

การศึกษาระบบกริดขนาดเล็กแบบไมโครกริดในประเทศไทย
THE STUDY AND ANALYSIS MICROGRID SYSTEM IN THAILAND



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย
The study and analysis Microgrid system in Thailand



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study and analysis Microgrid system in Thailand



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

2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

การศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย

The study and analysis Microgrid system in Thailand



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย

ผู้จัดทำ

1. นายนำโชค โสมสูงเนิน
2. นายพงศ์ปณต ตั้งจรัสศิธรณ์
3. นายพีรพล เรืองเกาะ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว)

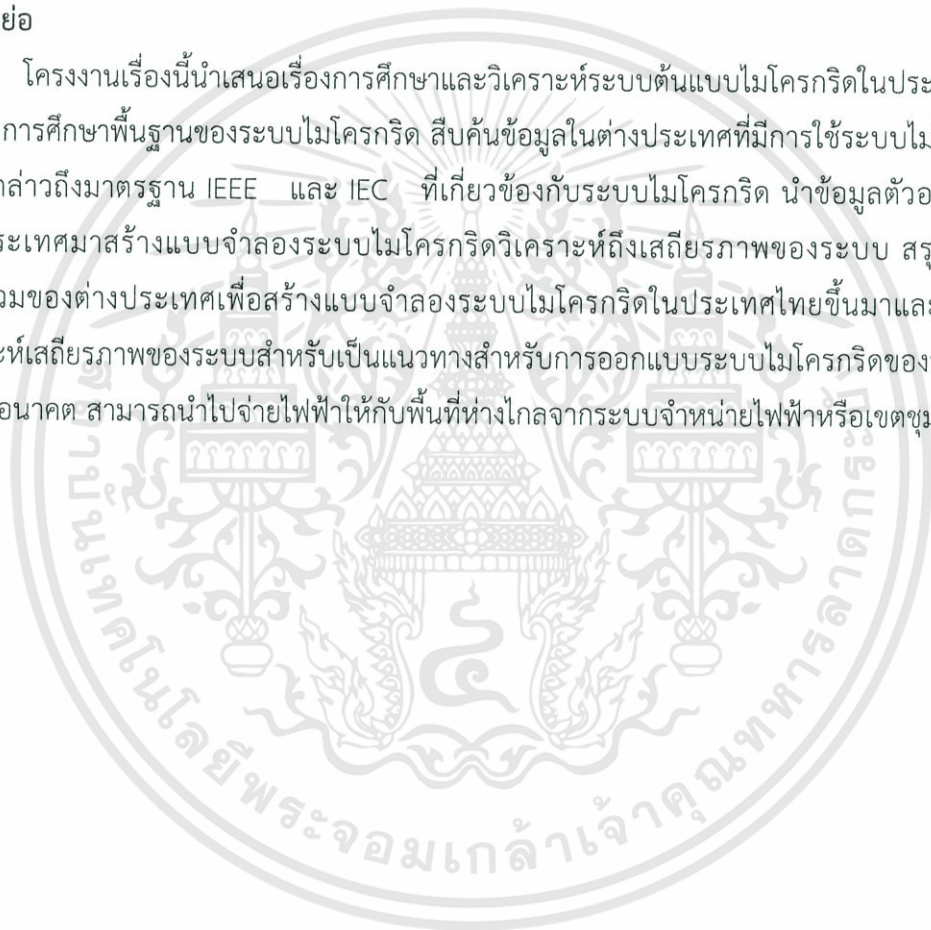
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย

นาย	นำโชค	โสมสูงเนิน
นาย	พงศ์ปณต	ตั้งจรัสศิริธรณ์
นาย	พีรพล	เรืองเถาะ
ผศ.ดร.	เชาว์	ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2555		

บทคัดย่อ

โครงการเรื่องนี้นำเสนอเรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย โดยทำการศึกษาพื้นฐานของระบบไมโครกริด สืบค้นข้อมูลในต่างประเทศที่มีการใช้ระบบไมโครกริด มีการกล่าวถึงมาตรฐาน IEEE และ IEC ที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริด นำข้อมูลตัวอย่างของต่างประเทศมาสร้างแบบจำลองระบบไมโครกริดวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพของระบบ สรุปข้อมูลภาพรวมของต่างประเทศเพื่อสร้างแบบจำลองระบบไมโครกริดในประเทศไทยขึ้นมาและทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบสำหรับเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบระบบไมโครกริดของประเทศไทยในอนาคต สามารถนำไปจ่ายไฟฟ้าให้กับพื้นที่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือเขตชุมชน



The study and analysis Microgrid system in Thailand

Mr. Numchook	Somsungnean
Mr. Pongpanot	Tungjarusasithon
Mr. Peerapon	Ruangthtoh
Asst.Prof. Chow	Chompooiwai Supervisor
Year 2555	

Abstract

This project introduces The study and analysis Microgrid system in Thailand. By studying basic of Microgrid system, searching for information about Microgrid system of other country that use Microgrid system, referring to IEEE and IEC standard about Microgrid system, simulating Microgrid system model for analyzing stability of system by using the information of other country, concluding other country's information about Microgrid system to simulate the Microgrid system in Thailand and analyzing the stability of it for helping to build the Microgrid system in Thailand to send the electric power to the area or community that far away from the distribution system in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทยสามารถประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากการตั้งใจทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะ และได้รับการสนับสนุนจากบุคคลทั้งหลาย ซึ่งเป็นการสนับสนุนทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งทางคณะผู้จัดทำซาบซึ้งเป็นอย่างมาก จึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้คอยให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็น และติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณห้องศูนย์วิจัยและวิศวกรรมส่องสว่าง (Energy System and Illumination Research Center : ESIRC) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดการทำปริญญานิพนธ์จนปริญญานิพนธ์ สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ในห้องห้องศูนย์วิจัยและวิศวกรรมส่องสว่าง (Energy System and Illumination Research Center : ESIRC) ที่ได้แนะนำการทำปริญญานิพนธ์ อีกทั้งให้คำแนะนำและคอยให้กำลังใจเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนในทางด้านการศึกษา จนสามารถทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้น

นายนำโชค โสมสูงเนิน
นายพงศ์ปณต ตั้งจารุศศิธรณ์
นายพีรพล เรืองเกาะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	X

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 แนวคิดเรื่องไมโครกริด	5
2.2 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Distributed Energy Resources:DER)	7
2.2.1 ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระจายตัว (Distributed generation:DG)	8
2.2.2 การจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Distributed Storage:DS)	12
2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริด	14
2.3.1 ค่าเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulation)	14
2.3.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวาบ (Voltage Flickers)	15
2.3.3 ค่าการรบกวนแรงดัน (Voltage Disturbances)	15
2.3.4 ค่าการรบกวนความถี่ (Frequency Disturbances)	14
2.3.5 มาตรฐาน IEEE	16
2.3.5 มาตรฐาน IEC	17
2.3.7 มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	21
2.4 ระบบไมโครกริดในต่างประเทศ	22
2.4.1 ประเทศจีน	22
2.4.2 ประเทศเซเนกัล	24
2.4.3 ประเทศอเมริกาเหนือ	25
2.4.4 ประเทศอังกฤษ	26
2.4.5 ประเทศแคนาดา	26
2.4.6 ประเทศญี่ปุ่น	28
2.4.7 ประเทศเกาหลี	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การจัดการพลังงานและการควบคุม	30
2.5.1 ตัวควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microsource controller)	30
2.5.2 ศูนย์กลางการควบคุม (Central controller)	30
2.5.3 ฟังก์ชันควบคุมสำหรับตัวควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก	32
บทที่ 3 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์	35
3.1 เหตุผลและสิ่งที่ทำการวิเคราะห์	35
3.2 แนะนำอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์	36
3.3 วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบไมโครกริด	37
3.4 วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบไมโครกริด	41
3.5 เปรียบเทียบการทำงานก่อน-หลังติดตั้งระบบไมโครกริด	60
3.6 ออกแบบควบคุมการทำงานของระบบไมโครกริดใน 1 วัน	60
บทที่ 4 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมแมทแล็บ	62
4.1 เหตุผลและสิ่งที่ทำการวิเคราะห์	62
4.2 แนะนำอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรมแมทแล็บ	63
4.3 จำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยโปรแกรมแมทแล็บ	64
4.3.1 โซลาร์เซลล์ (Photovoltaic 4 MW)	64
4.3.2 แบตเตอรี่ (Battery 1 MW)	65
4.3.3 ระบบพลังงานน้ำแบบสูบ-กลับ (Pumped Hydro 2 MW)	67
4.3.4 เขื่อนแม่เสี้ยง (Mae Saring Dam 1 MW)	68
4.3.5 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator 4 MW)	69
4.4 เปรียบเทียบแบบจำลองแมทแล็บกับพาวเวอร์เวิลด์	70
4.4.1 เปรียบเทียบกรณีระบบไมโครกริดทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้า	70
4.4.2 เปรียบเทียบกรณีระบบไมโครกริดทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้าเวลากลางคืน	74
4.5 วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์และเสถียรภาพของไมโครกริด	77
บทที่ 5 สรุปผล	78
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	78
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน	80
5.3 การแก้ไขปัญหา	80
5.4 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก ค่าความผิดพลาด	84
ภาคผนวก ข การคำนวณกำลังไฟฟ้า 3 เฟส	88
ภาคผนวก ค ค่าพารามิเตอร์สายส่ง	90

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไมโครกริด	6
2.2 โครงสร้างโครงสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่	7
2.3 แหล่งพลังงานระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระจาย	8
2.4 อินเวอร์เตอร์ การแปลงพลังงานไฟฟ้าจาก DC เป็น AC ในระบบส่งจ่าย	8
2.5 กระบวนการเทอร์โมไดนามิก	9
2.6 กระบวนการแปลงไฟฟ้า	9
2.7 ส่วนประกอบหลักของส่วนประกอบหลักของเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก T100	10
2.8 โซลาร์เซลล์	10
2.9 ระบบผลิตไฟฟ้ากักเก็บลมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย อ่างพักน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำตะคอง นครราชสีมา กำลังผลิต 2.5 MW ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	11
2.10 ระบบพลังงานน้ำแบบสูบ-กลับ	11
2.11 ระบบการเก็บพลังงานน้ำแบบสูบ-กลับ	11
2.12 แบตเตอรี่ซึ่งค็โบรมายด์	12
2.13 ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่	13
2.14 ตัวเก็บพลังงานจลน์	13
2.15 กราฟประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน	13
2.16 กราฟกำลังต่อน้ำหนักและพลังงานต่อน้ำหนัก	14
2.17 ส่วนประกอบระบบไมโครกริดที่ทำงานเป็นโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล	23
2.18 โครงสร้างของระบบไมโครกริดเชื่อมต่อการไฟฟ้า	23
2.19 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศเซเนกัล	24
2.20 การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแหล่ง	24
2.21 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศอเมริกาเหนือ	25
2.22 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศอังกฤษ	26
2.23 กรณีศึกษาที่ 1 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศแคนาดา	26
2.24 กรณีศึกษาที่ 2 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศแคนาดา	27
2.25 กรณีศึกษาที่ 3 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศแคนาดา	27
2.26 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศญี่ปุ่น	28
2.27 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศเกาหลี	28
2.28 การควบคุมระบบไมโครกริด	30
2.29 แบบการเชื่อมต่อบัลในการคำนวณ	33
2.30 คุณลักษณะสำหรับการควบคุม V-Q Droop	33
2.31 กราฟการควบคุมเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงกับความถี่	34
3.1 แผนผังโครงสร้างของบทที่ 3	35
3.2 รูปตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์	36
3.3 ระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริด	37
3.4 แบบจำลองระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริด	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.41 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 30	57
3.42 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายในแต่ละช่วงเวลา	61
4.1 แผนผังโครงสร้างของบทที่ 4	62
4.2 รูปโปรแกรมแมทแลบที่จำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์	63
4.3 จำลองแหล่งจ่าย Photovoltaic ด้วยโปรแกรมแมทแลบ	64
4.4 กราฟแรงดันที่ไหลของแหล่งจ่าย Photovoltaic	64
4.5 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Photovoltaic	65
4.6 จำลองแหล่งจ่าย Battery ด้วยโปรแกรมแมทแลบ	65
4.7 กราฟแรงดันที่ไหลตลอดเวลา 0.5-1s	66
4.8 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Battery	66
4.9 จำลองแหล่งจ่าย Pumped Hydro ด้วยโปรแกรมแมทแลบ	67
4.10 กราฟแรงดันที่ไหลของแหล่งจ่าย Pumped Hydro	67
4.11 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Pumped Hydro	67
4.12 จำลองแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam ด้วยโปรแกรมแมทแลบ	68
4.13 กราฟแรงดันที่ไหลของแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam	68
4.14 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam	68
4.15 จำลองแหล่งจ่าย Diesel Generator ด้วยโปรแกรมแมทแลบ	69
4.16 กราฟแสดงแรงดันที่ไหลของแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam	69
4.17 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Diesel Generator	69
4.18 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน โปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์หลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 1	70
4.19 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณีที่ 1	71
4.20 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน โปรแกรมแมทแลบหลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 1	72
4.21 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณีที่ 9	72
4.22 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน โปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์หลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 9	74
4.23 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณีที่ 9	74
4.24 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน โปรแกรมแมทแลบหลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 9	75
4.25 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณีที่ 9	76
4.26 กราฟแรงดันไฟฟ้าสามเฟสของโหลด Sop Moei กรณีทำงานร่วมกับโครงข่ายในเวลากลางวัน	77
4.27 กราฟแรงดันไฟฟ้าของโหลด Sop Moei กรณีทำงานร่วมกับโครงข่ายในเวลากลางวัน	77
4.28 กราฟแรงดันไฟฟ้าของ Battery กรณีทำงานร่วมกับโครงข่ายในเวลากลางวัน	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.29	วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าที่โหลด Sop Moei	78
4.30	วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า Battery	78



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	3
2.1 ข้อกำหนดกระแสฮาร์โมนิกส์	14
2.2 ระดับแรงดันการรบกวนและระยะเวลา	15
2.3 ผลตอบสนองที่ความถี่รบกวน	15
2.4 มาตรฐาน IEEE	16
2.5 มาตรฐาน IEC	17
2.6 มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	21
2.7 ประเภทของระบบไมโครกริดในประเทศจีน	22
2.8 รูปแบบไมโครกริดในแต่ละประเทศ	29
3.1 รูปภาพอุปกรณ์ของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์	36
3.2 ตารางรวมค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละแหล่งจ่ายก่อนติดตั้งไมโครกริดในหน่วย p.u.	41
3.3 ตารางรวมค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละแหล่งจ่ายหลังติดตั้งไมโครกริดในหน่วย p.u.	58
4.1 รูปภาพอุปกรณ์ของโปรแกรมแมทแลบ	63
4.2 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Photovoltaic	65
4.3 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Battery	66
4.4 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Pumped Hydro	67
4.5 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Mae Saring Dam	68
4.6 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Diesel Generator	69
4.7 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณี 1	71
4.8 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณี 1	73
4.9 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณี 9	75
4.10 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณี 9	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันทรัพยากรจำพวกถ่านหินและพวกน้ำมันเป็นที่แพร่หลายในการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตะกั่ว เป็นต้น ถ่านหิน และน้ำมันถูกใช้ไปมากจนปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งราคาในปัจจุบันยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ความต้องการไฟฟ้าในปัจจุบันก็มากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้พลังงานในปัจจุบันไม่เพียงพอกับความต้องการในประเทศ รวมถึงพื้นที่ห่างไกลความเจริญที่ไฟฟ้ายังไม่สามารถเข้าถึง ตัวอย่างปัญหาที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีสถิติกระแสไฟฟ้าขัดข้องสูงสุดของประเทศ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน สายส่งตัดผ่านป่าไม้ชุ่มน้ำทำให้กระแสไฟฟ้าขัดข้องเป็นสาเหตุมาจากต้นไม้บ่อยครั้งและเป็นระยะเวลานานเนื่องจากสภาพการจราจรที่ไม่สะดวก

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำพลังงานทดแทนหลากหลายรูปแบบมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นในกริดที่มีขนาดเล็กเรียกว่า “ระบบไมโครกริด” ประกอบด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ระบบควบคุมและเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ไมโครกริดสามารถจ่ายไฟฟ้าแบบอิสระได้โดยไม่ต้องเชื่อมโยงกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหรือไม่ต้องทำงานขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาองค์ประกอบของระบบไมโครกริด
2. ศึกษามาตรฐานของระบบไมโครกริด
3. ศึกษาแบบไมโครกริดในต่างประเทศ
4. ศึกษาการจ่ายพลังงานของระบบไมโครกริดในกรณีต่างๆ
5. ศึกษาเสถียรภาพของระบบไมโครกริด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถวิเคราะห์ระบบไมโครกริดของต่างประเทศเพื่อมาเป็นต้นแบบระบบไมโครกริดในประเทศไทย
2. สามารถเข้าใจได้ว่าระบบไมโครกริดประกอบไปด้วยอะไรบ้าง หน้าที่ขององค์ประกอบนั้น และเข้าใจมาตรฐานของระบบไมโครกริดเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป
3. สามารถวิเคราะห์ระบบไมโครกริดในไทยเมื่อต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. สามารถวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและเสถียรภาพของระบบไมโครกริดได้
5. ศึกษาและวิเคราะห์ระบบไมโครกริดที่เหมาะสมกับประเทศไทย เพื่อนำมาช่วยเหลือพื้นที่ที่ไฟฟ้าของระบบการไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงและพื้นที่ที่การไฟฟ้าเข้าถึงแล้วแต่ต้องการที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนร่วมด้วย

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาความหมายของระบบไมโครกริด ส่วนประกอบของระบบไมโครกริด แหล่งพลังงานทดแทน อินเวอร์เตอร์ และ ระบบเก็บสะสมพลังงาน เก็บรวบรวมข้อมูลของระบบไมโครกริดในแต่ละทวีป เช่น เอเชีย อเมริกา ออสเตรเลีย และแอฟริกา
2. ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีของระบบไมโครกริด งานวิจัยของระบบไมโครกริด และ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับระบบไมโครกริด
3. วิเคราะห์ข้อมูล จากการที่ได้ศึกษาค้นคว้าความหมายของระบบไมโครกริดและการค้นคว้าทฤษฎีของไมโครกริด มาสรุปเพื่อประมวลผลและเป็นแนวความคิด
4. ศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองไมโครกริดด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์เพื่อเป็นต้นแบบ และนำมาวิเคราะห์ต่อไปว่าประเทศไทยควรจะมีการทำงานของระบบไมโครกริดเป็นแบบใด
5. ทำการจำลองระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมแมทแล็บวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไมโครกริดของประเทศไทยและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานทดแทนหาแนวทางการแก้ไขคุณภาพไฟฟ้าให้เหมาะสม

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

แผนการดำเนินโครงการใช้เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2555							พ.ศ.2556		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาแนวคิดและความหมายของระบบไมโครกริด										
2. ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยเรื่องระบบไมโครกริดในต่างประเทศ										
3. วิเคราะห์ทฤษฎีและงานวิจัยเพื่อสรุปแนวคิดและความหมายระบบไมโครกริดในแต่ละประเทศ										
4. ศึกษาต้นแบบระบบไมโครกริดในประเทศไทย										
5. วิเคราะห์แบบจำลองระบบไมโครกริดในประเทศไทยด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์										
6. วิเคราะห์แบบจำลองแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแหล่งด้วยโปรแกรมแมทแลบ										
7. วิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมแมทแลบ										
8. สรุปผลและประเมินผล										
9. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. นำความรู้ที่ได้ไปช่วยประเทศประหยัดทรัพยากรธรรมชาติโดยเลือกใช้ไมโครกริดแทน
ทรัพยากรเดิม
2. ช่วยเหลือพื้นที่ชนบทในพื้นที่ที่ระบบการไฟฟ้าเข้าไม่ถึงให้มีไฟฟ้าใช้
3. แก้ไขและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง
4. นำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาระบบไมโครกริดให้ดีขึ้น
5. รู้จักการนำพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
6. สามารถนำเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้สร้างพลังงานไฟฟ้าจากธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดเรื่องไมโครกริด

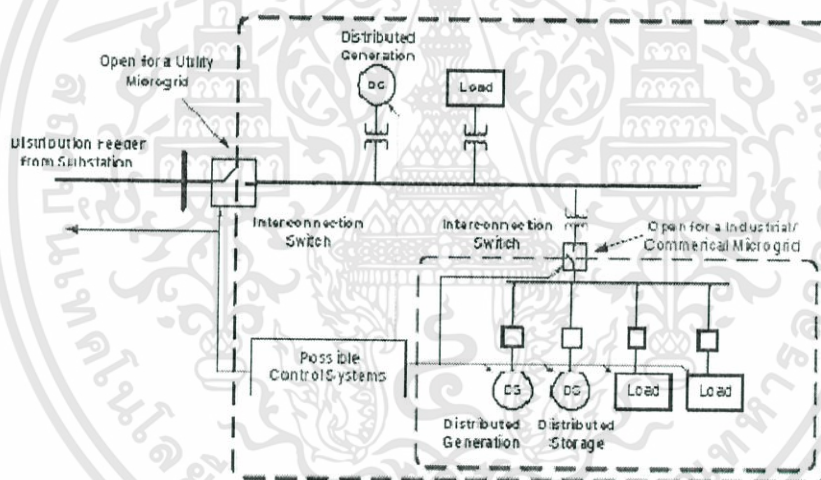
ในการพัฒนาประเทศ พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญมาก จากความกดดันใน ด้านความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงฟอสซิล ความสนใจในปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น จากพันธกรณีของ พิธีสารเกียวโตซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อป้องกันและบรรเทา ปัญหาโลกร้อน (Global Warming) และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากการเปิด เสรีทางพลังงาน (Deregulation) ทำให้ความสนใจเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน ธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resources) เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานชีวมวล เป็นต้นอย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่ง พลังงานธรรมชาติเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณที่ผันผวนเป็นอย่างมาก จึงทำ ให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบในแง่ลบทั้งในด้านของคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของ ระบบในกรณีที่มีการนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ จำนวนมากเข้ามาต่อกับระบบไฟฟ้า จึงได้มีการ นำเสนอแนวทางการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าภายในพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กโดยใช้ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro turbine) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) รวมทั้งการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน หรือเรียกว่า แหล่งกำเนิดพลังงาน ไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Distributed Energy Resource, DER)

เพื่อการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาจาก การเปิดเสรีด้านพลังงานไฟฟ้า เรียกว่าแนวคิดระบบไมโครกริด หรือ MicroGrid Concept โดยถูก นำเสนอ ภายใต้โครงการ CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions) ในสหรัฐอเมริกา ในปี 2002 ภายใต้แนวคิดที่ว่า “ระบบไมโครกริด” คือ เครือข่ายแหล่งจ่ายขนาดเล็ก ที่ออกแบบมาเพื่อจัดหาไฟฟ้าและโหลดความร้อนสำหรับชุมชนเล็กๆ เช่น บ้านจัดสรร ชานเมือง สาธารณประโยชน์ และมหาวิทยาลัย เป็นศูนย์กลางเครือข่ายการกระจายพลังงานไฟฟ้าและโหลดที่ ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำถึงแรงดันระดับกลางตามแต่ขนาดแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ในไมโครกริดมักจะใช้ พลังงานทดแทน หลักการทำงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะต้องติดตั้งอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และตัวควบคุมเพื่อให้ดำเนินการเป็นไปตามระบบที่รวมไว้ที่เดียว และรักษาคุณภาพไฟฟ้าตามที่ระบุ ไว้ การควบคุมนี้ทำให้ระบบไมโครกริดถือเป็นหน่วยควบคุมเดียวที่สามารถขึ้นตรงกับพลังงานท้องถิ่น ตามความต้องการของการใช้พลังงาน มีความน่าเชื่อถือ และความปลอดภัย

ความแตกต่างระหว่างไมโครกริด และโรงไฟฟ้าทั่วไปเป็นดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กและจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ในโรงไฟฟ้าทั่วไป
2. พลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายโดยตรงให้กับกริดของระบบจำหน่าย
3. แหล่งกำเนิดไฟฟ้าตามปกติมีการติดตั้งใกล้กับสถานที่ของผู้ใช้ เพื่อให้อุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อน สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงความถี่และการสูญเสียในสายส่งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

ไมโครกริดจะเป็นระบบส่งจ่ายที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำ มีระบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมภาระไฟฟ้าในแบบจ่ายร่วมกับโครงข่ายไฟฟ้าโดยให้พื้นที่นั้นมีส่วนร่วมกับการจำหน่ายของการไฟฟ้าโดยมี DER อย่างน้อยที่สุด 1 แหล่ง ที่สามารถเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือภาระไฟฟ้าในลักษณะที่มีไหลตรงร่วมกัน และสามารถเชื่อมต่อหรือไม่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาวะแยกจ่ายกำลังไฟฟ้า (Island mode) โดยใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานที่ผลิตด้วยตัวเองดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไมโครกริด [5]

คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครกริดทำให้มันเหมาะสำหรับการจัดหาพลังงานให้พื้นที่ที่ห่างไกลของประเทศ ซึ่งแหล่งจ่ายระบบกำลังไฟฟ้าหลักยากที่จะเข้าถึงระบบจำหน่าย บ่อยครั้งเนื่องจากภูมิอากาศที่รุนแรงหรือการรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้นทำให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีปัญหา ในมุมมองระบบส่งจ่ายประโยชน์หลักของไมโครกริด คือ การควบคุมระบบไฟฟ้าภายในพื้นที่สามารถดำเนินการรวมไหลเป็นหนึ่งระบบ เพื่อค้นหาการควบคุมที่ง่ายและสอดคล้องกับระบบส่งจ่ายตามมาตรฐานและข้อบังคับโดยไม่ขัดแย้งต่อความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ประโยชน์จากมุมมองของผู้ใช้ไฟฟ้า ไมโครกริดสามารถจ่ายไฟสำรอง ปรับปรุงความน่าเชื่อถือในพื้นที่ของผู้ใช้ ลดการสูญเสียในสายส่งและให้การช่วยเหลือแรงดันไฟฟ้าในพื้นที่ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

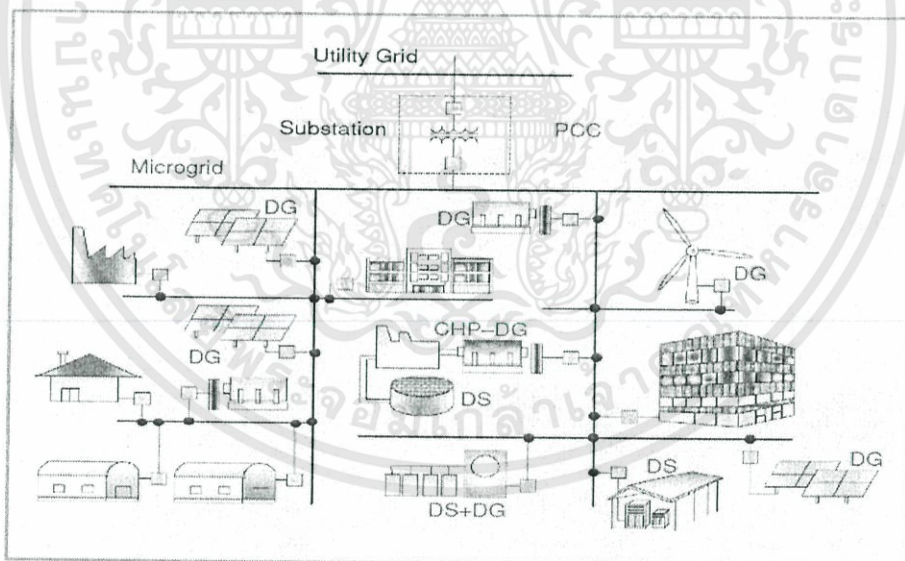
ในมุมมองของสิ่งแวดล้อมไมโครกริดช่วยลดมลภาวะโลกร้อนด้วยการใช้เทคโนโลยีคาร์บอนต่ำจึงมีความปลอดภัยต่อสภาพอากาศในปัจจุบัน

2.2 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Distributed Energy Resources, DER)

โดยทั่วไปจะรวมทุกรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าและจัดเก็บพลังงานที่เชื่อมต่อกันกับระบบไฟฟ้าหรือระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าระดับกลางถึงแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ ในความเป็นจริงการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อส่งจ่ายให้ส่วนของระบบไฟฟ้าเกิดจาก

- ❖ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและพลังงานไฟฟ้าที่เชื่อถือได้เพิ่มขึ้น
- ❖ ความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษอื่นๆ
- ❖ การพัฒนาของเทคโนโลยีสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมีมากขึ้นเรื่อยๆ
- ❖ ความจำเป็นในการหารูปแบบใหม่ของการแปลงพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อแทนที่น้ำมันและเชื้อเพลิงคาร์บอน

ระบบ DER เชื่อมต่อกับระบบไมโครกริด เมื่อระบบไมโครกริดมีมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของกระจายกำลังไฟฟ้า จึงวางแผนทำงานเป็นวงจรส่งกำลังไฟฟ้าเป็นรัศมีตามความต้องการของโหลด ดังนั้นระบบไมโครกริดไม่เพียงแต่ต้องมีการจัดการกับ DER แต่ระบบไมโครกริดต้องจัดการกับข้อมูลที่ได้จากระบบ DER ด้วย ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์ใน DER เมื่อเชื่อมโยงกับระบบผลิตและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 2.2

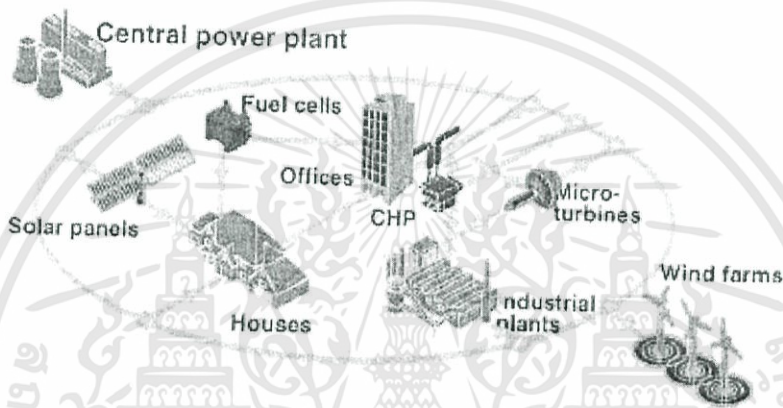


รูปที่ 2.2 โครงสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระจายตัว (Distributed generation, DG)

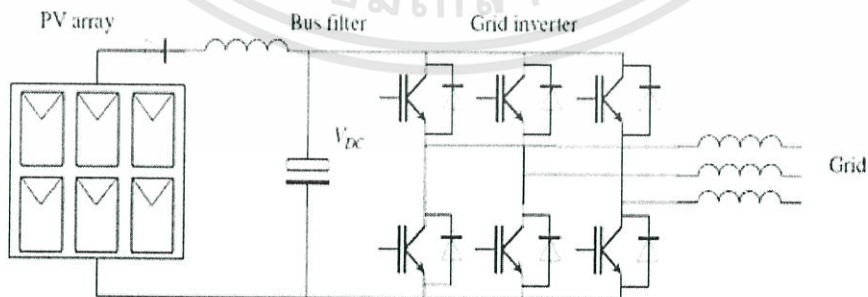
เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้กับแหล่งการใช้พลังงานไฟฟ้า DG จะหมายถึง โซลาร์เซลล์ เซลล์เชื้อเพลิง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และแหล่งกำเนิดไฟฟ้า DG ประเภทใช้พลังงานหมุนเวียนสามารถให้ความร้อนและพลังงานจากการกักเก็บความร้อนบางส่วนที่เหลือจากการสร้างพลังงานเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของ DG ในระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระจายตัวต้องมีอุปกรณ์ของอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อเข้าไปเพื่อเป็นการแปลงพลังงานให้เป็นไฟฟ้า AC ใช้ภายในระบบไมโครกริด การแปลงเหล่านี้อาจรวมทั้งเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์หรือเพียงแค่อินเวอร์เตอร์ ใช้งานได้ในแรงดันไฟฟ้าและความถี่ตามแต่ระบบที่จะเชื่อมต่อ วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังยังมีฟังก์ชันการป้องกันระบบไมโครกริดช่วยตัดจากระบบไฟฟ้าเมื่อกริดการไฟฟ้าเกิดความล้มเหลวขึ้นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้ากระจาย [11]

2.2.1.1 การแปลงไฟฟ้าด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โซลาร์เซลล์ และเซลล์เชื้อเพลิง กระบวนการสร้างพลังงานไฟฟ้าตามความต้องการของโหลดจะมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังแปลงไฟฟ้า DC เป็น AC ตามความถี่ที่ระบุไว้เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ ใช้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งควบคุมด้วยพัลส์มอดูเลชัน ดังรูปที่ 2.4 ดังนั้นชนิดของ DER สามารถรักษาขนาดแรงดันและระดับความถี่ในช่วง island mode และช่วงร่วมจ่ายกำลังไฟฟ้ากับกริดการไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 อินเวอร์เตอร์ การแปลงพลังงานไฟฟ้าจาก DC เป็น AC ในระบบส่งจ่าย [1]

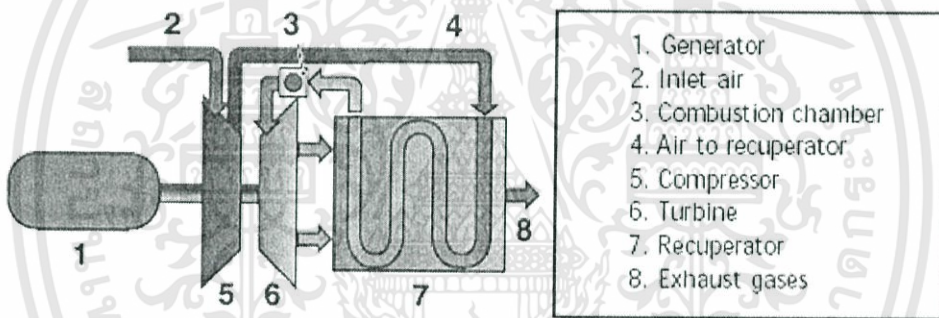
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 พลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมขนาดเล็ก

(Micro Combined Heat and Power, uCHP)

ในแผน CHP ที่ผลิตพลังงานและความร้อน ในหลายกรณีเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ของ uCHP เมื่อมีความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม อาคาร โดยปกติเจ้าของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการของที่เหมือนกันในปริมาณที่มาก ๆ จะเป็นผลดีคือจะสูญเสียพลังงานน้อยลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กใน uCHP ที่เชื่อมต่อกับระบบใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ก๊าซธรรมชาติหรือพลังงานทดแทน ในห้องเผาไหม้เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ กระบวนการเทอร์โมไดนามิกส์ ใน Turbec T100 ดังรูปที่ 2.5 มีดังต่อไปนี้

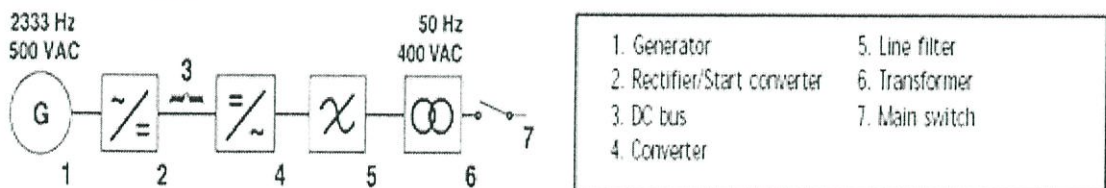
- ❖ ทางเข้าของอากาศ (2) บีบอัดอากาศให้ไปยังคอมเพรสเซอร์ (5)
- ❖ อากาศในคอมเพรสเซอร์จะถูกส่งผ่านไปยัง recuperator (7) เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน
- ❖ อากาศร่วมกับก๊าซอากาศที่ถูกเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ (3) ก่อนผ่านไปถึงกังหัน (Turbine) (6)
- ❖ ก๊าซเชื้อเพลิงมีการขยายตัวในกังหัน (6) และอุณหภูมิลดลง
- ❖ ก๊าซทั้งหมดจะเย็นใน recuperator (7)



รูปที่ 2.5 กระบวนการเทอร์โมไดนามิก [23]

กระบวนการแปลงไฟฟ้าและเครื่องกลจะเชื่อมต่อกันผ่านกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระบวนการแปลงไฟฟ้าใน Turbec T100 รูปที่ 2.6 สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

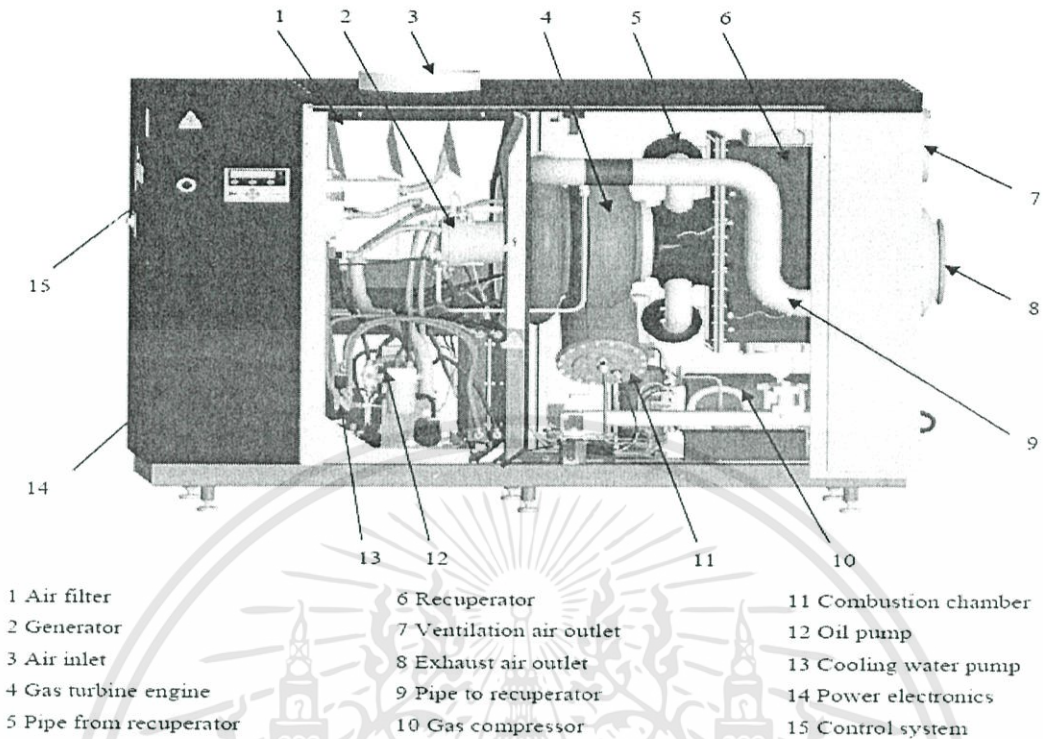
- ❖ กังหันไดรฟ์คอมเพรสเซอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์ (1)
- ❖ พลังงานไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นโดยแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์ได้เป็นไฟฟ้า AC ที่มีความถี่สูง
- ❖ ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง จะถูกแปลงโดย rectifier (2) ไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เชื่อมโยงกับ DC (3) แล้วแปลงเป็นความถี่ตามระบบส่งจ่ายโดย AC อินเวอร์เตอร์ (4) Line Filter (5) และหม้อแปลง (6) ปรับกระแส output เพื่อให้คุณภาพของกระแสดีขึ้น



รูปที่ 2.6 กระบวนการแปลงไฟฟ้า [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

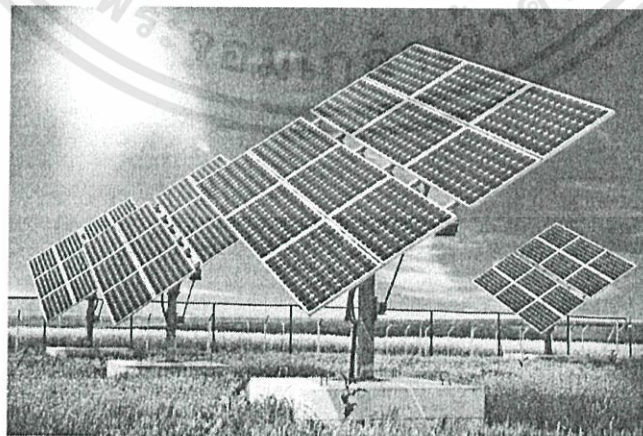
ส่วนประกอบของ Turbec T100 เป็นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบหลักของเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก T100 [23]

2.2.1.3 โซลาร์เซลล์ (Photovoltaic, PV)

แหล่งพลังงานที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์คือแสงแดด มีประสิทธิภาพมากเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเทคโนโลยีถั่วแก้วแรกสำหรับการผลิตไฟฟ้าในระบบขนาดใหญ่ เป็นไปได้ในการใช้แบบ Islande mode และการทำงานแบบร่วมกันของกริดการไฟฟ้า ระบบการวัดปริมาณแสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ PV ทำได้โดยปรับมุมรับรังสีแสงแดดให้รับได้โดยตรงเพื่อเพิ่มปริมาณรังสีที่ได้รับให้มากขึ้น



รูปที่ 2.8 โซลาร์เซลล์

ที่มา : <http://ecopreneurist.com/2011/11/28/martifer-solar-aligns-profitability-and-innovation-with-clean-energy-solutions/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 กังหันลม (Wind turbine)

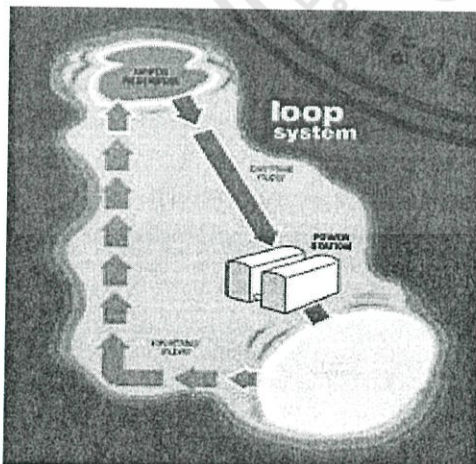
ลมเป็นแหล่งพลังงานสะอาดชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด ในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการผลิตด้วยพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบประเทศยุโรปได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ กังหันลมขนาดใหญ่แต่ละตัวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 4 - 5 เมกะวัตต์



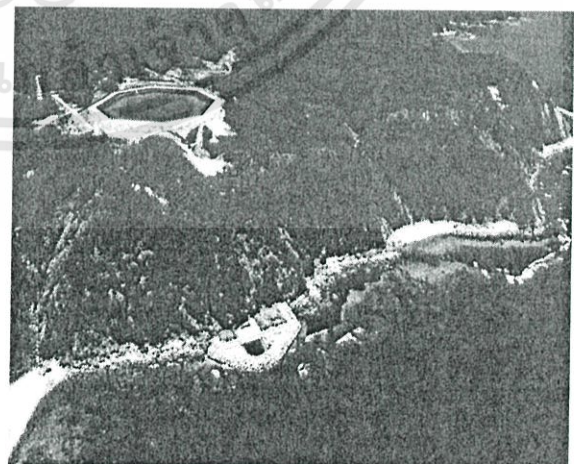
รูปที่ 2.9 ระบบผลิตไฟฟ้ากังหันลมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย อ่างพักน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำตะคอง นครราชสีมา กำลังผลิต 2.5 MW ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [22]

2.2.1.5 ระบบการเก็บพลังงานน้ำสูบ-กลับ (Pump hydro storage)

99% ของการเก็บพลังงานทางไฟฟ้านั้นคือ Pump hydro storage power plant ซึ่งในช่วงเวลา off peak ก็จะทำให้ทำการ pump น้ำจากที่ที่ต่ำกว่าไปสู่ที่กักเก็บน้ำซึ่งอยู่บริเวณที่สูงกว่าเรียกช่วงเวลานี้ว่า “charging” เมื่อถึงเวลาที่ต้องการจะผลิตกระแสไฟฟ้าน้ำก็จะถูกปล่อยให้ไหลจากบริเวณพื้นที่สูงลงสู่บริเวณพื้นที่ต่ำ โดยผ่าน turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เรียกช่วงเวลานี้ว่า “discharging” โดยปกติ pump hydro storage จะมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า 75-85%



รูปที่ 2.10 ระบบพลังงานน้ำแบบสูบ-กลับ
ที่มา : <http://www.inforse.org/europe>



รูปที่ 2.11 ระบบการเก็บพลังงานน้ำแบบสูบ-กลับ
ที่มา : <http://wastedenergy.net>

[/dieret/Hydro/hydro.html](http://www.inforse.org/europe/dieret/Hydro/hydro.html)

[/tag/hydropower/](http://wastedenergy.net/tag/hydropower/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

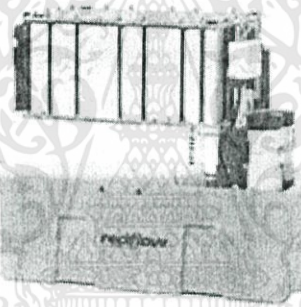
2.2.2 การจัดเก็บพลังงานภายในพื้นที่ (Distributed Storage:DS)

เทคโนโลยีการกระจายแหล่งเก็บพลังงาน (DS) เนื่องจากว่าในปัจจุบันมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ กังหันลม เป็นต้น ซึ่งต้องมีระบบเก็บสะสมพลังงานไว้เพื่อนำมาใช้ในยามที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทดแทนไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ หรือช่วยจ่ายโหลดขณะความต้องการโหลดสูงมาก สามารถแบ่งออกได้เป็น

2.2.2.1 แบตเตอรี่ (Battery)

โฟลว์แบตเตอรี่ (Flow batteries) คือ แบตเตอรี่ที่อิเล็กโทรดสามารถเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ซึ่งถูกวางกันอยู่ ประกอบด้วย แอนโอด และ แคโทด และเซลล์เมมเบรน ซึ่งความหนาแน่นของพลังงานของระบบนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของอิเล็กโทรดซึ่งถูกเก็บไว้ปัจจุบันมี 3 อย่างที่ถูกนำมาออกแบบ flow battery คือ

- 1.) Polysulphide bromine (PSB)
- 2.) Vanadium redox (VRB)
- 3.) Zinc bromide (ZnBr)



รูปที่ 2.12 แบตเตอรี่ซิงค์โบรมายด์

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc%E2%80%93bromine_battery

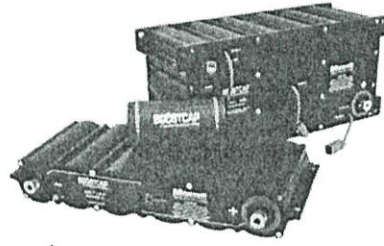
จากรูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่างของ Flow battery ปัจจุบันมีประสิทธิภาพถึง 75-85% และยังมีการคิดค้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Flow battery ทำให้เราได้ค้นพบ เช่น lithium ion, sodium sulphur และ nickel cadmium

2.2.2.2 ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ (Super capacitor)

Super capacitor เป็นตัวเก็บพลังงานที่ให้ความหนาแน่นของพลังงานสูงแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.13 ปัจจุบัน super capacitor มีประสิทธิภาพในการเก็บสะสมพลังงานได้ >95 เปอร์เซ็นต์ พลังงานของการสะสมของ super capacitor สามารถคำนวณได้จากสมการ $E = 0.5CV$

Superconducting magnetic energy storage (SMES) หลักการของ SMES คือการเก็บพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็กโดยการที่กระแสที่เป็นกระแสตรงไหลผ่าน ซึ่งทำมาจาก NbTi และทำงานที่อุณหภูมิต่ำ superconductor มีค่าการสูญเสียเป็นศูนย์เพราะค่าความต้านทานเป็นศูนย์ ซึ่ง SMES จะถูกใช้กับพวก high power device ซึ่ง SMES สามารถเก็บสะสมพลังงานได้ถึง 98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

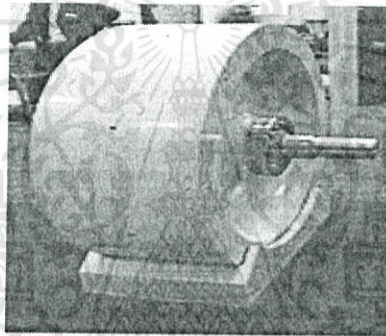


รูปที่ 2.13 ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่

ที่มา : <http://forums.xtremelabs.org/viewtopic.php?f=67&t=1974&p=32290>

2.2.2.3 ตัวเก็บพลังงานจลน์ (Flywheel)

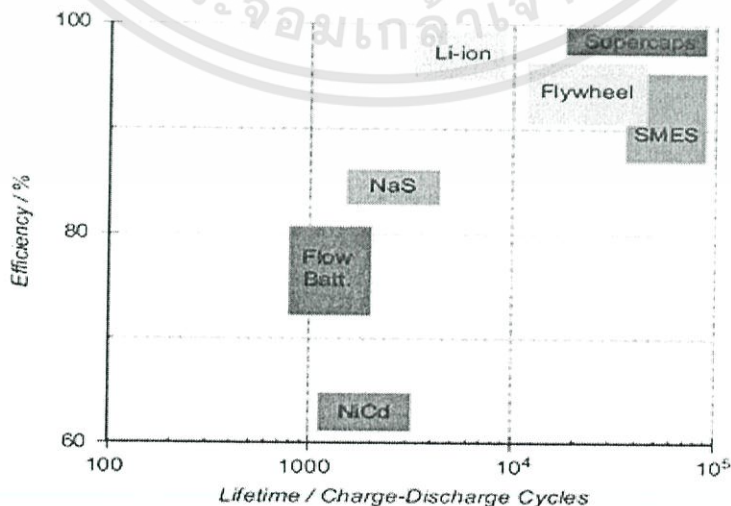
การสะสมพลังงานจลน์ของก้านเพลลาโดยการหมุนดังรูปที่ 2.14 ทำให้เกิดพลังงานจากแรงหมุนที่คล้ายกับเครื่องยนต์ลูกสูบที่ซึกขึ้น-ลง มีช่วงอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องที่ต้องใช้เงินลงทุนมาก เพราะราคาในปัจจุบันค่อนข้างแพง



รูปที่ 2.14 ตัวเก็บพลังงานจลน์

ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Flywheel>

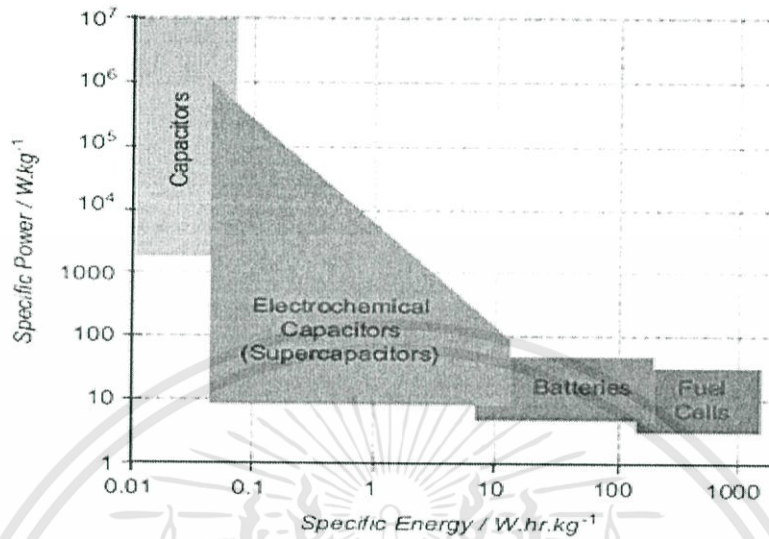
จากแหล่งสะสมพลังงานทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถนำมาเป็นข้อสรุปถึงประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานสูงสุดได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กราฟประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 เป็นการเปรียบเทียบแหล่งสะสมพลังงานโดยเทียบปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สะสมกับน้ำหนักของอุปกรณ์สะสมพลังงาน



รูปที่ 2.16 กราฟกำลังต่อน้ำหนักและพลังงานต่อน้ำหนัก [16]

2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริด

2.3.1 ค่าเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulation)

Synchronous generators type DG ที่ต่อตรงกับระบบการไฟฟ้าจะต้องมีอุปกรณ์ในการกระตุ้นเพื่อควบคุมแรงดันให้คงที่ที่บัสแรงดันของ Generator ที่จุดติดตั้งจะต้องมีเสถียรภาพและปรับค่าได้ระหว่าง 95-105 %

Induction generator type DG ไม่จำเป็นต้องมีตัวควบคุมแรงดันหรือ กำลังไฟฟ้าปรากฏและมันจะกินกำลังไฟฟ้าเสมือนแทน(VAR)ดังนั้นจึงต้องหาตัวชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่ถูกต้องเพื่อที่จะได้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ ± 0.9 ที่จุด PCC

ในมาตรฐาน ยอมรับความหั่นเหวของแหล่งจ่ายแรงดันที่ข้างเคียงนิยมสำหรับระดับแรงดันที่เท่ากันและสูงกว่า 35 kV และต่ำกว่า 10kV จะไม่เกิน $\pm 5\%$ และ $\pm 7\%$ ของค่าพิกัดตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดกระแสฮาร์โมนิกส์

Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)	Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of Current (I)
<11	4.0
11 < h < 17	2.0
17 < h < 23	1.5
23 < h < 35	0.6

ฮาร์โมนิกส์จะมีได้ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ของฮาร์โมนิกส์ที่จำกัดในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวาบ (Voltage Flickers)

จะต้องไม่ก่อให้เกิด Voltage flicker ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาของ wind turbine เนื่องจากขนาดของแรงดันแกว่งสำหรับระดับแรงดันต่ำกว่า 10kV, 35kV ถึง 110 kV จะอยู่ภายใต้ 2.5% และ 2% ตามลำดับ flicker ความถี่ 10 Hz จำนวนเท่ากันจะเกิดขึ้นในระบบแสงสว่างปกติ 0.6% และ 0.4% สำหรับ incandescent lamp

2.3.3 ค่าการรบกวนแรงดัน (Voltage Disturbances)

การรบกวนของแรงดันในเงื่อนไขระหว่างเกิดการเกิดฟอลต์ คือ Voltage sag, voltage swell และ ความสูญเสียสมบรูณ์แบบของแรงดัน

ตารางที่ 2.2 ระดับแรงดันการรบกวนและระยะเวลา

Voltage Disturbance	Voltage Level (RMS pu)	Duration
Voltage Sag	$0.1 < V < 0.9$	$0.5 \text{ cycles} < t < 1 \text{ min}$
Voltage Swell	$1.1 < V < 1.8$	$0.5 \text{ cycles} < t < 1 \text{ min}$
Voltage Interruption	$V < 0.1$	$1 \text{ min} < t$

2.3.4 ค่าการรบกวนความถี่ (Frequency Disturbances)

เมื่อความถี่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลักอยู่นอกเหนือจากช่วงที่กำหนด อินเวอร์เตอร์ควรที่จะหยุดกระตุ้นสายส่งของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลักในเวลาอันสั้น เงื่อนไขบนผลตอบสนองของ DG ที่เชื่อมต่อระหว่างที่มีความถี่รบกวนจาก IEEE Std. 1547 ดังตาราง

ตารางที่ 2.3 ผลตอบสนองที่ความถี่รบกวน

Frequency (Based on 60 HZ)	Clearing Time (sec)		
	IEEE 929	IEEE P1547	
	All PV	DR \leq 30kW	DR $>$ 30 kW
F $>$ 60.5			0.16
F $<$ 59.8	0.16	0.16	Adjustable set point 0.16 ~ 300
F $<$ 59.3			
F $<$ 57			0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 มาตรฐาน IEEE

มาตรฐาน IEEE ที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริดสามารถทำเป็นตารางสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐาน IEEE

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
IEEE	1547	(2003) IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System.	เป็นมาตรฐานที่มุ่งเน้นไปด้วยการทำงาน การทดสอบ ความปลอดภัย การซ่อมบำรุง และการเชื่อมต่อบระบบ (interconnection)
	P1547.1	Draft Standard For Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System.	ร่างมาตรฐานสำหรับการทดสอบที่สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันระหว่าง Distributed Resources กับระบบไฟฟ้ากำลัง
	P1547.2	Draft Application Guide for IEEE Std 1547-2003, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System	ร่างแบบแนะนำการใช้ IEEE Std 1547-2003 สำหรับ การเชื่อมต่อบระหว่าง Distributed Resources กับ ระบบไฟฟ้ากำลัง
	P1547.3	Draft Guide for Monitoring, Information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconncted with Electric Power System	ร่างแบบแนะนำสำหรับ Monitoring การแลกเปลี่ยนข้อมูล และการควบคุมของ Distributed Resource เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลัง
	P1547.4	Draft Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power System	ร่างแบบแนะนำสำหรับการออกแบบ การดำเนินงาน และบูรณาการของ Distributed Resource island system กับระบบไฟฟ้ากำลัง
	929-2000	Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems	ข้อแนะนำการปฏิบัติสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก เชื่อมต่อกับระบบ Photovoltaic (PV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 มาตรฐาน IEC

มาตรฐาน IEC ที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริดสามารถทำเป็นตารางสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 มาตรฐาน IEC

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
IEC/TR	61000-1-4 Historical	rationale for the limitation of power-frequency conducted harmonic current emissions from equipment, in the frequency range up to 2 kHz (2005/2010)	เหตุผลสำหรับขีดจำกัดของกำลังและความถี่ไฟฟ้า ถูกทำให้ฮาร์โมนิกส์ของกระแสที่ส่งโดยอุปกรณ์ ในช่วงความถี่จนถึง 2kHz
IEC/EN	61000-2-2 Environment	Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems (2002/2012)	ระดับความเข้ากันได้สำหรับความถี่ต่ำทำให้เกิดการรบกวนและเกิดสัญญาณรบกวนในส่วนกลางของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันต่ำ
IEC/EN	61000-2-4 Environment	Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances	ระดับความเข้ากันได้ โรงไฟฟ้าสำหรับความถี่ต่ำทำให้เกิดการรบกวน
IEC/TR	61000-2-6	Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances (1995/2011)	การกำหนดของระดับการส่งออกในแหล่งจ่ายไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าซึ่งพิจารณาว่าความถี่ต่ำทำให้เกิดการรบกวน
IEC/TR	61000-2-8	Voltage dips and short interruption on public electric power supply systems with statistical measurement results (2002/2012)	แรงดันตกและการรบกวนช่วงสั้นๆ บนระบบส่งกำลังไฟฟ้าส่วนกลางเกี่ยวกับสถิติการวัดผลลัพธ์ที่ได้
IEC/EN	61000-2-12	Compatibility level for low-frequency conducted disturbances and signaling in public medium-voltage power supply system (2003/2012)	ระดับความเข้ากันได้สำหรับความถี่ต่ำทำให้เกิดการรบกวนและสัญญาณในระบบส่วนกลางของระบบส่งแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
IEC/EN	61000-3-3 Limits	Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection (2008/2011)	ขีดจำกัดของการเปลี่ยนแปลงแรงดันแรงดันแกว่ง และวาบ ในส่วนกลางของระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับอุปกรณ์ที่พิกัดกระแส 16 A ต่อเฟส และ ไม่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการเชื่อมต่อ
IEC/TS	61000-3-4	Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A (1998/2015)	ขีดจำกัดของการส่งออกของกระแสฮาร์โมนิกในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับอุปกรณ์ที่มีพิกัดกระแสมากกว่า 16 A
IEC/TS	61000-3-5	Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 A (2009/2015)	ขีดจำกัดของแรงดันแกว่งและวาบในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงต่ำสำหรับอุปกรณ์ที่มีกระแสไฟฟ้ามากกว่า 75 A
IEC/TR	61000-3-6	Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV,HV and EHV power systems (2008/2012)	การกำหนดของการส่งออกจำกัดสำหรับการเชื่อมต่อของความผิดเพี้ยนของการติดตั้งที่ระบบไฟฟ้ากำลัง MV HV และ EHV
IEC/TR	61000-3-7	Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV,HV and EHV power systems (2008/2012)	ข้อกำหนดของการส่งออกจำกัดสำหรับการเชื่อมต่อของความแกว่งไปมาของการติดตั้งที่ระบบไฟฟ้ากำลัง MV HV และ EHV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
IEC/EN	61000-3-12	Limit for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ? 75 A and subject to conditional connection (2004/2010)	การจำกัดสำหรับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นโดยอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับส่วนกลางของระบบแรงดันต่ำกับกระแสขาเข้ามากกว่า 16 A และ 75 A อยู่ภายใต้เงื่อนไขของการเชื่อมต่อ
IEC/TR	61000-3-13	Assessment of emission limit for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems (2008/2012)	ข้อกำหนดของการส่งออกจำกัดสำหรับการเชื่อมต่อของความไม่สมดุลของการติดตั้งที่ระบบไฟฟ้ากำลัง MV HV และ EHV
IEC/EN	61000-4-4	Electrical fast transient/burst immunity test (2004/2011)	วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าช่วง fast transient โดยการทดสอบ
		IEC/EN 61000-4-5 Surge immunity test (2005/2012)	burst immunity test
IEC/EN	61000-4-6	Immunity to conducted disturbances. Induced by radio-frequency fields (2008/2013)	ความทนทานต่อการถูกรบกวนที่เกิดขึ้นโดยคลื่นความถี่วิทยุ
IEC/EN	61000-4-7	General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply system and equipment connected thereto (2009/2010)	ข้อแนะนำทั่วไปของฮาร์โมนิกส์และอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์และเครื่องมือการวัดสำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์เชื่อมต่อไปยังระบบ
IEC/EN	61000-4-11	Testing and measurement techniques. Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests (2004/2015)	การทดสอบและเทคนิคการวัด แรงดันตก การรบกวนช่วงสั้นๆ และการทดสอบความทนทานต่อแรงดันผันผวน
IEC/EN	61000-4-13	Testing and measurement techniques. Harmonics and interharmonics including mains signaling at a.c. power port, low frequency immunity tests (2009/2012)	การทดสอบและเทคนิคการวัด ฮาร์โมนิกส์และอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์รวมกับสัญญาณหลักที่พอร์ตกำลังไฟฟ้า AC ทดสอบความทนทานต่อความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
IEC/EN	61000-4-14	Testing and measurement techniques. Voltage fluctuation immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase (2009/2012)	การทดสอบและเทคนิคการวัด การทดสอบความทนทานต่อแรงดันแกว่งสำหรับอุปกรณ์เกี่ยวกับกระแสเข้าไม่เกิน 16 A ต่อเฟส
IEC/EN	61000-4-15	Testing and measurement techniques. Flickermeter. Functional and design specifications (2003/2010)	การทดสอบและเทคนิคการวัด Flickermeter การทำงานและการออกแบบโดยเฉพาะ
IEC/EN	61000-4-16	Testing and measurement techniques. Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz (2002/2014)	การทดสอบและเทคนิคการวัด การทดสอบสำหรับความทนทานที่ถูกทำ การรบกวนแบบทั่วไปในความถี่ช่วง 0 ถึง 150 kHz
IEC/EN	61000-4-17	Testing and measurement techniques. Ripple on d.c. input power port immunity test (2009/2011)	การทดสอบและเทคนิคการวัด Ripple บนการทดสอบความทนทานพอร์ตขาเข้าไฟฟ้า DC
IEC/EN	61000-4-27	unbalance, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase (2009/2012)	ความไม่สมดุล การทดสอบความทนทานสำหรับอุปกรณ์ที่กระแสขาเข้าไม่เกิน 16 A ต่อเฟส
IEC/EN	61000-4-28	Variation of power frequency, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase(2009/2012)	ความผันผวนของความถี่ของกำลังไฟฟ้า การทดสอบสำหรับอุปกรณ์ที่กระแสขาเข้าไม่เกิน 16 A ต่อเฟส
IEC/EN	61000-4-29	Voltage dips, shot interruptions and voltage variation dc. Input power port immunity test (2000/2012)	การทดสอบความทนทานของพอร์ตไฟฟ้า DC ต่อแรงดันตก การรบกวนช่วงสั้น และแรงดันผันผวน
IEC/EN	61000-4-30	Power quality measurement methods (2008/2012)	วิธีการวัดคุณภาพของกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
IEC/EN	61000-4-34	Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity test for equipment with mains current more than 16 A per phase	การทดสอบความทนทานแรงดันตกและการรบกวนช่วงสั้นๆและแรงดันผันผวนสำหรับอุปกรณ์ที่กระแสหลักมากกว่า 16 A ต่อเฟส
IEC/EN	61000-6-1	Immunity for residential, commercial and light-industrial environments (2005/2011)	ความทนทานสำหรับการมีอยู่แล้ว การติดต่อและการเพิ่มของอุตสาหกรรม
IEC/EN	61000-6-2	Immunity for industrial environments (2005/2011)	ความทนทานสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม
IEC	1727:1995	Photovoltaic (PV) Systems Characteristics of the Utility Interface	คุณสมบัติระบบ Photovoltaic ของการเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลัก

2.3.7 มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริด เช่น มาตรฐานคุณลักษณะของแรงดันมาตรฐานของอินเวอร์เตอร์ในการควบคุมระบบไฟฟ้า มาตรฐานฮาร์โมนิกส์ในโครงข่ายไฟฟ้า เป็นต้น สรุปเป็นตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
EN	50160	Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks (2007/2010)	คุณสมบัติแรงดันของการไฟฟ้าที่ถูกส่งโดยโครงข่ายระบบจำหน่ายส่วนกลาง
UL	1741	Inverters, Converters and Controllers for use in Independent Power Systems	อินเวอร์เตอร์ คอนเวอร์เตอร์ และการควบคุมสำหรับใช้ใน ระบบกำลังไฟฟ้าแบบอิสระ
GB/T	14549-93	Quality of electric energy supply--Harmonics in public supply network	คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ฮาร์โมนิกส์ในโครงข่ายไฟฟ้าส่วนกลาง
GB	12325-90	Quality of electric energy supply Admissible deviation of supply voltage	คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ยอมรับความแปรปรวนได้ของแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน	รหัส	เรื่อง	เนื้อหา
GB/T	18481-2001	Power quality--Temporary and transient overvoltages	คุณภาพกำลังไฟฟ้าชั่วคราวและแรงดันเกินในภาวะชั่วขณะ
GB	14285-93	Technical code for relaying protection and security automatic equipment	รหัสเทคนิค สำหรับ รีเลย์ป้องกันและอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยโดยอัตโนมัติ
GB	50052-95	Code for design of electric power supply systems	รหัสสำหรับการออกแบบของระบบไฟฟ้ากำลัง

2.4 ระบบไมโครกริดในต่างประเทศ

ในหัวข้อนี้จะแนะนำการใช้ระบบไมโครกริดในต่างประเทศ โดยจะประกอบด้วยประเทศ จีน เซเนกัล อเมริกาเหนือ สหราชอาณาจักร แคนาดา ญี่ปุ่น และเกาหลี โดยในแต่ละประเทศจะมีการเลือกใช้แหล่งกำเนิดพลังงานไม่เหมือนกัน มีเป้าหมายการใช้งานไม่เหมือนกันทำให้ระบบของในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน

2.4.1 ประเทศจีน

ประเทศจีนศึกษาและแบ่งประเภทของไมโครกริดออกเป็น 3 ประเภทดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ประเภทของระบบไมโครกริดในประเทศจีน

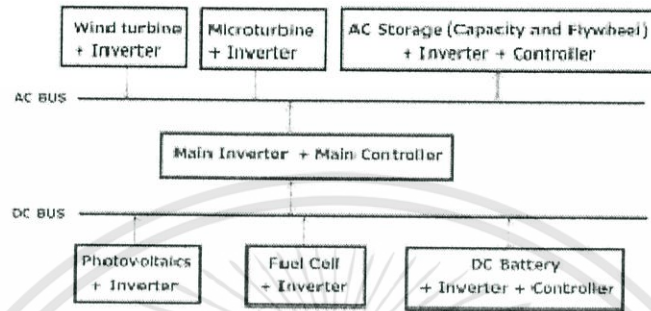
Type	Integrated level	Role	Suitable areas
Remote microgrid	Low & no impact on utilities	Independent system for remote electrification	Distant areas or islands
complement microgrid	Middle & little impact on utilities	A complement mainly for important loads	Where the large utility grid is mature
support microgrid	High & huge impact on utilities	A support for power system	Where renewable energy is rapidly developed

Remote microgrid หมายถึง ระบบไมโครกริดที่ทำงานเป็นโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล ไม่ต่อกับระบบของการไฟฟ้าแก้ไขปัญหาการจ่ายกำลังไฟฟ้าระยะไกลเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการส่งไฟฟ้าลงโดยการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างระบบเก็บสะสมพลังงานและแหล่งกำเนิดพลังงานภายในพื้นที่ (Distributed generator) เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาตามความต้องการไฟฟ้าภายในพื้นที่โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.17 จะเป็นการทำงานโดยจะมีบัสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Bus) และบัสของกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bus) มีการแบ่งระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับกระแสสลับที่ต่ออยู่กับบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

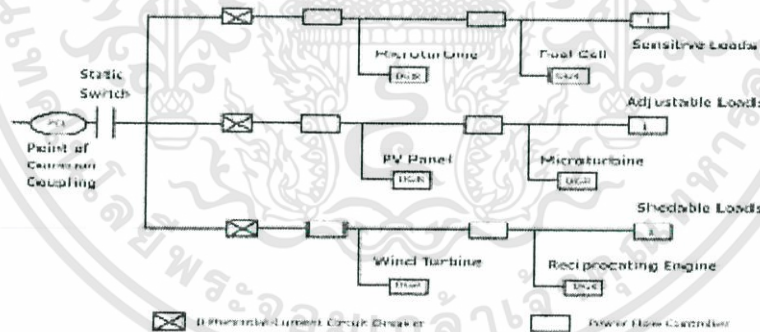
ข้อดีของระบบนี้คือ

1. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าเสมือน
2. ช่วยในการตอบสนองของต่อความต้องการของโหลดได้อย่างรวดเร็ว
3. ช่วยในการพิจารณาว่าช่วงไหนควรจะทำการเก็บสะสมพลังงานหรือจ่ายพลังงาน
4. การจ่ายกำลังไฟฟ้าทำงานสมดุลกับระบบและปรับความถี่ไฟฟ้าของระบบให้ดีขึ้น



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบระบบไมโครกริดที่ทำงานเป็นโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล [12]

Complement microgrids หมายถึง ระบบไมโครกริดที่ทำงานเป็นส่วนเสริมของระบบการไฟฟ้าเพื่อช่วยในเรื่องของคุณภาพของกำลังไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือของระบบเพื่อตอบสนองต่อโหลดที่เป็นแบบ sensitive loads หรือเป็นการทำงานแบบ grid-connected microgrids ดังรูปที่ 2.18 การที่จะเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงาน Complement microgrids ก็จะสามารถส่งกำลังไฟฟ้าและพลังงานความร้อนตามความต้องการของผู้ใช้โดยตรง



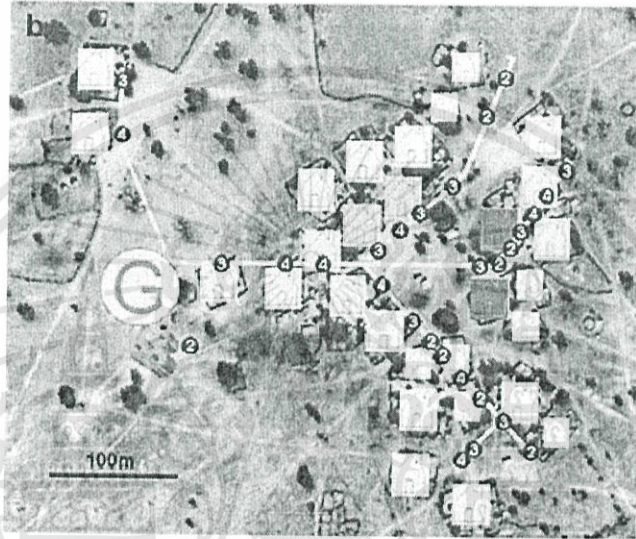
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของระบบไมโครกริดเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า [12]

การทำงานหากเกิดระบบไฟฟ้าขัดข้องสามารถเปลี่ยนการทำงานจากระบบเชื่อมต่อกับกริดการไฟฟ้าเป็น island modes เพื่อแก้ไขปัญหาให้ผู้ใช้สามารถใช้ไฟฟ้าได้ในช่วงที่ไฟฟ้าขัดข้อง

Support microgrids จะเป็นการทำงานเชื่อมต่อนระหว่างไมโครกริดกับระบบการไฟฟ้าที่สูงกว่าแบบ Complement microgrids ดังนั้นจึงมีเป้าหมายและพื้นที่ในการใช้งานแตกต่างกัน ความสำคัญของระบบนี้จะช่วยให้การทำงานของระบบไมโครกริดเป็นส่วนหนึ่งของกริดไฟฟ้าโดยเหมือนกับเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้การไฟฟ้า โดยจะเพิ่มคุณภาพทางไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้นเพื่อจ่ายให้กับ sensitive load ภายในพื้นที่ ทำให้ระบบของการไฟฟ้ามีเสถียรภาพสูง

2.4.2 ประเทศเซเนกัล

อยู่ทางตะวันตกของทวีปแอฟริกาลดค่าใช้จ่ายจากการนำเข้าพลังงานโดยใช้พลังงานทดแทนพบว่า PV ใช้งานได้ดีมากเนื่องจากเป็นประเทศที่มีแสงแดดตลอดทั้งปีได้มีแนวคิดให้แต่ละหลังคาเรือนมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า PV ขนาด 50 W จำนวน 1000 หลังคาเรือนและติดตั้งบริเวณบนเสาไฟถนน ประกอบกับการใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีเซลในระบบไมโครกริดของเซเนกัลนำมาใช้เป็นระบบผลิตกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริด โดยทำงานร่วมกับ PV จะช่วยจ่ายดังรูปที่ 2.19 กำลังไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานสูง



รูปที่ 2.19 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศเซเนกัล [17]

จากรูปตัวอักษร G สีเขียวแทนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและที่เป็นรูปบ้านนั้นแทนแหล่งกำเนิดของ PV ในแต่ละหลังคาเรือนโดยเชื่อมต่อกันเป็นระบบโครงข่าย

ศึกษาถึงข้อดีและข้อเสียของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้างดังรูปที่ 2.20 ข้อความที่เป็นสีเขียวและสีแดงคือเงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณา

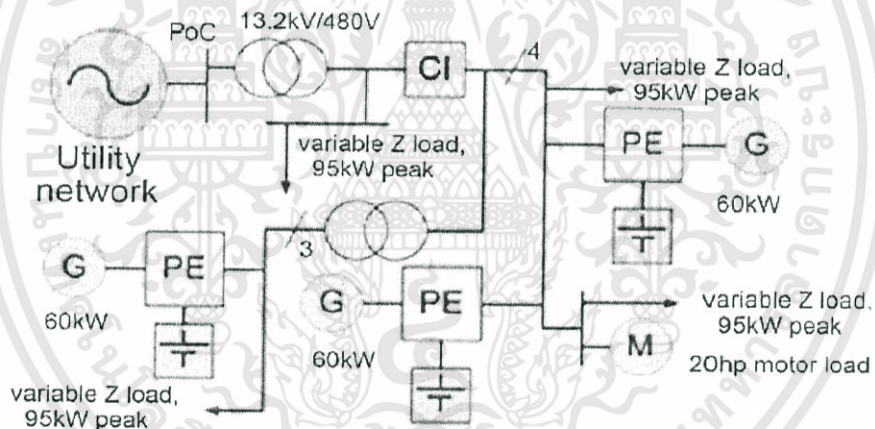
SOLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Renewable • Great potential in Senegal • Regular distribution 	<ul style="list-style-type: none"> • Costs • Need for batteries
DIESEL GENERATOR	<ul style="list-style-type: none"> • Availability • Low initial investment • Easy installation and transportation 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuel costs • Maintenance • Noise and pollution
WIND	<ul style="list-style-type: none"> • Renewable • Space/power ratio 	<ul style="list-style-type: none"> • Previous wind analysis • Location close to resource • Variability/Cost • Irregular distribution in Senegal
BIOMASS	<ul style="list-style-type: none"> • Renewable • Great potential in Senegal 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficult gathering • Need for previous processing

รูปที่ 2.20 การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแหล่ง [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ประเทศอเมริกาเหนือ

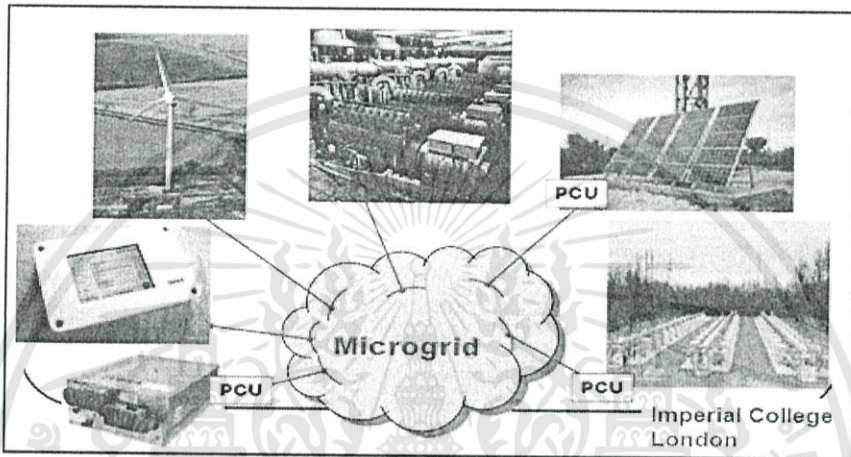
หน่วยงาน CERT (the consortium for electric reliability technology solution) เป็นที่อยู่ในสหรัฐอเมริกาที่เริ่มโครงการไมโครกริด ซึ่งเป็นการร่วมมือระหว่าง AEP, TECOGEN, northern power system และ S&C Electric Co, Sandia National Laboratories and the University of Wisconsin ประกอบไปด้วย DG หลายชนิด และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ไทริสเตอร์ ดังรูป 2.18 เป็นส่วนของอุปกรณ์พื้นฐานใช้ในการสวิตช์แยกออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยเป้าหมายหลักของการวิจัยเพื่อที่จะต้องการให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small distributed generator) สามารถเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในพื้นที่ได้ง่ายขึ้น โดยผลลัพธ์คือ เราไม่สามารถลดจำนวนวิศวกรในพื้นที่ลงเนื่องจากเราสามารถใชระบบไมโครกริดในการควบคุม เราสามารถกำหนดการทำงานของระบบไมโครกริดให้ทำงานอัตโนมัติและราบเรียบระหว่างการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายและระบบไม่เชื่อมต่อกับโครงข่าย (Islanded mode) และวิธีการป้องกันของระบบไมโครกริดจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสตัวจริงและระบบไมโครกริดยังสามารถกำหนดแผนการควบคุมเสถียรภาพความถี่และแรงดันของระบบโดยไม่ต้องสื่อสารกับระบบไฟฟ้าในส่วนกลาง



รูปที่ 2.21 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศอเมริกาเหนือ [3]

2.4.4 ประเทศอังกฤษ

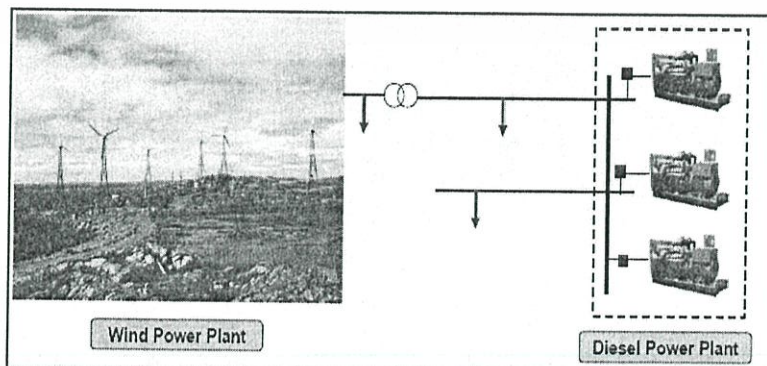
ในโครงการไมโครกริด จัดทำให้เป็นระบบ Distributed Energy Resources (DER) มีทั้งระบบโซลาร์เซลล์ ระบบกังหันลม เซลล์เชื้อเพลิง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก รวมไปถึงระบบจัดเก็บพลังงาน แบตเตอรี่, ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ และตัวเก็บพลังงานจลน์ มีการใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อความคุม ปริมาณกระแส และแรงดันภายในไมโครกริดดังรูปที่ 2.22 นำมิเตอร์อัจฉริยะมาใช้ตอบสนองต่ออุปกรณ์ได้อย่างรวดเร็วและช่วยจัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องความต้องการได้ทันเวลา



รูปที่ 2.22 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศอังกฤษ [10]

2.4.5 ประเทศแคนาดา

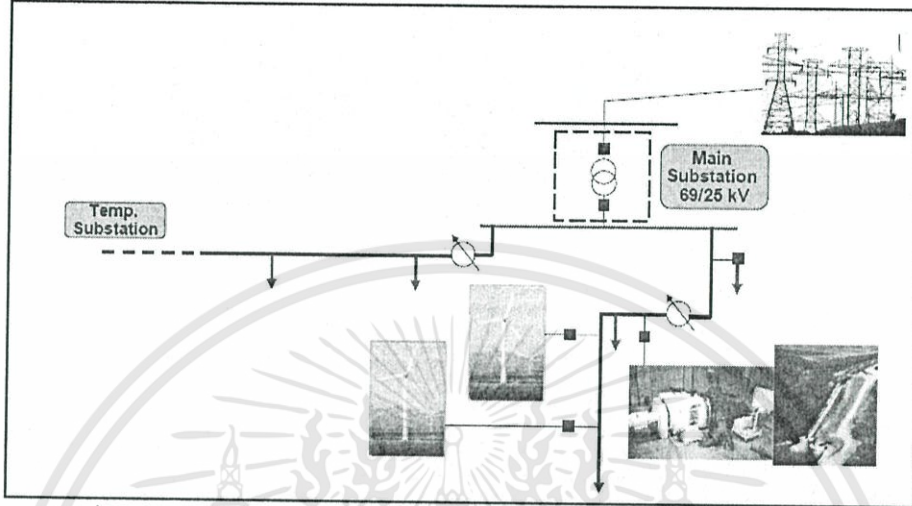
ได้ทำการศึกษาระบบไมโครกริดทั้งหมด 3 กรณี เพื่อลดค่าใช้จ่าย เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เพิ่มความน่าเชื่อถือ โดยกรณีแรกระบบไมโครกริดของผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม จ่ายพลังงานร่วมกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โดยจะเน้นการใช้พลังงานจากกังหันลม ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะช่วยจ่ายชดเชยในส่วนที่เหลือเพื่อควบคุมแรงดันและความถี่ไฟฟ้า มีการจัดการพลังงาน (power sharing and load following) ดังรูปที่ 2.23 โดยความการสนับสนุนของ CIGRE Taskforces, IEA collaborations และ Microgrid R&D Symposium series



รูปที่ 2.23 กรณีศึกษาที่ 1 ของระบบไมโครกริดของประเทศแคนาดา [9]

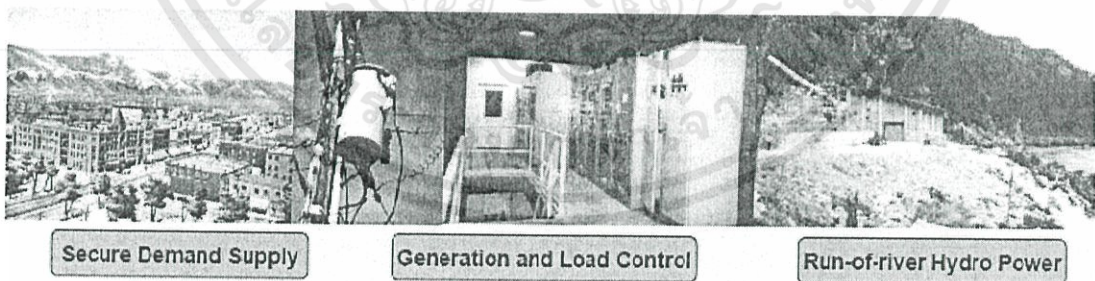
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากรณีศึกษาที่ 2 เป็นการทำงานขนานกันระหว่างระบบไมโครกริดกับโครงข่ายไฟฟ้า โดยกำหนดให้มีแหล่งกำเนิดพลังงานน้ำขนาด 3 MW และ แหล่งกำเนิดพลังงานลม 3.78 MW กำหนดให้มีโหลดภายในพื้นที่ 4.82 MW โดยมีโครงข่ายดังรูปที่ 2.24 จากรูปจะทำการวิเคราะห์การไหลไฟฟ้า ทั้งสองทิศทางและควบคุมกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าบนสายส่งเพื่อเป็นการวางแผนต่อไปในการทำงานของระบบไมโครกริดแบบ Island mode



รูปที่ 2.24 กรณีศึกษาที่ 2 ของระบบไมโครกริดของประเทศแคนาดา [9]

การศึกษากรณีศึกษาที่ 3 เป็นการทำงานโดยเจตนาให้ระบบทำงานเป็นโรงข่ายแบบจ่ายพลังงานด้วยตัวเองโดยไม่เชื่อมต่อกับการไฟฟ้า (Intentional islanded network) โดยให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสูงสุด 8.6 MVA จ่ายโหลดที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด 3 MVA โดยมีการถ่ายโอนพลังงานระหว่างกริดระบบไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำดังรูปที่ 2.25 ระบบสามารถทำงานในช่วงสภาวะชั่วคราวโดยใช้หลักการทางวิศวกรรมทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและโหลดภายในพื้นที่โดยมีการสื่อสารกับระบบการไฟฟ้าเพื่อแสดงสถานะการทำงานของระบบ

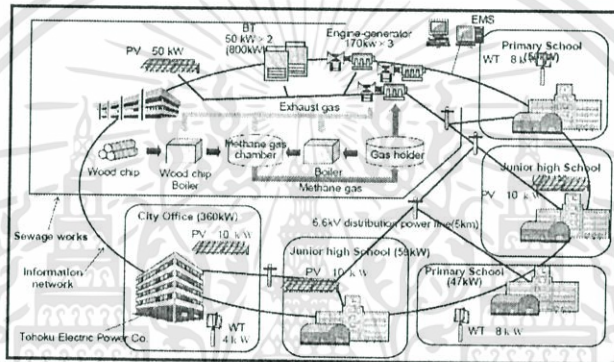


รูปที่ 2.25 กรณีศึกษาที่ 3 ของระบบไมโครกริดของประเทศแคนาดา [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ประเทศญี่ปุ่น

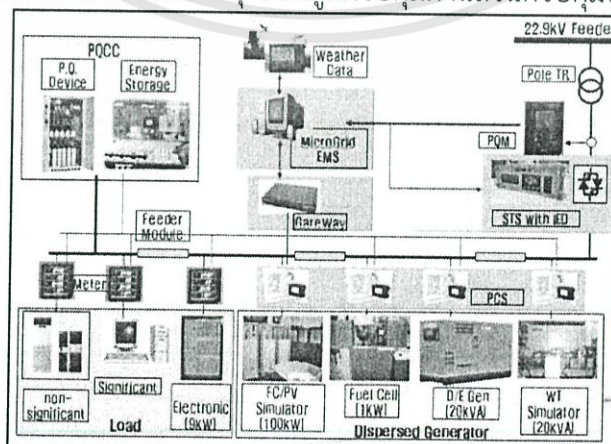
ไมโครกริดในญี่ปุ่นส่วนใหญ่เป็น โซลาร์เซลล์ และ wind turbine โครงการไมโครกริดทั้งหมดของญี่ปุ่นถูกก่อตั้งโดย NEDO ซึ่งมี 3 โครงการ โครงการแรกเริ่มต้นในปี 2005 ที่เมือง Aichi ภายหลังจากย้ายไปที่เมือง Tokoname ในปี 2006 เป็นระบบประกอบไปด้วย fuel cell แผงโซลาร์เซลล์ NaS แบตเตอรี่ storage โครงการที่สองที่ Kyotango โดยให้ biogas power plant ถูกเชื่อมต่อกับ โซลาร์เซลล์ 2 ระบบ และ wind turbine โครงการที่สามเกิดขึ้นที่ Hachinohe โดย Mitsubishi Research Institute และ Mitsubishi electric เป็นการจ่ายโหลดด้วย โซลาร์เซลล์ กังหันลม เครื่องยนต์แก๊ส และ ระบบสะสมพลังงาน ในการติดตั้งระบบไมโครกริดของญี่ปุ่นจะเริ่มจากการติดตั้งเพียงเพื่อใช้กับบ้านหรือโรงเรียนขนาดเล็กเพียงอย่างเดียวก่อน จากนั้นจึงขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าและขอบเขตของโหลดให้เพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 2.26 เมื่อแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากพอที่จะจ่ายให้กับทั้งระบบจึงเปลี่ยนเป็นไมโครกริดที่สามารถทำงานขนานไปกับโครงข่ายไฟฟ้าหรือจ่ายไฟฟ้าแยกจ่ายโครงข่ายเดิมได้



รูปที่ 2.26 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศญี่ปุ่น [13]

2.4.7 ประเทศเกาหลี

















โครงการแรกในเกาหลีเกิดขึ้นโดยหน่วยงาน Korean energy research institute (KERI) ซึ่งประกอบด้วยแหล่งผลิตพลังงานหลายชนิด เช่น โซลาร์เซลล์ เซลล์เชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ซึ่งถูกต่อเข้ากับระบบสะสมพลังงานและอุปกรณ์ คุณภาพทางไฟฟ้าที่เกาะเจอได้ถูกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะเป็นพื้นที่ที่มีทรัพยากรพลังงานทดแทนมาก ลมในเกาะสามารถผลิตพลังงานได้ถึง 19MV และได้เพิ่มเป็น 230MV ในปี 2009 ในระบบไมโครกริดจะมีการแบ่งย่อยไปเป็นส่วนๆ ทั้งส่วนเก็บข้อมูล แหล่งจ่าย และโหลดโดยทุกส่วนถูกควบคุมผ่านส่วนควบคุมใหญ่ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 รูปแบบระบบไมโครกริดของประเทศเกาหลี [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 รูปแบบไมโครกริดในแต่ละประเทศ

		ตารางรูปแบบไมโครกริดในแต่ละประเทศ						
		 Senegal	 U.S.	 U.K.	 Canada	 China	 Japan	 Korea
	solar	x	x	x	x	x	x	x
	hydro		x		x	x		
	wind	x	x	x	x	x	x	x
	fuel cell		x	x			x	x
	micro-turbines		x	x		x		
	biomass	x				x		
	biogas					x		
	diesel	x			x		x	x
	nuclear		x			x		

เครื่องหมาย x หมายถึง ประเทศนั้นมีแหล่งจ่ายชนิดที่ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การจัดการพลังงานและการควบคุม

ไมโครกริดต้องการควบคุมขนาดใหญ่เพื่อให้มั่นใจว่าระบบมีความปลอดภัย ทำงานได้อย่างเหมาะสม และสามารถเปลี่ยนจากการทำงานรูปแบบหนึ่งไปยังการ ทำงานรูปแบบอื่นได้อย่างราบรื่น โดยปราศจากการรบกวนระบบซึ่งการควบคุมสิ่งเหล่านั้นจะถูกควบคุมจาก Central controller (CC) และส่งต่อให้ Microsource controller (MCs) ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และอุปกรณ์สะสมพลังงาน การควบคุมและการประสานงานผ่าน MCs และ Central controller (CC) มีหน้าที่ในการทำงานมีดังนี้

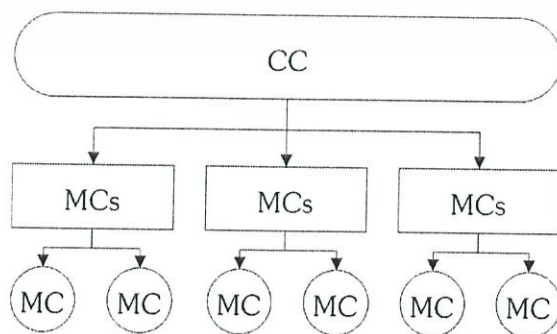
2.5.1 ตัวควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microsource controller, MCs)

หน้าที่หลักของ MCs คือการควบคุมทิศทางกระแสของกำลังไฟฟ้า และรูปแบบ load-end voltage ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ให้ผลตอบสนองต่อการรบกวนและการเปลี่ยนแปลงโหลดใดๆอย่างอิสระ อย่างอิสระหมายถึงปราศจากการเชื่อมต่อกับ CC โดย MCs ยังมีส่วนร่วมในการจัดการการผลิตไฟฟ้าในทางเศรษฐศาสตร์ การติดตามและการจัดการภาระไฟฟ้า โดยควบคุมอุปกรณ์สะสมพลังงานและเครื่องกำเนิดพลังงานขนาดเล็ก เพื่อจ่ายให้ในระบบให้เหมาะสมกับส่วนของ MCs ที่เหลือ

ปัจจัยสำคัญที่สุดของ MCs คือความเร็วในการตอบสนองต่อการตรวจสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยไม่คำนึงถึงข้อมูลของ MCs ของเครื่องจักรไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่ง MCs จะควบคุมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าและช่วยในการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอันอื่นที่อยู่ในระบบไมโครกริด คุณสมบัติอื่นๆ คือ MCs ตัวแรกจะไม่ได้ต่อกันอย่างอิสระกับ MCs ตัวอื่นๆ ในไมโครกริดและจะอยู่เหนือคำสั่งของ CC ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2.5.2 ศูนย์กลางการควบคุม (Central controller)

แรงดันและความถี่ผ่านการควบคุมแบบ Power-frequency (P-f) CC ยังดำเนินการประสานการป้องกันจะทำงานควบคุมทั้งหมดของการดำเนินการและการป้องกันของไมโครกริดผ่าน MCs มีจุดประสงค์ เพื่อการบำรุงรักษาและจัดหากำลังไฟฟ้าส่งจ่ายและกำหนดแรงดันของ MCs ทั้งหมด CC ถูกออกแบบเพื่อการทำงานโดยอัตโนมัติซึ่งมีการเตรียมการสำหรับการทำงานด้วยมือ (Manual) เมื่อมีความจำเป็นดังรูป 2.28



รูปที่ 2.28 การควบคุมระบบไมโครกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานหลักส่วนที่สองของ CC คือ Energy Management Module (EMM) และ Protection Co-ordination Module (PCM) ในที่นี้จะอธิบายในส่วนของ EMM ซึ่งจะทำการจัดการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายให้กับระบบ แรงดันและความถี่ของแต่ละ MCs ซึ่งจะทำงานประสานผ่านการสื่อสารแบบ state-of-the-art และเทคนิคการออกแบบอย่างฉลาด ค่าที่ตั้งไว้จะถูกตัดสินใจให้สอดคล้องกับการทำงานตามความต้องการของระบบไมโครกริด

EMM จะทำงานดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ส่งภาระความร้อนและไฟฟ้าให้เพียงพต่อผู้ใช้
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กดำเนินการเหมาะสมตามข้อกำหนดกริดการไฟฟ้า
3. ความพึงพอใจที่จะทำให้ระบบส่งออกของ Greenhouse gas ลดลง
4. ทำการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดเพื่อใช้จ่ายโหลด

หน้าที่ของ CC ในการทำงานแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก เป็นดังนี้

1. ระบบสามารถตรวจสอบข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและภาระไฟฟ้าได้ถูกต้อง
2. การประเมินการทำงานแต่ละชั้นและการประเมินผลความปลอดภัย
3. การดำเนินการชิงโครไนซ์กับระบบกำลังไฟฟ้าหลักที่รักษาการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้า

หน้าที่ของ CC ในการทำงานแบบ Island mode

1. ทำการและควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของแรงดัน และความถี่ที่สิ้นสุดโหลด
2. จะทำการขีดขวางการรับโหลดเข้ามาหรือการปลดโหลดทิ้ง จะใช้ประโยชน์ในการจัดการอุปกรณ์สะสมพลังงานเพื่อช่วยสนับสนุนในการรักษาสมดุลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่บัส
3. การกลับมาเริ่มต้นทำงานใหม่จะทำให้มั่นใจได้ว่าระบบนั้นถูกปรับปรุงให้เชื่อถือได้ และมีความต่อเนื่องของการทำงาน
4. การเปลี่ยนไมโครกริดให้ทำงานในช่วงเชื่อมต่อกับกริดการไฟฟ้าหลังจากที่กริดไฟฟ้าหลักนั้นถูกฟื้นฟูจะไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของกริดการไฟฟ้า

2.5.3 ฟังก์ชันควบคุมสำหรับตัวควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

CC และ MCs จะทำงานประสานกันโดยมีรายละเอียดตามความข้างต้น ซึ่งหน้าที่หลักของ MCs จะทำการรักษาคุณภาพของกำลังไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ผ่าน Power-frequency Control (P-f), Voltage (Q-V) Control และการประสานการป้องกันไปยัง CC

2.5.3.1 การควบคุม กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอาจจะเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสตรง เช่น โซลาร์เซลล์ เซลล์เชื้อเพลิง และ แบตเตอรี่ หรืออาจเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสสลับ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และกังหันลม สำหรับกรณีแรกเราจะต้องมีการแปลงความถี่โดยตรงเป็น AC P-f (50-60 Hz) ส่วนกรณีที่สองแหล่งกำเนิดแบบ AC source จะมีความถี่ที่ไม่มาตรฐานจึงถูกเรียงกระแสเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและทำการแปลงกลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยแปลงผ่านคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทั้งสองกรณี การแปลง DC เป็น AC จะแปลงผ่านอินเวอร์เตอร์ที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์กำลังดังรูปที่

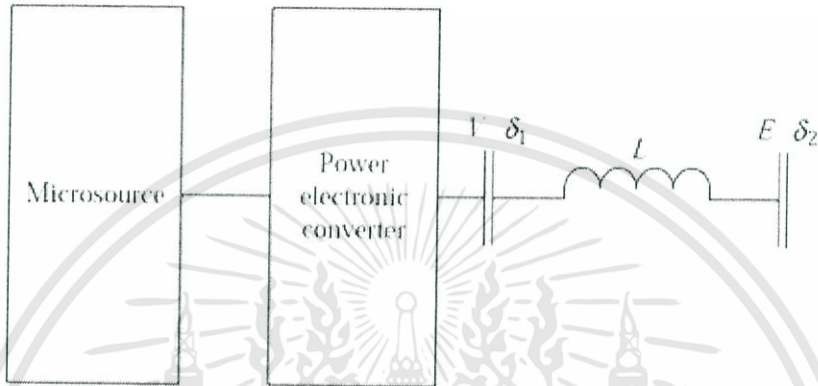
สูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$P = \frac{3VE}{2X} \sin \delta \quad 2.1$$

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

โดย V คือ ขนาดของแรงดัน
 δ คือ มุมเฟสของแรงดัน
 P คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหล
 Q คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหล
 E คือ ขนาดแรงดันที่ Slack bus

รูปที่ 2.29 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ โดยมีอินเวอร์เตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในระบบคอนเวอร์เตอร์ จะควบคุมขนาดแรงดัน (V) และมุมเฟส δ_1 เอาร์ทพุตที่บัสหนึ่งคือ $V \angle \delta_1$ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับบัสระบบไมโครกริดหรือบัสที่สองของระบบที่มีแรงดันเท่ากับ $E \angle \delta_2$ โดยผ่านอินดักเตอร์ของรีแอกแตนซ์ X โดยปกติ โดย power angle δ คือ $\delta = \delta_1 - \delta_2$ โดยการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นถูกควบคุมโดยการควบคุม δ และกำลังไฟฟ้าเสมือนจะถูกควบคุมโดย V

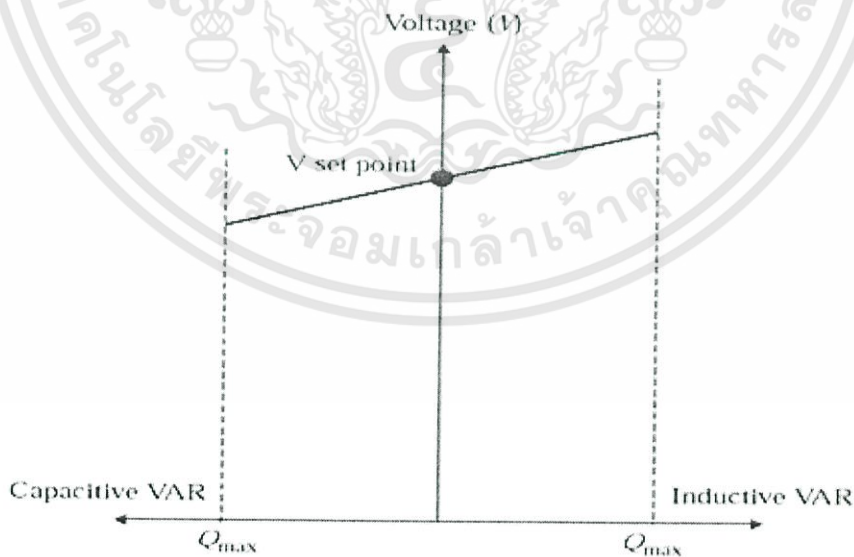


รูปที่ 2.29 แบบการเชื่อมต่อบัสในการคำนวณ [6]

2.5.3.2 การควบคุมแรงดัน

การควบคุมแรงดันโดยการใช้ voltage-reactive power (V-Q) droop-controllers

ดังรูป 2.30



รูปที่ 2.30 คุณลักษณะสำหรับการควบคุม V-Q Droop [6]

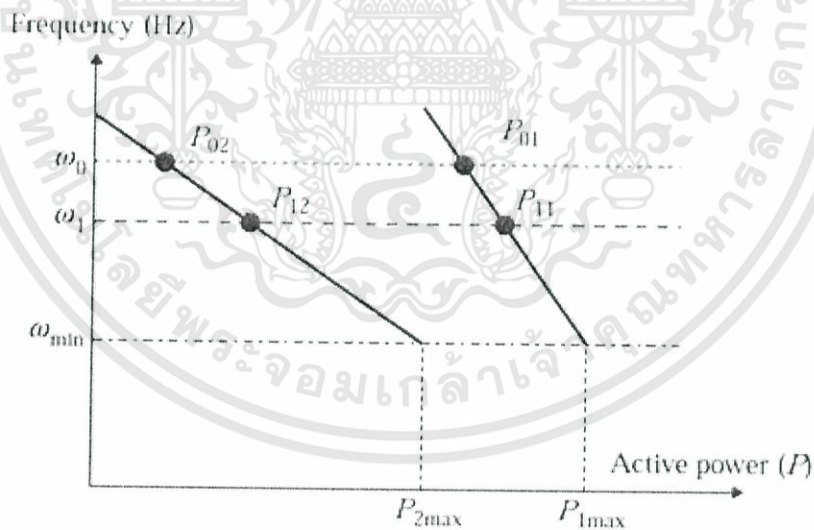
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยฟังก์ชันของการควบคุมคือการเพิ่มแรงดันที่จุด set point เมื่อกระแสแอกทีฟของ Microsource กลายเป็นอินดักทีฟ และจุด set point จะลดลงเมื่อกระแสไฟฟ้านั้นกลายเป็น คาร์ปาซีทีฟ กำลังไฟฟ้าเสมือนมีค่าจำกัดโดยถูกกำหนดจากอัตราของ VA (VAR; S) ของ Inverter และ กำลังไฟฟ้าจริง (P) ซึ่งเอาพุดท์ที่ออกมามีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$Q_{\max} = \sqrt{S^2 - P^2} \quad 2.3$$

2.5.3.3 การแบ่งโหลดผ่าน P-f control

P-f control จะเปลี่ยนจุดการทำงานของ Microsource ให้ได้รับกำลังไฟฟ้าสมดุลที่โหลดใหม่จากรูป จะเป็นการยกตัวอย่างกรณีสอง Microsource ทำงานที่จุดความถี่ต่ำสุดซึ่งมีกำลังสูงสุดที่ $P_{1\max}$ และ $P_{2\max}$ ในการทำงานแบบ grid-connect Microsource จะทำงานที่ความถี่ฐานที่ส่งจาก P_{01} และ P_{02} ตามลำดับ ซึ่งในการเปลี่ยน Load demand Microsource จะทำงานที่ความถี่แตกต่างกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Power angle และความถี่ของการทำงานจะเลื่อนไปต่ำกว่าค่าปกติขึ้นกับสัดส่วนที่แตกต่างของการแบ่งโหลดซึ่งเป็นคุณลักษณะของ P-f droop ดังนั้นเมื่อความถี่ตกลงจึงต้องมีตัวควบคุมทำให้ความถี่นั้นมีค่าที่พิกัดของความถี่โดยมีคุณสมบัติ P-f droop ดังรูป 2.31

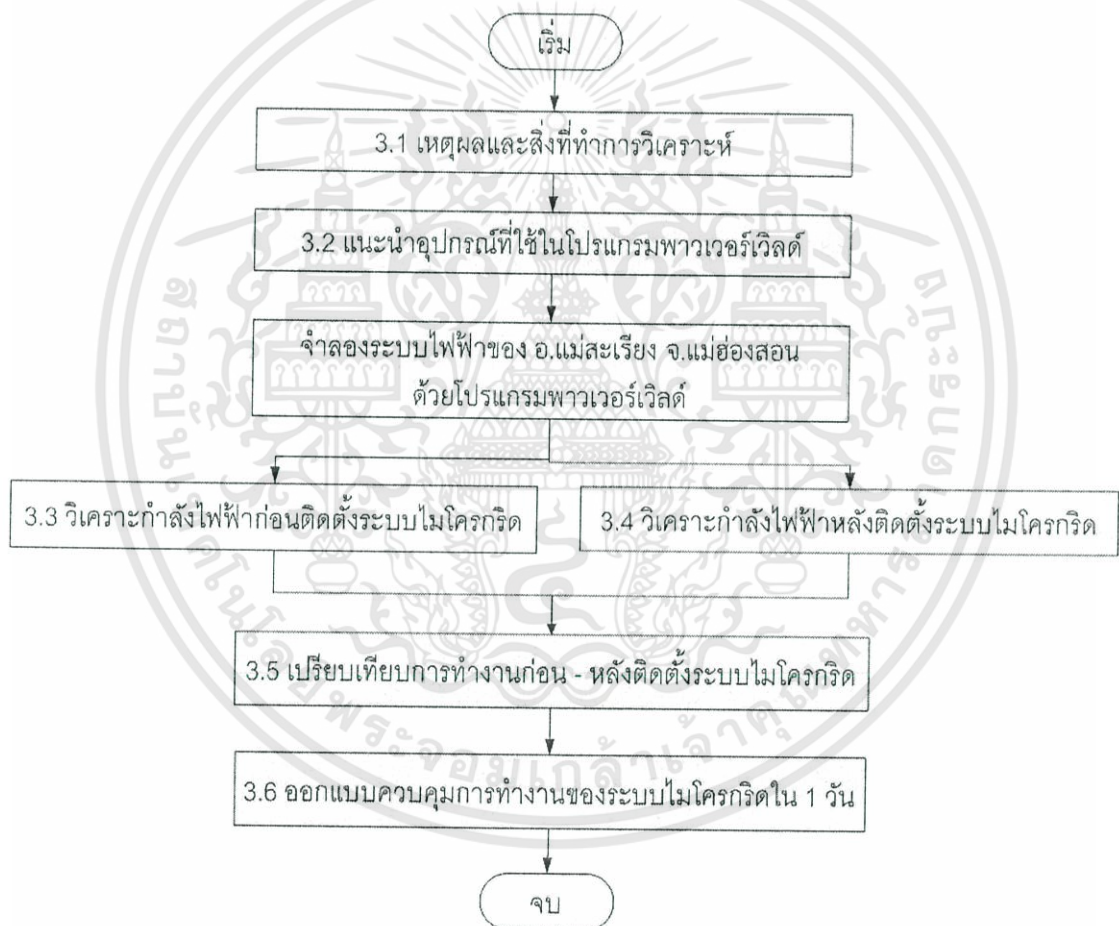


รูปที่ 2.31 กราฟการควบคุมเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงกับความถี่ [6]

บทที่ 3

การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์

ในการศึกษาแบบจำลองด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์จะวิเคราะห์ใน 2 รูปแบบ คือ ก่อนและหลังการติดตั้งระบบไมโครกริด เพื่อให้เข้าใจรูปแบบ ทิศทางการไหลของกระแส มีการแบ่งเป็นสถานการณ์ต่างๆ โดยสมมุติให้มีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แล้วสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าของ Hot Substation เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าของระบบไมโครกริดมีการเปลี่ยนแปลงไป กำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่ต้องรับเข้ามาจ่ายภายในระบบเป็นกำลังไฟฟ้าที่มาจากกริดการไฟฟ้า เพื่อทำการคำนวณหากำลังไฟฟ้าในระบบไมโครกริดที่ทำงานในลักษณะ Island แผนผังโครงสร้างของบทที่ 3 แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังโครงสร้างของบทที่ 3

3.1 เหตุผลและสิ่งที่ทำการวิเคราะห์

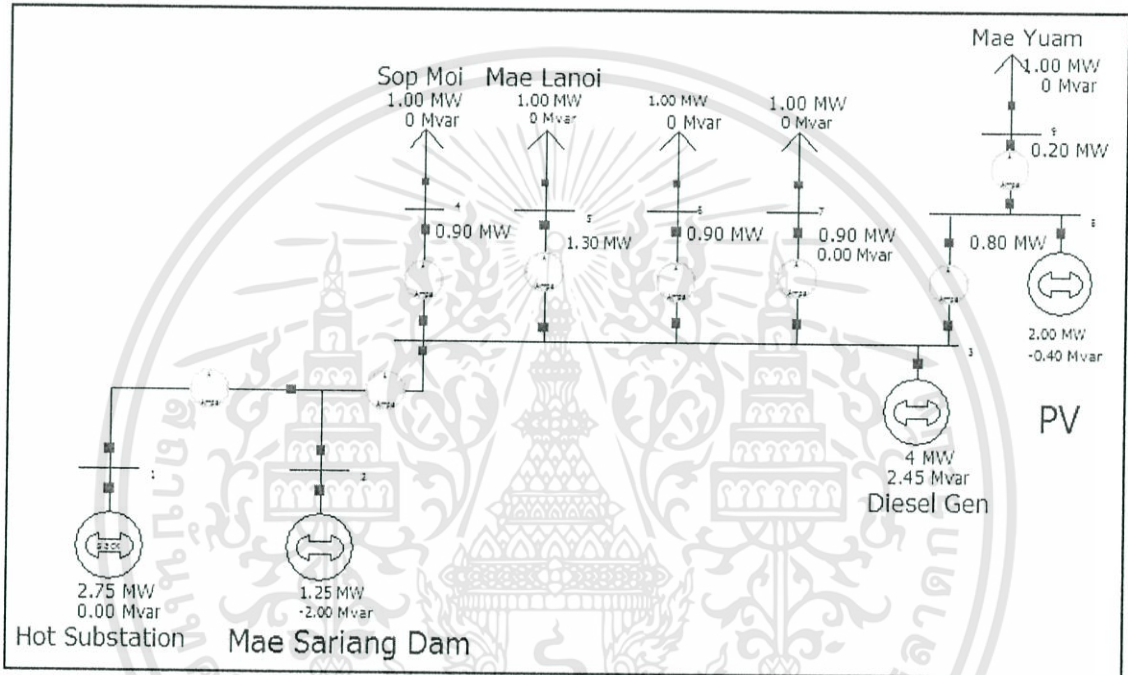
เนื่องจากโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์จะมีการให้เซตค่าของแหล่งจ่ายแต่ละแหล่งได้โดยตรง และมีการใส่ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งด้วยเพื่อทำการวิเคราะห์ทิศทางกระแส โดยแสดงเป็นรูปลูกศร สีเขียวเคลื่อนที่ไปในแนวของทิศของกระแส และขนาดของลูกศรก็เป็นตัวแสดงให้เห็นความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของขนาดของกระแสในแต่ละสายส่ง มีการแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออก-รับเข้าของแต่ละแหล่งจ่าย กับแต่ละโหลดเพื่อให้เห็นชัดเจน อีกทั้งยังมีฟังก์ชันของการแสดงค่าพารามิเตอร์ แรงดันในแต่ละบัส อีกด้วย ทำให้การวิเคราะห์พาวเวอร์เวิลด์เหมาะสมที่จะใช้คุณลักษณะของระบบกำลังไฟฟ้าของทั้งระบบเป็นอย่างดี

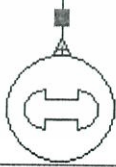



3.2 แนะนำอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์

จากรูปที่ 3.2 เป็นรูปของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบไมโครกริดเพื่อการหาค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละจุด



รูปที่ 3.2 รูปตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์

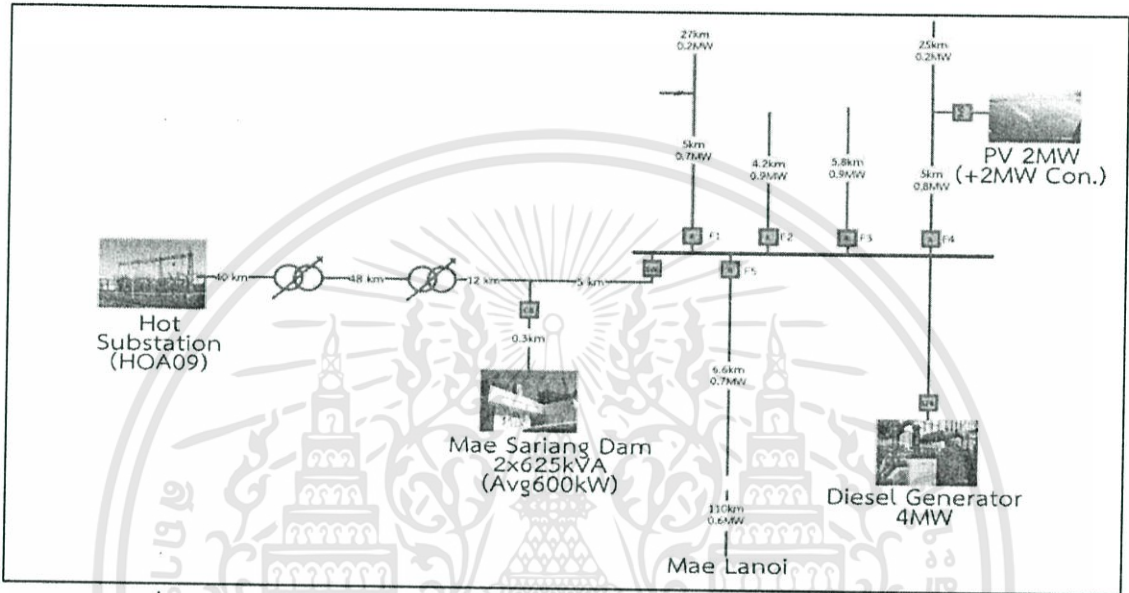
ตารางที่ 3.1 รูปภาพอุปกรณ์ของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์

ภาพ	อุปกรณ์	ภาพ	อุปกรณ์
	แหล่งกำเนิดไฟฟ้า		โหลด
	บัส		สายส่ง

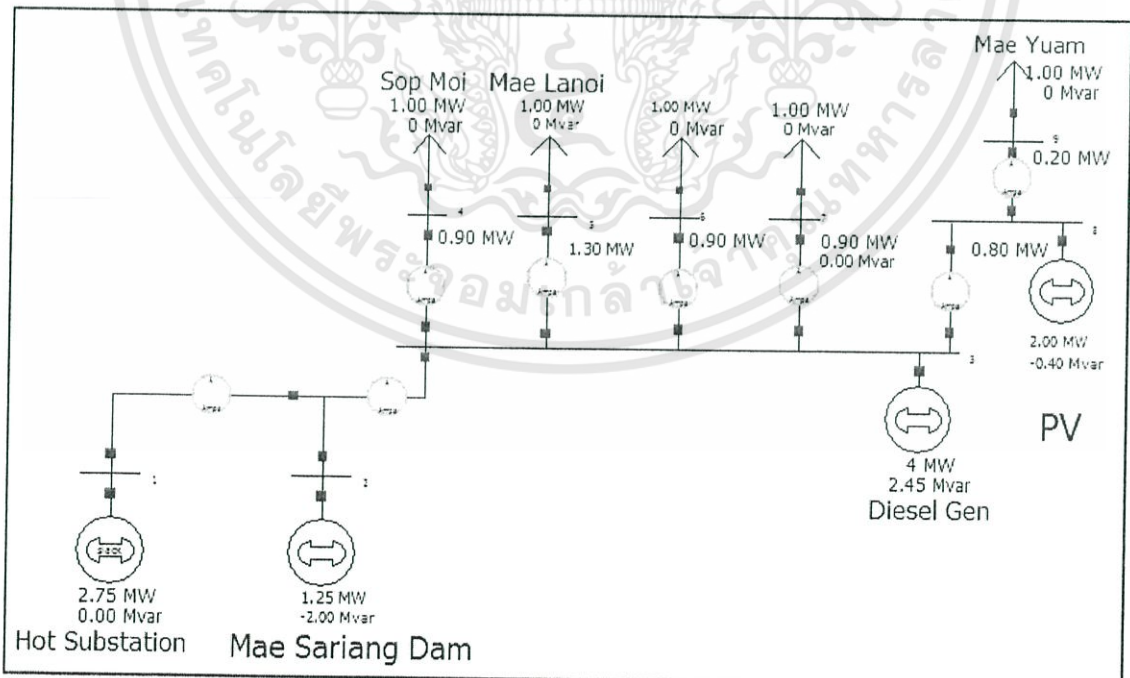
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบไมโครกริด

รูปที่ 3.3 เป็นรูปของระบบไฟฟ้าจริงที่ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดที่เราจะทำการศึกษาศึกษาและวิเคราะห์ โดยเราจะจำลองได้เป็นระบบไฟฟ้าในโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ได้ดังรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากของจริงเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในโปรแกรม และกำหนดให้ Hot Substation เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่สามารถจ่ายกำลังได้เพียงพอต่อความต้องการของโหลด



รูปที่ 3.3 ระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริด



รูปที่ 3.4 แบบจำลองระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริด

จากรูปที่ 3.3 ระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก่อนทำการจำลองการติดตั้งระบบไมโครกริดเพื่อทำการวิเคราะห์ตามสถานการณ์เป็น 5 กรณี เพื่อดูค่ากำลังไฟฟ้าที่ Hot Substation เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องส่งจ่ายออกมาเมื่อ PV, Mae Sariang Dam และ Diesel Generator ทำงานในลักษณะต่าง ๆ กัน
แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้หลังการติดตั้งระบบไมโครกริดโดย

กรณีที่ 1 แหล่งจ่ายทั้งหมดทำงานที่พิกัด และรับไฟฟ้าเพิ่มจาก Hot Substation

กรณีที่ 2 PV ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า แต่แหล่งจ่ายอื่นทำงานที่พิกัด

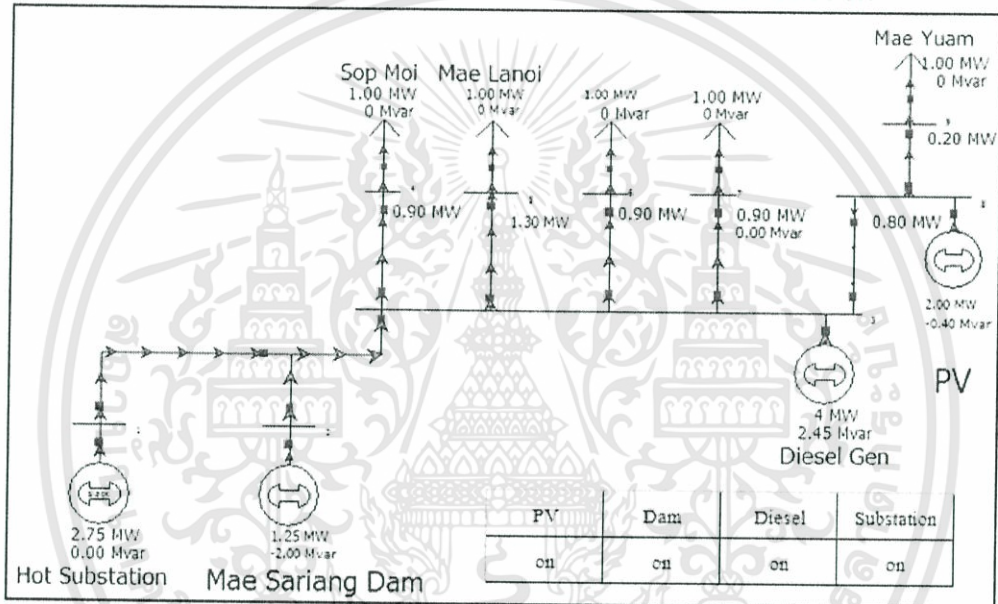
กรณีที่ 3 Mae Sariang Dam ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า แต่แหล่งจ่ายอื่นทำงานที่พิกัด

กรณีที่ 4 PV, Mae Sariang Dam ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ Diesel Generation ทำงานที่พิกัด

กรณีที่ 5 รับไฟฟ้าจาก Hot Substation เพียงอย่างเดียว

สามารถสร้างเป็นแบบจำลองได้ดังนี้

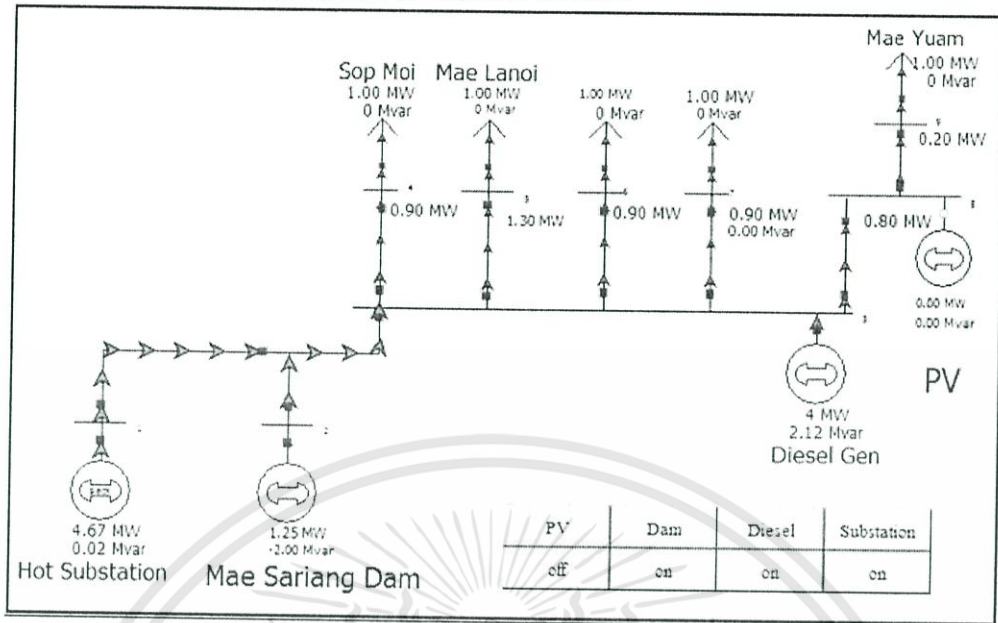
กรณีที่ 1 คือแหล่งจ่ายทั้งหมดทำงานที่พิกัด และรับไฟฟ้าเพิ่มจาก Hot Substation



รูปที่ 3.5 แบบจำลองระบบไฟฟ้าก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 1

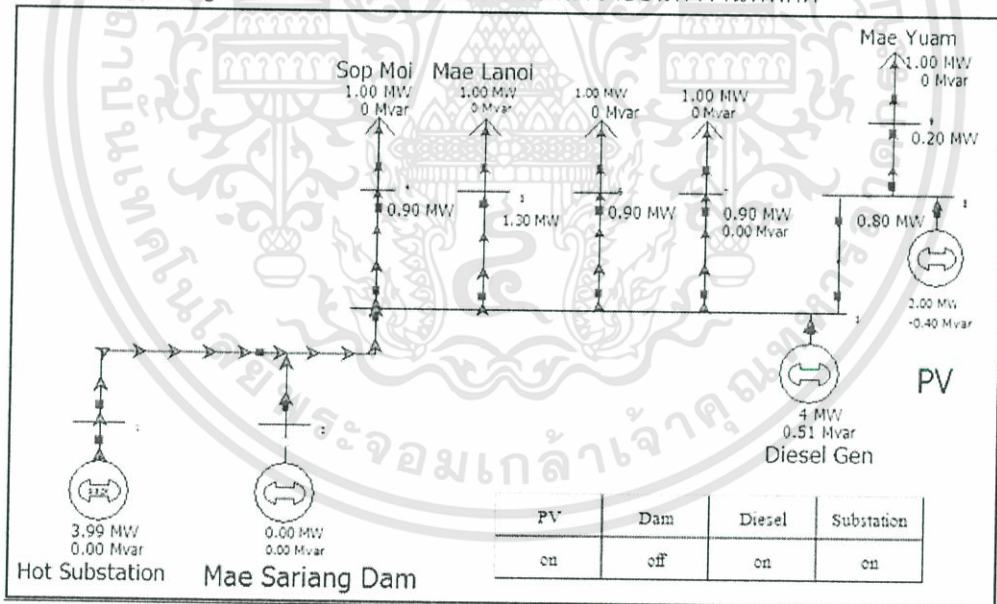
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 PV ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า แต่แหล่งจ่ายอื่นทำงานที่พิกัด



รูปที่ 3.6 แบบจำลองระบบไฟฟ้าก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 2

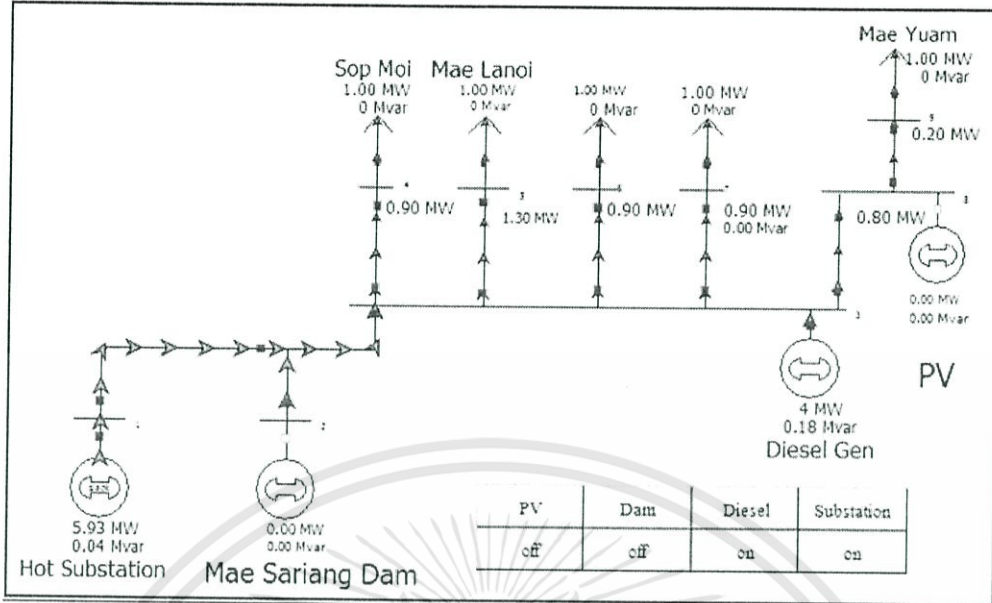
กรณีที่ 3 Mae Sariang Dam ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า แต่แหล่งจ่ายอื่นทำงานที่พิกัด



รูปที่ 3.7 แบบจำลองระบบไฟฟ้าก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 3

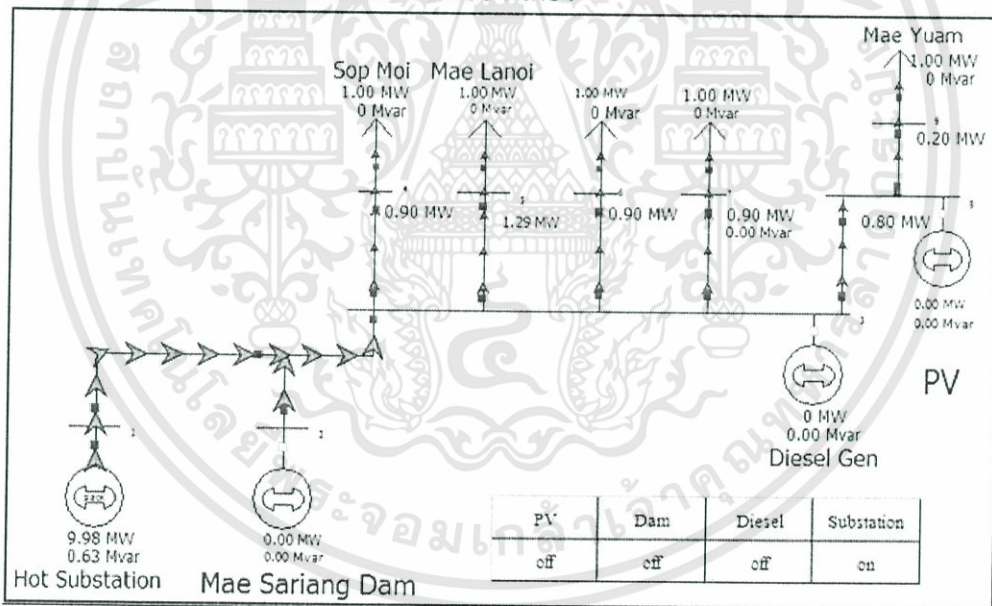
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 4 PV, Mae Sariang Dam ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ Diesel Gen. ทำงานที่พิกัด



รูปที่ 3.8 แบบจำลองระบบไฟฟ้าก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 4

กรณีศึกษาที่ 5 รับไฟฟ้าจาก Hot Substation เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 3.9 แบบจำลองระบบไฟฟ้าก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์สามารถทำตารางสรุปเปรียบเทียบแต่ละกรณีได้ดังตาราง

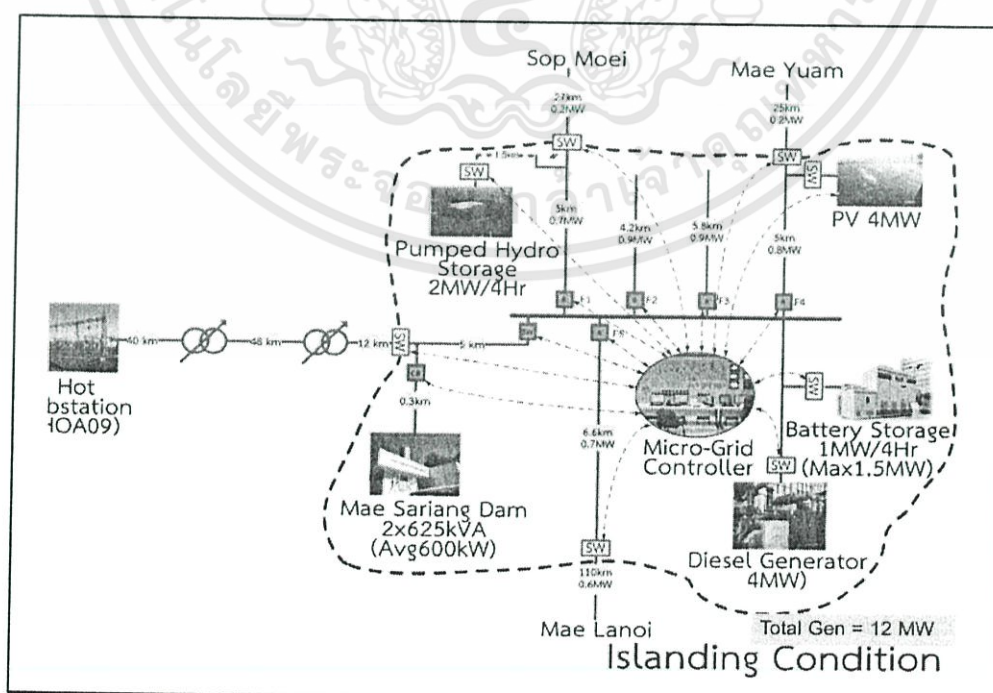
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละแหล่งจ่ายก่อนติดตั้งไมโครกริดในหน่วย p.u.

แหล่งจ่าย	Photovoltaic (2 MW)		Mae Sariang Dam (1.25 MW)		Diesel Generator (4 MW)		Hot Substation	
	สถานะ	p.u.	สถานะ	p.u.	สถานะ	p.u.	สถานะ	MW
กรณี 1	on	1.00	on	1.00	on	1.00	on	2.75
2	off	0.00	on	1.00	on	1.00	on	4.67
3	on	1.00	off	0.00	on	1.00	on	3.99
4	off	0.00	off	0.00	on	1.00	on	5.93
5	off	0.00	off	0.00	off	0.00	on	9.98

จากการจำลองผลพบว่าหากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทุกแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เต็มพิกัดโดยกำหนดให้โหลดภายในพื้นที่มีขนาด 1 MW จะต้องรับกำลังไฟฟ้าเพิ่มจาก Hot Substation เท่ากับ 2.75 MW แต่ในกรณีที่ 3 ถ้าหาก Photovoltaic และ Mae Sariang Dam ไม่สามารถจ่ายได้จะต้องรับกำลังไฟฟ้าจาก Hot substation เพิ่มขึ้นเป็น 5.93 MW

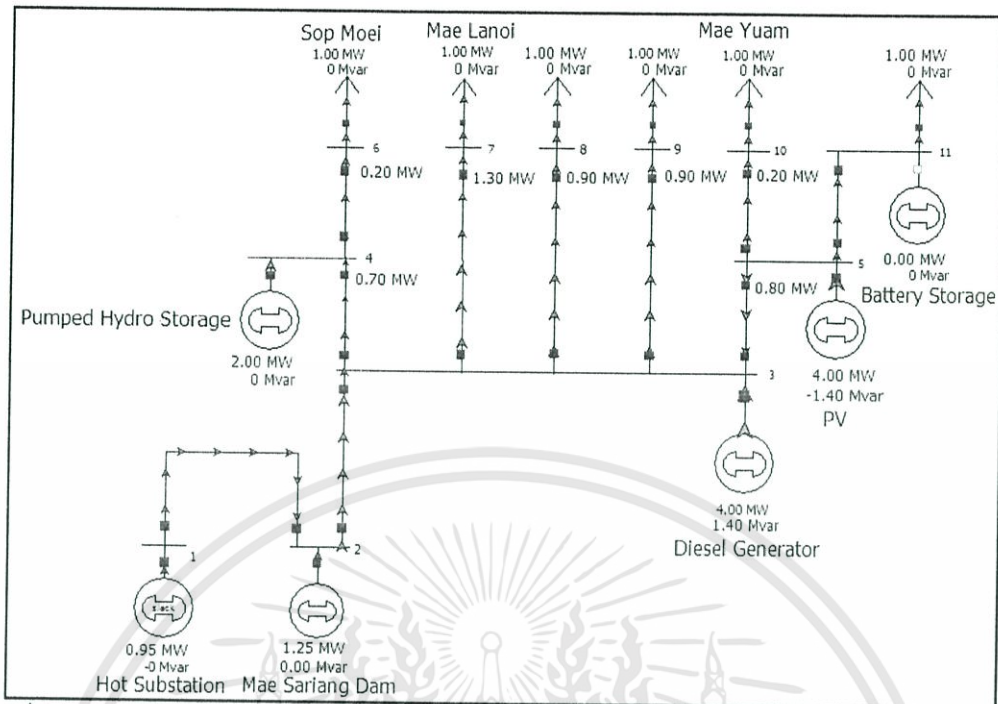
3.4 วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบไมโครกริด

จากรูป 3.10 เป็นรูประบบไฟฟ้าของ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ที่ได้ทำการติดตั้งระบบไมโครกริดเข้าไปในระบบไฟฟ้าแล้ว โดยมีการติดตั้งแหล่งจ่าย Pumped Hydro, PV, Battery Storage และมีระบบควบคุมของระบบไมโครกริดจะทำการจำลองด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ได้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน หลังการติดตั้งระบบไมโครกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แบบจำลองระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน หลังการติดตั้งระบบไมโครกริด

ในการวิเคราะห์หลังจากที่ติดตั้งระบบไมโครกริดแล้ว จะแบ่งสถานการณ์เป็น 30 กรณี โดยจะสมมุติสถานการณ์ตามปริมาณของแสงแดดและปริมาณของน้ำ โดยกำหนด Diesel Generator ให้ทำงานที่พิกัดตลอด เพื่อดูค่ากำลังไฟฟ้าที่รับมาจาก Hot Substation ในแต่ละกรณี แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกรณีก่อนทำการติดตั้งระบบไมโครกริด โดยในแต่ละกรณีอธิบายได้ดังนี้

กรณี 1-4 กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า Photovoltaic ที่ค่าต่างๆ สมมติให้ปริมาณน้ำมาก Pumped Hydro และ Mae Sariang Dam ทำงานที่พิกัด และให้ Battery ทำการชาร์จประจุเพื่อเก็บสะสมพลังงาน

กรณี 5-8 เหมือนกับในกรณีที่ 1-5 แต่ Battery เต็มไม่ชาร์จประจุและยังไม่จ่ายพลังงาน

กรณี 9 ทำงานเวลากลางคืน Photovoltaic หยุดทำงาน Battery จ่ายกำลังไฟฟ้าแทน

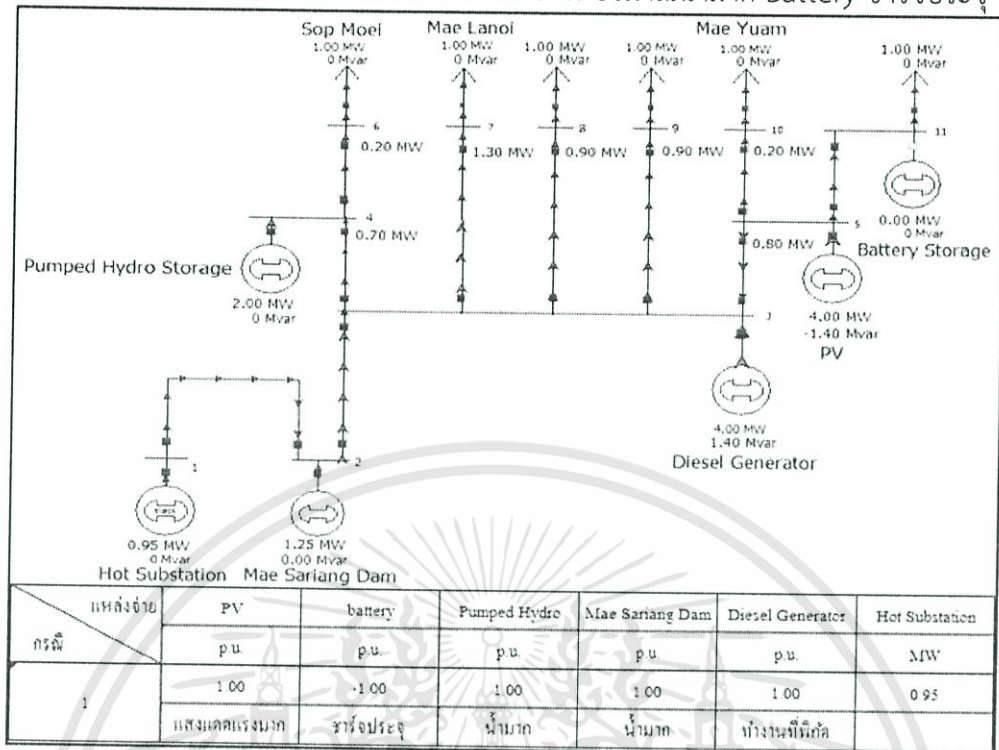
กรณี 10 ทำงานเวลากลางคืน Photovoltaic หยุดทำงาน Battery ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า หรือขณะจ่ายไฟฟ้าออกไปจนไม่มีประจุแล้ว

กรณี 11-20 ทำงานเช่นเดียวกับกรณี 1-10 แต่ถือว่าเป็นช่วงที่น้ำมีปริมาณลดลงมาอยู่ที่ระดับปานกลางส่งผลให้ Pumped Hydro และ Mae Sariang Dam ที่งานอยู่ที่ 0.5 p.u. กรณีที่ 21-30 ก็เช่นเดียวกันการทำงานคล้ายกับกรณี 1-10 แต่ปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเหลือน้อยส่งผลให้การทำงานของ Pumped Hydro และ Mae Sariang Dam เหลือเพียง 0.25 p.u. เท่านั้น

เมื่อทำเป็นแบบจำลองพาวเวอร์เวิลด์จะได้ดังรูปที่ 3.12 – 3.41

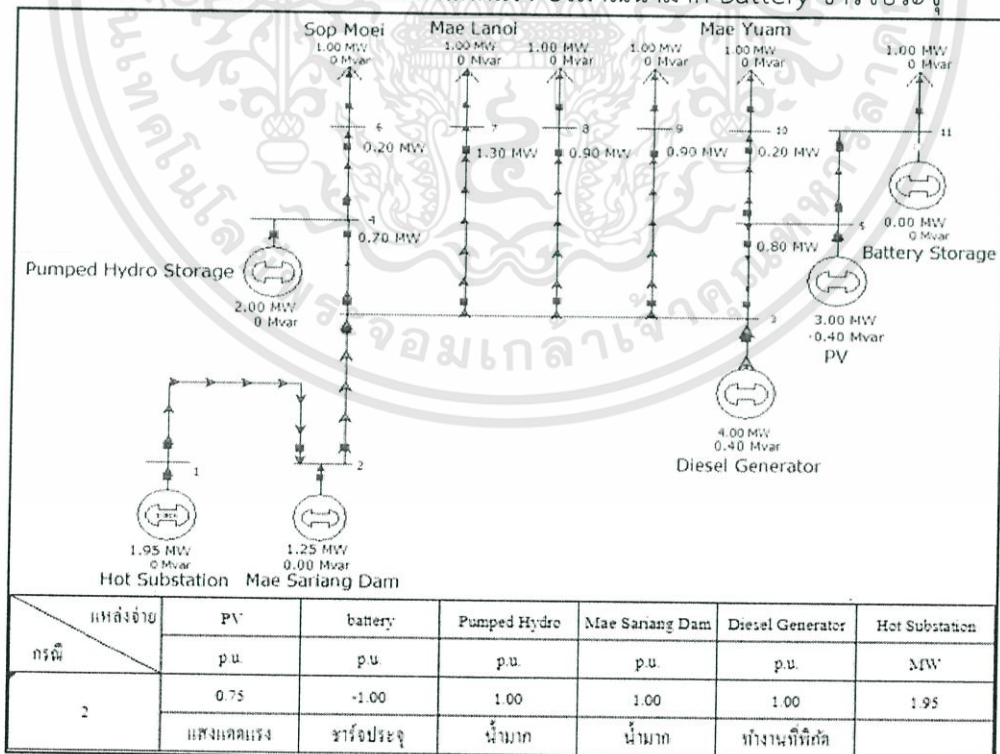
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 1 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรงมาก ปริมาณน้ำมาก Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.12 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 1

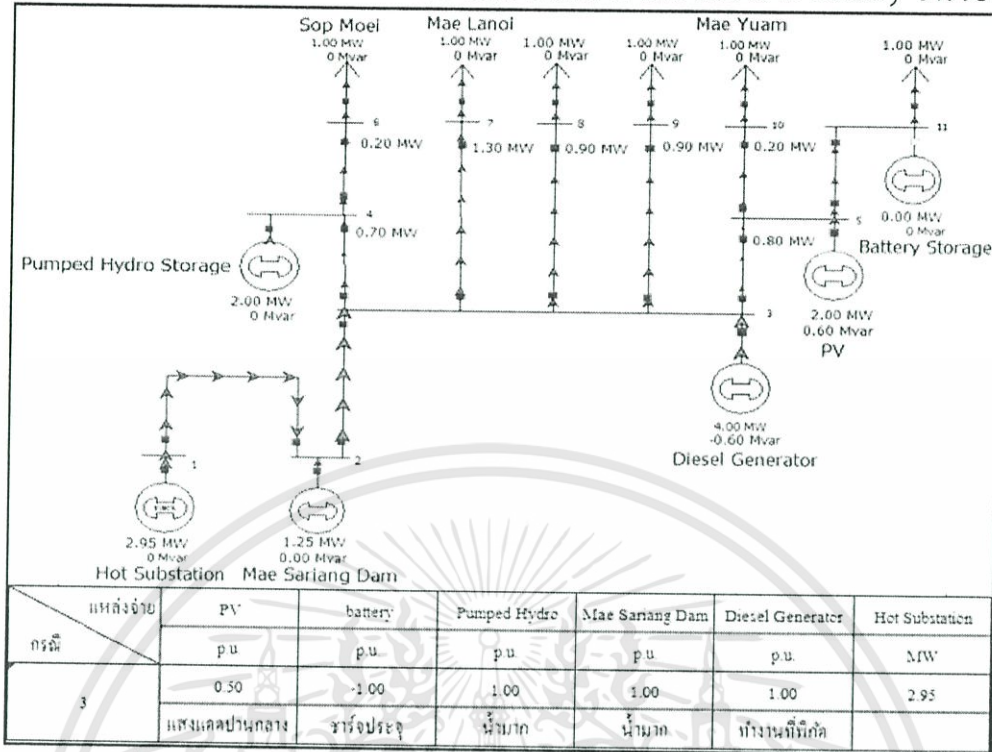
กรณีศึกษาที่ 2 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรง ปริมาณน้ำมาก Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.13 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 2

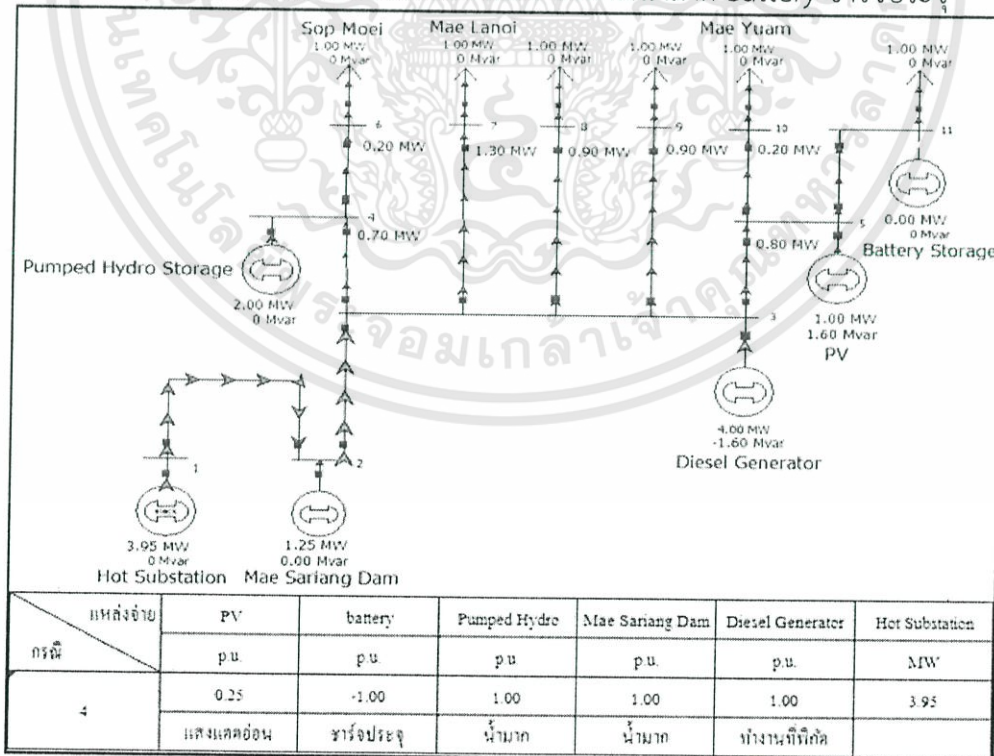
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 3 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดปานกลาง ปริมาณน้ำมาก Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.14 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 3

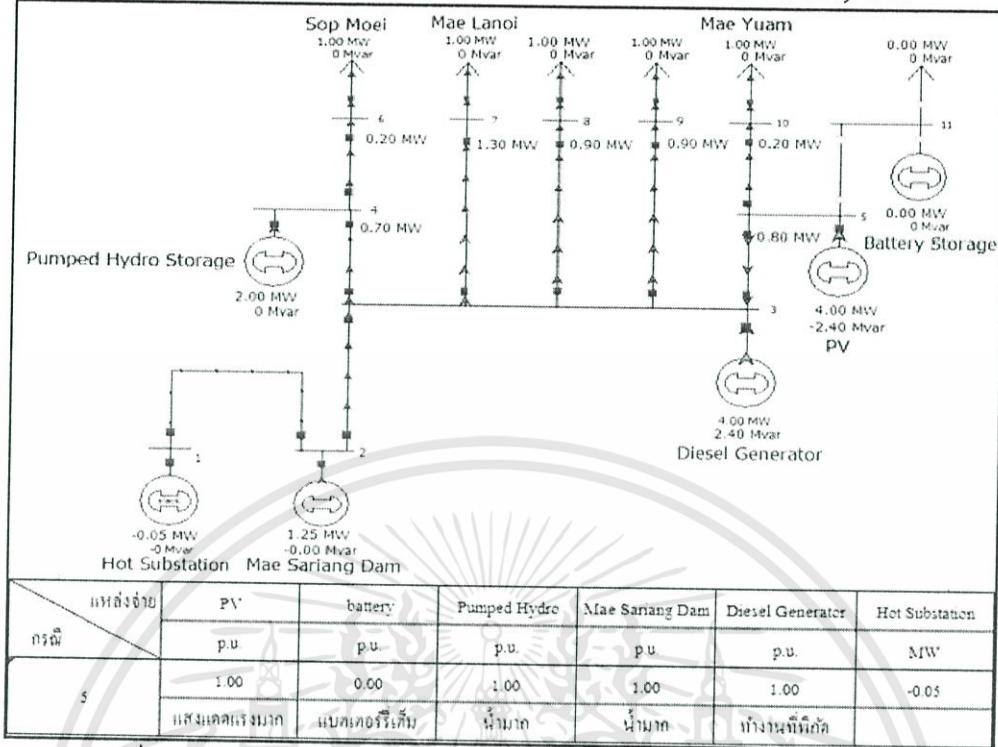
กรณีศึกษาที่ 4 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดอ่อน ปริมาณน้ำมาก Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.15 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 4

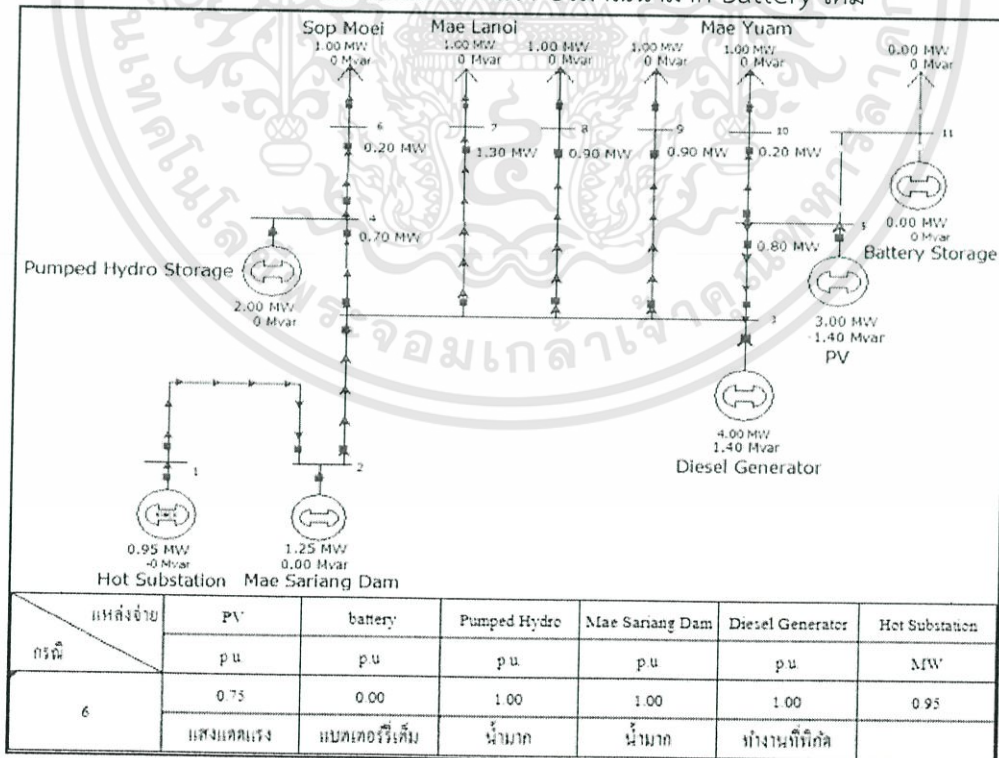
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 5 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรงมาก ปริมาณน้ำมาก Battery เต็ม



รูปที่ 3.16 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 5

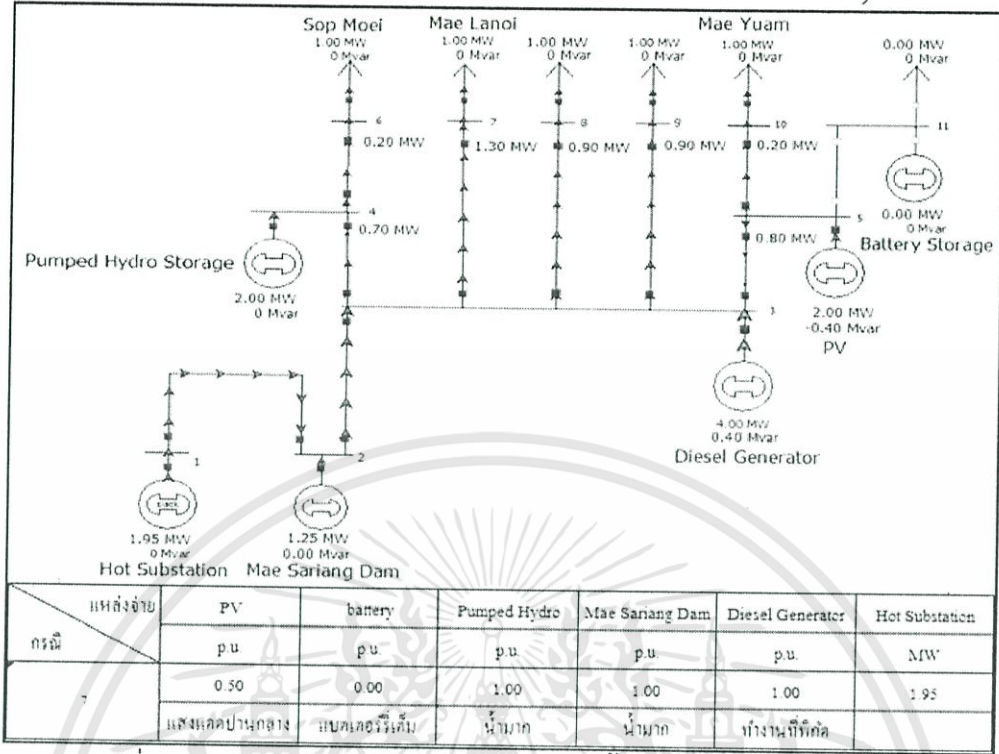
กรณีที่ 6 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรง ปริมาณน้ำมาก Battery เต็ม



รูปที่ 3.17 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 6

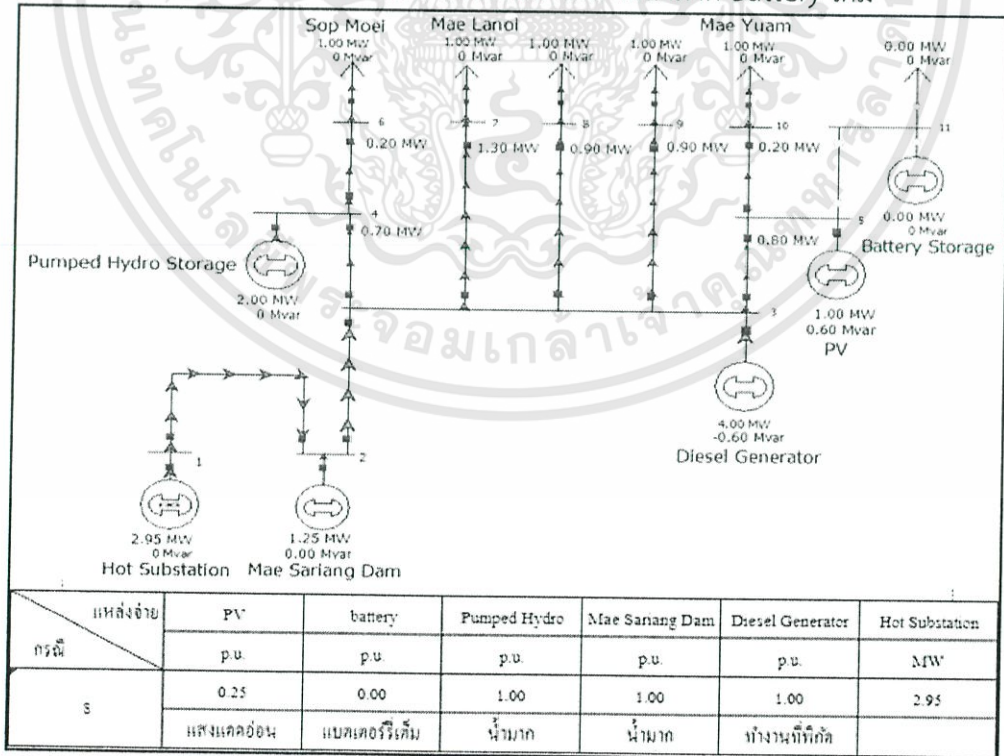
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 7 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดปานกลาง ปริมาณน้ำมาก Battery เต็ม



รูปที่ 3.18 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 7

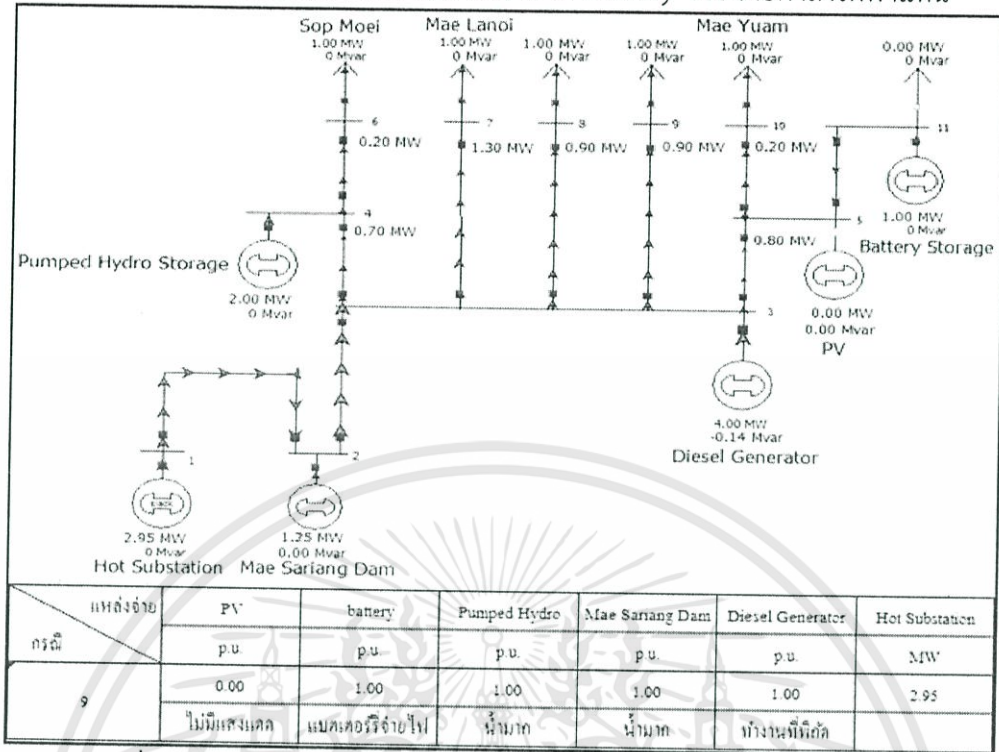
กรณีศึกษาที่ 8 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดอ่อน ปริมาณน้ำมาก Battery เต็ม



รูปที่ 3.19 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 8

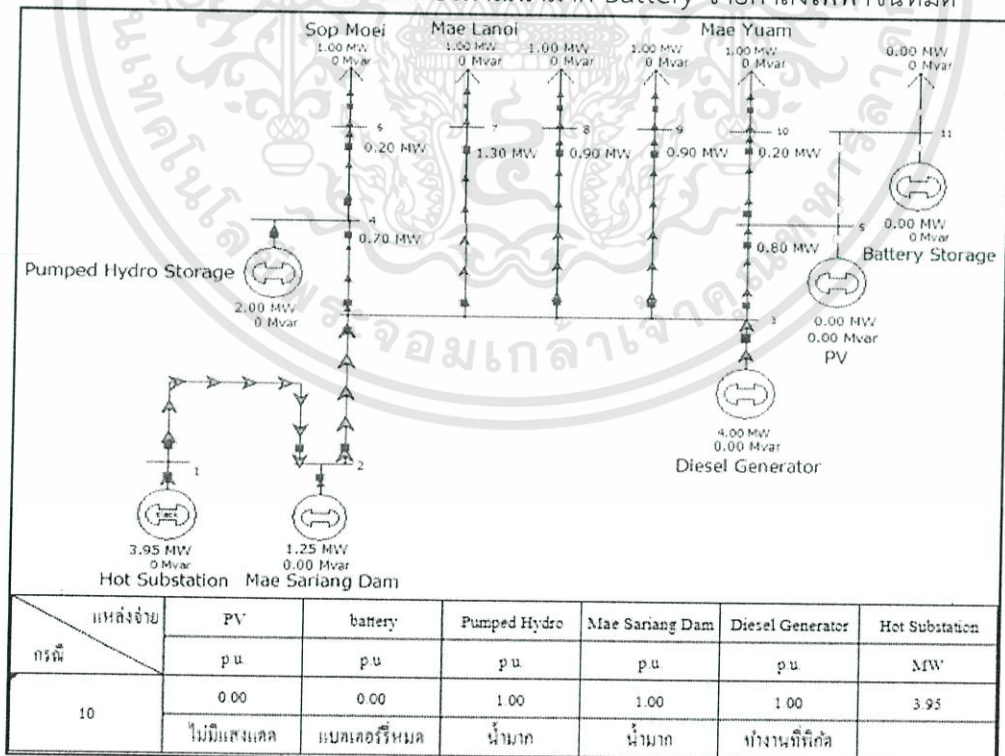
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 9 การทำงานในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณน้ำมาก Battery ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าแทน



รูปที่ 3.20 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 9

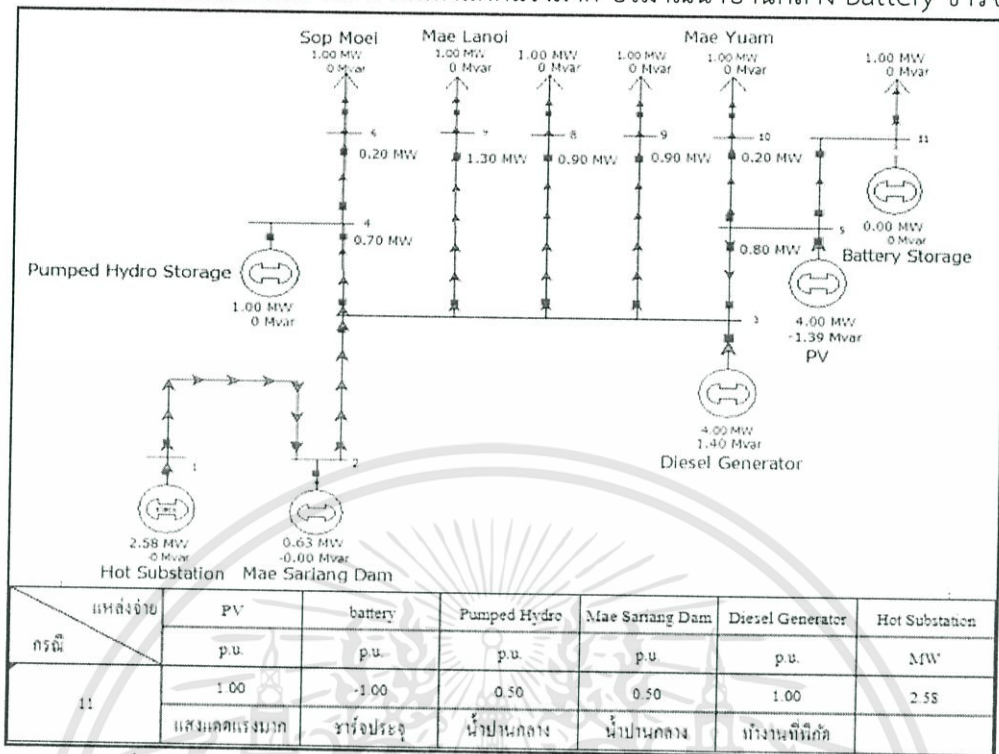
กรณีที่ 10 การทำงานในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณน้ำมาก Battery จ่ายกำลังไฟฟ้าจนหมด



รูปที่ 3.21 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 10

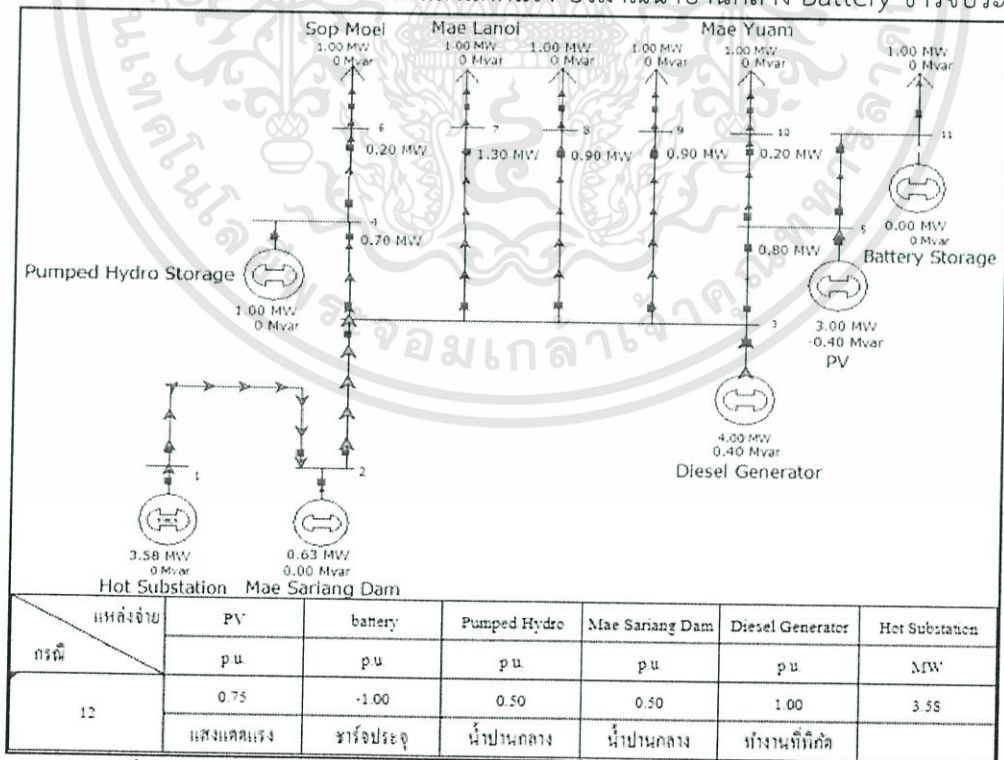
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 11 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรงมาก ปริมาณน้ำปานกลาง Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.22 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 11

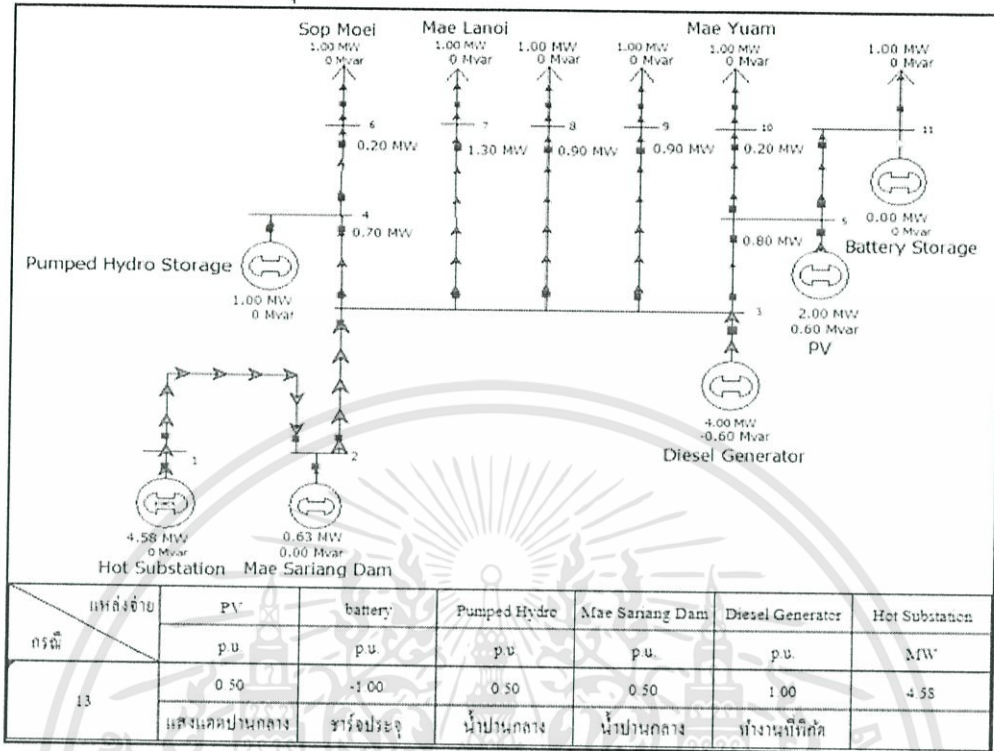
กรณีที่ 12 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรง ปริมาณน้ำปานกลาง Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.23 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 12

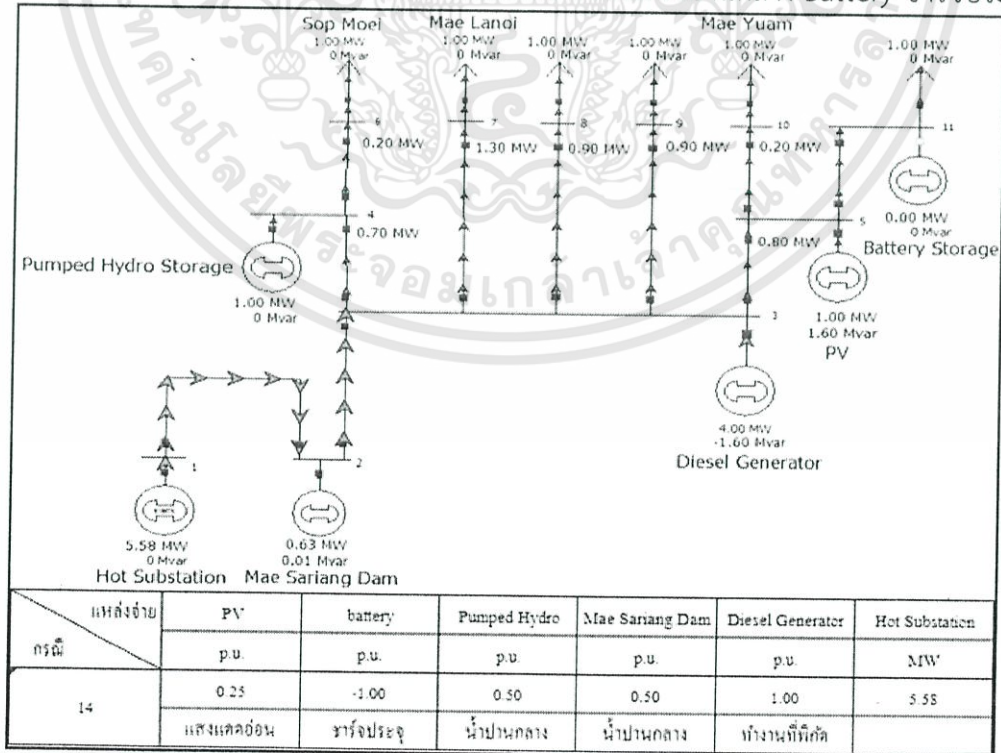
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 13 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดปานกลาง ปริมาณน้ำปานกลาง Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.24 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 13

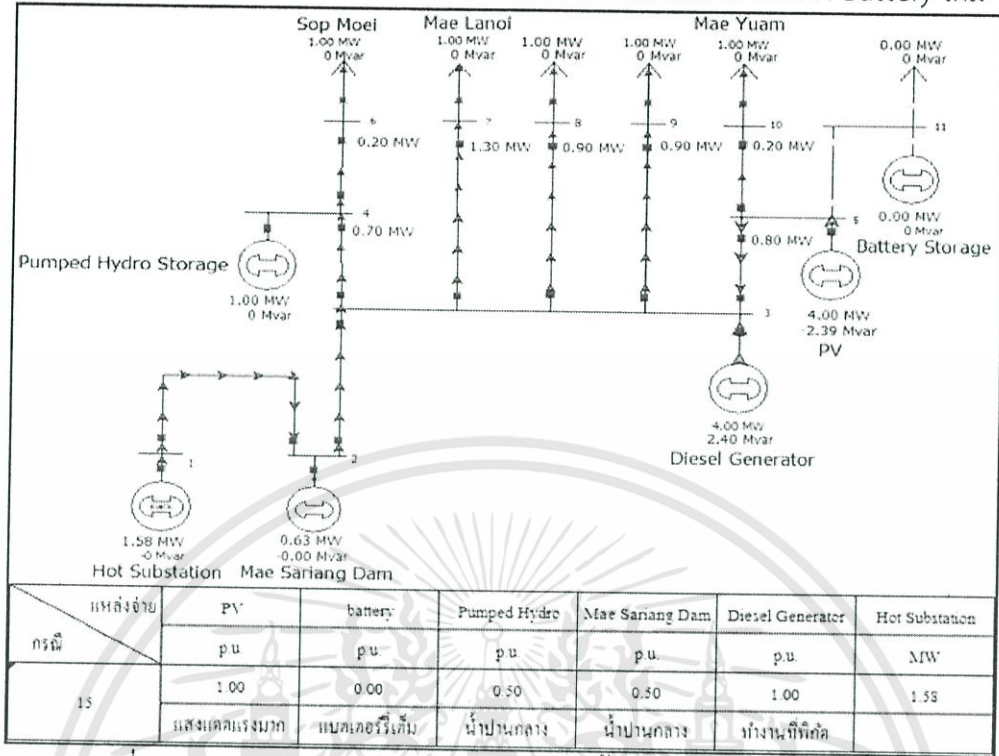
กรณีศึกษาที่ 14 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดอ่อน ปริมาณน้ำปานกลาง Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.25 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 14

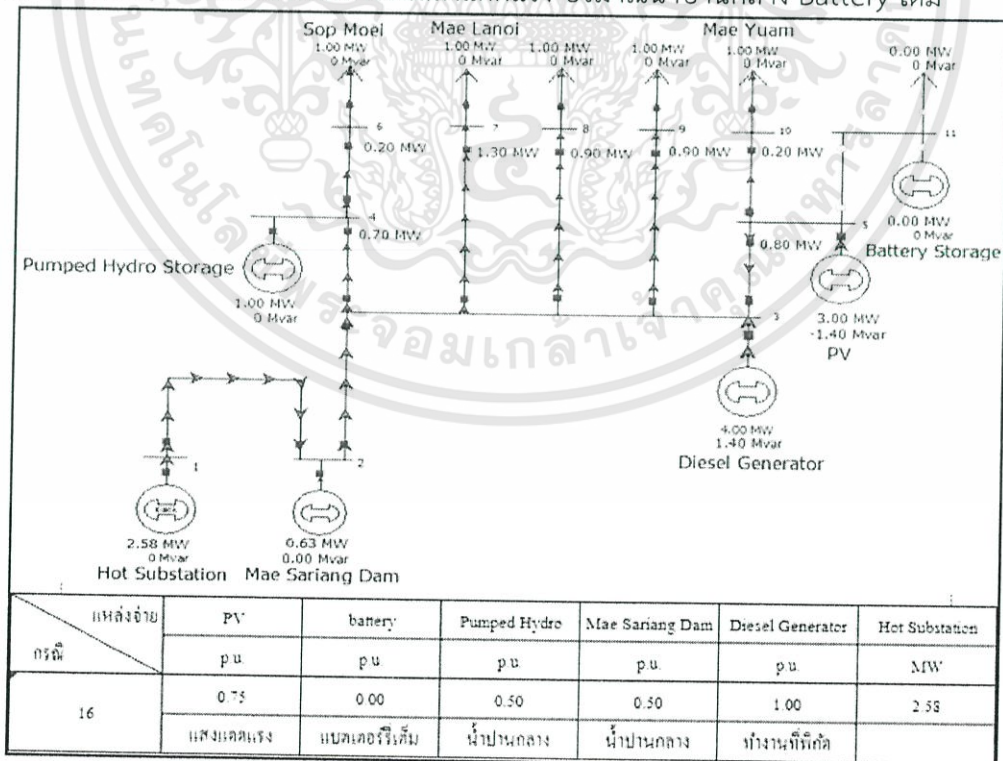
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 15 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรงมาก ปริมาณน้ำปานกลาง Battery เต็ม



รูปที่ 3.26 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 15

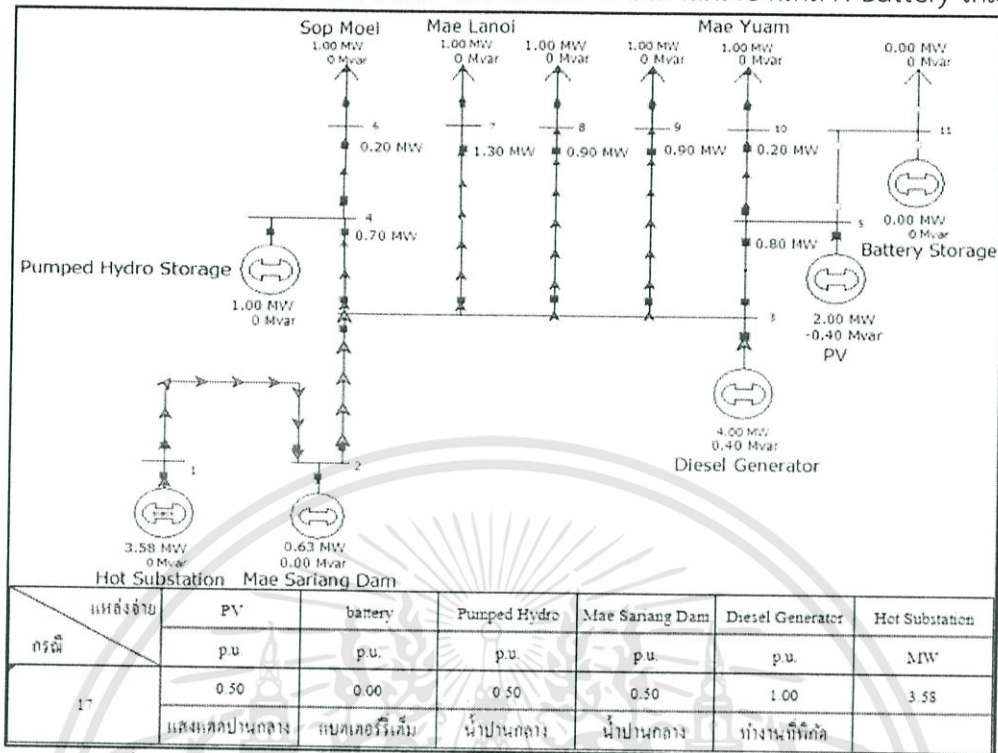
กรณีศึกษาที่ 16 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรง ปริมาณน้ำปานกลาง Battery เต็ม



รูปที่ 3.27 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 16

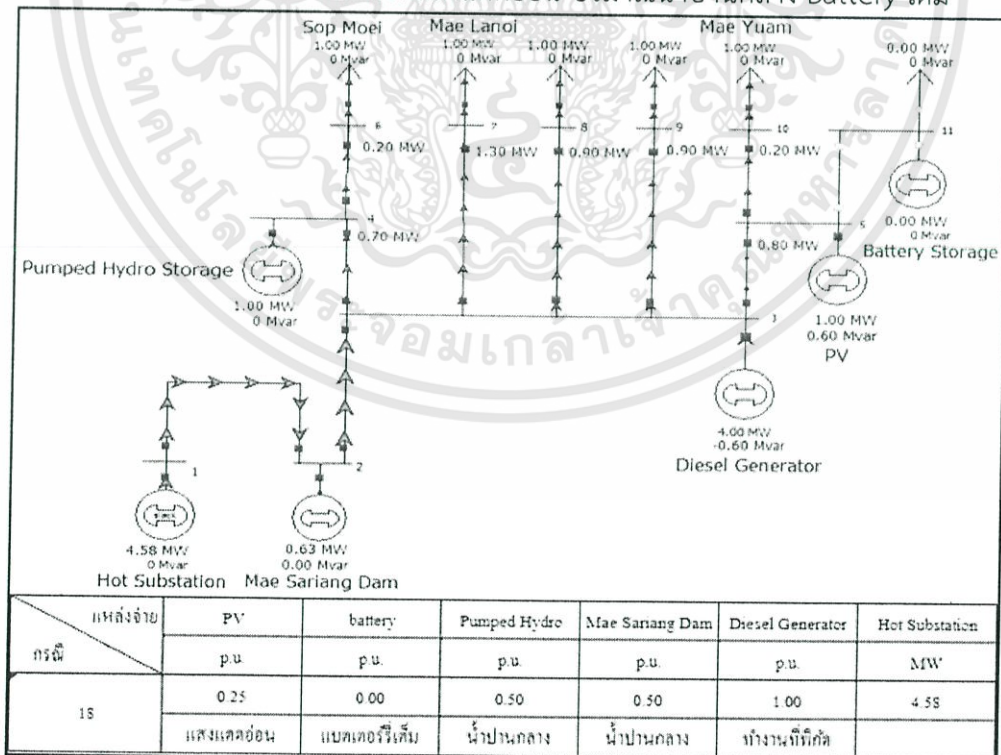
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 17 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดปานกลาง ปริมาณน้ำปานกลาง Battery เต็ม



รูปที่ 3.28 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 17

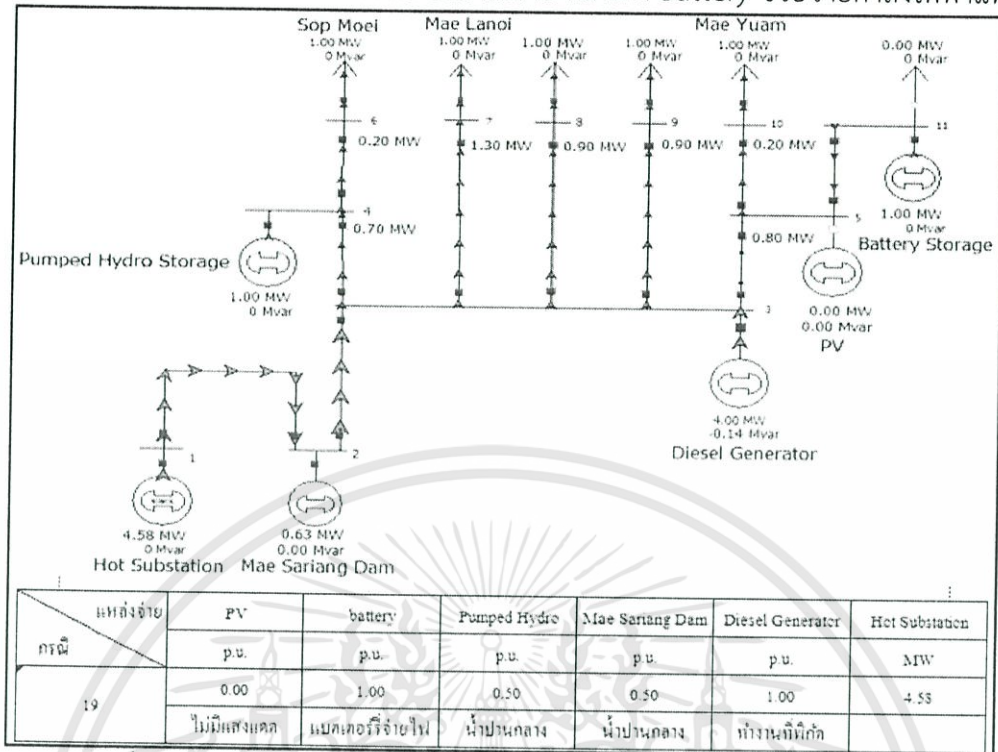
กรณีศึกษาที่ 18 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดอ่อน ปริมาณน้ำปานกลาง Battery เต็ม



รูปที่ 3.29 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 18

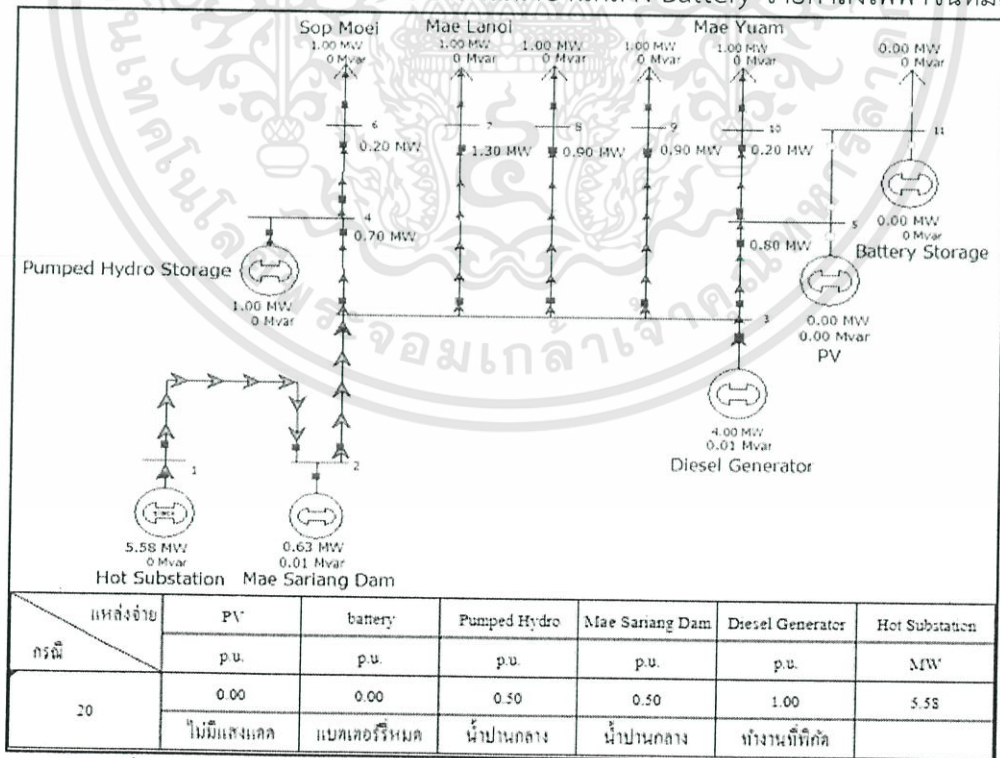
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 19 การทำงานในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณน้ำปานกลาง Battery ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าแทน



รูปที่ 3.30 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 19

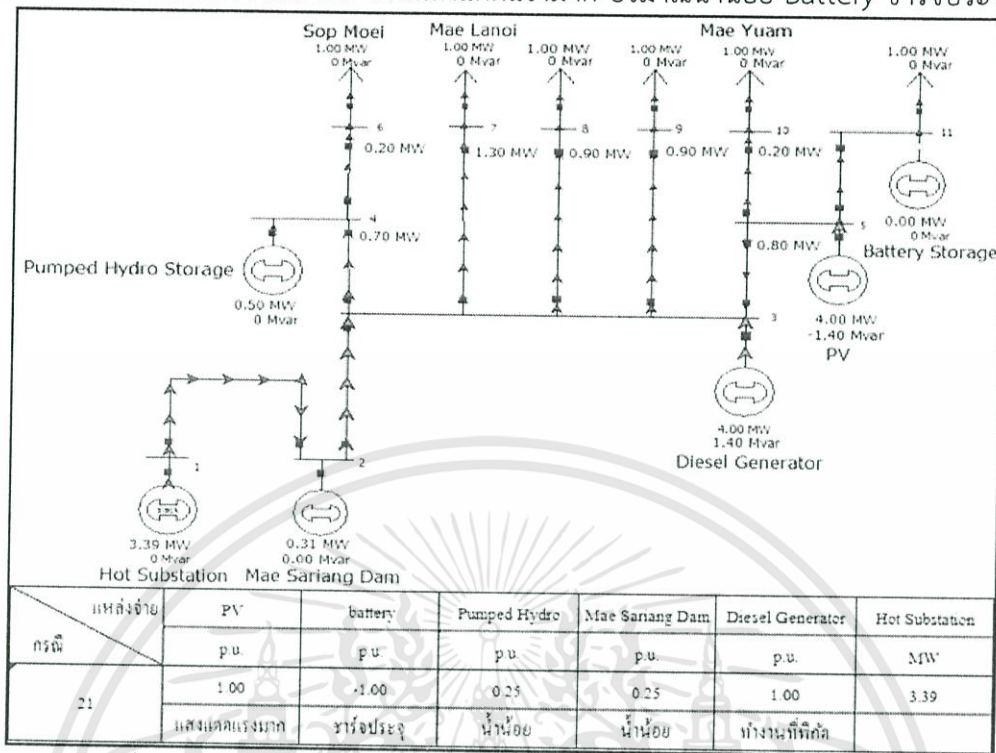
กรณีศึกษาที่ 20 การทำงานในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณน้ำปานกลาง Battery จ่ายกำลังไฟฟ้าจนหมด



รูปที่ 3.31 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 20

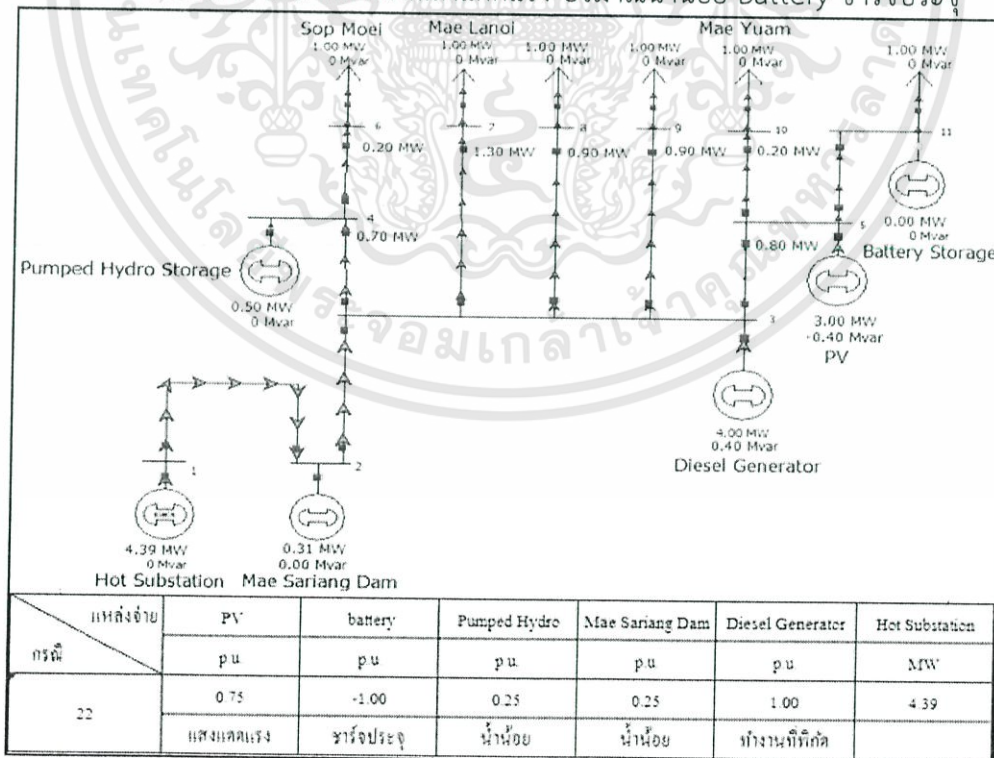
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 21 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรงมาก ปริมาณน้ำน้อย Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.32 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 21

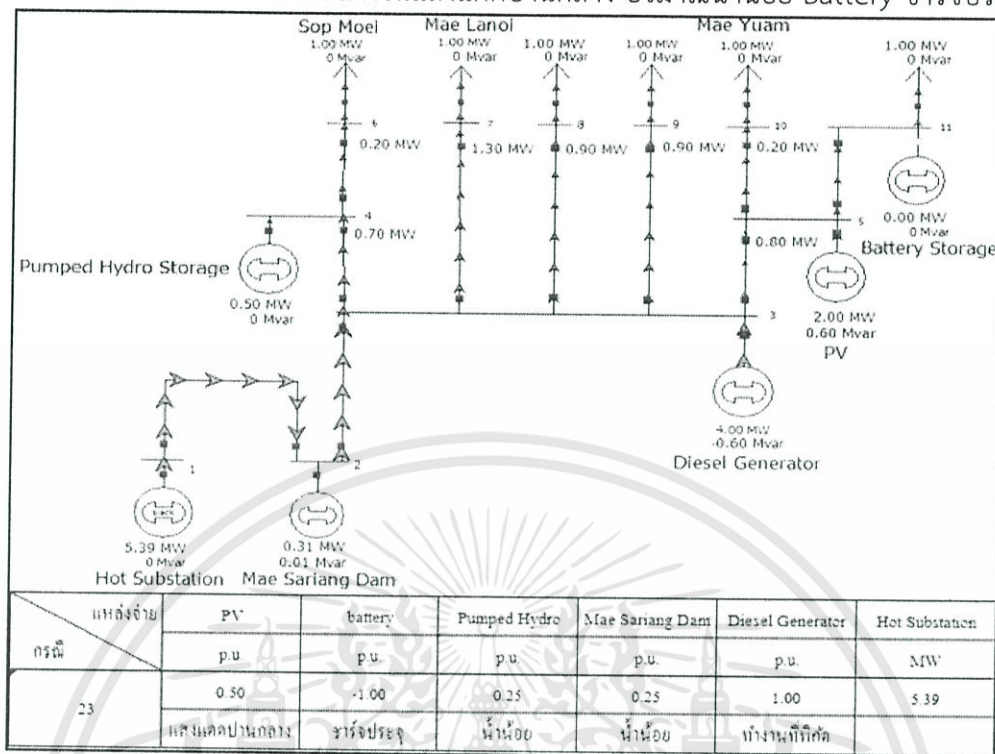
กรณีศึกษาที่ 22 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรง ปริมาณน้ำน้อย Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.33 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 22

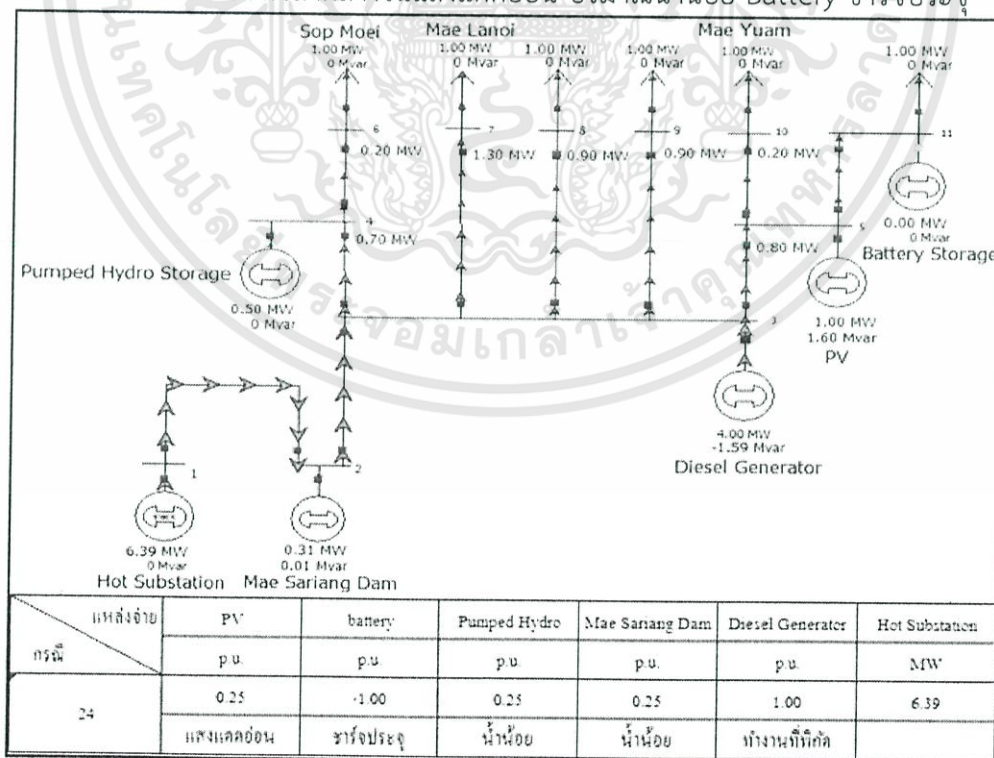
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 23 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดปานกลาง ปริมาณน้ำน้อย Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.34 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 23

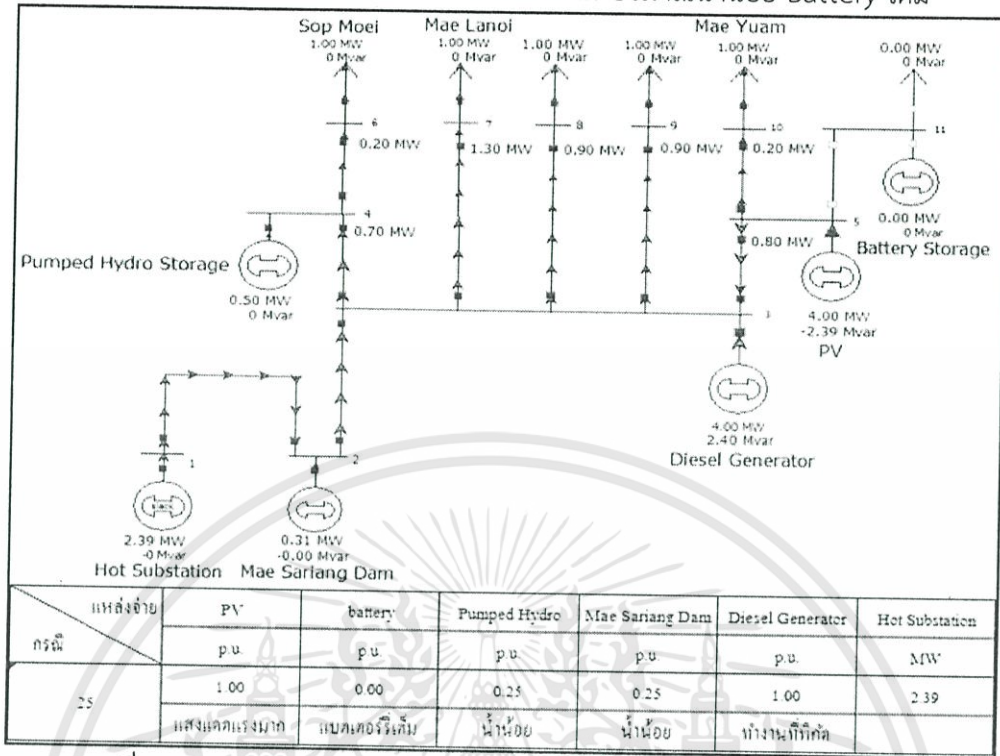
กรณีที่ 24 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดอ่อน ปริมาณน้ำน้อย Battery ชาร์จประจุ



รูปที่ 3.35 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 24

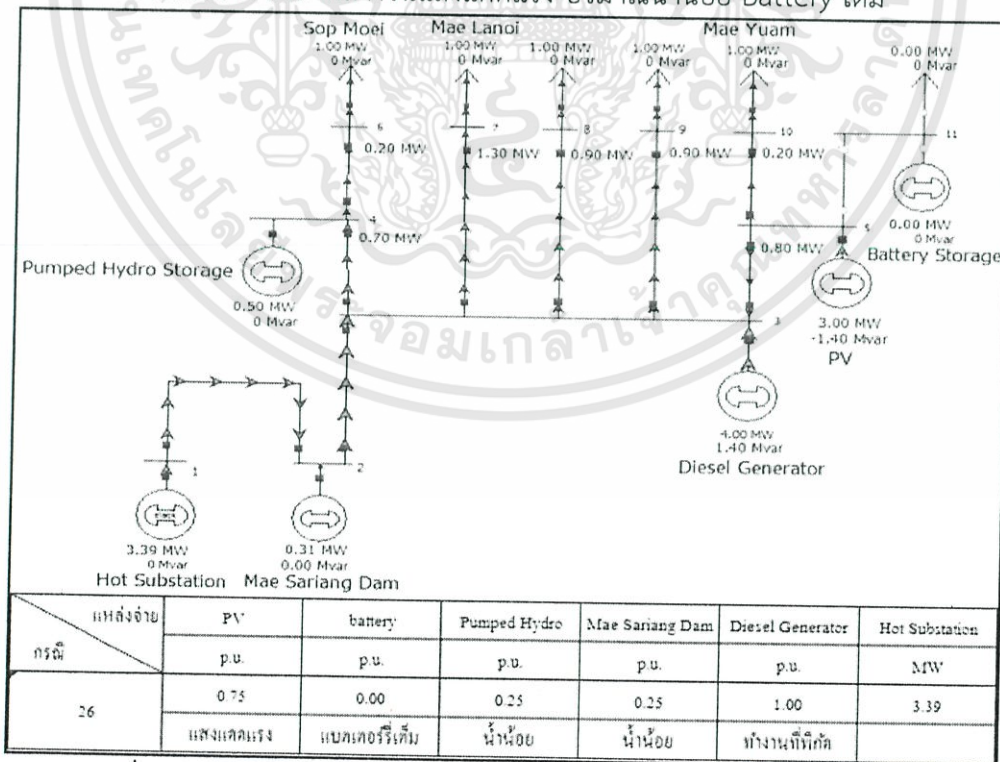
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 25 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรงมาก ปริมาณน้ำน้อย Battery เต็ม



รูปที่ 3.36 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 25

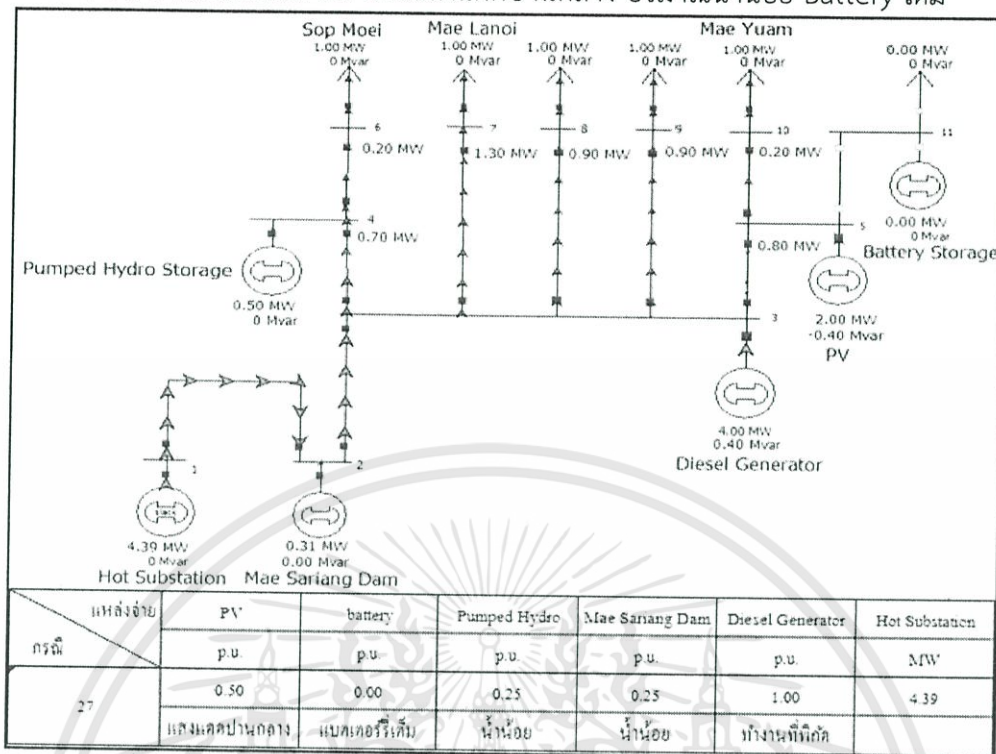
กรณีที่ 26 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดแรง ปริมาณน้ำน้อย Battery เต็ม



รูปที่ 3.37 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 26

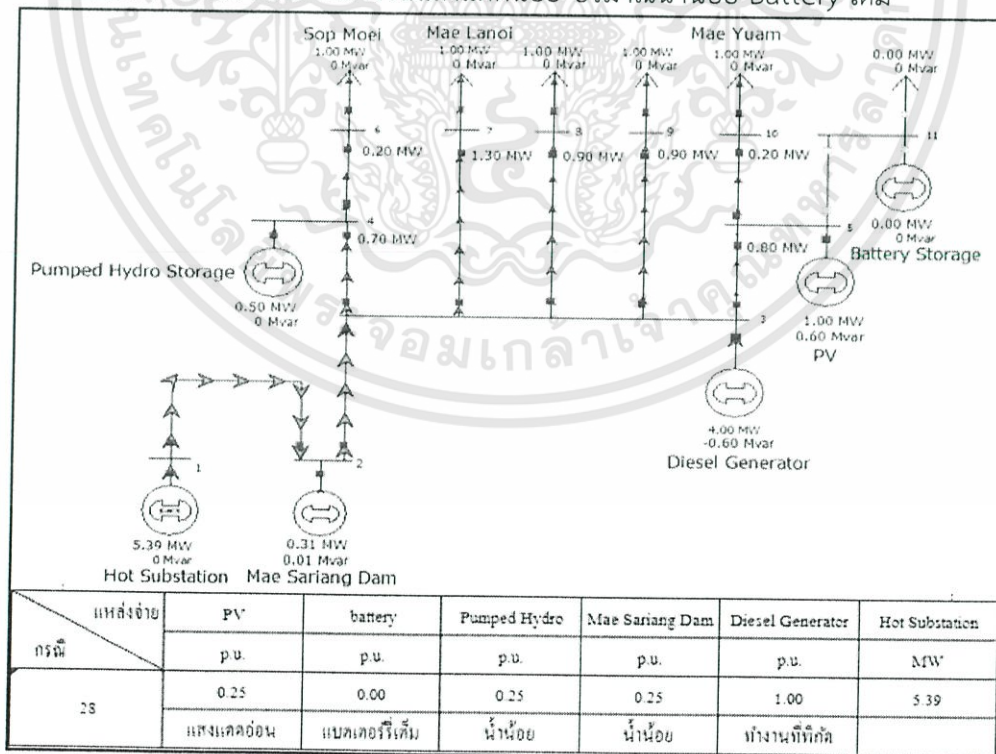
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 27 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดปานกลาง ปริมาณน้ำน้อย Battery เต็ม



รูปที่ 3.38 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 27

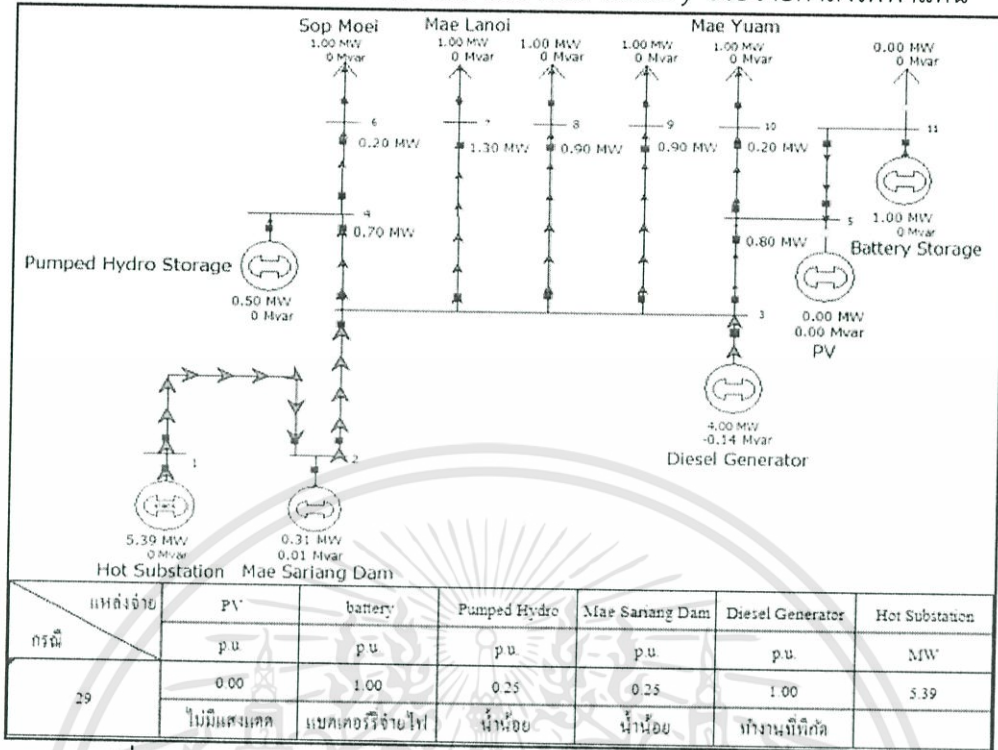
กรณีศึกษาที่ 28 การทำงานในช่วงเวลากลางวันแสงแดดน้อย ปริมาณน้ำน้อย Battery เต็ม



รูปที่ 3.39 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 28

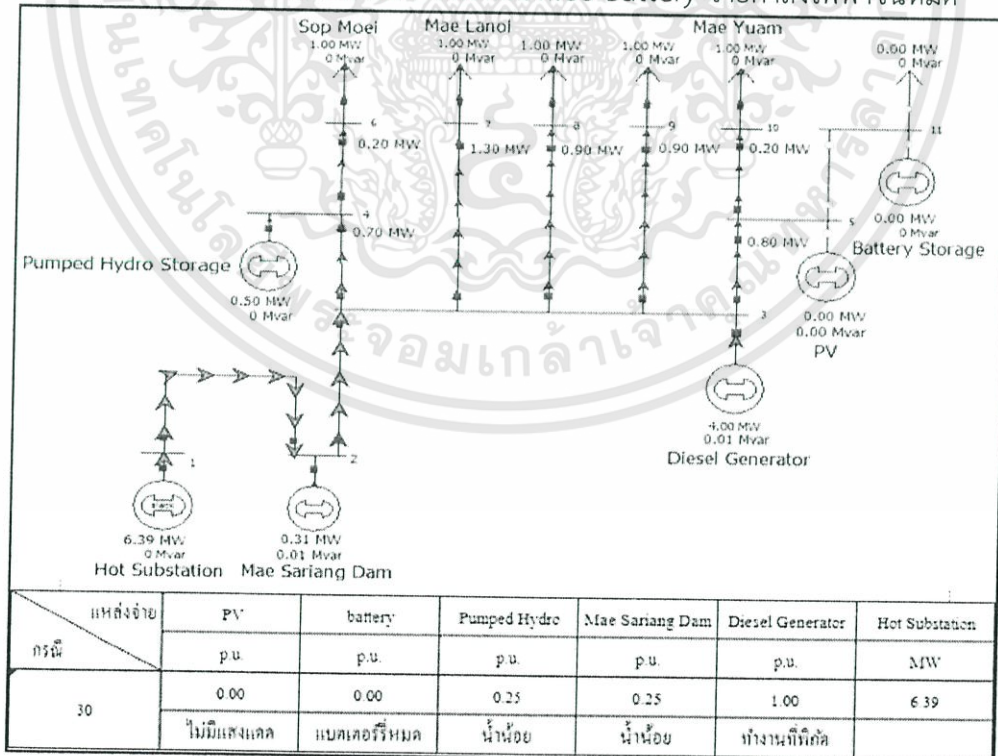
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 29 การทำงานในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณน้ำน้อย Battery ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าแทน



รูปที่ 3.40 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 29

กรณีศึกษาที่ 30 การทำงานในช่วงเวลากลางคืน ปริมาณน้ำน้อย Battery จ่ายกำลังไฟฟ้าจนหมด



รูปที่ 3.41 แบบจำลองระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตารางรวมค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละแหล่งจ่ายหลังติดตั้งไมโครกริดในหน่วย p.u.

Gen. Case	PV 4 MW (p.u.)	Battery 1 MW (p.u.)	Pumped Hydro 2 MW (p.u.)	Mae Sariang Dam 1 MW (p.u.)	Diesel Generator 4 MW (p.u.)	Hot Substation (MW)
1	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	0.95
2	0.75 (แสงแดดแรง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	1.95
3	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	2.95
4	0.25 (แสงแดดอ่อน)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	3.95
5	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	-0.05
6	0.75 (แสงแดดแรง)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	0.95
7	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	1.95
8	0.25 (แสงแดดอ่อน)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	2.95
9	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	1.00 (แบตเตอรี่ จ่ายไฟ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	2.95
10	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	0.00 (แบตเตอรี่ หมด)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	3.95
11	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	2.58
12	0.75 (แสงแดดแรง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	3.58
13	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	4.58
14	0.25 (แสงแดดอ่อน)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	5.58
15	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	1.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gen. Case	PV 4 MW (p.u.)	Battery 1 MW (p.u.)	Pumped Hydro 2 MW (p.u.)	Mae Sariang Dam 1 MW (p.u.)	Diesel Generator 4 MW (p.u.)	Hot Substation (MW)
16	0.75 (แสงแดดแรง)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	2.58
17	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	3.58
18	0.25 (แสงแดดอ่อน)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	4.58
19	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	1.00 (แบตเตอรี่ จ่ายไฟ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	4.58
20	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	0.00 (แบตเตอรี่ หมด)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	5.58
21	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	-1.00 (ชาร์จบรรจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	3.39
22	0.75 (แสงแดดแรง)	-1.00 (ชาร์จบรรจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	4.39
23	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	-1.00 (ชาร์จบรรจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	5.39
24	0.25 (แสงแดดอ่อน)	-1.00 (ชาร์จบรรจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	6.39
25	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	2.39
26	0.75 (แสงแดดแรง)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	3.39
27	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	4.39
28	0.25 (แสงแดดอ่อน)	0.00 (แบตเตอรี่เต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	5.39
29	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	1.00 (แบตเตอรี่ จ่ายไฟ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	5.39
30	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	0.00 (แบตเตอรี่ หมด)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่พิกัด)	6.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

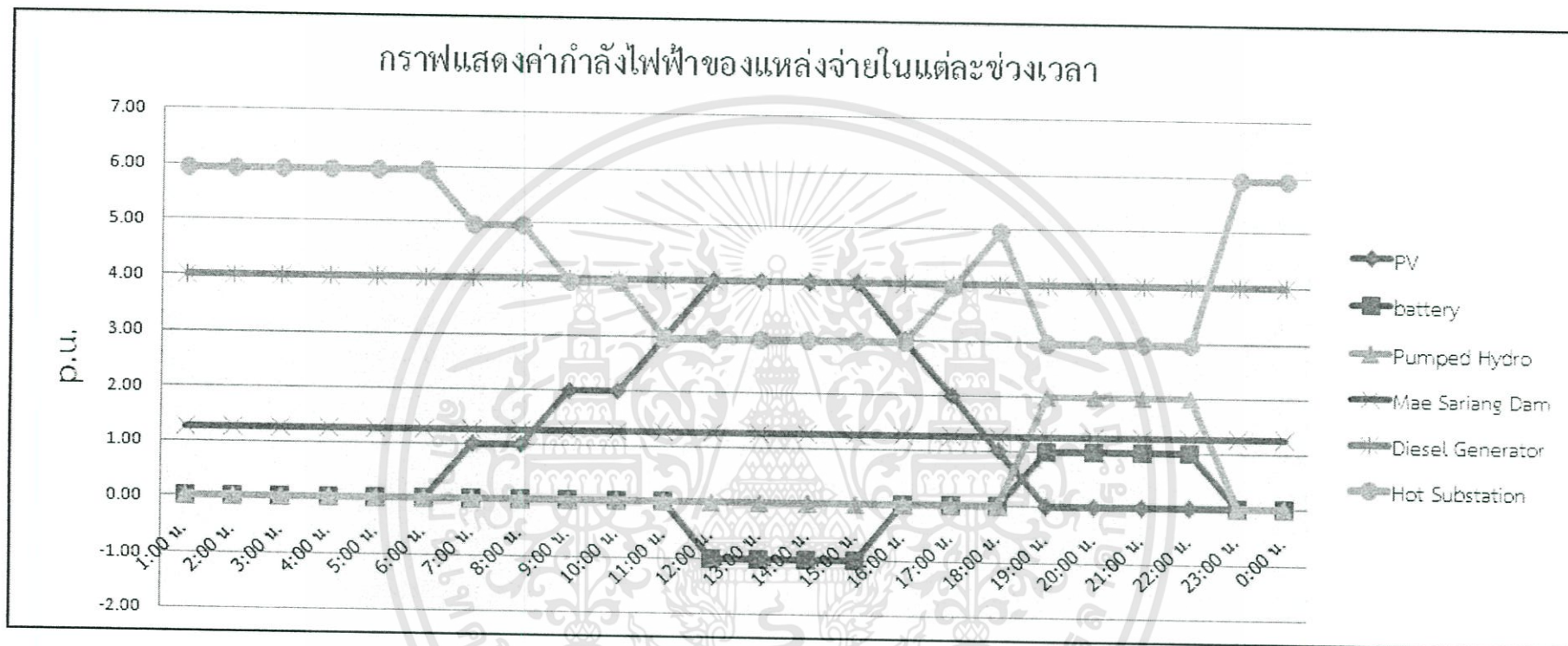
3.5 เปรียบเทียบการทำงานก่อน-หลังติดตั้งระบบไมโครกริด

ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดถ้าใช้พลังงานทดแทนที่มีอยู่จะจ่ายไม่พอสำหรับ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ต้องรับไฟฟ้าจากภายนอก 2.75 MW ซึ่งต้องเป็นช่วงที่แดดแรงมากเท่านั้น ถ้าเป็นช่วงไม่มีแสงหรือในเวลาช่วงกลางคืนที่ PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้ามาจ่ายได้ จะต้องรับไฟฟ้ามาเพิ่มเติมในส่วนของ PV อีกเป็น 4.67 MW ส่วนกรณีฉุกเฉินที่ Mae Sariang Dam กับ Diesel Generator ไม่สามารถจ่ายได้ ก็จะต้องรับไฟฟ้าจากภายนอกถึง 9.98 MW ซึ่งจากสถิติแล้วไฟฟ้าที่ส่งมาให้ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ก็มีปัญหาไม่สามารถจ่ายได้อยู่บ่อยครั้ง เพื่อเพิ่มคุณภาพไฟฟ้าและตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ใน อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ให้ดีที่สุดจึงสมควรที่จะติดตั้งระบบไมโครกริด เพราะจากตารางที่ 3.3 จะเห็นว่าไฟฟ้าที่ต้องรับเข้ามาในระบบมีน้อยลงหรือในกรณีที่ระบบไมโครกริดทำงานเต็มพิกัดทั้งระบบ จะสามารถทำงานด้วยสถานะ Island คือจ่ายโหลดได้เพียงพอต่อการใช้และไม่ต้องใช้ไฟฟ้าจากภายนอกหรือไม่ขึ้นตรงต่อกริดการไฟฟ้างดกรณีที่ 5 ในตารางแล้วยังมีกำลังไฟฟ้าเหลือ 0.05 MW ส่งคืนให้กริดการไฟฟ้าหรือสำรองไว้ก็ได้ จาก 30 กรณีที่แสดงเป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นเลือกมาเฉพาะกรณีที่น่าสนใจ

จะเห็นว่าระบบไมโครกริดสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่รับจากภายนอกเป็นการลดรายจ่ายของทั้งระบบ และการติดตั้งระบบไมโครกริดสามารถช่วยแก้ไขปัญหาระบบส่งกำลังไฟฟ้าขัดข้องหรือการไฟฟ้าล่มได้

3.6 ออกแบบควบคุมการทำงานของระบบไมโครกริดใน 1 วัน

ภายในเวลา 24 ชั่วโมง สามารถแสดงให้เห็นการทำงานของระบบไมโครกริดดังกราฟในรูปที่ 3.42 จะเห็นว่า Hot Substation ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงมากโดยตลอด แต่ในช่วง 11.00 - 16.00 น. มีกำลังไฟฟ้าจาก PV ช่วยจ่าย และช่วง 18.00 - 22.00 น. ได้กำลังไฟฟ้าจาก Battery, Pumped Hydro ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจาก Hot Substation ลดลง เป็นการใช้ Load shedding เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดให้เพียงพอและต่อเนื่อง ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจาก Hot Substation

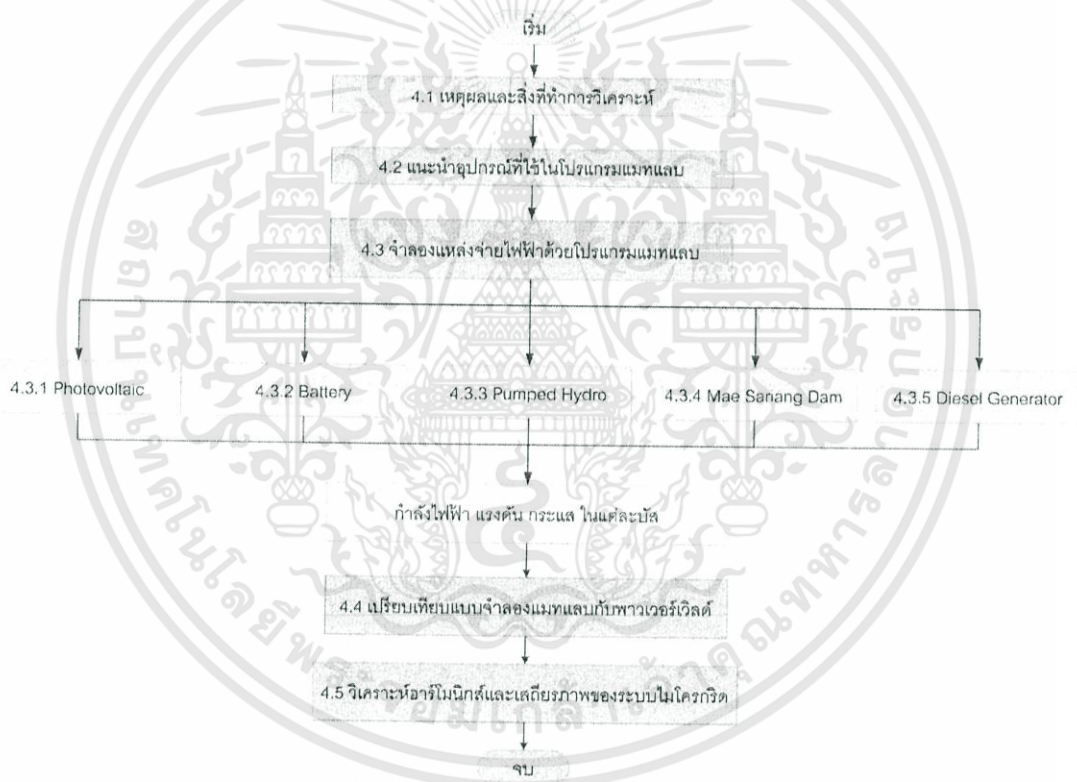


รูปที่ 3.42 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายในแต่ละช่วงเวลา
กำหนด - Diesel Gen และ Mae Sariang Dam ทำงานที่พิกัด

บทที่ 4

การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมแมทแลบ

ในการศึกษาด้วยโปรแกรมแมทแลบจะวิเคราะห์เสถียรภาพของกำลังไฟฟ้าในสายส่งตั้งแต่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ผ่านหม้อแปลง สายส่ง ไปจนถึงภาระทางไฟฟ้า สิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์ในบทนี้จะดูเรื่องของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความผิดพลาดทางไฟฟ้า รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า โดยส่วนแรกทำการจำลองแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิดจ่ายโหลด เพื่อดูกำลังไฟฟ้าที่หม้อแปลง สายส่ง และที่โหลดว่าแรงดันไฟฟ้าเป็นอย่างไร จากนั้นนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามารวมกันเป็นแบบจำลองของระบบไมโครกริด ทำการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเทียบกับแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ในบทที่ 3 แล้วจึงศึกษาค่าความผิดพลาดของสัญญาณแรงดันต่อไป มีแผนผังโครงสร้างบทที่ 4 ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังโครงสร้างของบทที่ 4

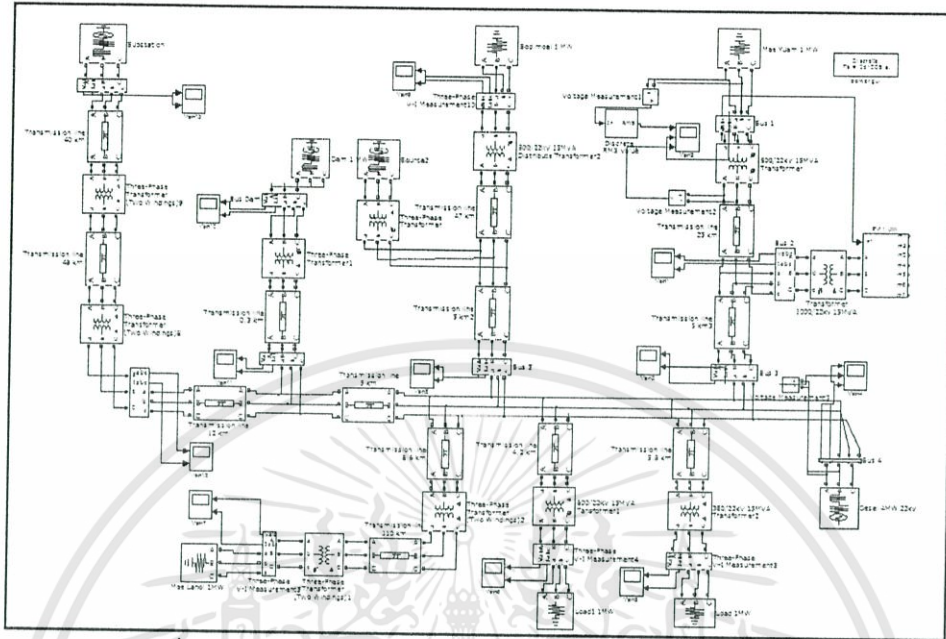
4.1 เหตุผลและสิ่งที่ทำกรวิเคราะห์

เนื่องจากโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์วิเคราะห์เพียงทิศทางการไหล ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น แต่ในโปรแกรมแมทแลบสามารถทำวิเคราะห์กราฟของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าไป และกราฟกำลังไฟฟ้า แสดงค่าละเอียดกว่าของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ อีกทั้งเพื่อให้ทราบถึงเสถียรภาพที่เกิดขึ้นในระบบจึงใช้โปรแกรมแมทแลบจำลองผลค่าความผิดพลาดของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าก่อนที่จะเข้าโหลดเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

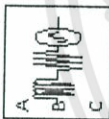
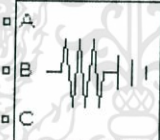
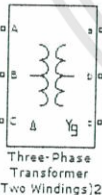
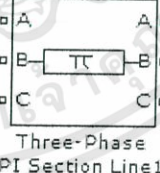
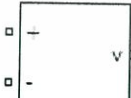
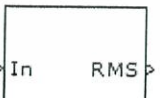
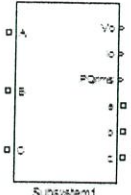
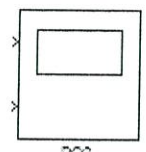
4.2 แนะนำอุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรมแมทแลบ

รูปที่ 4.2 เป็นแบบจำลองไฟฟ้าด้วยโปรแกรมแมทแลบเพื่อวิเคราะห์ระบบไมโครกริด



รูปที่ 4.2 รูปโปรแกรมแมทแลบที่จำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 รูปภาพอุปกรณ์ของโปรแกรมแมทแลบ

ภาพ	อุปกรณ์	ภาพ	อุปกรณ์
 <p>Substation1</p>	แหล่งกำเนิดไฟฟ้า	 <p>Load 1MW1</p>	โหลด
 <p>Three-Phase Transformer (Two Windings)2</p>	หม้อแปลงสามเฟส	 <p>Three-Phase PI Section Line1</p>	สายส่ง
 <p>Voltage Measurement2</p>	เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า	 <p>Discrete RMS value4</p>	บล็อกแปลงค่าเป็นค่า RMS
 <p>Subs/82811</p>	เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า	 <p>PQ2</p>	จอแสดงผล

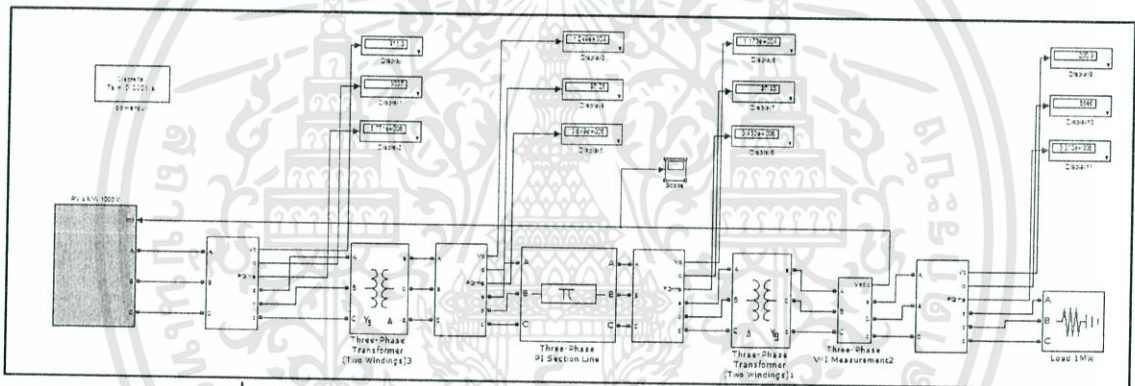
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 จำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยโปรแกรมแมทแล็บ

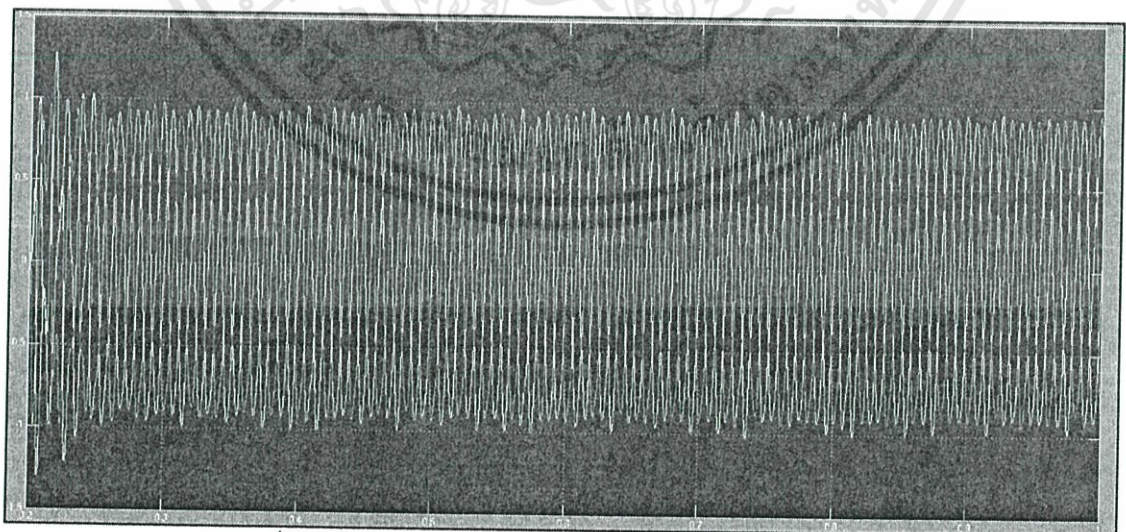
ในการจำลองแหล่งจ่ายด้วยโปรแกรมแมทแล็บจะใช้ค่าที่แหล่งจ่ายสามารถจ่ายได้จริงจากระบบไฟฟ้าของ อ.แม่เสริญ จ่ายให้กับโหลดเพื่อศึกษาค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในแต่ละจุด ของแหล่งจ่ายทั้ง 5 ชนิด

4.3.1 โพลาร์เซลล์ (Photovoltaic 4 MW)

จากรูปที่ 4.3 และ 4.5 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า Photovoltaic 4 MW จ่ายโหลดขนาด 4 MW มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจาก Photovoltaic ผ่านอินเวอร์เตอร์ กำลังไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงเท่ากับ 0.952 p.u. แรงดัน 0.707 p.u. เมื่อผ่านหม้อแปลง 1000V/22kV กำลังไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.921 p.u. มีความสูญเสียในหม้อแปลงทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าลดลง แรงดัน 0.967 p.u. ผ่านมาที่สายส่งระยะ 25 km มีค่ากำลังไฟฟ้าลดลงอีกเป็น 0.866 p.u. วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สายส่งก่อนเข้าโหลดมีกำลังไฟฟ้า 0.851 p.u. แรงดัน 0.905 p.u. ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.2 และจากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าระบบเข้าสู่สมดุลที่เวลา 0.2 วินาที

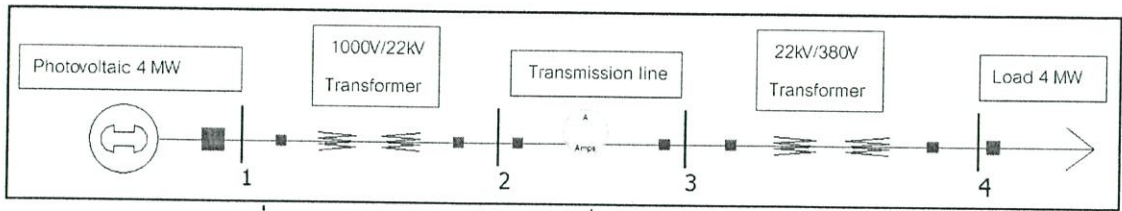


รูปที่ 4.3 จำลองแหล่งจ่าย Photovoltaic ด้วยโปรแกรมแมทแล็บ



รูปที่ 4.4 กราฟแรงดันที่โหลดของแปลงจ่าย Photovoltaic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



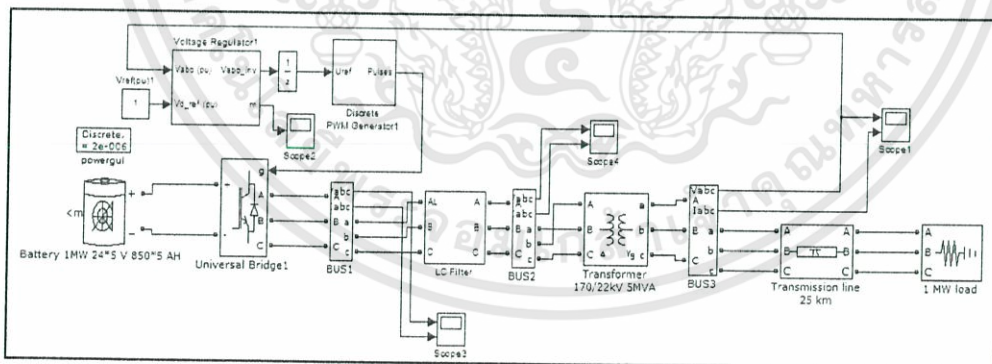
รูปที่ 4.5 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดี่ยวแหล่งจ่าย Photovoltaic

กำหนดให้ $MVA_{base} = 4 \text{ MW}$, $V_{base} = 1000 \text{ V}$ ที่แหล่งกำเนิด PV โดยไม่คิดผลของ Power factor ตารางที่ 4.2 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Photovoltaic

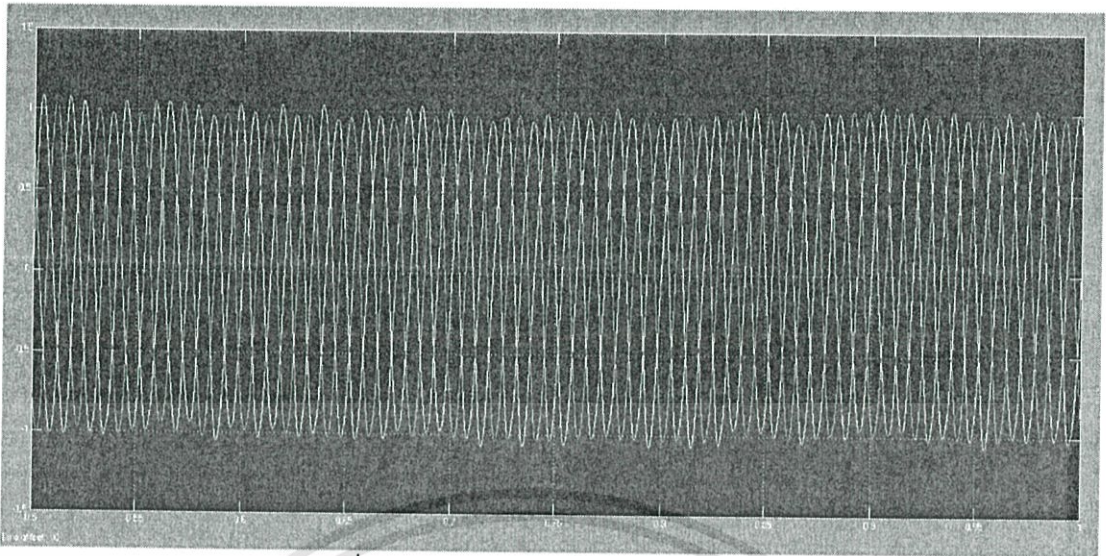
	Generator	Transformer	Transformer	Load
W (Power) p.u.	0.952	0.921	0.866	0.851
V (Voltage) p.u.	0.707	0.967	0.911	0.905
A (Current) p.u.	1.304	0.914	0.916	0.905

4.3.2 แบตเตอรี่ (Battery 1 MW)

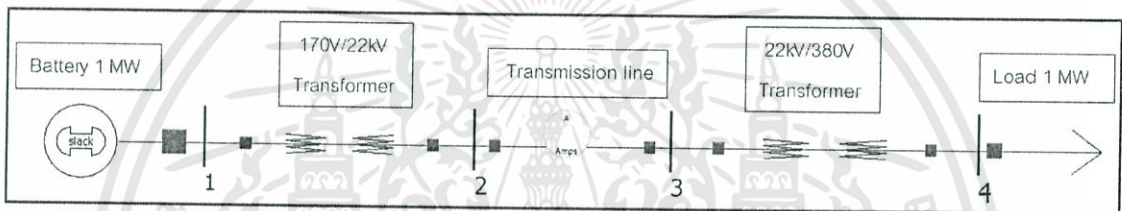
จากรูป 4.6 และ 4.8 ทำการจำลองแหล่งจ่าย Battery ด้วยโปรแกรมแมทแลบค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจาก Battery ผ่านอินเวอร์เตอร์ก่อนเข้าหม้อแปลงเท่ากับ 1.01 p.u. แรงดัน 0.978 p.u. เมื่อผ่านหม้อแปลง กำลังไฟฟ้าเหลือ 0.982 p.u. แรงดัน 0.981 p.u. และมีกำลังไฟฟ้าภายในสายส่ง 0.982 p.u. และเมื่อผ่านสายส่งเข้าโหลดมีกำลัง 0.956 p.u. แรงดัน 0.977 p.u. ค่าความสูญเสียในสายส่งมีค่าน้อยเพราะ Battery สามารถจ่ายกระแสได้เต็มพิกัดและผลของกำลังไฟฟ้าเสมือนนั้นมีค่าน้อย ค่าที่อ่านได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 กราฟแรงดันที่โหลดแสดงไว้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 จำลองแหล่งจ่าย Battery ด้วยโปรแกรมแมทแล



รูปที่ 4.7 กราฟแรงดันที่โหลดเวลา 0.5-1s



รูปที่ 4.8 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Battery

กำหนด $MVA_{base} = 1 \text{ MW}$, $V_{base} = 170 \text{ V}$ ที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า Battery โดยไม่คิดผลของ Power factor

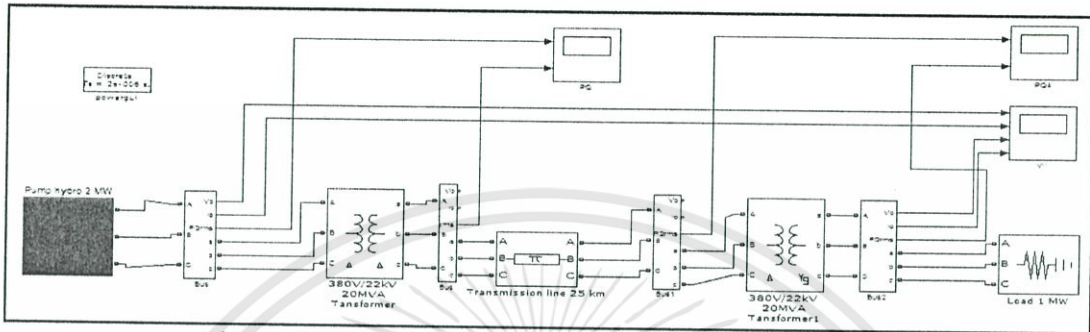
ตารางที่ 4.3 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Battery

	Generator	Transformer	Transformer	Load
W (Power) p.u.	1.01	0.982	0.982	0.956
V (Voltage) p.u.	0.978	0.981	0.979	0.977
A (Current) p.u.	1.035	1.002	1.003	0.978

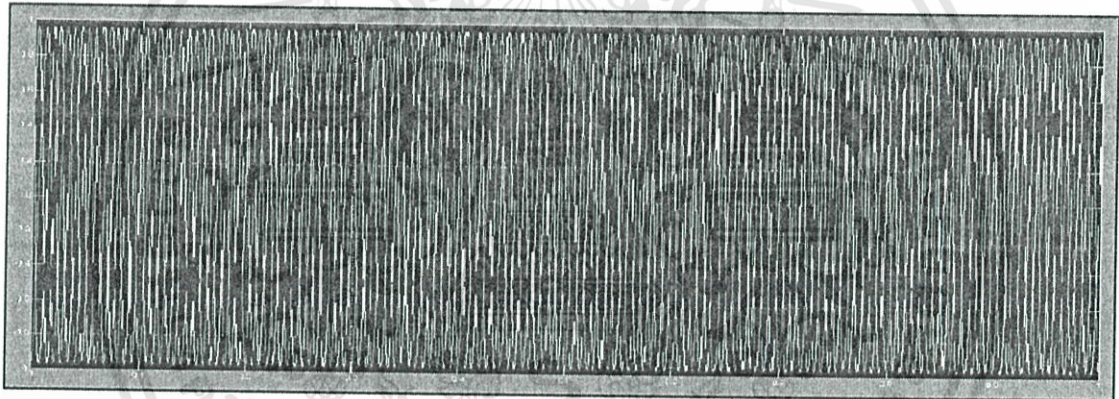
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ระบบพลังงานน้ำแบบสูบ-กลับ (Pumped Hydro 2 MW)

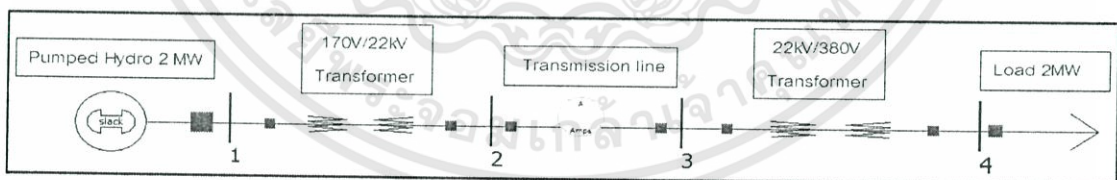
ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Pumped Hydro ดังรูปที่ 4.9 และ 4.11 มีค่า 1.007 p.u. แรงดัน 0.995 p.u. เมื่อผ่านหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.976 p.u. แรงดัน 0.992 p.u. เมื่อผ่านสายส่งทำให้กำลังลดลงเป็น 0.95 p.u. 0.962 p.u. และผ่านหม้อแปลงลดระดับแรงดันเพื่อจ่ายโหลดจะมีค่า 0.923 p.u. แรงดัน 0.957 p.u. ดังค่าในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.9 จำลองแหล่งจ่าย Pumped Hydro ด้วยโปรแกรมแมทแลบ



รูปที่ 4.10 กราฟแรงดันที่โหลดของแหล่งจ่าย Pumped Hydro



รูปที่ 4.11 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Pumped Hydro

กำหนด $MVA_{base} = 2 \text{ MW}$ $V_{base} = 380 \text{ V}$ ที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า Pump hydro โดยไม่คิดผลของ Power factor

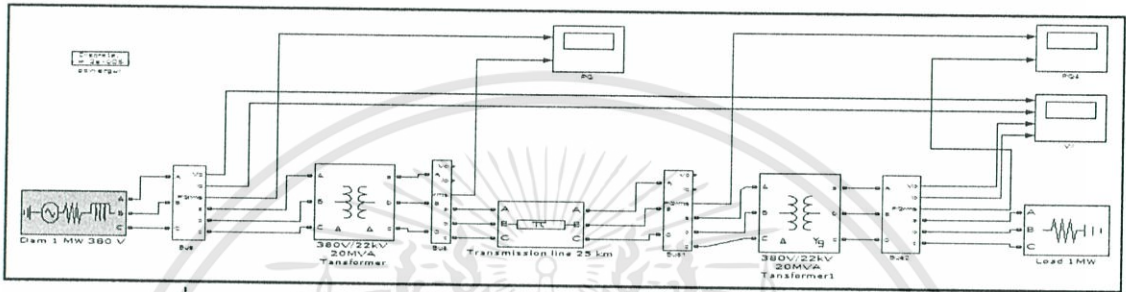
ตารางที่ 4.4 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Pumped Hydro

	Generator	Transformer	Transformer	Load
W (Power) p.u.	1.007	0.976	0.950	0.923
V (Voltage) p.u.	0.995	0.992	0.962	0.957
A (Current) p.u.	1.011	0.985	0.984	0.961

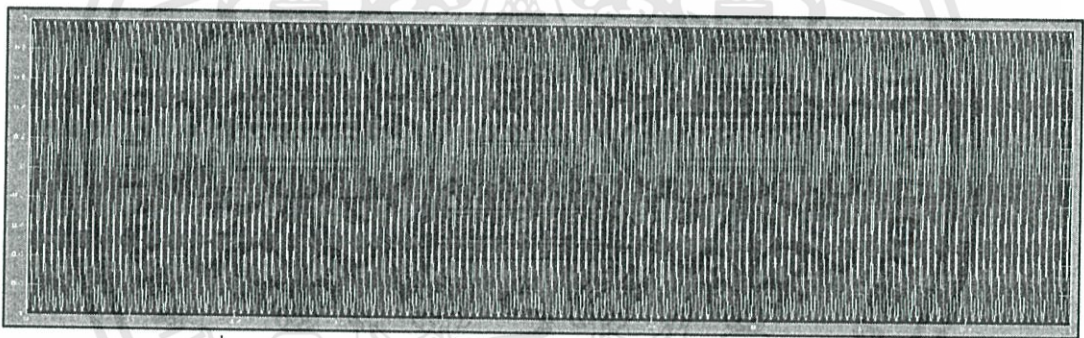
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 เขื่อนแม่เสีียง (Mae Sariang Dam 1 MW)

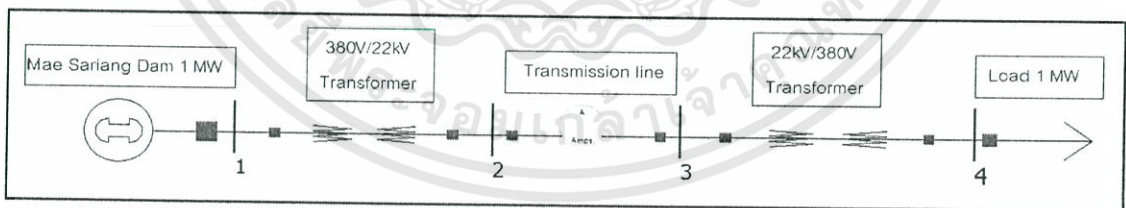
จากรูปกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจาก Mae Sariang Dam 1.075 p.u. แรงดัน 0.996 p.u. เมื่อผ่านหม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันขึ้นจะมีค่า 1.021 p.u. แรงดัน 0.994 p.u. และเมื่อผ่านสายส่งทำให้กำลังและแรงดันลดลงเล็กน้อยเป็น 1.007 p.u. แรงดัน 0.979 p.u. และเมื่อผ่านหม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันลงทำให้มีกำลัง 0.957 p.u. แรงดัน 0.978 p.u. ดังตารางที่ 4.5 สาเหตุที่แรงดันตกเนื่องจากโหลดมีการดึงกระแสมาก จากรูป 4.12 จะเห็นแบบจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าของ Mae Sariang Dam และมีกราฟแรงดันที่โหลดดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.12 จำลองแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam ด้วยโปรแกรมเมทแลบ



รูปที่ 4.13 กราฟแรงดันที่โหลดของแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam



รูปที่ 4.14 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Mae Sariang Dam

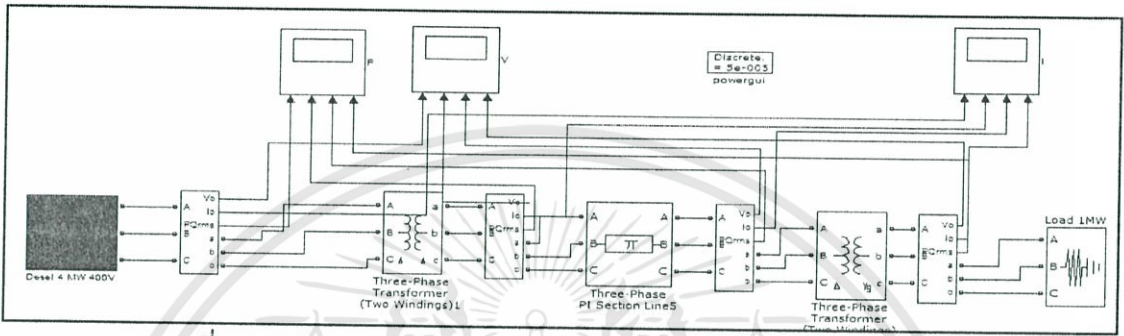
กำหนด $MVA_{base} = 1 \text{ MW}$, $V_{base} = 380 \text{ V}$ ที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า Mae Sariang Dam โดยไม่คิดผลของ Power factor

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Mae Sariang Dam

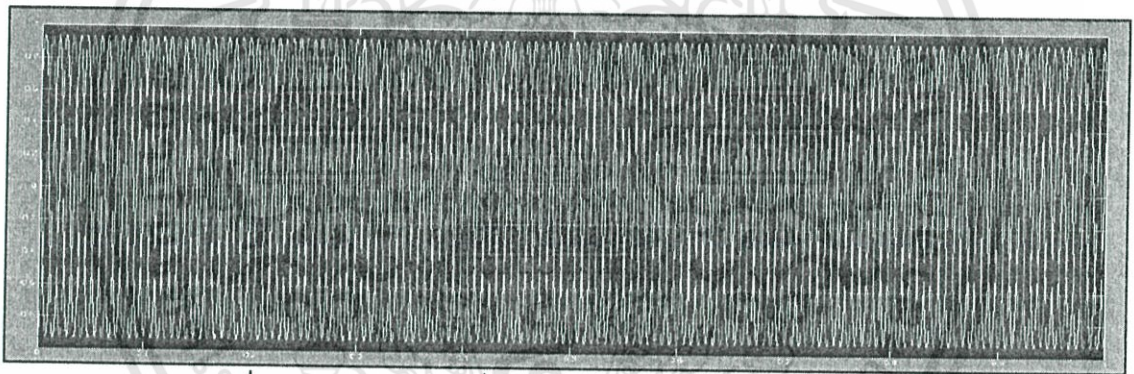
	Generator	Transformer	Transformer	Load
W (Power) p.u.	1.075	1.021	1.007	0.957
V (Voltage) p.u.	0.996	0.994	0.979	0.978
A (Current) p.u.	0.978	1.030	1.027	1.080

4.3.5 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator 4 MW)

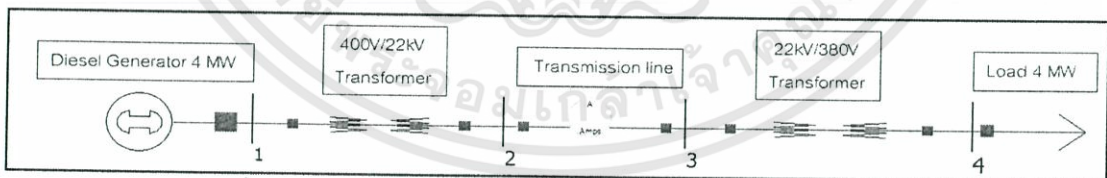
จากรูปแบบจำลองในโปรแกรมแมทแล็บ 4.15 กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ออกจาก Diesel Generator วัดค่าได้ตามตารางที่ 4.6 คือ 0.986 p.u. 0.9959 p.u. ผ่านหม้อแปลง กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีค่า 0.954 p.u., 0.995 p.u. เมื่อผ่านสายส่งกำลังและแรงดันลดลง เล็กน้อยมีค่า 0.898 p.u., 0.936 p.u. เมื่อผ่านหม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดัน กำลังและแรงดันไฟฟ้า มีค่า 0.874 p.u. และ 0.935 p.u.



รูปที่ 4.15 จำลองแหล่งจ่าย Diesel Generator ด้วยโปรแกรมแมทแล็บ



รูปที่ 4.16 กราฟแรงดันที่โหลดของแหล่งจ่าย Diesel Generator



รูปที่ 4.17 แผนผังไดอะแกรมเส้นเดียวแหล่งจ่าย Diesel Generator

กำหนด $MVA_{base} = 4 \text{ MW}$ $V_{base} = 400 \text{ V}$ ที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้า Desel Generator โดยไม่คิดผลของ Power factor

ตารางที่ 4.6 ค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่บัสเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วย Diesel Generator

	Generator	Transformer	Transformer	Load
W (Power) p.u.	0.986	0.953	0.898	0.874
V (Voltage) p.u.	0.9959	0.995	0.936	0.935
A (Current) p.u.	0.982	0.958	0.959	0.935

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

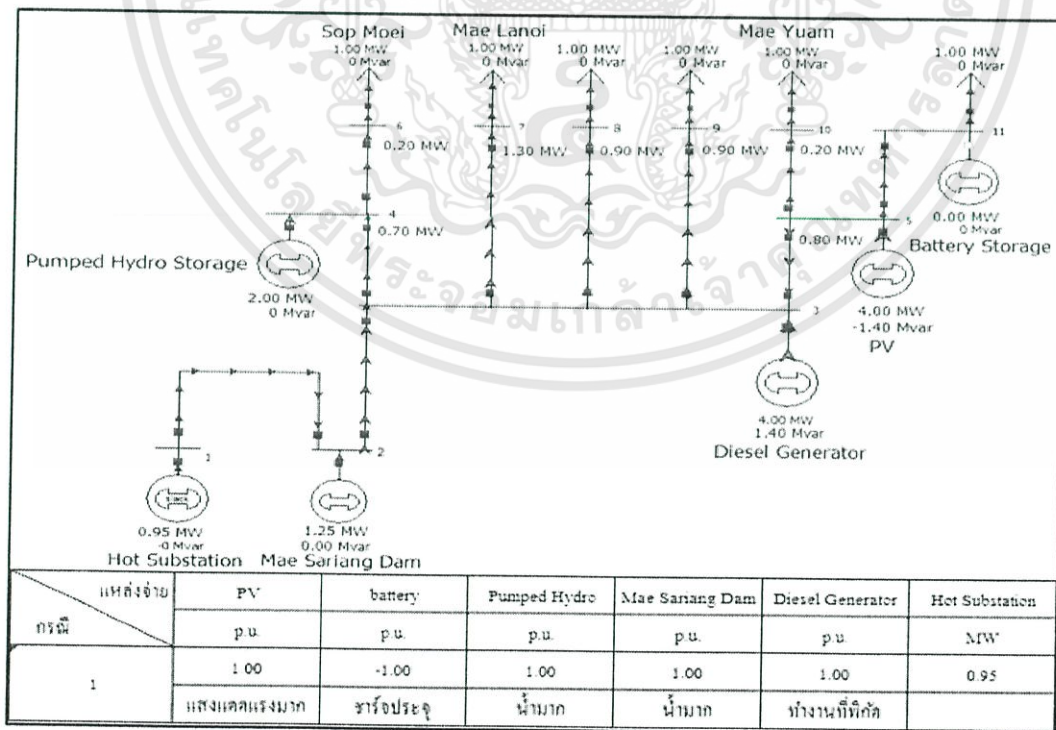
ผลจากการจำลองแหล่งจ่ายแต่ละชนิดจะได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าในส่วนของแต่ละแหล่งกำเนิดในแต่ละแหล่งมีค่าไม่ถึงพิกัดหรืออาจน้อยกว่าพิกัดกำลังที่ผลิตได้เนื่องจากในตัวโปรแกรมแมทแลบนั้นจะทำการคำนวณโดยคิดจากระบบรวมทำให้แหล่งจ่ายนั้นไม่สามารถกำหนดค่ากำลังออกมาที่พิกัดได้จึงต้องมีการปรับค่าเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียง ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันในแต่ละแหล่งกำเนิดเนื่องจากขนาดของแต่ละชนิดไม่เท่ากันกระแสที่ไหลในสายส่งนั้นมีขนาดไม่เท่ากันจึงทำให้แรงดันที่ได้นั้นลดลงไม่เท่ากัน

4.4 เปรียบเทียบแบบจำลองแมทแลบกับพาวเวอร์เวิลด์

จากการจำลองในหัวข้อที่ 4.3 ได้มีการแยกระบบในแต่ละแหล่งกำเนิดโดยสามารถกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันของแต่ละแหล่งกำเนิดที่จ่ายออกมาได้ ในหัวข้อนี้จะนำระบบที่ได้จากหัวข้อที่แล้วมาออกแบบสร้างแบบจำลองระบบไมโครกริดจริงและจะนำค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาเปรียบเทียบกับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์โดยจะนำกรณีที่ได้จากการศึกษาในบทที่ 3 มาศึกษา 2 กรณีคือกรณีที่ 1 ระบบไมโครทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้า และ กรณีที่ 9 ระบบไมโครกริดทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้าในเวลากลางคืน โดยจะนำกรณีศึกษาทั้งสองมาจำลองในโปรแกรมแมทแลบและเปรียบเทียบค่ากันระหว่างโปรแกรมทั้งสอง

4.4.1 ระบบไมโครกริดทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้า

จากการศึกษาได้นำข้อมูลกรณีที่ 1 ของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ มาเปรียบเทียบ โดยมีแบบจำลองดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน
โปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์หลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองผล สามารถวัดค่าได้จากโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ดังรูปที่ 4.19

Name ▲	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1	22.00	1.00000	22.000	-0.66			0.95	-0.00
10	1	22.00	0.99966	21.992	-0.71	1.00	0.00		
11	1	22.00	1.00000	22.000	-0.70	1.00	0.00	0.00	0.00
13	1	22.00	1.00000	22.000	-0.82	1.00	0.00		
2	1	22.00	1.00000	22.000	-0.68			1.25	0.00
3	1	22.00	1.00000	22.000	-0.70			4.00	1.40
4	1	22.00	1.00000	22.000	-0.72			2.00	0.00
5	1	22.00	1.00000	22.000	-0.69			4.00	-1.40
6	1	22.00	1.00000	22.000	-0.82	1.00	0.00		
7	1	22.00	0.99986	21.997	-0.71	1.00	0.00		
8	1	22.00	1.00000	22.000	-0.70	1.00	0.00		
9	1	22.00	1.00000	22.000	-0.71	1.00	0.00		

รูปที่ 4.19 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณีที่ 1

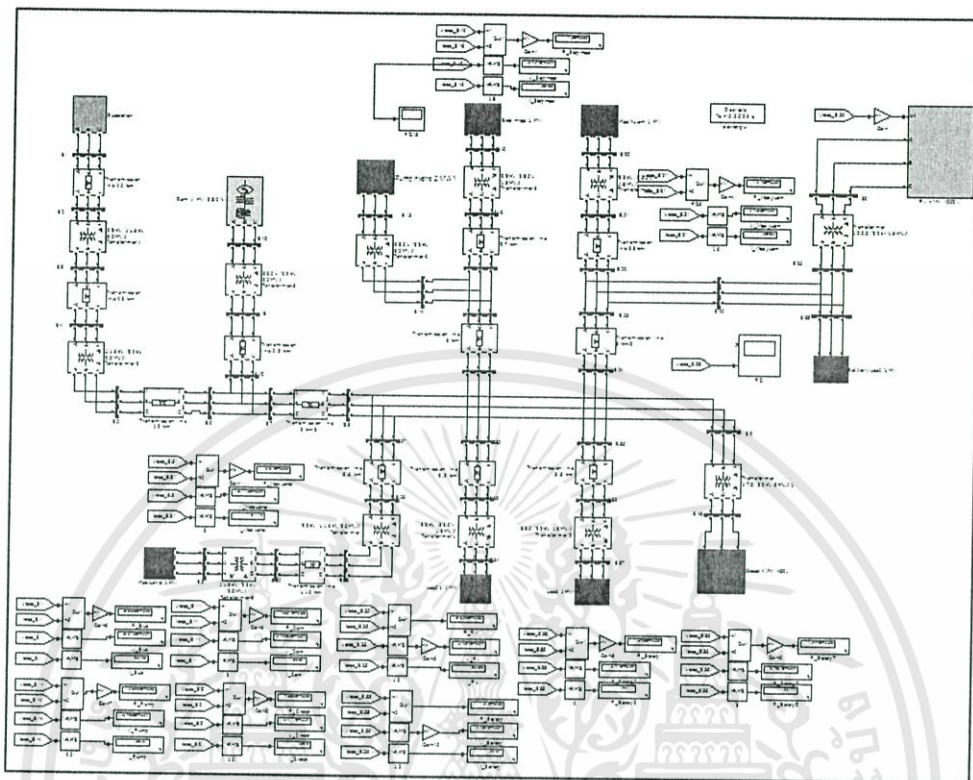
นำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมพาวเวอร์มาทำเป็นตารางที่ 4.7 โดยทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแต่ละแหล่งกำเนิดและโหลด

ตารางที่ 4.7 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณีที่ 1

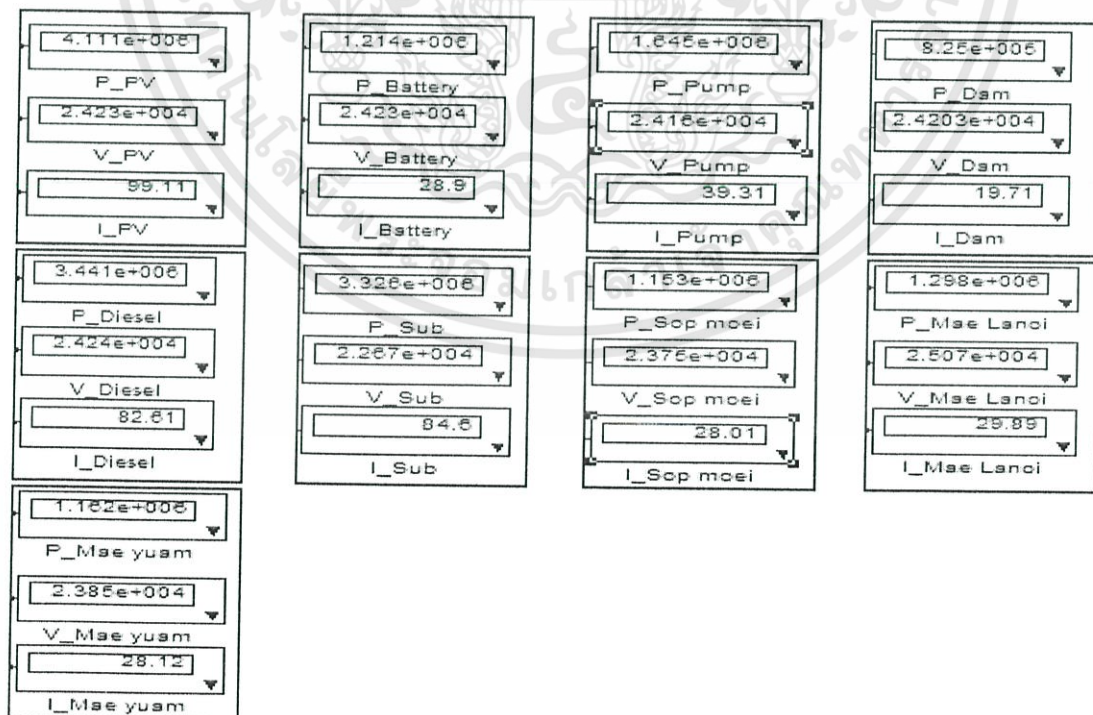
	Photovoltaic(5)	Battery(11)	Pump hydro(4)	Dam(2)	Diesel(3)
P	4 MW	-1 MW	2 MW	1 MW	4 MW
V	22 kV	22 kV	22 kV	22 kV	22 kV
	Hot Substation(1)		Sop moei(6)	Mae Lanoi(7)	Mae yuam(10)
P	0.95 MW		-1 MW	-1 MW	-1 MW
V	22 kV		22 kV	22 kV	22 kV

จากตาราง ค่ากำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มีค่าเป็น 1 MW ในกรณีที่ 1 นั้นหมายถึงแบตเตอรี่ทำการชาร์จประจุ จึงรับกำลังไฟฟ้าเข้าไปเช่นเดียวกับโหลดอื่นๆ

จากกรณีศึกษาที่กล่าวไปแล้วเมื่อเปลี่ยนเป็นโปรแกรมแมทแลบใช้ในการจำลองผลดังรูปที่ 4.20 โดยทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าได้ผลดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน
โปรแกรมแมทแลบหลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.21 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณีศึกษาที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 นำค่าที่อ่านได้มาทำเป็นตารางที่ 4.8 วัดค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยแสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิต ค่าที่วัดได้เทียบจากกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถจ่ายออกมาได้จากแต่ละแหล่งกำเนิด

ตารางที่ 4.8 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณีที่ 1

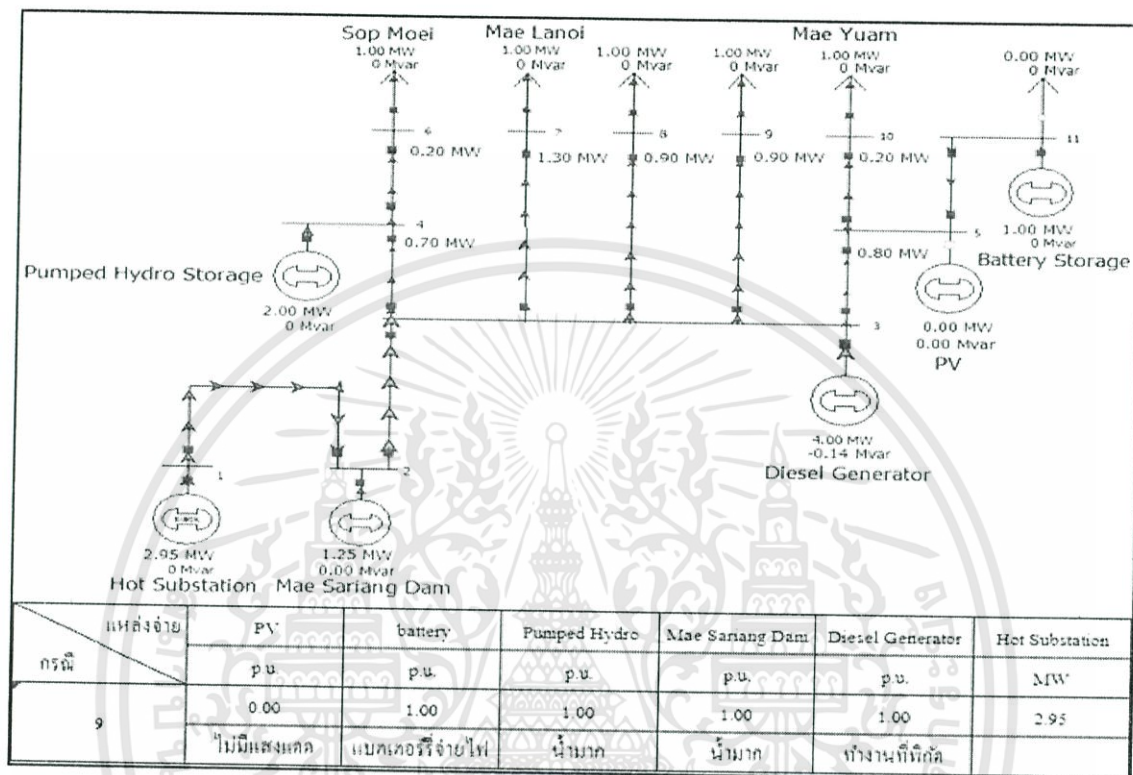
	Photovoltaic (4 MW,22 kv)	Battery (1 MW,22 kv)	Pump hydro (2 MW,22 kv)	Dam (1 MW,22 kv)	Diesel (4 MW,22 kv)
P (p.u.)	1.028	1.210	0.825	0.83	0.86
V (p.u.)	1.101	1.101	1.098	1.100	1.102
	Hot Substation	Sop moei (1 MW,22 kv)	Mae Lanoi (1 MW,22 kv)	Mae Yuam (1 MW,22 kv)	-
P	3.326 MW	1.15 p.u.	1.30 p.u.	1.16 p.u.	-
V (p.u.)	1.030	1.080	1.140	1.084	-

จากตารางที่ 4.8 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมแมทแลบ เราได้ทำการวัดที่หม้อแปลงที่ขนาดแรงดัน 22 kV ก่อนที่จะลดระดับแรงดัน เช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดเราทำการวัดที่ฝั่งสายส่งหลังจากที่แหล่งกำเนิดผ่านหม้อแปลงยกระดับแรงดันขึ้นเป็น 22 kV เพื่อเทียบค่ากับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ แต่ค่ากำลังไฟฟ้าที่ Hot Substation นั้นจ่ายมากกว่าเนื่องจากความสูญเสียของหม้อแปลงและสายส่งระยะกลางทำให้เกิดความสูญเสียสูงกว่าโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ โดยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ไม่ได้คิดผลความสูญเสียที่ได้จากสายส่งและหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ระบบไมโครกริดทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้าเวลากลางคืน

จากกรณีที่ 9 ของบทที่ 3 เป็นการทำงานของระบบไมโครกริดขนานกับโครงข่ายไฟฟ้าเวลากลางคืน โดยมีแบบจำลองด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ดังรูปที่ 4.22 และสามารถแสดงค่ากำลังและแรงดันไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน โปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์หลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 9

Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1	22.00	1.00000	22.000	-0.66			2.95	0.00
10	1	22.00	0.999863	21.992	-0.77	1.00	0.00		
11	1	22.00	1.00000	22.000	-0.74	0.00	0.00	1.00	0.14
13	1	22.00	1.00000	22.000	-0.37	1.00	0.00		
2	1	22.00	1.00000	22.000	-0.70			1.25	0.00
3	1	22.00	1.00000	22.000	-0.75			4.00	-0.14
4	1	22.00	1.00000	22.000	-0.76			2.00	0.00
5	1	22.00	0.99997	21.999	-0.75			0.00	0.00
6	1	22.00	1.00000	22.000	-0.87	1.00	0.00		
7	1	22.00	0.99986	21.997	-0.75	1.00	0.00		
8	1	22.00	1.00000	22.000	-0.75	1.00	0.00		
9	1	22.00	1.00000	22.000	-0.75	1.00	0.00		

รูปที่ 4.23 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณีที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

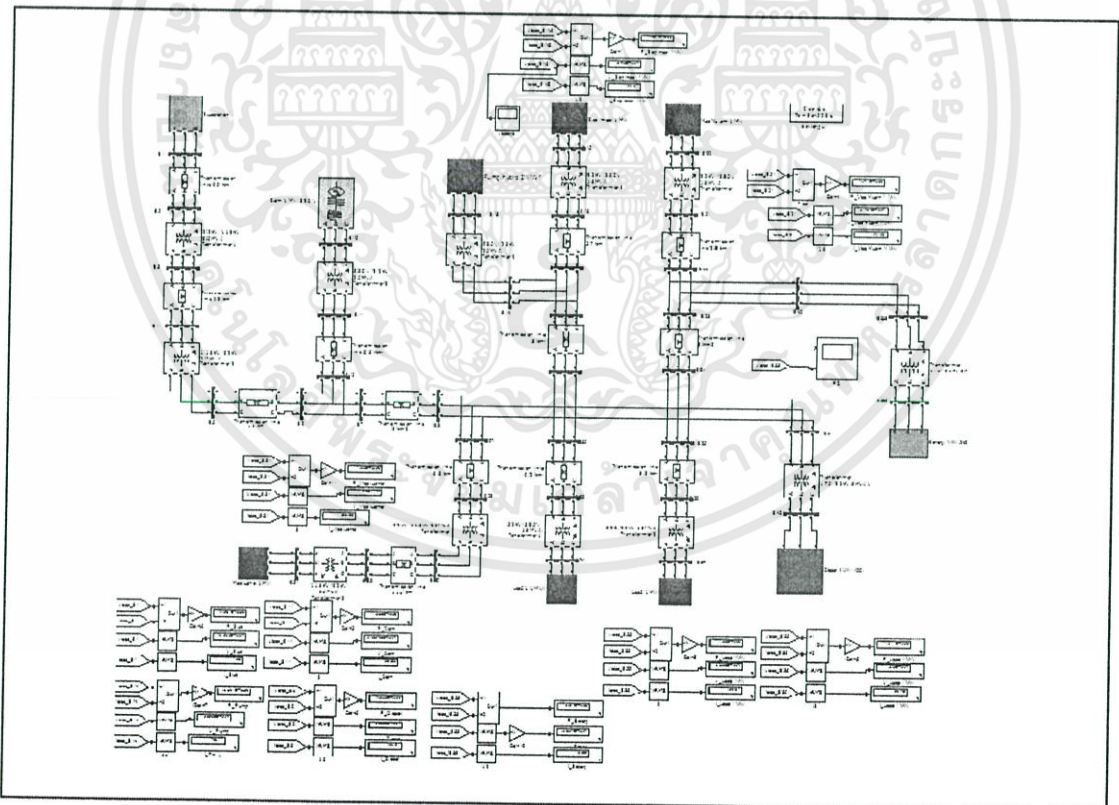
นำค่าที่แสดงในรูปที่ 4.23 มาแสดงเป็นตารางที่ 4.9 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์กรณีที่ 9

	Photovoltaic(5)	Battery(11)	Pump hydro(4)	Dam(2)	Diesel(3)
P	0 MW	1 MW	2 MW	1 MW	4 MW
V	22 kV	22 kV	22 kV	22 kV	22 kV
	Hot Substation(1)		Sop moei(6)	Mae Lanoi(7)	Mae yuam(10)
P	3.95 MW		-1 MW	-1 MW	-1 MW
V	22 kV		22 kV	22 kV	22 kV

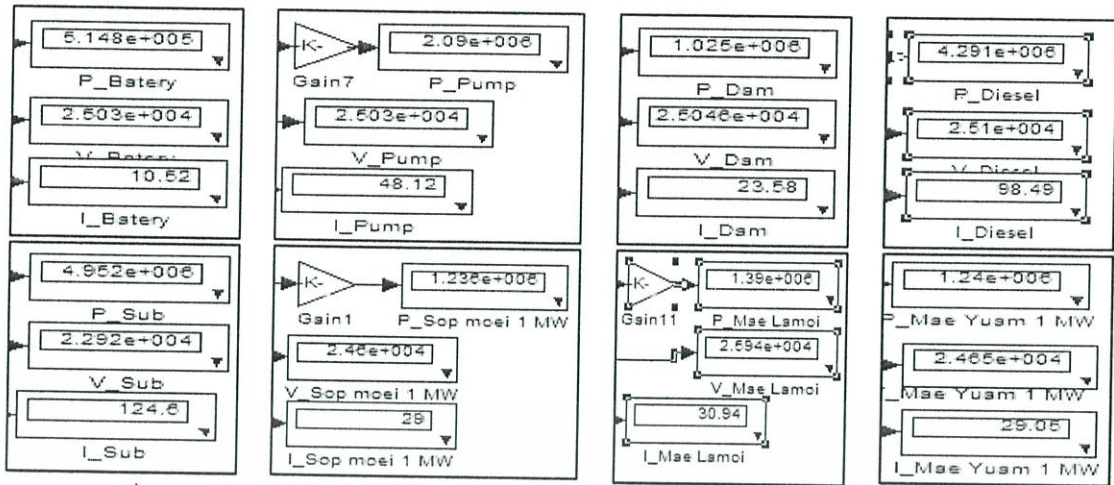
จากตารางจะเห็นว่าในกรณีที่ 9 นั้นเป็นการทำงานที่เวลากลางคืนดังนั้น Photovoltaic จะไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ แต่จะกำหนดให้ แบตเตอรี่ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงนี้แทน ดังนั้นจึงมีค่ากำลังไฟฟ้า 1 MW

จากนั้นในกรณีเดียวกันนี้ได้ทำการจำลองผลโดยใช้โปรแกรมแมทแลบดังรูปที่ 4.24 และวัดค่ากำลัง แรงดันและกระแสไฟฟ้าจากโปรแกรมแมทแลบดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.24 แบบจำลองระบบไมโครกริด อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน
โปรแกรมแมทแลบหลังติดตั้งระบบไมโครกริดกรณีที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณีที่ 9

นำค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ทำเป็นตารางที่ 4.10 โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าที่วัดได้เทียบจากกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถจ่ายออกมาได้จากแต่ละแหล่งกำเนิด

ตารางที่ 4.10 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริดของโปรแกรมแมทแลบกรณีที่ 9

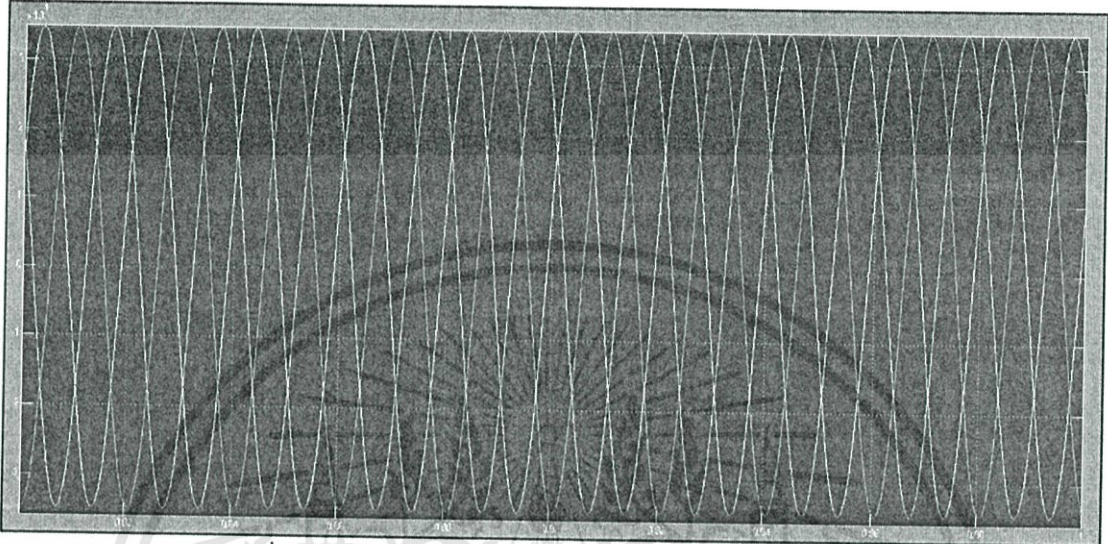
	Photovoltaic (4 MW, 22 kv)	Battery (1 MW, 22 kv)	Pump hydro (2 MW, 22 kv)	Dam (1 MW, 22 kv)	Diesel (4 MW, 22 kv)
P (p.u.)	0.00	0.515	1.181	1.460	1.09
V (p.u.)	0.00	1.138	1.138	1.139	1.141
	Hot Substation	Sop moei (1 MW,22 kv)	Mae Lanloi (1 MW,22 kv)	Mae Yuam (1 MW,22 kv)	-
P	4.95 MW	1.24 p.u.	1.39 p.u.	1.24 p.u.	-
V (p.u.)	1.042	1.118	1.179	1.121	-

จากตารางที่ 4.10 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมแมทแลบ เราได้ทำการวัดที่ตำแหน่งเดียวกันกับตารางที่ 4.8 เพื่อเทียบค่ากับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ แต่จะเห็นว่าที่ Battery นั้นจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้น้อยเนื่องจาก Hot substation นั้นจ่ายกำลังออกมามากทำให้ Battery จ่ายน้อยลง เป็นผลมาจากตัวโปรแกรมแมทแลบ ที่ไม่สามารถกำหนดการจ่ายของแหล่งกำเนิดในแต่ละแหล่งได้เต็มพิกัด ค่ากำลังไฟฟ้าที่ Hot Substation จ่ายมากกว่าเนื่องจากความสูญเสียของหม้อแปลงและสายส่งระยะกลางรวมกับกำลังไฟฟ้าที่ Battery ทำให้ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงกว่าโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์โดยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ไม่ได้คิดผลความสูญเสียที่ได้จากสายส่งและหม้อแปลง

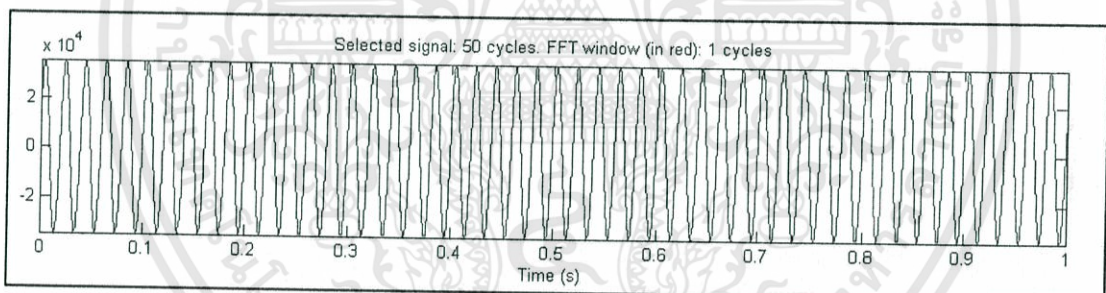
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์และเสถียรภาพของระบบไมโครกริด

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ระหว่างโปรแกรมทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ด้วยโปรแกรมแมทแล็บเพื่อดูเสถียรภาพของแรงดัน โดยทำการวัดสัญญาณแรงดันที่โหลด Sop moei เป็นดังรูปที่ 4.26 และทำการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เวลา 0.8 วินาที ดังรูปที่ 4.27

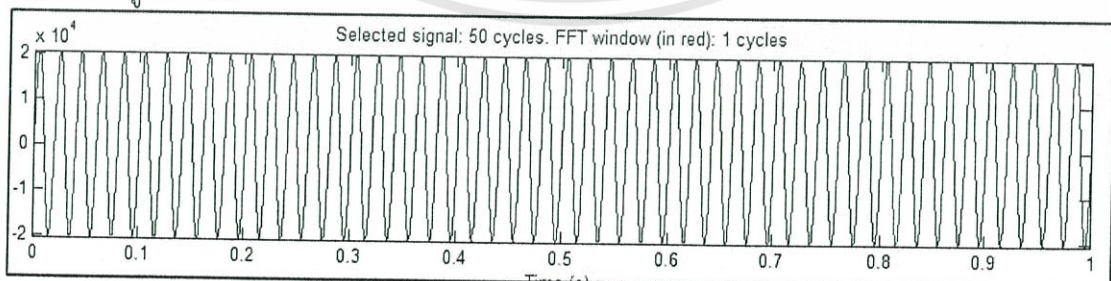


รูปที่ 4.26 กราฟแรงดันไฟฟ้าสามเฟสของโหลด Sop Moei กรณีทำงานร่วมกับโครงข่ายในเวลากลางคืน



รูปที่ 4.27 กราฟแรงดันไฟฟ้าของโหลด Sop Moei กรณีทำงานร่วมกับโครงข่ายในเวลากลางคืน

ต่อมาได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันที่แบตเตอรี่โดยทำการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เวลา 0.8 วินาทีได้ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 กราฟแรงดันไฟฟ้าของ Battery กรณีทำงานร่วมกับโครงข่ายในเวลากลางคืน

ทำการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์แรงดันที่โหลด Sop moei ได้ดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sampling time	=	5e-005 s
Samples per cycle	=	400
DC component	=	2.062
Fundamental	=	3.478e+004 peak (2.46e+004 rms)
Total Harmonic Distortion (THD) = 0.24%		
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 9950.00 Hz (199th harmonic)		
0 Hz (DC):	0.01%	90.0?
50 Hz (Fnd):	100.00%	18.7?
100 Hz (h2):	0.19%	132.2?
150 Hz (h3):	0.14%	78.6?
200 Hz (h4):	0.07%	0.0?
250 Hz (h5):	0.01%	0.0?
300 Hz (h6):	0.00%	0.0?
350 Hz (h7):	0.00%	217.3?
400 Hz (h8):	0.00%	0.0?
450 Hz (h9):	0.00%	0.0?
500 Hz (h10):	0.00%	0.0?
550 Hz (h11):	0.00%	0.0?
600 Hz (h12):	0.00%	224.6?

รูปที่ 4.29 วิเคราะห์ฮาร์โมนิกของแรงดันไฟฟ้าที่โหลด Sop Moei

ทำการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกแรงดันที่ Battery ได้ดังรูปที่ 4.30

Sampling time	=	5e-005 s
Samples per cycle	=	400
DC component	=	0.742
Fundamental	=	2.044e+004 peak (1.445e+004 rms)
Total Harmonic Distortion (THD) = 0.26%		
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 9950.00 Hz (199th harmonic)		
0 Hz (DC):	0.00%	90.0?
50 Hz (Fnd):	100.00%	0.0?
100 Hz (h2):	0.23%	124.6?
150 Hz (h3):	0.12%	79.6?
200 Hz (h4):	0.04%	0.0?
250 Hz (h5):	0.01%	0.0?
300 Hz (h6):	0.01%	153.6?
350 Hz (h7):	0.01%	152.1?
400 Hz (h8):	0.00%	0.0?
450 Hz (h9):	0.00%	12.1?
500 Hz (h10):	0.00%	0.0?
550 Hz (h11):	0.00%	9.7?
600 Hz (h12):	0.00%	167.8?

รูปที่ 4.30 วิเคราะห์ฮาร์โมนิกของแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า Battery

การวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครกริดขณะทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้าเวลากลางคืน ที่เวลา 0.8 วินาที แรงดันไฟฟ้าที่โหลด Sop Moei มีค่า THD = 0.24% และแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบตเตอรี่มีค่า THD = 0.26% สรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครกริดที่ ณ เวลากราฟแรงดันไฟฟ้าคงตัวแล้ว มีค่า THD น้อยมาก (สามารถเปิดตารางเทียบได้จากภาคผนวก) ค่าความผิดพลาดของสัญญาณน้อยไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆ เมื่อดูจากตารางมาตรฐานความผิดพลาดแรงดันไฟฟ้าของประเทศไทยถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากปัญหาจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีสถิติกระแสไฟฟ้าขัดข้องสูงสุดของประเทศไทย รวมถึง อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ที่สายส่งตัดผ่านป่าไม้ชุ่มน้ำทำให้กระแสไฟฟ้าขัดข้องสาเหตุมาจาก ต้นไม้บ่อยครั้งและเป็นเวลานานเนื่องจากสภาพการจราจรที่ไม่สะดวก ปัญหาการสูญเสียของสายส่ง ระยะไกล ทำให้ต้องผลิตกำลังไฟฟ้าสูงเพื่อจ่ายโหลดที่อยู่ห่างไกล ปริญญาพันธ์เล่มนี้จึงคิดแก้ปัญหาโดยเลือกใช้ระบบไฟฟ้าแบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid) คือระบบไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟแบบอิสระได้โดยไม่ต้องเชื่อมโยงกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหรือทำงานโดยขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิม ประกอบด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Electricity/Energy Storage) ระบบควบคุมและเชื่อมต่อกับกริดการไฟฟ้า ในต่างประเทศระบบไมโครกริดมีความแพร่หลายมาก โดยนำไปใช้จ่ายไฟให้กับ ชุมชน โรงเรียน หมู่เกาะ และพื้นที่บนเขาห่างไกลยังไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง

จากการข้อมูลระบบไฟฟ้า อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ได้นำต้นแบบระบบไมโครกริดนี้ไปเป็นแบบจำลองทำการศึกษาด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ในสองแบบ คือ ก่อนติดตั้งระบบไมโครกริด 5 กรณี หลังติดตั้งระบบไมโครกริด 30 กรณี มีกรณีศึกษาที่น่าสนใจคือ แบบก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอสำหรับจ่ายโหลดใน อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน ต้องรับไฟฟ้าเพิ่มจากกริดการไฟฟ้า และถ้าหากกริดการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายได้ก็จะเกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง เมื่อเทียบกับแบบหลังการติดตั้งระบบไมโครกริดจากการศึกษาในกรณีที่ 5 ระบบไมโครกริดทำงานเต็มพิกัดทั้งระบบจะสามารถทำงานด้วยสถานะ Island คือ จ่ายโหลดได้เพียงพอต่อการใช้และไม่ต้องใช้ไฟฟ้าจากกริดการไฟฟ้า และกรณีที่ 1 เป็นช่วงเวลาที่กริดการไฟฟ้าทำงานร่วมกับระบบไมโครกริดคือช่วยจ่ายระบบ โซลาร์เซลล์ทำการชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่เก็บไฟไว้ใช้เวลากลางคืน ดังนั้นการติดตั้งระบบไมโครกริดสามารถช่วยแก้ไขปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องและการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโหลด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแมทแลบโดยแยกแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลดโดยตรง ตามค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกแบบดังนี้ Photovoltaic 4 MW, Battery 1 MW, Pumped hydro 2 MW, Mae sariang dam 1 MW และ Diesel 4 MW ผลที่ได้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดได้เพียงพอแต่มีการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามารวมกันเป็นระบบไมโครกริดแล้วเปรียบเทียบการจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบระหว่างโปรแกรมแมทแลบกับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์โดยทำการเลือกกรณีศึกษา มา 2 กรณี พบว่ากรณีที่ 1 กำลังไฟฟ้า และแรงดันที่วัดในแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกัน แล้วทำการวิเคราะห์กรณีที่ 9 ค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันของทั้งสองโปรแกรมก็มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถยืนยันค่ากำลังไฟฟ้าของระบบไมโครกริดที่จำลองโดยโปรแกรมแมทแลบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ได้ จากนั้นใช้โปรแกรมแมทแลบวิเคราะห์ความผิดพลาดเพียงของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ค่าอาร์โมนิคส์ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าในประเทศไทยไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า

จากการศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทยของ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน พบว่าสามารถทำการติดตั้งระบบไมโครกริดเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าจะไม่เป็นปัญหาเกี่ยวกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเดิม ช่วยแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้องจ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอและต่อเนื่อง ลดค่าใช้จ่ายจากการลดปริมาณการซื้อกำลังไฟฟ้า จากการศึกษาสามารถใช้รูปแบบระบบไมโครกริดนี้เป็นต้นแบบเพื่อติดตั้งระบบไมโครกริดทั่วทั้งประเทศไทย โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าตามความเหมาะสมของทรัพยากรที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น และใช้การควบคุมระบบเพื่อรักษาเสถียรภาพให้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าให้ความน่าเชื่อถือและเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในพื้นที่นั้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1. การจำลองผลด้วยโปรแกรมแมทแลบแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลนานเป็นอย่างมาก
2. การวางแผนดำเนินงานกว้างเกินไประยะเวลาไม่เพียงพอทำให้ถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้
3. มีการกระจายงาน แบ่งทำโครงการคนละส่วนทำให้เกิดปัญหาความเข้าใจในข้อมูลคลาดเคลื่อนไม่ตรงกัน

5.3 การแก้ไข้ปัญหา

1. การแก้้ปัญหาให้การจำลองผลเร็วขึ้น ต้องมีการปรับค่า sampling time ให้หยาบว่าเดิมเวลาที่ใช้ในการจำลองผลจะลดลงแต่กราฟที่ได้จะไม่ละเอียด
2. ลดขอบเขตการทำงานลงให้เหมาะสมกับระยะเวลา และจำนวนผู้จัดทำโครงการ
3. ต้องปรับแก้้ไข คุยกันภายในกลุ่มให้มองเป้าหมายไปในแนวทางเดียวกัน ช่วยกันแก้้ไขปัญหาให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้เจอกับปัญหาในการทำโครงการทำให้ทราบว่าควรจะมีการเตรียมตัวก่อนทุกครั้งที่จะดำเนินการทำสิ่งใด เช่น การจำลองผล การหาข้อมูล การศึกษาคุณลักษณะแบบจำลองโปรแกรม เพื่อความรวดเร็วเมื่อเกิดปัญหาควรวิเคราะห์ปัญหานั้น หาแนวทางแก้ไข และป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานั้นขึ้นอีก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wenqiang He and Hans Peter Nee, “A Comparison Study of DG Interconnection Standard,”
- [2] Farid Katiraei, Reza Iravani, Nikos Hatziargyriou, and Aris Dimeas “Microgrid management,” *IEEE power & energy magazine*, 2008
- [3] Taha Selim Ustun, Cagil Ozansoy and Aladin Zayegh, “Recent developments in microgrids and example cases around the world—A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2011, PP.4030–4041.
- [4] Thomas S. Basso and Richard DeBlasio, “IEEE 1547 Series of Standards: Interconnection Issues,” *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL.19, NO, 2004
- [5] Benjamin Kroposki, Thomas Basso and Richard DeBlasio, “Microgrid Standards and Technologies,” *IEEE*, 2008.
- [6] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, “Microgrids and Active Distribution Networks,” *IET RENEWABLE ENERGY, SERIES 6*, 2009.
- [7] Keeyoung Nam, Jongbo Ahn, Heungkwan Choi, Seulki Kim, Jongyul. Kim, Changhee Cho and Jinhong Jeon, “Establishment of a Pilot Plant for KERI Microgrid System based on Power IT Development Program in Korea,” *IEEE T&D Asia*, 2009.
- [8] Dr David Cornforth, “Microgrid Research in Australia,” *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Newcastle, Australia Microgrid*, 2011.
- [9] Lisa Dignard-Bailey and Farid Katiraei, “Overview of Microgrid Research and Development Activities in Canada,” *Grid integration of Decentralized Energy Resources Program Natural Resources Canada*, 2006
- [10] Carlos A. Hernandez, Philip Clemow, Sohasini Sudtharalingam and Salvador Acha, “Chapter 2: Distributed Energy Resources (DER) Equipment,” *Imperial College London*.
- [11] Daniel Persson, “Islanding detection in power electronic converter based distributed generation,” *CODEN-LUTEDX, (TEIE-5232)/1-079*, 2007.
- [12] C. Ma, and Y. Hou, “Classified Overview of Microgrids and Developments in China,” *IEEE*.
- [13] Tadahiro Goda, “Microgrid Research at Mitsubishi,” *Mitsubishi*, 2005.
- [14] Robert Butt, “Microgrid Planning and Design –MCAS Miramar, US Air Force Academy, and Fort Carson,” *NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY*, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] F. M. Cleveland, "IEC 61850-7-420 Communications Standard for Distributed Energy Resources (DER)," IEEE, 2008.
- [16] Peter J. Hall and Euan J. Bain, "Energy-storage technologies and electricity generation," *Energy Policy*, Vol 36, 2008, PP.4352–4355.
- [17] J.A. Alzola, I. Vechiu, H. Camblong, M. Santos, M. Sall and G. Sow, "Microgrids project, Part 2: Design of an electrification kit with high content of renewable energy sources in Senegal," *Renewable Energy*, Vol. 34, 2009, PP.2151–2159.
- [18] Joe Eto, "Role of Microgrids in Facilitating Integration of Distributed Renewable Electricity Sources," www.oe.energy.gov.
- [19] Taylor & Francis Group, LLC. "cosas_lineas," File PDF, 2007, PP.22-27, Available: http://www.unioviado.es/pcasielles/uploads/proyectantes/cosas_lineas.pdf
- [20] รศ.ดร.อิสระชัย งานทรู, พลศาสตร์และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง, มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, กรุงเทพฯ, สิงหาคม 2554.
- [21] Sivers IMA. "PEAK PERFORMANCE MICROWAVE & mm-WAVE PRODUCTS." *Certified Company*, 2009, Available: <http://www.siversima.com/rf-calculator/lc-resonance-calculator/>
- [22] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, พลังงานลม, 2546. Available: http://www.dede.go.th/dede/renew/wind_p.htm.
- [23] Ensola AG, "Technical Description Microturbine Turbec T100," Turbec Distributor DACH, Motorenstrasse 36, CH-8620 Wetzikon, Switzerland, 2006.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความผิดเพี้ยน

ค่าความผิดเพี้ยนรวมเป็นอีกค่าหนึ่งที่บอกความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นโดยมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างรากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของสัญญาณที่ผิดเพี้ยน (Distortion) และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณที่ค่าความถี่มูลฐาน การวิเคราะห์หาค่าความผิดเพี้ยนรวม (THDx) จะมีค่าเป็นไปตามสมการ

$$THD(Voltage) = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

$$\%THDx = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} X_h^2}}{X_1} \times 100$$

โดย $\%THDx$ คือ ค่าความผิดเพี้ยนรวม
 X_1 คือ ค่าแรงดันที่ความถี่มูลฐาน
 X_h คือ ค่าแรงดันที่ความถี่ฮาร์โมนิกต่างๆ

ตารางมาตรฐานฮาร์โมนิกสัในประทศต่างๆ

ตารางค่ามาตรฐานฮาร์โมนิกสัของแรงดันประทศสหราชอาณาจักร

Voltage Level	THDv(%)
Low voltage	5
Medium voltage	5
very high voltage	1.5

ตารางค่ามาตรฐานฮาร์โมนิกสัแรงดันประทศสหรัฐอเมริกา

Voltage Level	Individual Harmonics Distortion (%)	THDv(%)
V<69 kV	3	5
69<v<161kV	1.5	2.5
V>161 kV	1	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานฮาร์โมนิกส์แรงดันของประเทศเยอรมนีได้มีข้อกำหนดเพิ่มเติมคือกำลังงานพิกัด (power rating) สำหรับอุปกรณ์ที่สร้างฮาร์โมนิกส์ไม่เกิน 1%

ตารางค่ามาตรฐานฮาร์โมนิกส์ของแรงดันประเทศเยอรมัน

Voltage Level	THDv(%)
All level	10

ตารางค่ามาตรฐานฮาร์โมนิกส์ของแรงดันประเทศเยอรมัน (ต่อ)

h-th harmonic	Individual Harmonics Voltage Distortion (%)	Condition
$h < 15$	5	normal
$h < 19$	9	short term
$h = 100$	1	Linear decrease

ตารางมาตรฐานฮาร์โมนิกส์แรงดันประเทศญี่ปุ่น

Voltage Level	Individual Harmonics Distortion(%)	THDv(%)
$11 < V < 66$ kV	3	2
$V < 154$ kV	1.5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่ามาตรฐานฮาร์มอนิกส์ของแรงดันประเทศไทย

ระดับแรงดันไฟฟ้า ที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยน ฮาร์มอนิกส์รวม ของแรงดัน(%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของ แรงดันแต่ละอันดับ(%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.4	5	4	2
11,12,22 and 24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 and above	1.5	1	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

คือการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ของวงจรสายกับเดลตา

ตารางสมบัติของวงจรสามเฟสซึ่งแหล่งจ่ายแรงดันและโหลดมีการต่อกันแบบสายกับสาย

แรงดันเฟส	$V_A = V_p \angle 0^\circ$ $V_B = V_p \angle -120^\circ$ $V_C = V_p \angle 120^\circ$
แรงดันระหว่างสาย	$V_{AB} = \sqrt{3}V_p \angle 0^\circ$ $V_{BC} = \sqrt{3}V_p \angle -90^\circ$ $V_{CA} = \sqrt{3}V_p \angle 150^\circ$
กระแส (กระแสในสายเท่ากับกระแสเฟส)	$I_A = V_A / Z_Y$ $I_B = I_A$ $I_C = I_A$

ตารางสมบัติของวงจรสามเฟสซึ่งแหล่งจ่ายแรงดันและโหลดมีการต่อกันแบบสายกับเดลตา

แรงดันเฟส (แรงดันระหว่างสายเท่ากับแรงดันเฟส)	$V_{AB} = V_p \angle 0^\circ$ $V_{BC} = V_p \angle -120^\circ$ $V_{CA} = V_p \angle 120^\circ$
กระแสเฟส	$I_{AB} = V_{AB} / Z_\Delta$ $I_{BC} = I_{AB} \angle -120^\circ$ $I_{CA} = I_{AB} \angle 120^\circ$
กระแส(กระแสในสายเท่ากับกระแสเฟส)	$I_A = \sqrt{3}I_{AB} \angle -30^\circ$ $I_B = \sqrt{3}I_{AB} \angle -150^\circ$ $I_C = \sqrt{3}I_{AB} \angle 90^\circ$

ค่ากำลังที่จ่ายให้กับโหลดแบบสายและแบบเดลตาเป็นดังสมการ

$$P = 3V_p I_p \cos \theta$$

$$P = \sqrt{3}V_l I_l \cos \theta$$



ภาคผนวก ค

ค่าพารามิเตอร์สายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์สายส่ง

ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมแมทแลบ

Characteristics of Aluminum Cable Steel Reinforced Conductors (ACSR)a

Code	Cross-Section Area			Diameter			Approx. Current-Carrying Capacity (Amperes)	Resistance (mΩ/km)				60 Hz Reactances (Ω/km)		
	Total (mm ²)	Aluminum		Conductor (mm)	Core (mm)	Layers		DC	AC (60 Hz)			GMR (mm)	X _i (Ω/km)	X _l (MΩ/km)
		(kcmil)	(mm ²)						Stranding Al/Steel	25°C	25°C			
-	1521	2 776	1407	84/19	50.80	13.87	4	21.0	24.5	26.2	28.1	20.33	0.294	0.175
lance	1314	2 515	1274	76/19	47.75	10.80	4	22.7	26.0	28.0	30.0	18.93	0.299	0.178
Thrasher	1235	2 312	1171	76/19	45.77	10.34	4	24.7	27.7	30.0	32.2	18.14	0.302	0.180
Kaw	1146	2 167	1098	72/7	44.07	8.81	4	26.4	29.4	31.9	34.2	17.37	0.306	0.182
Bluebird	1181	2 156	1092	84/19	44.75	12.19	4	26.5	29.0	31.4	33.8	17.92	0.303	0.181
Chukar	976	1 781	902	84/19	40.69	11.10	4	32.1	34.1	37.2	40.1	16.28	0.311	0.186
Falcon	908	1 590	806	34/19	39.24	13.08	3	35.9	37.4	40.8	44.3	13.91	0.312	0.187
Lapwing	862	1 590	806	45/7	38.20	9.95	3	36.7	38.7	42.1	45.6	15.15	0.316	0.189
Parrot	862	1 510	765	34/19	38.23	12.75	3	37.8	39.2	42.8	46.5	13.48	0.314	0.189
Nuthatch	818	1 510	765	45/7	37.21	9.30	3	38.7	40.5	44.2	47.9	14.78	0.318	0.190
Plover	817	1 431	725	34/19	37.21	12.42	3	39.9	41.2	45.1	48.9	15.06	0.316	0.190
Bobolink	775	1 431	725	45/7	36.25	9.07	3	42.3	43.6	46.4	50.3	14.39	0.320	0.191
Martin	772	1 351	685	34/19	36.17	12.07	3	45.2	44.9	49.0	53.1	13.99	0.322	0.193
Dipper	732	1 351	685	45/7	35.20	8.81	3	44.9	46.1	50.4	54.8	14.20	0.321	0.193
Pheasant	726	1 272	645	34/19	35.16	11.71	3	45.9	47.5	51.9	56.3	13.26	0.324	0.194
Bittern	689	1 272	645	45/7	34.16	8.33	3	47.9	49.0	53.6	58.3	13.75	0.323	0.194
Grackle	681	1 192	604	34/19	34.00	11.33	3	48.9	50.4	55.1	59.9	13.14	0.327	0.196
Bunting	646	1 193	604	45/7	33.07	8.28	3	51.3	52.3	57.3	62.3	13.29	0.326	0.196
Finch	636	1 114	564	34/19	31.95	8.00	3	52.4	53.8	58.9	64.0	12.68	0.329	0.197
Bluejay	603	1 113	564	45/7	31.62	10.54	3	56.5	57.4	63.0	68.4	12.80	0.329	0.198
Curlew	591	1 033	523	34/19	30.78	7.70	3	61.3	61.8	67.9	73.9	13.11	0.332	0.200
Ortolan	560	1 033	525	45/7	30.78	7.70	3	61.2	62.0	68.0	74.0	12.31	0.332	0.200
Merganser	596	954	483	30/7	31.70	13.60	2	61.2	62.4	68.3	74.3	11.73	0.335	0.201
Cardinal	546	954	483	34/7	30.38	10.13	3	65.0	65.5	71.8	78.2	12.71	0.329	0.199
Rail	517	954	483	45/7	29.59	7.39	3	64.8	66.0	72.3	78.6	11.40	0.337	0.202
Baldpate	562	900	456	30/7	30.78	13.21	2	66.7	67.9	74.3	80.9	11.25	0.338	0.203
Canary	515	900	456	34/7	29.51	9.83	3	67.5	68.5	74.0	80.5	11.80	0.335	0.201
Ruddy	478	900	456	45/7	28.33	7.19	3	68.7	69.9	76.3	82.7	11.95	0.334	0.202
Crane	501	875	443	34/7	29.11	9.70	3	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Willet	474	874	443	45/7	28.32	7.09	3	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Skimmer	479	795	403	30/7	29.00	12.40	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Mallard	495	795	403	30/19	28.96	12.42	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Drake	469	795	403	26/7	28.14	10.36	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Condor	455	795	403	34/7	27.74	9.25	3	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Cuckoo	455	795	403	24/7	27.74	9.25	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Tim	431	795	403	45/7	27.00	6.76	3	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Coot	414	795	403	36/1	26.42	3.78	3	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Buteo	447	715	362	30/7	27.46	11.76	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Redwing	445	715	362	30/19	27.46	11.76	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Starling	422	716	363	26/7	26.7	9.82	2	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202
Crow	409	715	362	34/7	26.31	8.76	3	68.7	70.1	76.5	83.1	11.95	0.334	0.202

Current capacity evaluated at 75°C conductor temperature, 25°C air temperature, wind speed of 1.1 m/s, and frequency of 60 Hz.

Sources: *Transmission Line Reference Book*, 345 kV and Above, 2nd ed., Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1987. With permission, Glover, I.D. and Sarma, M.S., *Power System Analysis and Design*, 3rd ed., Brooks/Cole, 2002. With permission.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of Aluminum Cable Steel Reinforced Conductors (ACSR)b

Code	Cross-Section Area			Diameter			Approx. Current-Carrying Capacity (Amperes)	Resistance (mΩ/km)				60 Hz Reactances (Ω/km)			
	Total (mm ²)	Aluminum		Conductor (mm)	Core (mm)	Layers		DC 25°C	AC (60 Hz)			GMR (mm)	X _i (Ω/km)	X _o (MΩ/km)	
		(kcmil)	(mm ²)						Stranding Al/Steel	25°C	50°C				75°C
Stilt	410	716	364	24/7	26.31	8.76	2	840	81.5	82.2	90.2	98.1	10.58	0.343	0.206
Grobe	388	716	363	45/7	25.63	6.4	3	840	81.5	82.5	90.4	98.4	10.18	0.346	0.208
Gannet	393	666	338	26/7	25.76	9.5	2	800	87.6	88.1	96.6	103.3	10.45	0.344	0.208
Gull	382	667	338	54/7	25.4	8.46	3	800	87.5	88.1	96.8	103.3	10.21	0.345	0.208
Flamingo	382	667	338	24/7	25.4	8.46	2	800	87.4	88.1	96.7	103.3	10.21	0.346	0.208
Scoter	397	636	322	30/7	25.88	11.1	2	800	91.9	92.3	101.4	110.4	10.70	0.342	0.207
Egret	396	636	322	30/19	25.88	11.1	2	780	91.9	92.3	101.4	110.4	10.70	0.342	0.207
Crowsbeak	375	636	322	26/7	25.15	9.27	2	780	91.7	92.2	101.2	110.3	10.21	0.346	0.209
Goose	364	636	322	54/7	24.82	8.28	3	770	91.8	92.4	101.4	110.4	10.06	0.347	0.208
Rook	363	636	322	24/7	24.82	8.28	2	770	91.7	92.3	101.3	110.3	10.06	0.347	0.209
Kingbird	340	636	322	18/1	23.88	4.78	2	780	91.2	92.2	101.1	110.0	9.27	0.353	0.211
Swirl	331	636	322	36/1	23.62	3.38	3	780	91.3	92.4	101.3	110.3	9.20	0.355	0.212
Wood Duck	378	605	305	30/7	25.25	10.82	2	760	96.7	97.0	106.5	116.1	10.42	0.344	0.208
Teal	376	605	305	30/19	25.25	10.82	2	770	96.7	97.0	106.5	116.1	10.42	0.344	0.208
Squab	356	605	306	26/7	25.54	9.04	2	760	96.5	97.0	106.5	116.0	9.97	0.347	0.208
Peacock	346	605	307	24/7	24.21	8.08	2	760	96.4	97.0	106.4	115.9	9.72	0.349	0.210
Duck	347	606	307	54/7	24.21	8.08	3	750	96.3	97.0	106.5	115.8	9.81	0.349	0.210
Eagle	348	557	282	30/7	24.21	10.39	2	730	105.1	105.4	115.8	126.1	10.00	0.347	0.210
Dove	328	556	282	26/7	23.55	8.66	2	730	104.9	105.3	115.6	125.9	9.54	0.351	0.212
Parakeet	319	557	282	24/7	23.22	7.75	2	730	104.8	105.3	115.6	125.9	9.33	0.352	0.212
Osprey	298	556	282	18/1	22.33	4.47	2	740	104.1	105.2	115.4	125.7	8.66	0.358	0.214
Flea	298	477	242	30/7	22.43	9.6	2	670	122.6	122.9	134.9	147.0	9.27	0.353	0.214
Hawk	281	477	242	26/7	21.79	8.03	2	670	122.4	122.7	134.8	146.9	8.84	0.357	0.215
Flicker	273	477	243	24/7	21.49	7.16	2	670	122.2	122.7	134.7	146.8	8.63	0.358	0.216
Pelican	255	477	242	18/1	20.68	4.14	2	680	124.7	124.4	134.4	146.4	8.02	0.364	0.218
Lark	248	397	201	30/7	20.47	8.76	2	600	147.2	147.4	161.9	176.4	8.44	0.360	0.218
Ibis	234	397	201	26/7	19.89	7.32	2	590	146.9	147.2	161.7	176.1	8.08	0.363	0.220
Brant	228	398	201	24/7	19.81	6.53	2	590	146.7	147.1	161.6	176.1	7.89	0.365	0.221
Chickadee	213	397	201	18/1	18.87	3.78	2	590	146.1	146.7	161.0	175.4	7.32	0.371	0.222
Oriole	210	336	170	30/7	18.82	8.08	2	530	173.8	174.0	191.2	208.3	7.77	0.366	0.222
Linner	198	336	170	26/7	18.29	6.73	2	530	173.6	173.8	190.9	208.1	7.41	0.370	0.224
Widgeon	193	336	170	24/7	18.03	6.02	2	530	173.1	173.7	190.8	207.9	7.25	0.371	0.225
Merlin	180	336	170	18/1	16.46	3.48	2	530	173.0	173.1	190.1	202.1	6.74	0.377	0.220
Piper	187	300	152	30/7	17.78	7.62	2	500	195.0	195.1	214.4	233.6	7.35	0.370	0.225
Ostrich	177	300	152	26/7	17.27	6.38	2	490	194.5	194.8	214.0	233.1	7.01	0.374	0.227
Gadwall	172	300	152	24/7	17.04	5.69	2	490	194.5	194.8	213.9	233.1	6.86	0.376	0.227
Phoebe	160	300	152	18/1	16.41	3.28	2	490	193.5	194.0	213.1	232.1	6.37	0.381	0.229
Junco	167	267	135	30/7	16.76	7.19	2	570	219.2	219.4	241.1	262.6	6.92	0.375	0.228
Partridge	157	267	135	26/7	16.31	5.99	2	460	218.6	218.9	240.5	262.0	6.61	0.378	0.229
Waxwing	143	267	135	18/1	15.47	3.1	2	460	217.8	218.1	239.7	261.1	6.00	0.386	0.232

Current capacity evaluated at 75°C conductor temperature, 25°C air temperature, wind speed of 1.4 mi/h, and frequency of 60 Hz.
 Sources: *Transmission Line Reference Book 345 kV and Above*, 2nd ed., Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1987. With permission.
 Glover, I.D. and Sarma, M.S., *Power System Analysis and Design*, 3rd ed., Brooks/Cole, 2002. With permission.

Characteristics of All-Aluminum-Conductors (AAC)a

Code	Cross-Section Area			Diameter		Approx. Current-Carrying Capacity (Amperes)	Resistance (mΩ/km)				60 Hz Reactances (Ω/km)		
	mm	kcmil (AWG)		mm	Layers		DC 25°C	AC (60 Hz)			GMR (mm)	X _i (Ω/km)	X _o (MΩ/km)
		Stranding	Aluminum					25°C	50°C	75°C			
Coropica	86.2	1591	61	36.93	4	1380	36.5	34.5	42.9	46.3	14.26	0.320	0.180
Gladious	765.8	1581	61	35.89	4	1340	38.4	41.3	44.9	48.6	13.80	0.322	0.182
Carminon	725.4	1432	61	33.03	4	1300	40.5	43.3	47.1	50.9	13.53	0.324	0.183
Columbian	665.3	1352	61	34.04	4	1250	42.9	45.6	49.6	53.6	13.14	0.327	0.186
Narcosis	644.8	1252	61	33.02	4	1200	45.5	48.1	52.5	56.7	12.74	0.329	0.184
Marathon	604.1	1192	61	31.95	4	1160	48.7	51.0	55.6	60.3	12.34	0.331	0.187
Mar-gold	584.2	1113	61	30.88	4	1120	52.1	54.3	59.3	64.3	11.92	0.334	0.189
Larkspur	524	1034	61	29.71	4	1080	56.1	58.2	63.6	69.0	11.49	0.337	0.201
Bluebell	524.1	1034	37	29.71	4	1060	56.1	58.2	63.6	69.0	11.49	0.337	0.201
Goldwood	483.7	955	61	28.6	4	1040	60.8	62.7	68.6	74.5	11.05	0.340	0.203
Magnolia	483.6	954	37	28.65	4	1010	60.8	62.7	68.6	74.5	10.97	0.340	0.203
Crocus	443.6	875	61	27.38	4	950	66.3	68.1	74.5	80.9	10.58	0.343	0.205
Antennae	443.5	875	37	27.36	4	930	66.3	68.1	74.5	80.9	10.49	0.344	0.205
Lily	403.1	796	61	26.11	4	900	73.0	74.6	81.7	88.6	10.09	0.347	0.207
Arbutus	402.9	795	37	26.06	4	900	73.0	74.6	81.7	88.6	10.00	0.347	0.207
Nasturtium	362.5	715	61	24.76	4	840	81.2	82.6	90.5	98.4	9.51	0.351	0.209
Violet	362.8	716	37	24.74	4	840	81.1	82.5	90.4	98.3	9.48	0.351	0.209
Cinchid	322.2	636	37	23.32	3	780	91.3	92.8	101.5	110.4	8.96	0.356	0.212
Madroño	291.8	556	37	21.79	3	730	104.4	105.5	115.8	126.0	8.38	0.361	0.215
Dahlia	261.8	477	19	21.72	2	730	104.4	105.5	115.8	125.9	8.23	0.362	0.216
Soroga	261.5	477	19	20.19	3	670	121.8	122.7	134.7	146.7	7.74	0.367	0.219
Cosmos	241.9	427	19	20.14	2	670	121.6	122.6	134.5	146.5	7.62	0.368	0.219
Camro	201.6	398	19	18.36	2	600	145.9	146.7	160.1	175.3	6.95	0.375	0.224
Tulip	170.6	337	19	16.92	2	530	172.5	173.2	188.2	207.1	6.40	0.380	0.233
Lure	135.2	267	19	15.06	2	460	212.6	218.1	234.6	261.0	5.70	0.390	0.243
Fury	135.3	267	7	14.88	1	460	212.5	218	234.4	260.8	5.39	0.394	0.233
Dahlip	107.8	212 or 14 D	7	13.28	1	340	274.3	274.7	301.7	328.8	4.82	0.402	0.239
Phlox	85	168 or 13 D	7	11.79	1	500	346.4	346.4	380.6	414.7	4.27	0.411	0.245
Asce	67.5	135 or 12 D	7	10.52	1	270	436.1	439.5	479.4	522.5	3.81	0.40	0.25
Poppo	53.5	106 or 11 D	7	9.35	1	230	550.2	550.2	604.5	658.8	3.38	0.429	0.256
Pansy	42.4	71 AWG	7	8.33	1	200	694.2	694.2	763.2	831.6	3.02	0.438	0.261
Iris	33.6	42 AWG	7	7.42	1	180	874.5	874.5	960.8	1047.9	2.68	0.446	0.267
Rose	21.1	25 AWG	7	5.89	1	160	1391.3	1391.5	1528.9	1696.3	2.13	0.464	0.278
Peacelily	13.3	14 AWG	7	4.67	1	140	2214.4	2214.4	2443.2	2652	1.71	0.481	0.293

Current capacity evaluated at 75°C conductor temperature, 25°C air temperature, wind speed of 1.4 mi/h, and frequency of 60 Hz.
 Sources: *Transmission Line Reference Book 345 kV and Above*, 2nd ed., Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1987. With permission.
 Glover, I.D. and Sarma, M.S., *Power System Analysis and Design*, 3rd ed., Brooks/Cole, 2002. With permission.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of All-Aluminum-Conductors (AAC)b

Code	Cross-Section Area		Diameter		Approx. Current-Carrying Capacity (Amperes)	Resistance (m Ω /km)				60 Hz Reactances (Dm = 1 m)			
	(mm ²)	kcmil or AWG	Stranding	(mm)		Layers	DC 25°C	AC (60 Hz)			GMR (mm)	X_L (Ω /km)	X_C (M Ω /km)
								25°C	30°C	75°C			
LVLN SIZES													
Bluebonnet	1773.3	3500	7	54.81	6	16.9	22.2	23.6	25.0	21.24	0.290	0.172	
Trillium	1520.2	3000	127	50.75	6	19.7	24.6	26.2	27.9	19.69	0.296	0.175	
Lupine	1266.0	2499	91	46.30	5	23.5	27.8	29.8	31.9	17.92	0.303	0.180	
Cowslip	1012.7	1999	91	41.40	5	29.0	32.7	35.3	38.0	16.03	0.312	0.185	
Yessamine	887.0	1750	61	38.74	4	33.2	36.5	39.5	42.5	14.94	0.317	0.188	
Hawksweed	306.7	1000	37	29.24	3	1030	58.0	60.0	65.5	71.2	11.22	0.339	0.201
Gambusia	306.4	999	61	29.26	4	1030	58.1	60.1	65.5	71.2	11.31	0.338	0.201
Snapdragon	456.3	900	61	27.79	4	970	64.4	66.3	72.5	78.7	10.73	0.342	0.204
Cockscomb	436.3	900	37	27.74	3	970	64.4	66.3	72.5	78.7	10.64	0.343	0.204
Cattail	480.1	750	61	25.35	4	870	77.4	78.9	86.4	93.9	9.78	0.349	0.208
Perunia	380.2	750	37	23.85	3	870	77.4	78.9	86.4	93.9	9.72	0.349	0.208
Flag	354.5	700	61	24.49	4	810	83.0	84.4	92.5	100.6	9.45	0.352	0.210
Verbena	354.5	700	37	24.43	3	810	83.0	84.4	92.5	100.6	9.45	0.352	0.210
Meadowsweet	303.8	600	37	2.63	3	740	96.8	98.0	107.5	117.0	8.69	0.358	0.214
Hycinth	253.1	500	37	20.65	3	690	116.2	117.2	128.5	140.0	7.92	0.365	0.218
Zinnia	253.3	500	19	20.60	2	690	116.2	117.2	128.5	139.9	7.80	0.366	0.218
Goldentuft	228.0	450	19	19.53	2	640	129.0	129.9	142.6	155.3	7.41	0.370	0.221
Daffodil	177.3	350	19	17.25	2	580	165.9	166.6	183.0	199.3	6.52	0.379	0.227
Peony	152.1	300	19	15.98	2	490	193.4	194.0	213.1	232.1	6.04	0.385	0.230
Valerian	126.7	250	19	14.55	2	420	232.3	232.8	255.6	278.6	5.52	0.392	0.235
Sneezewort	126.7	250	7	14.40	1	420	232.2	232.7	255.6	278.4	5.21	0.396	0.235

Current capacity evaluated at 75°C conductor temperature, 25°C air temperature, wind speed of 1.1 m/s, and frequency of 60 Hz.

Sources: *Transmission Line Reference Book 3-45 KV and Above*, 2nd ed., Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1987. With permission. Glover, I.D. and Sarma, M.S., *Power System Analysis and Design*, 3rd ed., Brooks/Cole, 2002. With permission.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย

The study and analysis Microgrid system in Thailand

นำโชค โสมสูงเนิน พงศ์ปณต ตั้งจรรย์ศิริธรรม และพีรพล เรืองเกาะ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลอมกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

บทคัดย่อ

โครงการเรื่องนี้ นำเสนอเรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทย โดยทำการศึกษาพื้นฐานของระบบไมโครกริด สืบค้นข้อมูลในต่างประเทศที่มีการใช้ระบบไมโครกริด มีการกล่าวถึงมาตรฐาน IEEE และ IEC ที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริด นำข้อมูลตัวอย่างของต่างประเทศมาสร้างแบบจำลองระบบไมโครกริดวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพของระบบ สรุปข้อมูลภาพรวมของต่างประเทศเพื่อสร้างแบบจำลองระบบไมโครกริดในประเทศไทยขึ้นมาและทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบสำหรับเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบระบบไมโครกริดของประเทศไทยในอนาคต สามารถนำไปจ่ายไฟฟ้าให้กับพื้นที่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือเขตชุมชน

คำสำคัญ: ไมโครกริด, ระบบไมโครกริด

Abstract

This project introduces the study and analysis Microgrid system in Thailand. By studying basic of Microgrid system, searching for information about Microgrid system of other country that use Microgrid system, referring to IEEE and IEC standard about Microgrid system, simulating Microgrid system model for analyzing stability of system by using the information of other country, concluding other country's information about Microgrid system to simulate the Microgrid system in Thailand and analyzing the stability of it for helping to build the Microgrid system in Thailand to send the electric power to the area or community that far away from the distribution system in the future.

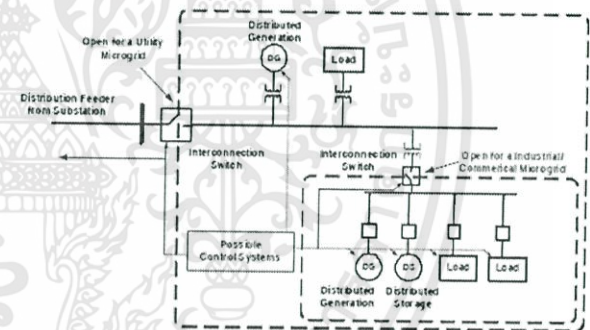
Keyword: Microgrid, Microgrid system

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันทรัพยากรจำพวกถ่านหินและพวกน้ำมันเป็นที่แพร่หลายในการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตะกั่ว เป็นต้น ถ่านหิน และน้ำมันถูกใช้ไปมากจนปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งราคาในปัจจุบันยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ความต้องการไฟฟ้าในปัจจุบันก็มี

มากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้พลังงานในปัจจุบันไม่เพียงพอกับความต้องการในประเทศ รวมถึงพื้นที่ห่างไกลความเจริญที่ไฟฟ้ายังไม่สามารถเข้าถึง ตัวอย่างปัญหาที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีสถิติกระแสไฟฟ้าขัดข้องสูงสุดของประเทศ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน สายส่งตัดผ่านป่าไม้ชุ่มน้ำ ทำให้กระแสไฟฟ้าขัดข้องเป็นสาเหตุมาจากต้นไม้บ่อยครั้งและเป็นระยะเวลานานเนื่องจากสภาพการจราจรที่ไม่สะดวก

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำพลังงานทดแทนหลากหลายรูปแบบมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นในกริดที่มีขนาดเล็กเรียกว่า “ระบบไมโครกริด” ประกอบด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ระบบควบคุมและเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ไมโครกริดสามารถจ่ายไฟฟ้าแบบอิสระได้โดยไม่ต้องเชื่อมโยงกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหรือไม่ต้องทำงานขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิม โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของไมโครกริด

2. แนวคิดของไมโครกริด

จากความสนใจเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resources) เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานชีวมวล เป็นต้น อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณที่ผันผวนเป็นอย่างมาก จึงทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบในแง่ทั้งในด้านของคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบในกรณีที่มีการนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ จำนวนมากเข้ามาต่อกับระบบไฟฟ้า จึงได้มีการนำเสนอแนวทางการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าภายในพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro turbine) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) รวมทั้งการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน หรือเรียกว่า แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่ (Distributed Energy Resource, DER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างไมโครกริด และโรงไฟฟ้าทั่วไปเป็นดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กและจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ในโรงไฟฟ้าทั่วไป
2. พลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายโดยตรงให้กับกริดของระบบจำหน่าย
3. แหล่งกำเนิดไฟฟ้าตามปกติมีการติดตั้งใกล้กับสถานที่ของผู้ใช้ เพื่อให้อุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงความถี่และการสูญเสียในสายส่งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

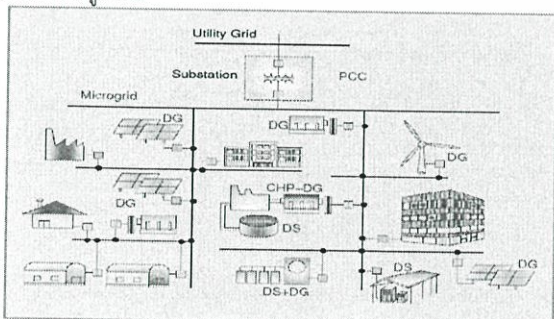
คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครกริดทำให้มันเหมาะสำหรับการจัดหาพลังงานในพื้นที่ที่ห่างไกลของประเทศ ซึ่งแหล่งจ่ายระบบกำลังไฟฟ้าหลักๆที่จะเข้าถึงระบบจำหน่าย บ่อยครั้งเนื่องจากภูมิอากาศที่รุนแรงหรือการรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้นทำให้การส่งกำลังไฟฟ้ามีปัญหา ในมุมมองระบบส่งจ่ายประโยชน์หลักของไมโครกริด คือ การควบคุมระบบไฟฟ้าภายในพื้นที่ สามารถดำเนินการรวมโหลดเป็นหนึ่งระบบ เพื่อค้นหาการควบคุมที่ง่ายและสอดคล้องกับระบบส่งจ่ายตามมาตรฐานและข้อบังคับโดยไม่ขัดแย้งต่อความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ประโยชน์จากมุมมองของผู้ใช้ไฟฟ้า ไมโครกริดสามารถจ่ายไฟสำรองปรับปรุงความน่าเชื่อถือในพื้นที่ของผู้ใช้ ลดการสูญเสียในสายส่งและให้การช่วยเหลือแรงดันไฟฟ้าในพื้นที่ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียง ในมุมมองสิ่งแวดล้อมไมโครกริดช่วยลดมลภาวะโลกร้อนด้วยการใช้เทคโนโลยีคาร์บอนต่ำจึงมีความปลอดภัยต่อสภาพอากาศในปัจจุบัน

2.1 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่

(Distributed Energy Resources, DER)

โดยทั่วไปจะรวมทุกรูปแบบของการผลิตไฟฟ้า (Distributed generation, DG) และจัดเก็บพลังงาน (Distributed Storage:DS) ที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหรือระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าระดับกลางถึงแรงดันไฟฟ้าระดับ

ระบบ DER เชื่อมต่อกับระบบไมโครกริด เมื่อระบบไมโครกริดมีมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อกริดการกระจายกำลังไฟฟ้า จึงวางแผนทำงานเป็นวงจรส่งกำลังไฟฟ้าเป็นรัศมีตามความต้องการของโหลด ดังนั้นระบบไมโครกริดไม่เพียงแต่ต้องมีการจัดการกับ DER แต่ระบบไมโครกริดต้องจัดการกับข้อมูลที่ได้จากระบบ DER ด้วย ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์ใน DER เมื่อเชื่อมโยงกับระบบผลิตและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่

2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไมโครกริด

1. IEEE 1547 มาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่กระจายอยู่ภายในพื้นที่กับกริดการไฟฟ้า
2. IEC 61000 มาตรฐานความถี่แรงดันไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ต่อกับระบบไฟฟ้าจะต้องไม่รบกวนเกินค่ามาตรฐาน
3. EN 50160 คุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่เป็นมาตรฐาน

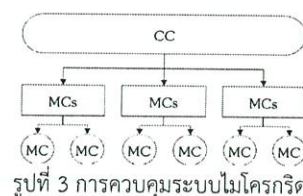
2.4 ระบบไมโครกริดในต่างประเทศ

เมื่อศึกษาไมโครกริดแล้วนำมาสรุปเป็นดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 ตารางรูปแบบไมโครกริดแต่ละประเทศ

		ตารางรูปแบบไมโครกริดในแต่ละประเทศ						
		Senegal	U.S.	U.K.	Canada	China	Japan	Korea
	solar	x	x	x	x	x	x	x
	hydro		x		x	x		
	wind	x	x	x	x	x	x	x
	fuel cell		x	x			x	x
	micro-turbines		x	x		x		
	biomass	x				x		
	biogas					x		
	diesel	x			x		x	x
	nuclear		x			x		

2.5 การจัดการพลังงานและการควบคุม

ไมโครกริดต้องการควบคุมขนาดใหญ่เพื่อให้มั่นใจว่าระบบมีความปลอดภัย ทำงานได้อย่างเหมาะสม และสามารถเปลี่ยนจากการทำงานรูปแบบหนึ่งไปยังการ ทำงานรูปแบบอื่นได้อย่างราบรื่น โดยปราศจากการรบกวนระบบซึ่งการควบคุมสิ่งเหล่านี้จะถูกควบคุมจาก Central controller (CC) และส่งต่อให้ Microsource controller (MCs) ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และอุปกรณ์สะสมพลังงาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การควบคุมระบบไมโครกริด

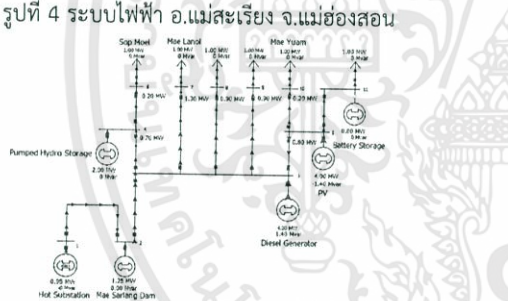
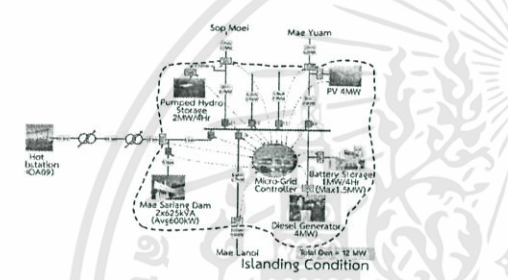
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์

ในการศึกษาแบบจำลองด้วยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์จะวิเคราะห์ใน 2 รูปแบบ คือ ก่อนและหลังการติดตั้งระบบไมโครกริด เพื่อให้เข้าใจรูปแบบ ทิศทางการไหลของกระแส มีการแบ่งเป็นสถานการณ์ต่างๆ โดยสมมติให้มีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แล้วสังเกตค่ากำลังไฟฟ้าของ Hot Substation เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าของระบบไมโครกริดมีการเปลี่ยนแปลงไป กำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่ต้องรับเข้ามาจ่ายภายในระบบเป็นกำลังไฟฟ้าที่มาจากกริดการไฟฟ้า เพื่อทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าในระบบไมโครกริดที่ทำงานในลักษณะ Island

3.1 วิเคราะห์กำลังไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบไมโครกริด

วิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดจากระบบในรูปแบบที่ 4 โดยทำเป็นแบบจำลองในรูปแบบที่ 5



3.2 เปรียบเทียบการทำงานก่อน-หลังติดตั้งระบบไมโครกริด

1. ก่อนการติดตั้งจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่พอต้องรับไฟฟ้ามาเพิ่ม ถ้าหากรับมาเพิ่มก็จะสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งระยะไกลมากขึ้น
2. ก่อนการติดตั้งระบบไมโครกริดเมื่อการไฟฟ้ามีปัญหาไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้จะทำให้ระบบนั้นจะล้มเหลวทันที
3. ช่วยลดกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าที่ต้องรับเข้ามาภายในระบบ
4. กำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากการไฟฟ้านั้นเกิดการกระชากหรือเกิด Undervoltage ระบบไมโครกริดจะช่วยปรับค่าแรงดันให้คงที่ได้
5. เมื่อระบบการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายได้ระบบที่มีการติดตั้งไมโครกริดสามารถทำงานอยู่ได้ด้วยกำลังผลิตของตัวเอง

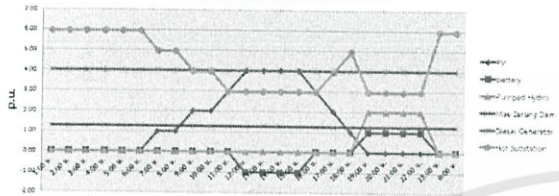
เปรียบเทียบโดยใช้ค่าจากตารางที่ 2 และ 3 จากนั้นออกแบบควบคุมระบบไมโครกริดด้วย Load Shedding จากกราฟในรูปที่ 6

ตารางที่ 2 ค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายหลังติดตั้งระบบไมโครกริด

Gen. Case	PV 4 MW (ก.ว.)	Battery 1 MW (ก.ว.)	Pumped Hydro 2 MW (ก.ว.)	Mae Saling Dam 1 MW (ก.ว.)	Diesel Generator 4 MW (ก.ว.)	Hot Substation (MW)
1	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	0.95
2	0.75 (แสงแดดแรง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	1.95
3	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	2.95
4	0.25 (แสงแดดอ่อน)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	3.95
5	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	-0.05
6	0.75 (แสงแดดแรง)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	0.95
7	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	1.95
8	0.25 (แสงแดดอ่อน)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	2.95
9	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	1.00 (แบตเตอรี่รีจ่ายไฟ)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	2.95
10	-0.00 (ไม่มีแสงแดด)	0.00 (แบตเตอรี่รีหมด)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (น้ำมาก)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	3.95
11	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	2.58
12	0.75 (แสงแดดแรง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	3.58
13	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	4.58
14	0.25 (แสงแดดอ่อน)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	5.58
15	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	1.58
16	0.75 (แสงแดดแรง)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	2.58
17	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	3.58
18	0.25 (แสงแดดอ่อน)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	4.58
19	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	1.00 (แบตเตอรี่รีจ่ายไฟ)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	4.58
20	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	0.00 (แบตเตอรี่รีหมด)	0.50 (น้ำปานกลาง)	0.50 (น้ำปานกลาง)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	5.58
21	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	3.39
22	0.75 (แสงแดดแรง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	4.39
23	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	5.39
24	0.25 (แสงแดดอ่อน)	-1.00 (ชาร์จประจุ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	6.39
25	1.00 (แสงแดดแรงมาก)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	2.39
26	0.75 (แสงแดดแรง)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	3.39
27	0.50 (แสงแดดปานกลาง)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	4.39
28	0.25 (แสงแดดอ่อน)	0.00 (แบตเตอรี่รีเต็ม)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	5.39
29	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	1.00 (แบตเตอรี่รีจ่ายไฟ)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	5.39
30	0.00 (ไม่มีแสงแดด)	0.00 (แบตเตอรี่รีหมด)	0.25 (น้ำน้อย)	0.25 (น้ำน้อย)	1.00 (ทำงานที่ปกติ)	6.39

แหล่งจ่าย	Photovoltaic (2 MW)		Mae Sariang Dam (1.25 MW)		Diesel Generator (4 MW)		Hot Substation	
	สถานะ	ป.ย.	สถานะ	ป.ย.	สถานะ	ป.ย.	สถานะ	MW
กรณี 1	on	1.00	on	1.00	on	1.00	on	2.75
2	off	0.00	on	1.00	on	1.00	on	4.67
3	on	1.00	off	0.00	on	1.00	on	3.99
4	off	0.00	off	0.00	on	1.00	on	5.93
5	off	0.00	off	0.00	off	0.00	on	9.98

ตารางที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายก่อนติดตั้งระบบไมโครกริด



รูปที่ 6 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายในแต่ละช่วงเวลา

4.1 จำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยโปรแกรมเมทแลบ

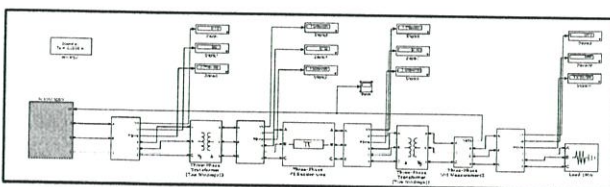
จำลองตามรูปที่ 7 ผลจากการจำลองแหล่งจ่ายแต่ละชนิดจะได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าในส่วนของแหล่งกำเนิดในแต่ละแหล่งมีค่าไม่ถึงพิกัดหรืออาจน้อยกว่าพิกัดกำลังที่ผลิตได้เนื่องจากในตัวโปรแกรมเมทแลบนั้นจะทำการคำนวณโดยคิดจากระบบรวมทำให้แหล่งจ่ายนั้นไม่สามารถกำหนดค่ากำลังออกมาที่พิกัดได้จึงต้องมีการปรับค่าเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียง ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันในแต่ละแหล่งกำเนิดเนื่องจากขนาดของแหล่งกำเนิดแต่ละชนิดไม่เท่ากันกระแสที่ไหลในสายส่งนั้นมีขนาดไม่เท่ากันจึงทำให้แรงดันที่ได้นั้นลดลงไม่เท่ากัน

4.2 เปรียบเทียบแบบจำลองเมทแลบกับพาวเวอร์เวิลด์

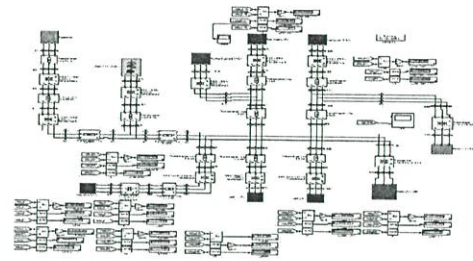
จำลองระบบไมโครกริดด้วยโปรแกรมเมทแลบรูปที่ 8 เมื่อเทียบค่ากับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ดังรูปที่ 9 แต่ค่ากำลังไฟฟ้าที่ Hot Substation นั้นจ่ายมากกว่าเนื่องจากความสูญเสียของหม้อแปลงและสายส่งระยะกลางทำให้เกิดความสูญเสียสูงกว่าโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ โดยโปรแกรมพาวเวอร์เวิลด์ไม่ได้คิดผลความสูญเสียที่ได้จากสายส่งและหม้อแปลง

4.5 วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์และเสถียรภาพของไมโครกริด

การวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครกริดขณะทำงานขนานกับโครงข่ายไฟฟ้าเวลากลางคืนที่เวลา 0.8 วินาที แรงดันไฟฟ้าที่โหลด Sop Moei มีค่า THD = 0.24% และแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบตเตอรี่มีค่า THD = 0.26% สรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไมโครกริดที่ ณ เวลากราฟแรงดันไฟฟ้าคงตัวแล้ว มีค่า THD น้อยมาก (สามารถเปิดตารางเทียบได้จากภาคผนวก) ค่าความผิดพลาดของสัญญาณน้อยไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆ เมื่อดูจากตารางมาตรฐานความผิดพลาดแรงดันไฟฟ้าของประเทศไทยถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดังรูปที่ 10



รูปที่ 7 จำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยโปรแกรมเมทแลบ



รูปที่ 8 รูปโปรแกรมเมทแลบที่จำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

	Photovoltaic (4 MW, 22 kv)	Battery (1 MW, 22 kv)	Pump hydro (2 MW, 22 kv)	Dam (1 MW, 22 kv)	Diesel (4 MW, 22 kv)
P (p.u.)	0.00	0.515	1.161	1.460	1.09
V (p.u.)	0.00	1.136	1.136	1.139	1.141
	Hot Substation	Sop Moei (1 MW, 22 kv)	Mae Sariang (1 MW, 22 kv)	Mae Sariang (1 MW, 22 kv)	-
P	4.95 MW	1.24 p.u.	1.39 p.u.	1.24 p.u.	-
V (p.u.)	1.042	1.118	1.179	1.121	-

ตารางที่ 9 ค่าที่วัดได้จากแบบจำลองระบบไมโครกริด

Sampling time = 5e-005 s
 Samples per cycle = 400
 DC component = 2.062
 Fundamental = 3.478e+004 peak (2.46e+004 rms)
 Total Harmonic Distortion (THD) = 0.24%

รูปที่ 10 วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าที่โหลด Sop Moei

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นแบบไมโครกริดในประเทศไทยของ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน พบว่าสามารถทำการติดตั้งระบบไมโครกริดเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยไม่เป็นปัญหาให้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเดิม ช่วยแก้ไขปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง จ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอ และต่อเนื่อง ลดค่าใช้จ่ายจากการลดปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้าระยะไกล และแบบจำลองต้นแบบระบบไมโครกริดดังกล่าว สามารถใช้เป็นต้นแบบเพื่อติดตั้งระบบไมโครกริดของประเทศไทย โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าตามความเหมาะสมของทรัพยากรที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น และใช้การควบคุมระบบเพื่อรักษาเสถียรภาพให้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือและเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในพื้นที่นั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, "Microgrids and Active Distribution Networks," IET RENEWABLE ENERGY, SERIES 6, 2009.
- [2] Thomas S. Basso and Richard DeBlasio, "IEEE 1547 Series of Standards: Interconnection Issues," IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, NO., 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย นำโชค โสมสูงเนิน ชื่อเล่น แบล็ค รหัสนักศึกษา 52010604
เกิดวันที่ 29 กันยายน พุทธศักราช 2533
ที่อยู่ : 100/536 หมู่บ้านชัยพฤกษ์ แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง
จังหวัดกรุงเทพฯ 10520
เบอร์โทรศัพท์ : (08)9153-4153
E-mail : black_label@hotmail.com



นาย พงศ์ปณต ตั้งจรรุศศิธรรม ชื่อเล่น นัตตี้ รหัสนักศึกษา 52010758
เกิดวันที่ 5 ธันวาคม พุทธศักราช 2533
ที่อยู่ : 172 ถนนมขมนตรี ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา
จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000
เบอร์โทรศัพท์ : (08)4168-1646
E-mail : nut_stepinw@hotmail.com



นาย พีรพล เรืองเถาะ ชื่อเล่น อาร์ม รหัสนักศึกษา 52010858
เกิดวันที่ 22 ธันวาคม พุทธศักราช 2533
ที่อยู่ : 15/152 หมู่ 6 ตำบลบางพูน อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี
รหัสไปรษณีย์ 12000
เบอร์โทรศัพท์ : (08)0975-0104
E-mail : peerapon35245@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้