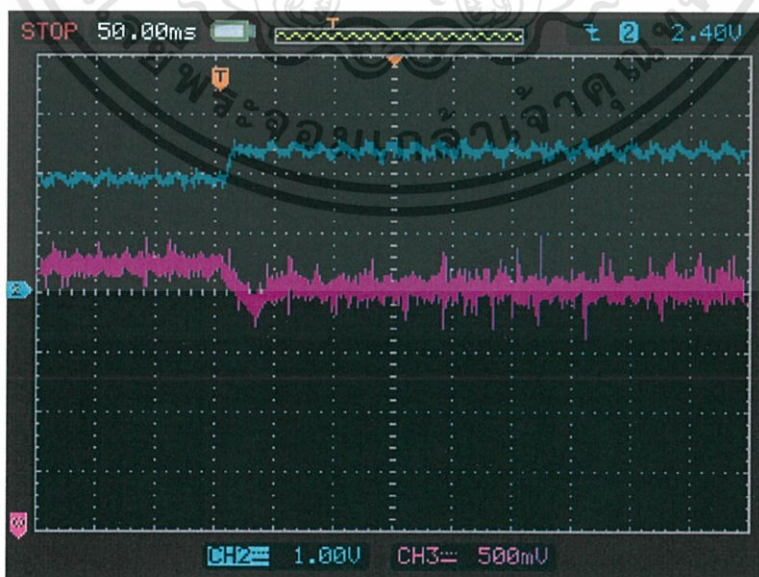
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น .อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของความถี่ เมื่อ load มีความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงน้อยลง

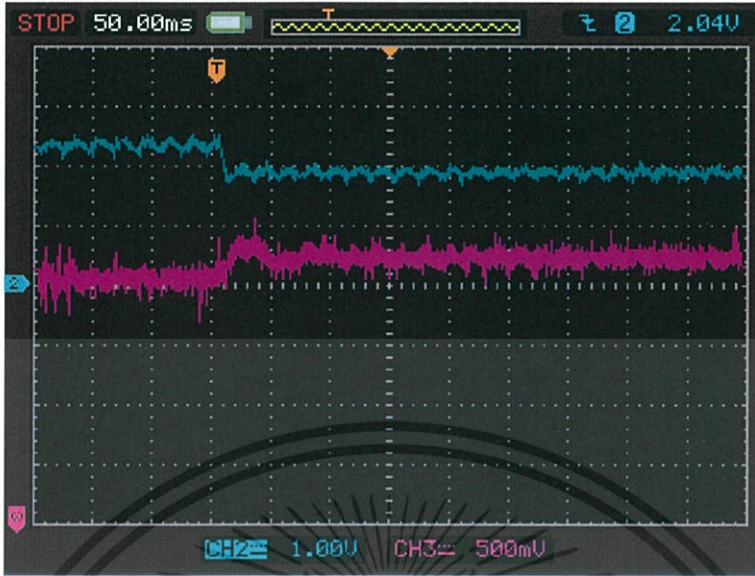
4.4.2 ระบบ Voltage droop

ในการทดลองจะใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังเป็นแหล่งจ่ายโดยมีแรงดัน 220v ความถี่ 50 Hz โหลด RL 640w ต่ออยู่ โดยจะทำการเพิ่มโหลด R โดยจะเปิดหลอดไฟ 100w 8ดวง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อโหลดเปลี่ยนไป จะพบว่าเมื่อโหลด RL เพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าเสมือนจะเพิ่มขึ้นทำให้แรงดันมีค่าลดลงไปที่ 214 V และเมื่อระบบตอบสนองต่อ Voltage droop จะทำให้แรงดันกลับมาที่ 218.5 V ดังรูปที่ 4.25 และในทางตรงกันข้ามหากกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลงแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นกลับไปอยู่ที่ 222.5 V ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เมื่อload มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เมื่อload มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้ถูกนำมาวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาในเรื่องของเทคนิคการควบคุมในการทำงานของระบบไมโครกริด ซึ่งจะเป็ นแนวโน้มใหม่ ของเครือข่ายของระบบไฟฟ้าในอนาคต ทั้งนี้ไมโครกริดที่มีระบบควบคุมจะสามารถรักษาเสถียรภาพของ ตนเองในการที่จะจ่ายโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปราศจากปัญหาทั้งในโหมด Grid-connected และ Stand-alone ในยามที่แหล่งจ่ายการไฟฟ้าเกิดปัญหาขึ้น โดยโครงการนี้จะแบ่งออกเป็ นสองส่วนหลักๆ คือ การจำลองระบบไมโครกริดในโหมด Stand-alone และการแสดงผลของข้อมูลผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Visual Studio 2010

สำหรับการศึกษาและพัฒนาการจำลองระบบไมโครกริดในโหมด Stand-alone ของระบบไฟฟ้าสามเฟสและเฟสเดียวของแหล่งจ่ายสองตัวที่มีพารามิเตอร์เดียวกัน พบว่าผลลัพธ์ที่ออกมา นั้นค่อนข้างเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือเมื่อเรากำหนดสัดส่วนการแชร์โหลด droop coefficient ของมุมแรงดันและแรงดันไว้เท่ากันที่ 1:1 แล้ว พบว่ามีการแชร์อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ ารีแอกทีฟ ที่อัตราส่วนประมาณ 1ต่อ1 ภายใต้ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เหมาะสม และมีการดึงความถี่กลับเข้าสู่ 50 Hz ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ Secondary Control ของระบบไมโครกริดในการรักษาเสถียรภาพของการทำงาน

ในส่วนของการแสดงผลของข้อมูลผ่านโปรแกรม Visual Studio 2010 โดยใช้ภาษา C# นั้นจะแบ่งการเชื่อมต่อของโปรแกรมออกเป็ น 2 ประเภทหลักๆคือ

การแสดงผลผ่านทาง การเชื่อมต่อมิเตอร์ การเชื่อมต่อผ่านมิเตอร์วัดค่า จะเป็นการรับส่งข้อมูลแบบ RS-485 โดยจะทำการรับส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์และมิเตอร์แบบ Modbus RTU ซึ่งจะทำการแปลงข้อมูล Modbus RTU ที่ได้มาจากการเชื่อมต่อมาทำการแสดงผลผ่านทางโปรแกรม CINES Meter โปรแกรมแสดงผลจะทำการแสดงค่าการผลิตปัจจุบันของแรงดัน, กระแส, กำลังไฟฟ้าเสมือน, กำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้าปรากฏ และความถี่ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ของระบบไมโครกริดผ่านทางอินเวอร์เตอร์ทั้งสามตัว จากนั้นทำการเก็บค่าที่วัดได้ลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

การแสดงผลผ่านการเชื่อมต่อทางระบบ LAN หรือ TCP/IP จะเป็นการเชื่อมต่อโปรแกรมเข้ากับอินเวอร์เตอร์ของทาง ABB เพื่อทำการประมวลผลของค่าการผลิตปัจจุบันของแรงดัน, กระแส, และความถี่ที่ผลิตได้ของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ จากนั้นทำการเก็บค่าที่ได้ลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุปสรรค สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

1. รูปสัญญาณที่ได้ของแรงดันอินเวอร์เตอร์และกระแสโดยผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์
2. การปรับค่าความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในระบบไมโครกริด เช่น ค่าอัตราขยายออฟเซตและอัตราขยายแรงดัน
3. ปัญหาค่า Gain PI Controller ทำให้ระบบไม่เข้าสู่เสถียรภาพตามต้องการ
4. ปัญหาเรื่องหน่วยความจำของ DSP ที่เต็มเมื่อเขียนโปรแกรมซึ่งต้องทำให้เปลี่ยน code ที่หน่วยความจำชนิด RAM

5.2.2 แนวทางแก้ไข

1. การที่รูปสัญญาณของแรงดันอินเวอร์เตอร์และกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำมีรูปแบบที่ไม่เป็นสัญญาณไซน์นั้นเนื่องจากว่าในระบบไมโครกริดหากปรับค่าอัตราขยายของระบบควบคุมแบบ PI ไม่ดี จะทำให้เฟสล็อกไม่ทำงาน ทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ
2. หลังจากที่ทำกรปรับค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรลดทอน/ขยายสัญญาณต้องระวังไม่ให้มีใครมาทำการปรับอีกต้องเก็บไว้ให้มิดชิดหรือทำการยึดแบบถาวรให้แก่อุปกรณ์ดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chris Marnay and Owen C. Bailey, The CERTS Microgrid and the Future of the Macrogrid, **Environmental Energy Technologies Division**, 2004
- [2] นายพยุงค์ศักดิ์ แซ่หลิว, นายพงศักรณ เตชะชลประเสริฐ, นายไพโรจน์ คอนแอม, นายมหาราชราชสีห์, “โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมพลังงาน(CInES Microgrid Demonstration Operation and Control)”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, ปีการศึกษา 2555
- [3] นายธนภุต กิตติวรารัตน์, นายปณต เชิดชูเหล่า, นายพัฒนกิจ ชูติกุล, “ชุดจำลองการกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, ปีการศึกษา 2555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานระบบไมโครกริดโดยใช้ DSP ด้วยภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include "DSP28x_Project.h" // Device Headerfile and Examples Include File

#include "math.h"

#define RELAY_Aon GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO0

#define RELAY_Aoff GpioDataRegs.GPACLEAR.bit.GPIO0

#define RELAY_Bon GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO2

#define RELAY_Boff GpioDataRegs.GPACLEAR.bit.GPIO2

#define RELAY_Con GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO4

#define RELAY_Coff GpioDataRegs.GPACLEAR.bit.GPIO4

#define EN0_on GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO6

#define EN0_off GpioDataRegs.GPACLEAR.bit.GPIO6

#define EN1_on GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO8

#define EN1_off GpioDataRegs.GPACLEAR.bit.GPIO8

#define EN2_on GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO10

#define EN2_off GpioDataRegs.GPACLEAR.bit.GPIO10

// Prototype statements for functions found within this file.

void spi_fifo_init(void);

void spi_init(void);

interrupt void adc_isr(void);

void scia_echoback_init(void);

void scia_fifo_init(void);

void scia_xmit(int a);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void scia_msg(char *msg);
```

```
// Global variables used in this example:
```

```
Uint16 rdata;
```

```
Uint16 buf,i=0;
```

```
Uint16 firstloop=0;
```

```
Uint16 D_out0=0,D_out1=0,D_out2=0;
```

```
Uint16 Volt0=0,Volt1=0,Volt2=0,Volt3=0,Volt4=0,Volt5=0,Volt6=0,Volt7=0;
```

```
float V_in_A,V_in_B,V_in_C;
```

```
float Offset_A=0,Offset_B=0,Offset_C=0;;
```

```
float Vi_A,Vi_B,Vi_C;
```

```
float Vi_ref_A,Vi_ref_B,Vi_ref_C;
```

```
int RELAY=0;
```

```
float WATT_A=0,WATT_B=0,WATT_C=0;
```

```
float VAR_A=0,VAR_B=0,VAR_C=0;
```

```
float V_in=0,THETA_1=0,THETA=0,Er=0,Omega=0,Omega_PCC=0,V_out0,V_out1;
```

```
int cycle=0;
```

```
float E1,E2;
```

```
struct droop_control{
```

```
    float W_k_V,W_k_V_1,Y_k_V,V_a_in;
```

```
    float V_al,V_bt,V_d,V_q;
```

```
    float Er_1,THETA_V_1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float W_k_I,W_k_I_1,Y_k_I,I_a_in;

float I_al,I_bt,I_d,I_q;

float
Er_K_P,Kp_PLL,Er_K_I,Er_K_I_old,Ki_PLL,Omega_1,Omega_PCC,f_v,THETA_V;

float P_fb,Q_fb;

float
Phi_PCC,Phi_old,Phi_old1,Omega_res,Er_KI_res,Er_KI_res_old,KI_res,P_final;

float Omega_P_final,mpf,Omega_ref,Omega_final,Phi_ref,KI_p,Phi_final;

float Q_ref,mvq,Er_Q,Er_Q_K_P,Kp,Er_Q_K_I,Er_Q_K_I_old,Ki,Er_all,E_final;

float V_a_Gen;

float W_p_g,W_p_g_1,Y_p_g,V_com;

}DC1,DC2;

void main(void)
{
DC1.W_k_V_1=0,DC1.V_a_in;

DC2.W_k_V_1=0,DC2.V_a_in;

DC1.Er_1=0;

DC2.Er_1=0;

DC1.THETA_V_1=0;

DC2.THETA_V_1=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC1.W_k_I=0,DC1.W_k_I_1=0,DC1.Y_k_I=0,DC1.I_a_in;

DC2.W_k_I=0,DC2.W_k_I_1=0,DC2.Y_k_I=0,DC2.I_a_in;

DC1.Er_K_P=0;DC1.Kp_PLL=0.00001;DC1.Er_K_I=0;DC1.Er_K_I_old=0;

DC1.Ki_PLL=0;

DC2.Er_K_P=0;DC2.Kp_PLL=0.00001;DC2.Er_K_I=0;DC2.Er_K_I_old=0;

DC2.Ki_PLL=0;

DC1.Phi_old=0,DC1.Phi_old1=0,DC1.Omega_res=0,DC1.Er_KI_res=0,DC1.Er_KI_res_old=0;

DC1.KI_res=0.02,DC1.mpf=0.0009375*2*3.1415926,DC1.Omega_ref=0,DC1.KI_p=0.002*0.1592;

DC2.Phi_old=0,DC2.Phi_old1=0,DC2.Omega_res=0,DC2.Er_KI_res=0,DC2.Er_KI_res_old=0;

DC2.KI_res=0.02,DC2.mpf=0.0009375*2*3.1415926,DC2.Omega_ref=0,DC2.KI_p=0.002*0.1592;

DC1.mvq=1/0.01296,DC1.Er_Q=0,DC1.Er_Q_K_P=0,DC1.Kp=0.0005;

DC1.Er_Q_K_I=0,DC1.Er_Q_K_I_old=0,DC1.Ki=1e-4;

DC2.mvq=1/0.01296,DC2.Er_Q=0,DC2.Er_Q_K_P=0,DC2.Kp=0.0005;

DC2.Er_Q_K_I=0,DC2.Er_Q_K_I_old=0,DC2.Ki=1e-4;

DC1.W_p_g=0,DC1.W_p_g_1=0,DC1.Y_p_g=0;

DC2.W_p_g=0,DC2.W_p_g_1=0,DC2.Y_p_g=0;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//char *msg;

// Step 1. Initialize System Control:

// PLL, WatchDog, enable Peripheral Clocks

// This example function is found in the DSP2833x_SysCtrl.c file.

InitSysCtrl();

//      Initial GPIO      //

EALLOW;

GpioCtrlRegs.GPAMUX1.bit.GPIO0 = 0; // PIN 0 is GPIO
GpioCtrlRegs.GPAMUX1.bit.GPIO2 = 0; // PIN 2 is GPIO
GpioCtrlRegs.GPAMUX1.bit.GPIO4 = 0; // PIN 4 is GPIO
GpioCtrlRegs.GPAMUX1.bit.GPIO6 = 0; // PIN 6 is GPIO
GpioCtrlRegs.GPAMUX1.bit.GPIO8 = 0; // PIN 8 is GPIO
GpioCtrlRegs.GPAMUX1.bit.GPIO10 = 0; // PIN 10 is GPIO

GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO0 = 1; //GPIO 0 is output
GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO2 = 1; //GPIO 2 is output
GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO4 = 1; //GPIO 4 is output
GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO6 = 1; //GPIO 6 is output
GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO8 = 1; //GPIO 8 is output

GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO10 = 1; //GPIO 10 is output

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
EDIS;
```

```
EALLOW;
```

```
#if (CPU_FRQ_150MHZ) // Default - 150 MHz SYSCLKOUT
```

```
#define ADC_MODCLK 0x3 // HSPCLK = SYSCLKOUT/2*ADC_MODCLK2 = 150/(2*3) =  
25.0 MHz
```

```
#endif
```

```
#if (CPU_FRQ_100MHZ)
```

```
#define ADC_MODCLK 0x2 // HSPCLK = SYSCLKOUT/2*ADC_MODCLK2 = 100/(2*2) =  
25.0 MHz
```

```
#endif
```

```
// Specific clock setting for this example:
```

```
// Define ADCCLK clock frequency ( less than or equal to 25 MHz )
```

```
// Assuming InitSysCtrl() has set SYSCLKOUT to 150 MHz
```

```
SysCtrlRegs.HISPCP.all = ADC_MODCLK; // HSPCLK =  
SYSCLKOUT/ADC_MODCLK
```

```
EDIS;
```

```
InitSpiaGpio();
```

```
InitSciaGpio();
```

```
// Step 2. Initialize GPIO:
```

```
// This example function is found in the DSP2833x_Gpio.c file and
```

```
// illustrates how to set the GPIO to it's default state.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// InitGpio(); // Skipped for this example

// Step 3. Clear all interrupts and initialize PIE vector table:

// Disable CPU interrupts

DINT;

// Initialize the PIE control registers to their default state.
// The default state is all PIE interrupts disabled and flags
// are cleared.
// This function is found in the DSP2833x_PieCtrl.c file.
InitPieCtrl();

// Disable CPU interrupts and clear all CPU interrupt flags:
IER = 0x0000;
IFR = 0x0000;

// Initialize the PIE vector table with pointers to the shell Interrupt
// Service Routines (ISR).

// This will populate the entire table, even if the interrupt
// is not used in this example. This is useful for debug purposes.

// The shell ISR routines are found in DSP2833x_DefaultIsr.c.

// This function is found in DSP2833x_PieVect.c.

InitPieVectTable();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Interrupts that are used in this example are re-mapped to
// ISR functions found within this file.

EALLOW; // This is needed to write to EALLOW protected register

PieVectTable.ADCINT = &adc_isr;

EDIS; // This is needed to disable write to EALLOW protected registers

//SPI initial
spi_ffio_init(); // Initialize the Spi FIFO
spi_init(); // init SPI

// Step 4. Initialize all the Device Peripherals:
// This function is found in DSP2833x_InitPeripherals.c
// InitPeripherals(); // Not required for this example
InitAdc(); // For this example, init the ADC

// Step 5. User specific code, enable interrupts:

// Enable ADCINT in PIE
PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx6 = 1;

IER |= M_INT1; // Enable CPU Interrupt 1

EINT; // Enable Global interrupt INTM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ERTM;      // Enable Global realtime interrupt DBGMC
```

```
// Configure ADC
```

```
AdcRegs.ADCTRL3.bit.ADCCLKPS = 0x0;
```

```
AdcRegs.ADCTRL1.bit.CPS = 0x1;
```

```
AdcRegs.ADCTRL1.bit.ACQ_PS = 0x0;
```

```
//just make sure ADCCLK = 12.5MHz(not MAX) and ACQ_PS = 0
```

```
//for 12.5 MSPS or 80 ns per sample
```

```
AdcRegs.ADCTRL3.bit.SMODE_SEL = 0x1; // Setup simultaneous sampling  
mode
```

```
AdcRegs.ADCTRL1.bit.SEQ_CASC = 0x1; // Setup cascaded sequencer mode
```

```
AdcRegs.ADCMAXCONV.all = 0x0007; // Setup 2 conv's on SEQ1
```

```
AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV00 = 0x0; // Setup ADCINA0 as 1st SEQ1  
conv. Voltage sensor A
```

```
AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV01 = 0x1; // Setup ADCINA1 as 1st SEQ1  
conv. Voltage sensor B
```

```
AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV02 = 0x2; // Setup ADCINA2 as 1st SEQ1  
conv. Voltage sensor C
```

```
AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV03 = 0x3; // Setup ADCINA3 as 1st SEQ1  
conv. Current sensor A
```

```
AdcRegs.ADCCHSELSEQ2.bit.CONV04 = 0x4; // Setup ADCINA4 as 2nd SEQ1  
conv. Current sensor B
```

```
AdcRegs.ADCCHSELSEQ2.bit.CONV05 = 0x5; // Setup ADCINA5 as 2nd SEQ1  
conv. Current sensor C
```

```
AdcRegs.ADCTRL1.bit.CONT_RUN = 0; // stop after reaching End of Sequence
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
AdcRegs.ADCTRL2.bit.EPWM_SOCA_SEQ1 = 1; // Enable SOCA from ePWM to
start SEQ1
```

```
AdcRegs.ADCTRL2.bit.INT_ENA_SEQ1 = 1; // Enable SEQ1 interrupt (every
EOS)
```

```
// Assumes ePWM1 clock is already enabled in InitSysCtrl();
```

```
EPwm1Regs.ETSEL.bit.SOCAEN = 1; // Enable SOC on A group
```

```
EPwm1Regs.ETSEL.bit.SOCASEL = 4; // Select SOC from from CPMA on
upcount
```

```
EPwm1Regs.ETPS.bit.SOCAPRD = 1; // Generate pulse on 1st event
```

```
EPwm1Regs.CMPA.half.CMPA = 0x0080; // Set compare A value
```

```
EPwm1Regs.TBPRD = 0x1680; // Set period for ePWM1
```

```
// EPwm1Regs.TBPRD = 0xFFFF; // Set period for ePWM1
```

```
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 0; // count up and start
```

```
scia_fifo_init(); // Initialize the SCI FIFO
```

```
scia_echoback_init(); // Initialize SCI for echoback
```

```
// Infinite loops //
```

```
}
```

```
void spi_init()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

    SpiaRegs.SPICCR.all = 0x000F;           // Reset on, rising edge, 16-bit
char bits

    SpiaRegs.SPICTL.all = 0x0006;         // Enable master mode,
normal phase,

    // enable talk, and SPI int disabled.

    SpiaRegs.SPIBRR      = 0x0000;       // if
SPIBRR is 3 to 127, Baud rate = LSPCLK/(SPIBRR+1) **LSPCLK = 37.5MHz

    SpiaRegs.SPICCR.all = 0x009F;       // Relinquish SPI from
Reset

    SpiaRegs.SPIPRI.bit.FREE = 1;       // Set so breakpoints don't disturb
xmission
}

void spi_fifo_init()
{

    // Initialize SPI FIFO registers

    SpiaRegs.SPIFFTX.all=0xE040;

    SpiaRegs.SPIFFRX.all=0x204f;

    SpiaRegs.SPIFFCT.all=0x0;

}

// Wait for ADC interrupt 13kHz for 260 samples per 20 ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

interrupt void adc_isr(void)
{
    //Variable Droop Control

    //    3/4095 = 7.326e-4

    //    Get voltage offsets

    if(firstloop<260)
    {
        Volt0 = AdcRegs.ADCRESULT0 >>4;
        Offset_A = Offset_A + (Volt0*7.326e-4);
        Volt1 = AdcRegs.ADCRESULT2>>4;
        Offset_B = Offset_B + (Volt1*7.326e-4);
        Volt2 = AdcRegs.ADCRESULT4>>4;
        Offset_C = Offset_C + (Volt0*7.326e-4);

        firstloop++;
    }

    else if(firstloop==260)
    {
        Volt0 = AdcRegs.ADCRESULT0 >>4;

        Offset_A = Offset_A + (Volt0*7.326e-4);

        Offset_A = Offset_A*3.846153846e-3;

        Volt1 = AdcRegs.ADCRESULT2>>4;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Offset_B = Offset_B + (Volt1*7.326e-4);
```

```
Offset_B = Offset_B*3.846153846e-3;
```

```
Volt2 = AdcRegs.ADCRESULT4>>4;
```

```
Offset_C = Offset_C + (Volt2*7.326e-4);
```

```
Offset_C = Offset_C*3.846153846e-3;
```

```
firstloop++;
```

```
}
```

```
else if(firstloop>260)
```

```
{
```

```
Volt0 = AdcRegs.ADCRESULT0>>4;
```

```
Volt1 = AdcRegs.ADCRESULT2>>4;
```

```
Volt2 = AdcRegs.ADCRESULT4>>4;
```

```
DC1.V_a_in = ((Volt0*7.326e-4) - Offset_A)*226.27;
```

```
DC2.V_a_in = ((Volt1*7.326e-4) - Offset_B)*226.27;
```

```
//V_in_C = (Volt2*7.326e-4) - Offset_C;
```

```
V_in_C = (Volt2*7.326e-4) - Offset_C;
```

```
//V_in_A = 1.65*sin(2*3.141592654*X*3.846153846e-3);
```

```
Volt3 = AdcRegs.ADCRESULT6>>4;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Volt4 = AdcRegs.ADCRESULT8>>4;
```

```
Volt5 = AdcRegs.ADCRESULT10>>4;
```

```
DC1.I_a_in = ((Volt3*7.326e-4)-1.5)*8.0;
```

```
DC2.I_a_in = ((Volt4*7.326e-4)-1.5)*8.0;
```

```
//Droop Control Section
```

```
//phase voltage shift Droop Control 1
```

```
DC1.W_k_V = DC1.V_a_in + (0.9761*DC1.W_k_V_1);
```

```
DC1.Y_k_V = (0.9761*DC1.W_k_V)-DC1.W_k_V_1;
```

```
DC1.W_k_V_1 = DC1.W_k_V;
```

```
//phase voltage shift Droop Control 2
```

```
DC2.W_k_V = DC2.V_a_in + (0.9761*DC2.W_k_V_1);
```

```
DC2.Y_k_V = (0.9761*DC2.W_k_V)-DC2.W_k_V_1;
```

```
DC2.W_k_V_1 = DC2.W_k_V;
```

```
//alpha-beta voltage Droop Control 1
```

```
DC1.V_al = DC1.V_a_in;
```

```
DC1.V_bt = DC1.Y_k_V;
```

```
//alpha-beta voltage Droop Control 2
```

```
DC2.V_al = DC2.V_a_in;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DC2.V_bt = DC2.Y_k_V;
```

```
//PFD Droop Control 1
```

```
DC1.Er_1 = DC1.V_al*cos(DC1.THETA_V_1) -  
DC1.V_bt*sin(DC1.THETA_V_1);
```

```
DC1.V_d = DC1.V_al*sin(DC1.THETA_V_1) +  
DC1.V_bt*cos(DC1.THETA_V_1);
```

```
if (sqrt(DC1.Er_1*DC1.Er_1+DC1.V_d*DC1.V_d)<=100)
```

```
{DC1.Er_1=0; cycle=0; //DC1.Phi_old1=0;
```

```
}
```

```
DC1.V_q = DC1.Er_1;
```

```
//PFD Droop Control 2
```

```
DC2.Er_1 = DC2.V_al*cos(DC2.THETA_V_1) -  
DC2.V_bt*sin(DC2.THETA_V_1);
```

```
DC2.V_d = DC2.V_al*sin(DC2.THETA_V_1) +  
DC2.V_bt*cos(DC2.THETA_V_1);
```

```
if (sqrt(DC2.Er_1*DC2.Er_1+DC2.V_d*DC2.V_d)<=100)
```

```
{
```

```
DC2.Er_1=0;
```

```
}
```

```
DC2.V_q = DC2.Er_1;
```

```
//phase current shift Droop Control 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DC1.W_k_I = DC1.I_a_in + 0.9761*DC1.W_k_I_1;$$

$$DC1.Y_k_I = (0.9761*DC1.W_k_I) - DC1.W_k_I_1;$$

$$DC1.W_k_I_1 = DC1.W_k_I;$$

//phase current shift Droop Control 2

$$DC2.W_k_I = DC2.I_a_in + 0.9761*DC2.W_k_I_1;$$

$$DC2.Y_k_I = (0.9761*DC2.W_k_I) - DC2.W_k_I_1;$$

$$DC2.W_k_I_1 = DC2.W_k_I;$$

//alpha-beta current Droop Control 1

$$DC1.I_al = DC1.I_a_in;$$

$$DC1.I_bt = DC1.Y_k_I;$$

$$DC1.I_q = DC1.I_al*\cos(DC1.THETA_V_1) - DC1.I_bt*\sin(DC1.THETA_V_1);$$

$$DC1.I_d = DC1.I_al*\sin(DC1.THETA_V_1) + DC1.I_bt*\cos(DC1.THETA_V_1);$$

//alpha-beta current Droop Control 2

$$DC2.I_al = DC2.I_a_in;$$

$$DC2.I_bt = DC2.Y_k_I;$$

$$DC2.I_q = DC2.I_al*\cos(DC2.THETA_V_1) - DC2.I_bt*\sin(DC2.THETA_V_1);$$

$$DC2.I_d = DC2.I_al*\sin(DC2.THETA_V_1) + DC2.I_bt*\cos(DC2.THETA_V_1);$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Phase Lock Loop Droop Control 1

DC1.Er_K_P = DC1.Er_1*DC1.Kp_PLL;

DC1.Er_K_I = DC1.Er_K_I_old + DC1.Er_1*DC1.Ki_PLL;

DC1.Er_K_I_old = DC1.Er_K_I;

DC1.Omega_1 = DC1.Er_K_P + DC1.Er_K_I;

DC1.Omega_PCC = DC1.Omega_1 + 0.024166;

DC1.f_v = DC1.Omega_PCC/(2*3.1415926)*260*50;

DC1.THETA_V = DC1.THETA_V_1 + DC1.Omega_PCC;

//Phase Lock Loop Droop Control 2

DC2.Er_K_P = DC2.Er_1*DC2.Kp_PLL;

DC2.Er_K_I = DC2.Er_K_I_old + DC2.Er_1*DC2.Ki_PLL;

DC2.Er_K_I_old = DC2.Er_K_I;

DC2.Omega_1 = DC2.Er_K_P + DC2.Er_K_I;

DC2.Omega_PCC = DC2.Omega_1 + 0.024166;

DC2.f_v = DC2.Omega_PCC/(2*3.1415926)*260*50;

DC2.THETA_V = DC2.THETA_V_1 + DC2.Omega_PCC;

//Mod Droop Control 1

if(DC1.THETA_V >= 2*3.1415926){

    DC1.THETA_V = DC1.THETA_V -(2*3.1415926);

    cycle++; if(cycle >= 100){cycle=100;}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

DC1.THETA_V_1 = DC1.THETA_V;

//Mod Droop Control 2

if(DC2.THETA_V >= 2*3.1415926){

    DC2.THETA_V = DC2.THETA_V -(2*3.1415926);

}

DC2.THETA_V_1 = DC2.THETA_V;

//PQ calculation Droop Control 1
DC1.P_fb = 0.5*(DC1.I_q*DC1.V_q + DC1.I_d*DC1.V_d);
DC1.Q_fb = 0.5*(DC1.V_q*DC1.I_d - DC1.V_d*DC1.I_q);

//PQ calculation Droop Control 2
DC2.P_fb = 0.5*(DC2.I_q*DC2.V_q + DC2.I_d*DC2.V_d);
DC2.Q_fb = 0.5*(DC2.V_q*DC2.I_d - DC2.V_d*DC2.I_q);

DC1.Phi_PCC = DC1.Omega_PCC+ DC1.Phi_old;

if(DC1.Phi_PCC >= 2*3.1415926)

    {DC1.Phi_PCC = DC1.Phi_PCC - (2*3.1415926);

}

DC1.Phi_old = DC1.Phi_PCC;

if(cycle>50){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Angle Droop With 2nd Control Droop Control 1

DC1.Omega_res = 100*3.1415926 - DC1.Omega_PCC*260*50;

DC1.Er_KI_res = DC1.Er_KI_res_old + DC1.KI_res*DC1.Omega_res;

DC1.Er_KI_res_old = DC1.Er_KI_res;

DC1.P_final = DC1.P_fb - DC1.Er_KI_res;

DC1.Omega_P_final = DC1.P_final*DC1.mpf;

if(DC1.Omega_P_final >= (1.5*2*3.1415926)){

    DC1.Omega_P_final = (1.5*2*3.1415926);

}

else if(DC1.Omega_P_final <= (-1.5*2*3.1415926)){

    DC1.Omega_P_final = (-1.5*2*3.1415926);

}

DC1.Omega_ref = (3.1415926*100) - DC1.Omega_P_final;

DC1.Omega_final = DC1.Omega_ref - DC1.Omega_PCC*260*50;

DC1.Phi_ref = DC1.Phi_old1 + DC1.KI_p*DC1.Omega_final;

if(DC1.Phi_ref >= 2*3.1415926)

    {DC1.Phi_ref = DC1.Phi_ref - (2*3.1415926);

}

DC1.Phi_old1 = DC1.Phi_ref;

DC1.Phi_final = DC1.Phi_ref + DC1.Phi_PCC;

if(DC1.Phi_final >= 2*3.1415926){

    DC1.Phi_final = DC1.Phi_final - (2*3.1415926);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

//Voltage Droop Control Droop Control 1

DC1.Q_ref = ((220*1.414213562) - DC1.V_d)*DC1.mvq;

DC1.Er_Q = DC1.Q_fb - DC1.Q_ref;

DC1.Er_Q_K_P = DC1.Er_Q*DC1.Kp;

DC1.Er_Q_K_I = DC1.Er_Q_K_I_old + DC1.Er_Q*DC1.Ki;

DC1.Er_all = DC1.Er_Q_K_P + DC1.Er_Q_K_I;

DC1.Er_Q_K_I_old = DC1.Er_Q_K_I;

if(DC1.Er_all >= (11*1.414213562)){
    DC1.Er_all = (11*1.414213562);
}
else if(DC1.Er_all <= (-11*1.414213562)){
    DC1.Er_all = (-11*1.414213562);
}

DC1.E_final = (220*1.414213562) - DC1.Er_all;

```

```

V_out0 = sin(DC1.Phi_final+0.09953)*DC1.E_final*0.00384*0.707;

```

//0.384=1/260 for same scaling kikusui

```

D_out0 = (V_out0*2048)+2047;

```

```

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else{

    V_out0 = sin(DC1.Phi_PCC+0.09953)*220*0.00384; //0.384=1/260 for
same scaling kikusui

    D_out0 = (V_out0*2048)+2047; DC1.Phi_old1=0; DC1.Er_Q_K_I_old=0;
DC1.Er_KI_res_old=0;

    }

//D_out0 = ((DC1.V_com/20)*4095)+2047; //Vi_ref_A to D_out0
//D_out1 = ((DC2.V_com/20)*4095)+2047; //Vi_ref_B to D_out1
//D_out2 = ((Vi_ref_C/20)*4095)+2047; //Vi_ref_C to D_out2

DC2.Phi_PCC = DC2.Omega_PCC+ DC2.Phi_old;
if(DC2.Phi_PCC >= 2*3.1415926)
    {DC2.Phi_PCC = DC2.Phi_PCC - (2*3.1415926);
}
DC2.Phi_old = DC2.Phi_PCC;
if(DC2.I_d*DC2.I_d+DC2.I_q*DC2.I_q>=50){

//Angle Droop With 2nd Control Droop Control 2

DC2.Omega_res = 100*3.1415926 - DC2.Omega_PCC*260*50;

DC2.Er_KI_res = DC2.Er_KI_res_old + DC2.KI_res*DC2.Omega_res;

DC2.Er_KI_res_old = DC2.Er_KI_res;

DC2.P_final = DC2.P_fb - DC2.Er_KI_res;

DC2.Omega_P_final = DC2.P_final*DC2.mpf;

if(DC2.Omega_P_final >= (1.5*2*3.1415926)){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DC2.Omega_P_final = (1.5*2*3.1415926);
}

else if(DC2.Omega_P_final <= (-1.5*2*3.1415926)){

DC2.Omega_P_final = (-1.5*2*3.1415926);

}

DC2.Omega_ref = (3.1415926*100) - DC2.Omega_P_final;

DC2.Omega_final = DC2.Omega_ref - DC2.Omega_PCC*260*50;

DC2.Phi_ref = DC2.Phi_old1 + DC2.Kl_p*DC2.Omega_final;

if(DC2.Phi_ref >= 2*3.1415926)

{DC2.Phi_ref = DC2.Phi_ref - (2*3.1415926);

}

DC2.Phi_old1 = DC2.Phi_ref;

DC2.Phi_final = DC2.Phi_ref + DC2.Phi_PCC;

if(DC2.Phi_final >= 2*3.1415926){

DC2.Phi_final = DC2.Phi_final - (2*3.1415926);

}

```

```
//Voltage Droop Control Droop Control 2
```

```
DC2.Q_ref =((220*1.414213562) - DC2.V_d)*DC2.mvq;
```

```
DC2.Er_Q = DC2.Q_fb - DC2.Q_ref;
```

```
DC2.Er_Q_K_P = DC2.Er_Q*DC2.Kp;
```

```
DC2.Er_Q_K_I = DC2.Er_Q_K_I_old + DC2.Er_Q*DC2.Ki;
```

```
DC2.Er_all = DC2.Er_Q_K_P + DC2.Er_Q_K_I;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DC2.Er_Q_K_I_old = DC2.Er_Q_K_I;

if(DC2.Er_all >= (11*1.414213562)){

    DC2.Er_all = (11*1.414213562);

}

else if(DC2.Er_all <= (-11*1.414213562)){

    DC2.Er_all = (-11*1.414213562);

}

DC2.E_final = (220*1.414213562) - DC2.Er_all;

V_out1 = sin(DC2.Phi_final+0.09953)*DC2.E_final*0.00384*0.707; //0.384=1/260
for same scaling kikusui

D_out1 = (V_out1*2048)+2047;

}

else{

    V_out1=sin(DC2.Phi_PCC+0.09953)*sqrt(DC2.V_d*DC2.V_d+DC2.V_q*DC
2.V_q)*0.707*0.00384*1.01946; //0.384=1/260 for same scaling kikusui

    D_out1 = (V_out1*2048)+2047; DC2.Phi_old1=0; DC2.Er_Q_K_I_old=0;
DC2.Er_KI_res_old=0;

}

E1=sqrt(DC1.V_d*DC1.V_d+DC1.V_q*DC1.V_q)*0.707;

E2=sqrt(DC2.V_d*DC2.V_d+DC2.V_q*DC2.V_q)*0.707;

//          Transmit data ch0 D2A

ENO_on = 1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SpiaRegs.SPITXBUF = D_out0;// Transmit data

while(SpiaRegs.SPIFFRX.bit.RXFFST !=1) { }// Wait until data is received

rdata = SpiaRegs.SPIRXBUF;// Check against sent data

EN0_off = 1;

```

```

// Transmit data ch1 D2A

EN1_on = 1;

SpiaRegs.SPITXBUF = D_out1;// Transmit data
while(SpiaRegs.SPIFFRX.bit.RXFFST !=1) { }// Wait until data is received
rdata = SpiaRegs.SPIRXBUF;// Check against sent data

EN1_off = 1;

// Transmit data ch2 D2A

EN2_on = 1;

```

```

SpiaRegs.SPITXBUF = D_out2;// Transmit data

while(SpiaRegs.SPIFFRX.bit.RXFFST !=1) { }// Wait until data is received

rdata = SpiaRegs.SPIRXBUF;// Check against sent data

```

```
EN2_off = 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
```

```
// End interrupt /////
```

```
AdcRegs.ADCST.bit.INT_SEQ1_CLR = 1; // Clear INT SEQ1 bit
```

```
AdcRegs.ADCST.bit.INT_SEQ2_CLR = 1; // Clear INT SEQ1 bit
```

```
PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1; // Acknowledge interrupt to PIE
```

```
}
```

```
// Test 1,SCIA DLB, 8-bit word, baud rate 0x000F, default, 1 STOP bit, no parity
```

```
void scia_echoback_init()
```

```
{
```

```
// Note: Clocks were turned on to the SCIA peripheral
```

```
// in the InitSysCtrl() function
```

```
SciaRegs.SCICCR.all =0x0007; // 1 stop bit, No loopback
```

```
// No parity,8 char bits,
```

```
// async mode, idle-line protocol
```

```
SciaRegs.SCICTL1.all =0x0003; // enable TX, RX, internal SCICLK,
```

```
// Disable RX ERR, SLEEP, TXWAKE
```

```
SciaRegs.SCICTL2.all =0x0003;
```

```
SciaRegs.SCICTL2.bit.TXINTENA =1;
```

```
SciaRegs.SCICTL2.bit.RXBKINTENA =1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//      Baud rate = LSPCLK/(SPIBRR+1)

#if (CPU_FRQ_150MHZ)

//          01 E7 hex = 487 dec for 9600

//          00 1D hex = 29 dec for 156250

SciaRegs.SCIHBAUD  =0x0000; // 156250 baud @LSPCLK = 37.5MHz.

SciaRegs.SCILBAUD  =0x001D;

#endif

#if (CPU_FRQ_100MHZ)

//          01 44 hex = 324 dec for 9600

SciaRegs.SCIHBAUD  =0x0001; // 9600 baud @LSPCLK = 20MHz.

SciaRegs.SCILBAUD  =0x0044;

#endif

SciaRegs.SCICTL1.all =0x0023; // Relinquish SCI from Reset

}

// Transmit a character from the SCI

void scia_xmit(int a)

{

    while (SciaRegs.SCIFFTX.bit.TXFFST != 0) {}

    SciaRegs.SCITXBUF=a;

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void scia_msg(char * msg)
```

```
{
```

```
    int i;
```

```
    i = 0;
```

```
    while(msg[i] != '\0')
```

```
    {
```

```
        scia_xmit(msg[i]);
```

```
        i++;
```

```
    }
```

```
}
```

```
// Initalize the SCI FIFO
```

```
void scia_fifo_init()
```

```
{
```

```
    SciaRegs.SCIFFTX.all=0xE040;
```

```
    SciaRegs.SCIFFRX.all=0x204f;
```

```
    SciaRegs.SCIFFCT.all=0x0;
```

```
}
```

```
//=====
=====
```

```
// End of SourceCode.
```

```
//=====
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน

CInES Microgrid Demonstration: Operation and Control

นายพลิชฐ์ มณีพิทย์ นายพัทพล เรืองเดชวรชัย นายพิรุณ แสงกุล และนายภูชกร เปลี้นเชาว์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 คอ 3925 E-Mail: gulplplugg@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการควบคุมการทำงานแบบขนานสำหรับการผลิตพลังงานในอินเวอร์เตอร์และระบบการแสดงผลสำหรับการสาธิตระบบไมโครกริดขนาด 10-kW อินเวอร์เตอร์จะสามารถรับรู้ถึงกันได้สำหรับการแบ่งโหลดกันหรือ “Plug-and-Play” ผ่านการควบคุมทางเทคนิคควบคุมมุมของแรงดันและขนาดของแรงดัน โดยไม่ต้องมีการสื่อสารถึงกันระหว่างอินเวอร์เตอร์ ในปริญญานิพนธ์นี้จะแสดงระบบไมโครกริด 1 เฟสและจำลองผลผ่าน MATLAB/Simulink เพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพการใช้วิธีการควบคุมของการควบคุมแบบครูป จากนั้นระบบควบคุมจะนำไปทดลองกับระบบไมโครกริดสาธิตจริงเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของการใช้งาน ผลการจำลองและการทดลองนั้นยืนยันถึงความสมบูรณ์ของวิธีการควบคุม ในระบบการแสดงผลจะถูกจัดแสดงผ่านการสื่อสารแบบ Modbus ระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับอุปกรณ์ที่ทำกรวัดค่า ระบบการแสดงผลจะแสดงถึงค่าปัจจุบันต่างๆของระบบไมโครกริดเช่น แรงดัน, ความถี่, กำลังไฟฟ้าจริง, และกำลังไฟฟ้าเสมือน

คำสำคัญ: ไมโครกริด, Angle Droop, Voltage Droop, Power Amplifier

Abstract

This thesis presents control method for parallel operation of power generating inverters and the monitoring system for a demonstration 10-kW microgrid system. The plug-and-play concept of a microgrid for load sharing of the inverters is realized by the angle and voltage droop control technique implemented independently on each inverter without communication. In this thesis, a single-phase microgrid is modeled and simulated using MATLAB/Simulink to validate the droop control technique, and then the droop control is implemented on the demonstration system for experimentally confirmation. The simulation results and experimental results confirm the validity of the proposed control method. The monitoring system is implemented using Modbus communication between host computer and energy measuring

equipment. The monitoring system can display the microgrid's conditions, i.e. voltage, frequency, active powers and reactive power in realtime.

Keyword: Microgrid, Angle Droop, Voltage Droop and Power Amplifier

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้ความสนใจเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resources) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เช่น พลังงานลมหรือ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณที่ผันผวนเป็นอย่างมาก ส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบเมื่อมีการนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จำนวนมากเข้ามาต่อกับระบบไฟฟ้า โดยที่ผลิตไฟฟ้าได้ในระดับแรงดันต่ำและเชื่อมต่อกับกริดไฟฟ้าหลักได้เรียกระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเหล่านี้ว่า “ไมโครกริด” (Microgrid) โดยต้องมีการควบคุมคุณภาพของไฟฟ้าให้มีความเสถียร ภายโดยเทคนิค Voltage Droop และ Angle Droop ทำให้เรามีความสามารถที่จะเชื่อมต่อ Microsource กับระบบได้ทันที (Plug and Play) โดยอาศัยแรงดัน และความถี่ในการควบคุม

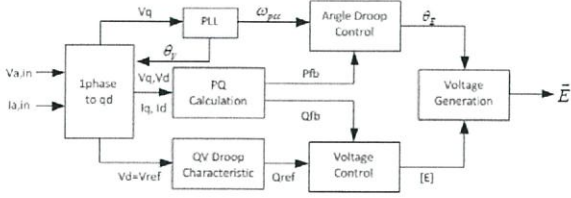
2. ระบบไมโครกริด

ไมโครกริดคือการรวมระบบพลังงานซึ่งประกอบด้วยการเชื่อมต่อของโหลดภายในระบบและทรัพยากรพลังงานแบบกระจาย (Distributed energy resources) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถปฏิบัติการคู่ขนานไปกับ กริดหลัก (Main Grid) ซึ่งเรียกว่า โหมดเชื่อมต่อกริด (Grid connect) หรือในสถานะที่แยกตัวอิสระจากกริดหลักซึ่งเรียกว่าโหมดแยกอิสระ (Stand-alone)

3. การควบคุม Microsource

ในการควบคุม Microsource เราจะใช้เทคนิคการควบคุม Angle และ Voltage Droop ทำให้เรามีความสามารถที่จะเชื่อมต่อ Microsource กับระบบได้ทันที (Plug and Play)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของการควบคุมระบบ Droop Control

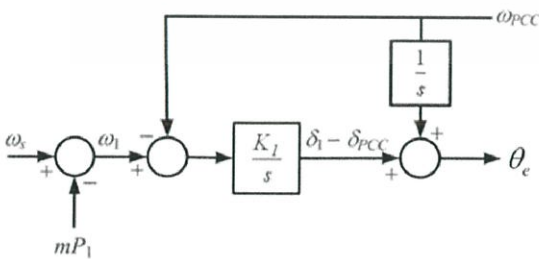
โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าความถี่ที่บัส ω_{pcc} นั้นจะได้มาจาก Phase Lock Loop (PLL) ในขณะที่ขนาดของแรงดันที่บัส $V_d = V_{ref}$ นั้นจะถูกกำหนดจากบล็อกการแปลงกรอบอ้างอิงหนึ่งเฟสเป็นกรอบอ้างอิง qd ในส่วนของ Q_{ref} จะได้จากโมดูล Q-V Droop Characteristic โดยโมดูล Angle Droop จะใช้เพื่อหามุมเฟสแรงดัน θ_E ที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ \vec{E} หรือ V_a ในขณะที่โมดูล Voltage Droop นั้นจะถูกใช้เพื่อหาขนาดของแรงดันเอาต์พุต $|E|$ โดยแรงดันเอาต์พุต \vec{E} ที่ออกมาจะเกิดจากขนาดและมุมเฟสของฟังก์ชันไซน์นั่นเอง

3.1 การควบคุมมุมของแรงดันโดย Angle Droop

$$\omega_1 = \omega_s - mP_1 \tag{1}$$

$$V = V_{max} - nQ \tag{2}$$

เมื่อ m และ n คือ สัมประสิทธิ์การดรู๊ป (droop coefficient) ω_s คือความถี่เชิงโตรอนัส, V_{max} คือ แรงดันพิกัดของระบบ V คือขนาดของแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ และ ω_1 คือความถี่ของมัน ในขณะที่ P และ Q แทนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน โดอะแกรมการควบคุมมุมแรงดันจะถูกแสดงตามรูปที่ 2 ความถี่ ω_1 นั้นจะถูกกำหนดจากสมการที่ (1) เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ที่ได้จากแรงดันตรงจุด PCC, ω_{pcc} ค่าความผิดพลาดที่ได้จะถูกรวมกับอินทิเกรตของ ω_{pcc} เพื่อหามุม θ_e โดยมุม θ_e ที่ได้จะหมุนด้วยความเร็วเชิงโตรอนัส ω_1 ซึ่งจะทำมุม θ_e กับแรงดันอ้างอิง

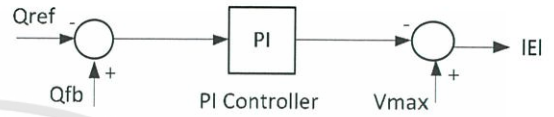


รูปที่ 2 การควบคุมมุมแรงดันโดยใช้เทคนิค Angle droop

3.2 การควบคุมขนาดแรงดันโดย Voltage Droop

Voltage Droop เป็นเทคนิคในการควบคุมขนาดของแรงดันโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเสมือนและแรงดันจาก Q-V Droop Characteristics แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าเสมือนที่วัดจากบัสสมการที่ (3) ตามรูปที่ 3

$$Q_{ref} = \frac{V_{max} - |V_{ref}|}{n} \tag{3}$$



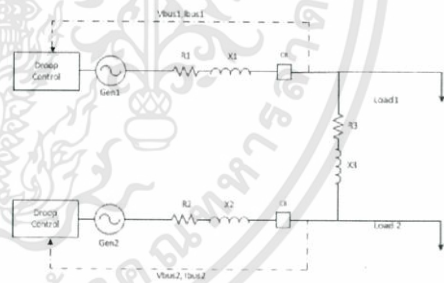
รูปที่ 3 การควบคุมขนาดแรงดันโดยใช้เทคนิค Voltage Droop

แรงดันที่จะควบคุม ΔV นั้นจะถูกสร้างมาจากค่าผิดพลาด ΔQ ผ่าน PI controller โดย $|E|$ นั้นคือผลรวมของแรงดันพิกัด V_{max} และ ΔV ดังสมการที่ 4

$$|E| = V_{max} - \Delta V \tag{4}$$

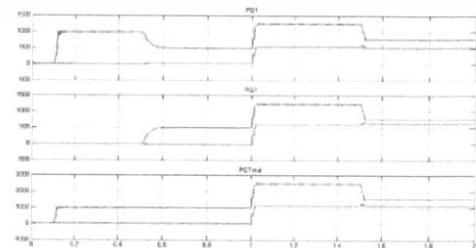
4. ผลการทดลอง

4.1 แบบจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมด stand-alone ในระบบ 1 เฟส



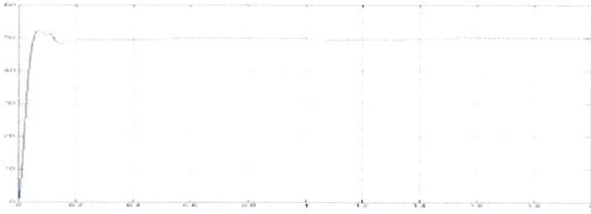
รูปที่ 4 แบบจำลองไมโครกริดในโหมด stand-alone

4.1.1 ผลการทดลองแบบจำลองการทำงานของไมโครกริดในโหมด Stand-Alone ในระบบ 1 เฟส

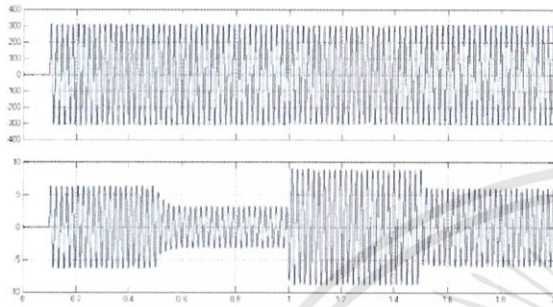


รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนของคอนเวอร์เตอร์ 1, 2 และกำลังไฟฟ้ารวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ความถี่ที่จุดต่อร่วม (Point of common,PCC)



รูปที่ 7 แรงแดันและกระแสที่จุดต่อร่วม PCC ที่บัส 1

4.2 การแสดงผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในส่วนของการแสดงผลของข้อมูลการผลิตกำลังไฟในปัจจุบันของโซลาร์เซลล์นั้น จะทำการแสดงค่าที่ได้รับผ่าน โปรแกรม CiNES Meter โดยใช้โปรแกรม Visual Studio 2010 ซึ่งใช้ภาษา C# ในการแสดงผลของข้อมูลจะแบ่งการเชื่อมต่อของโปรแกรมออกเป็น 2 ประเภทหลักๆคือ การแสดงผลผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ และการแสดงผลผ่านการเชื่อมต่อทางระบบ LAN หรือ TCP/IP



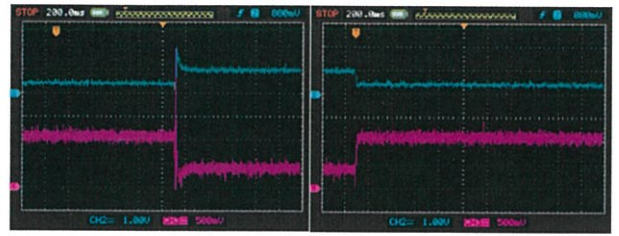
รูปที่ 12 หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโดยรวม

จากรูปที่ 12 นั้นจะเป็นการแสดงผลหน้าจอของโปรแกรมโดยรวมตามไดอะแกรมของระบบไมโครกริดในโหมด Stand Alone ซึ่งจะแสดงค่าการเชื่อมต่อของโซลาร์อินเวอร์เตอร์, กริดหลัก และ โหลด

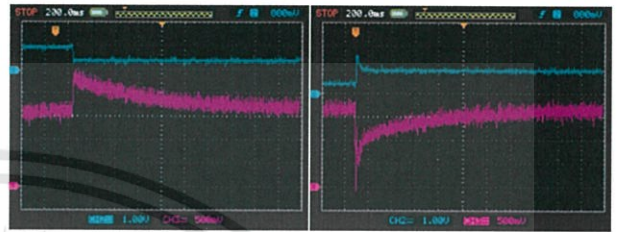
4.3 ผลการทดลองแบบจำลองไมโครกริด 1 เฟสแบบ stand-alone โดยจำลองระบบ Droop control

4.3.1 ระบบ Angle droop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 ความถี่จากการเปลี่ยนแปลง โหลด

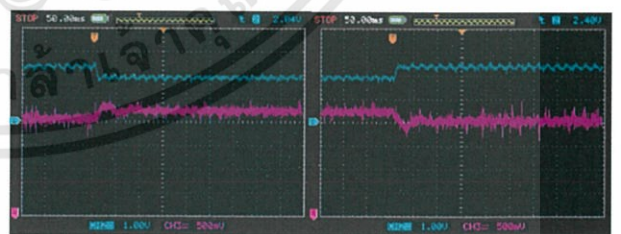


รูปที่ 9 ความถี่จากการเปลี่ยนแปลง โหลดแบบมีการควบคุมความถี่

ในการทดลองจะใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังเป็นแหล่งจ่ายโดยมีแรงดัน 220 V มีโหลด R และ โหลด RL 640 W ต่ออยู่ ทำให้ระบบมีความถี่ 49.50 Hz โดยจะทำการเพิ่มโหลด R โดยจะเปิดหลอดไฟ 100 W 8 ดวง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนไป จะพบว่าเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นความถี่จะลดลงมาที่ 48.52 Hz และเมื่อปิดหลอดไฟ 100 W 8 ดวง จะทำให้ความถี่กลับมาที่ 49.5 Hz เนื่องจากไม่มี Frequency Restoration ทำให้ไม่สามารถทำให้ความถี่กลับไป 50 Hz ได้

ในขณะที่เดียวกันที่การทดลองของระบบที่มี frequency restoration จะพบว่า เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ความถี่จะลดลงไปที่ 48.48 Hz และจะฟื้นคืนกลับมาที่ 50 Hz โดยใช้เวลา 2 วินาที ในทางตรงกันข้ามเมื่อลดโหลดลงจะทำให้ความถี่เพิ่มขึ้นไปที่ 50.98 Hz และจะใช้เวลา 2 วินาที จะทำให้ความถี่กลับไป 50 Hz ดังรูปที่ 9

4.3.2 ระบบ Voltage droop



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงแรงดันตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด

ในการทดลองจะใช้แอมพลิฟายเออร์กำลังเป็นแหล่งจ่ายโดยมีแรงดัน 220 V ความถี่ 50 Hz โหลด RL 640 W ต่ออยู่ โดยจะทำการเพิ่มโหลด R โดยจะเปิดหลอดไฟ 100w 8ดวง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อโหลดเปลี่ยนไป จะพบว่าเมื่อโหลด RL เพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าเสมือนจะเพิ่มขึ้นทำให้แรงดันมีค่าลดลงไปที่ 214 V และเมื่อระบบ

ตอบสนองต่อ Voltage droop จะทำให้แรงดันกลับมามีที่ 218.5 V ในทางตรงกันข้ามหากกำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นกลับไปอยู่ที่ 222.5 V ดังรูปที่ 10 กำลังไฟฟ้าเสมือนน้อยลง แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นกลับไปอยู่ที่ 222.5 V ดังรูปที่ 10

สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้ถูกนำมาวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาในเรื่องของเทคนิคการควบคุมในการทำงานของระบบไมโครกริด ซึ่งจะเน้นแนวโน้มใหม่ ของเครือข่ายของระบบไฟฟ้าในอนาคต ทั้งนี้ไมโครกริดที่มีระบบควบคุมจะสามารถรักษาเสถียรภาพของตนเองในการที่จะจ่ายโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปราศจากปัญหาทั้งในโหมด Grid-connected และ Stand-alone ในยามที่แหล่งจ่ายการไฟฟ้าเกิดปัญหาขึ้น โดยโครงการนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ การจำลองระบบไมโครกริดในโหมด Stand-alone และการแสดงผลของข้อมูลผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Visual Studio 2010

สำหรับการศึกษาและพัฒนาระบบไมโครกริดในโหมด Stand-alone ของระบบไฟฟ้าสามเฟสและเฟสเดียวของแหล่งจ่ายสองตัวที่มีพารามิเตอร์เดียวกัน พบว่าผลลัพธ์ที่ออกมาค่อนข้างเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือเมื่อเรากำหนดสัดส่วนการแชร์โหลด Droop Coefficient ของมุมแรงดันและแรงดันไว้เท่ากันที่ 1:1 แล้ว พบว่ามีการแชร์อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ที่อัตราส่วนประมาณ 1ต่อ1 ภายใต้ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เหมาะสม และมีการดึงความถี่กลับเข้าสู่ 50 Hz ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ Secondary Control ของระบบไมโครกริดในการรักษาเสถียรภาพของการทำงาน

ในส่วนของการแสดงผลของข้อมูลผ่านโปรแกรม Visual Studio 2010 โดยใช้ภาษา C# นั้นจะแบ่งการเชื่อมต่อของโปรแกรมออกเป็น 2 ประเภทหลักๆคือ

การแสดงผลผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อผ่านมีเตอร์วัดค่าจะเป็นการรับส่งข้อมูลแบบ RS-485 โดยจะทำการรับส่งข้อมูลแบบ Modbus RTU ซึ่งจะทำการแปลงข้อมูล Modbus ที่ได้จากเครื่องเชื่อมต่อมาทำการแสดงผลผ่านทางโปรแกรม CiNES Meter

การแสดงผลผ่านการเชื่อมต่อทางระบบ LAN หรือ TCP/IP จะเป็นการเชื่อมต่อโปรแกรมเข้ากับอินเวอร์เตอร์ของทาง ABB เพื่อทำการประมวลผลของค่าการผลิตปัจจุบันของแรงดัน, กระแส, และความถี่ที่ผลิตได้ของโซลาร์อินเวอร์เตอร์

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในโครงการนี้จะครอบคลุมในในเรื่องของ Primary Control ซึ่งเป็นการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามเทคนิค Droop Control และ Secondary Control ซึ่งเป็นการควบคุมการดึงความถี่กลับมาซึ่งความถี่ใช้งานเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงสามารถที่จะพัฒนา

ต่อไปยัง Tertiary Control ซึ่งจะเป็นการควบคุมการจ่ายโหลดตามความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์(Economic Dispatch)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chris Marnay and Owen C. Bailey, The CERTS Microgrid and the Future of the Macrogrid, **Environmental Energy Technologies Division**, 2004
- [2] นายพวงศักดิ์ แซ่หลิว, นายพงศกรณ์ เตชะชลประเสริฐ, นายไพโรจน์ คอนอม, นายมหาราช ราชสีห์, “โครงการสาธิตไมโครกริดของศูนย์นวัตกรรมพลังงาน(CInES Microgrid Demonstration Operation and Control)”, **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีการศึกษา 2555**
- [3] นายธนกฤต กิตติวรรัตน์, นายปณต เชิดชูเหล่า, นายพัฒนิกชุตติคุณ, “ชุดจำลองการกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังงานทดแทน”, **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีการศึกษา 2555**

ประวัติผู้เขียน



นายพิชัย มณีทิพย์

-ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพิชพล เรืองเพชรชัย

-ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพิรุณ แสงกุล

-ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายภูชกร เปลี่ยนเชาว์

-ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

	<p>นายพลิชฐ์ มณีทิพย์ เกิดวันที่ 1 พฤษภาคม 2534 ภูมิลำเนา จังหวัดแพร่ การศึกษา - มัธยมศึกษา โรงเรียนนารีนรัตน์จังหวัดแพร่ - ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</p>
	<p>นายพัชรพล เรืองเดชวรชัย เกิดวันที่ 1 ธันวาคม 2535 ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพฯ การศึกษา - มัธยมศึกษา โรงเรียนเซนต์คาเบรียล - ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</p>
	<p>นายพิรุณ แสงกุล เกิดวันที่ 7 พฤษภาคม 2535 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี การศึกษา - มัธยมศึกษา โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย - ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</p>
	<p>นายภูชกร เปลียนเขาว์ เกิดวันที่ 27 กันยายน 2535 ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพฯ การศึกษา - มัธยมศึกษา โรงเรียนเซนต์คาเบรียล - ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

