

ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า
แบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน

SMART GRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR STAND ALONE
RENEWABLE ENERGY POWER GENERATION

สมพล โคศรี
SOMPOL KOHSRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า
แบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

**SMART GRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR STAND ALONE
RENEWABLE ENERGY POWER GENERATION**

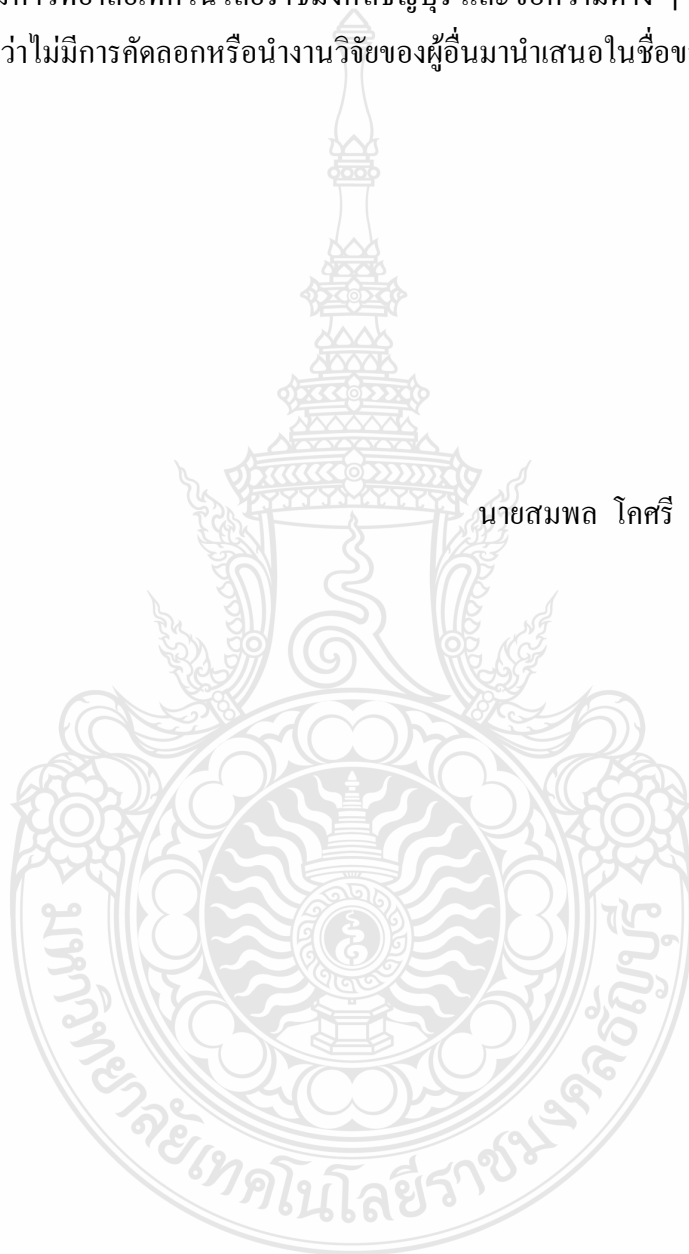
SOMPOL KOHSRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายสมพล โคนศรี





ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน
SMART GRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR STAND ALONE RENEWABLE ENERGY POWER GENERATION

ชื่อนักศึกษา นายสมพล โคศรี

รหัสประจำตัว 115270420116-7

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง

วัน เดือน ปี ที่สอบ 15 พฤษภาคม 2554

สถานที่สอบ ห้องประชุมชมพูนุททิพย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุนทเลขกะ)

.....กรรมการ

(ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์)

.....กรรมการ

(ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์)

.....กรรมการ

(ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน
ชื่อนักศึกษา	นายสมพล โคศรี
รหัสประจำตัว	115270420116-7
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน โดยระบบที่ใช้เป็นแบบผสมผสานประกอบด้วย เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ภาระทางไฟฟ้าได้ตามขนาดพิกัดและสามารถจ่ายพลังงานเพื่อประจุแบตเตอรี่จากพลังงานที่เหลือจากการจ่ายโหลดได้ พลังงานที่กักเก็บจะถูกนำมาใช้ในเวลากลางคืน ระบบจะจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดบ้านที่อยู่อาศัยตลอดเวลา เมื่อพลังงานแบตเตอรี่ต่ำลงได้ขนาดตามพิกัดที่ปรับตั้งไว้ ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองจะถูกต่อเข้ากับระบบโดยอัตโนมัติและจ่ายพลังงานให้กับระบบและประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานที่เหลือจนเต็มจึงตัดการทำงานออกจากระบบ

จากการออกแบบระบบด้วยการคำนวณจากพื้นฐานพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม HOMER ในเบื้องต้นโดยเลือกพิกัดแสงอาทิตย์ที่ตึกเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย ในการจำลองเหตุการณ์มีการเก็บค่าข้อมูลทางแสงจริงเพื่อนำมาควบคุมเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และมีการควบคุมการชดเชยต่อชุดพลังงานไฟฟ้าสำรอง หลังจากการคำนวณและจำลองเหตุการณ์ระบบเพื่อหาความสมดุลได้แล้วเสร็จ จึงได้ติดตั้งตามการออกแบบระบบประกอบด้วย ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ใช้สำหรับวัดรังสีแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลพื้นฐาน เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบตเตอรี่ (Battery Temperature Sensor) ขนาดเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 1.8 kWp แบตเตอรี่พิกัดขนาด 18 kWh Inverter ขนาด 1 kW Bi-directional Inverter ขนาด 2.2 kw ขนาดของภาระทางไฟฟ้าสูงสุดที่ 1 kW และระบบวัดบันทึกแสดงผลที่ออกแบบเป็นพิเศษแบบ Real-time สามารถที่จะบันทึกค่าต่างๆ และประเมินผลและสั่งการทำงานขึ้นต้นได้

จากผลการทดสอบจริงและจากการ Simulation พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่การทำงานของแบตเตอรี่ ในการ Simulation สถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 100% โดยในการทดสอบจริงสถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 40% จากกราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบจะเห็นว่ามีการใช้พลังงานตลอดทั้งวัน เริ่มจากเวลา 0.00-03.30 น. จะเป็นช่วงที่แบตเตอรี่มีการจ่ายโหลดที่ 600 W เมื่อเวลา 03.30-07.00 น. จะเห็นว่าการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ จึงทำให้กราฟสูงขึ้นเกือบ 2 เท่าของโหลดประมาณ 1900 W และเครื่องกำเนิดจะทำงานอีกครั้งเมื่อเวลา 19.30 – 23.30 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มิโหลดสูงสุดที่ 1 kW ทำให้แบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอและในเวลากลางวันตั้งแต่ 07.00 – 18.00 น. จะเป็นช่วงการทำงานของ PV ที่จะจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ และบางครั้งของปีเมื่อแสงน้อยอาจมีการช่วยจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ด้วย จากผลการจำลองระบบผสมผสานจะเห็นว่ามีการจ่ายโหลดได้อย่างต่อเนื่อง



คำสำคัญ : ระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์ ระบบวัดและบันทึกผล

Thesis Title: SMART GRID ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR STAND ALONE RENEWABLE ENERGY POWER GENERATION

Student Name : Mr. Sompol Kohsri

Student ID : 115270420116-7

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Electrical Engineering

Academic Year : 2010

Thesis Advisor : Dr. Boonyang Plangklang

ABSTRACT

This thesis introduces a smart grid energy management system for standalone renewable energy system. The system consists of solar simulator, battery and backup source that can supply to electrical load continuously. The system will supply power to load at all time, the concept is that, when the battery power is down to the setting coordinates point, the backup source is automatically started to supply power to the system and battery. The backup source will be stop when the battery is full.

To development the system, simulation program HOMER is used. The designed system consists of PV Size 1.8 kWp, battery 18 kWh, PV Inverter 1 kW, Battery Inverter 2.2 kW, and simulation load. The real-time monitoring is developed for evaluation of the system performance.

The comparison of Simulation and the experiment found that the system is working as the design. From the output of the system, it can be seen that the Power consumption from 00:00 AM to 03:30 AM is from the battery about 600 W, 03:30 AM to 07:00 AM, the operation of the backup source can supply to load and charge the battery at the total load 1900 W. The backup source will run again at 07:30 PM to 11:30 PM due to periods of maximum load at 1 kW, because the power of battery was not enough. The period from 07:00 AM to 18:00 PM, PV supplies to load and charge the battery. From The results it can be seen that the combination of renewable energy system can work continuously as the design.

Keywords: PV System, PV Monitoring

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ อาจารย์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง ที่กรุณา สละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง ไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุณหเลขกะ ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์ ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ และ ดร. สุรินทร์ แห่งมงาม ที่กรุณาให้คำปรึกษาคำแนะนำอันมีค่ายิ่ง ตลอดจน ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงเงินทุนสำหรับสนับสนุนในบางส่วนสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนนักวิจัยจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ.) กระทรวง พลังงาน ที่เป็นทุนสนับสนุนหลักต่อนักวิจัยอันเป็นส่วนสำคัญยิ่ง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่เป็น กำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และรวมถึงพี่ ๆ น้อง ๆ ทีม งานวิจัย ณ ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้กำลังใจและร่วมแรงร่วมใจอยู่ด้วยกันในการปฏิบัติงาน ตลอดมา

สมพล โคศิริ

15 พฤษภาคม 2554

สารบัญ

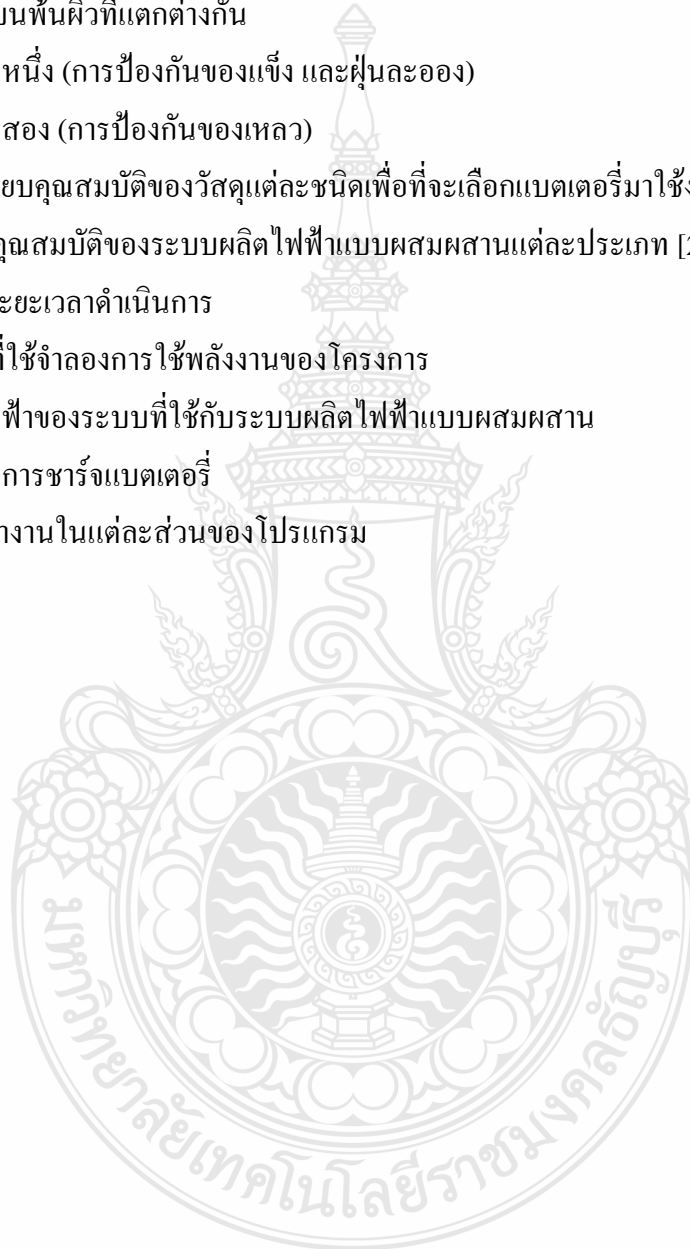
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	4
1.3 สมมุติฐาน	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
1.6 ข้อยกเว้นของงานวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.8 ลักษณะรายละเอียด	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 ดวงอาทิตย์	8
2.3 มวลอากาศ	11
2.4 การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยชั้นบรรยากาศ	12
2.5 รังสีจากดวงอาทิตย์	13
2.6 การวัดค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	14
2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	17
2.8 แบบตอร์รี่กักเก็บพลังงาน (Battery Storage)	25
2.9 อินเวอร์เตอร์ (Inverters)	35
2.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator)	43
2.11 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid System)	46
2.12 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	52
3.1 แผนการดำเนินงาน	52
3.2 การกำหนดลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน	53
3.3 หลักการออกแบบและการจำลองการทำงานของระบบไฮบริดจ์	59
3.4 การทดสอบด้วยการ Simulation	64
3.5 การออกแบบโครงสร้างจริง	66
3.6 ชุดอุปกรณ์	71
3.7 สรุปผลการออกแบบ	82
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	83
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	83
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	86
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผล	88
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารอ้างอิง	90
ภาคผนวก	92
ก.1 ตารางแสดงผลการวัดความเข้มแสงที่ได้จากไพรานอมิเตอร์	93
ก.2 ตารางแสดงผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล Sunny Data Control	110
ข. โปรแกรมของ Programmable Logic Controller	113
ค. คู่มือใช้งานอุปกรณ์	116
ง. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	136
ประวัติผู้เขียน	145

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน่วยของการแผ่รังสี	11
2.2 ความเข้มการแผ่รังสีเมื่อมีกาเปลี่ยนแปลงในสภาวะต่างๆ	13
2.3 การสะท้อนบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน	14
2.4 ตัวเลขหลักที่หนึ่ง (การป้องกันของแข็ง และฝุ่นละออง)	16
2.5 ตัวเลขหลักที่สอง (การป้องกันของเหลว)	17
2.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดเพื่อที่จะเลือกแบตเตอรี่มาใช้งาน	27
2.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแต่ละประเภท [20]	50
3.1 เปรียบเทียบระยะเวลาดำเนินการ	52
3.2 ตารางโหลดที่ใช้จำลองการใช้พลังงานของโครงการ	60
3.3 ค่าคุณภาพไฟฟ้าของระบบที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน	62
3.4 ประสิทธิภาพการชาร์จแบตเตอรี่	75
3.5 อธิบายการทำงานในแต่ละส่วนของโปรแกรม	78



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การผลิตและส่งจ่ายพลังงานแบบทิศทางเดียว	1
1.1 การผลิตและส่งจ่ายพลังงานแบบสองทิศทาง	2
1.3 ระบบไฮบริดจ์แบบ Centralized System และ Distribute System	2
1.4 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	3
2.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์	9
2.2 การแผ่รังสีจากวัตถุดำ	10
2.3 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	11
2.4 อัตราการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วง	12
2.5 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนพื้นผิว	14
2.6 Model 240 – 8101 สตาร์ไพโรนอมิเตอร์	15
2.7 หลักการทำงานของเทอร์โมไพล์	16
2.8 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.9 กระบวนการพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์	20
2.10 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	22
2.11 การนำเซลล์มาต่อเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า	22
2.12 ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน	23
2.13 วงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์	23
2.14 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	24
2.15 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย	25
2.16 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	25
2.17 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	28
2.18 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	29
2.19 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	29
2.20 วงจรเปรียบเทียบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	30
2.21 จุดทำงานของแบตเตอรี่สำหรับความต้านทานโหลดที่แตกต่าง	31
2.22 วงจรแบตเตอรี่กับกระบวนการ Dynamic และ Quasi-static	31
2.23 วงจรเปรียบเทียบ Quasi-static กับวงจรการเกิด Gassing	33
2.24 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม	34
2.26 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน	34
2.27 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	36
2.28 ตัวอย่างของคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์	36
2.29 โครงสร้างทั่วไปของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า	37
2.30 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์	37
2.31 วงจรของอินเวอร์เตอร์กระแสสลับเอาต์พุตแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	38
2.32 อินเวอร์เตอร์แบบ H-Type Bridge	38
2.33 วงจรรวมของ Step-Down Converter กับ Invertors จากรูปที่ 2.31, 2.32	53
2.34 Digital Waveform Synthesis Inverter	40
2.35 Pulse-Width Modulated H-Type Bridge Inverter	41
2.36 ตัวประกอบกำลังของ Grid-Connected Inverters	42
2.37 แสดงสัดส่วนในการใช้งานของเครื่องกำเนิดดีเซลขนาด 80 kW	46
2.38 ระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรม	49
2.39 ระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือก	49
2.40 ระบบผสมผสานแบบต่อขนาน	50
3.1 ไดอะแกรมการดำเนินงาน	53
3.2 ระบบไฮบริดจ์ที่เสนอสำหรับงานวิจัย	55
3.3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ	57
3.4 วิธีการประจุแบตเตอรี่	58
3.5 แผนภาพของการเปลี่ยนการทำงานขึ้นอยู่กับ SOC	58
3.6 ผังการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน	61
3.7 ความสัมพันธ์ของความจุแบตเตอรี่และพลังงานสูงสุดของ PV	63
3.8 การใช้โปรแกรม Homer จำลองสถานการณ์ของระบบ	65
3.9 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV และ Generator ใน 1 วัน	65
3.10 กราฟการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบเป็นเวลา 7 วัน	65
3.11 วงจรการติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลอง	67
3.12 การติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลองจริง	68
3.13 วงจรควบคุม Source Backup และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากชุดควบคุม Inverter	67

สารบัญรูป (ต่อ)

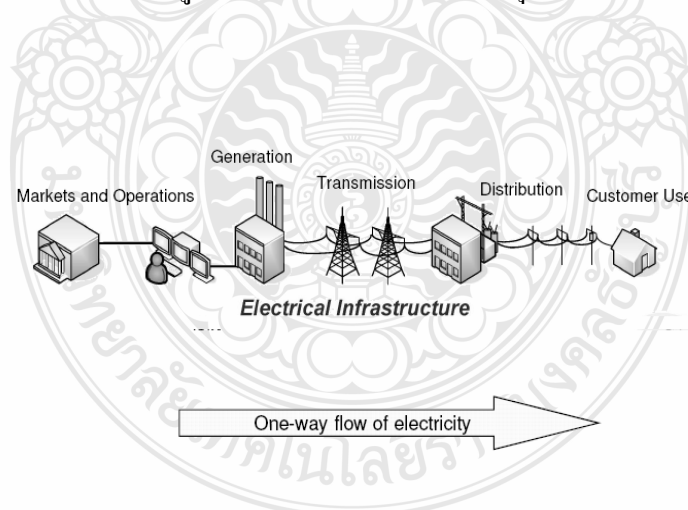
รูปที่	หน้า
3.14 วงจรควบคุม Source Backup และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากชุดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์	69
3.15 ชุดควบคุมโหลดจำลอง	69
3.16 การตรวจวัดแสง	70
3.17 โปรแกรม SLMread	70
3.18 โปรแกรม Macview	71
3.19 ชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-Simulator)	71
3.20 อุปกรณ์ปรับค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของชุดแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์	72
3.21 ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	72
3.22 ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบ 2 ทิศทาง	73
3.23 Sunny Boy Control	74
3.24 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง	74
3.25 ชุดควบคุม PLC	75
3.26 การติดตั้งโหลดและทดสอบชุดควบคุม	76
3.27 รูปที่ 3.27 อุปกรณ์ Data Acquisition	76
3.28 ส่วนการแสดงผลและการควบคุมการทำงาน	77
3.29 Source Code ของโปรแกรม	79
3.30 ลักษณะฟังก์ชันการรับข้อมูล	80
3.31 เมนู Web Publishing Tool	81
3.32 การใช้งาน Web Publishing Tool	81
3.33 การใส่หัวเรื่องและรายละเอียดต่างๆ	81
3.33 การบันทึกไฟล์หน้าเว็บและ URL ของโปรแกรม	82
4.1 โหลดที่ได้จากโปรแกรม Homer Simulation	83
4.2 โปรแกรม Sunny Data Control ใช้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในระบบ Hybrid-System	84
4.3 ตัวอย่างข้อมูลแสงอาทิตย์จากตัวตรวจวัดแสงอาทิตย์ในรอบ 4 วันของการเก็บข้อมูล	84
4.4 ระบบติดตั้งจริง	84
4.5 กำลังไฟฟ้า PV และ โหลดที่สร้างขึ้น	85
4.6 กำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ	85
4.7 กำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบที่ได้จากโปรแกรม LABView	86

บทที่ 1

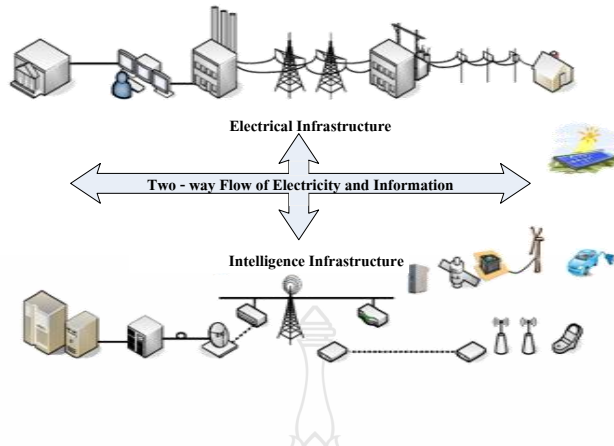
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทย ณ ปัจจุบันความเป็นจริงยังคงมีพื้นที่ที่ไฟฟ้าไม่สามารถเข้าถึงหรืออาจจะทำให้ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนที่จะติดตั้งระบบไฟฟ้าเพราะอยู่ในพื้นที่ที่ห่างไกล จึงจำเป็นจะต้องมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องอาศัยการเชื่อมกับระบบของการไฟฟ้า ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง แต่ก่อนที่จะมีการออกแบบและติดตั้งระบบจะต้องมีการวิเคราะห์เพื่อดูเสถียรภาพการทำงานของระบบเสียก่อนว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่และระยะเวลาในการทำงานของระบบ รวมไปถึงทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อที่จะดูภาพรวมไปถึงจุดคุ้มทุนในการดำเนินการทั้งหมด เพื่อที่จะออกแบบให้ได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า แต่ในสภาวะปัจจุบันพลังงานที่ใช้อยู่เข้าสู่สภาวะขาดแคลนทำให้มีราคาสูงซึ่งส่งผลโดยตรงกับการพัฒนาประเทศ รวมทั้งสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันด้วย พลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ ได้ถูกคิดค้นขึ้น เพราะพลังงานทดแทนไม่ได้มีตลอดเวลา เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ก็มีเฉพาะตอนกลางวัน ดังนั้นการรวมแหล่งพลังงานทดแทนเข้ามาผสมผสานเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นและในอดีตระบบผลิตพลังงานเมื่อผลิตได้ก็ถูกส่งไปยังผู้ใช้และเมื่อไม่มีผู้ใช้จึงเกิดการสูญเสียของพลังงานที่ผลิตได้ดังรูปที่ 1 จึงมีการคิดค้นปรับสมดุลของการผลิตและจ่ายพลังงานของระบบดังรูปที่ 2

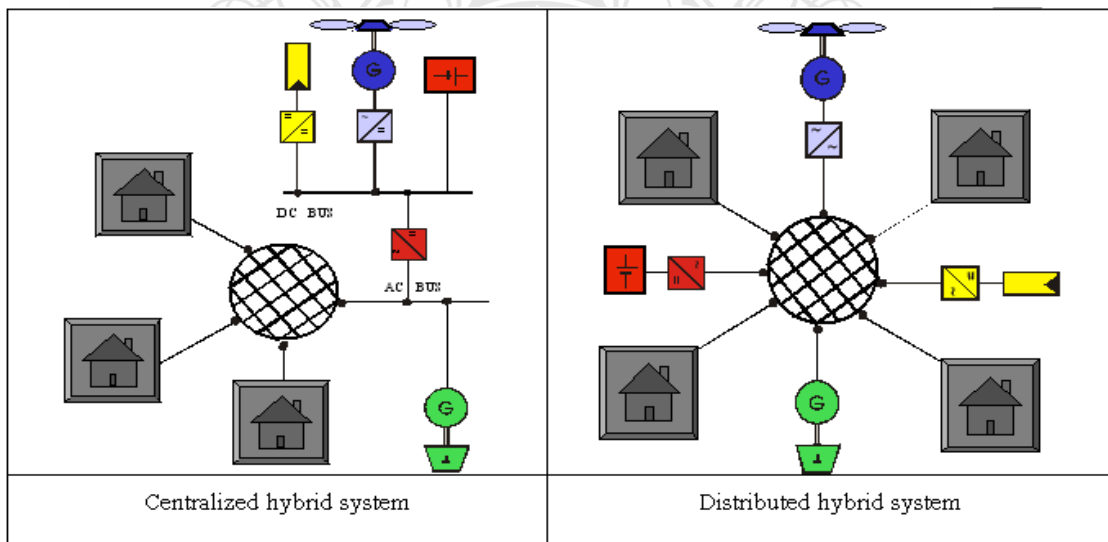


รูปที่ 1.1 รูปการผลิตและส่งจ่ายพลังงานแบบทิศทางเดียว



รูปที่ 1.2 รูปการผลิตและส่งจ่ายพลังงานแบบสองทิศทาง

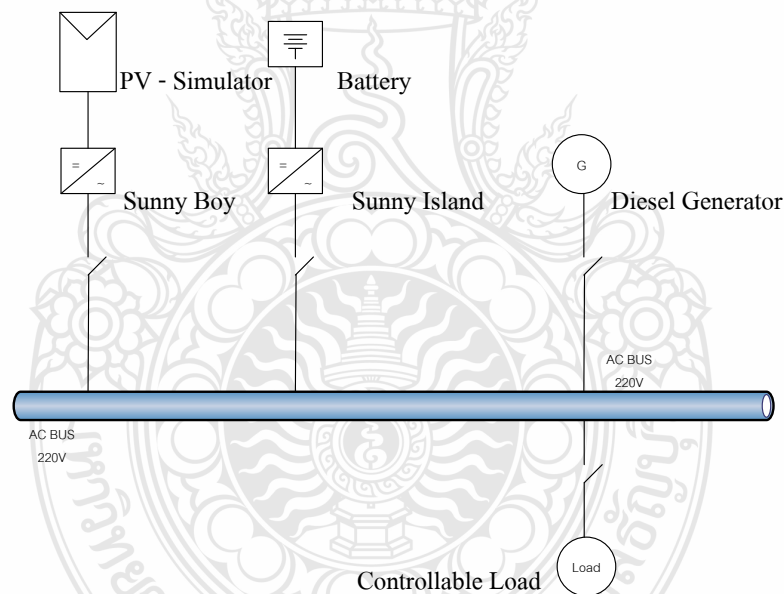
การผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงนั้นใช้เพียงพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลอย่างเดียวซึ่งในสภาวะปัจจุบันน้ำมันมีราคาสูงขึ้นจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการสร้างระบบจำลองระบบจำลองพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลจึงสามารถที่จะมาแทนระบบไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้ ซึ่งปัจจุบันระบบแบบขนานได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน ความสะดวกในการออกแบบและติดตั้ง ซึ่งมีอยู่สองลักษณะ คือ ระบบรวมศูนย์ (Centralized System) และ ระบบกระจายศูนย์ (Distributed System) ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งระบบรวมศูนย์จะนำมาพิจารณาเป็นต้นแบบในการวิจัยเนื่องจากมีศักยภาพดีกว่าในประเทศไทยและสะดวกต่อการควบคุม



รูปที่ 1.3 ระบบไฮบริดจ์แบบ Centralized System และ Distribute System

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานนี้ช่วยให้นักวิจัยเข้าใจถึงการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมแบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้าได้มากขึ้น สามารถได้ข้อมูลโดยตรงจากระบบการผลิตจริง จึงจะทำให้เกิดการผลิตเทคโนโลยีเป็นของตนเอง สามารถนำพลังงานทดแทนมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากปัญหานี้ทางผู้ทำวิจัยจึงได้เห็นถึงความสำคัญในการวิจัยและพัฒนาระบบต้นแบบผลิตไฟฟ้าผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขึ้นมา (PV-Battery-Diesel Hybrid System) ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานหรือไฮบริดจ์ เป็นการรวมเอาพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลไว้ด้วยกัน ระบบผลิตไฟฟ้าแบบไฮบริดจ์แบบขนาน ดังรูปที่ 1.4 จะเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด ลักษณะการทำงานคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง แผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ต่ออนุกรมเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-Directional Inverter) ซึ่งต่อเข้ากับภาระทางไฟฟ้า ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกจ่ายไปยังโหลดไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลถูกประจุเข้าแบตเตอรี่โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1.4 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [1]

รายละเอียดของระบบซึ่งประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดดีเซล ซึ่งเป็นระบบที่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดได้ตลอดเวลา ระบบที่ออกแบบจะเน้นการใช้งานพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลักและร่วมกับแหล่งพลังงานจากเครื่องกำเนิดดีเซล นอกจากนี้จะมีระบบวัดบันทึกแสดงผลทำหน้าที่สังเกตการทำงานของระบบแบบ Real Time ซึ่งเปรียบเสมือนผู้ดูแล ระบบการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวยังคงทำงานอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ โดยปกติ

ควรจะเฝ้าสังเกตการทำงานของการผลิตไฟฟ้าทุกวันและสามารถรายงานผลการผลิตได้ ทั้งในรูปแบบของข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดจะเก็บลงในระบบคอมพิวเตอร์ โดยระบบทั้งหมดถูกจำลองอยู่ในห้องทดลองทั้งหมดเพื่อเป็นต้นแบบการศึกษาและง่ายต่อการพัฒนาในอนาคตต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองอื่นๆ ระบบวัดบันทึกและแสดงผลแบบทันสมัย

1.2.2 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการจัดการระบบผลิตไฟฟ้าไฮบริดจ์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แสดงผลแบบ Real Time

1.2.3 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ผลการทำงานของจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยว เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองอื่นๆ ระบบวัดบันทึกและแสดงผลแบบทันสมัยเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าไฮบริดจ์ให้ดีขึ้น

1.3 สมมุติฐาน

ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่พลังงานจากแสงอาทิตย์ นี้ไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ไม่ได้มีตลอดเวลา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการรวมแหล่งพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์และ เครื่องกำเนิดดีเซลเข้ามาผสมผสาน เพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นและสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดบ้านหรือที่อยู่อาศัยได้ตลอดเวลา โดยใช้จำลองการทำงานทั้งหมดติดตั้งในห้องทดลอง โดยมีพื้นฐานงานจากพฤติกรรมจริงและใช้โปรแกรม HOMER ทดลอง Simulation เพื่อศึกษาวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบก่อนที่จะติดตั้งระบบจริง สามารถประเมินสมรรถนะของระบบและการคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อช่วยตัดสินใจว่าควรติดตั้งระบบหรือไม่ อีกทั้งพัฒนาระบบวัดบันทึกที่มีความทันสมัยเพื่อรองรับทำงานแบบสมาร์ทกริดในอนาคต

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ออกแบบสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองอื่นๆ

1.4.2 พัฒนาระบบวัด บันทึกผลและควบคุมที่สามารถจัดการระบบได้อย่างอัตโนมัติแบบ Real Time เพื่อรองรับการทำงานของสมาร์ทกริดในอนาคต

1.4.3 วิเคราะห์และประเมินผลประสิทธิภาพของระบบจำลองพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลเปรียบเทียบกับผลการ Simulation โดยโปรแกรม HOMER

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซล และการจำลองระบบเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในอนาคต โดยจะมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.5.1 การศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการสร้างและออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซล

2. ศึกษาอุปกรณ์ วัดและบันทึกผลของโปรแกรม LABVIEW

1.5.2 การวิเคราะห์แบบจำลองระบบ

1. วิเคราะห์แบบจำลองของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรองเพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสม

2. วิเคราะห์ระบบวัดบันทึกที่มีความเหมาะสมและทันสมัยสามารถประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆนอกเหนือจากระบบจำลองของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรอง

1.5.3 การออกแบบระบบ

1. เลือกรูปแบบและออกแบบของระบบทั้งหมดให้เหมาะสม

2. ออกแบบระบบวัดบันทึกผลที่ทันสมัยและสอดคล้องการตรวจวัดแบบ Real Time

1.5.4 ประเมินผลการทำงานของงานวิจัย

1. ทำการทดสอบระบบ

2. เก็บผลการทดสอบของระบบ

3. ทดสอบการจ่ายโหลดจริงจากโหลดที่ได้จำลองจากพฤติกรรมการใช้งานและปรับปรุง

1.5.5 จัดทำรายงานการวิจัยและสรุปผลการดำเนินงาน

1.6 ข้อยกเว้นของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองอื่นๆ ที่สามารถจ่ายโหลดได้ต่อเนื่องขนาดพิกัด 1 kW โดยใช้โปรแกรม HOMER ในการ Optimization เป็นการนำพลังงานทดแทนมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อ

เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน ระบบจำลองดังกล่าวที่ออกแบบจะถูกใช้พัฒนาและวัดบันทึกผลแบบทันสมัยและจ่ายโหลดอย่างต่อเนื่องโดยควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ในวิทยานิพนธ์นี้เน้นการวัดบันทึกผลแบบทันสมัยเพื่อเป็นฐานข้อมูลในอนาคตและแนวคิดปรับปรุงระบบวัดเพื่อรองรับสมาร์ตกริดในอนาคต วิทยานิพนธ์นี้ไม่เน้นผลกระทบทางด้านอุณหภูมิห้องเนื่องจากจำการในห้องทดสอบทางด้านอื่น ๆ จะใช้ตัวแปรร่วมในการทำงานจริงทั้งหมดโดยกำหนดกรอบในการวิเคราะห์ดังนี้

1.6.1 ระบบที่นำมาทดสอบเป็นระบบจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรอง

1.6.2 พิจารณาเฉพาะการทำงานขั้นต้นในช่วงเวลา 1 วันและจะถูกจำลองใช้งานเต็มเวลาในอนาคต

1.6.3 แบบจำลองโหลดจากชนบทเพื่อเป็นค่าพื้นฐานการออกแบบระบบทั้งหมด

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เข้าใจถึงปัญหาของระบบจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรอง

1.7.2 เข้าใจถึงการวิเคราะห์และการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดขนาดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของระบบจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรอง

1.7.3 เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และพัฒนาในอนาคตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีขึ้นเพื่อรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานของประเทศในอนาคต

1.8 ลักษณะรายละเอียด

การนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีอยู่ด้วยกัน 5 บท คือ บทที่ 1 จะกล่าวถึงปัญหา ความสำคัญและความสำคัญในการแก้ปัญหา โดยมุ่งเน้นไปที่ปัญหาพลังงานในปัจจุบัน ต่อมาจะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ สมมุติฐาน ขอบเขต ขั้นตอนในการดำเนินงาน ข้อจำกัด และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับตามลำดับ บทที่ 2 ศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รูปแบบพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์และระบบที่เกี่ยวข้องกับระบบที่นำมาจำลองทั้งหมดเพื่อเป็นแนวทางนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิทยานิพนธ์ โดยการนำข้อมูลต่าง ๆ ของพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้ามาทำการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองอื่นๆ พร้อมออกแบบระบบวัดบันทึกผลแบบทันสมัยเพื่อเฝ้าสังเกตการณ์และเก็บข้อมูลใช้เป็นฐานข้อมูลในอนาคต บทที่ 4 สร้าง วัด บันทึกผลและวิเคราะห์ระบบ บทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลเชิงอภิปรายรวมถึงข้อเสนอแนะ และแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรองเป็นระบบที่ถูกเลือกนำมาใช้เป็นระบบผลิตกำลังไฟฟ้าส่งจ่ายกับผู้ใช้ไฟฟ้าจึงมีระบบที่มีความสำคัญกับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง รูปแบบระบบจะแตกต่างกันออกไปจากโครงสร้างโดยรวม และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่พลังงานเหล่านี้ไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง จึงนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาาระบบดังกล่าวขึ้น โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในลำดับต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญยัง ปลั่งกลาง [1] ได้นำเสนอเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับพื้นที่ชนบทห่างไกล ว่าเทคโนโลยีไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ในชนบทที่ห่างไกลนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ โดยเฉพาะเทคโนโลยีพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด และ การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในพื้นที่จริงมากขึ้น ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศและผู้ใช้งาน

Shane Duryea, Syed Islam, and William Lawrance [2] ได้นำเสนอเกี่ยวกับระบบการจัดการแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดี่ยว ว่าโมดูลประมาณ 80% ของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ใช้ในระบบแบบเดี่ยว (Stand-Alone) พลังงานไฟฟ้าต่อเนื่องได้จาก PV โดยจัดเก็บในรูปแบบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่ที่ใช้ใน PV มีลักษณะการทำงานแตกต่างกันเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานในแบบดั้งเดิมมากขึ้น การใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะใช้ได้ไม่นานหากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดถูกใช้ในงานอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ไฟฟ้าสำรองที่จะทำงานได้ทันทีที่ไฟดับ หรือ รถไฟฟ้า แบตเตอรี่อายุสั้นลงส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของระบบ PV ในบางระบบ PV แบตเตอรี่กว่า 40% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน อายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นของแบตเตอรี่จะทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบดีขึ้น และ ลดค่าใช้จ่ายสำคัญในการปฏิบัติการ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสามารถยืดอายุการใช้งานได้ โดยหลีกเลี่ยงสภาพการทำงานที่สำคัญ เช่น การประจุมากเกินไป และการ Deep Discharge ซึ่งเป็นการกล่าวถึงเฉพาะระบบการจัดการแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ยังไม่ได้อธิบายถึงภาพรวมสำหรับระบบพลังงานผสมผสานที่เชื่อมต่อกับระบบอื่น โดยเฉพาะกั้นห้ามผลิตไฟฟ้า

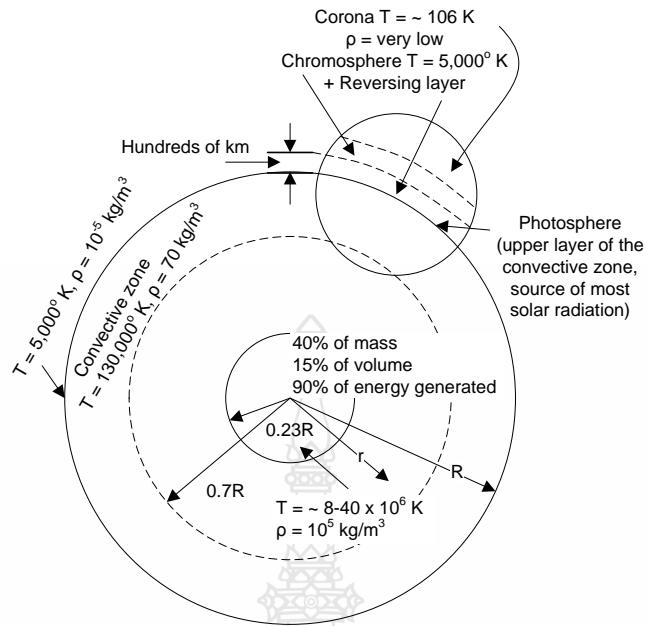
กฤษฎา พรหมพินิจ, บุญยัง ปลั่งกลาง [3] ได้กล่าวถึงการออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าผสมผสานสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์จริงเป็นการจำลองบ้านพลังงานเพื่อการพัฒนาการออกแบบไม่ได้กล่าวถึงวัดและข้อมูลแบบ Real Time

นภัทร วัจนเทพินทร์ และ เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์ [4] ได้กล่าวถึงการออกแบบ และพัฒนาระบบฝ้าสังเกตการณ์ทำงานของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเข้าระบบ เพื่อวัดและแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้า และ ข้อมูลสถานะอากาศรวมทั้งสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเข้าระบบขนาด 5 kW แต่ยังไม่มีการนำระบบฝ้าสังเกตการณ์มาใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

2.2 ดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39×10^9 เมตร และมีระยะห่างเฉลี่ยจากโลกประมาณ 1.5×10^{11} เมตร เมื่อสังเกตจากโลก ดวงอาทิตย์จะใช้เวลาในการหมุนรอบตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์ หรือการหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบจะใช้เวลาประมาณ 28 วัน

กลุ่มแก๊สร้อนในดวงอาทิตย์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยมวลของไฮโดรเจน 75% ฮีเลียม 23% และอื่นๆ อีก 2% อัตราส่วนของกลุ่มก๊าซนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เนื่องจากมีปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น (Fusion Reaction) ในแกนของดวงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 15 - 20 ล้านองศาเคลวิน (K) การเปลี่ยนแปลงการรวมตัวของอะตอมไฮโดรเจนจะเกิดก๊าซฮีเลียมและทำให้เกิดพลังงานขึ้น และพลังงานนี้จะทำให้เกิดการแผ่รังสี (แสงและความร้อน) ไปในอวกาศ ในส่วนของผิวรอบนอกของดวงอาทิตย์ที่เรียกว่าโฟโตสเฟียร์ จะมีคุณลักษณะเหมือนวัตถุดำมีอุณหภูมิประมาณ 6000 องศาเคลวิน กล่าวกันว่าดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประสิทธิผล 5,777 เคลวิน อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8×10^6 เคลวินถึง 40×10^6 เคลวิน และมีความหนาแน่นประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดวงอาทิตย์เปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชั่นของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์ [6]

จากโครงสร้างของดวงอาทิตย์ จะพบว่าประมาณ 90% ของพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์ จะเกิดที่บริเวณแกนกลางดวงอาทิตย์ถึงที่บริเวณ 0.23R (เมื่อ R คือ รัศมีของดวงอาทิตย์) ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้มีน้ำหนักปริมาณ 40% ของน้ำหนักทั้งหมดของดวงอาทิตย์ จากจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ไปถึงบริเวณ 0.7R อุณหภูมิจะลดลงเหลือประมาณ 130,000° K และความหนาแน่นจะลดลงเหลือ 70 kg/m³ ที่บริเวณนี้เริ่มจะมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและเรียกบริเวณ 0.7R ถึง 1R ว่าบริเวณของการพาความร้อน (Convection Zone) ในบริเวณนี้ อุณหภูมิจะลดลงเหลือประมาณ 5,000° K และมีความหนาแน่นประมาณ 10⁻⁵ kg/m³

เพื่อให้เข้าใจดวงอาทิตย์มากขึ้นจึงศึกษาวัตถุดำ ซึ่งเป็นวัตถุที่ดูดกลืนและเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ 100% ที่ทุกความยาวคลื่น ทฤษฎีการแผ่รังสีของวัตถุดำสามารถคำนวณได้จากสมการของแฟลงก์ โดยแฟลงก์กล่าวไว้ว่า ความยาวคลื่น (หรือความถี่) และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอยู่กับความสว่างของสเปกตรัมแห่งวัตถุดำคือ

$$S(\lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (2.1)$$

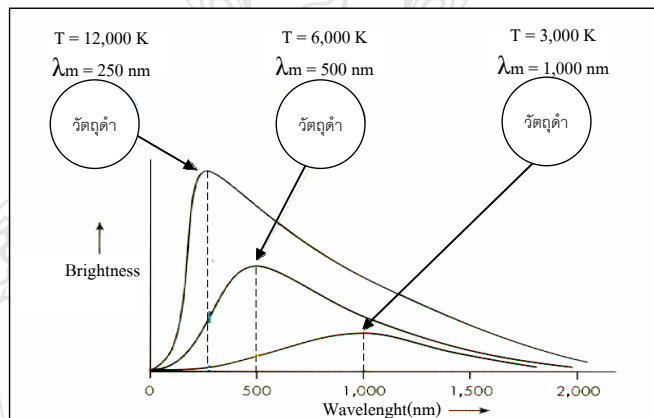
- เมื่อ $S(\lambda)$ = ค่าการแผ่รังสี [W/m³]
 λ = ความยาวคลื่นการแผ่รังสี [m]
 h = ค่าคงที่ของแฟลงก์ (Planck) [6.66 x 10⁻³⁴ W.s²]

T	=	อุณหภูมิ [K]
C	=	ความเร็วแสง [3 x 10 ⁸ m/s]
k	=	ค่าคงที่ของ Boltzmann [1.38 x 10 ⁻²³ W.s/K]
C1	=	$2\pi \cdot h \cdot C^2$ = 3.74 x 10 ⁻¹⁶ Wm ²
C2	=	C.h/k = 1.44 x 10 ⁻² mK

เมื่อพล็อตกราฟค่าความเข้มกับความยาวคลื่นดังรูปที่ 1.2 ค่าสูงสุดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความยาวคลื่นสูงสุดจะมีลดลง และความเข้มจะเพิ่มขึ้นตลอดความยาวคลื่น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

จากสมการของแพลงค์ ทำให้เกิด กฎของวิน (Wien 's Law) ขึ้น ซึ่งวินได้ค้นพบกฎการแผ่คลื่นพลังงานต่อความยาวคลื่น (ความสว่าง) ซึ่งจะมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่นที่แน่นอนและค่าความยาวคลื่นสูงสุดจะมีลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ดังสมการ

$$\lambda_{\max}[\text{nm}] = \frac{3000}{T} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 การแผ่รังสีจากวัตถุดำ

เมื่อทราบอุณหภูมิ ความหนาแน่นของการแผ่รังสีของวัตถุดำ ก็สามารถคำนวณได้โดยใช้กฎของ Stefan-Boltzmann's Law คือ

$$\dot{q} = \sigma \cdot T^4 \quad (2.3)$$

เมื่อ	\dot{q}	=	ความหนาแน่นการแผ่รังสี [W/m ²]
	σ	=	ค่าคงที่ของ Boltzmann [5.67 x 10 ⁻⁸ W/m ² /K ⁴]

$$T = \text{อุณหภูมิของวัตถุ [K]}$$

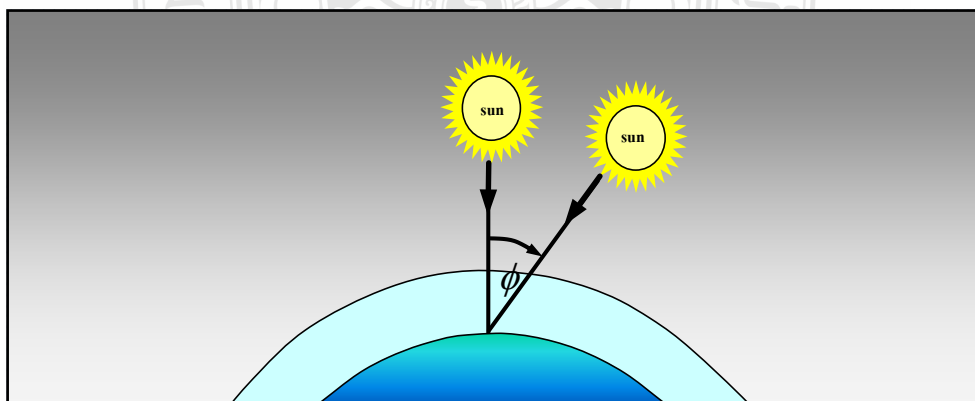
ความเข้มการแผ่รังสีจะมีการวัดในหน่วยการวัดค่าเป็นวัตต์หรือกิโลวัตต์ต่อตารางเมตร [W/m², kW/m²] พลังงานการแผ่รังสีคือ พลังงานรวมในคาบเวลาทำให้เกิดค่า วัตต์ – ชั่วโมง (หรือ กิโลวัตต์ – ชั่วโมง, จูล) ต่อตารางเมตร ปกติแล้วความหมายของ Radiation จะใช้ความหมายได้ทั้งสองอย่างคือความหนาแน่นในการแผ่รังสีและพลังงานการแผ่รังสี ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยการวัด

ตารางที่ 2.1 หน่วยของการแผ่รังสี

รายละเอียด	หน่วย
ความเข้มแสง (Radiation intensity)	W/m ² , kW/m ²
พลังงานแสง (Radiation energy)	Wh/m ² , kWh/m ²

2.3 มวลอากาศ

ในการแสดงอิทธิพลที่ซับซ้อนของชั้นบรรยากาศต่อปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์และต่อสเปกตรัมของแสง เราจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่า มวลอากาศ (Air Mass; AM) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับหนึ่ง (1) ถ้าทิศทางของการแผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศอยู่ในแนวตั้ง กำหนดให้ Z เป็น Zenith Angle (มุมระหว่างแนวตั้งกับแนวของแสงอาทิตย์) จะได้มวลอากาศเท่ากับ $1/\cos Z$ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะจะทำให้ค่ามวลของอากาศมีค่าเท่ากับหนึ่ง แต่เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° กับแนวตั้ง ค่ามวลของอากาศจะมีค่าเท่ากับสองและจะมีค่าเท่ากับศูนย์ (0) ที่นอกบรรยากาศของโลก



รูปที่ 2.3 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

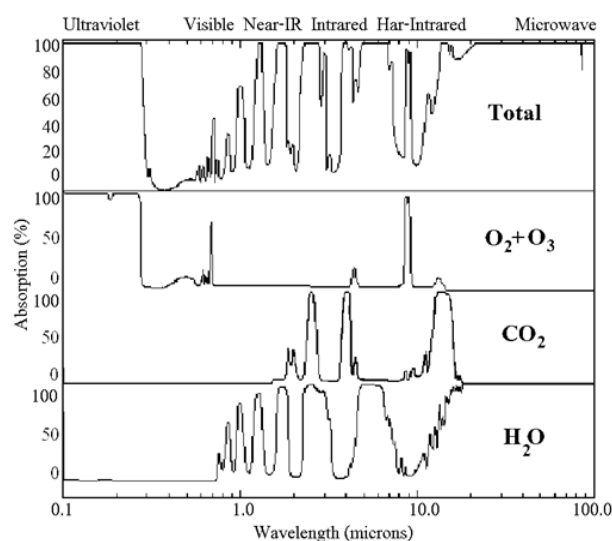
2.4 การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยชั้นบรรยากาศ

การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา และมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

1) ช่วง Ultraviolet จะมีความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm พลังงานของแสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดยก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจนและโอโซน เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมหรือในโมเลกุลของก๊าซดังกล่าว จึงทำให้แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลกเกือบจะไม่มีพลังงานแสงในช่วงนี้เหลืออยู่

2) ช่วง Visible มีความสำคัญต่อมนุษย์อย่างมาก เพราะเป็นรังสีช่วงเดียวจากดวงอาทิตย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งจะมีทั้งความสว่างที่มนุษย์ต้องการและความร้อนที่เราไม่ต้องการ โดยจะมีการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน ออกซิเจน และไอน้ำ

3) ช่วง Infrared จะมีการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากการหมุนและการสั่นสะเทือนของโมเลกุลหลายอะตอม (Polyatomic Molecule) ซึ่งได้แก่ น้ำ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 700, 800, 900, 1,400, 1,900, 2,700, 3,200 nm และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,600, 2,000, 2,700, 4,300 nm การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศด้านล่างซึ่งมีความหนาประมาณ 50 กิโลเมตรและพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นของบรรยากาศที่ระยะความยาวคลื่น 8,000 - 12,000 nm บรรยากาศจะโปร่งใส แสงในช่วงนี้เรียกว่า Atmosphere Window ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนเกือบหมดด้วยน้ำในรูปของไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.4 อัตราการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วง

2.5 รังสีจากดวงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้น โลกนั้น ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้น โลกโดยตรง และพลังงานจากรังสีของแสงที่เกิดจากการกระจายและการสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศ นั่นคือสามารถแบ่งองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้น โลกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) รังสีตรง (Direct Radiation หรือ Beam Radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้น โลก โดยไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้มีค่าความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้น โลก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะสำหรับการใช้กับอุปกรณ์ประเภทที่ต้องรวมแสงชนิดต่างๆ ที่ต้องการค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูงๆ

2) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation หรือ Scattered Radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้น โลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรงมาก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะกับการใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเข้มแสงสูงนักเช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

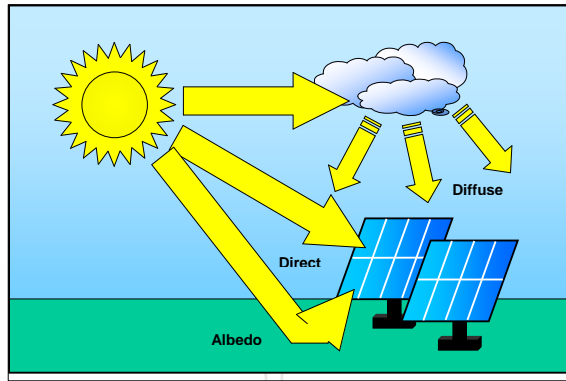
สัดส่วนของรังสีตรงกับรังสีกระจายในแต่ละวันในแต่ละพื้นที่ จะมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศในแต่ละวันและแต่ละพื้นที่ ผลรวมของรังสีทั้งสองประเภทเรียกว่า รังสีรวม (Total Radiation หรือ Global Radiation) สำหรับค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากบนพื้นที่หนึ่งหน่วยนอกชั้นบรรยากาศโลกนั้นเรียกว่า ค่าคงที่ของแสงอาทิตย์

ตารางที่ 2.2 ความเข้มการแผ่รังสีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะต่าง ๆ

สภาพอากาศ	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้ามีหมอกและเมฆ	ท้องฟ้าครึ้ม
การแผ่รังสีทั้งหมด	600...1000 W/m ²	200...400 W/m ²	50...150 W/m ²
ส่วนที่แผ่กระจาย	10...20 %	20...80 %	80...100 %

ถึงแม้ท้องฟ้าโปร่งค่าความเข้มการแผ่รังสีบนผิวโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดวัน การแผ่รังสีจะมีค่าน้อยในตอนเช้า และช่วงเย็น ที่เป็นเช่นนี้เพราะการแผ่รังสีมีส่วนเดินทางมากกว่าในตอนกลางวัน

การแผ่รังสีจากการสะท้อนเรียกว่า Albedo คือ แสงที่เกิดการสะท้อนจากพื้นและสภาพแวดล้อม แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.5 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนพื้นผิว

ตารางที่ 2.3 การสะท้อนบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน

สถานที่	การสะท้อน (%)
มหาสมุทร	2 – 10
ป่า	6 – 18
พื้นหญ้า	7 – 25
พื้นดิน	10 – 20
ทะเลทราย	35 – 45
น้ำแข็ง	20 – 70
หิมะ	70 – 80

พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากภูมิอากาศและปัจจัยของลมฟ้าอากาศซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามสถานที่และฤดูกาล ความแตกต่างของสภาพอากาศ

2.6 การวัดค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สามารถที่จะใช้เครื่องมือวัดคือ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ดังรูปที่ 1.13 นี้คือตัวอย่างของเครื่องวัดพื้นฐานที่ใช้ในการวัดค่าการแผ่รังสี เมื่อใช้เครื่องวัดนี้วัดค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันขนาดเป็น mV และจะเปลี่ยนเป็นค่าพลังงานของการแผ่รังสีในหน่วย W/m² ไพรานอมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดรังสีรวมที่ตกกระทบบนพื้นระนาบ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวรับแสง ซึ่งภายในนั้นประกอบด้วยเทอร์โมโพลีหลายชุดต่อกัน ตัวรับแสงบรรจุอยู่ในโดมแก้วครึ่งทรงกลม โดมแก้วนี้มีหน้าที่ป้องกันตัวรับแสงจากฝุ่นและลม ซึ่งจะทำให้ตัวรับแสงสูญเสียความ

ร้อนไปเนื่องจากการพาและการแผ่รังสี ปกติโดมแก้วจะมี 2 ชั้น ทำด้วยแก้วพิเศษซึ่งจะต้องมีความหนาที่สม่ำเสมอ เพื่อที่จะไม่ก่อให้เกิดการกระจายของรังสีที่จะตกกระทบตัวรับแสง



รูปที่ 2.6 Model 240 – 8101 สตาร์ ไพรานอมิเตอร์

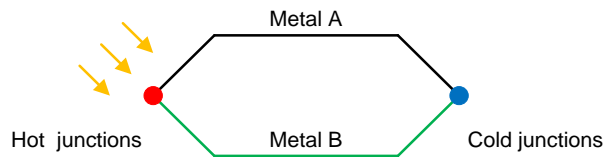
ส่วนประกอบหลักโดยทั่วไปของไพรานอมิเตอร์มีดังนี้

1. โดมแก้ว

ตัวโดมแก้วนั้นสามารถยอมให้รังสีจากดวงอาทิตย์ทะลุผ่านได้ประมาณ 97-98% และจะถูกดูดกลืนโดยตัวรับแสงที่อยู่ภายใน โดมแก้ว รังสีจากดวงอาทิตย์นั้นมาจากทุกทิศทางในครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ตัวโดมแก้วได้ถูกออกแบบมาให้มี 2 ชั้น เพื่อลดค่าความผิดพลาดของการตกกระทบของรังสีจากดวงอาทิตย์ในขณะที่ทำการวัดค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังป้องกันตัวรับแสงจากฝุ่นและลม

2. ตัวรับแสง

ในส่วนของตัวรับแสงข้างในจะมีเทอร์โมโพลี ซึ่งประกอบด้วยโลหะต่างชนิดเชื่อมปลายทั้งสองข้างติดกันอยู่ แบ่งเป็นด้าน Hot Junctions และ Cold Junctions โดยฝั่ง Hot Junctions เป็นส่วนที่ใช้วัดอุณหภูมิ ส่วนฝั่ง Cold Junctions เป็นส่วนที่ใช้อ้างอิงอุณหภูมิ เมื่อมีแสงตกกระทบจะก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของโลหะตัวนำทั้งสอง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในระดับมิลลิโวลต์ โดยจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะตัวนำที่ใช้และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของปลายโลหะทั้งสองข้าง ซึ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวรับแสง



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของเทอร์โมโพลต์

3. ชั้นส่วนป้องกันไฟรานอมิเตอร์

ไฟรานอมิเตอร์จะมีงานโลหะสีขาวสวมอยู่ วัสดุอาจทำจากอลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติทางกลสูงและมีเสถียรภาพด้านอุณหภูมิ ด้วยลักษณะของงาน โลหะนั้นสามารถป้องกันอุปกรณ์จากรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาจากข้างบนและช่วยลดความร้อนของตัวไฟรานอมิเตอร์ อีกทั้งป้องกันรังสีกระจายที่จะสะท้อนจากพื้นดินและสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เพื่อที่จะให้รังสีที่เข้าโดมแก้วนั้นเป็นรังสีที่มาจากเครื่องทรงกลมฝั่งท้องฟ้าเท่านั้น โดยตัวงาน โลหะนี้จะถูกประกอบยึดไว้กับไฟรานอมิเตอร์ด้วยมาตรฐานความปลอดภัย IP (Ingress Protection Rating)

ในส่วนของมาตรฐานความปลอดภัย IP นั้นจะมีตัวเลขสองหลักต่อท้ายจาก IP เป็นตัวกำหนดความสามารถในการป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในภายในอุปกรณ์ โดยตัวเลขที่มากกว่าจะหมายถึงความสามารถที่สูงกว่านั่นเอง ซึ่งตัวเลขดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ตัวเลขหลักที่หนึ่ง (การป้องกันของแข็ง และฝุ่นละออง)

เลข	ระดับการป้องกัน
0	ไม่สามารถป้องกันได้เลย
1	ป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มม.
2	ป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 12 มม.
3	ป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.5 มม.
4	ป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 มม.
5	ป้องกันฝุ่นได้เล็กน้อย
6	ป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์แบบ

ตารางที่ 2.5 ตัวเลขหลักที่สอง (การป้องกันของเหลว)

เลข	ระดับการป้องกัน
0	ไม่สามารถป้องกันได้เลย
1	สามารถป้องกันหยดน้ำที่ตกใส่ในแนวตั้งได้
2	สามารถป้องกันน้ำที่ฉีดใส่ในระดับเอียง 15 องศาจากแนวตั้งได้
3	สามารถป้องกันน้ำที่ฉีดใส่ในระดับเอียง 60 องศาจากแนวตั้งได้
4	สามารถป้องกันละอองน้ำในทุกทิศทางได้
5	สามารถป้องกันการฉีดน้ำในทุกทิศทางได้
6	สามารถป้องกันการฉีดน้ำอย่างรุนแรงในทุกทิศทางได้
7	สามารถจมน้ำได้ถึง 1 เมตร โดยไม่มีน้ำเข้าเลย
8	สามารถจมน้ำได้อย่างถาวร

4.กล่องคูความชื้น

ในกรณีที่ความชื้นนั้นสามารถแทรกซึมเข้าไปได้ กล่องคูความชื้นจะทำหน้าที่ควบคุมความชื้นภายในตัวไพรานอมิเตอร์ สารคูความชื้นจะกลายเป็นสีส้ม หลังจากนั้นหากสารควบคุมความชื้นเต็มไปด้วยความชื้น จะเปลี่ยนสีเป็นโปร่งใส ซึ่งในเวลานี้ควรที่จะเปลี่ยนสารคูความชื้นได้ทันทีที่มีโอกาส

5.สายไฟ

สำหรับสายไฟที่ใช้ควรจะชนิดที่มีสัญญาณรบกวนน้อยเพื่อที่จะควบคุมแรงดันขาออกจากเทอร์โมไพล์หรือตัววัดอุณหภูมิ ในส่วนที่ป้องกันสายไฟที่เชื่อมต่อเข้ากับโครงโลหะควรมีการต่อลงดินที่จุดอ่านค่าของอุปกรณ์ และสายไฟไม่ควรใช้ยาวมากเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดการสูญเสียของแรงดันในสายได้

การวัดรังสีของดวงอาทิตย์นี้หน่วยในการแสดงผลเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) รังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์จะมาตกกระทบและกระจายกระจายอยู่บนตัวรับแสงในโดมแก้วของ ไพรานอมิเตอร์นี้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาในการวัด เมื่อได้ค่ารังสีมาแล้วจะนำมาคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆ อีกทีอย่างไรรู้ตามหากขณะที่ทำการวัดนั้นมีเงามาบังบังก็จะสามารถที่จะคำนวณอัตรารังสีจริงได้ โดยไม่มี ความคลาดเคลื่อนหรือมีน้อยมากนั่นเอง

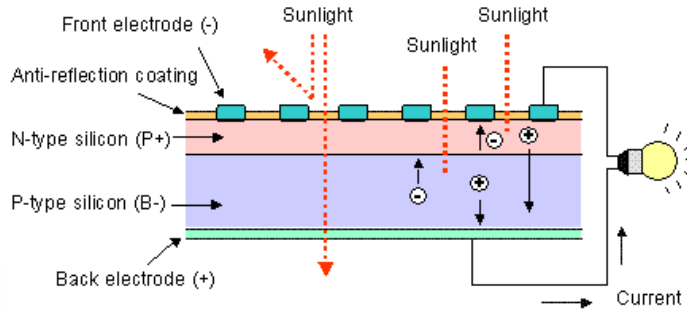
2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) คือ สิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นกระแสตรง (Direct Current) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน [5] เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

Solar Cell หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ Photovoltaic ซึ่งต่างมีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น Photo หมายถึง แสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ [6] ขึ้นมาครั้งแรก โดยแชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลกเช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม [6,7]

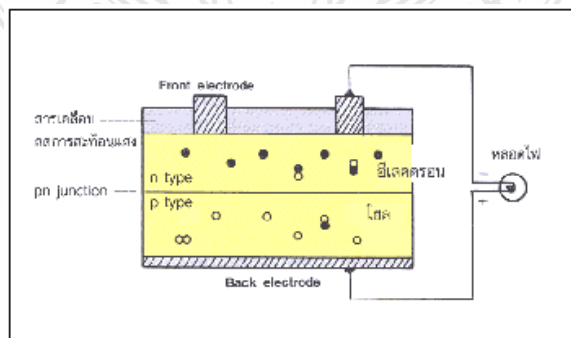
2.7.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆ ไปใช้งานได้ ตามรูปที่ 2.1

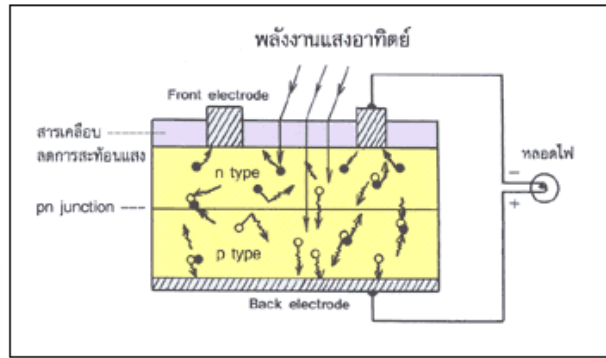


รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [7]

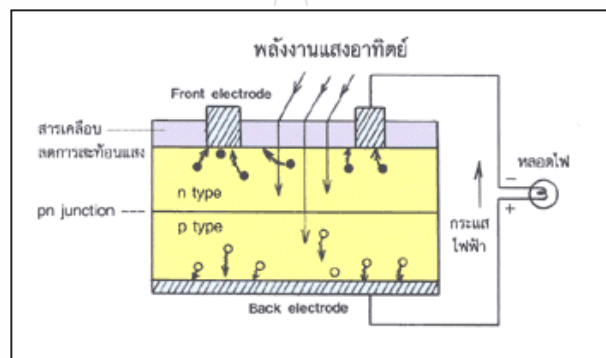
จากรูปที่ 2.2 (ก) n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านบนของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านบนของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า "Front Electrode" ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า "Back Electrode" ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล จากรูปที่ 2.2 (ข) เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type และจากรูปที่ 2.2 (ค) อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.9 กระบวนการพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [7]

2.7.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1) ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศาับพื้นโลก

ความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2) อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา °C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ (V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา °C จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา °C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา °C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศา °C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ($21 \text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.7.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานแล้วในเชิงพาณิชย์ ในปัจจุบันมีประมาณ 5 ชนิดดังนี้

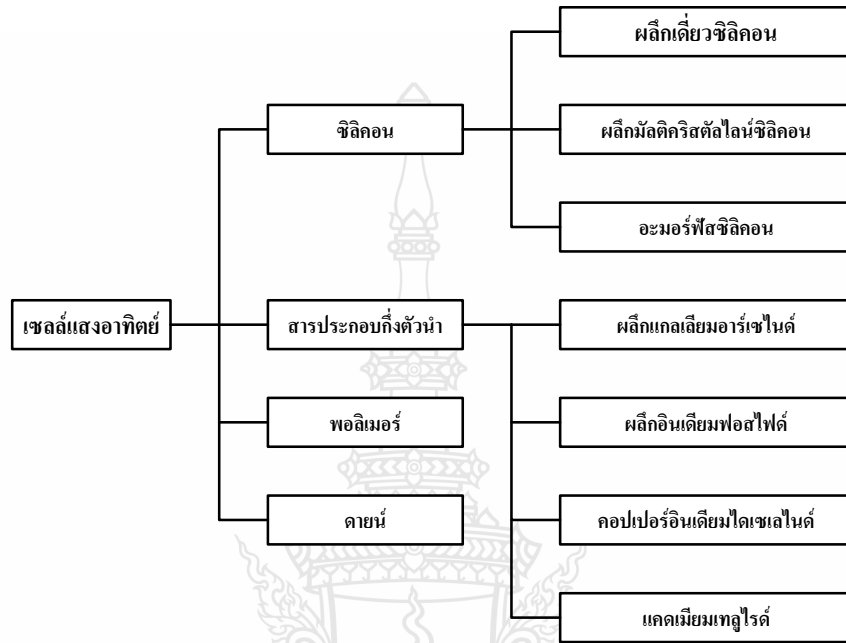
1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือเรียกว่า โมโนคริสตัลซิลิคอนโซลาร์เซลล์ (Monocrystalline Silicon Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ได้รับการพัฒนาเก่าแก่ที่สุด ผลิตจากแผ่นเวเฟอร์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน มีความหนาประมาณ 200 – 300 ไมครอนมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 15 – 17% แต่มีราคาแพง

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมหรือแบบผลึกย่อย (Polycrystalline Silicon Solar Cell, Multi Crystalline Silicon Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน ผลิตจากแผ่นเวเฟอร์ชนิดผลึกมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอน มีความหนาประมาณ 180 – 220 ไมครอน มีราคาปานกลางมีประสิทธิภาพประมาณ 12 – 15%

3) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) มีลักษณะเป็นฟิล์มบางหนาประมาณ 0.5 – 1.0 ไมครอน ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องคิดเลขซึ่งมีลักษณะสีม่วงน้ำตาล มีความบางเบา ราคาถูก ผลิตให้เป็นพื้นที่เล็กไปจนถึงใหญ่หลายตารางเมตรมีประสิทธิภาพประมาณ 6 – 8%

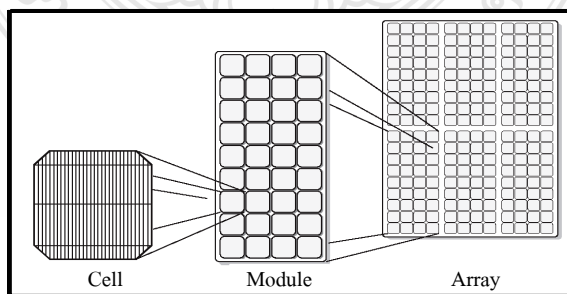
4) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงระดับ 25% ขึ้นไป มีราคาแพงมาก ไม่นิยมนำมาใช้งานบนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมเท่านั้น

5) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของสารประกอบตระกูลทองแดงอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ และตระกูลแคดเมียมเทลลูไรด์ มีการใช้งานน้อย

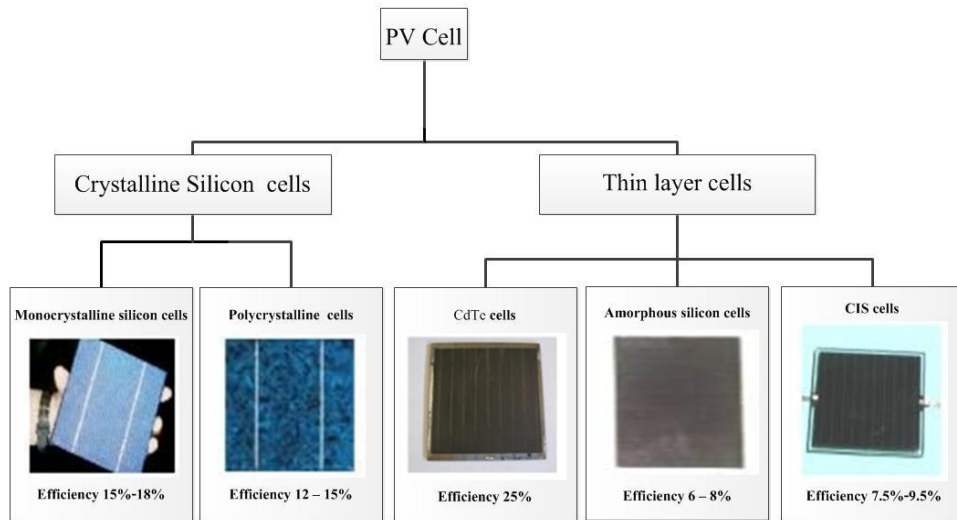


รูปที่ 2.10 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

การเพิ่มขนาดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดที่เหมาะสมและสะดวกกับการใช้งาน โดยการขนานและอนุกรมเซลล์ดังรูปที่ 2.11 เป็นการนำเซลล์มาต่อเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบจากแผงเซลล์หลายแผงต่อกันแบบขนานและอนุกรมเพื่อเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอให้กับขนาดของระบบที่ต้องการ เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบถูกนำมาผลิตเพื่อจำหน่ายประมาณ 5 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.12

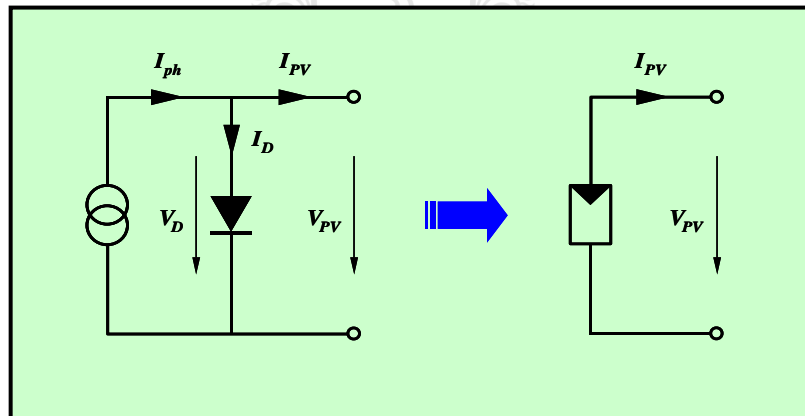


รูปที่ 2.11 การนำเซลล์มาต่อเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นส่วนใหญ่ทำมาจากซิลิกอนไดโอด ดังรูปที่ 2.13 สามารถอธิบายแผนภาพวงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้



รูปที่ 2.13 วงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์ [9]

จากวงจรเทียบเคียงของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนสมการการไหลของกระแสเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (2.4)

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \times \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

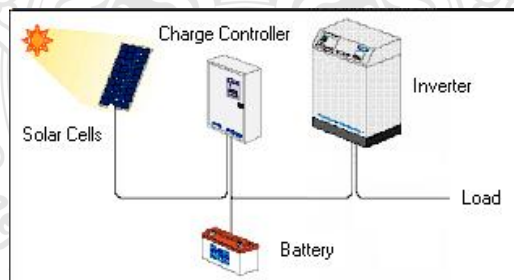
เมื่อ I_{PV} คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ (A)

I_{ph}	คือ กระแสที่กำเนิดจากแสงอาทิตย์ (A)
I_0	คือ กระแสอิ่มตัวขณะไม่มีแสงอาทิตย์ (A)
q	คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอนส์ ($e=1.6 \times 10^{-19}$ As)
V	คือ แรงดันใช้งาน (V)
k	คือ ค่าคงที่โบลท์มันต์ (8.65×10^{-5} eV/K)
T	คือ อุณหภูมิของไดโอด หน่วย เคลวิน (K)

2.7.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

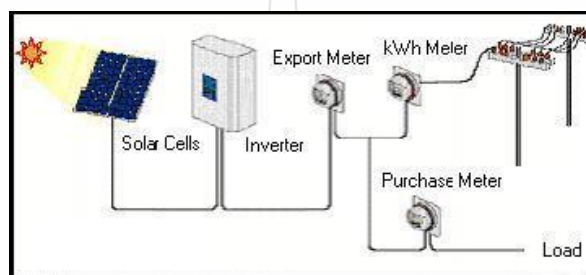
1) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ เป็นต้น



รูปที่ 2.14 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ [12]

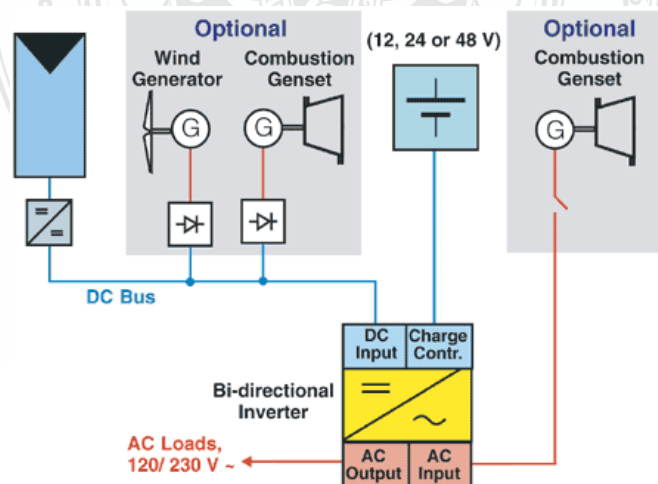
2) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ

แสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid Connected เป็นต้น



รูปที่ 2.15 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย [12]

3) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรอกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.16 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.8 แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน (Battery Storage)

แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานและสามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ด้วยการใส่เซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวก และขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าได้ สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมีจากการประจุ/คายประจุนั่นเอง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้ การบำรุงรักษา การประจุ และอุณหภูมิ

2.8.1 แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่มีหน้าที่เก็บสะสมพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดเก็บไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตไฟฟ้า เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือเวลากลางคืน หากเปรียบเทียบกับระบบกักเก็บน้ำฝนคือถังเก็บน้ำนั่นเองระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอิสระ (Stand-Alone Solar System) ต้องใช้แบตเตอรี่ทั้งสิ้น [10] ซึ่งปัจจุบันมีแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เลือกใช้งานได้หลายชนิด โดยข้อกำหนดของแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

1) มีราคาที่เหมาะสม โดยปกติหาได้จากผลรวมของเงินลงทุนและต้นทุนในการดำเนินการของแบตเตอรี่หารด้วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (KWh) ระหว่างอายุการใช้งานทั้งหมด (Life Time) ดังนั้นการกำหนดราคาจะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2) มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ควรจะยาวนาน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมในการกำหนดราคาของแบตเตอรี่ และค่าการติดตั้งควรจะต่ำ โดยเฉพาะในบริเวณที่ห่างไกล

3) ประสิทธิภาพโดยรวมสูง ประสิทธิภาพการประจุไฟฟ้าโดยรวมหาได้จากประสิทธิภาพคูณอม (ηI) คูณกับประสิทธิภาพแรงดันไฟฟ้า (ηV)

$$\eta\Sigma = \eta I \cdot \eta V \quad (2.5)$$

และค่าประสิทธิภาพคูณอม (ηI) วัดได้จากค่าอัตราการคายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (QD) หารด้วยค่าการประจุแบตเตอรี่ในระหว่างการประจุไฟฟ้า (QC)

$$\eta I = QD / QC \quad (2.6)$$

โดยปกติเมื่อแบตเตอรี่ทำการประจุไฟฟ้า (Charge) เต็มแล้วจะกลับสู่สภาวะเริ่มต้นพร้อมใช้งาน สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดี่ยว ๆ (PV Stand-Alone) ประสิทธิภาพความจุเฉลี่ย

จะอยู่ที่ 80-85% ประสิทธิภาพของแรงดันหาได้จากค่าแรงดันเฉลี่ยการจ่ายประจุไฟฟ้า (VD)หารด้วยแรงดันเฉลี่ยของการประจุไฟฟ้า (VC) ค่าความต้านทานภายในตัวแบตเตอรี่จะเป็นตัวแปรที่สำคัญ

$$\eta_V = VD / VC \quad (2.7)$$

ประสิทธิภาพโดยรวมควรมีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถของการเก็บประจุจาก PV และถ่ายพลังงานในแบตเตอรี่ ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป (Consumers) และค่าประสิทธิภาพคลออม (η_I) วัดได้จากค่าอัตราจ่ายประจุไฟฟ้าที่สามารถดึงมาจากแบตเตอรี่ (QD) หารด้วยค่าประจุที่ส่งเข้าในระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า (QC)

4) มีอัตราการคายประจุในตัวของมันเองต่ำ (Self - Discharge) แบตเตอรี่สามารถปล่อยพลังงานออกจากตัวของมันไปได้ถึงแม้ไม่มีโหลดที่เชื่อมต่อกันตาม อาจเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีที่ขั้วของแบตเตอรี่และจะเกิดอย่างรวดเร็วถ้าอุณหภูมิสูงและแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานมานาน ปฏิกิริยาทางความร้อนทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติของวัสดุและสารประกอบ อิเล็กโทรไลต์ หรือ กรดซัลฟูริก (Electrolytes) ภายใน จึงเหมือนกับเกิดการลัดวงจรเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียการเก็บประจุไฟฟ้า เราเรียกว่า “Self-Discharge” ความสูญเสียนี้ควรจะมีความต่ำ

5) ค่าบำรุงรักษาไม่แพง การบำรุงรักษาโดยการเติมน้ำกลั่นในกรณีที่เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด กรณีที่มีระดับต่ำกว่าปกติ

6) ติดตั้งและควบคุมได้ง่าย เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานที่บ่อยและไม่ค่อยเกิดปัญหา การติดตั้งและการใช้งานง่ายจึงเป็นที่นิยม

7) มีกำลังสูง สิ่งสำคัญสำหรับแบตเตอรี่ต้องมีการใช้งานกับโหลดได้อย่างสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ ตัวอย่างการใช้งานใช้ในการสตาร์ทของเครื่องกำเนิดเซลล์ในการเพิ่มพลังงานในช่วงเริ่มต้นของระบบ PV [16]

แบตเตอรี่มีหลายชนิด สามารถหาซื้อได้ง่ายสำหรับนำไปใช้ร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลของแบตเตอรี่สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2.6

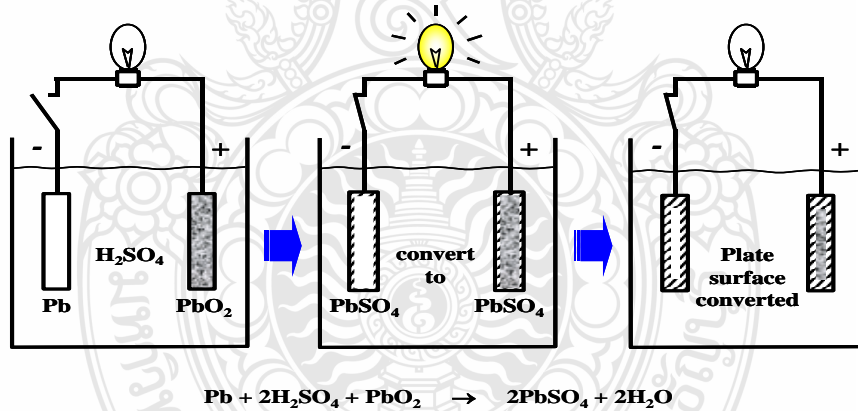
ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดเพื่อที่จะเลือกแบตเตอรี่มาใช้งาน [9]

Type	Cycle life until 80 % DOD	Investment cost (€/kWh)	Specific kWh cost (€/kWh ₂)	η_I (%)	Self-discharge (%/month)	Temp. range (°C)
Pb	500...1500	85...350	0.17...0.30	> 80	3...4	-15°...+50°
NiCd	1500...3500	650...1500	0.30...1.00	71	6...20	- 40°...+45°
NiFe	3000	1000	0.33	55	40	0°...+40°

เนื่องจากการประเมินค่าหลายอย่างขึ้นอยู่กับสถานะการประจุ (Charge) และการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ การเลือกใช้จึงมีความเหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเปรียบเทียบแบตเตอรี่และเลือกใช้งานให้เหมาะสม

2.8.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead - Acid Battery)

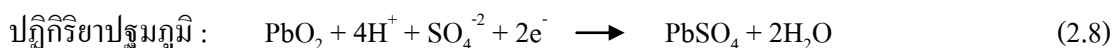
พลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่นั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมี โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมบรรจุไว้ในภาชนะที่ทำมาจาก Polypropylene เจือจางด้วยกรดซัลฟูริก (SO_4 -ion) ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ ภายในบรรจุขั้วไฟฟ้าลบและบวก ซึ่งแขวนยึดติดอยู่กับตัวถัง ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้ สำหรับแผ่นบวก (Cathode) ที่มีลักษณะเป็นแบบตาข่าย แบบช่อง แบบท่อ ฯลฯ ซึ่งเติมตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ลงไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (ซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า) ในระหว่างการประจุ แผ่นลบ (Anode) ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายมีไว้สำหรับรองรับการขยายตัวของพื้นผิว และส่วนที่เป็นตาข่ายนี้เติมตะกั่วบริสุทธิ์ในระหว่างการประจุ และระหว่างแผ่นทั้งสองจะมีกรดเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างแผ่นทั้งสอง และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ [9] จากรูปที่ 2.17 อธิบายถึงกระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



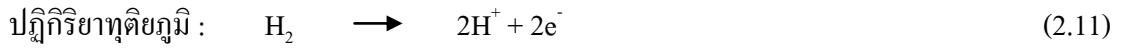
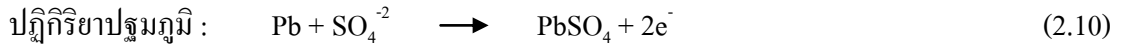
รูปที่ 2.17 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ในระหว่างที่มีการคายประจุแผ่นวัสดุทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก โดยมีสมการในการทำปฏิกิริยา ดังนี้

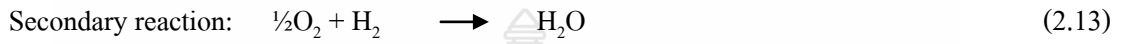
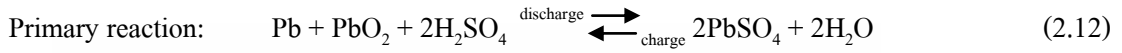
แผ่นบวก



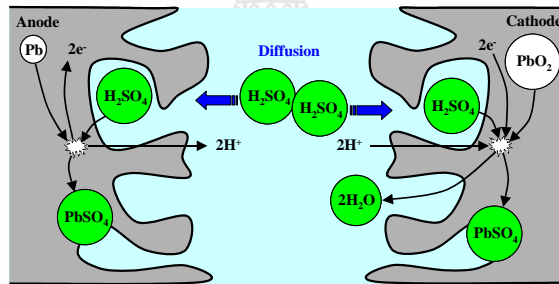
แผ่นลบ



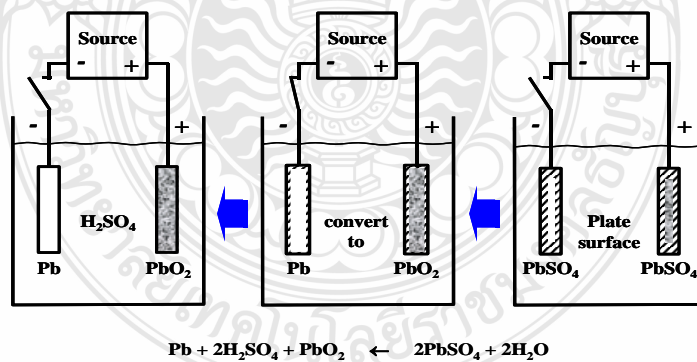
Cell:



ที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO₂) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (SO₄-ion) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต (PbSO₄) ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

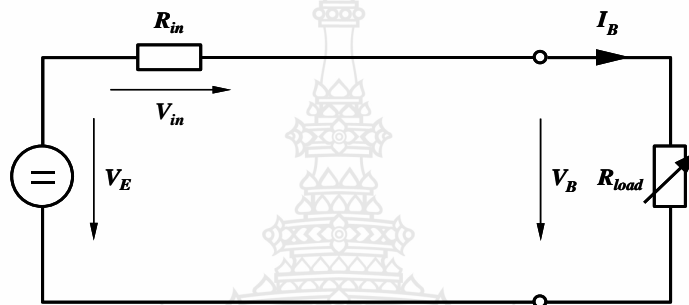


รูปที่ 2.19 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จากสมการที่ 2.12 กระบวนการประจุด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.19 คือ ตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกรดซัลฟูริกและตะกั่วออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง [9]

2.8.3 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบบจำลองของแหล่งจ่ายแรงดันกับแรงดันที่ตัวเซลล์ (V_E) ที่ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายใน (R_{in}) ดังรูปที่ 2.20 เป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถอธิบายการทำงานได้เพราะมีค่าความสัมพันธ์ของ (V_E) และ (R_{in}) แต่การทำงานของตัวแปรส่วนต่าง ๆ ของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (SOC) อุณหภูมิ ความหนาแน่นของกระแส และธาตุแต่ละธาตุของแบตเตอรี่ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ควรพิจารณาด้วยเช่นกันตามทิศทางของอัตราการไหล (Charging หรือ Discharge)



รูปที่ 2.20 วงจรเปรียบเทียบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในเซลล์แบตเตอรี่ แรงดันซึ่งวัดได้ในแต่ละขั้วของแบตเตอรี่ (V_B) จากปลายของแต่ละขั้วแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

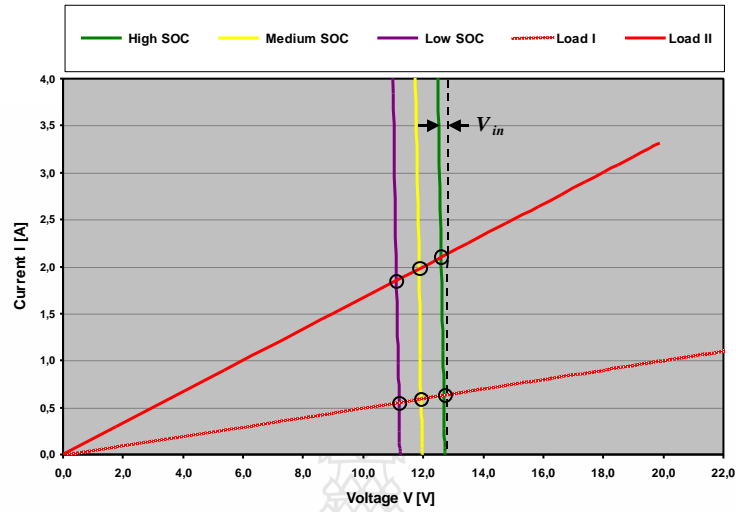
$$V_B = V_E - V_{in} \quad (2.14)$$

$$= V_E - R_{in} \cdot I_B \quad (2.15)$$

- เมื่อ
- V_B คือ แรงดันปลายสาย (V)
 - V_E คือ แรงดันที่ตัวเซลล์ (V)
 - V_{in} คือ แรงดันสูญเสียภายใน (V)
 - R_{in} คือ ความต้านทานภายใน (Ω)
 - I_B คือ กระแสคายประจุ (A)

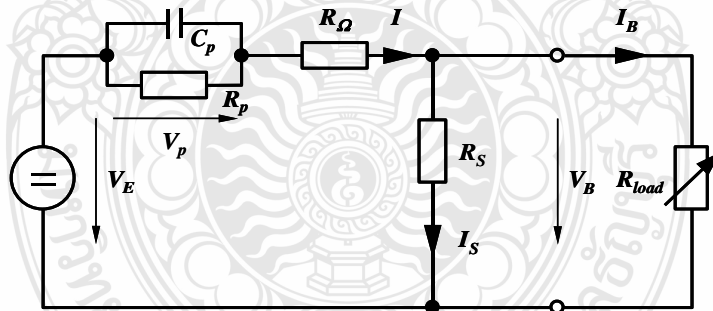
จากสมการที่ (2.14, 2.15) การดิสชาร์จที่กระแสสูงจะส่งผลให้เกิดการลดลงของแรงดันที่ปลายสาย ฉะนั้นจะต้องกำหนดสภาพของแบตเตอรี่ใหม่โดยเฉพาะค่าของแรงดันแบตเตอรี่ ควรให้กระแสคายประจุมีค่าต่ำ รูปที่ 2.21 ภาพประกอบกระแส-แรงดัน และจุดทำงานของแบตเตอรี่ซึ่ง

เชื่อมโยงโดยตรงจากโหลด 2 ค่า โดยสมมติว่าสภาพของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (SOC) นั้น และอุณหภูมิ (Temperature) ของแบตเตอรี่คงที่ ระยะระหว่างเส้นสีเขียวตัดกับเส้นตรงกันกับ v_{in}



รูปที่ 2.21 จุดทำงานของแบตเตอรี่สำหรับความต้านทาน โหลดที่แตกต่างกัน

ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและรู้จักดีเกี่ยวกับพฤติกรรมของ แบตเตอรี่ สำหรับการใช้งานในระยะยาว โดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงขึ้นควรพิจารณาเป็นอย่างมาก เพื่อ อธิบายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คงที่ (Dynamic) และแบบคงที่ (Quasi-Static) ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรแบตเตอรี่กับกระบวนการ Dynamic และ Quasi-static

กระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คงที่ (Dynamic) ของแรงดันที่มากขึ้นไปเนื่องมาจาก ปฏิกริยาทางเคมีและกระบวนการอื่นๆ เช่น กระบวนการแพร่ของไอออน (Ions) ในอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สามารถอธิบายและสรุปผลของแรงดัน (V_p) เมื่อระดับแรงดันต่ำลงในสาย ในแบตเตอรี่ และในอิเล็กโทรไลต์ จะทำให้มีความต้านทานเข้ามาแทนที่ R_Ω สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลง แบบคงที่ (Quasi-Static) ตัวเก็บประจุ C_p ที่มีการต่อในลักษณะขนานกับตัวต้านทาน R_p จะหายไปซึ่งมี

ลักษณะเหมือนกับ Shepherd Model [8] การเสียดพลังงานของแบตเตอรี่นั้นเนื่องมาจากการคายประจุโดยตัวมันเอง (Self-Discharge) ที่มีการแทนที่โดยตัวต้านทาน R_s การต้านทานแบบนี้จะบ่งบอกถึงพลังงานของแบตเตอรี่ที่หมดไปแม้ว่าจะไม่ถูกใช้ตาม แบตเตอรี่แบบโซล่าที่ดีควรมีความต้านทานที่สูงเพื่อที่จะทำให้เสียดพลังงานน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

$$I_B = I - I_s \quad (2.16)$$

เมื่อ I คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)
 I_s คือ กระแสคายประจุ Self-Discharge (A)

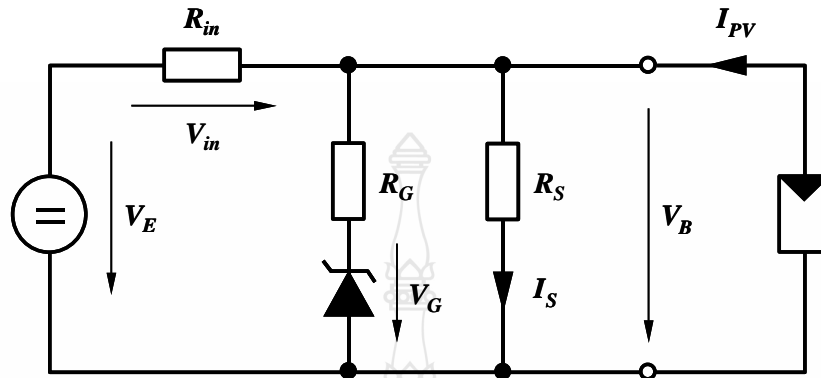
อย่างไรก็ตามอัตราแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแต่ละเซลล์ผลิตแรงดัน 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12V จะประกอบด้วย 6 เซลล์ที่เหมือนกันมาต่ออนุกรมกัน แรงดันที่ขั้วปลายสายจะแปรผันตามสภาวะของการทำงาน และความเข้มข้นของกรดจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการประจุ (Charging) และการคายประจุ (Discharge) ตามที่แผ่นป้ายบอกไว้ แรงดันที่คงที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.17)

$$V_E \approx V_k + \text{ความเข้มข้นของกรด (g/cm}^3\text{)} \quad (2.17)$$

เมื่อ V_E คือ แรงดันคงที่ (V)
 V_k คือ 0.84...0.88 (ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่)

ตัวอย่างของแบตเตอรี่กับกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เข้มข้น 1.28 g/cm^3 และ $V_k = 0.84$ สำหรับแบตเตอรี่แบบ Tudor ดังนั้นสภาพคงที่ $\approx 0.84 + 1.28 = 2.12 \text{ V}$ ในระบบ PV ซึ่งเป็นตัวอย่างคุณสมบัติการคายประจุ (Discharge) ที่ช้ามาก แรงดันที่ได้อาจมีค่าประมาณ 1.95 V ต่อเซลล์หรือ 11.7 V สำหรับแบตเตอรี่ 12 V อย่างไรก็ตามถ้าแบตเตอรี่ดิสชาร์จลึก (Deep-Discharge) เป็นเวลานานเราต้องรีบประจุให้เร็วที่สุดเพราะจะทำให้อายุการใช้งานของมันสั้นลง การประจุแบตเตอรี่โดยการเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นกว่าระดับของแรงดันที่มีอยู่ ดังนั้น แรงดันที่ชาร์จจะมีระดับระหว่าง 2.0 - 2.4 V ต่อเซลล์ หรือ 12 - 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ 12 V จะเพิ่มขึ้นเมื่อชาร์จแบตเตอรี่ ด้วยระดับ 2.3 - 2.4 V การประจุทั้งหมดนี้จะทำให้เกิดแก๊สที่เรียกว่า “Gassing” โดยที่น้ำมีการแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน แก๊สทั้งสองนี้รวมกันภายในแบตเตอรี่แล้วแตกตัวออกจากกันและจะระบายออกไปตามช่อง Plug นอกจากนี้จะสูญเสีย Gassing แล้วยังต้องเสียน้ำอีกด้วย และจะต้องได้รับการเติมเข้าไปใหม่เพื่อที่จะรักษาระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือกรดซัลฟิวริกให้คงที่ ดังนั้นในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่จะทำให้เกิดสิ่งที่ไม่จำเป็นขึ้น การประจุทั้งหมดในปัจจุบันนี้ผลรับที่ได้คือการสูญเสีย H_2

และ O_2 ไปด้วยเหตุผลนี้เอง Gassing สามารถป้องกันได้โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดต่ออนุกรมเข้ากับตัวต้านทาน R_G ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรเปรียบเทียบ Quasi-Static กับวงจรการเกิด Gassing

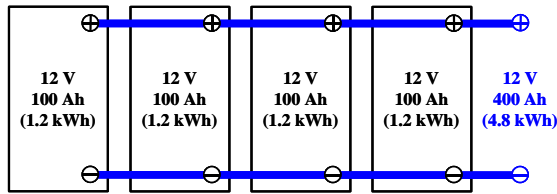
การต่อซีเนอร์ไดโอดเพื่อเป็นการป้องกันการไหลย้อนกลับของแรงดัน ดังนั้นจะไม่มีกระแสไหลจนกว่าจะมีการชาร์จให้แรงดันเพิ่มขึ้นจนเกินแรงดันเก็บรักษามันซึ่งคือแรงดัน Gassing นั้นเอง รูปแบบนี้สามารถเพิ่มเติมได้เฉพาะแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเท่านั้น เพราะ Gassing จะเข้าไปทำลายแบตเตอรี่แบบ Gel (แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประเภท Sealed) การปล่อยแก๊สออกมาจำนวนมากจะทำให้เกิดความเสียหายแก่แบตเตอรี่ ดังนั้นในคู่มือบริษัทผู้ผลิตจะระบุเกี่ยวกับระดับแรงดันสูงสุดที่สามารถประจุได้ที่เตือนไม่ให้ประจุมากจนเกินไป [16]

2.8.4 การนำไปใช้งานของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด คือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย และสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่เหมาะสมได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open Cell หรือ Unsealed หรือ Flooded Cell Battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance Free หรือ Sealed Battery) [15] แบตเตอรี่มีการต่อยังงานดังนี้

1) การต่อแบบขนาน

แบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน เมื่อขั้วบวกทั้งหมดต่อร่วมกันและขั้วลบทั้งหมดต่อกัน แรงดันไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะเท่ากัน ดังรูปที่ 2.24

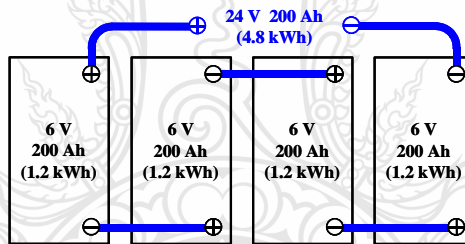


รูปที่ 2.24 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

การต่อแบบขนานแบตเตอรี่ควรมีอัตราแรงดันเท่ากัน เพราะแบตเตอรี่ที่อัตราแรงดันสูงกว่าจะจ่ายกระแสให้กับตัวที่อัตราต่ำกว่าจะทำให้เกิดความเสียหายได้

2) การต่อแบบอนุกรม

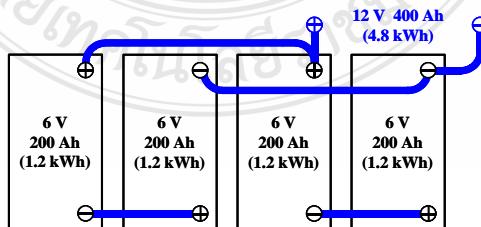
เมื่อแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันโดยขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของตัวถัดไป ในการต่อแบบอนุกรมความจุที่ได้จะเท่ากับแบตเตอรี่แบบเดี่ยว แรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับผลรวมแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัว ดังรูปที่ 25 ในการต่อแบบอนุกรมแบตเตอรี่ที่จะนำมาต่อควรมีความจุเท่ากัน เพราะถ้าแบตเตอรี่ที่ความจุน้อยจะเกิด Deep Discharge ได้ง่ายกว่าแบตเตอรี่ที่ความจุสูงกว่า



รูปที่ 2.25 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

3) การต่อแบบผสม

จะนำทั้ง 2 เทคนิคมาใช้ร่วมกันทำให้แรงดันและความจุเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.26 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน [9]

4) ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการประจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ $12V \times 100Ah$ หรือ $12V \times 100A \times 3600s$ จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้นการจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน อัตราการจ่ายประจุสูงสุด อัตราการประจุสูงสุด และอุณหภูมิที่ต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน (อุณหภูมิที่ได้ผลดีที่สุดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ $77^\circ F$ หรือประมาณ $60-80^\circ F$)

5) การติดตั้งแบตเตอรี่ใหม่

แบตเตอรี่ใหม่ก่อนที่จะนำไปใช้จะต้องมีน้ำกรดอยู่เต็ม ให้ทำการต่อแบตเตอรี่แล้วปล่อยให้ประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างน้อย 2 วัน ที่มีแสงอาทิตย์ ถ้าในแบตเตอรี่ใหม่ไม่มีอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ต่างๆ ให้เติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ลงไปและแบตเตอรี่ที่เติมใหม่นี้ควรนำไปต่อใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทันที แล้วปล่อยให้ทำการประจุไฟฟ้าอย่างน้อย 2 วันที่มีแสงอาทิตย์ก่อนนำไปใช้งานและห้ามต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ เข้ากับแบตเตอรี่ขณะทำการประจุ

6) ความปลอดภัยเกี่ยวกับแบตเตอรี่

ก. ถ้ามีชิ้นโลหะวางพาดข้ามของแบตเตอรี่ที่กำลังทำการประจุ จะทำให้เกิดประกายไฟและเกิดไฟไหม้ได้

ข. น้ำกรดในแบตเตอรี่สามารถเป็นอันตรายต่อเสื้อผ้าหรือผิวหนังได้ แต่จะไม่ใช่เป็นอันตรายมากนักถ้าล้างออกโดยทันที

ค. น้ำกรดที่เข้าตา สามารถทำให้ตาอักเสบและบอดได้

ง. เมื่อทำการต่อแบตเตอรี่แล้วอาจเกิดก๊าซ ถ้ามีเปลวไฟใกล้ๆ กับแบตเตอรี่จะเกิดระเบิดขึ้นได้ ดังนั้น ห้ามสูบบุหรี่ จุดไม้ขีดไฟหรือใช้ตะเกียงใกล้ๆ กับแบตเตอรี่โดยเฉพาะขณะที่ทำการตรวจสอบหรือเติมเซลล์ในแบตเตอรี่ [10]

2.9 อินเวอร์เตอร์ (Inverters)

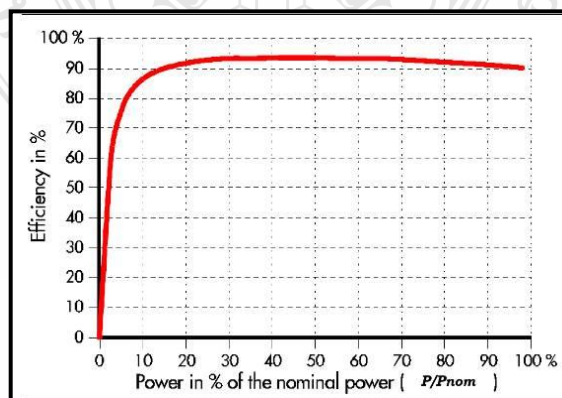
อินเวอร์เตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้มีขนาดรูปคลื่นและความถี่ที่ต้องการได้ [17] อุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แปลงพลังงานไฟฟ้า เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC Inverter) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC-DC Inverter) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-Directional Inverter) ปกติจะเป็นแบบ 1 เฟสสำหรับระบบกำลังงานเล็ก และอาจได้รับการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ 3 เฟส ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

การใช้งานสำหรับระบบแบบเดี่ยวๆ รูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์มีความสำคัญมาก ค่าความคลาดเคลื่อนจากรูปคลื่นแรงดันในอุดมคติต้องเป็นแบบปกติสำหรับจ่ายกำลังงานคุณภาพสูง รูปคลื่นแรงดันที่ยอมรับได้ต้องไม่ผิดเพี้ยนเกิน 5% จึงจะสามารถยอมรับได้ ลำดับรองลงมาที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบแบบเดี่ยวๆ ตัวอย่าง เช่น การตอบสนองต่อระบบไฟฟ้าของโหลด เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า การออกแบบอินเวอร์เตอร์ด้วยมือ จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดความสามารถและประเภทของโหลด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์มี หน่วยเป็นกิโลโวลต์แอมป์ (kVA) แทนหน่วยกิโลวัตต์ (kW) โดยที่พลังงานจะถูกเก็บไว้ส่วนหนึ่งอีกส่วนหนึ่งจ่ายไปยังโหลด พลังงานที่เก็บไว้จะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยปกติค่ากำลังไฟฟ้าระดับต่ำจนถึงระดับดีจะอยู่ที่ (80-90%) ขึ้นอยู่กับประเภทของอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.28

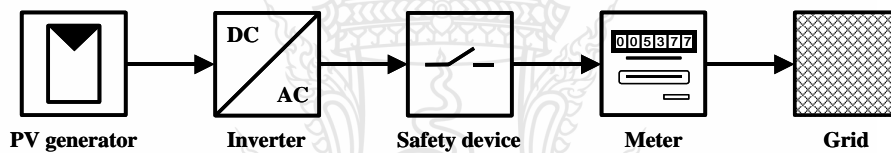


รูปที่ 2.28 ตัวอย่างของคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

วิธีลดปัญหาประสิทธิภาพที่ต่ำลงคือการเพิ่มระดับการทำงานทางด้านเอาต์พุต การปรับปรุงอย่างหนึ่งที่ควรตระหนักคือ อินเวอร์เตอร์บางตัวประกอบด้วยจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking; MPPT) และ MPPT นี้ใช้เพื่อเพิ่มกำลังเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีกำลังสูงสุดในทันทีทันใด และ MPPT ยังสามารถช่วยให้ระบบพลังงานทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [16] ดังนั้นผู้ใช้จึงมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับแรงดันไฟตรง DC ที่จะประยุกต์ไปใช้กับระบบของ PV ได้

2.9.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ PV Invertors

เนื่องจากราคาผลผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) มีราคาสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ในรูปที่ 2.31 จะแสดงโครงสร้างทั่วไปของการเชื่อมต่อบนระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แผงกำเนิดไฟฟ้า (PV Generator) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) อุปกรณ์ป้องกัน (Safety Devices) และมิเตอร์ไฟฟ้า (Meter)

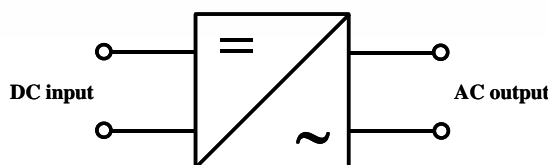


รูปที่ 2.29 โครงสร้างทั่วไปของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

พลังงานของแผงกำเนิดไฟฟ้า (PV Generator) ที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid) จะเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์โดยไม่คิดค่าสูญเสียในอุปกรณ์ป้องกันและในมิเตอร์ อย่างไรก็ตาม ในการเชื่อมต่อบนระบบเซลล์แสงอาทิตย์นี้ยังเกิดค่าสูญเสียอยู่ระหว่าง 1-2 %

2.9.2 องค์ประกอบของอินเวอร์เตอร์ (Invertors Principles)

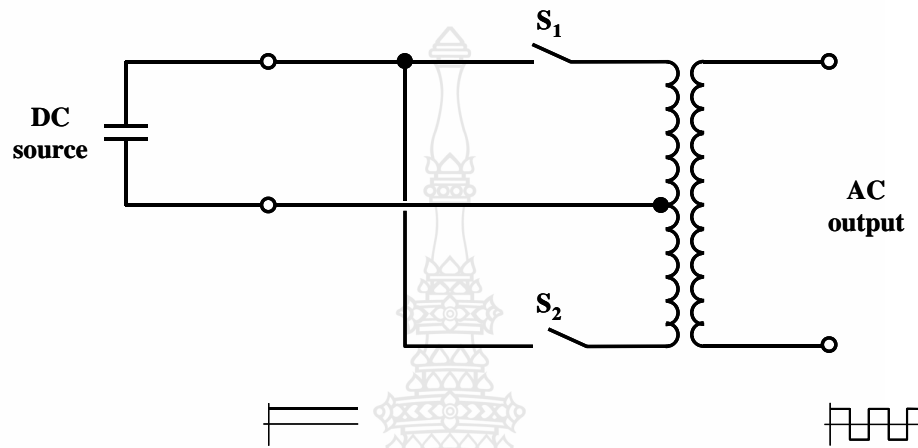
ลักษณะของอินเวอร์เตอร์ได้ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 2.32 ซึ่งเป็นลักษณะของการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) รูปคลื่นที่ได้จะเป็นสัญญาณไซน์ และสามารถแบ่งอินเวอร์เตอร์ออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.30 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์

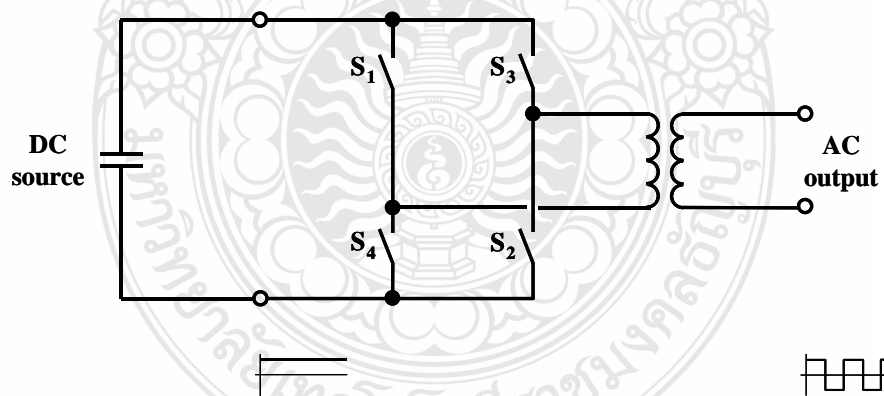
1) อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave Invertors)

ตัวอย่างของอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.31 ไฟฟ้ากระแสสลับจะอยู่ทางด้านขดลวดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงซึ่งถูกควบคุมโดย S1 และ S2 ถ้าปิด S1 และ S2 เปิด แรงดันทางด้านเอาต์พุตจะเป็นแบบ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ซึ่งโหลดควรจะเป็นพวกหลอดไฟ



รูปที่ 2.31 วงจรของอินเวอร์เตอร์กระแสสลับเอาต์พุตแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

แต่ถ้าเป็นแบบทางด้านปฐมภูมิ (Primary) มี 2 ขดลวด จะสามารถลดลงเหลือ 1 ได้ ถ้ามีสวิตช์มากกว่า 2 ตัว ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 อินเวอร์เตอร์แบบ H-Type Bridge

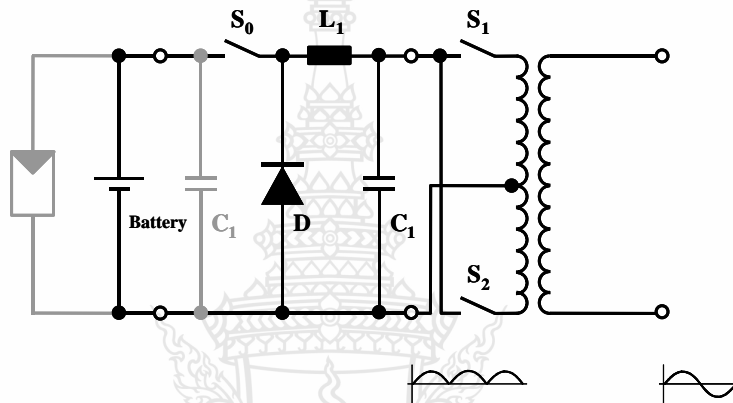
ในค่าที่ตั้งไว้ สวิตช์ S1, S2 และ S3, S4 จะถูกเปิดและปิดไว้ตามลำดับ ที่เอาต์พุตของ H-type bridge จะกลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หม้อแปลงจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า

2) อินเวอร์เตอร์แบบสัญญาณไซน์ (Sine Wave Inverters)

เนื่องจากผู้ใช้งานจำนวนมาก เลือกที่จะใช้แรงดันแบบสัญญาณไซน์ (Sine-Wave) อินเวอร์เตอร์ควรเลือกที่มีคุณภาพสูงให้เหมาะสมกับไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก แรงดันจะอยู่ในรูปของผลต่างแรงดัน ซึ่งวงจรส่วนมากจะมีลักษณะเป็นดังนี้

ก. Inverters With Step-Down Converters

แนวคิดพื้นฐาน คือ สร้างแรงดันเป็นรูปไซน์ (Sine-Shaped) ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยการแปลงผันไฟลง (Step-Down Converter) ดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 วงจรรวมของ Step-Down Converter กับ Invertors จากรูปที่ 2.31, 2.32

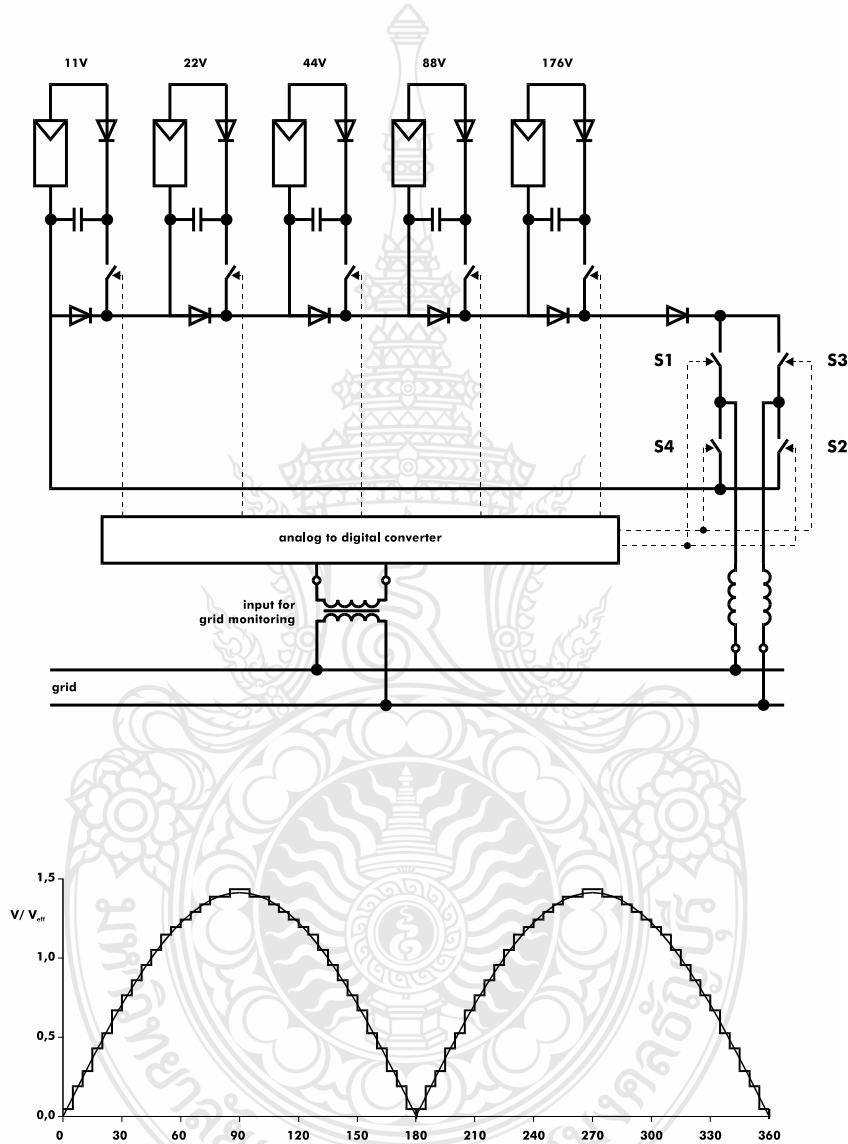
เนื่องจากแรงดันและกระแสที่ดึงไว้ทางด้านเอาต์พุตของการแปลงผันไฟลง (Step-Down Converter) ไม่ใช่ค่าที่คงที่ ซึ่งจะทำให้กระแสทางด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์จะไม่คงที่ การใช้แผงกำเนิดไฟฟ้า (PV Generator) ในกรณีนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เพื่อเก็บประจุ C1

คุณภาพของรูปแบบแรงดันโดยปกติ คือ ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Distortion; THD) THD จะกำหนดความกว้างรวมของความถี่ฮาร์โมนิกส์เปรียบเทียบกับความกว้างของสัญญาณเบื้องต้น (ความถี่ 50 Hz และ 60 Hz) ในกรณีนี้ THD กำหนดโดยความถี่ที่เปลี่ยนแปลงของ S0 และตัวเหนี่ยวนำของ L1 กับสวิตช์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ความถี่นี้จะสามารถอยู่ในช่วง 100 kHz ที่พอจะเก็บ L1 ไว้ได้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงระหว่างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) V1 ที่เอาต์พุตของการแปลงผันไฟลง (Step-Down Converter) คือ

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{t_{on}}{T} \quad (2.21)$$

ที่ t_{on} คือเวลาที่สวิตช์ทำงาน ดังนั้นในขณะที่ T เชื่อมต่อกันกับเวลาของสวิตช์ตัวหนึ่ง องค์ประกอบภายในของแรงดันเอาต์พุต คือ ผลของช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงของสวิตช์ ซึ่งเรียกว่า พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse-Width Modulation; PWM) สวิตช์ S1 และ S2 ในรูปที่ 2.34 จะต้องสับเปลี่ยนกันทุกๆ ครึ่งคลื่นจากการสั่งจากไฟฟ้ากระแสสลับด้านเอาต์พุต (AC Output)

ข. Inverters With Digital Voltage Synthesis



รูปที่ 2.34 Digital Waveform Synthesis Inverter

จากรูปที่ 2.34 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ได้ถูกติดต่อผ่านทางสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ดังนั้นความต้องการแรงดันไฟฟ้าได้ถูกป้อนเข้าวงจรแต่ละตัวโดยการใส่เลขฐาน

2 (Binary) ของแหล่งจ่ายกำลังเมื่อใช้ 5 แหล่งจ่าย 32 โวลต์ ได้มาจาก 2^5 และสามารถปรับระดับได้ ค่า THD สามารถมีค่าน้อยกว่า 5%

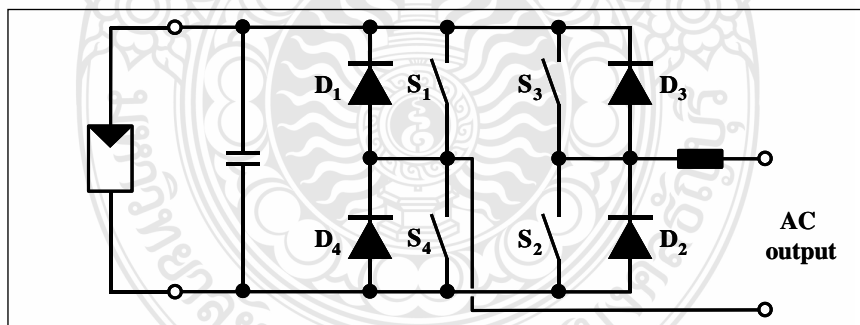
ในแนวคิดสวิตช์ S1 ถึง S4 ต้องสลับกันทุกครั้งคลื่นไซน์ (Sine-Half Wave) ถ้าการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าผลรวมต่ำสุดสูงพอๆ กับจุดสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าของความต้องการอยู่ที่ไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก (AC Output) เช่น

$$\sum_{i=1}^n V_i = \sqrt{2} \cdot V_{AC} = 358 \text{ Volts for } 230 \text{ V AC} \quad (2.22)$$

หม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีความจำเป็น ความมีประสิทธิภาพได้ถูกพัฒนาได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอยู่ในสภาพที่มีโหลด หลักการนี้ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเพราะว่าไม่มีขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้าหรือแม่เหล็กอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยต้องการ อย่างไรก็ตามข้อเสียเปรียบข้อหนึ่งสามารถเห็นได้ในผลรวมของแหล่งจ่ายแรงดัน ในการเพิ่มขึ้นของ Cabling จำเป็นระหว่างแผงกำเนิดไฟฟ้า (PV Generator) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ก. Inverters With Pulse-Width Modulation

อย่างไรก็ตามสวิตช์ทั้งสี่ แบบ H-Type Bridge สามารถใช้ในความต้องการสัญญาณไซน์ (Sine-Shape) ของไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก (AC Output) เพื่อให้ได้รูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของพัลส์ ในกรณีนี้ตัวเหนี่ยวนำได้แทรกกระหว่างตัวเชื่อมและไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก (AC Output) ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 Pulse-Width Modulated H-Type Bridge Inverter

เงื่อนไขสำคัญของอินเวอร์เตอร์แบบ Pulse-Width Modulated H-Type Bridge คือการทำงานของสวิตช์ S₁ และ S₄ หรือ S₂ และ S₃ ต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ของ S₁ และ S₄ หรือ S₂ และ S₃ จะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาที่ยาวขึ้นที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งเรียกว่า เดดไทม์

(Deadtime) โดยเดดไทม์ (Deadtime) จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการณีสวิตช์ จากการนำกระแสเป็นไม่นำกระแสหรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส

2.9.3 คุณภาพกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์

1) ระบบ Stand-Alone

สำหรับระบบ Stand-Alone รูปแบบของรูปคลื่นที่ออกมาจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำไปประยุกต์ใช้ จากหลักการการทำงานที่แสดงในรูปที่ 33 และ 34 ซึ่งแรงดันที่ได้ออกมาอาจจะนำไปใช้ในโหลดประเภท Resistive-Type เช่น หลอดไฟประเภทเปลวกลมหรือประเภทที่คล้ายกัน แต่เป็นเรื่องยากที่จะนำไปขับโหลดประเภทมอเตอร์ถ้านำไปขับจะทำให้เกิดความเสียหายกับมอเตอร์ได้ สำหรับในการที่จะขับโหลดมอเตอร์สามารถทำได้แต่ค่าใช้จ่ายจะสูงมากและคุณภาพที่ได้จะต่ำ

2) Grid-Connected Inverters

เมื่อแรงดันที่ออกมาจาก Grid-Connected Inverters ที่เชื่อมต่อกับ Grid Voltage คุณภาพของกระแสที่จ่ายให้กับ grid คือสิ่งสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor=1) ทำให้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบอินเวอร์เตอร์ Transistor-Based Inverters ทั้งหมดภายในอินเวอร์เตอร์จะมีตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ใกล้เคียงกับ 1 ที่โหลดปกติ ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 ตัวประกอบกำลังของ Grid-Connected Inverters

ในการวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าจะต้องวัดค่า Total harmonic Distortion ในกระแสด้วย สำหรับ Grid-Connected Inverters ที่มีคุณภาพสูงจะต้องมี Total Harmonic Distortion น้อยกว่า 5%

2.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลประกอบด้วยส่วนการทำงานสองส่วนหลัก คือ

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีลักษณะภายนอกคล้ายกับมอเตอร์ทั่วไปแตกต่างกันที่มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ในขณะที่เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานโดยใช้โรเตอร์ (Rotor) หรือเพลลาที่อยู่กลางหมุนโดยไม่จำเป็นต้องเป็นการหลุดจากเครื่องยนต์เสมอไป การหลุดโรเตอร์ให้หมุนอาจกระทำได้โดยการตัดใบพัดเข้าแทนที่แกนแล้วใช้พลังงานลมเป็นตัวหมุน หรือการตอกกันไอน้ำแล้วใช้ไอน้ำเดือดที่มีความเร็วสูงไปหมุนกังหัน นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานจากน้ำในเขื่อนหมุนใบพัด ขนาดของเครื่องกำเนิดฯ โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้า (Capacity) เป็นสำคัญ ยิ่งเครื่องกำเนิดฯ มีกำลังการผลิตมากเท่าไร จะมีขนาดใหญ่มากขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ขนาดของเครื่องกำเนิดฯ ที่มีขนาดใหญ่ยังต้องการแรงทางกลเป็นจำนวนมากเพื่อทำการหมุนโรเตอร์ เนื่องมาจากแรงต้านทานจากขนาดความฝืด และแรงต้านทางไฟฟ้าจึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่มีราคาสูง และไม่เป็นที่นิยมใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อใช้เอง

2) เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อน ในส่วนนี้จะเป็ยเครื่องยัต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนลักษณะการทำงานจะเหมือนเครื่องยัต์ในรถยนต์ทั่วไปคือ เมื่อเครื่องยัต์ทำงานจะเกิดการเคลื่อนที่ของลูกสูบและทำให้เพลลาหมุน โดยเพลลาดังกล่าวจะต่อเข้ากับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ขนาดของเครื่องยัต์ในการขับเคลื่อนขึ้นกับกำลังในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหากเครื่องยัต์ฯ มีขนาดใหญ่จะมีเครื่องยัต์ใหญ่ขึ้นตามขนาด โดยทั่วไปเครื่องยัต์ขนาดใหญ่จะต้องใช้เทคโนโลยีสูงและต้นทุนสูงเพื่อการผลิตทำให้ราคาจำหน่ายในท้องตลาดสูงตามไปด้วย ดังนั้นเครื่องยัต์ฯ ที่มีขนาดใหญ่จึงเลียงไปใช้แหล่งพลังงานอื่นแทน

2.10.1 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

1) เครื่องยัต์ในการขับเคลื่อนและอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบอัตโนมัติ มีหน้าที่ในการหลุดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน แต่เนื่องจากกำลังที่ใช้ในการหมุนเครื่องยัต์ฯ ขึ้นอยู่กับโหลดของเครื่องในขณะนั้น กล่าวคือ หากโหลดมีค่ามาก (มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง) จะทำให้ต้องใช้แรงหลุดสูง ซึ่งจะทำให้รอบเครื่องยัต์ต่ำ (ผลของความเร็วยรอบที่ลดลงจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าไม่มีเสถียรภาพ) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบอัตโนมัติ จะทำหน้าที่ควบคุมรอบให้คงที่ไว้ เพื่อให้เกิดเสถียรภาพต่อระบบ

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) มีลักษณะเหมือนกับมอเตอร์ทั่วไปแตกต่างกันในหน้าที่การทำงานเพราะมอเตอร์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในขณะที่เครื่องยัต์ฯ

จะเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าทำให้ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเองต้องการพลังงานกลจากแหล่งต่าง ๆ มาใช้ในการขับเคลื่อนเพื่อกำเนิดกระแสไฟฟ้า

3) แผนควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ ใช้ตรวจสอบและติดตามสภาพการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์เช่น ความเร็วรอบ ระดับน้ำมันเครื่อง ฯลฯ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการตรวจสอบ และบำรุงรักษาเครื่อง

4) ท่อไอเสียและท่อไอเสีย เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง เนื่องจากท่อไอเสียเป็นทางเข้าของอากาศที่ผสมกับน้ำมันและระบายความร้อนของเครื่อง และท่อไอเสียเป็นทางระบายก๊าซเสียต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

5) ถังเชื้อเพลิง ทำหน้าที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเดินเครื่องกำเนิดฯ ขนาดความจุของถังขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือจำนวนชั่วโมงที่คาดว่าจะมีการใช้งานเป็นสำคัญ หากความจุของถังน้อยอาจจะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงหมดก่อนถึงเวลาได้ แต่หากถังมีขนาดใหญ่จะทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ค่าใช้จ่ายมากขึ้น จึงต้องพิจารณาขนาดความต้องการใช้งาน

6) แผนควบคุมไฟฟ้า เป็นแผนควบคุมไฟฟ้าที่มีหน้าที่ ป้องกันความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นกับระบบเครื่องกำเนิดฯ เช่น การลัดวงจร หรือแรงดันไฟฟ้าตก นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็น สวิตช์เปิดปิดวงจรเครื่องกำเนิดด้วย แต่ทั้งนี้แผนควบคุมไฟฟ้าไม่สามารถจะใช้ทำการสับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงและเครื่องกำเนิดฯ ได้ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการควบคุมการสับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วย

7) แผนควบคุมการสับเปลี่ยนระบบไฟฟ้า ใช้ในโรงงานที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดฯ เพื่อเป็นไฟฟ้าสำรองเมื่อไฟฟ้าที่จ่ายโดยการไฟฟ้าดับ แผนควบคุมนี้จะทำการตัดวงจรที่รับมาจากการไฟฟ้าออกและต่อวงจรของเครื่องกำเนิดฯ เข้าไปแทนที่โดยอัตโนมัติ [18]

2.10.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต

ดีเซลเจนเนอเรเตอร์เป็นระบบรวมที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่นิยมมากในระบบขนาดเล็กและเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนาการเพิ่มขึ้นของพลังงานรูปแบบใหม่นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้ดีเซลเจนเนอเรเตอร์เป็นระบบพลังงานร่วม สามารถพิจารณาได้จาก

1) ระบบที่มีการแทรกซึมของพลังงานหมุนเวียนสูง ในกรณีนี้ดีเซลเจนเนอเรเตอร์ถูกใช้เป็นพลังงานสำรอง และไม่จำเป็นที่จะต้องทำงานทุกวัน

2) ระบบที่มีการแทรกซึมพลังงานหมุนเวียนต่ำ ชุดเจนเนอเรเตอร์จะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักและจะเดินเครื่องหลายชั่วโมงทุกวัน การกินเชื้อเพลิง และ การบำรุงรักษา ควรจะเหมาะสมในการลดต้นทุน

3) ระบบที่มีการแทรกซึมพลังงานหมุนเวียนระดับกลาง ดีเซลเจนเนอเรเตอร์จะทำงานบางช่วงเวลา

แม้ว่าระบบที่มีการแทรกซึมของพลังงานหมุนเวียนสูง เครื่องกำเนิดเชื้อเพลิงจะเป็นที่
ต้องการในการเพิ่มกำลังไฟฟ้าแบบชั่วคราวของระบบทั้งหมด เพื่อที่จะทำงานเป็นบางครั้งในโหลด
ขนาดใหญ่ ในกรณีนี้การทำงานแบบขนานของชุดเจนเนอเรเตอร์กับแบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์จะเป็นที่
ต้องการเพื่อที่จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ทั้งหมด

การพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องพิจารณาถึงมาตรฐาน ซึ่งมาตรฐาน ISO 8528 ได้
จำแนกชุดเครื่องกำเนิดพลังงานดีเซลไว้ 3 ระดับ ดังนี้

ก. ระดับที่ 1 ชุดเครื่องกำเนิดสำหรับโหลดที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ซึ่ง
แรงดันและความถี่คงที่ (ใช้สำหรับระบบแสงสว่างและการขับเคลื่อนแบบพื้นฐาน)

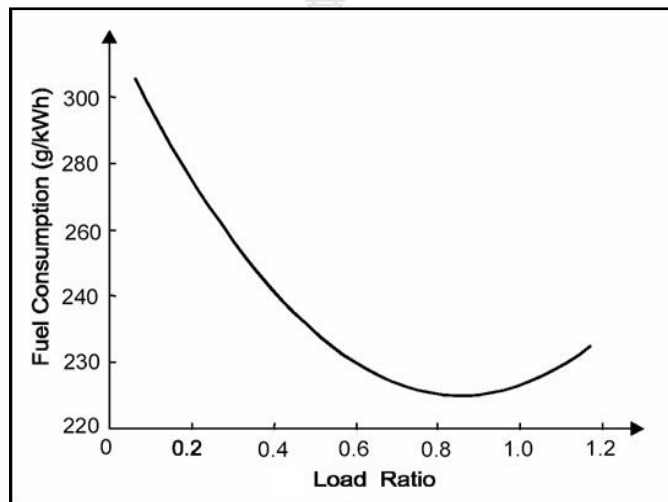
ข. ระดับที่ 2 ชุดเครื่องกำเนิดสำหรับโหลดที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าคงที่ ถึงแม้จะมีค่า
ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงแต่ยังอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้เพราะจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะเมื่อมี
การเปลี่ยนแปลงโหลด (เหมาะสำหรับระบบแสงสว่าง ปั๊มน้ำ พัดลม
และระบบลิฟต์)

ค. ระดับที่ 3 ชุดเครื่องกำเนิดสำหรับโหลดที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งแรงดัน
และความถี่คงที่ (ใช้สำหรับอุปกรณ์สื่อสารและในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวสูง)

พลังงานหมุนเวียนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (ระบบไฮบริดจ์ขนาดเล็กกว่า 10 kW)
โดยปกติมีเงื่อนไขอยู่หลายๆ แบบของการเลือกใช้ชุดเจนนั่นหาได้ภายในท้องตลาดทั่วไป แต่จะมี
ความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดพลังงาน หลักการแบ่งคุณสมบัติชุดเจนนี คือ

- คุณภาพของตะกั่วโดยปกติจะเหมือนกับเครื่องกำเนิดระดับที่ 1
- ชุดเครื่องกำเนิดไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้งานติดต่อกัน
- ทางเลือกที่หลากหลายของน้ำมัน เช่น LPG diesel และ Gasoline เป็นต้น
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นแบบกระตุ้นตัวเอง หรือ
แบบกระตุ้นภายนอก
- ควบคุมความเร็วได้ทั้งทางกลและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเครื่องควบคุมความเร็วทาง
กลจะลดความเร็วพร้อมกับเพิ่มกำลังทางเอาต์พุต ส่วนเครื่องควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์จะ
ควบคุมความเร็วให้คงที่หรือเปลี่ยนแปลงได้
- ความถี่ของการใช้แปลงไฟ ชุดเจนนีจะมีอินเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังเอาต์พุตออกมา
ของเครื่องกลไฟฟ้า
- ความเร็วรอบ: ความเร็วที่ 1 (50 Hz) ความเร็วที่ 2 (ไม่ต่ำกว่าและ 50 Hz) หรือ
ความเร็วที่ปรับค่าได้
- การขนานชุดเครื่องกำเนิด ใช้ได้กับอินเวอร์เตอร์เท่านั้น
- การขนานแบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์ แผ่นตะกั่วจะมีคุณภาพขึ้นอยู่กับชุดเครื่องกำเนิด

ด้านปริมาณของเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิงต่อชั่วโมงเมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่องจะมีราคาสูง โดยทั่วไปปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลจะขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะโครงสร้างของเครื่องยนต์ดีเซล ประสิทธิภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนจาก 20% เป็น 37% ที่ระดับโหลดสูงขึ้นไป ประสิทธิภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจะลดลงอย่างมากเมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 2.37 แสดงการใช้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดดีเซลกับฟังก์ชันของอัตราส่วนโหลด



รูปที่ 2.37 สัดส่วนในการใช้งานของเครื่องกำเนิดดีเซลขนาด 80 kW [23]

2.11 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid System)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid System) เป็นระบบที่ประกอบด้วยแหล่งผลิตพลังงานหลายชนิดทำงานร่วมกัน ซึ่งแหล่งผลิตพลังงานอาจประกอบด้วย เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ฯลฯ เพื่อทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอับความต้องการของผู้ใช้

โดยวัตถุประสงค์หลักของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน คือ การนำเอาประโยชน์สูงสุดของศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนต่างๆมาใช้ ยกตัวอย่างเช่น ในระบบผลิตไฟฟ้าของระบบขึ้นอยู่กับพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ส่วนระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล มีจุดเด่นตรงที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกเวลา แต่มีจุดด้อยตรงที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและต้องการการบำรุงรักษามาก ในขณะที่ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานโซลาร์เซลล์-เครื่องยนต์ดีเซล เป็นระบบที่รวมเอาจุดเด่นของแต่ละระบบเข้าไว้ด้วยกัน กล่าวคือ สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ตามความต้องการถึงแม้ไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเนื่องกันหลายวันและมลพิษทาง

อากาศและความต้องการการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์หรือเครื่องยนต์ดีเซลเพียงอย่างเดียว

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานมีหลายลักษณะการออกแบบระบบที่เหมาะสมผู้ออกแบบจะต้องทำการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบต่างๆ และอุปกรณ์ประกอบระบบที่มีอยู่ในท้องตลาด รวมทั้งศึกษาภาพของพลังงานต่างๆ ในพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบหลังจากนั้นจึงเลือกอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ที่เหมาะสมกับความต้องการ ซึ่งการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ดี จะต้องออกแบบให้มีความสมดุลกันในทุกองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 ลักษณะสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

ลักษณะที่สำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนหลัก คือ เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ เป็นระบบที่ใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่า และเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูง

1) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้อย่างน้อยหนึ่งระบบ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล, ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีน, ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล, ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ฯลฯ ทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งระบบ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์, ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม, ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ ฯลฯ ซึ่งการทำงานร่วมกันของระบบผลิตไฟฟ้าทั้ง 2 ส่วนนี้ ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่สามารถควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเนื่องจากไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนแต่เพียงอย่างเดียว ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจึงเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามต้องการ

2) เป็นระบบที่ใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่า ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เฉพาะแหล่งพลังงานทดแทน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือเรื่องของศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากแหล่งพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้ จึงทำการออกแบบภายใต้สภาวะที่มีศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความต้องการได้แม้อยู่ในสภาวะที่ศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนมีค่าต่ำสุด ส่งผลให้ระบบมีขนาดใหญ่ ในขณะที่การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สามารถใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้ดีกว่าเนื่องจากการออกแบบระบบ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายปีของแหล่งพลังงานทดแทนในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งระบบ ส่งผลให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมีขนาดลดลงและทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมีขนาดลดลงและทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมีค่าลดลงตามไปด้วย

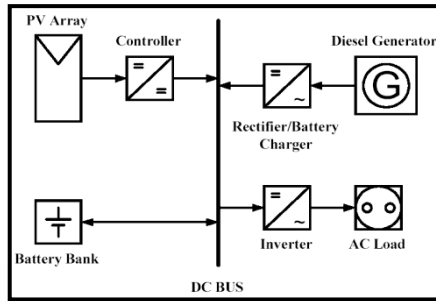
เพราะโดยปกติแล้วระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน จะมีแหล่งพลังงานจากแหล่งอื่นช่วยเสริมการทำงาน ของระบบผลิตพลังงานทดแทนอยู่ตลอดเวลา โดยไม่ทำให้เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบลดลง

3) จากลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานคือ สามารถออกแบบระบบที่สอดคล้องกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้ดี เนื่องจากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานนั้นสามารถเลือกรูปแบบการทำงาน รวมทั้งองค์ประกอบต่างๆ ในระบบได้ค่อนข้างกว้าง ขึ้นอยู่กับแนวคิด วัตถุประสงค์รวมทั้งเป้าหมายของแต่ละโครงการเป็นสำคัญ ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบค่อนข้างสูงระบบหนึ่งเลยที่เดียว ยกตัวอย่างเช่น หมู่บ้านชนบทแห่งหนึ่ง ซึ่งมีความต้องการใช้ไฟฟ้าคงที่ในช่วงเวลากลางวัน แต่จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงค่ำและค่อยๆลดลงในช่วงดึก วิธีการออกแบบที่เหมาะสมคือจะต้องมีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับความต้องการพื้นฐานในช่วงเวลากลางวัน โดยมีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเสริมที่สามารถเปิด-ปิดใช้งานได้ทันที ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงค่ำ และกำหนดให้ระบบย่อยแบบเตอรีทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วงดึกซึ่งเป็นช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อยอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น [19]

2.11.2 ประเภทของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

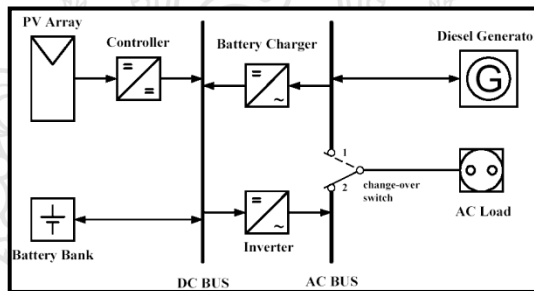
ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในปัจจุบันมีใช้งานกันหลายรูปแบบ แต่สามารถแยกออกตามลักษณะการทำงานร่วมกันของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าย่อยภายในระบบได้ 3 แบบ คือ ระบบไฮบริดจ์แบบอนุกรม, ระบบแบบสลับ และระบบแบบขนาน โดยมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

ระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรม (Series Hybrid System) จากรูปที่ 2.38 การทำงานของระบบอธิบายได้ว่า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะถูกประจุไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า ในระบบนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรงจะต้องจ่ายผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อนจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า ระบบลักษณะนี้ขนาดของแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะต้องเหมาะสมกับขนาดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของภาระทางไฟฟ้าขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลควรมีขนาดมีขนาดเหมาะสมกับขนาดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดและจะต้องสามารถประจุไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาเดียวกัน



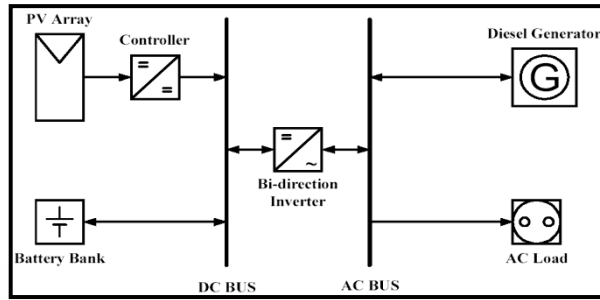
รูปที่ 2.38 ระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรม

ระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือก (Switched Hybrid System) ระบบนี้แบตเตอรี่จะถูกประจุโดยทั้งไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง ในกรณีที่มีไฟฟ้าเหลือใช้จะถูกประจุเข้าแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยระบบจะจ่ายไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะหยุดเดินเครื่อง ซึ่งหากมีไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มากเกินไป ไฟฟ้าที่เหลือใช้จะถูกประจุเข้าแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือกจะสูงกว่าแบบต่ออนุกรม



รูปที่ 2.39 ระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือก

ระบบผสมผสานแบบต่อขนาน (Parallel Hybrid System) ลักษณะการทำงานคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง แผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ต่ออนุกรมเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-Directional Inverter) ซึ่งต่อเข้ากับภาระทางไฟฟ้า ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกประจุให้กับแบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลถูกประจุเข้าแบตเตอรี่โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง ระบบนี้มีข้อดีกว่าระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรมและระบบแบบสวิตช์เลือกคือ มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าทั้งสองระบบแรก และคุณภาพของกระแสไฟฟ้าของระบบที่ดีกว่า การควบคุมระบบทำได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.40 ระบบผสมผสานแบบต่อขนาน [1]

2.11.3 หลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ต้องจัดการให้ระบบสามารถผลิตพลังงานได้ตามความต้องการของภาระทางไฟฟ้า โดยสอดคล้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น โดยจะต้องคำนึงถึงราคา ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ ประกอบด้วย

เนื่องจากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน มีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้งานระบบค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงมีแนวทางการออกแบบระบบหลายแนวทาง ซึ่งไม่ใช่ประเด็นสำคัญในการออกแบบ แต่สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ต้องออกแบบให้ได้ระบบที่ทำงานตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแต่ละประเภท [20]

ประเภท	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ระบบผลิตไฟฟ้าแบบต่ออนุกรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่มีช่วงเวลาขาดพลังงาน 2. อินเวอร์เตอร์ราคาถูก 3. ไม่มีชุดควบคุมที่ซับซ้อน 4. เครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดเล็ก 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประสิทธิภาพรวมของระบบต่ำ 2. อินเวอร์เตอร์และระบบแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่
2. ระบบผลิตไฟฟ้าแบบสวิตช์เลือก	<ol style="list-style-type: none"> 1. อินเวอร์เตอร์ราคาถูก 2. ไม่มีชุดควบคุมที่ซับซ้อน 3. เครื่องยนต์ดีเซลจ่ายพลังงานให้ภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีช่วงเวลาขาดพลังงาน 2. เครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดใหญ่
3. ระบบผลิตไฟฟ้าแบบต่อขนาน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประสิทธิภาพรวมของระบบสูง 2. ส่วนประกอบของระบบมีขนาดเล็ก 3. ไม่มีช่วงเวลาขาดพลังงาน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. อินเวอร์เตอร์มีราคาแพง 2. จำเป็นต้องมีชุดควบคุมที่ซับซ้อน

2.12 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องของระบบจำลองของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่ที่สำรวจพบว่าการใช้พลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกำลังเข้าสู่สภาวะที่ขาดแคลน เนื่องจากพลังงานจากแหล่งพลังงานฟอสซิลต่างๆ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งนับว่ามีราคาแพงค่อยๆ แพงขึ้น และปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว การผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ เช่น พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นคำตอบที่จะช่วยแก้สถานการณ์ในปัจจุบันได้ดีวิธีหนึ่ง แต่พลังงานเหล่านี้ไม่ได้มีอยู่ตลอดเวลา และไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการนำแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น ระบบผสมผสานประกอบด้วยแหล่งจ่ายหลายแหล่งทำงานร่วมกันเช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในปัจจุบันมีใช้งานกันหลายรูปแบบ แต่สามารถแยกออกตามลักษณะการทำงานร่วมกันของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าย่อยภายในระบบได้ 3 แบบ คือ ระบบผสมผสานแบบต่อเนื่อง ระบบแบบสวิตช์เลือก และระบบแบบต่อขนาน ซึ่งแต่ละระบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปดังเสนอในรายละเอียดข้างต้น โดยทำจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่ที่สำรวจเข้าสู่การทดสอบในห้องทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้การวัดและบันทึกผลที่มีประสิทธิภาพต่อไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์เป็นการดำเนินงานเกี่ยวกับการออกแบบและขั้นตอนการสร้างในส่วนต่างๆของกระบวนการทดสอบระบบจำลองของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลและแบตเตอรี่สำรอง โดยจะใช้การวัดกระแสและแรงดันในแต่ละตำแหน่งของระบบเป็นการเก็บข้อมูลตามช่วงเวลา เพื่อที่จะแสดงผลออกมาเป็นกราฟและตารางแล้วนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในการทดสอบจะออนไลน์ระบบและศึกษาสถานะ การทำงานของแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าสองชนิดกับแบตเตอรี่ที่มีการทำงานสอดคล้องกันตามช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

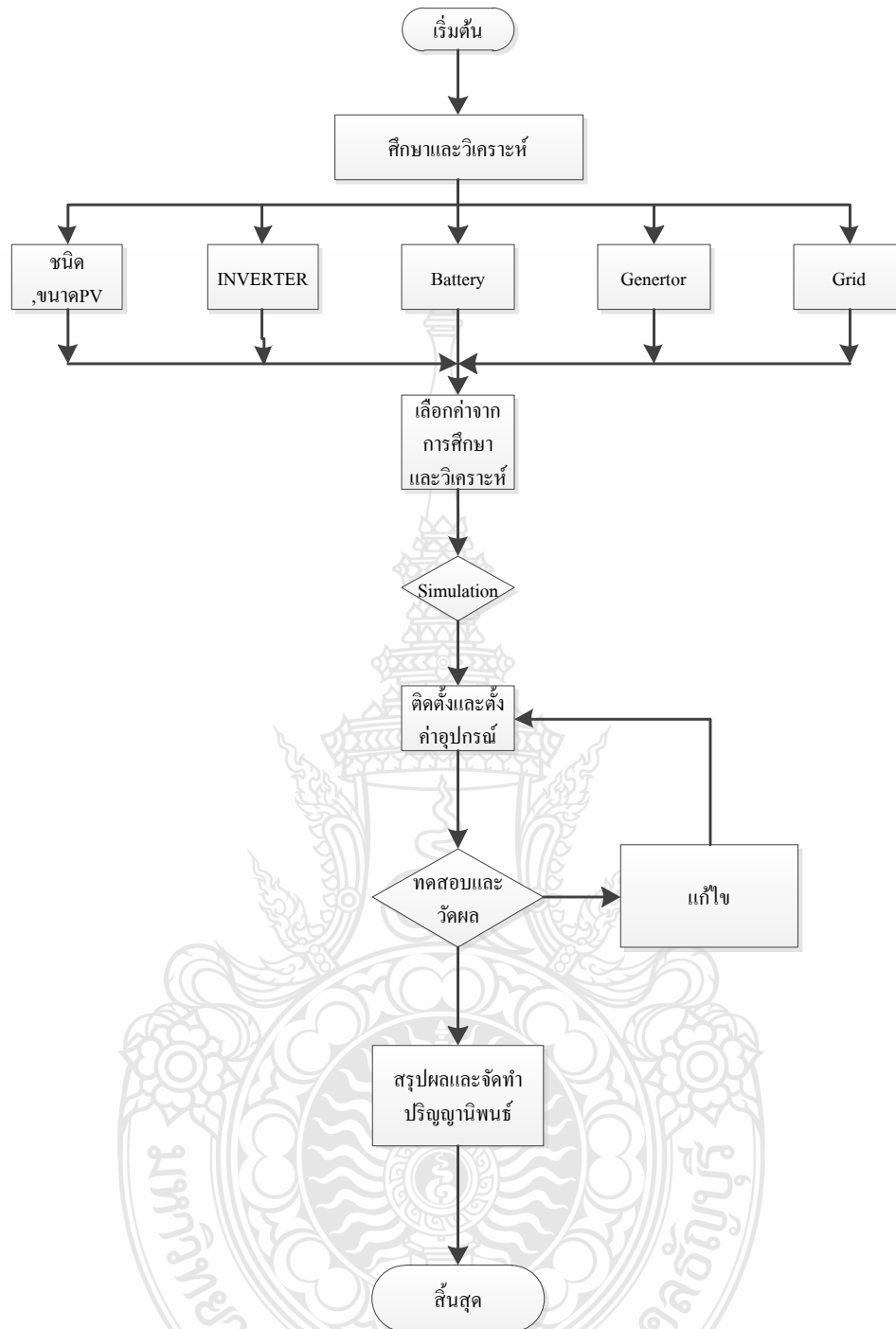
3.1 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบระยะเวลาดำเนินการ

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน(เดือน)											
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
1	ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→											
2	ศึกษา PV Simulator	←→											
3	ติดตั้งชุดจำลองทั้งหมดในระบบ	←→											
4	ทดสอบการทำงานของชุดจำลองการทำงาน	←→											
5	ปรับปรุง / บันทึกผลการทำงานของระบบ	←→											
6	วิเคราะห์ผลและสรุปผล	←→											

←→ แสดงแผนการดำเนินงาน

←- - - - -> แสดงการดำเนินงานจริง



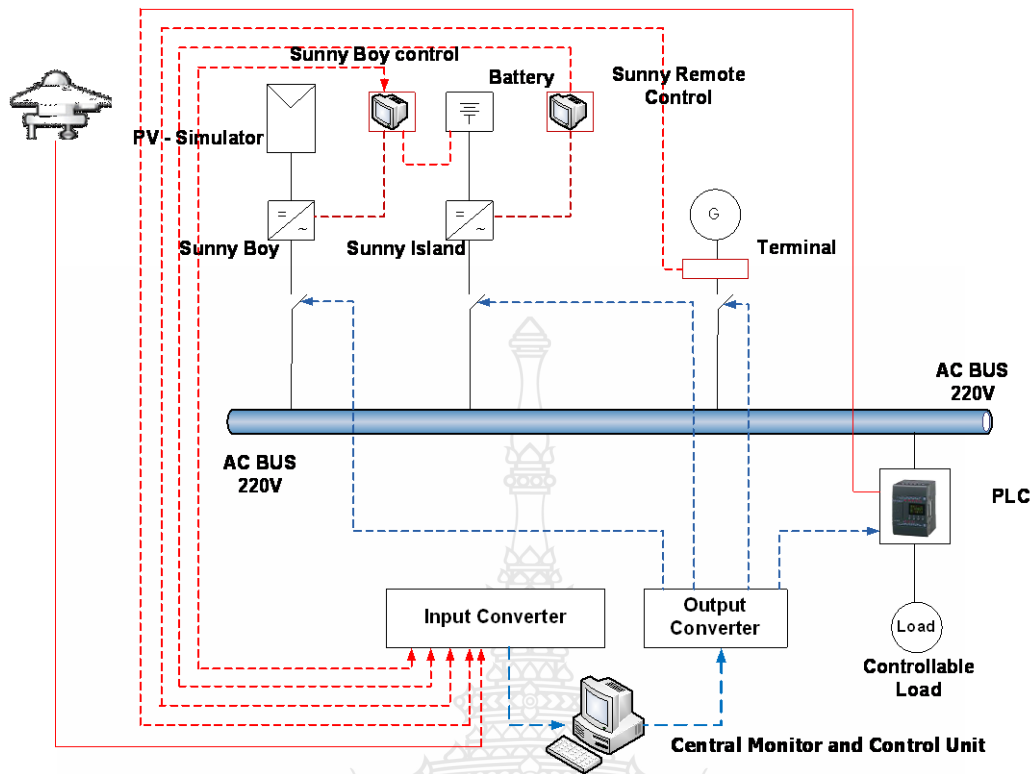
รูปที่ 3.1 ไคอะแกรมการดำเนินงาน

การดำเนินงานของโครงการมีเวลาจัดทำทั้งหมด 22 เดือน โดยมีแผนการดำเนินงาน ของโครงการ ประกอบด้วย ศึกษาและรวบรวมข้อมูล สร้างชุดทดลองเพื่อจำลองโหลดของระบบ ทดสอบการทำงานของชุดทดลอง ปรับปรุง บันทึกผลการทำงานของระบบ วิเคราะห์ สรุปผล และจัดทำรูปเล่มพร้อมเสนอให้คณะกรรมการตรวจสอบ

3.2 การกำหนดลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานไฮบริดจ์ (Hybrid System) คือระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป แหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซล ในกรณีนี้ระบบไฮบริดจ์จะหมายถึงระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตรวมไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ โดยมีแหล่งพลังงานหลักมาจากพลังงานหมุนเวียนอย่างน้อยหนึ่งชนิด ในกรณีนี้หมายถึงแสงอาทิตย์ และมีแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บสะสมพลังงาน ข้อดีของระบบไฮบริดจ์คือ มีค่าดำเนินการระบบที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล/เบนซินต่อกับแบตเตอรี่ ระบบมีความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของระบบสูงขึ้น จากลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าไฮบริดจ์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จัดรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบอธิบายได้ดังนี้

- 1) ในเวลากลางวันเมื่อพลังงานจากแสงอาทิตย์หรือจากลมเพียงพอ เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ก็จะผลิตไฟฟ้าออกมา ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดย Grid Inverter และส่งเข้าสายส่งไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามารถส่งเข้าสายส่งได้ทันที กรณีที่หากมีไฟฟ้าเหลือใช้จากระบบ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดย Battery inverter และประจุไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในเวลากลางคืนหรือในเวลาที่ไม่มีการผลิตไฟฟ้า
- 2) ในเวลากลางคืนระบบไฮบริดจ์จะจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ โดยใช้ไฟฟ้าที่ประจุอยู่ในแบตเตอรี่
- 3) ในกรณีที่ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนและพลังงานในแบตเตอรี่ ไม่เพียงพอต่อความต้องการ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ดีเซลก็จะเดินเครื่องเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ การทำงานทั้งหมดที่กล่าวมานั้นถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 ระบบไฮบริดจ์ที่เสนอสำหรับงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะออกแบบสร้างระบบต้นแบบที่มีหลักการทำงานดังรูปที่ 3.2 โดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดดีเซลมาทำงานร่วมกัน จะพัฒนาระบบวัดบันทึกและควบคุมระบบไฟฟ้าที่สามารถจัดการระบบได้อย่างอัตโนมัติและเก็บบันทึกข้อมูลแบบ Real Time ผู้ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อการทำงานเป็นไปตามความต้องการของโหลดและแหล่งพลังงานที่มีอยู่

จากโครงสร้างการทำงานของระบบไฮบริดจ์ แนวทางการทำวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การสร้างระบบจำลองผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานขึ้นมา และระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานนี้จะมีระบบการจัดการแบบอัตโนมัติที่สามารถจัดการพลังงานแบบผสมผสานแบบ Real Time อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแหล่งพลังงานส่วนใดผลิตพลังงานได้จะนำพลังงานเหล่านั้นมาใช้และเก็บประจุไว้ที่ตัวเก็บไฟฟ้าแบตเตอรี่ และเมื่อพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนไม่มีเพียงพอ ชุดแบตเตอรี่จะเป็นตัวจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดและถ้าแบตเตอรี่ไม่มีไฟฟ้าเพียงพอ และในขณะเดียวกันถ้าแหล่งพลังงานทดแทนไม่มีเพียงพอ เครื่องกำเนิดดีเซลจะต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดโดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ ซึ่งจะปฏิบัติตามระบบควบคุมที่ออกแบบดังนี้

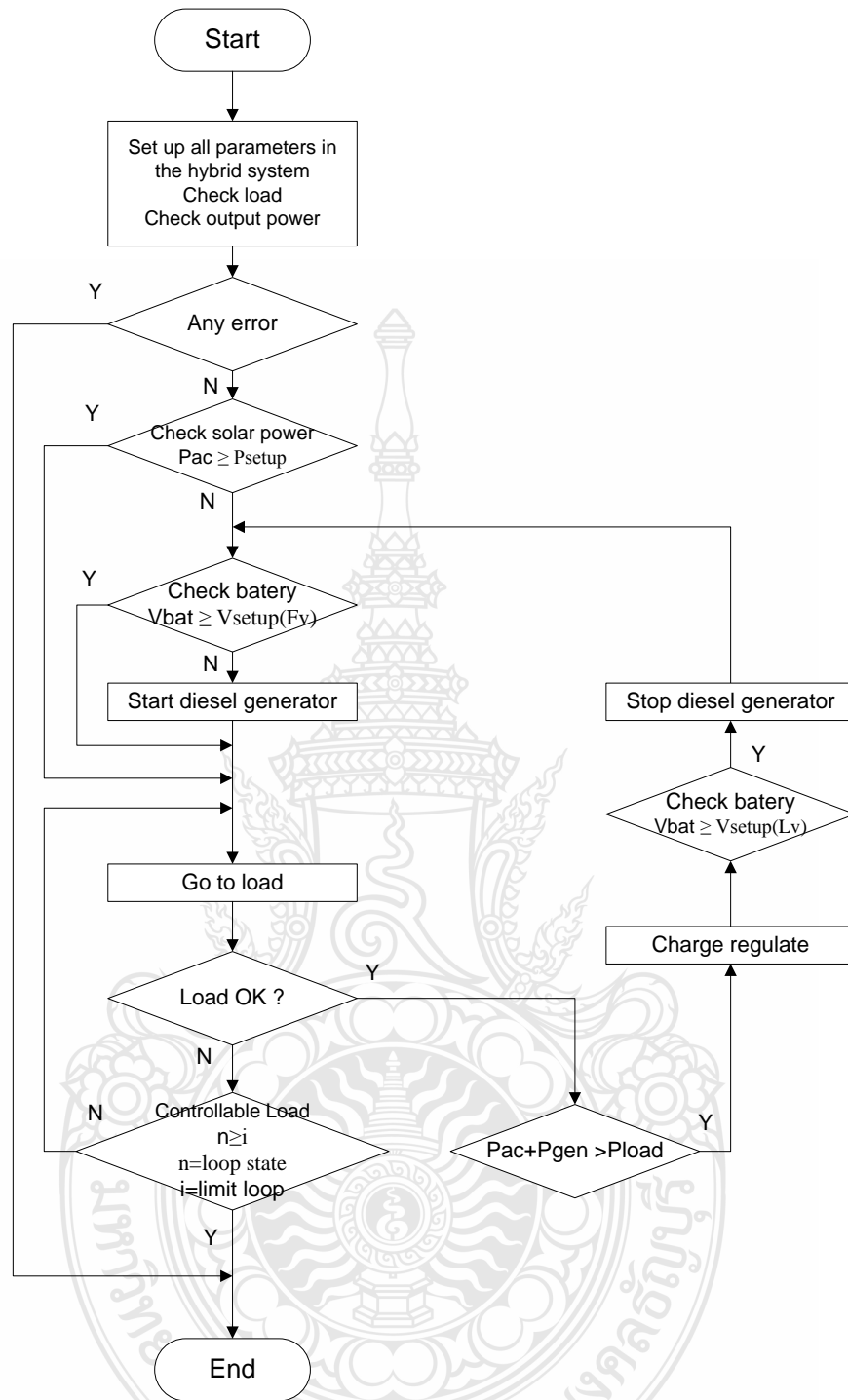
การทำงานของระบบควบคุมจะเริ่มต้นที่การตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในระบบไฮบริดจ์ โดยระบบควบคุมจะทำการตรวจสอบโหลด และตรวจสอบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประเมินกำลังไฟฟ้าของระบบ ทั้งหมด เมื่อระบบตรวจสอบว่ามีพลังงานเพียงพอต่อความต้องการก็จะจ่าย

ไฟฟ้าแก่ภาระโหลดได้โดยตรง และถ้ามีส่วนพลังงานที่เหลือก็จะถูกเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่สำรอง และสามารถควบคุมการประจุแบตเตอรี่ให้ได้จนเต็ม

กรณีที่ระบบตรวจสอบว่าภาระโหลดมีมากในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้พอับความต้องการ ระบบควบคุม ก็จะสั่งการให้ส่ง กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่าน Bi-Directional Inverter เพื่อช่วยจ่ายโหลดด้วย ส่วนกรณีใช้งานในเวลากลางคืน การจ่ายภาระโหลดจะได้จาก Bi-Directional Inverter ทั้งหมด จนกระทั่งพลังงานแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำตามที่ตั้งไว้ที่ 40% ของระดับแรงดัน จนไม่สามารถที่จะจ่ายโหลดได้ต่อไป จึงจะทำงานในโหมดเสริมไฟฟ้า คือสั่งการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบและชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานที่เหลือจากการจ่าย โหลด การทำงานจะควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหยุดเดินเครื่องเมื่อ แบตเตอรี่มีประจุตามพิกัดที่ตั้งไว้ในระบบ

ระบบควบคุมแบตเตอรี่ ซึ่งจะเป็นระบบวัดหลักในการนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาวิเคราะห์เพื่อควบคุมระบบยังสามารถควบคุมดูแลแบตเตอรี่เพื่อรักษาอายุของแบตเตอรี่ไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานหนักจนเกินไป ระบบควบคุมจะจัดการวิธีการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

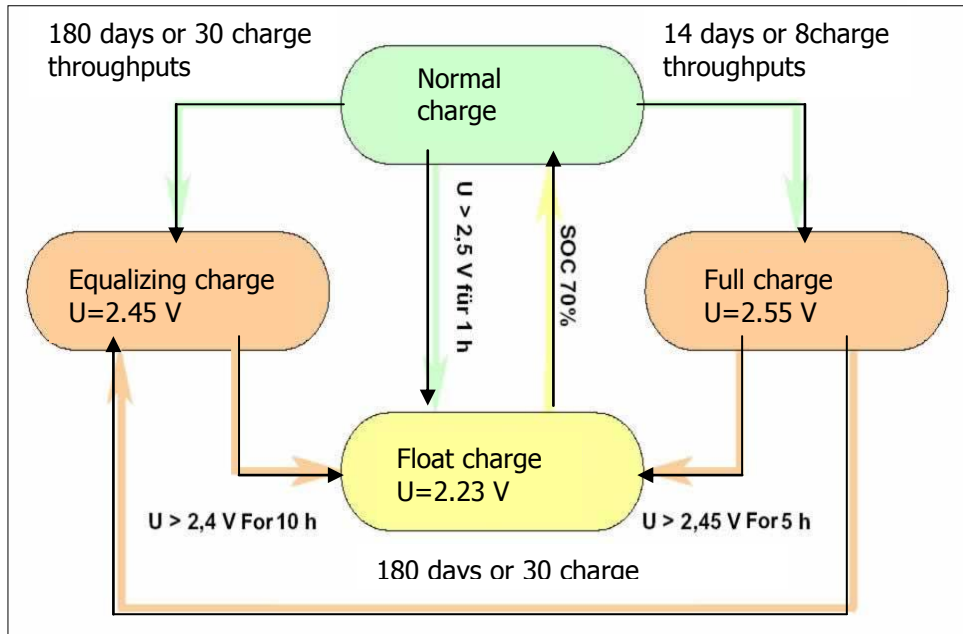
1. การประจุไฟฟ้าตามปกติตามระยะเวลาที่กำหนด เป็นการประจุตามปกติที่ระบบทำงาน กล่าวคือเมื่อมีพลังงานในระบบที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าและแบตเตอรี่ยังไม่เต็มก็จะทำการประจุไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด
2. การประจุไฟฟ้าเต็ม การประจุแบบนี้จะเป็นการรักษาอายุแบตเตอรี่เพราะแบตเตอรี่ที่ไม่เคยประจุไฟฟ้าเต็มเลยในการใช้งานจะมีอายุสั้น ดังนั้นระบบจะสั่งการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสตาร์ทเพื่อประจุแบตเตอรี่ให้เต็มอย่างน้อย 14 วัน ถ้าแบตเตอรี่ไม่เคยถูกประจุให้เต็มเลยในระยะเวลา 14 วันที่ผ่านมา
3. การประจุไฟฟ้าโดยการทำให้ความถ่วงจำเพาะเท่ากัน จะประจุทุกประมาณ 180 วัน เพื่อป้องกันความแตกต่างของระดับแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัว
4. การประจุลอยตัวหรือการประจุเพื่อรักษาระดับแรงดันให้เท่ากัน คือ การประจุแบตเตอรี่ให้เต็มในระยะเวลาจำกัด ถ้าแบตเตอรี่เต็มแล้วยังประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่อีกจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้



รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

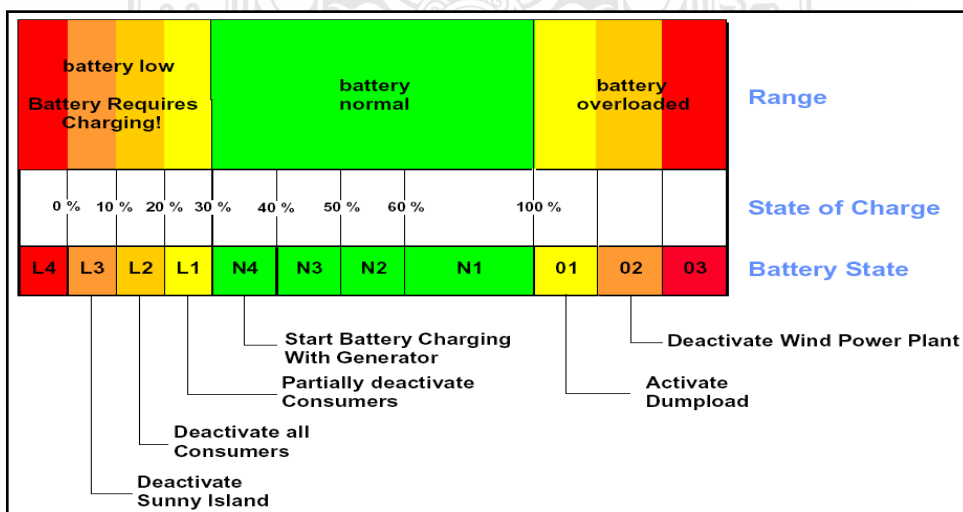
จากรูปที่ 3.3 การทำงานจะเป็นดังนี้คือในการชาร์จปกติ (Normal Charge) จะชาร์จประจุแบตเตอรี่เมื่อสภาพของแบตเตอรี่ถึงเวลาที่ต้องประจุไฟฟ้าตามระยะเวลาที่กำหนด คือ State of Charge (SOC) ตกลงมาต่ำกว่า 70 % ส่วน Full Charge จะทำการประจุไฟฟ้าเต็มที่มีสมบรณ์ประมาณทุก 2 สัปดาห์เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ SOC ต่ำเกินไป การประจุโดยการทำให้ความถี่เฉพาะเท่ากัน

(Equalizing Charge) จะประจุทุกประมาณ 180 วัน เพื่อป้องกันตัวเซลล์แบตเตอรี่แต่ละตัวมีประจุแตกต่างกัน การประจุเพื่อรักษาระดับแรงดันให้เท่ากัน (Float Charge) คือการรักษาไม่ให้เกิดการประจุแรงดันของแบตเตอรี่มากเกินไป จากรูปที่ 3.3 ระบบควบคุมจะทำงานได้โดยการวัดแรงดันจากแบตเตอรี่เป็นส่วนในการตัดสินใจ ซึ่งจะอ้างอิงถึงแบตเตอรี่ที่ตัว-กรด แรงดันต่อเซลล์ 2 V เป็นหลัก



รูปที่ 3.4 วิธีการประจุแบตเตอรี่

นอกจากนี้ระบบควบคุมแบตเตอรี่ยังจะสั่งการให้ระบบบริเล็คควบคุมการทำงานเป็นไปตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพของการเปลี่ยนการทำงานขึ้นอยู่กับ SOC

จากรูปที่ 3.5 แสดงระบบจัดการการทำงานเมื่อ SOC ต่ำกว่า 40 % รีเลย์ N4 เป็นสวิตช์เปิดจะสั่งการให้เริ่มใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ และถ้าหากเครื่องกำเนิดมีปัญหาและ SOC แบตเตอรี่ ต่ำลงกว่า 30 % รีเลย์ L1 จะเป็นตัวกระตุ้นให้สวิตช์สั่งการตัดต่อไฟฟ้าผู้ใช้ไฟฟ้าโดยถ้า SOC ต่ำกว่า 20 % รีเลย์ L2 จะสั่งการให้ตัดไฟฟ้าผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด และถ้า SOC ยังลดลงไปอีกต่ำกว่า 10 % แสดงว่าระบบและอินเวอร์เตอร์มีปัญหา ดังนั้นระบบจะตัดตัวเองไม่ทำงาน (Deactivated)

ในทางกลับกันถ้า SOC สูงกว่า 100 % รีเลย์ 01 จะสั่งการให้สวิตช์ต่อ Dump Load และหาก SOC ยังมีพลังงานเพิ่มขึ้นอีก รีเลย์ 02 จะสั่งการให้สวิตช์ตัดแหล่งจ่ายพลังงานต่างๆ ออกจากระบบ อย่างไรก็ตาม การควบคุมการทำงานของรีเลย์ยังคงยึดค่าอุณหภูมิแบตเตอรี่ ดังนั้นจะมีระบบวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่เป็น ตัวสั่งการหลักอีกชุดด้วย

จากแนวความคิดของโครงการวิจัยนี้จะทำให้สามารถสร้างระบบจำลองผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลที่จ่ายโหลดได้อย่างต่อเนื่องโดยมีระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำพลังงานไปใช้อย่างสูงสุด

3.3 หลักการออกแบบและการจำลองการทำงานของระบบไฮบริดจ์

หลักการออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าแบบไฮบริดจ์ ขั้นตอนแรกจะเป็นการกำหนดโหลดไฟฟ้า สำหรับที่อยู่อาศัยที่พิจารณาว่าระบบที่จะออกแบบต้องจ่ายโหลดที่ขนาดพิกัดเท่าไร มีหลักการออกแบบโดยอาศัยข้อมูลจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่จะใช้

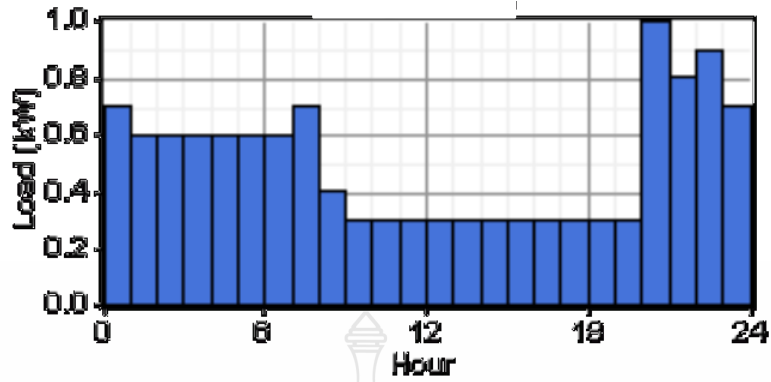
สำหรับโหลดที่นำมาออกแบบระบบในครั้งนี้เป็นโหลดที่กำหนดขึ้นบนพื้นฐานดังนี้

1. ขอบเขตของโครงการที่กำหนดแต่แรกในการดำเนินการวิจัย
2. โหลดเป็นแบบพื้นที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง
3. โหลดที่ใช้เป็นโหลดที่มีอยู่ในบ้านพักอาศัยทั่วไป

จากข้อกำหนดเบื้องต้น จึงได้นำมาพิจารณาโหลดเพื่อจะดำเนินการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานซึ่งจะกำหนดได้ดังนี้คือ

ตารางที่ 3.2 ตารางโหลดที่ใช้จำลองการใช้พลังงานของโครงการ

Time(hrs)	Load(W)
0:00	700
1:00	600
2:00	600
3:00	600
4:00	600
5:00	600
6:00	600
7:00	700
8:00	400
9:00	300
10:00	300
11:00	300
12:00	300
13:00	300
14:00	300
15:00	300
16:00	300
17:00	300
18:00	300
19:00	300
20:00	1000
21:00	800
22:00	900



รูปที่ 3.6 ผังการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน

จากข้อมูลในรูปที่ 3.6 เป็นข้อมูลที่กำหนดขึ้นเบื้องต้นสำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไปในชนบท จึงสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟ Load Profile มี Peak Load ในช่วงเย็นหนึ่ง เมื่อทราบข้อมูลขนาดของ โหลดและข้อมูลการใช้พลังงานของโหลดในแต่ละช่วงเวลาแล้วจะคำนวณเพื่อหาค่า P_{peak} เพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าผสมผสานได้ โดยการออกแบบจะนำสมการ การคำนวณ จาก Schmid's Formula [22] ที่ใช้แพร่หลายในยุโรปมาใช้งาน

3.3.1 การคำนวณขนาดโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่

ดังที่กล่าวแล้วว่าการออกแบบจะใช้สมการ Schmid's Formula จึงขอกกล่าวถึงสมการนี้ เบื้องต้น โดยเริ่มจากประสิทธิภาพของระบบซึ่งเป็นดังสมการ (3.1) จากนั้นก็นำสมการจากการ ประมาณการทางทฤษฎีและปฏิบัติมาหาค่าพลังงานที่เกิดจากแสงอาทิตย์ (3.2, 3.3) ซึ่งจะได้สมการใน การคำนวณหาขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการที่ (3.6)

$$Q = \frac{E_{el}}{E_{th}} \quad (3.1)$$

$$E_{th} = \eta \cdot E_{glob} \cdot A_{array} \quad (3.2)$$

$$P_{peak} = \eta \cdot I_{STC} \cdot A_{array} \quad (3.3)$$

$$E_{th} = P_{peak} \times \frac{E_{glob}}{I_{STC}} \quad (3.4)$$

$$Q = \frac{E_{el}}{E_{glob} \times P_{peak}} \times I_{STC} \quad (3.5)$$

$$P_{\text{peak}} = \frac{E_{\text{el}} \times I_{\text{STC}}}{E_{\text{glob}} \times Q} \quad (3.6)$$

- เมื่อ P_{peak} คือ ขนาดของโซลาร์เซลล์ที่ได้ ที่มาตรฐาน STC (kW_p)
- E_{el} คือ พลังงานที่ต้องใช้หรือโหลดคิดเป็นต่อปี (kWh/a) ถ้าคิดเป็นต่อวันแสงอาทิตย์ต้องเป็นต่อวัน
- I_{STC} คือ ค่ามาตรฐานรังสีดวงอาทิตย์ STC (1 kW/m^2)
- E_{glob} คือ พลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ต่อปี ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) ถ้าคิดเป็นต่อวันโหลดต้องเป็นต่อวัน ($\text{kWh/m}^2\text{d}$)
- Q คือ คุณภาพไฟฟ้าของระบบ
- E_{th} คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าจากทฤษฎีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/a)
- η คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- A_{array} คือ พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

สิ่งที่เป็นข้อดีของสมการนี้คือสามารถออกแบบได้อย่างรวดเร็ว แต่ข้อที่ต้องคำนึงถึงในระบบที่จะออกแบบคือค่า Q ซึ่งจะต้องเลือกค่าที่เหมาะสม ดังนั้นการออกแบบด้วยสมการนี้เมื่อออกแบบจะต้องมีการ Simulation เพื่อดูระบบที่ออกแบบเสมอ ซึ่งการออกแบบในครั้งนี้จะเป็นแบบ Hybrid System (PV/Diesel) ซึ่งจะใช้ค่า $Q = 0.60$ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นดังตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการทดลองและคำนวณ และกำหนดให้ใช้ในสมการนี้ ซึ่งการใช้ $Q = 0.60$ เนื่องจากเป็นการออกแบบระบบที่จะทำให้ขนาด PV ต่ำสุด

ตารางที่ 3.3 ค่าคุณภาพไฟฟ้าของระบบที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

Component/System	Q
PV module (Crystalline)	0.85...0.95
PV array	0.80...0.90
PV system (Grid-connected)	0.60...0.75
PV system (Stand-alone)	0.10...0.40
Hybrid system (PV/Diesel)	0.40...0.60

ดังที่กำหนดโหลดที่กล่าวถึง เท่ากับ 5.97 kWh ต่อวันแทนค่าในสมการเพื่อหาขนาดของโซล่าเซลล์

$$P_{\text{peak}} = \frac{5.97 \text{ kWh/d} \cdot 1 \text{ kW/m}^2}{5 \text{ kWh/m}^2 \text{ d} \cdot 0.6}$$

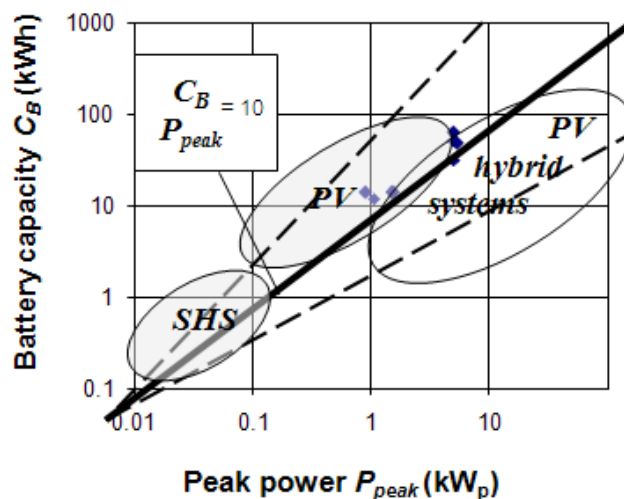
ดังนั้นจะได้ขนาดพิกัด PV = 1.8 kW_p

ค่าเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ที่คำนวณได้จะเป็นค่าที่นำมาใช้ในการออกแบบคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่ต่อไป ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (3.7) การหาขนาดแบตเตอรี่นี้จะใช้กฎปฏิบัติของ Schmid's Formula เช่นกัน โดยการใช้สมการนี้จะเป็นอย่างนี้คือ

$$C_B = 10 \times P_{\text{peak}} \quad (3.7)$$

เมื่อ P_{peak} คือ ขนาดของโซล่าเซลล์ที่ได้ ที่มาตรฐาน STC (kW_p)
 C_B คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (kWh)

อย่างไรก็ตามการคำนวณวิธีนี้จะยังคงสามารถที่จะปรับและยืดหยุ่นได้ด้วยตามรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะยืดหยุ่นได้ถึง +/- 20 % ขึ้นอยู่กับระบบที่ออกแบบว่าเป็นระบบใด



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของความจุแบตเตอรี่และพลังงานสูงสุดของ PV

การออกแบบด้วยสมการนี้มีการเผื่อเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ จึงขอแนะนำการออกแบบต่างๆ ไปในเบื้องต้น ดังนี้

3.3.2 การออกแบบโดยทั่วไปและการออกแบบโดย Schmid's Formula

การออกแบบทั่วไปในเบื้องต้นจะคำนวณจากค่าของพิคก PV ซึ่งในที่นี้จะนำค่าที่คำนวณได้คือ 1.99 kWp และคิดค่าอัตรา Maximum DOD = 60% (ปกติการใช้งานของแบตเตอรี่, ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดต่างๆ ไปมีประสิทธิภาพประมาณ 70 %, ประสิทธิภาพของ (Inverter Efficiency) = 85%, ประสิทธิภาพของระบบ (สูญเสียในสายเป็นต้น) 85 % และปกติมักออกแบบให้แบตเตอรี่เก็บสะสม พลังงานไว้ใช้ได้ประมาณ (2 - 3) วัน ในที่นี้เลือกใช้งานที่ 3 วัน ดังนั้น ค่าความจุของแบตเตอรี่(Battery Capacity) สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{(Battery capacity)} = \frac{1.99 \times 3}{0.6 \times 0.7 \times 0.85 \times 0.85} = 19.6 \text{ kW}$$

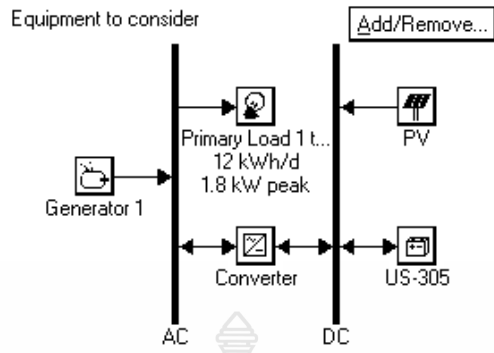
จะเห็นว่าการคำนวณทั่วไปจะมีค่าอยู่ประมาณ 8-10 เท่าของ PV ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ จากสมการของ สูตรคำนวณของโปรเฟสเซอร์ชมิค จึงเป็นการใช้วิธีลัดที่ใช้เวลารวดเร็ว จึงเป็นที่นิยมกันมาก ซึ่งจากการคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{CB} &= 10 \times P_{\text{peak}} \\ &= 10 \times 1.99 \text{ kW} \\ &= 19.9 \text{ kWh} \end{aligned}$$

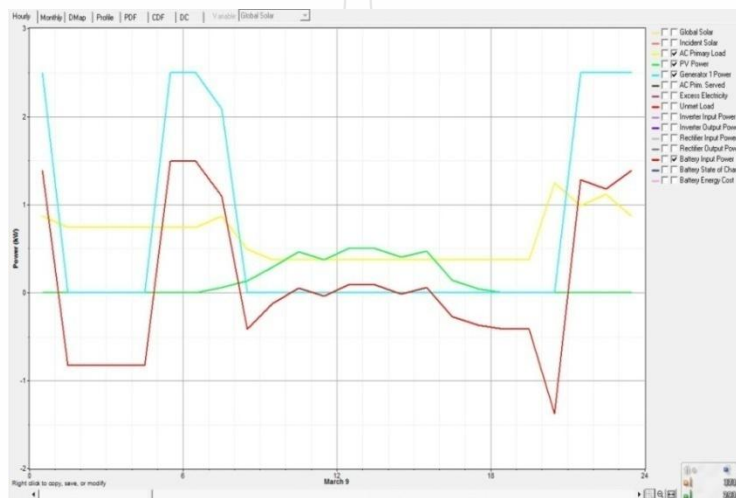
จากพิคกของแบตเตอรี่จะสามารถหาจำนวนแบตเตอรี่ได้จากการเลือกพิคกแรงดันของระบบ ซึ่งพิคกแรงดันของระบบจะขึ้นอยู่กับการเลือก Inverter นั้นเอง ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะเลือก Inverter จาก SMA ซึ่งมีแรงดัน อยู่ 224 V – 600 V ซึ่งจะสามารถยืดหยุ่นในการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ โดยจะมีกรอบอยู่ที่พิคกพลังงานรวมอยู่ที่ 19.9 kWh นั้นเอง

3.4 การทดสอบด้วยการ Simulation

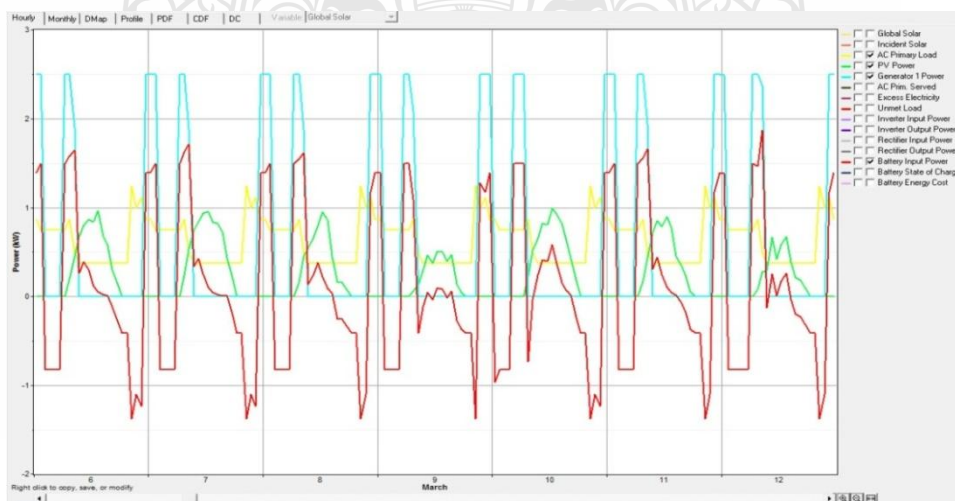
การคำนวณวิธีนี้จะยังคงสามารถที่จะปรับและยืดหยุ่น ได้ด้วยซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะยืดหยุ่นได้ถึง +/-20 % ขึ้นอยู่กับระบบที่ออกแบบว่าเป็นระบบใด หลังจากที่ได้คำนวณค่าต่างๆ ได้แล้ว ก็นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาวิเคราะห์โดยการ Simulation โดยเลือกใช้โปรแกรม Homer ในการทดสอบ มีการดาวน์โหลดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านจากฐานข้อมูลของโปรแกรม Homer จุดที่ทำการวิเคราะห์ระบุตำแหน่งจะให้โปรแกรม Google Map เลือกย่านตำแหน่งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เป็นพื้นฐานในการจำลองตำแหน่งที่ตั้งบนพื้นโลก จำลองสถานการณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.8 การใช้โปรแกรม Homer จำลองสถานการณ์ของระบบ



รูปที่ 3.9 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV และ Generator ใน 1 วัน



รูปที่ 3.10 กราฟการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบเป็นเวลา 7 วัน

3.5 การออกแบบโครงสร้างจริง

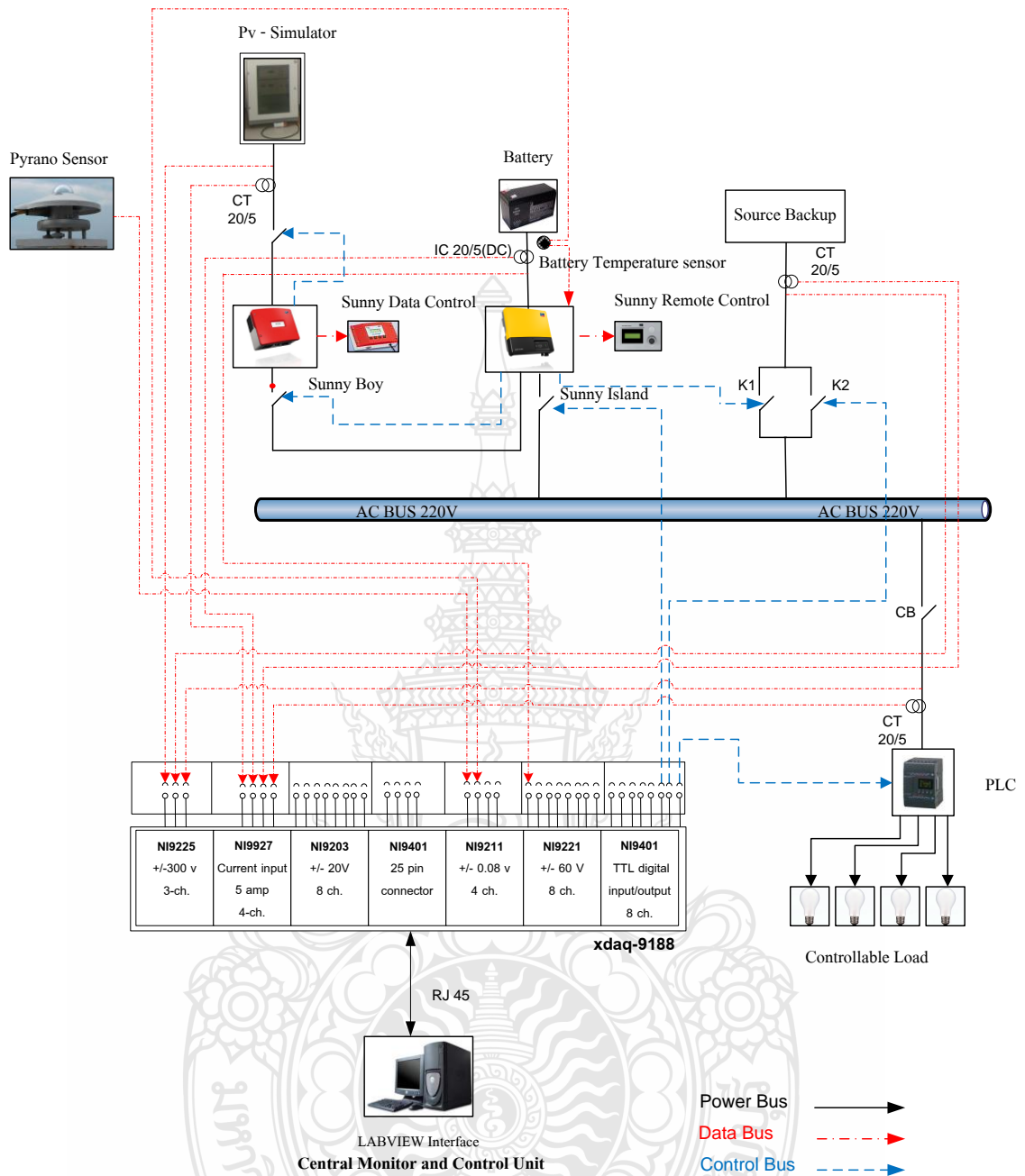
ดังที่ได้ออกแบบระบบข้างต้นไว้ในหัวข้อ 3.2 โดยใช้ PV-Simulator ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ในการวิเคราะห์ Hybrid System ซึ่งไม่สามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้งานได้จริงในการวิเคราะห์ระบบ จึงได้นำระบบไฟสำรองแรงดันต่ำ 1 เฟส 220 VAC 50Hz เข้ามาต่อกับระบบ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์แทนการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.5.1 ขั้นตอนการติดตั้ง

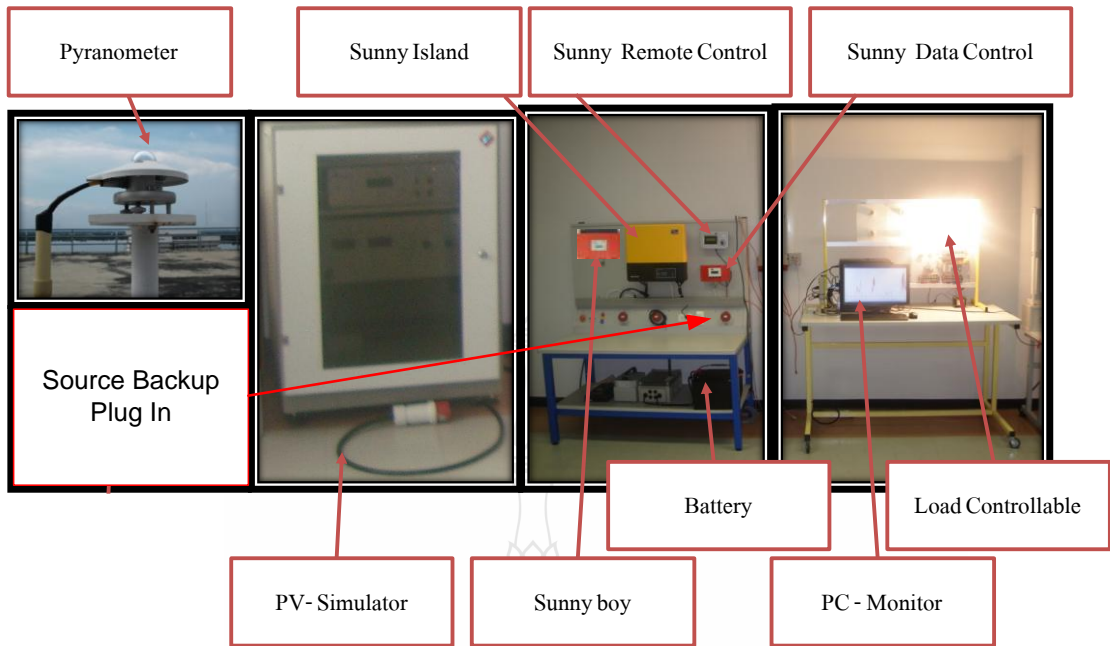
หลังจากที่ได้ดำเนินการออกแบบและแก้ปัญหาในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้ จึงนำระบบไฟฟ้าสำรอง 1 เฟส 220 VAC 50 Hz เข้ามาทดแทนในระบบ และทำให้ระบบที่ออกแบบไว้ข้างต้น PV-Gen Hybrid System แล้วจึงได้ทำการติดตั้งจริงในชุดทดลอง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.2 การติดตั้ง PV- Simulator และชุดทดลอง

ขั้นตอนติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆแบ่งเป็นชุดสายไฟฟ้าหลัก ชุดสายไฟฟ้าข้อมูลและชุดสายไฟฟ้าควบคุมดังรูปที่ 3.11 วงจรการติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลองและมีสภาพการติดตั้งแล้วเสร็จดังรูปที่ 3.12 การติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลองจริง

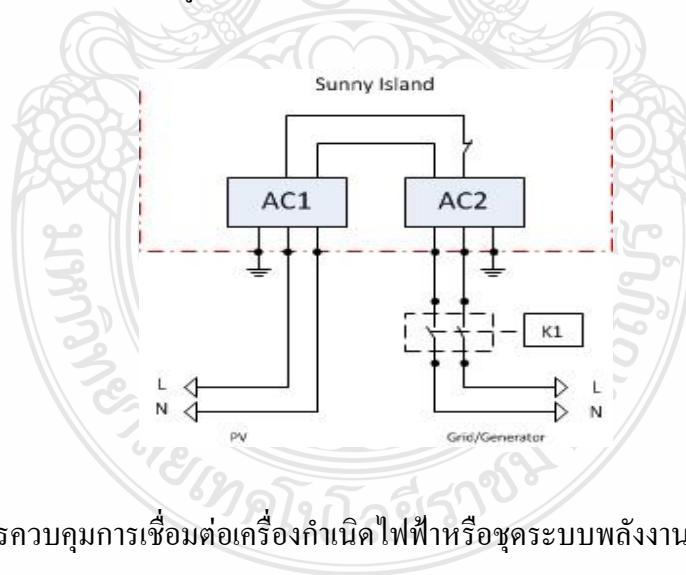


รูปที่ 3.11 วงจรการติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลอง

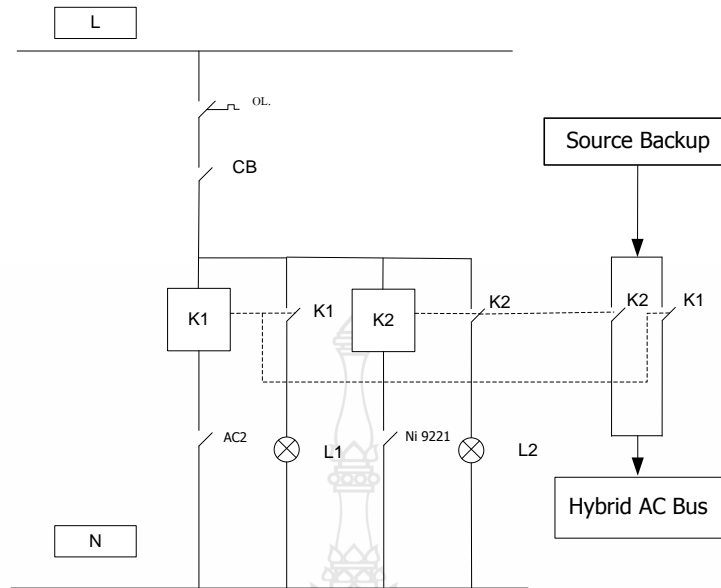


รูปที่ 3.12 การติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลองจริง

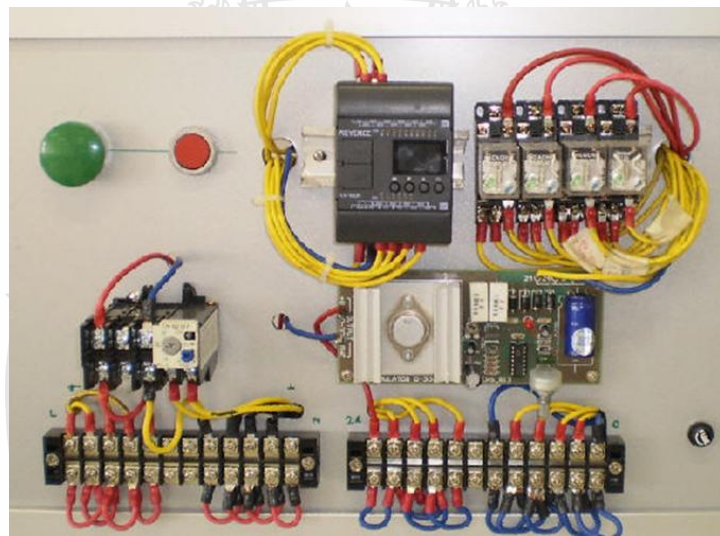
3.5.3 ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลหรือชุดพลังงานไฟฟ้าสำรอง (Loop control to Gen/Source Back up)
โดยใช้วงจรดังรูป



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือชุดระบบพลังงานไฟฟ้าสำรองจากชุดควบคุม Inverter



รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือชุดระบบพลังงานไฟฟ้าสำรองจากชุดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

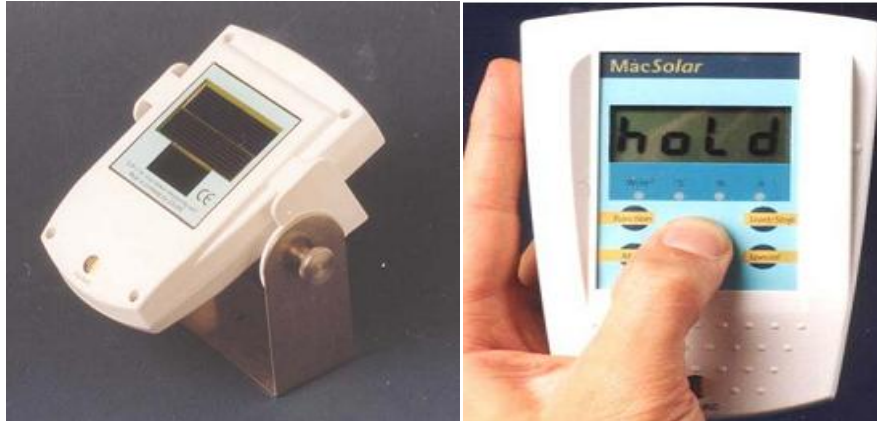


รูปที่ 3.15 ชุดควบคุมโหลดจำลอง

3.5.4 การควบคุมการทำงานของ PV-simulator โดยใช้โปรแกรม Macview

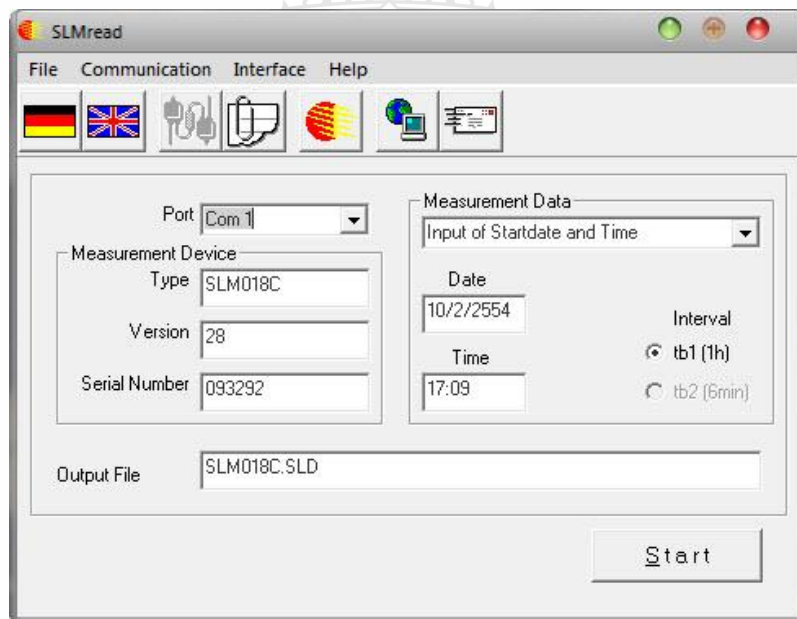
3.5.4.1 เริ่มต้นด้วยการตรวจวัดความเข้มแสง

โดยพฤติกรรมของแสงในแต่ละวัน โดยใช้อุปกรณ์ Macsolar ในการตรวจวัดแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.16 การตรวจวัดแสง

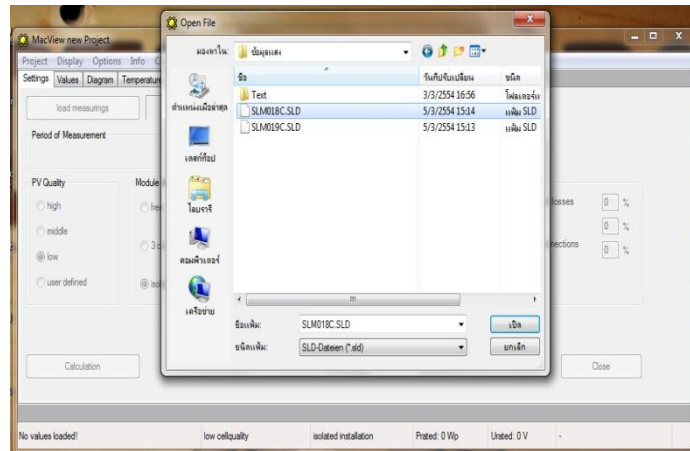
3.5.4.2 ทำการบันทึกข้อมูลแสงจากตัวอุปกรณ์ Macsolar
ด้วยโปรแกรม SLMread บันทึกเป็นไฟล์ *.SLD



รูปที่ 3.17 โปรแกรม SLMread

3.5.4.3 เปิดโปรแกรม Macview

โดยทำการเปิดไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม SLMread



รูปที่ 3.18 โปรแกรม Macview

3.6 ชุดอุปกรณ์

ในการทดลองได้ออกแบบระบบเป็น 6 ส่วน ดังนี้

3.6.1 ชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-Simulator)

ในการทดลองใช้ชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-Simulator) ผลิตภัณฑ์ของ Schulz Electronic เพื่อจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-Simulator)

รูปที่ 3.19 ชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ (PV-Simulator) ที่ใช้ในการทดลองชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สามารถตั้งค่าการทำงานเสมือนมีแผงโซลาร์เซลล์ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถปรับค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 0-2000 W/m² อุณหภูมิตั้งแต่ -40°C - 90°C ดังนั้นจึงสามารถควบคุมแรงดัน Output ได้สูงสุด 300 VDC 20A ในการทดลองได้มีการปรับตั้งค่า Input คือความเข้มแสงและอุณหภูมิ ตามช่วงเวลาของแสงอาทิตย์ ดังแสดงในตารางที่ 3.20



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ปรับค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของชุดแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์

3.6.2 ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter)

ในการทดลองใช้ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากชุดจำลองแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ แรงดันรับเข้า VDC 400 V, VDC_{mpp} 190-320V เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 50/60 Hz แรงดัน 220 VAC, PAC 1000 W, IAC 4.4 A เพื่อจ่ายให้กับโหลด ใช้ผลิตภัณฑ์ Sunny Boy รุ่น SB1100 ดังแสดงในรูป 3.21



รูปที่ 3.21 ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

3.6.3 ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 2 ทิศทาง (Bi-Directional Inverter)

ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบ 2 ทิศทาง (Bi-Directional Inverter) ใช้ในการทดลองโดยมีจุดประสงค์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และเก็บพลังงานไว้ใน

แบตเตอรี่ และสามารถแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับได้ ในช่วงที่นำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ออกมาจ่ายโหลด โดยมีรายละเอียดดังนี้

Battery DC input

1. Battery voltage (range) 24 V (16.8 V – 31.5 V)
2. Max. battery charging current / continuous charging current at 25 °C 90 A / 80 A
3. Battery type / battery capacity (range) Lead, NiCd / 100 – 10,000 Ah

AC input (generator or grid)

1. Input voltage (range) 230 V (172.5 V – 264.5 V)
2. Input frequency (range) 50 Hz / 60 Hz (40 Hz – 70 Hz)
3. Max. input current (adjustable) / Max. input power 25 A (0 A - 25 A) / 5.75 kW

AC output (users)

1. Nominal AC voltage (adjustable) 230 V (202 V – 253 V)
2. Nominal frequency (adjustable) 50 Hz / 60 Hz (45 Hz – 65 Hz)
3. Continuous AC power at 25°C / 45°C 2200 W / 1600 W
4. AC output power at 25 °C for 30 min / 1 min / 5 s 2900 W / 3800 W / 3900 W
5. Nominal AC current / Max. AC current (peak) 9.6 A / 25 A for ca. 500 ms
6. Output voltage harmonic distortion factor / phase shift ($\cos \phi$) < 4% / -1 to +1

ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบ 2 ทิศทาง

3.6.4 Sunny Boy Control

เป็นตัวทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานของชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ เพื่อที่จะเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อพลังงานที่ได้จากแสงมีไม่เหมาะสมต่อย่านใช้งาน



รูปที่ 3.23 Sunny Boy Control

3.6.5 แบตเตอรี่ (Battery)

ทำหน้าที่สะสมพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และจัดเก็บไว้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตไฟฟ้า หรือในเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่มีในเวลากลางคืน ในการทดลองใช้ แบตเตอรี่ขนาด 100 AH 12 VDC จำนวน 2 ลูกต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.4 ประสิทธิภาพการชาร์จแบตเตอรี่

ชาร์จประจุ (%)	ขนาดแรงดัน 12 V	แรงดันเซลล์
100	12.7	2.12
90	12.5	2.08
80	12.42	2.07
70	13.32	2.05
60	12.20	2.03
50	12.06	2.01
40	11.9	1.98
30	11.75	1.96
20	11.31	1.93
10	10.5	1.89
0	10.5	1.75

3.6.6 ชุดควบคุม PLC

ชุดควบคุม PLC Keyence Kv-16 DR, AC type, Ambient temperature 0 to +50 C°, 10 อินพุต 6 เอาพุต ใช้ไฟเลี้ยง 24 V จะทำหน้าที่ในการปรับระดับการใช้พลังงานตามข้อมูลที่ได้จากกราฟ (Load Profile) แล้วได้เขียน โปรแกรมบรรจุข้อมูลลงไป ชุดควบคุม PLC เพื่อที่จะให้เป็นไปตามกราฟ Input ชุดควบคุม PLC แสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ชุดควบคุม PLC

3.6.7 ชุดโหลด 1 KW (Load Unit 1KW)

ประกอบไปด้วยหลอดไฟ Incandescent ขนาดต่างๆ ดังนี้

หลอดไฟขนาด 40 W	จำนวน	1	หลอด
หลอดไฟขนาด 60 W	จำนวน	1	หลอด
หลอดไฟขนาด 100 W	จำนวน	3	หลอด
หลอดไฟขนาด 200 W	จำนวน	3	หลอด



รูปที่ 3.26 การติดตั้งโหลดและทดสอบชุดควบคุม

3.6.8 Data Acquisition

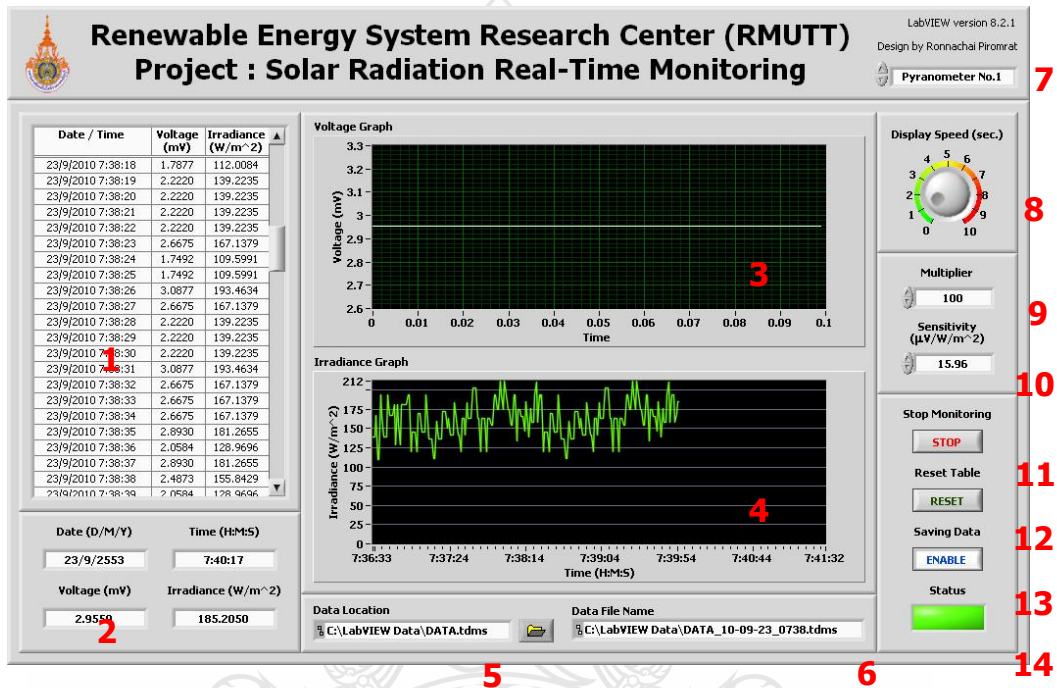
อุปกรณ์ Data Acquisition ที่ใช้ในการทำโครงการนี้เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท National Instrument ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่รับและส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์นี้ เนื่องจากมีการส่งข้อมูลแบบ RJ45 ที่สะดวกในการทำงาน และยังสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัลได้ในตัวเอง อีกทั้งสนับสนุนการทำงานของโปรแกรม LabVIEW เป็นอย่างดี



รูปที่ 3.27 อุปกรณ์ Data Acquisition

3.6.9 การแสดงผลและการควบคุมการทำงาน

ในการออกแบบมีความต้องการที่จะแสดงผลการทำงานในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่กราฟ, ตารางและแบบตัวเลขปัจจุบัน สามารถควบคุมการทำงานและสามารถตั้งค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมได้ ในที่นี่ได้ออกแบบโปรแกรมให้สามารถวัดค่าจากไพรานอมิเตอร์พร้อมกันได้ 2 ตัว



รูปที่ 3.28 ส่วนการแสดงผลและการควบคุมการทำงาน

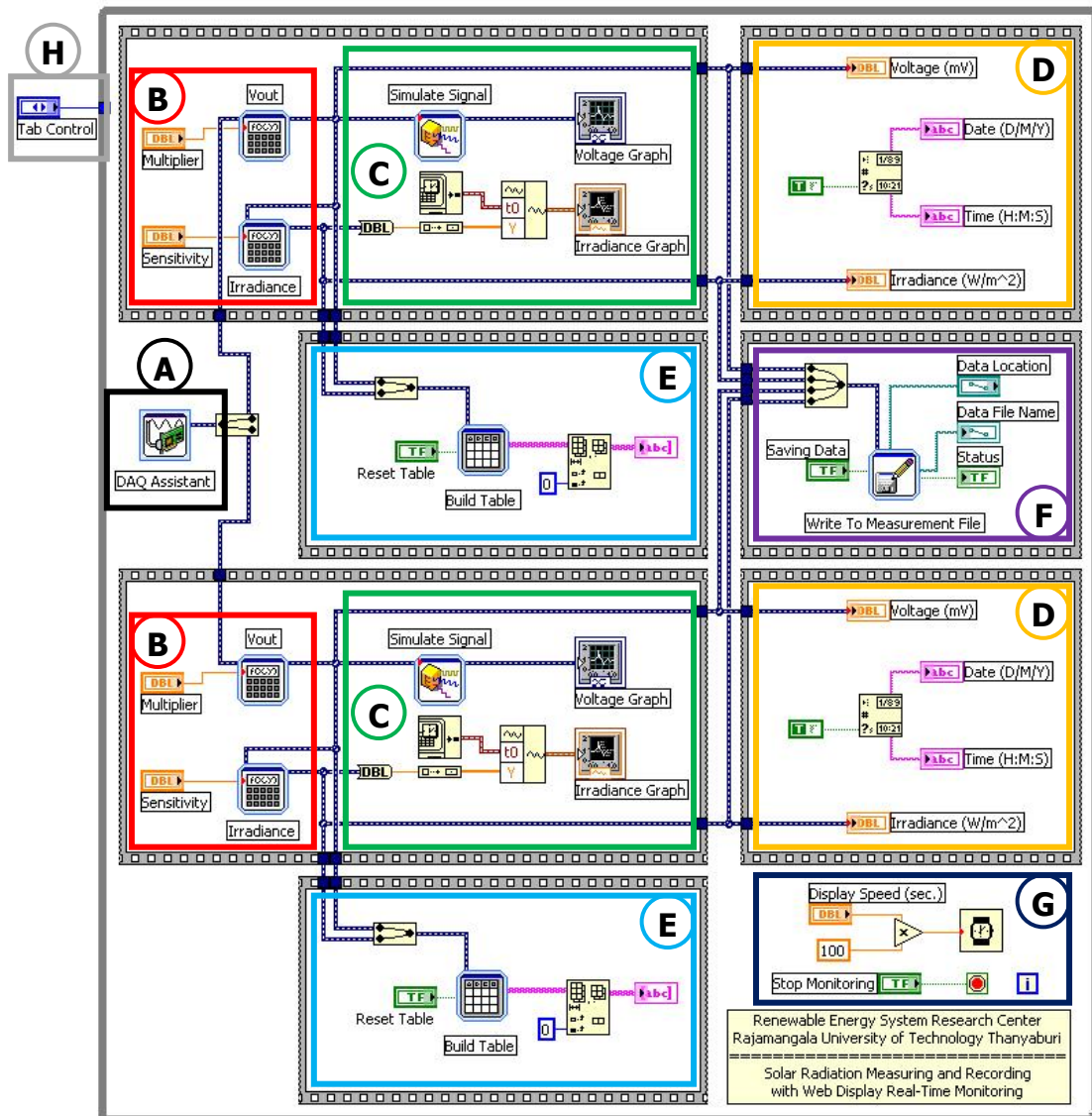
จากภาพที่ 3.28 จะเป็นส่วนการแสดงผลและการควบคุมการทำงาน เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย จึงได้แบ่งส่วนการแสดงผลและการควบคุมการทำงานออกได้เป็นทั้งหมด 14 ส่วน ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานในแต่ละส่วนได้ดังนี้

ตารางที่ 3.5 อธิบายการทำงานในแต่ละส่วนของโปรแกรม

หมายเลข	การทำงาน
1	ตารางแสดงวันและเวลา, ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ารังสีจากดวงอาทิตย์
2	ช่องแสดงวันและเวลา, ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ารังสีจากดวงอาทิตย์
3	กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบกับวันและเวลา
4	กราฟแสดงค่ารังสีจากดวงอาทิตย์เทียบกับวันและเวลา
5	ช่องแสดงตำแหน่งของไฟล์ที่ทำการบันทึก
6	ช่องแสดงชื่อของไฟล์ที่ทำการบันทึก
7	ตัวสลับการแสดงผลของไพรานอมิเตอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2
8	ตัวปรับหน่วงความเร็วในการแสดงผล
9	ช่องป้อนค่าอัตราขยายของวงจรถยายสัญญาณ
10	ช่องป้อนค่าความไวของไพรานอมิเตอร์
11	ปุ่มหยุดการทำงานของโปรแกรม
12	ปุ่มล้างตารางแสดงผล
13	ปุ่มเริ่ม/หยุดการบันทึกค่าที่วัดได้
14	ไฟแสดงสถานะการบันทึกค่าที่วัดได้

3.6.9.1 Source Code

เป็นส่วนที่เก็บชุดของฟังก์ชันที่ใช้ออกแบบโปรแกรม เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก หากมีการเชื่อมโยงที่ผิดพลาดหรือรูปแบบข้อมูลไม่ตรงกันในแต่ละฟังก์ชัน จะทำให้ไม่สามารถเรียกใช้งานโปรแกรมได้เลย



รูปที่ 3.29 Source Code ของโปรแกรม

โดยในแต่ละฟังก์ชันที่ใช้จะมีความเกี่ยวเนื่องกันกับส่วนการแสดงผลและการควบคุม ซึ่งจะสามารถอธิบายการทำงานและความสัมพันธ์กับส่วนแสดงผลได้ดังนี้

1) ฟังก์ชันการรับข้อมูล

เนื่องจากตัว NI USB-6008 ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล ภายในโปรแกรม LabVIEW นั้นจะใช้ฟังก์ชันของ DAQ Assistant ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ได้มาจาก NI USB-6008 ซึ่งฟังก์ชันนี้จะไม่แสดงในส่วนของการแสดงผลและการควบคุมการทำงาน

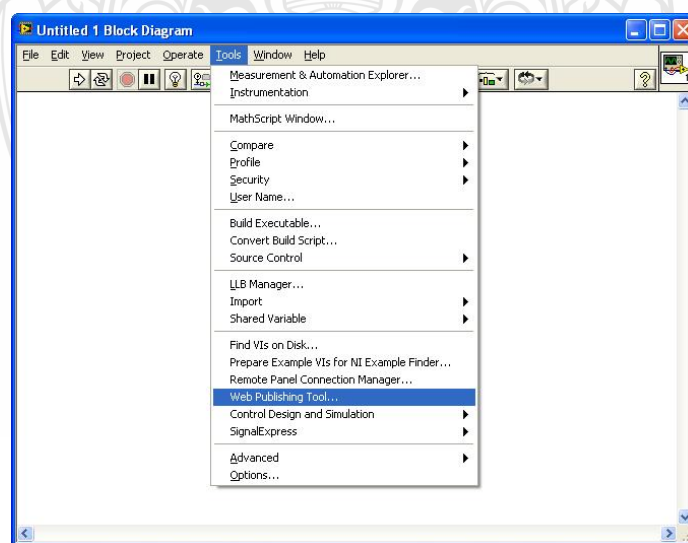


รูปที่ 3.30 ลักษณะฟังก์ชันการรับข้อมูล

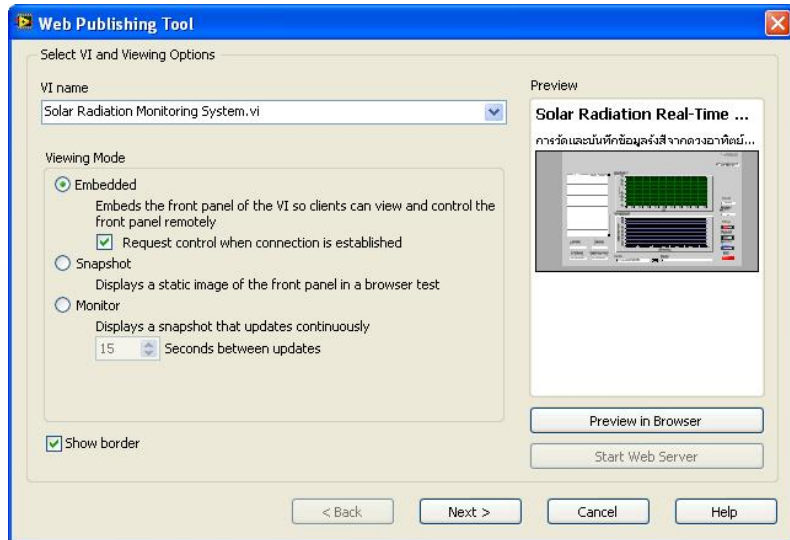
3.6.10 การแสดงผลการทำงานบนหน้าเว็บ

โปรแกรม LabVIEW มีข้อเด่นที่นำไปใช้ก็คือ Web Server ซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นในวงเน็ตเวิร์กสามารถเข้ามาดูการทำงานหรือมาควบคุมการทำงานในส่วน Front Panel ผ่านเว็บได้ โดยจะเรียกคอมพิวเตอร์ที่รัน LabVIEW เป็นตัวกระจายเว็บว่า Server และเรียกคอมพิวเตอร์ที่เข้ามาดู LabVIEW ผ่านเว็บว่า Client

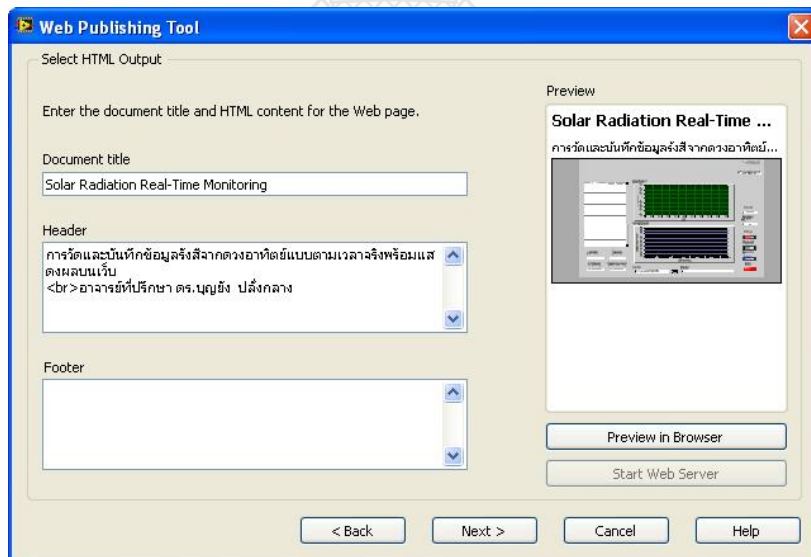
การแสดงผลการทำงานบนหน้าเว็บจะใช้เมนู Web Publishing Tool โดยเริ่มต้นด้วยการเลือก VI name เป็นไฟล์ของโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้และในส่วนของการ Viewing Mode จะใช้แบบ Embedded ซึ่งเป็นการฝัง Front Panel ของโปรแกรมเข้าไปในเว็บเบราว์เซอร์ โดยฝังเครื่อง Client จะสามารถมองเห็นและควบคุมการใช้งานโปรแกรมได้เหมือนอยู่ที่หน้าเครื่อง Server แต่ทางฝั่งเครื่อง Client จำเป็นต้องติดตั้ง LabVIEW Run-Time Engine ในการเรียกใช้งานผ่านหน้าเว็บด้วย จากนั้นพิมพ์หัวเรื่องของโปรแกรมและรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องการให้แสดง โดยสามารถใส่รายละเอียดไว้ได้ทั้งส่วนบนและล่างของหน้าต่างโปรแกรม



รูปที่ 3.31 เมนู Web Publishing Tool

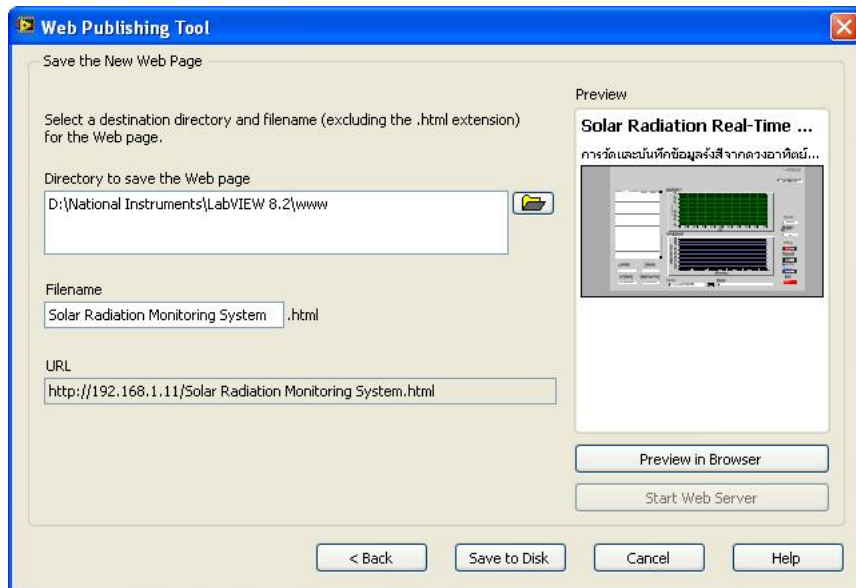


รูปที่ 3.32 การใช้งาน Web Publishing Tool



รูปที่ 3.33 การใส่หัวเรื่องและรายละเอียดต่างๆ

ในส่วนนี้จะเป็นการบันทึกไฟล์หน้าเว็บลงเครื่องคอมพิวเตอร์และแสดง URL ของโปรแกรมที่จะใช้เข้าดูผ่านเว็บจากเครื่อง Client และสั่งเริ่มการทำงาน Web Server



รูปที่ 3.33 การบันทึกไฟล์หน้าเว็บและ URL ของโปรแกรม

3.7 สรุปผลการออกแบบ

จากการออกแบบข้างต้นและอุปกรณ์ของโครงการวิจัย ไม่สามารถออกแบบได้ตรงกับขอบเขตข้างต้นในส่วนของอุปกรณ์จำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นจึงได้ทำการแก้ไขกำหนดรูปแบบใหม่ จึงทำให้การออกแบบมีการปรับปรุงใช้ Source Backup เพื่อทำการเชื่อมต่อและจ่ายพลังงานสำรองให้ระบบโดยสามารถแก้ปัญหาในขั้นต้นได้ เนื่องจากการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลขนาดเล็กน้อยกว่า 5 kW ในช่วงเวลาที่ทำการจ่ายโหลดจะเกิดการตัดอุปกรณ์จ่ายไฟหลักคือ เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์และแหล่งกำเนิดแบตเตอรี่สำรอง เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซลมีขนาดใหญ่กว่าระบบหลักเมื่อมีการต่อเข้าอุปกรณ์จึงมีการตัดการจ่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักออกไปเมื่อกำหนดขอบเขตใหม่ได้แล้ว จึงดำเนินการเริ่มติดตั้งอุปกรณ์และชุดทดลอง ดังนั้นในการทดสอบระบบจึงสามารถดำเนินการได้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ในขั้นต้น

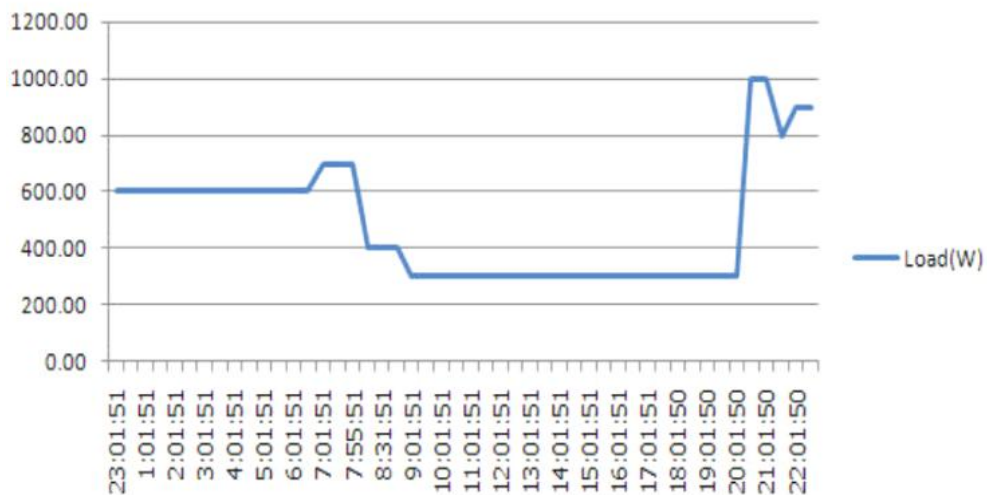
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอผลการวัดค่ากระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้าของระบบในเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบ Hybrid-System ต่อไป

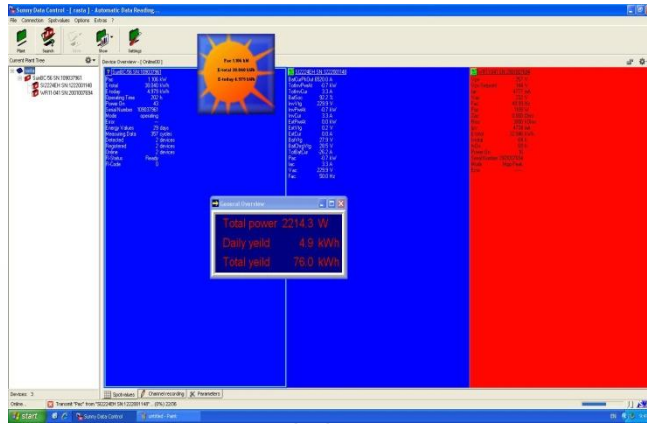
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปแบบโหลดไฟฟ้าในแต่ละวันซึ่งหลังจากจำลองการทำงานแล้ว ดังรูปที่ 4.1

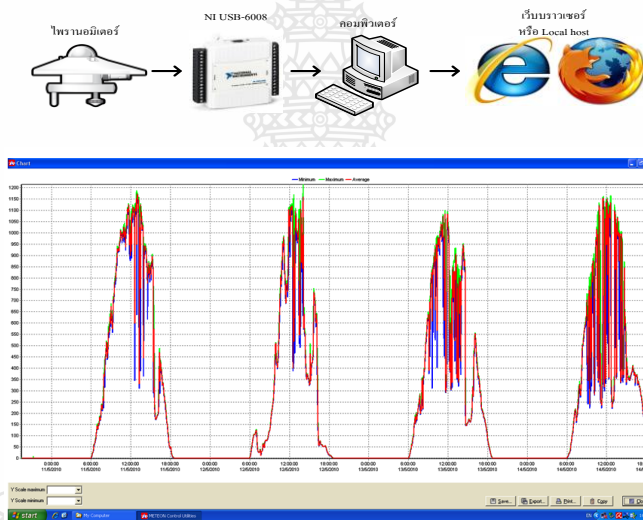


รูปที่ 4.1 โหลดที่ได้จากโปรแกรม Homer Simulation

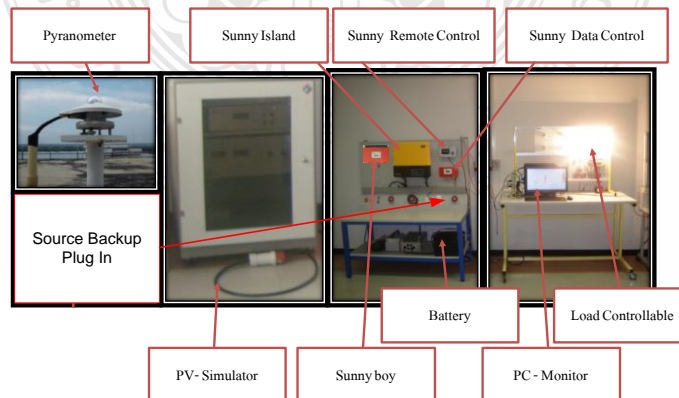
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า Load Profiles เป็นการนำพลังงานใน 24 ชั่วโมงของบ้านพักอาศัยซึ่งในแต่ละช่วงของวันจะมีการใช้พลังงานไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้พลังงานในแต่ละเวลา ซึ่งเป็นการใช้พลังงานใน 1 วัน



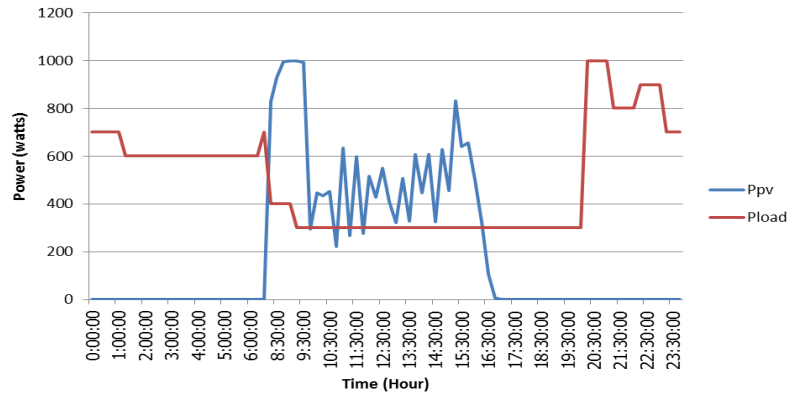
รูปที่ 4.2 โปรแกรม Sunny Data Control ใช้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในระบบ Hybrid-System



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลแสงอาทิตย์จากตัวตรวจวัดแสงอาทิตย์
ในรอบ 4 วันของการเก็บข้อมูล

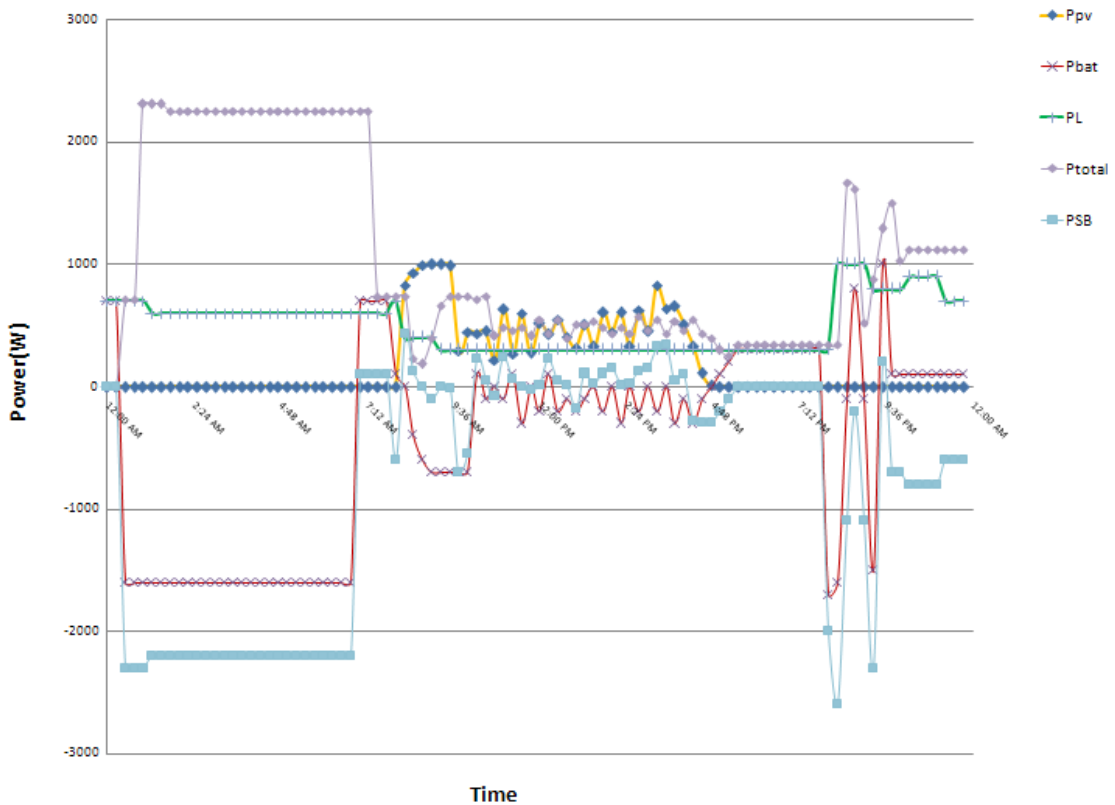


รูปที่ 4.4 ระบบติดตั้งจริง



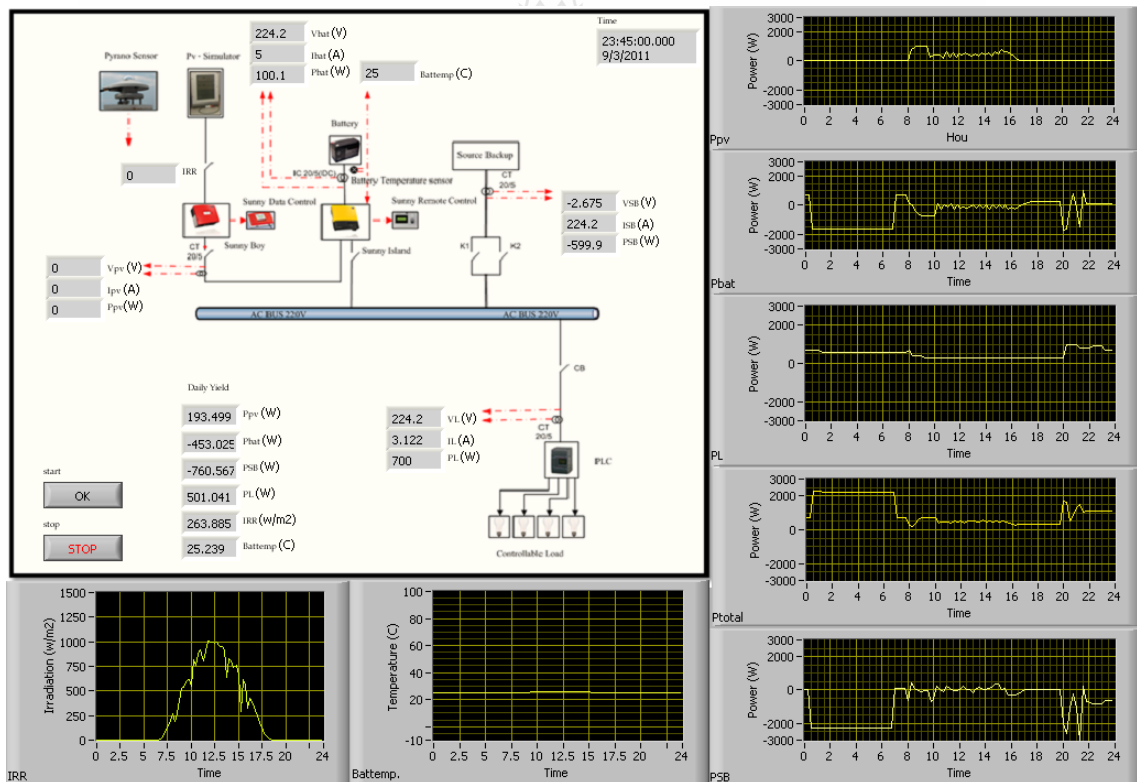
รูปที่ 4.5 กำลังไฟฟ้า PV และ โหลดที่สร้างขึ้น

รูปที่ 4.5 แสดงกำลังไฟฟ้าของ PV จากกราฟจะพบว่ากำลังไฟฟ้าจะเกิดขึ้นช่วงเวลาประมาณ 7.30 น. เนื่องจากเมื่อมีกระแสและแรงดันเกิดขึ้นนั่นเอง ค่าสูงสุดประมาณ 1000 W. ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 8.30 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่ PV ต้องจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ในเวลาเดียวกัน แต่แรงดันที่ผลิตได้ยังไม่สูงมากเพราะความเข้มแสงยังน้อยอยู่ ทำให้ PV ต้องจ่ายกระแสให้เพียงพอกับความต้องการ เมื่อความเข้มแสงมากขึ้น PV จึงผลิตแรงดันได้มากขึ้น กระแสจึงลดลง



รูปที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

รูปที่ 4.6 แสดงผลของกำลังไฟฟ้าที่ AC bus จะมีการจ่ายโหลดอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเวลา 0.15 น. ถึง 6.00 น. จะเป็นช่วงที่ระบบได้เชื่อมต่อ Source Backup มีการจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ในเวลาเดียวกัน หลังจาก 6.30 น. ระบบได้ตัดการเชื่อมต่อ Source Backup และแบตเตอรี่ได้มีการจ่ายโหลดในช่วงเช้าขณะแสงน้อย จากนั้นเมื่อมีแสงมากขึ้น ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น แบตเตอรี่จึงหยุดจ่ายแล้วให้ PV จ่ายแทน ในช่วง 10.00-16.00 น. จะใช้ไฟจาก PV เป็นหลัก โดยแบตเตอรี่จะมีการช่วยจ่ายโหลดและชาร์จสลับกันไปเป็นระยะ จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 17.00-19.00 น. จะใช้แบตเตอรี่จ่ายโหลดเป็นหลักเพราะเป็นช่วงที่ไม่มีแสง ช่วงเวลา 19.30 – 20.30 น. เป็นช่วงที่มีการใช้โหลดมากที่สุดระบบได้ทำการเชื่อมต่อ Source Backup และแบตเตอรี่มีการชาร์จและแบตเตอรี่กลับมาจ่ายอีกครั้งในช่วง 21.00 น. และหลังจากนั้นจะเป็น Source Backup จ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบที่ได้จากโปรแกรม LABView

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการวัดค่ากระแสและแรงดันทั้งสองสามารถอธิบายการทำงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองอื่นๆ ได้ดังนี้ คือ โหลดสามารถรับกระแสได้จาก Source Backup และจากชุด PV แบตเตอรี่จะทำการเก็บพลังงานจาก PV

และ Source Backup โดยจะเก็บพลังงานจาก PV ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ซึ่งสังเกตได้จากมีกระแสไหลจาก Inverter ของชุด PV ในเวลากลางวันส่วนในตอนกลางคืนนั้นชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดผ่านชุด Inverter และเมื่อพลังงานในแบตเตอรี่ถูกจ่ายไปจนเหลือพลังงานจนเหลือในระดับที่กำหนดไว้ชุดควบคุมจะทำการต่อวงจร Source Backup เข้ามาในระบบเพื่อจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ต่อไป

จากผลการทดลองค่ากระแสไหลที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้หรือบางค่ามีค่าต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในระบบ ในส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ก็มีค่าไม่คงที่



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ว่า แรงดันและกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้แปรผันตรงกับความเข้มแสงและอุณหภูมิสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

จากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบผสมผสานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและมีแบตเตอรี่สำรอง โดยใช้โปรแกรม Homer ในการจำลองการทำงานของระบบ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ 1) ใช้โหลดในการออกแบบขนาด $1 \text{ kW}_{\text{peak}}$ 2) PV ขนาด 1 kW 3) แบตเตอรี่ขนาด 4.8 kWh 4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 2 kW 5) อินเวอร์เตอร์แบบ 2 ทิศทางเนื่องจากระบบได้มีการต่อใช้งานแบบขนาน พิกัด 2 kW ได้ผลดังรูปที่ 3.10 จากกราฟการใช้พลังงานของระบบจะเห็นว่ามีการใช้พลังงานตลอดทั้งวัน เริ่มจากเวลา $0.00-03.30$ น. จะเป็นช่วงที่แบตเตอรี่มีการจ่ายโหลดที่ 600 W เมื่อเวลา $03.30-07.00$ น. จะเห็นว่าการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ จึงทำให้กราฟสูงขึ้นเกือบ 2 เท่าของโหลดประมาณ 1900 W และเครื่องกำเนิดจะทำงานอีกครั้งเมื่อเวลา $19.30-23.30$ น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มิโหลดสูงสุดที่ 1 kW ทำให้แบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีแสง และในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ $07.00-18.00$ น. จะเป็นช่วงการทำงานของ PV ที่จะจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ และบางช่วงเมื่อแสงน้อยอาจมีการช่วยจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ด้วย จากผลการจำลองระบบผสมผสานจะเห็นว่ามีมีการจ่ายโหลดได้อย่างต่อเนื่อง

จากผลการทดสอบจริง เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการ Simulation พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่การทำงานของแบตเตอรี่ ในการ Simulation สถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 100% แต่ในการทดสอบจริงสถานะของแบตเตอรี่อยู่ที่ 40% จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นระบบได้ประมาณครึ่งชั่วโมงแบตเตอรี่ได้เปลี่ยนเป็นสถานะชาร์จเป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมงจนเต็มและกลับมาจ่ายโหลดอีกครั้งในช่วง 07.00 น.

จึงสรุปได้ว่าทั้งงานจำลองสถานการณ์มีความสอดคล้องกันและสามารถจ่ายโหลดได้จริงในช่วงระยะเวลา 1 วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเก็บผลให้ได้มากกว่านี้ เพื่อให้ได้ค่าพลังงานของระบบให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรมีการทดสอบกับระบบโหลดหลายๆชนิด เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโหลดแต่ละชนิดว่าส่งผลกับระบบเช่นไร และจะได้ปรับปรุงพัฒนาระบบให้มีสมรรถนะสูงสุดต่อไป

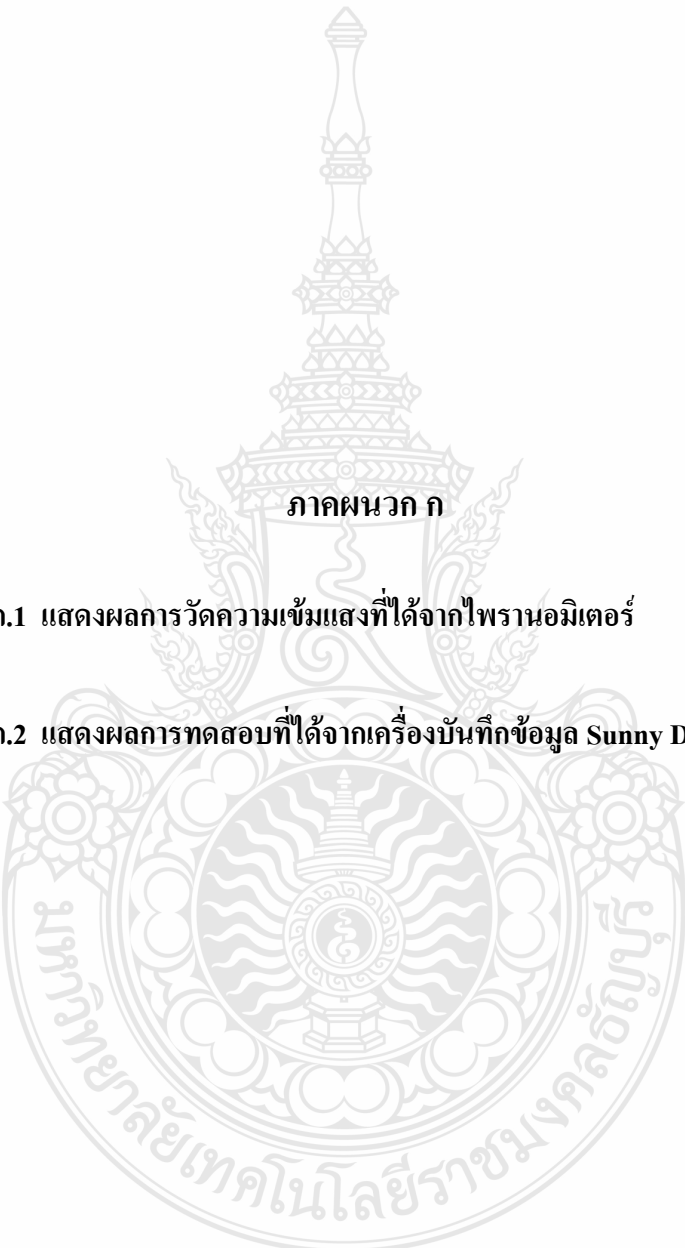
5.2.3 ในส่วนของการควบคุมชุด PV –Simulator ในโครงการนี้เป็นการควบคุมแบบแมนนวลในการปรับพารามิเตอร์ จึงเสนอว่าหากมีการใช้งานในระยะยาวควรจะต้องใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม Macview



เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญยัง ปลั่งกลาง, ระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนผสมผสานขนาดเล็กสำหรับพื้นที่ชนบทห่างไกล, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] Shane Duryea, Syed Islam, and William Lawrance, "A Batteries Management System for stand-alone Photovoltaic Energy System," **IEEE Industry Applications Magazine**, pp.67-72, May/June, 2001.
- [3] กฤษณา พรหมพินิจ, บุญยัง ปลั่งกลาง. 2551 "การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าผสมผสานสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, จังหวัดนครนายก, 29-31 ตุลาคม 2551
- [4] นภัทร วัฒนเทพินทร, เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์, "ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเข้าระบบ," การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม, โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพฯ, 2550.
- [5] สมชัย หิรัญวโรดม, เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการประยุกต์ใช้งานระบบโฟโตโวลตาอิก. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [6] บริษัทลีโอนิกส์, ระบบพลังงานแสงอาทิตย์(Online), 2553. Available: http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php (4 พฤษภาคม 2553).
- [7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Online), 2553 Available: <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm> (4 พฤษภาคม 2553).
- [8] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, โครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน, กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนา, 2552.
- [9] บุญยัง ปลั่งกลาง, เอกสารประกอบการสอนรายวิชา **Energy Technology**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [10] บริษัทลีโอนิกส์, เส้นทางสู่พลังงานสีเขียว ตอน แบตเตอรี่ (Online), 2009. Available: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php> (4 พฤษภาคม 2553).
- [11] สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร, การออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริดโดยการฟื้นฟูระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ มทส, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2544.
- [12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (Online), 2548. Available: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=98>(4 พฤษภาคม 2553).

- [13] สมจิต ชินะใจ, การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแกนตั้งโดยใช้กรอบเสริมกัน บังคับลมเข้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- [14] จีระเดช สิงคคีประภา, การศึกษาความเป็นไปได้การเกิดกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยใช้พัดลม ระบายอากาศติดหลังคา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [15] บริษัทลีโอนิกส์, ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Online), 2009. Available: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php> (4 เมษายน 2553).
- [16] กฤษฎา พรหมพินิจ, บุญยัง ปลั่งกลาง, “คุณสมบัติและคุณภาพของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม สำหรับระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์,” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 4, 14 -16 พฤษภาคม 2551, โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัด นครปฐม, 2551.
- [17] คมกฤตย์ ชมสุวรรณ, อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลซึ่งให้ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ต่ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [18] ฉัตรชัย เชื้อจันทิก, การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในงานอุตสาหกรรมกับการซื้อจากการไฟฟ้านครหลวง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเศรษฐศาสตร์ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541.
- [19] ทรงพล ยุทธเกรียงไกร, สมรรถนะของระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสานสำหรับหมู่บ้าน (กรณี หมู่บ้านเกาะจิก), วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [20] ชีรศักดิ์ สรวลเยี่ยม และ วราพล ภูมั่ง, ระบบวัดบันทึกและแสดงผลบ้านพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2550.
- [21] นิพนธ์ เกตุจ้อย, ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานหมุนเวียนสำหรับหมู่บ้านที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ใน ประเทศไทย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000 Naresuan University Journal 2003 : 11(2) : 99-114
- [22] J. Schmid, **Photovoltaic systems Technology**, teaching script, IEE-RE, University of Kassel, Germany, 2002.



ภาคผนวก ก

ก.1 แสดงผลการวัดความเข้มแสงที่ได้จากไพรานอมิเตอร์

ก.2 แสดงผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล Sunny Data Control

ภาคผนวก ก.1

แสดงผลการวัดความเข้มแสงที่ได้จากไพรานอมิเตอร์

ตารางที่ ก.1 ผลที่ได้จากการวัดความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้ไพรานอมิเตอร์

Date	Time	Min.	Max.	Average
16/1/2011	0:01:13	0	0	0
16/1/2011	0:03:13	0	0	0
16/1/2011	0:05:13	0	0	0
16/1/2011	0:07:13	0	0	0
16/1/2011	0:09:13	0	0	0
16/1/2011	0:11:13	0	0	0
16/1/2011	0:13:13	0	0	0
16/1/2011	0:15:13	0	0	0
16/1/2011	0:17:13	0	0	0
16/1/2011	0:19:13	0	0	0
16/1/2011	0:21:13	0	0	0
16/1/2011	0:23:13	0	0	0
16/1/2011	0:25:13	0	0	0
16/1/2011	0:27:13	0	0	0
16/1/2011	0:29:13	0	0	0
16/1/2011	0:31:13	0	0	0
16/1/2011	0:33:13	0	0	0
16/1/2011	0:35:13	0	0	0
16/1/2011	0:37:13	0	0	0
16/1/2011	0:39:13	0	0	0
16/1/2011	0:41:13	0	0	0
16/1/2011	0:43:13	0	0	0
16/1/2011	0:45:13	0	0	0
16/1/2011	0:47:13	0	0	0
16/1/2011	0:49:13	0	0	0
16/1/2011	0:51:13	0	0	0
16/1/2011	0:53:13	0	0	0
16/1/2011	0:55:13	0	0	0
16/1/2011	0:57:13	0	0	0
16/1/2011	0:59:13	0	0	0
16/1/2011	1:01:13	0	0	0
16/1/2011	1:03:13	0	0	0
16/1/2011	1:05:13	0	0	0
16/1/2011	1:07:13	0	0	0
16/1/2011	1:09:13	0	0	0
16/1/2011	1:11:13	0	0	0

16/1/2011	1:13:13	0	0	0
16/1/2011	1:15:13	0	0	0
16/1/2011	1:17:13	0	0	0
16/1/2011	1:19:13	0	0	0
16/1/2011	1:21:13	0	0	0
16/1/2011	1:23:13	0	0	0
16/1/2011	1:25:13	0	0	0
16/1/2011	1:27:13	0	0	0
16/1/2011	1:29:13	0	0	0
16/1/2011	1:31:13	0	0	0
16/1/2011	1:33:13	0	0	0
16/1/2011	1:35:13	0	0	0
16/1/2011	1:37:13	0	0	0
16/1/2011	1:39:13	0	0	0
16/1/2011	1:41:13	0	0	0
16/1/2011	1:43:13	0	0	0
16/1/2011	1:45:13	0	0	0
16/1/2011	1:47:13	0	0	0
16/1/2011	1:49:13	0	0	0
16/1/2011	1:51:13	0	0	0
16/1/2011	1:53:13	0	0	0
16/1/2011	1:55:13	0	0	0
16/1/2011	1:57:13	0	0	0
16/1/2011	1:59:13	0	0	0
16/1/2011	2:01:13	0	0	0
16/1/2011	2:03:13	0	0	0
16/1/2011	2:05:13	0	0	0
16/1/2011	2:07:13	0	0	0
16/1/2011	2:09:13	0	0	0
16/1/2011	2:11:13	0	0	0
16/1/2011	2:13:13	0	0	0
16/1/2011	2:15:13	0	0	0
16/1/2011	2:17:13	0	0	0
16/1/2011	2:19:13	0	0	0
16/1/2011	2:21:13	0	0	0
16/1/2011	2:23:13	0	0	0
16/1/2011	2:25:13	0	0	0
16/1/2011	2:27:13	0	0	0
16/1/2011	2:29:13	0	0	0
16/1/2011	2:31:13	0	0	0
16/1/2011	2:33:13	0	0	0
16/1/2011	2:35:13	0	0	0
16/1/2011	2:37:13	0	0	0
16/1/2011	2:39:13	0	0	0

16/1/2011	2:41:13	0	0	0
16/1/2011	2:43:13	0	0	0
16/1/2011	2:45:13	0	0	0
16/1/2011	2:47:13	0	0	0
16/1/2011	2:49:13	0	0	0
16/1/2011	2:51:13	0	0	0
16/1/2011	2:53:13	0	0	0
16/1/2011	2:55:13	0	0	0
16/1/2011	2:57:13	0	0	0
16/1/2011	2:59:13	0	0	0
16/1/2011	3:01:13	0	0	0
16/1/2011	3:03:13	0	0	0
16/1/2011	3:05:13	0	0	0
16/1/2011	3:07:13	0	0	0
16/1/2011	3:09:13	0	0	0
16/1/2011	3:11:13	0	0	0
16/1/2011	3:13:13	0	0	0
16/1/2011	3:15:13	0	0	0
16/1/2011	3:17:13	0	0	0
16/1/2011	3:19:13	0	0	0
16/1/2011	3:21:13	0	0	0
16/1/2011	3:23:13	0	0	0
16/1/2011	3:25:13	0	0	0
16/1/2011	3:27:13	0	0	0
16/1/2011	3:29:13	0	0	0
16/1/2011	3:31:13	0	0	0
16/1/2011	3:33:13	0	0	0
16/1/2011	3:35:13	0	0	0
16/1/2011	3:37:13	0	0	0
16/1/2011	3:39:13	0	0	0
16/1/2011	3:41:13	0	0	0
16/1/2011	3:43:13	0	0	0
16/1/2011	3:45:13	0	0	0
16/1/2011	3:47:13	0	0	0
16/1/2011	3:49:13	0	0	0
16/1/2011	3:51:13	0	0	0
16/1/2011	3:53:13	0	0	0
16/1/2011	3:55:13	0	0	0
16/1/2011	3:57:13	0	0	0
16/1/2011	3:59:13	0	0	0
16/1/2011	4:01:13	0	0	0
16/1/2011	4:03:13	0	0	0
16/1/2011	4:05:13	0	0	0
16/1/2011	4:07:13	0	0	0

16/1/2011	4:09:13	0	0	0
16/1/2011	4:11:13	0	0	0
16/1/2011	4:13:13	0	0	0
16/1/2011	4:15:13	0	0	0
16/1/2011	4:17:13	0	0	0
16/1/2011	4:19:13	0	0	0
16/1/2011	4:21:13	0	0	0
16/1/2011	4:23:13	0	0	0
16/1/2011	4:25:13	0	0	0
16/1/2011	4:27:13	0	0	0
16/1/2011	4:29:13	0	0	0
16/1/2011	4:31:13	0	0	0
16/1/2011	4:33:13	0	0	0
16/1/2011	4:35:13	0	0	0
16/1/2011	4:37:13	0	0	0
16/1/2011	4:39:13	0	0	0
16/1/2011	4:41:13	0	0	0
16/1/2011	4:43:13	0	0	0
16/1/2011	4:45:13	0	0	0
16/1/2011	4:47:13	0	0	0
16/1/2011	4:49:13	0	0	0
16/1/2011	4:51:13	0	0	0
16/1/2011	4:53:13	0	0	0
16/1/2011	4:55:13	0	0	0
16/1/2011	4:57:13	0	0	0
16/1/2011	4:59:13	0	0	0
16/1/2011	5:01:13	0	0	0
16/1/2011	5:03:13	0	0	0
16/1/2011	5:05:13	0	0	0
16/1/2011	5:07:13	0	0	0
16/1/2011	5:09:13	0	0	0
16/1/2011	5:11:13	0	0	0
16/1/2011	5:13:13	0	0	0
16/1/2011	5:15:13	0	0	0
16/1/2011	5:17:13	0	0	0
16/1/2011	5:19:13	0	0	0
16/1/2011	5:21:13	0	0	0
16/1/2011	5:23:13	0	0	0
16/1/2011	5:25:13	0	0	0
16/1/2011	5:27:13	0	0	0
16/1/2011	5:29:13	0	0	0
16/1/2011	5:31:13	0	0	0
16/1/2011	5:33:13	0	0	0
16/1/2011	5:35:13	0	0	0

16/1/2011	5:37:13	0	0	0
16/1/2011	5:39:13	0	0	0
16/1/2011	5:41:13	0	0	0
16/1/2011	5:43:13	0	0	0
16/1/2011	5:45:13	0	0	0
16/1/2011	5:47:13	0	0	0
16/1/2011	5:49:13	0	0	0
16/1/2011	5:51:13	0	0	0
16/1/2011	5:53:13	0	0	0
16/1/2011	5:55:13	0	0	0
16/1/2011	5:57:13	0	0	0
16/1/2011	5:59:13	0	0	0
16/1/2011	6:01:13	0	0	0
16/1/2011	6:03:13	0	0	0
16/1/2011	6:05:13	0	0	0
16/1/2011	6:07:13	0	0	0
16/1/2011	6:09:13	0	0	0
16/1/2011	6:11:13	0	0	0
16/1/2011	6:13:13	0	0	0
16/1/2011	6:15:13	0	0	0
16/1/2011	6:17:13	0	0	0
16/1/2011	6:19:13	0	0	0
16/1/2011	6:21:13	0	0	0
16/1/2011	6:23:13	0	0	0
16/1/2011	6:25:13	0	0	0
16/1/2011	6:27:13	0	0	0
16/1/2011	6:29:13	0	0	0
16/1/2011	6:31:13	0	0	0
16/1/2011	6:33:13	0	2	1
16/1/2011	6:35:13	2	3	2
16/1/2011	6:37:13	3	5	4
16/1/2011	6:39:13	5	7	5
16/1/2011	6:41:13	7	9	7
16/1/2011	6:43:13	9	11	10
16/1/2011	6:45:13	11	15	13
16/1/2011	6:47:13	14	18	16
16/1/2011	6:49:13	18	22	20
16/1/2011	6:51:13	22	27	25
16/1/2011	6:53:13	27	30	28
16/1/2011	6:55:13	30	32	31
16/1/2011	6:57:13	32	35	34
16/1/2011	6:59:13	35	38	37
16/1/2011	7:01:13	38	41	39
16/1/2011	7:03:13	41	45	44

16/1/2011	7:05:13	45	52	48
16/1/2011	7:07:13	52	54	53
16/1/2011	7:09:13	54	62	56
16/1/2011	7:11:13	62	76	70
16/1/2011	7:13:13	75	87	83
16/1/2011	7:15:13	82	92	88
16/1/2011	7:17:13	75	83	77
16/1/2011	7:19:13	78	87	81
16/1/2011	7:21:13	78	100	89
16/1/2011	7:23:13	94	103	97
16/1/2011	7:25:13	92	95	93
16/1/2011	7:27:13	92	120	102
16/1/2011	7:29:13	97	149	127
16/1/2011	7:31:13	112	142	121
16/1/2011	7:33:13	121	177	163
16/1/2011	7:35:13	147	192	167
16/1/2011	7:37:13	189	196	192
16/1/2011	7:39:13	172	189	179
16/1/2011	7:41:13	177	190	185
16/1/2011	7:43:13	188	200	196
16/1/2011	7:45:13	197	202	200
16/1/2011	7:47:13	167	206	197
16/1/2011	7:49:13	159	215	194
16/1/2011	7:51:13	212	228	221
16/1/2011	7:53:13	227	237	233
16/1/2011	7:55:13	237	247	241
16/1/2011	7:57:13	242	260	251
16/1/2011	7:59:13	260	269	265
16/1/2011	8:01:13	265	277	270
16/1/2011	8:03:13	274	283	279
16/1/2011	8:05:13	186	280	253
16/1/2011	8:07:13	170	224	181
16/1/2011	8:09:13	182	236	197
16/1/2011	8:11:13	182	265	207
16/1/2011	8:13:13	172	276	220
16/1/2011	8:15:13	165	266	206
16/1/2011	8:17:13	185	208	191
16/1/2011	8:19:13	208	319	268
16/1/2011	8:21:13	214	305	245
16/1/2011	8:23:13	210	235	215
16/1/2011	8:25:13	229	326	251
16/1/2011	8:27:13	256	369	288
16/1/2011	8:29:13	248	430	308
16/1/2011	8:31:13	226	351	273

16/1/2011	8:33:13	224	391	288
16/1/2011	8:35:13	244	460	407
16/1/2011	8:37:13	247	411	340
16/1/2011	8:39:13	315	446	404
16/1/2011	8:41:13	230	433	313
16/1/2011	8:43:13	185	253	200
16/1/2011	8:45:13	202	485	386
16/1/2011	8:47:13	296	476	404
16/1/2011	8:49:13	234	324	265
16/1/2011	8:51:13	270	484	421
16/1/2011	8:53:13	269	452	383
16/1/2011	8:55:13	267	512	427
16/1/2011	8:57:13	204	502	371
16/1/2011	8:59:13	200	519	311
16/1/2011	9:01:13	517	542	527
16/1/2011	9:03:13	405	530	504
16/1/2011	9:05:13	250	529	326
16/1/2011	9:07:13	379	523	495
16/1/2011	9:09:13	288	542	387
16/1/2011	9:11:13	282	547	435
16/1/2011	9:13:13	391	587	562
16/1/2011	9:15:13	556	597	573
16/1/2011	9:17:13	426	593	532
16/1/2011	9:19:13	324	594	432
16/1/2011	9:21:13	440	635	580
16/1/2011	9:23:13	290	633	477
16/1/2011	9:25:13	288	648	492
16/1/2011	9:27:13	327	683	467
16/1/2011	9:29:13	288	685	460
16/1/2011	9:31:13	290	715	609
16/1/2011	9:33:13	686	712	708
16/1/2011	9:35:13	674	757	725
16/1/2011	9:37:13	354	756	563
16/1/2011	9:39:13	504	741	678
16/1/2011	9:41:13	597	743	722
16/1/2011	9:43:13	475	746	668
16/1/2011	9:45:13	683	755	732
16/1/2011	9:47:13	357	770	615
16/1/2011	9:49:13	749	765	757
16/1/2011	9:51:13	747	817	785
16/1/2011	9:53:13	615	825	776
16/1/2011	9:55:13	629	802	758
16/1/2011	9:57:13	517	787	716
16/1/2011	9:59:13	350	825	623

16/1/2011	10:01:13	393	791	549
16/1/2011	10:03:13	432	803	711
16/1/2011	10:05:13	297	418	320
16/1/2011	10:07:13	359	861	782
16/1/2011	10:09:13	352	850	539
16/1/2011	10:11:13	827	852	837
16/1/2011	10:13:13	819	841	833
16/1/2011	10:15:13	825	842	834
16/1/2011	10:17:13	794	840	819
16/1/2011	10:19:13	740	831	805
16/1/2011	10:21:13	753	844	809
16/1/2011	10:23:13	565	850	781
16/1/2011	10:25:13	825	844	835
16/1/2011	10:27:13	826	844	835
16/1/2011	10:29:13	786	837	811
16/1/2011	10:31:13	388	829	759
16/1/2011	10:33:13	354	819	572
16/1/2011	10:35:13	282	498	322
16/1/2011	10:37:13	248	282	258
16/1/2011	10:39:13	251	695	338
16/1/2011	10:41:13	430	852	643
16/1/2011	10:43:13	444	780	570
16/1/2011	10:45:13	435	900	661
16/1/2011	10:47:13	866	903	878
16/1/2011	10:49:13	878	949	917
16/1/2011	10:51:13	947	972	963
16/1/2011	10:53:13	913	989	968
16/1/2011	10:55:13	717	982	885
16/1/2011	10:57:13	775	970	907
16/1/2011	10:59:13	740	915	851
16/1/2011	11:01:13	854	961	923
16/1/2011	11:03:13	851	960	920
16/1/2011	11:05:13	851	924	903
16/1/2011	11:07:13	651	920	830
16/1/2011	11:09:13	908	936	929
16/1/2011	11:11:13	713	975	947
16/1/2011	11:13:13	572	968	854
16/1/2011	11:15:13	755	962	894
16/1/2011	11:17:13	631	922	801
16/1/2011	11:19:13	508	808	621
16/1/2011	11:21:13	481	648	517
16/1/2011	11:23:13	583	947	859
16/1/2011	11:25:13	502	904	609
16/1/2011	11:27:13	491	972	641

16/1/2011	11:29:13	586	1027	902
16/1/2011	11:31:13	657	1021	903
16/1/2011	11:33:13	413	948	626
16/1/2011	11:35:13	952	1010	993
16/1/2011	11:37:13	1010	1027	1021
16/1/2011	11:39:13	1027	1039	1032
16/1/2011	11:41:13	1020	1037	1025
16/1/2011	11:43:13	1020	1027	1025
16/1/2011	11:45:13	1007	1019	1012
16/1/2011	11:47:13	1009	1016	1012
16/1/2011	11:49:13	974	1009	993
16/1/2011	11:51:13	973	986	979
16/1/2011	11:53:13	437	976	705
16/1/2011	11:55:13	455	913	570
16/1/2011	11:57:13	921	1005	981
16/1/2011	11:59:13	990	1000	992
16/1/2011	12:01:13	987	994	991
16/1/2011	12:03:13	988	1001	997
16/1/2011	12:05:13	984	998	993
16/1/2011	12:07:13	956	985	968
16/1/2011	12:09:13	905	993	981
16/1/2011	12:11:13	573	960	790
16/1/2011	12:13:13	961	1010	995
16/1/2011	12:15:13	998	1011	1005
16/1/2011	12:17:13	995	1002	999
16/1/2011	12:19:13	995	1001	998
16/1/2011	12:21:13	992	1005	997
16/1/2011	12:23:13	979	993	984
16/1/2011	12:25:13	983	992	988
16/1/2011	12:27:13	980	992	986
16/1/2011	12:29:13	982	990	987
16/1/2011	12:31:13	980	993	987
16/1/2011	12:33:13	981	985	983
16/1/2011	12:35:13	964	985	974
16/1/2011	12:37:13	961	980	966
16/1/2011	12:39:13	977	987	981
16/1/2011	12:41:13	982	987	985
16/1/2011	12:43:13	985	996	990
16/1/2011	12:45:13	995	1006	1002
16/1/2011	12:47:13	973	1006	994
16/1/2011	12:49:13	957	973	965
16/1/2011	12:51:13	956	974	964
16/1/2011	12:53:13	972	980	976
16/1/2011	12:55:13	970	978	974

16/1/2011	12:57:13	976	979	977
16/1/2011	12:59:13	960	979	970
16/1/2011	13:01:13	939	960	951
16/1/2011	13:03:13	957	974	964
16/1/2011	13:05:13	967	978	972
16/1/2011	13:07:13	972	982	977
16/1/2011	13:09:13	960	973	965
16/1/2011	13:11:13	950	964	958
16/1/2011	13:13:13	950	955	952
16/1/2011	13:15:13	948	955	951
16/1/2011	13:17:13	950	958	954
16/1/2011	13:19:13	942	957	952
16/1/2011	13:21:13	935	941	938
16/1/2011	13:23:13	892	935	914
16/1/2011	13:25:13	892	924	911
16/1/2011	13:27:13	917	925	921
16/1/2011	13:29:13	925	934	930
16/1/2011	13:31:13	918	927	922
16/1/2011	13:33:13	915	925	920
16/1/2011	13:35:13	910	917	913
16/1/2011	13:37:13	911	927	919
16/1/2011	13:39:13	920	930	926
16/1/2011	13:41:13	922	938	931
16/1/2011	13:43:13	932	946	941
16/1/2011	13:45:13	920	935	925
16/1/2011	13:47:13	387	938	639
16/1/2011	13:49:13	330	383	338
16/1/2011	13:51:13	332	431	360
16/1/2011	13:53:13	421	895	704
16/1/2011	13:55:13	864	905	894
16/1/2011	13:57:13	860	865	862
16/1/2011	13:59:13	841	869	860
16/1/2011	14:01:13	822	840	827
16/1/2011	14:03:13	825	852	842
16/1/2011	14:05:13	852	860	856
16/1/2011	14:07:13	859	864	862
16/1/2011	14:09:13	853	859	856
16/1/2011	14:11:13	845	857	852
16/1/2011	14:13:13	834	847	844
16/1/2011	14:15:13	815	834	824
16/1/2011	14:17:13	801	829	811
16/1/2011	14:19:13	790	832	817
16/1/2011	14:21:13	790	832	813
16/1/2011	14:23:13	396	832	732

16/1/2011	14:25:13	327	389	342
16/1/2011	14:27:13	331	404	357
16/1/2011	14:29:13	355	714	560
16/1/2011	14:31:13	627	800	739
16/1/2011	14:33:13	801	819	813
16/1/2011	14:35:13	782	804	792
16/1/2011	14:37:13	772	782	778
16/1/2011	14:39:13	766	772	770
16/1/2011	14:41:13	763	766	765
16/1/2011	14:43:13	763	770	766
16/1/2011	14:45:13	766	770	767
16/1/2011	14:47:13	760	767	764
16/1/2011	14:49:13	741	762	751
16/1/2011	14:51:13	705	742	717
16/1/2011	14:53:13	711	721	718
16/1/2011	14:55:13	710	723	714
16/1/2011	14:57:13	643	730	723
16/1/2011	14:59:13	305	672	489
16/1/2011	15:01:13	564	697	664
16/1/2011	15:03:13	526	660	629
16/1/2011	15:05:13	265	612	351
16/1/2011	15:07:13	280	677	575
16/1/2011	15:09:13	517	670	632
16/1/2011	15:11:13	657	670	663
16/1/2011	15:13:13	662	682	675
16/1/2011	15:15:13	451	677	615
16/1/2011	15:17:13	238	447	296
16/1/2011	15:19:13	229	237	233
16/1/2011	15:21:13	224	229	227
16/1/2011	15:23:13	223	537	335
16/1/2011	15:25:13	540	607	595
16/1/2011	15:27:13	567	612	593
16/1/2011	15:29:13	575	607	602
16/1/2011	15:31:13	602	616	611
16/1/2011	15:33:13	592	606	601
16/1/2011	15:35:13	589	592	591
16/1/2011	15:37:13	588	591	590
16/1/2011	15:39:13	585	591	588
16/1/2011	15:41:13	577	586	581
16/1/2011	15:43:13	572	577	574
16/1/2011	15:45:13	566	575	572
16/1/2011	15:47:13	554	566	561
16/1/2011	15:49:13	551	553	552
16/1/2011	15:51:13	543	552	547

16/1/2011	15:53:13	218	544	400
16/1/2011	15:55:13	187	216	192
16/1/2011	15:57:13	185	187	186
16/1/2011	15:59:13	182	185	183
16/1/2011	16:01:13	183	484	327
16/1/2011	16:03:13	485	494	489
16/1/2011	16:05:13	481	486	483
16/1/2011	16:07:13	470	483	479
16/1/2011	16:09:13	455	470	462
16/1/2011	16:11:13	448	455	451
16/1/2011	16:13:13	442	449	446
16/1/2011	16:15:13	433	442	437
16/1/2011	16:17:13	425	434	429
16/1/2011	16:19:13	420	425	422
16/1/2011	16:21:13	410	421	417
16/1/2011	16:23:13	401	410	405
16/1/2011	16:25:13	395	401	398
16/1/2011	16:27:13	390	395	392
16/1/2011	16:29:13	376	390	382
16/1/2011	16:31:13	367	376	371
16/1/2011	16:33:13	360	367	363
16/1/2011	16:35:13	352	360	356
16/1/2011	16:37:13	345	351	348
16/1/2011	16:39:13	339	345	342
16/1/2011	16:41:13	330	339	335
16/1/2011	16:43:13	320	330	326
16/1/2011	16:45:13	310	320	314
16/1/2011	16:47:13	301	310	306
16/1/2011	16:49:13	293	301	297
16/1/2011	16:51:13	285	293	290
16/1/2011	16:53:13	272	285	278
16/1/2011	16:55:13	265	272	268
16/1/2011	16:57:13	257	265	260
16/1/2011	16:59:13	250	257	254
16/1/2011	17:01:13	236	250	244
16/1/2011	17:03:13	229	236	233
16/1/2011	17:05:13	224	229	226
16/1/2011	17:07:13	217	224	221
16/1/2011	17:09:13	204	217	210
16/1/2011	17:11:13	192	204	198
16/1/2011	17:13:13	184	192	188
16/1/2011	17:15:13	178	184	181
16/1/2011	17:17:13	171	178	175
16/1/2011	17:19:13	163	171	168

16/1/2011	17:21:13	156	163	159
16/1/2011	17:23:13	150	156	154
16/1/2011	17:25:13	145	150	148
16/1/2011	17:27:13	138	145	141
16/1/2011	17:29:13	132	138	135
16/1/2011	17:31:13	126	132	129
16/1/2011	17:33:13	120	126	123
16/1/2011	17:35:13	110	120	115
16/1/2011	17:37:13	100	110	104
16/1/2011	17:39:13	88	100	92
16/1/2011	17:41:13	82	87	85
16/1/2011	17:43:13	77	82	79
16/1/2011	17:45:13	69	77	73
16/1/2011	17:47:13	62	69	66
16/1/2011	17:49:13	59	62	61
16/1/2011	17:51:13	59	60	60
16/1/2011	17:53:13	59	60	60
16/1/2011	17:55:13	56	60	58
16/1/2011	17:57:13	53	56	55
16/1/2011	17:59:13	49	53	51
16/1/2011	18:01:13	44	49	46
16/1/2011	18:03:13	39	44	41
16/1/2011	18:05:13	34	39	36
16/1/2011	18:07:13	30	34	32
16/1/2011	18:09:13	27	31	29
16/1/2011	18:11:13	23	27	25
16/1/2011	18:13:13	20	23	21
16/1/2011	18:15:13	16	20	18
16/1/2011	18:17:13	13	16	15
16/1/2011	18:19:13	10	13	12
16/1/2011	18:21:13	8	10	9
16/1/2011	18:23:13	6	8	7
16/1/2011	18:25:13	3	6	5
16/1/2011	18:27:13	1	3	2
16/1/2011	18:29:13	0	1	0
16/1/2011	18:31:13	0	0	0
16/1/2011	18:33:13	0	0	0
16/1/2011	18:35:13	0	0	0
16/1/2011	18:37:13	0	0	0
16/1/2011	18:39:13	0	0	0
16/1/2011	18:41:13	0	0	0
16/1/2011	18:43:13	0	0	0
16/1/2011	18:45:13	0	0	0
16/1/2011	18:47:13	0	0	0

16/1/2011	18:49:13	0	0	0
16/1/2011	18:51:13	0	0	0
16/1/2011	18:53:13	0	0	0
16/1/2011	18:55:13	0	0	0
16/1/2011	18:57:13	0	0	0
16/1/2011	18:59:13	0	0	0
16/1/2011	19:01:13	0	0	0
16/1/2011	19:03:13	0	0	0
16/1/2011	19:05:13	0	0	0
16/1/2011	19:07:13	0	0	0
16/1/2011	19:09:13	0	0	0
16/1/2011	19:11:13	0	0	0
16/1/2011	19:13:13	0	0	0
16/1/2011	19:15:13	0	0	0
16/1/2011	19:17:13	0	0	0
16/1/2011	19:19:13	0	0	0
16/1/2011	19:21:13	0	0	0
16/1/2011	19:23:13	0	0	0
16/1/2011	19:25:13	0	0	0
16/1/2011	19:27:13	0	0	0
16/1/2011	19:29:13	0	0	0
16/1/2011	19:31:13	0	0	0
16/1/2011	19:33:13	0	0	0
16/1/2011	19:35:13	0	0	0
16/1/2011	19:37:13	0	0	0
16/1/2011	19:39:13	0	0	0
16/1/2011	19:41:13	0	0	0
16/1/2011	19:43:13	0	0	0
16/1/2011	19:45:13	0	0	0
16/1/2011	19:47:13	0	0	0
16/1/2011	19:49:13	0	0	0
16/1/2011	19:51:13	0	0	0
16/1/2011	19:53:13	0	0	0
16/1/2011	19:55:13	0	0	0
16/1/2011	19:57:13	0	0	0
16/1/2011	19:59:13	0	0	0
16/1/2011	20:01:13	0	0	0
16/1/2011	20:03:13	0	0	0
16/1/2011	20:05:13	0	0	0
16/1/2011	20:07:13	0	0	0
16/1/2011	20:09:13	0	0	0
16/1/2011	20:11:13	0	0	0
16/1/2011	20:13:13	0	0	0
16/1/2011	20:15:13	0	0	0

16/1/2011	20:17:13	0	0	0
16/1/2011	20:19:13	0	0	0
16/1/2011	20:21:13	0	0	0
16/1/2011	20:23:13	0	0	0
16/1/2011	20:25:13	0	0	0
16/1/2011	20:27:13	0	0	0
16/1/2011	20:29:13	0	0	0
16/1/2011	20:31:13	0	0	0
16/1/2011	20:33:13	0	0	0
16/1/2011	20:35:13	0	0	0
16/1/2011	20:37:13	0	0	0
16/1/2011	20:39:13	0	0	0
16/1/2011	20:41:13	0	0	0
16/1/2011	20:43:13	0	0	0
16/1/2011	20:45:13	0	0	0
16/1/2011	20:47:13	0	0	0
16/1/2011	20:49:13	0	0	0
16/1/2011	20:51:13	0	0	0
16/1/2011	20:53:13	0	0	0
16/1/2011	20:55:13	0	0	0
16/1/2011	20:57:13	0	0	0
16/1/2011	20:59:13	0	0	0
16/1/2011	21:01:13	0	0	0
16/1/2011	21:03:13	0	0	0
16/1/2011	21:05:13	0	0	0
16/1/2011	21:07:13	0	0	0
16/1/2011	21:09:13	0	0	0
16/1/2011	21:11:13	0	0	0
16/1/2011	21:13:13	0	0	0
16/1/2011	21:15:13	0	0	0
16/1/2011	21:17:13	0	0	0
16/1/2011	21:19:13	0	0	0
16/1/2011	21:21:13	0	0	0
16/1/2011	21:23:13	0	0	0
16/1/2011	21:25:13	0	0	0
16/1/2011	21:27:13	0	0	0
16/1/2011	21:29:13	0	0	0
16/1/2011	21:31:13	0	0	0
16/1/2011	21:33:13	0	0	0
16/1/2011	21:35:13	0	0	0
16/1/2011	21:37:13	0	0	0
16/1/2011	21:39:13	0	0	0
16/1/2011	21:41:13	0	0	0
16/1/2011	21:43:13	0	0	0

16/1/2011	21:45:13	0	0	0
16/1/2011	21:47:13	0	0	0
16/1/2011	21:49:13	0	0	0
16/1/2011	21:51:13	0	0	0
16/1/2011	21:53:13	0	0	0
16/1/2011	21:55:13	0	0	0
16/1/2011	21:57:13	0	0	0
16/1/2011	21:59:13	0	0	0
16/1/2011	22:01:13	0	0	0
16/1/2011	22:03:13	0	0	0
16/1/2011	22:05:13	0	0	0
16/1/2011	22:07:13	0	0	0
16/1/2011	22:09:13	0	0	0
16/1/2011	22:11:13	0	0	0
16/1/2011	22:13:13	0	0	0
16/1/2011	22:15:13	0	0	0
16/1/2011	22:17:13	0	0	0
16/1/2011	22:19:13	0	0	0
16/1/2011	22:21:13	0	0	0
16/1/2011	22:23:13	0	0	0
16/1/2011	22:25:13	0	0	0
16/1/2011	22:27:13	0	0	0
16/1/2011	22:29:13	0	0	0
16/1/2011	22:31:13	0	0	0
16/1/2011	22:33:13	0	0	0
16/1/2011	22:35:13	0	0	0
16/1/2011	22:37:13	0	0	0
16/1/2011	22:39:13	0	0	0
16/1/2011	22:41:13	0	0	0
16/1/2011	22:43:13	0	0	0
16/1/2011	22:45:13	0	0	0
16/1/2011	22:47:13	0	0	0
16/1/2011	22:49:13	0	0	0
16/1/2011	22:51:13	0	0	0
16/1/2011	22:53:13	0	0	0
16/1/2011	22:55:13	0	0	0
16/1/2011	22:57:13	0	0	0
16/1/2011	22:59:13	0	0	0
16/1/2011	23:01:13	0	0	0
16/1/2011	23:03:13	0	0	0
16/1/2011	23:05:13	0	0	0
16/1/2011	23:07:13	0	0	0
16/1/2011	23:09:13	0	0	0
16/1/2011	23:11:13	0	0	0

16/1/2011	23:13:13	0	0	0
16/1/2011	23:15:13	0	0	0
16/1/2011	23:17:13	0	0	0
16/1/2011	23:19:13	0	0	0
16/1/2011	23:21:13	0	0	0
16/1/2011	23:23:13	0	0	0
16/1/2011	23:25:13	0	0	0
16/1/2011	23:27:13	0	0	0
16/1/2011	23:29:13	0	0	0
16/1/2011	23:31:13	0	0	0
16/1/2011	23:33:13	0	0	0
16/1/2011	23:35:13	0	0	0
16/1/2011	23:37:13	0	0	0
16/1/2011	23:39:13	0	0	0
16/1/2011	23:41:13	0	0	0
16/1/2011	23:43:13	0	0	0
16/1/2011	23:45:13	0	0	0
16/1/2011	23:47:13	0	0	0
16/1/2011	23:49:13	0	0	0
16/1/2011	23:51:13	0	0	0
16/1/2011	23:53:13	0	0	0
16/1/2011	23:55:13	0	0	0
16/1/2011	23:57:13	0	0	0
16/1/2011	23:59:13	0	0	0



ภาคผนวก ก.2

แสดงผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล Sunny Data Control

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบระบบ PV Hybrid system โดยใช้ Sunny Boy Control เป็นตัวบันทึกข้อมูล

ลำดับเวลา	เซลล์แสงอาทิตย์ PV				Inverter					Load
	Vpv	Ipv	Ipv	Ppv	Vac	Iac	Pac	Pac	Ptotal	Pload
Time	(V)	(mA)	(A)	(W)	(V)	(A)	(kW)	(W)	(W)	(W)
0:00:00	0	0	0	0	229.9	3.1	0.7	700.1	712.712	700
0:15:00	0	0	0	0	229.9	3.1	0.7	700.1	712.712	700
0:30:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2308.78	700
0:45:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2308.78	700
1:00:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2308.78	700
1:15:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
1:30:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
1:45:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
2:00:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
2:15:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
2:30:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
2:45:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
3:00:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
3:15:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
3:30:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
3:45:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
4:00:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
4:15:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
4:30:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
4:45:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
5:00:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
5:15:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
5:30:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
5:45:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
6:00:00	0	0	0	0	210.2	7.8	-1.6	-1599.9	2248.78	600
7:00:00	0	0	0	0	229.9	3.2	0.7	700.1	735.702	600
8:00:00	0	0	0	0	229.9	1.0	0.1	100.1	229.922	700
8:15:00	150	7380	7.38	830	229.9	0.8	0.0	0.1	183.942	400
8:30:00	180	6638	6.638	930	229.9	1.7	-0.4	-399.9	390.852	400
8:45:00	223	5479	5.479	995	229.8	2.9	-0.6	-599.9	666.442	400
9:00:00	237	5143	5.143	998	229.9	3.2	-0.7	-699.9	735.702	400

9:15:00	237	5053	5.053	998.78	229.9	3.2	-0.7	-699.9	735.702	300
9:30:00	255	4774	4.774	992.03	229.8	3.2	-0.7	-699.9	735.382	300
9:45:00	281	1050	1.05	295.05	229.9	3.1	-0.7	-699.9	712.712	300
10:00:00	284	1576	1.576	447.584	229.9	3.2	-0.7	-699.9	735.702	300
10:15:00	290	1495	1.495	433.55	229.9	1.8	0.1	100.1	413.842	300
10:30:00	291	1556	1.556	452.796	229.9	2.1	-0.1	-99.9	482.812	300
10:45:00	297	743	0.743	220.671	229.9	2.0	0.0	0.1	459.822	300
11:00:00	292	2177	2.177	635.684	229.9	2.1	-0.1	-99.9	482.812	300
11:15:00	295	909	0.909	268.155	229.8	1.8	0.1	100.1	413.662	300
11:30:00	291	2060	2.06	599.46	229.8	2.4	-0.3	-299.9	551.542	300
11:45:00	295	942	0.942	277.89	229.9	1.9	0.0	0.1	436.832	300
12:00:00	292	1769	1.769	516.548	229.9	2.4	-0.2	-199.9	551.782	300
12:15:00	293	1461	1.461	428.073	229.9	1.7	0.1	100.1	390.852	300
12:30:00	289	1906	1.906	550.834	229.8	2.2	-0.2	-199.9	505.582	300
12:45:00	289	1418	1.418	409.802	229.8	2.2	-0.1	-99.9	505.582	300
13:00:00	291	1105	1.105	321.555	229.9	2.3	-0.2	-199.9	528.792	300
13:15:00	279	1818	1.818	507.222	229.9	2.1	-0.1	-99.9	482.812	300
13:30:00	280	1167	1.167	326.76	229.9	1.9	0.0	0.1	436.832	300
13:45:00	268	2266	2.266	607.288	229.9	2.1	-0.2	-199.9	482.812	300
14:00:00	269	1665	1.665	447.885	229.9	1.9	0.0	0.1	436.832	300
14:15:00	256	2371	2.371	606.976	229.9	2.5	-0.3	-299.9	574.772	300
14:30:00	256	1276	1.276	326.656	229.9	2.0	0.0	0.1	459.822	300
14:45:00	228	2751	2.751	627.228	229.9	2.4	-0.2	-199.9	551.782	300
15:00:00	228	2002	2.002	456.456	229.9	1.9	0.0	0.1	436.832	300
15:15:00	174	4778	4.778	831.372	229.9	2.3	-0.2	-199.9	528.792	300
15:30:00	173	3699	3.699	639.927	229.9	2.0	0.0	0.1	459.822	300
15:45:00	140	4679	4.679	655.06	229.9	2.4	-0.3	-299.9	551.782	300
16:00:00	141	3556	3.556	501.396	229.9	1.9	-0.1	-99.9	436.832	300
16:15:00	140	2321	2.321	324.94	229.9	1.7	-0.3	-299.9	390.852	300
16:30:00	140	771	0.771	107.94	229.9	1.3	-0.1	-99.9	298.892	300
16:45:00	129	57	0.057	7.353	229.9	1.1	0.0	0.1	252.912	300
17:00:00	104	0	0	0	229.9	1.5	0.1	100.1	344.872	300
17:15:00	68	0	0	0	229.9	1.5	0.2	200.1	344.872	300
17:30:00	68	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
17:45:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
18:00:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
18:15:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
18:30:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
18:45:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
19:00:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
19:15:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
19:30:00	0	0	0	0	229.9	1.5	0.3	300.1	344.872	300
19:45:00	0	0	0	0	229.8	1.5	0.3	300.1	344.722	300
20:00:00	0	0	0	0	214.3	7.8	-1.7	-1699.9	1671.56	300

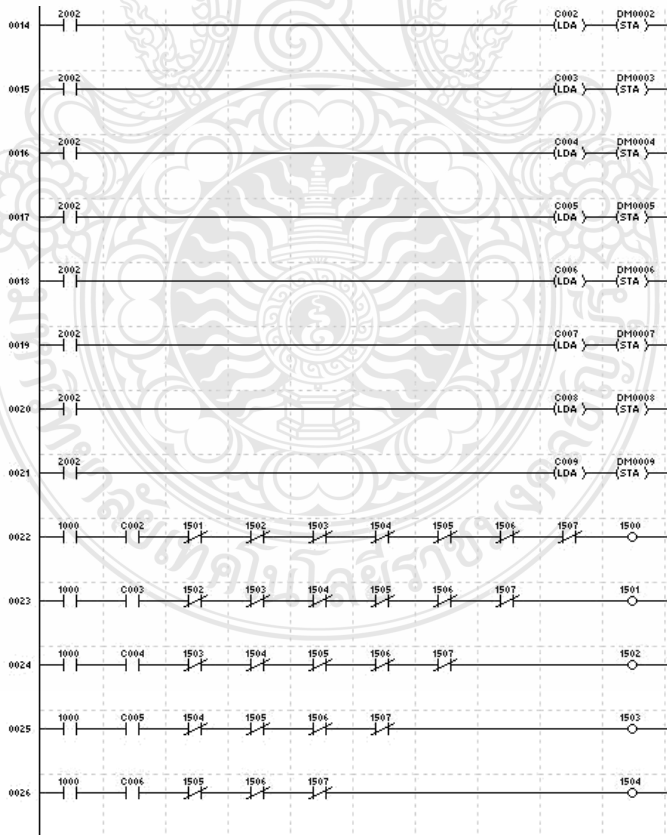
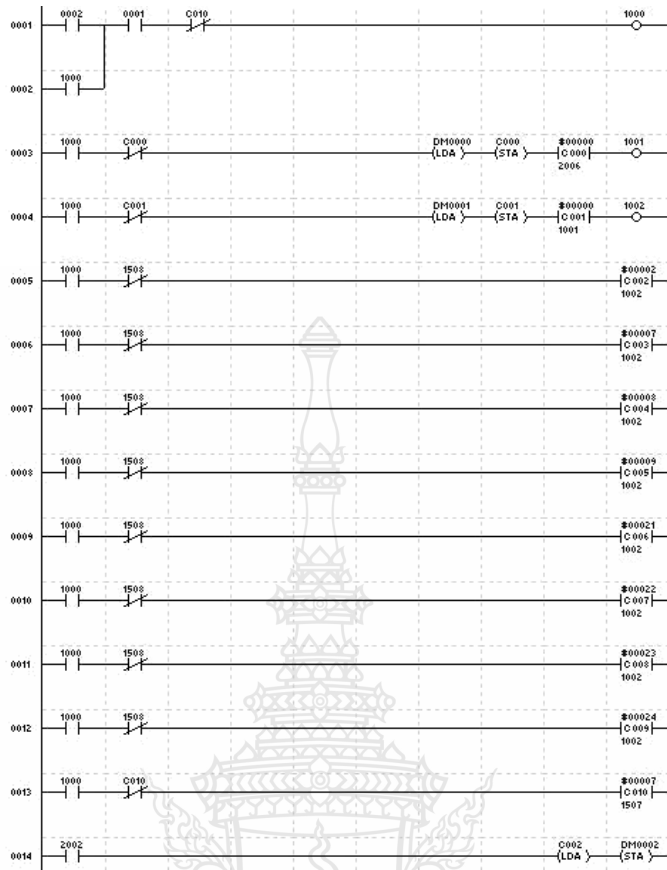
20:15:00	0	0	0	0	214.8	7.5	-1.6	-1599.9	1611.02	1000
20:30:00	0	0	0	0	227.0	2.3	-0.1	-99.9	522.122	1000
20:45:00	0	0	0	0	229.9	3.8	0.8	800.1	873.642	1000
21:00:00	0	0	0	0	222.5	5.8	-0.1	-99.9	1290.52	1000
21:15:00	0	0	0	0	210.8	7.1	-1.5	-1499.9	1496.7	800
21:30:00	0	0	0	0	229.9	4.5	1.0	1000.1	1034.57	800
21:45:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	800
22:00:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	800
22:15:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	900
22:30:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	900
22:45:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	900
23:00:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	900
23:15:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	700
23:30:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	700
23:45:00	0	0	0	0	224.2	5.0	0.1	100.1	1121.02	700

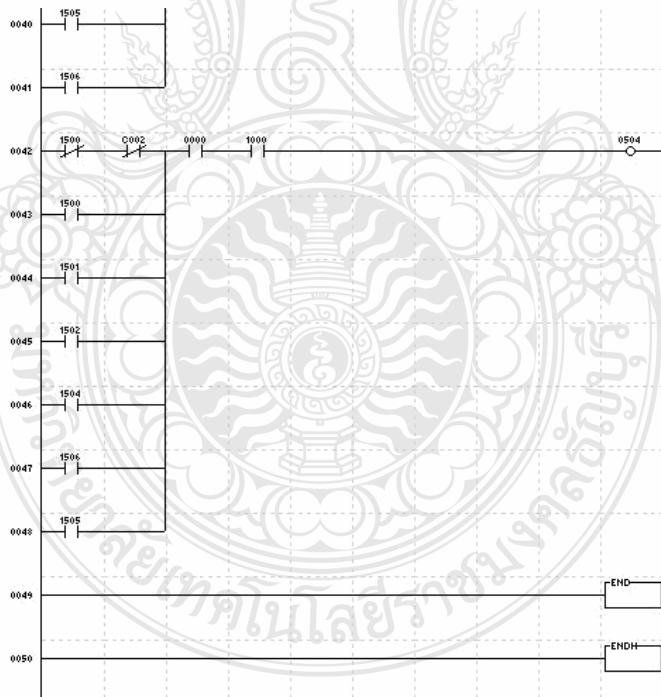
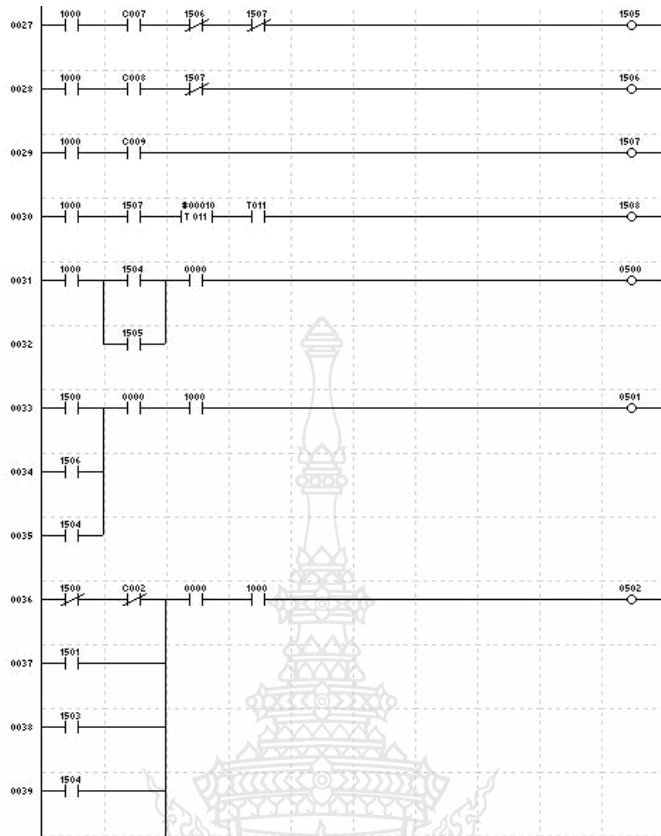


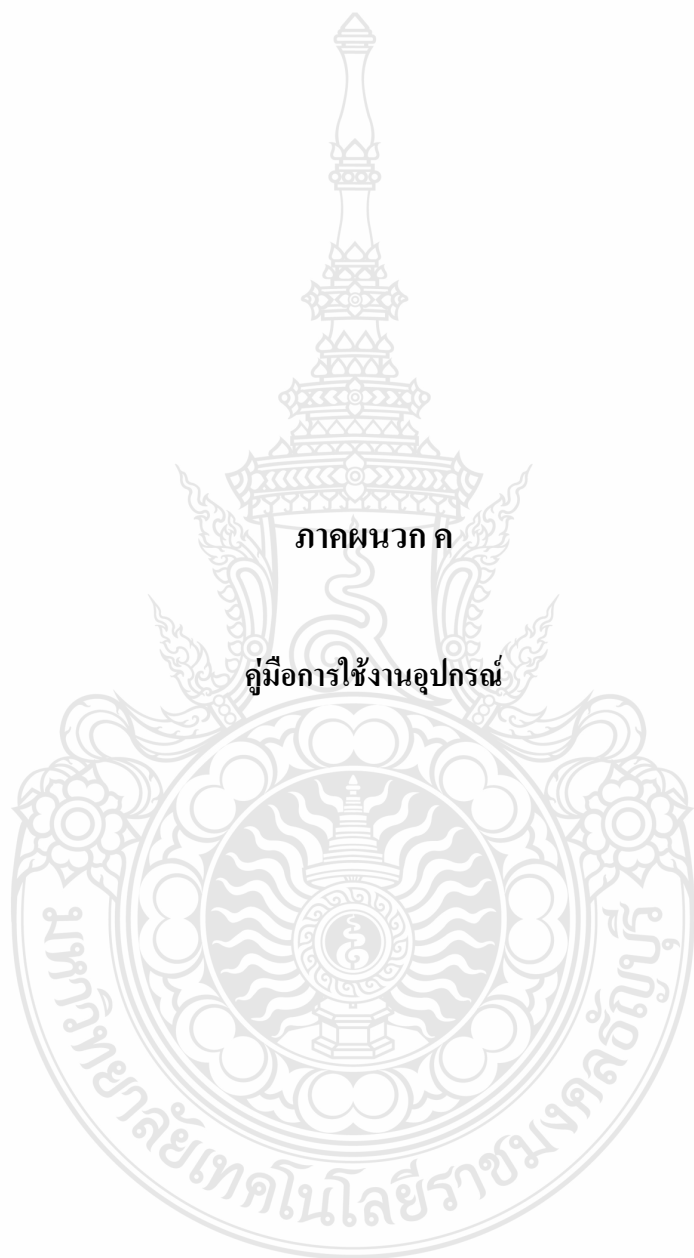
ภาคผนวก ข

โปรแกรมของ Programmable Logic Controller







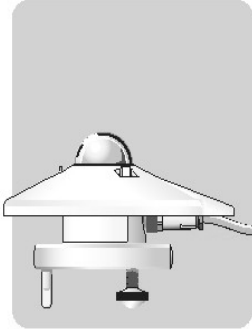


ภาคผนวก ค

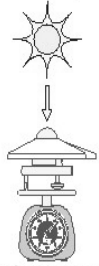
คู่มือการใช้งานอุปกรณ์

INSTRUCTION SHEET
ANLEITUNG • FEUILLE D'INSTRUCTIONS • HOJA DE INSTRUCCIONES

CMP 3
Pyranometer



◀ 4000 W/m²



0.6 kg (Albedo 1.9 kg)



max. 80°C / 176°F
min. -40°C / -40°F



Kipp & Zonen B.V.
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands
T: +31 (0) 15 2755 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com
www.kippzonen.com



IP 67 CE

USER INFORMATION • ANWENDERINFORMATION •
INFORMATION UTILISATEUR • INFORMACIÓN PARA EL USUARIO

Read this document carefully before installation.

Warranty is 2 years from date of invoice, subject to correct installation and use. Kipp & Zonen accepts no liability for any loss or damages arising from incorrect use of the product. This device conforms to the EU 'CE' guideline 89/336/EEC 73/23/EEC. Unauthorised modifications may void the warranty and CE validity. For the latest product support information visit our website.

Lesen Sie dieses Dokument sorgfältig vor der Installation

Die Garantie beträgt 2 Jahre ab dem Rechnungsdatum, abhängig von korrekter Installation und Gebrauch. Kipp & Zonen übernimmt keine Haftung für mögliche Verluste oder Beschädigungen, die durch den falschen Gebrauch des Produktes entstehen. Dieses Produkt entspricht der EU 'CE' Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC. Nicht autorisierte Änderungen können die Garantie und die CE-Konformität aufheben. Die neuesten Produktinformationen finden Sie auf unserer Internetseite.

Lisez ce document soigneusement avant installation

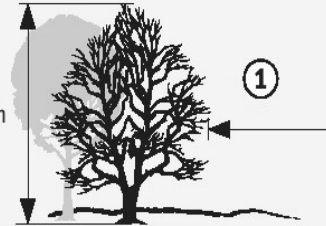
La garantie est de 2 ans à dater de la facture, pour une installation et une utilisation correctes. Kipp & Zonen n'accepte aucune responsabilité quant à la perte ou dommage résultant d'une utilisation incorrecte du produit. Ce dispositif est conforme à la directive EU "CE" 89/336/EEC 73/23/EEC. Toutes modifications non autorisées peuvent annuler la garantie et la validité CE. Consultez notre website pour tout renseignement "support produit".

Lea este documento cuidadosamente antes de la instalación.

La garantía es de 2 años contados desde de la fecha de adquisición y está condicionada a una instalación y utilización correctas. Kipp & Zonen no acepta ninguna responsabilidad por pérdida o daños resultantes de un uso incorrecto del producto. Este dispositivo es conforme con las directrices 89/336/EEC 73/23/EEC de 'CE' y de la EU. Las modificaciones no autorizadas pueden anular la garantía y la validez CE. Para obtener la última de la información de soporte del producto les rogamos visiten nuestro website.

© 2010 Kipp & Zonen B.V.

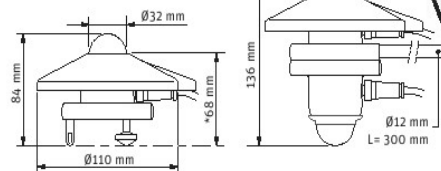
ALL RIGHTS RESERVED
ALLE RECHTE VORBEHALTEN
TOUS DROITS RÉSERVÉS
RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS



0338321-V1001

* = SENSOR HEIGHT

SENSOR HÖHE • HAUTEUR DE CAPTEUR • ALTURA DEL SENSOR



SPECIFICATIONS

SPEZIFIKATIONEN • SPÉCIFICATIONS • ESPECIFICACIONES

Specification	Value	Value
Spectral range Spektralbereich • Gamme spectrale • Rango espectral	@ 95 %	310 to 2800 nm
Response time Ansprechzeit • Temps de réponse • Tiempo de respuesta	< 2.5 %	< 18 s
Non-linearity Nichtlinearität • Non-linéarité • No - linealidad	0 to 1000 W/m ²	< 2.5 %
Temperature dependence of sensitivity Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit Dépendance en température de la sensibilité Temperatura dependiente de la sensibilidad	-40°C to +40°C +40°C to +80°C	< 5 % < 10 %
Directional error Richtungsfehler • Erreur directionnelle • Error direccional	0° to 80°	< 20 W/m ²
Tilt error Neigungsfehler • Erreur d'inclinaison • Error de inclinación	@ 1000 W/m ²	< 2 %
Zero offsets Null-Offset • Zéro offsets • Offsets de Cero	A: 200 W/m ² FIR B: dT = 5 K/h	A: < 15 W/m ² B: < 5 W/m ²
Sensitivity change per year Jährliche Stabilitätsabweichung Instabilité par an Variación anual de la Sensibilidad		< 1 %
Uncertainty in daily total Messunsicherheit der täglichen Summen Incertidumbre sur le total journalier Incertidumbre total diaria		< 10 %

1 Radiometer
Radiometer
Radiomètre
Radiómetro



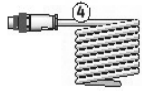
2 Sun screen
Sonnenschirm
Écran solaire
Pantalla solar



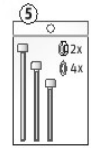
3 Test reports
Prüfberichte
Rapports des essais
Informes de prueba



4 Cable
Kabel
Câble
Cable

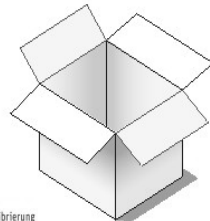
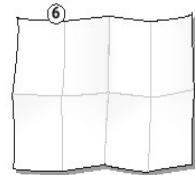


5 Pyranometer Fixing Kit
Pyranometer Befestigungssatz
Kit de fixation du pyranomètre
Kit de fijación para el Piranómetro



6 Instruction sheet
Anleitung
Feuille d'instructions
Hoja de instrucciones

M5 x 30 (2x)
M5 x 40 (2x)
M5 x 50 (2x)



Keep original packaging for recalibration
Verahren Sie die Originalverpackung für den Versand zur Rekalibrierung
Gardez l'emballage original pour le recalibrage
Guarde el embalaje original para la recalibración

DELIVERY CONTENTS
LIEFERUMFANG • CONTENU DE LA LIVRAISON • CONTENIDO DEL SUMINISTRO

SPECIFICATIONS
SPEZIFIKATIONEN • SPÉCIFICATIONS • ESPECIFICACIONES

MECHANICAL MECHANISCH • MECANIQUE • MECÁNICA **INSTALLATION** INSTALLATION • INSTALLATION • INSTALACION **ELECTRICAL** ELEKTRISCH • ÉLECTRIQUE • ELÉCTRICA

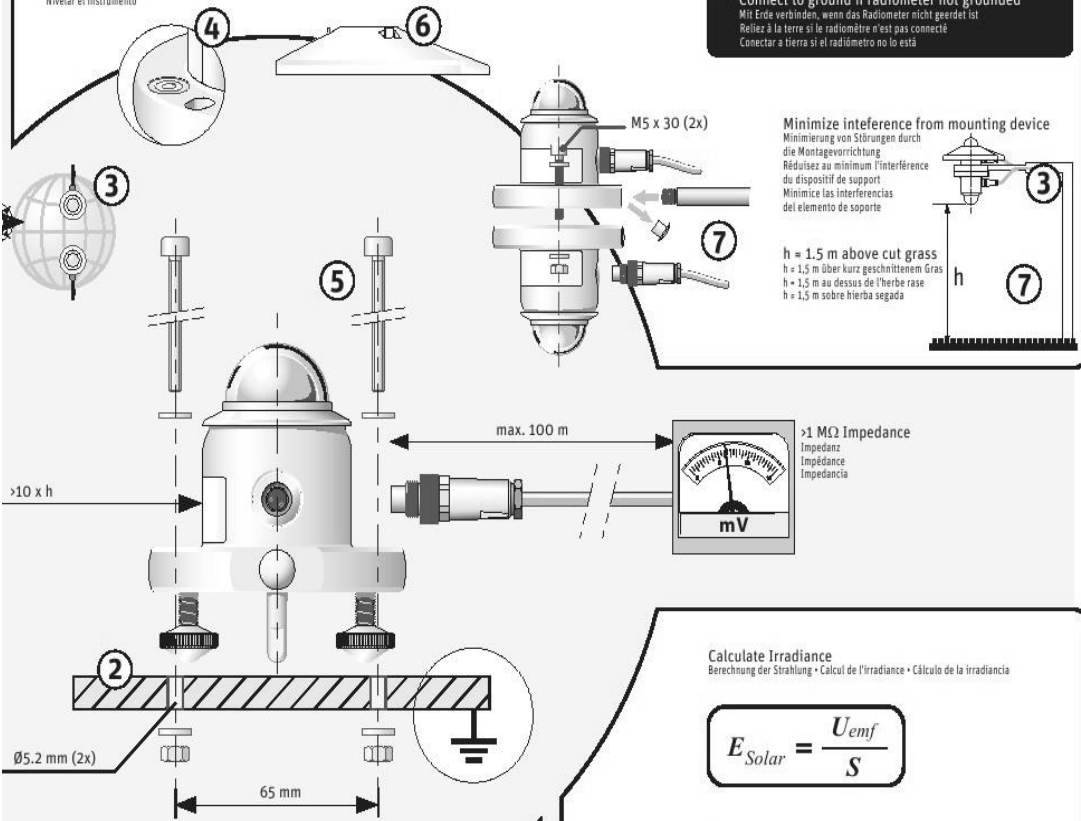
- ① **Unobstructed horizon**
Freier Horizont
Horizon non obstrué
Horizonte sin obstáculo
- ② **Solid surface**
Feste Oberfläche
Surface solide
Superficie sólida
- ③ **Point cable towards nearest pole**
Kabelausrichtung zum nächsten Pol
Pointez le câble vers le pôle le plus proche
Orientar el cable hacia el polo más próximo
- ④ **Level instrument**
Nivellieren Sie den Sensor
Instrument de niveau
Nivelar el instrumento
- ⑤ **Mount with screws, washers and nuts**
Montage mit Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben
Montez avec les vis, anneaux et écrous
Montaje con los tornillos, arandelas y tuercas
- ⑥ **Mount sun screen**
Montage des Sonnenschirmes
Montez l'écran solaire
Montar de pantalla de sol
- ⑦ **Albedo set-up**
AlbedoEinstellung
Installation d'albedo
Ajuste del albedo



Pin Layout (Instrument)
Steckerbelegung
Schéma des connexions
Diagrama de conexiones

PYRANOMETER CONNECTION		
ANSCHLUSS • RACCORDÉMENT • CONEXIÓN		
Wire Kabel Fil Cable	Function Funktion Fonction Función	Connect with Anschluss an Relier à Conectar con
1 Red Rot • Rouge • Rojo	+	+ (Hi)
2 Blue Blau • Bleu • Azul	-	- (Lo)
Shield Abschirmung Protection Malla	Housing Gehäuse Boîte Cubierta	Ground * Erde Terre Tierra

* Connect to ground if radiometer not grounded
Mit Erde verbinden, wenn das Radiometer nicht geerdet ist
Reliez à la terre si le radiomètre n'est pas connecté
Conectar a tierra si el radiómetro no lo está



Reading reduced if dome is not clean
Messwert verringert sich, wenn Dom nicht sauber ist
La lecture est réduite si le dôme n'est pas propre
La señal se vera reducida si la cúpula no está limpia

- ① **Keep dome clean using water or alcohol**
Säubern Sie den Dom regelmäßig mit Wasser oder Spiritus
Nettoyer le dôme avec de l'eau ou alcool
Mantenga la cúpula limpia utilizando agua o alcohol
- ② **Keep instrument levelled**
Achten Sie darauf, dass der Sensor immer korrekt nivelliert ist
Maintenez l'instrument à niveau
Mantenga el instrumento nivelado
- ③ **Recalibrate every 2 years**
Lassen Sie den Sensor alle 2 Jahre recalibrieren
Recalibrez tous les 2 ans
Recalibrar cada 2 años

Calculate Irradiance
Berechnung der Strahlung • Calcul de l'irradiance • Cálculo de la irradiancia

$$E_{Solar} = \frac{U_{emf}}{S}$$

E_{Solar} [W/m²] = Irradiance
Strahlungsstärke • Rayonnement • Irradiación
 U_{emf} [μV] = Output Voltage
Ausgangsspannung • Sortie tension • Voltaje de salida
 S [$\frac{\mu V}{W/m^2}$] = Sensitivity
Empfindlichkeit • Sensibilité • Sensibilidad

Typical Values
Typische Werte • Valeurs types • Valores típicos

Fully cloudy Bewölkt Très nuageux Totalmente Nublado	Sunny, partly cloudy Sonnig, teils bewölkt Ensoleillé, un peu nuageux Parcialmente nublado	Clear and Sunny Klarer Himmel und sonnig Clair et ensoleillé Cielo despejado
50 ... 120 W/m ²	120 ... 500 W/m ²	500 ... 1000 W/m ²

MAINTENANCE
WARTUNG • ENTRETIEN • MANTENIMIENTO

MEASUREMENT
MESSUNG • MESURE • MEDIDA

PV- simulator is already adjusted to
power supply SM 300-20-P154-P219

DELTA ELEKTRONIKA BV



P.O. BOX 27
4300 AA ZIERIKZEE
NETHERLANDS
TEL +31 111 413656
FAX +31 111 416919
www.DeltaPowerSupplies.com



**HIGH SPEED PROGRAMMING OPTIONS
FOR SM800, SM1500, SM3000 and SM6000**

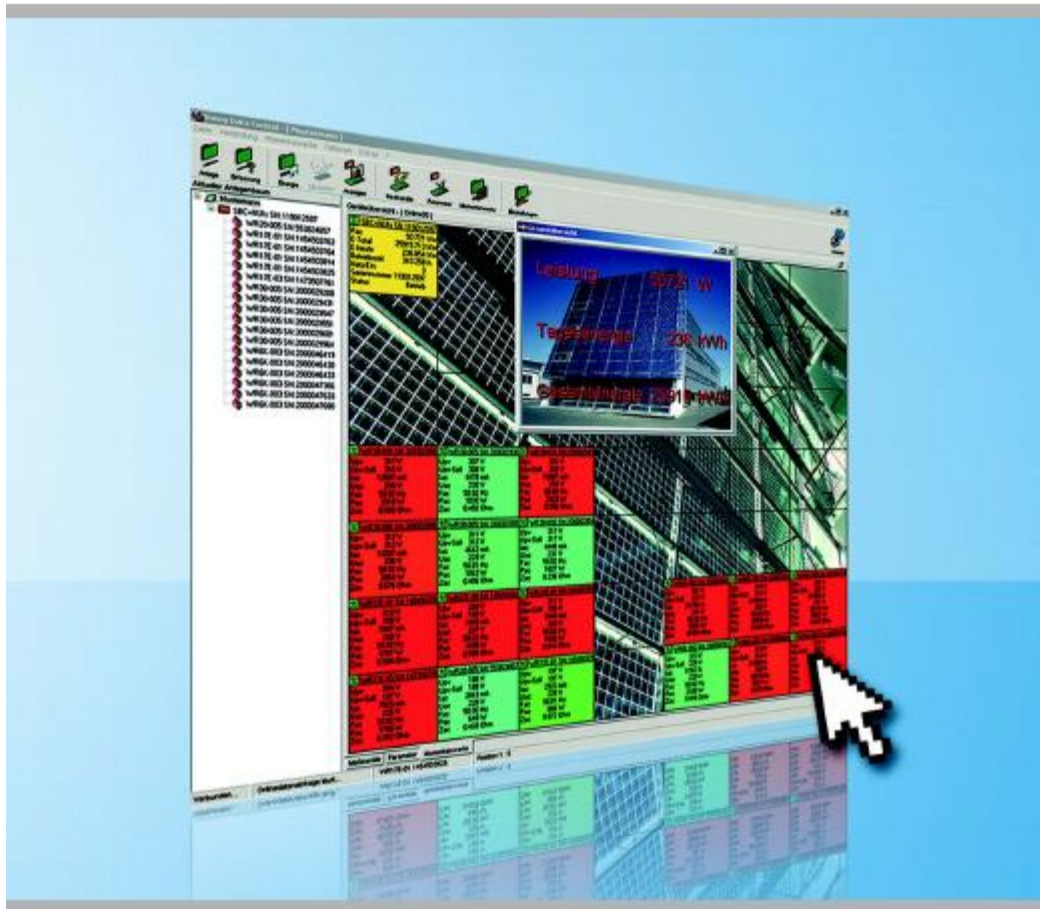
- Programming speed about 10 - 20 times faster (compared with standard versions)
- Low output capacitance

SM6000-series (6000 watt)			
SM 15-400	Option P166	0 - 15 V	0 - 400 A
SM 30-200	Option P167	0 - 30 V	0 - 200 A
SM 45-140	Option P168	0 - 45 V	0 - 140 A
SM 60-100	Option P169	0 - 60 V	0 - 100 A
SM 70-90	Option P170	0 - 70 V	0 - 90 A
SM 120-50	Option P171	0 - 120 V	0 - 50 A
SM 300-20	Option P172	0 - 300 V	0 - 20 A
SM 600-10	Option P270	0 - 600 V	0 - 10 A

SM6000								
Programming speed <i>High Speed Version</i>	SM 15-400 <i>option P166</i>	SM 30-200 <i>option P167</i>	SM 45-140 <i>option P168</i>	SM 60-100 <i>option P169</i>	SM 70-90 <i>option P170</i>	SM 120-50 <i>option P171</i>	SM 300-20 <i>option P172</i>	SM 600-10 <i>option P270</i>
CV-mode, resistive load								
Rise time (10 - 90%) output voltage step time, (100 % load) time, (10 % load)	0 → 15V 0.40 ms 0.38 ms	0 → 30V 0.41 ms 0.38 ms	0 → 45V 0.53 ms 0.16 ms	0 → 60V 0.44 ms 0.41 ms	0 → 70V 0.62 ms 0.40 ms	0 → 120V 0.57 ms 0.19 ms	0 → 300V 1.1 ms 0.44 ms	0 → 600V 1.9ms 0.80ms
Fall time (90 - 10%) output voltage step time, (100 % load) time, (10 % load)	15 → 0V 0.39 ms 1.5 ms	30 → 0V 0.41 ms 3.6 ms	45 → 0V 0.26 ms 10 ms	60 → 0V 0.57 ms 5.6 ms	70 → 0V 0.50ms 6.2ms	120 → 0V 0.38 ms 4.2 ms	300 → 0V 1.0 ms 10 ms	600 → 0V 2.2ms 20ms
Ripple @ full load typical (rms / pp)	6/20 mV	28/80mV	34 / 80mV	34/90mV	38/100mV	30/120mV	48 /150mV	35/220mV
Recovery time @ 50 - 100% load step typical time	100µs	100µs	100µs	100µs	100µs	100µs	100µs	100µs
Output Capacitance (typical)	1200µF	800µF	520µF	330µF	290µF	73µF	32µF	19µF
CC-mode, resistive load	Similar result as with CV-mode and resistive load							
CC-mode, diode load (constant voltage load)	Even higher speed possible. Generally 2-8 times, depending on unit and load. Needs special attention on layout of cabling and damping networks because of the very high speed. Special "low inductive cables" recommended, see section Recommendations.							



Sunny Data Control Management Software for Sunny Beam and Sunny Boy Control



User Manual | Version 4.0 | SDC-TEN071340





Sunny Boy SB 1100

String Inverter Sunny Boy SB 1100

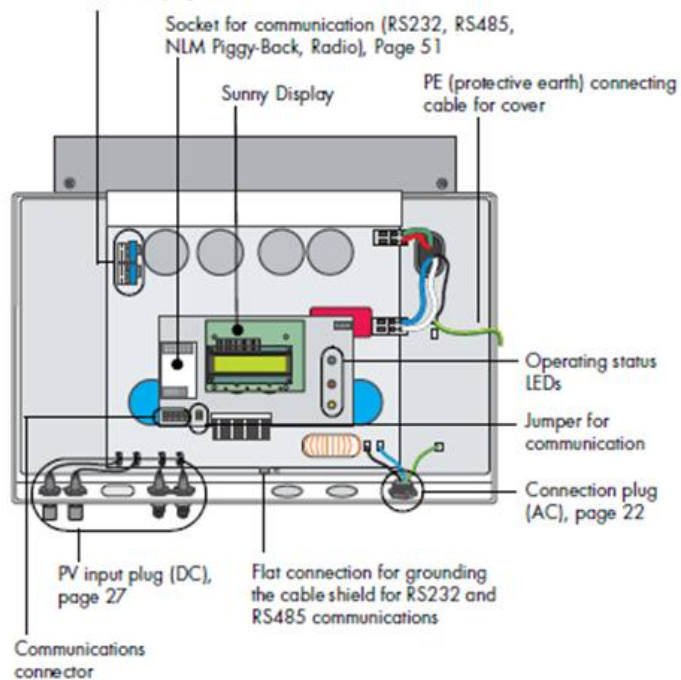


4 Overview

4.1 Unit description

The following diagram gives a schematic overview of the various components and connection points inside the Sunny Boy SB 1100 with the cover removed:

Varistors, page 43



8 Technical data

8.1 PV generator connection data

Description	Short descr.	Setting
Max. input open circuit voltage	$U_{PV\ 0}$	400 V (based on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ cell temperature)
Input voltage, MPP range	U_{PV}	139 V ... 400 V
Max. input current	$I_{PV,\ max}$	10 A
Max. input power	P_{DC}	1210 W
Recommended total generator power		1350 Wp (for central Europe)
All-pole isolator on the DC input side		DC plug connector
Overvoltage protection		Thermally monitored varistors
Voltage ripple	U_{ss}	< 10% of the input voltage
Insulation protection		Ground fault monitoring (Riso > 1 M Ω)
Operating consumption		< 4 W (standby)
Reverse polarity protection		via short circuit diode

8.3 Device description

For a detailed description of the devices, see the operating instructions.

General data

Protection category per DIN EN 60529	IP65
Dimensions (w x h x d)	434 mm x 295 mm x 180 mm (approx.)
Weight	22 kg (approx.)

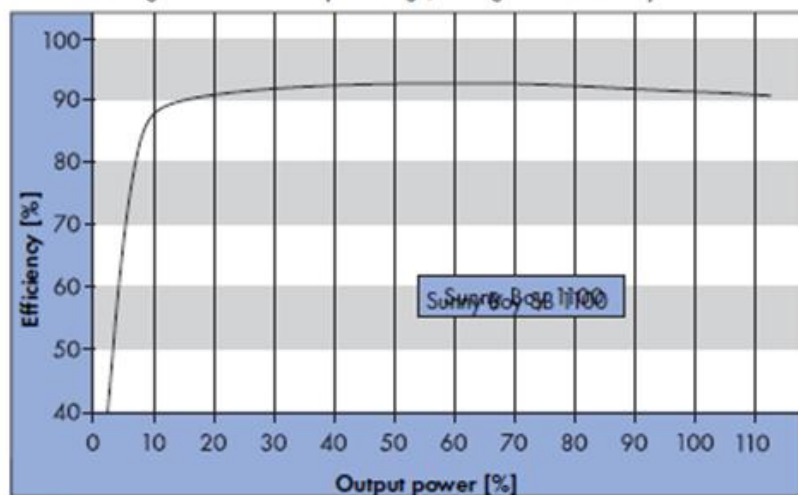
External interfaces

Data transmission over mains power line	optional
Data transmission over separate data cable	optional, RS232 / RS485 electrically separated
Wireless data transmission	optional

Efficiency

Max. efficiency	hmax	93 %
European standard efficiency	heuro	91,6 %

The efficiency of the Sunny Boy 1100 depends mainly on the input voltage of the connected PV strings. The lower the input voltage, the higher the efficiency.



SI 2012 / SI 2224



Flexible

- > For systems from 1 to 9 kW
- > 1- and 3-phase operation, connectable in parallel and modularly extendable
- > AC and DC coupling

Efficient

- > High efficiency
- > Charge level calculation
- > Intelligent battery management for maximum battery life-span

Robust

- > For indoor and outdoor installation
- > Excellent overload characteristics
- > Very wide temperature range
- > 5-year SMA Warranty



SUNNY ISLAND 2012 / 2224

Compact and powerful for small off-grid systems



Technical Data

SUNNY ISLAND 2012 / 2224

	Sunny Island 2012	Sunny Island 2224
AC output (users)		
Nominal AC voltage (adjustable)	230 V (202 V - 253 V)	230 V (202 V - 253 V)
Nominal frequency (adjustable)	50 Hz / 60 Hz (45 Hz - 65 Hz)	50 Hz / 60 Hz (45 Hz - 65 Hz)
Continuous AC power at 25 °C / 45 °C	2000 W / 1400 W	2200 W / 1600 W
AC output power at 25 °C for 30 min / 1 min / 5 s	2500 W / 3800 W / 3900 W	2900 W / 3800 W / 3900 W
Nominal AC current / Max. AC current (peak)	8.7 A / 25 A for ca. 500 ms	9.6 A / 25 A for ca. 500 ms
Output voltage harmonic distortion factor / phase shift (cos φ)	< 4% / -1 to +1	< 4% / -1 to +1
AC input (generator or grid)		
Input voltage (range)	230 V (172.5 V - 264.5 V)	230 V (172.5 V - 264.5 V)
Input frequency (range)	50 Hz / 60 Hz (40 Hz - 70 Hz)	50 Hz / 60 Hz (40 Hz - 70 Hz)
Max. input current (adjustable) / Max. input power	25 A (0 A - 25 A) / 5.75 kW	25 A (0 A - 25 A) / 5.75 kW
Battery DC input		
Battery voltage (range)	12 V (8.4 V - 15.6 V)	24 V (16.8 V - 31.5 V)
Max. battery charging current / continuous charging current at 25 °C	180 A / 160 A	90 A / 80 A
Battery type / battery capacity (range)	Lead, NiCd / 100 - 10,000 Ah	Lead, NiCd / 100 - 10,000 Ah
Charge control	Intelli process	Intelli process
Efficiency / Operating consumption		
Max. efficiency	93 %	92.6 %
Own consumption with no load / standby	21 W / 6 W	21 W / 6 W
Protection devices		
DC reverse polarity protection / DC fuse	-/-	-/-
AC short-circuit / AC overload	●/●	●/●
Overtemperature / excessive battery discharge	●/●	●/●
General Data		
Dimensions (Width / Height / Depth in mm)	470 / 445 / 185	470 / 445 / 185
Weight	19 kg	19 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Protection rating	Outdoor installation (IP54)	Outdoor installation (IP54)
Features / Function		
Operation & display / multifunction relays	External via SRC1 / 2	External via SRC1 / 2
3-phase systems / parallel connection	●/●	●/●
Integrated bypass / multistage operation	-/-	-/-
Charge level calculation / Nb / Equalization charge	●/●/●	●/●/●
Integrated self start / Generator support	●/●	●/●
Battery temperature sensor / Communication cables	●/●	●/●
Warranty (5 years / 10 years)	●/□	●/□
Certificates and permits	www.SMA.de	www.SMA.de
Accessories		
Battery cables / battery fuses	□/□	□/□
Interfaces (RS485 PB / Multistage PB)	□/-	□/-
"GerMan" extended generator start	□	□
Load-shedding contactor / Battery current measurement	□/□	□/□
● Standard □ Optional last update: March 2009		
Type Designation	SI 2012	SI 2224





BATFUSE-A.01 / A.03 / B.01 / B.03

Functional

- > External, cost-efficient DC fuse and distributor
- > For currents of 125 to 250 A
- > Simple wall mounting
- > Standardized connections with M8 pipe cable lugs

Flexible

- > Versions available for all Sunny Islands
- > Possible connection of up to three Sunny Islands
- > Up to six DC connections on the battery side
- > 8 A auxiliary supply outlet (type B)

Safe

- > All-pole battery protection
- > Simple disconnection of the inverters (type B)



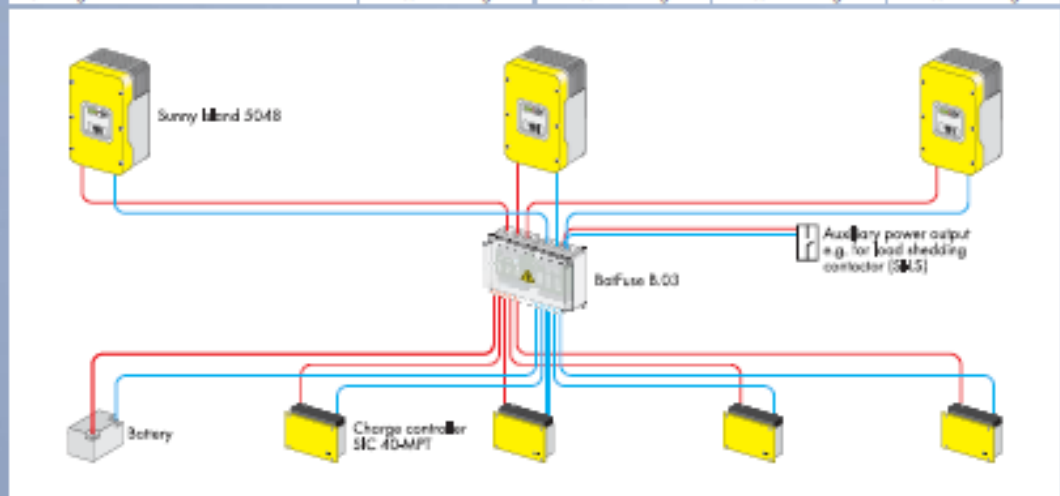
BATFUSE

DC Fuse for Sunny Island

Enhanced safety for your off-grid system: As an external DC distributor, the Batfuse protects the battery connections of the Sunny Island inverter. It guarantees an all-pole battery protection while also making it possible to disconnect the inverters. In order to satisfy the different system requirements we provide you with four different Batfuse designs. Depending on the model, the devices offer up to three connections for the inverters and up to six connections on the DC side. In addition, types B.01 and B.03 dispose of an 8 A auxiliary supply outlet from the battery.

Technical Data: BATFUSE A.01 / A.03 / B.01 / B.03

	BatFuse-A.01	BatFuse-A.03	BatFuse-B.01	BatFuse-B.03
Fuse				
Type	NH00	NH00	NH01	NH01
Bracket	Simple bracket	Simple bracket	Load disconnecting switch	Load disconnecting switch
Number	2	6	2	6
Electrical data				
Nominal voltage	12 / 24 / 48 V	12 / 24 / 48 V	12 / 24 / 48 V	12 / 24 / 48 V
Nominal current depending on the fuse plug	125 A	125 A	125 / 200 / 250 A	125 / 200 / 250 A
Nominal current for auxiliary supply outlet	Not available	Not available	8 A	8 A
Connections for battery / Sunny Island Charger				
Quantity per pole	2	4	3	6
Pipe cable lug	M8	M8	M8	M8
Max. cross section of the cable	2 x 70 mm ²	2 x 70 mm ² / 2 x 35 mm ²	1 x 70 mm ² / 2 x 35 mm ²	2 x 70 mm ² / 4 x 35 mm ²
Max. outer diameter of the cable	2 x 14 - 21 mm	2 x 14 - 21 mm	1 x 14 - 21 mm	2 x 14 - 21 mm
Sunny Island connections				
Number of connectible Sunny Island	1	3	1	3
Sunny Island type	SI 222d	SI 222d	All Sunny Island	All Sunny Island
Pipe cable lug	M8	M8	M8	M8
Max. cross section of the cable	70 mm ²	70 mm ²	70 mm ²	70 mm ²
Outer diameter of the cable	14 - 21 mm	14 - 21 mm	14 - 21 mm	14 - 21 mm
Auxiliary supply outlet connections				
Quantity per pole	Not available	Not available	1	1
Max. cross section of the cable	Not available	Not available	6 mm ²	6 mm ²
Max. outer diameter of the cable	Not available	Not available	9 - 16 mm	9 - 16 mm
Mechanical data				
Width x height x depth	254 x 180 x 111 mm	360 x 254 x 111 mm	250 x 375 x 150 mm	500 x 375 x 225 mm
Weight	1.5 kg	3.8 kg	7 kg	1.6 kg
Ambient conditions				
Ambient temperature	-20 °C ... +60 °C	-20 °C ... +60 °C	-20 °C ... +60 °C	-20 °C ... +60 °C
Humidity (no condensation)	100 %	100 %	100 %	100 %
General data				
Protection rating	IP65	IP65	IP65	IP65
Certification	CE	CE	CE	CE
Mounting	Wall mounting	Wall mounting	Wall mounting	Wall mounting



www.SMA.de
 Freecall +800 SUNNYBOY
 Freecall +800 7 86 69 26 9

SMA Solar Technology AG

รายการอุปกรณ์ NI

รายการอุปกรณ์ NI						
1. NI p/n 781424-01	xdaq-9188					compactDAQ Chassis [8 slot]
2. NI p/n 780159-01	NI9225	3-ch	+/-300 v			analog input module
3. NI p/n 781099-01	NI9927	4ch.	Current input 5 amp	50k	24 bit	ISO
4. NI p/n 77935-01	NI9401	8 ch.		100 nS		TTL digital input/output module
5. NI p/n 779104-01	NI9934	25 pin connector				Kit with strain Relief. Includes
6. NI p/n 779001-01	NI9211	4 ch.	+/- 0.08 v	14 S/S	24 bit	thermocouple difference analog input module
7. NI p/n 779014-01	NI9221	8 ch.	+/- 60 V	800 K s/s	12 bit	analog input module
8. NI p/n 779516-01	NI9203	8 ch.	+/- 20V	800 MA	200 K S/S	16 bit analog input module
9. Accessory						



NI cDAQ9188



NI 9225



NI 9227



NI 9203



NI 9401



NI 9211



NI 9221

Last Revised: 2010-02-01 10:39:22.0

[Back to Top](#)

300 Vrms Analog Input Power Measurement NI 9225



3 channels, simultaneous inputs
50 kS/s/ch sample rate
Channel-to-channel isolation



Synchronize high-voltage measurements
Program for USB with the easy-to-use NI-DAQmx driver
24-bit resolution

Overview

The NI 9225 300 Vrms C Series analog input module was designed for the waveform measurements of high-voltage signals. The 300 Vrms range enables line-to-neutral as well as line-to-line measurements of 110 V power grids and line-to-neutral measurements of 240 V power grids. The three channels on the NI 9225 make the module ideally suited for a three-phase system. Voltage waveform measurements are necessary for monitoring power quality events such as sag, swell, transients, and harmonics. Combine the NI 9225 with the NI 9239 (10 V) and a current transducer to create a customizable power quality monitoring or power metering system.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

Real-Time OS
Windows

Driver Information

NI-DAQmx
NI-RIO

Software Compatibility

ANSI C/C++
LabVIEW
LabVIEW SignalExpress
LabWindows/CVI
Measurement Studio
Visual C#
Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Family	C Series Compatibility	Channels	Resolution	Isolation	Max Range	Isolation Level	Sample Rate	Simultaneous
NI 9225	CompactRIO, NI CompactDAQ	3	24	Channel-to-Channel	300 Vrms	600 Vrms	50 kS/s/ch	Yes
NI 9229	CompactRIO, NI CompactDAQ, USB Carrier	4	24	Channel-to-Channel	±50 VDC	250 Vrms	50 kS/s/ch	Yes
NI 9239	CompactRIO, NI CompactDAQ, USB Carrier	4	24	Channel-to-Channel	±10 VDC	250 Vrms	50 kS/s/ch	Yes

[Back to Top](#)

Application and Technology

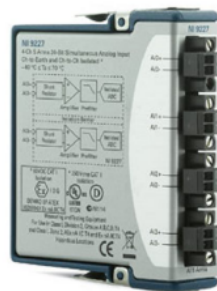
[Print](#) | [E-mail this Page](#) | [Open Document as PDF](#)

[Requirements and Compatibility](#) | [Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#) | [Pinouts/Front Panel Connections](#)

- For
- [Input Characteristics](#)
 - [Power Requirements](#)
 - [Physical Characteristics](#)
 - [Safety](#)
 - [Electromagnetic Compatibility](#)
 - [CE Compliance](#)
 - [Online Product Certification](#)
 - [Shock and Vibration](#)
 - [Environmental](#)
 - [Environmental Management](#)
 - [Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\)](#)
 - [Calibration](#)

[Back to Top](#)

NI 9227



5 Arms measurement (14 A peak)
50 kS/s/ch simultaneous inputs
Built-in antialias filters

250 Vrms channel-to-channel isolation
Screw terminal connectors included, protective backshells sold separately

Overview

The NI 9227 C Series current input module was designed to measure 5 Arms nominal and up to 14 A peak on each channel with channel-to-channel isolation. When used with the NI 9225 high-voltage module, the NI 9227 current module can measure power and energy consumption for applications such as appliance and electronic device test. With up to 50 kS/s per channel simultaneous sampling, you can not only measure and meter current and power but also look at quality factors such as noise, frequency, and harmonics.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

Real-Time OS
Windows

Driver Information

NI-DAQmx
NI-RIO

Software Compatibility

LabVIEW
LabVIEW SignalExpress
LabWindows/CVI
Measurement Studio
Visual C++
Visual Studio
Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Module	Signal Type	Channels	Sample Rate	Resolution (bits)
9201	Voltage	8	500 kS/s	12
9203	Current	8	200 kS/s	16
9205	Voltage	32 SE/16 DI	250 kS/s	16
9206	CAT I isolated voltage	16 DI	250 kS/s	16
9215	Voltage	4	100 kS/s per channel	16
9217	RTD	4	400 S/s	24
9221	Voltage	8	800 kS/s	12
9227	Current	4	50 kS/s per channel	24

[Requirements and Compatibility](#) | [Detailed Specifications](#) | [Pinouts/Front Panel Connections](#)
For user manuals and dimensional drawings, visit the [product page resources](#) tab on [ni.com](#).

Last Revised: 2010-02-09 14:48:27.0

8 Ch, ± 20 mA, 200 kS/s, 16-Bit C Series Analog Current Input Module

NI 9203



- 8 current input channels
- ± 20 mA, 0 to 20 mA programmable input ranges
- NIST-traceable calibration
- Open-loop detection programmable in software
- -40 to 70 °C operating range
- 16-bit resolution, 200 kS/s aggregate sampling rate

Overview

The NI 9203 is a C Series data acquisition module that includes eight analog current input channels for high-performance control and monitoring applications. It features programmable input ranges of ± 20 mA or 0 to 20 mA, 16-bit resolution, and a 200 kS/s maximum sampling rate. The NI 9203 also provides open-loop detection that is programmed using NI LabVIEW software. To protect against signal transients, the NI 9203 includes a channel-to-earth ground double-isolation barrier (250 Vrms isolation) for safety and noise immunity.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

- Real-Time OS
- Windows

Driver Information

- NI-DAQmx
- NI-RIO

Software Compatibility

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- Visual C++
- Visual Studio



[Requirements and Compatibility](#) | [Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)
For user manuals and dimensional drawings, visit the [product page resources tab](#) on [ni.com](#).

Last Revised: 2010-02-09 14:44:18.0

[Back to Top](#)

4-Channel, 14 S/s, 24-Bit, ± 80 mV C Series Thermocouple Input Module NI 9211



4 thermocouple or ± 80 mV analog inputs
-40 to 70 °C operating range
24-bit resolution; 50/60 Hz noise rejection



Hot-swappable operation
NIST-traceable calibration

Overview

The NI 9211 C Series thermocouple Input module for use with NI CompactDAQ and CompactRIO chassis includes a 24-bit delta-sigma ADC, antialiasing filters, open-thermocouple detection, and cold-junction compensation for high-accuracy thermocouple measurements. It contains NIST-traceable calibration and a channel-to-earth ground double-isolation barrier for safety, noise immunity, and high common-mode voltage range.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

Real-Time OS
Windows

Driver Information

NI-DAQmx
NI-RIO

Software Compatibility

LabVIEW
LabVIEW SignalExpress
LabWindows/CVI
Measurement Studio
Visual C++
Visual Studio
Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Thermocouple Module	Channels	Sample Rate	Resolution	Feature
NI 9213	16	1,200 S/s	24-bit	Lowest cost/channel
NI 9219	4	50 S/s/ch	24-bit	Channel-to-channel Isolation
NI 9211	4	14 S/s	24-bit	Low-channel count

[Back to Top](#)

Application and Technology

High-accuracy C Series analog Input modules for NI CompactDAQ and CompactRIO provide high-performance measurements for a wide variety of Industrial, In-vehicle, and

Last Revised: 2010-02-17 10:21:10.0

8-Channel, ± 60 V, 800 kS/s, 12-Bit C Series Analog Input Module NI 9221



- 8 analog inputs, ± 60 V input range
- 800 kS/s aggregate sampling rate
- -40 to 70 °C operating range
- Hot-swappable operation, overvoltage protection, isolation
- NIST-traceable calibration
- 12-bit resolution, single-ended inputs, screw terminal or D-Sub connector type

Overview

The NI 9221 is a C Series module for high-speed measurements with a range of ± 60 V. This wider voltage range makes this module well-suited for industrial-level, automotive, or even smaller-cell battery measurements. As with the majority of C Series modules, the NI 9221 is protected from harmful voltage spikes of up to 2,300 Vrms. This means that no harmful voltage within the isolation rating can harm other modules in the system, the chassis, or any connected computer equipment. In addition to the absolute protection from the isolation, the module features up to 100 V of overvoltage protection for errant signal connection or unexpected outputs to the channels. The NI 9221 features two connector options - a 10-position screw-terminal connector for direct connectivity and a 25-position D-Sub connector. The industry-standard 25-position D-Sub connector provides for low-cost cabling to a wide variety of accessories from NI or other vendors. Some vendors also offer custom D-Sub cable fabrication services and provide cables with a pinout that matches your exact application needs. NI recommends the NI 9932 strain-relief connector accessory for the NI cRIO-9221 analog input module. The NI 9934 (or other 25-pin D-Sub connector) is required to use the NI 9221 with a D-Sub module. The NI 9934 includes a screw-terminal connector with strain relief as well as a D-Sub solder cup backshell for creating custom cable assemblies. For a 24-bit, ± 60 V C Series module with channel-to-channel isolation, consider the NI 9229.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

- Real-Time OS
- Windows

Driver Information

- NI-DAQmx
- NI-RIO

Software Compatibility

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress



[Requirements and Compatibility](#) | [Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)

For	Input/Output Characteristics	Power Requirements	Physical Characteristics
	Safety	Environmental	Shock and Vibration
	Electromagnetic Compatibility	CE Compliance	Online Product Certification
	Environmental Management		

[Back to Top](#)

8 Ch, 5 V/TTL High-Speed Bidirectional C Series Digital I/O Module



8-channel, 100 ns ultrahigh-speed digital I/O
5 V/TTL, sinking/sourcing digital I/O
Bidirectional, configurable by nibble (4 bits)

Industry-standard 25-pin D-Sub connector
Hot-swappable operation
-40 to 70 °C operating range

Overview

The NI 9401 is an eight-channel, 100 ns bidirectional digital Input C Series module for any NI CompactDAQ or CompactRIO chassis. You can configure the direction of the digital lines on the NI 9401 for input or output by nibble (four bits). Thus, you can program the NI 9401 for three configurations – eight digital inputs, eight digital outputs, or four digital inputs and four digital outputs. With reconfigurable I/O (RIO) technology (CompactRIO only), you can use the NI LabVIEW FPGA Module to program the NI 9401 for implementing custom, high-speed counters/timers, digital communication protocols, pulse generation, and much more. Each channel is compatible with 5 V/TTL signals and features 1,000 Vrms transient isolation between the I/O channels and the backplane.

The NI 9934 (or other 25-pin D-Sub connector) is required for use with the NI 9401 module. The module includes a screw-terminal connector with strain relief as well as a D-Sub solder cup backshell for creating custom cable assemblies.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information	Driver Information	Software Compatibility
Real-Time OS Windows	NI-DAQmx NI-RIO	LabVIEW LabVIEW SignalExpress LabWindows/CVI Measurement Studio Visual Studio Visual Studio .NET

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Product Name	Signal Levels	Number of Channels	Connectivity	Speed	Special Features
NI 9401	TTL	8	25-Pin D-Sub	100 ns	Bidirectional, nibble configurable
NI 9402	LV-TTL	4	BNC	50 ns	Bidirectional shift on the fly by channel
NI 9403	TTL	32	37-Pin D-Sub	7 μs	Bidirectional, configurable by line

[Back to Top](#)

Specifications

PLC Model : Keyence KV 16DR



KV-16DR

General specifications

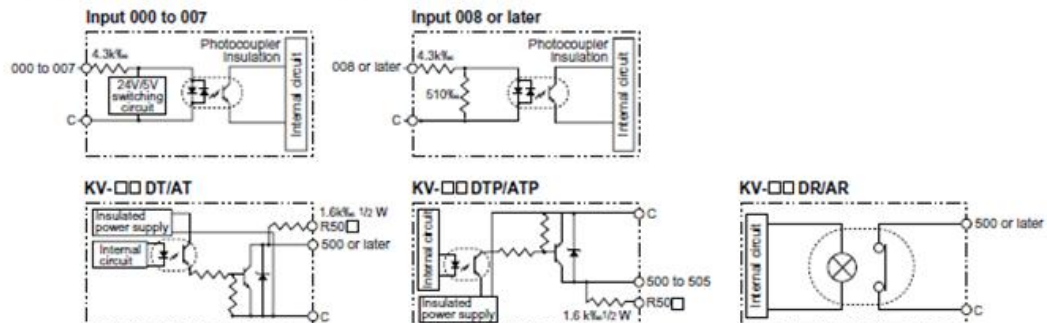
Model	AC type		DC type	
	KV-16AT(P)/AR KV-24AT(P)/AR	KV-16AT(P)/AR KV-40AT(P)/AR	KV-16DT(P)/DR KV-24DT(P)/DR	KV-16DT(P)/DR KV-40DT(P)/DR
Power supply	100 to 240 VAC (-10%)		24 VDC (-10%)	
AC power current consumption	KV-16AT(P)/AR: 0.4 A KV-16AT(P)/AR: 0.5 A KV-24AT(P)/AR: 0.6 A KV-40AT(P)/AR: 0.7 A		—	
AC power factor	60%		—	
Output voltage	24 VDC (-10%)		—	
Output capacity (loadable current capacity with current calculation or expansion units)	KV-16AT(P)/AR: 0.4 A KV-16AT(P)/AR: 0.6 A KV-24AT(P)/AR: 0.6 A KV-40AT(P)/AR: 0.7 A		—	
Allowable instantaneous interruption time	40 ms max.		2 ms max.	
Internal current consumption (converted into 24 VDC value)	KV-16ARDR: 100 mA max. KV-16ARDR: 120 mA max. KV-24ARDR: 140 mA max. KV-40ARDR: 180 mA max.		KV-16AT(P)/DT(P): 80(85) mA max. KV-16AT(P)/DT(P): 90(100) mA max. KV-24AT(P)/DT(P): 100(105) mA max. KV-40AT(P)/DT(P): 120(130) mA max.	
	KV-EBX: 25 mA max. KV-EBT(P): 40 mA max. KV-EBR: 70 mA max. KV-E4XR: 45 mA max.		KV-E16X: 35 mA max. KV-E16T(P): 60(70) mA max. KV-E16R: 110 mA max. KV-E4XT(P): 30 mA max.	
	KV-D20 Operator panel: 60 mA max. KV-P3E Handheld programmer: 65 mA max.			
Ambient temperature	0 to +50°C, 0 to +45°C (KV-P3E-DT)			
Relative humidity	35 to 85%			
Ambient storage temperature	-20 to +70°C			
Withstand voltage	1,500 VAC for 1 minute (Between power terminal and I/O terminals, and between external terminals and housing)			
Noise immunity	1,500 Vp-p min., pulse width: 1 s, 50 ns (by noise simulator) conforming to EN standard (EN55011-2/-3/-4/-6)			
Shock	150 m/s ² (15 G), working time: 11 ms, in X, Y and Z directions, 2 times respectively			
Vibration	10 to 55 Hz, 1.5 mm max. double amplitude in X, Y and Z directions, 2 hours respectively (1 G max. when attached to DIN rail)			
Insulation resistance	50 MΩ min. (Between power terminal and I/O terminals, and between external terminals and housing, measured with 500 VDC megohmmeter)			
Environmental restrictions	No excessive dust or corrosive gases			
Weight	KV-16AR: Approx. 250 g, KV-16AT(P): Approx. 240 g, KV-16AR: Approx. 300 g, KV-16AT(P): Approx. 250 g, KV-24AR: Approx. 350 g, KV-24AT(P): Approx. 330 g, KV-40AR: Approx. 450 g, KV-40AT(P): Approx. 420 g, KV-16DR: Approx. 190 g, KV-16DT(P): Approx. 150 g, KV-24DR: Approx. 240 g, KV-24DT(P): Approx. 220 g, KV-40DR: Approx. 330 g, KV-40DT(P): Approx. 290 g			

Performance specifications

Arithmetic operation control method	Stored program method
I/O control method	Refresh method
Programming language	Ladder diagram and expanded ladder diagram
Instruction types	Basic instruction: 28, Application instruction: 22, Arithmetic instruction: 26, Interrupt instruction: 4
Minimum scan time	140 s min.
Instruction processing time	Basic instruction: 0.7 s min., Application instruction: 6.4 s min.
Program capacity	2,000 steps (KV-16□□, KV-16□□) 4,000 steps (KV-24□□, KV-40□□)
Maximum number of expansion units	8 (7 for KV-40□□)
Number of I/O points (including 16 to 40 I/O points of basic unit)	16 to 152 points (When expansion units are connected)
Internal utility relay	2,560 points: 1000 to 1915 and 3000 to 17915
Special utility relay	160 points: 2000 to 2915
Data memory (16 bits)	2,000 words: DM 0000 to DM1999
Temporary data memory (16 bits)	32 words: TM00 to TM31
Timer/counter	0.1-s timer: TMR (0 to 655.35 s), 0.01-s timer: TMH (0 to 655.35 s), 0.001-s timer: TMS (0 to 65.535 s), UP counter: C, Up/down counter: UDC
Digital trimmer	2 trimmers (set in access window)
High-speed counter	2 counters of 30 kHz, 2-phase high-speed counter (0 to 65535 count) *1
High-speed counter comparator	4 comparators (2 for each high-speed counter) Direct output allowed
Positioning control function	Independent 1 axis, 50 kHz max.
Memory switch	16
Program memory	Flash ROM, rewritable 100,000 times or more
Data memory, counter, internal utility relay	Data retained for 2 months min. with electrical double-layer capacitor (at 25°C). Data can be backed up with EEPROM in all models. (Retention action not set by software instruction.)
Self-diagnosis	CPU and RAM errors
Number of contact comments	1,000 max. contact comments can be saved.

*1. 24-bit setting is available.

Input/output circuit of base unit



Input specifications of base unit

Model	KV-10□□	KV-16□□	KV-24□□	KV-40□□
No. of inputs	6	10	16	24
Input common	COM is connected internally.			
Maximum input rating	26.4 VDC			
Input voltage **	24 VDC, 5.3 mA/5 VDC, 1.0 mA			
Input time constant	10 ms (Typical) 10 s when HSP instruction is used Variable in 7 steps from 10. s to 10 ms while special utility relay 2813 is ON (Set by DM1940)			
Interrupt input response	10 s (Typical)			
High-speed counter input response	30 kHz (24V-10%)			

**1. Inputs 000 to 007 can be changed to 5 V input.

Output specifications of basic unit

Model	KV-10□□	KV-16□□	KV-24□□	KV-40□□	KV-10□□	KV-16□□	KV-24□□	KV-40□□
No. of outputs	4	6	8	16	4	6	8	16
Output common	1 common				Each common terminal is independent.			
Output type	Transistor output (NPN or PNP)				Relay output			
Rated load	30 VDC 0.3 A (503 and other) 0.1 A (500 to 502)				250 VAC/30 VDC 2 A (Inductive load) 4 A (Resistive load)			
Peak load current	0.2 A (500 to 502) 1 A (Other)				5 A			
Relay service life	—				Electrical service life: 100,000 times or more (20 times/min) Mechanical service life: 20-million times or more			
Relay replacement	—				Not allowed			
Output frequency	50 kHz (500 to 502)				—			
Built-in serial resistance	1.6 k Ω , 1/2W (R500 to R502)				—			

Input/output specifications of expansion unit

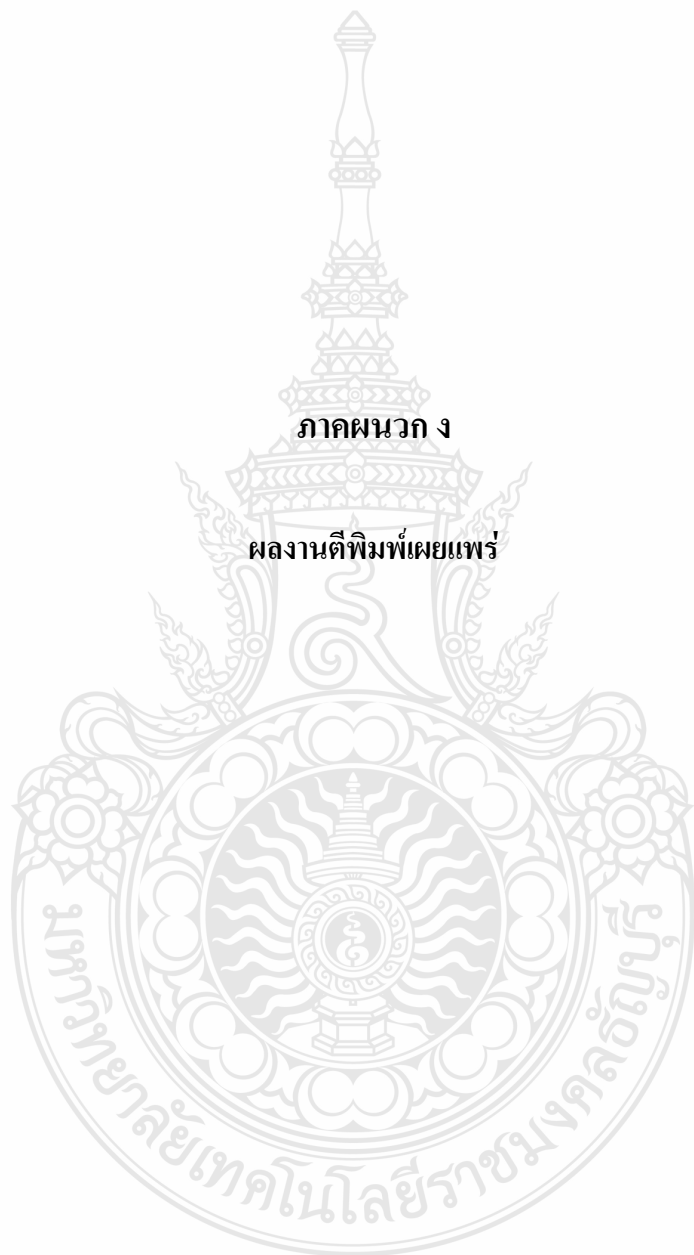
Input/output	Input		Output				Input/output
	Terminal block						
Model	KV-EBX	KV-E16X	KV-E8T(P)	KV-E16T(P)	KV-E8R	KV-E16R	KV-E4XT(P)R
Number of inputs	8	16	—				4
Input common	4 points/common		—				4 points/common
Maximum input rating	26.4 VDC		—				26.4 VDC
Input voltage	24 VDC, 5.3 mA		—				24 VDC, 5.3 mA
Minimum ON voltage	19 V		—				19 V
Maximum OFF current	2 mA		—				2 mA
Input impedance	4.3 k Ω		—				4.3 k Ω
Input time constant <small>(Change in two states by special utility relay 2813 is zero.)</small>	For both rising (OFF \rightarrow ON) and falling (ON \rightarrow OFF) operations, 10 ms: 10 ms-20%, 10 s: 10 s-20%		—				For both rising (OFF \rightarrow ON) and falling (ON \rightarrow OFF) operations, 10 ms: 10 ms-20%, 10 s: 10 s-20%
Number of outputs	—		8	16	8	16	4
Output type	—		NPN (PNP) Transistor		Relay		NPN (PNP) Transistor/Relay
Output common	—		COM is connected internally.		4 points/common		4 points/common
Rated load voltage	—		30 VDC		250 VAC/30 VDC, 2 A (Inductive load), 4 A (Resistive load)		30 VDC, 250 VAC/30 VDC, 2 A (Inductive load), 4 A (Resistive load)
Rated output current	—		0.5 (0.3) A/point		2 A/point (Inductive load), 4 A/point (Resistive load), 4 A/point		0.5 (0.3) A/point, 2 A/point (Inductive load), 4 A (Resistive load), 4 A/point
ON resistance	—		—		50 m Ω , or less		—/50 m Ω , or less
Leakage current at OFF	—		100 A max.		—		100 A max./ —
Residual voltage at ON	—		0.8 V max.		—		0.8 V max./ —
Rising operation time (OFF \rightarrow ON)	—		50 s max.		10 ms max.		50 s max./10 ms max.
Falling operation time (ON \rightarrow OFF)	—		250 s max.		10 ms max.		250 s max./10 ms max.
Relay service life	—		—		Electrical: 100,000 times or more (20 times/min), Mechanical: 20-million times or more		Electrical: 100,000 times or more (20 times/min), Mechanical: 20-million times or more
Relay replacement	—		—		Not allowed		—/Not allowed
Weight	Approx. 100 g	Approx. 140 g	Approx. 100 g	Approx. 140 g	Approx. 130 g	Approx. 190 g	Approx. 100 g/Approx. 120 g

Input/output circuit of expansion unit



ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7
 7th Conference on Energy Network of Thailand
3-5 พฤษภาคม 2554
 ณ Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ความเป็นมา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นภาคีต่อการพัฒนาประเทศในทุกๆ ด้านไม่ว่าจะเป็น
 ด้านเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมทั้งนี้การวิจัย และพัฒนาทางด้านพลังงาน
 จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาและการแก้ปัญหาด้านพลังงานที่ไทย
 ผลิตในประเทศ โดยได้มีการสนับสนุนวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จาก
 หน่วยงานวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีความสำคัญตั้งแต่องค์การวิจัย
 บุคลากรทางด้านพลังงานขององค์กรวิจัยและสถาบันฯ ตลอดจนได้มีการประชุม
 และถ่ายทอดงานของประเทศไทยซึ่งมีเวทีที่นักวิจัยได้เผยแพร่ผลงานวิจัย
 ในเวทีต่าง ๆ ส่วนหนึ่งได้ผลมาป้อนป้อนระดับสากล ความรู้ ด้านงานวิจัยระหว่าง
 บุคลากรขององค์กรต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติทางด้านพลังงาน
 สถาบันวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการ

ครั้งที่ 7 ประจำปี 2554 ระหว่างวันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554

กลุ่มสาขางานวิจัย

1. พลังงานทดแทน (Renewable Energy)
 Biomass, Hydro, Photovoltaic, Solar Distillation and Desalination,
 Wind Energy and Others
2. พลังงานในอาคาร (Energy Conservation)
 Building Energy Analysis, Building Materials and Components,
 Building-integrated PV systems, Building-integrated Solar Thermal, Daylighting
 Energy Management System, Energy Conservation for Inhabits,
 Energy Conservation for Transportation, Natural Ventilation,
 Passive and Low Energy Architecture, Passive Cooling, Systems Including
 Ground Coupling, Thermal Comfort and Performance, Others
3. พลังงานเพื่อการทำความร้อนและความเย็น (Applied Energy)
 Solar Cooking, Solar Cooling and Dehumidification, Solar Drying,
 Solar Hot Water and Thermal, Solar Industrial Process Heat, Solar Ponds,
 Solar Thermal Electricity, Thermal Storage, Electrical Storage, Others
4. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Energy Policy)
 Environmental Impacts of Energy Systems, Global Climate Change,
 National and Regional Policies and Programs, Others
5. การจัดการพลังงาน (Energy Management)
6. การจัดการพลังงาน (Energy Management)

กำหนดการสำคัญ

- วันสุดท้ายของการลงทะเบียน
10 กุมภาพันธ์ 2554
- วันประกาศผลการพิจารณาบทความ
28 กุมภาพันธ์ 2554
- วันสุดท้ายของการลงทะเบียนฉบับปรับปรุง
15 มีนาคม 2554
- แจ้งผลการตอบรับอย่างเป็นทางการ
31 มีนาคม 2554

รายละเอียดเพิ่มเติมติดต่อ
 ดร.วิรัช โธมสันทร์ (089-771-4294)
 ดร.ภกฤษณ์สนม ภูมิภักดิ์พิชญ์ (084-111-9051)
 ดร.บุญอึ้ง ปึ้งกลาง (086-899-2996)
 ดร.สุมนมาธย์ เมียมกลาง (081-195-4799)
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 โทรศัพท์ : 02-549-3571 โทรสาร: 02 549 3422
 E-mail : e-nett2011@mail.ru.ac.th

www.e-nett.org/

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัยสถาบันองค์กร
ศ.ดร.ปิ่นตื๊ด	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ปิ่นตื๊ด	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ทงเกษียรดี	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.มธุศักดิ์	จิตตะเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ศ.ดร.สมชาติ	โศภณรณฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วิมลพงษ์	รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร.นำบุญช	สงศ์ธนาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีสารสนเทศ
รศ.ดร.จุไรรัตน์	ดวงเดือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีสารสนเทศ
รศ.ดร.อุตมเกษียรดี	นพเทแก้ว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ธนาภคม	สุนทรชัยนาคแสง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สินชัย	ชินวรรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พีณีจ	งามสม	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.วิทยา	บงเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.คณิต	วิวัฒน์เชิธร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.วาสุณี	เดียม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.จากรุจิตร	เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.เสริม	จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.ชนิดชัย	กุลวราวิชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยสุรนารี
รศ.ดร.ศุภชาติ	จโฬุลย์พัฒนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.อดิศักดิ์	นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ชัชวาล	ต้นเทกิดติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.ศักดิ์กมน	เทพพิถิติน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุรชัย	มีจฉาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุรนารี
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วสิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สมชัย	ศิริกูวโรคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีสารสนเทศ
ผศ.ดร.สมหมาย	ฉิวสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีสารสนเทศ
ผศ.พุดเกษียรดี	นาคะวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ภาวิณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.เจริญพร	เลิศสถิตนกร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ณัฐพล	ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ธำไพศักดิ์	ทิบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ชาลิต	ธินวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ประชาติพันธุ์	ไตรยศุทธิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นุภาพ	แย้มไตรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบันองค์กร
อ.รัตนกร	ฉะวีวงศ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.เบ็ญจรัตน์	สุทธิพงษ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.วิรัช	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สถาพร	ทองวิค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กฤษณะโชติพันธ์	ภูมิภักดีพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สุรินทร์	แพงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.วินัย	จันทร์เพ็ญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สโรชา	เจริญวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.มนทิพย์	ลือสุริยนต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ฉันทิพย์	คำานวณทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ฉัตรชัย	วีระนิตติสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สุเมธมาลย์	เนียมกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.จักรี	ศรินทร์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ประจวบ	คำฟู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์ชัย	โอเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.พงษ์ศักดิ์	อังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.บุญฉิ่ง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สรพงษ์	ภาวสุปรีดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.วิษชากร	จารุศิริ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ชนาธิป	คุ้มเยี่ยม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.อาเจี	ศุภสุธิกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ณัฐภัทร	ตั้งมั่นทองกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ฉันทนา	พันธุ์เหล็ก	มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
ดร.วรรัตน์	ปัสระกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.วิศิษฐ์	ฉิลลาชาติกุล	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.พัฒนะ	รักความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์	อึ้งกิมป้วน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ชาญณรงค์	อัครเทพานุกาพ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.ชลธิช	เยี่ยมวรฤทธิกุล	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร.วรรณิ	เอกศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ประชา	บุญยวาณิชกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ชนาธิป	คุ้มเยี่ยม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.อำนาจ	ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
นายอำนาจ	องสฤษดิ์	กระทรวงพลังงาน
ดร.ยุทธนา	คำสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Session ประธาน เวลา ห้องบรรยาย	Energy Conservations 04 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สลิททิพย์ สิ้นสุธนธิชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 14:00-15:45 วันพุธ ที่ 4 พฤษภาคม 2554 Orchid D	
DEN25	การศึกษาระบบให้ความร้อนในเตาปลูกผลึกสำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ประชา เหล่าอวยพร ^{1,2} จักรี ศรีนนท์ฉัตร ¹ ศิวพร ลากเกียรติถาวร ² มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ¹ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนโลยี สถาปน์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนโลยี	878
DEN26	การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาอาร์คไฟฟ้าโดยการปรับปรุง ส่วนประกอบทางเคมีของแสลง ณัฐเดช เพ็ญวงวงศ์ ตะวันปกภาพจน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	880
DEN27	การวิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งการเปิดปิดประตูยั้งเหล็กที่มีต่อความดัน ภายในเตาเผาเหล็ก จิตติน แดงเที่ยง สัตหเทศ จันทราหวัณห์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	888
DEN28	การควบคุมระบบจัดการพลังงานเพื่อประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 ชานี โจประดิษฐ์ธรรม ¹ ชีรพันธ์ สุทธิเทพ ¹ สุรัชย์ วงษ์ฟูเกียรติ ² มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ¹ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ²	894
DEN29	ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน สมพล โคตรี บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	899



ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน Energy Management and Control System for Renewable Energy Electric Generation

สมพล โสศรีและ บุญฉวี ปลั่งกลาง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: +66(2)-549-3571 โทรสาร: +66(2)-549-3422
E-mail: samapol_05@hotmail.com, pboonyang@hotmail.com

Go Back

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานระบบจัดการในระบบผลิตไฟฟ้า ส่งจ่าย และควบคุมสำหรับระบบพลังงานทดแทน โดยวิเคราะห์การทำงานในช่วงที่การทำงานต่างๆ ที่มีการใช้งานรูปแบบของเทคโนโลยีที่ทันสมัยเป็นหลักในการออกแบบการทำงานเริ่มตั้งแต่การออกแบบระบบโดยรวม โดยมีการควบคุมศูนย์กลางของระบบทำหน้าที่รับข้อมูลจากพื้นที่ฝ่ายผลิต ระบบควบคุมการผลิต ระบบส่งจ่าย ระบบควบคุมการส่งจ่าย ระบบควบคุมการป้องกัน ระบบส่งจ่ายปลายทางหรือระบบควบคุมสถานะตัดต่อของโหลดในระบบและระบบแสดงผลของการทำงานจากระบบ อีกทั้งสามารถประเมินสถานการณ์ในช่วงสถานะต่างๆและตัดสินใจการทำงานได้ทันทีระบบจัดเก็บข้อมูลการทำงาน ซึ่งในระบบสามารถเพิ่มผลการเรียนรู้หรือสอนข้อมูลที่มีผลต่อระบบที่เป็นศูนย์กลางของการตัดสินใจได้ ซึ่งในการออกแบบจะใช้ขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ 1.8 kWp จากนั้นก็เลือกขนาดแบตเตอรี่ 18 kWh ในเบื้องต้นโดยเลือกพิกัดแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน, พลังงานทดแทน

Abstract

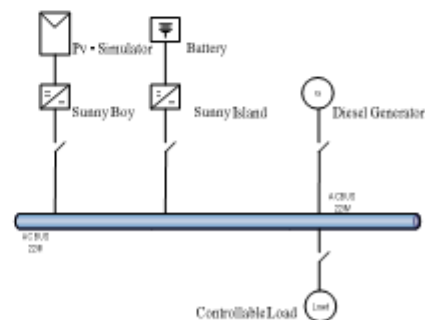
This paper presents the application energy management system for renew energy distributed generation by analytical work in various areas of any works. The development of communication platform is used modern technology as a basis design for overall system. The main central control system will acquire data from the remote renewable energy system all necessary monitoring data including power generation, Load consumption, protection system, and other control parameters. The monitoring data will be real-time data of operating of the system. The operator can also evaluate the system situation in the current states and will make decisions to take an immediate action if needed. The system can improve by learning from monitored information that affects the system then at the main control system can forecast and make a decision for future analysis. The proposed prototype will be constructed by by photovoltaic (PV) 1.8 kWp, Battery 18 kWh and choosing solar radiation in Thailand.

Keywords: Energy Management System, Renewable Energy Distributed Generation

1. คำนำ

พลังงานถือว่าเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาประเทศให้พัฒนาก้าวหน้า แต่ในภาวะปัจจุบันพลังงานที่ใช้อยู่เข้าสู่ภาวะขาดแคลนทำให้มีราคาสูงซึ่งส่งผลโดยตรงกับการพัฒนาประเทศ รวมทั้งภาวะโลกขึ้นในปัจจุบันด้วย พลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆได้ถูกคิดค้นขึ้นเพราะพลังงานทดแทนไม่ได้มีตลอดเวลา เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ก็มีเฉพาะตอนกลางวัน ดังนั้นการรวมแหล่งพลังงานทดแทนเข้ามาผสมผสานเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น

จากปัญหาที่ทางผู้ทำวิจัยจึงได้หันถึงความสำคัญในการวิจัยและพัฒนาระบบต้นแบบผลิตไฟฟ้าผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขึ้นมา (PV-Battery-Diesel hybrid system) ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานหรือไฮบริดซ์ เป็นการรวมเอาพลังงานแสงอาทิตย์รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลไว้ด้วยกัน ระบบผลิตไฟฟ้าแบบไฮบริดซ์แบบขนาน (รูปที่ 1) จะเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด ลักษณะการทำงานคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง แ่งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ต่ออนุกรมเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-directional inverter) ซึ่งต่อเข้ากับภาระทางไฟฟ้า ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกจ่ายไปยังโหลดไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลถูกประจุเข้าแบตเตอรี่โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [1]

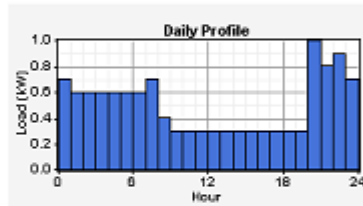
DEN29

Go Back

รายละเอียดของระบบซึ่งประกอบไปด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดดีเซล ซึ่งเป็นระบบที่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดได้ตลอดเวลา ระบบที่ออกแบบจะเน้นการใช้งานพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลักและร่วมกับแหล่งพลังงานจากแหล่งต่างๆ คือเครื่องกำเนิดดีเซล นอกจากนี้จะมีระบบวัดบันทึกแสดงผลค่าที่ถึงเกิดการทำงานของระบบแบบ Realtime ซึ่งเปรียบเสมือนผู้ดูแล ระบบการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวจึงสามารถทำงานอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ โดยปกติการระเหิดถึงเกิดการทำงานของการผลิตไฟฟ้าทุกวันและสามารถรายงานผลการผลิตได้ ทั้งในรูปแบบของข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดจะเก็บลงในระบบคอมพิวเตอร์

2. หลักการออกแบบระบบและการจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

หลักการออกแบบของระบบนี้การออกแบบจะต้องครอบคลุมระบบทั้งหมดรวมทั้งระบบวัดและบันทึกผล ข้อมูลในการออกแบบเบื้องต้นคือขนาดของโหลดและข้อมูลการใช้พลังงานของโหลดในแต่ละช่วงเวลาของวัน (Load Profile) ซึ่งโดยบทความนี้ได้นำเสนอโหลดสำหรับที่อยู่อาศัยในเขตพื้นที่ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่จำเป็น (ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 2 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน

จากรูปที่ 2 เป็นข้อมูลการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน ซึ่งนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าในขณะมีอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าอยู่หลายส่วนกล่าวคือ อุปกรณ์แต่ละตัว ก็มีข้อจำกัดในการทำงานเช่นเซลล์แสงอาทิตย์มีขีดจำกัด ที่ว่าถ้าหากมีแสงตกกระทบแผงน้อยเกินไปก็จะเป็นไปไม่ได้ที่จะผลิตไฟฟ้าให้กับระบบได้ ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็เช่นกัน ในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นหากว่าโหลดเพิ่มมากขึ้น ก็อาจจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าได้ทันที อุปกรณ์อีกตัวที่สำคัญก็คืออินเวอร์เตอร์ที่มีขีดจำกัดในการทำงาน ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะศึกษาทดสอบและบันทึกพฤติกรรม การทำงานของระบบโดยรวมทั้งหมด

จากนั้นนำค่าโหลดดังกล่าวมาคำนวณเพื่อหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ P_{peak} โดยเริ่มจากคุณภาพไฟฟ้าของระบบ (Q) ดังสมการที่ (1) นำสมการจากการประมาณการทางทฤษฎี (E_{th}) และปฏิบัติมาหา (E_a) ค่าพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ ดังสมการที่ (2), (3) ซึ่งจะได้สมการในการคำนวณหาขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการที่ (8) (2)

$$Q = \frac{E_d}{E_{th}} \tag{1}$$

$$E_{th} = \eta \cdot E_{gbc} \cdot Aarray \tag{2}$$

$$P_{peak} = \eta \cdot I_{sc} \cdot Aarray \tag{3}$$

$$E_{th} = P_{peak} \times \frac{E_{gbc}}{I_{sc}} \tag{4}$$

$$Q = \frac{E_d}{E_{gbc} \times P_{peak}} \times I_{sc} \tag{5}$$

$$P_{peak} = \frac{E_d \times I_{sc}}{E_{gbc} \times Q} \tag{6}$$

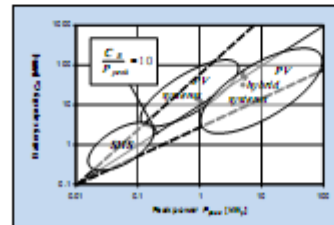
- เมื่อ P_{peak} = ขนาดของโซลาร์เซลล์ที่ได้ ที่มาตรฐาน STC (kWp)
- E_{th} = พลังงานที่ส่องใช้หรือโหลด คิดเป็นต่อปี (kWh/a)
- ค่าคิดเป็นต่อวัน แสงอาทิตย์ที่ส่องใช้หรือโหลด คิดเป็นต่อวัน (kWh/d)
- I_{sc} = ค่ามาตรฐานหริือคือค่าอาทิตย์ STC (1 kW/m²)
- E_{gbc} = พลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ต่อปี (kWh/m²a) ถ้าคิดเป็นต่อวันโหลดต้องเป็นต่อวัน (kWh/m²d)
- Q = คุณภาพไฟฟ้าของระบบ
- E_{th} = ค่าพลังงานไฟฟ้าจากทฤษฎี (kWh/a)
- η = ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (decimal)
- Aarray = พื้นที่ของ PV (m²)

จากสมการที่ (6) สามารถนำค่าคุณภาพไฟฟ้าของระบบแทนค่าในสมการเพื่อหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ P_{peak} ได้ ซึ่งค่าคุณภาพไฟฟ้าของระบบเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1: แสดงค่าคุณภาพไฟฟ้าของระบบที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (3)

Component/System	Q
PV module (Crystalline)	0.95...0.99
PV array	0.80...0.90
PV system (Grid-connected)	0.80...0.75
PV system (Standalone)	0.10...0.40
Hybrid system (PVDiesel)	0.40...0.60

เมื่อทราบค่า P_{peak} ของเซลล์แสงอาทิตย์จากการคำนวณข้างต้นแล้ว สำหรับต่อไปจึงนำค่า P_{peak} ไปใช้ในการคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งได้จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างความจุของแบตเตอรี่และพลังงานสูงสุดของ PV (ดูรูปที่ 4) การหาขนาดแบตเตอรี่นี้จะใช้กฎปฏิบัติของ Schmid's Formula ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)



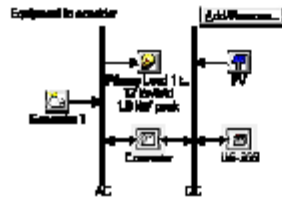
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของแบตเตอรี่และพลังงานสูงสุดของ PV (3)

$$CB = 10 \times P_{peak} \tag{7}$$

- เมื่อ CB = ความจุของแบตเตอรี่ (kWh)
- P_{peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของพื้นที่ PV (kWp)

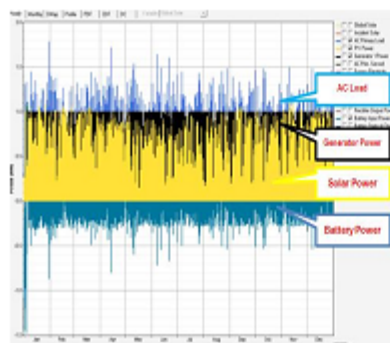
การคำนวณวิธีนี้จะยังคงสามารถที่จะปรับแก้ไขต้นทุนได้ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะยืดหยุ่นได้ถึง +/-20 % ขึ้นอยู่กับระบบที่ออกแบบว่าเป็นระบบใด หรือจากที่คำนวณค่าต่างๆได้แล้ว ก็ปรับค่าที่ได้จากการคำนวณมาวิเคราะห์ โดยการ Simulation โดยเลือกใช้โปรแกรม Homer ในการทดสอบ มีการคำนวณโหลดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่คำนวณจากฐานข้อมูลของโปรแกรม Homer จุดที่ทำการวิเคราะห์ระบุส่วนหนึ่งจะใช้โปรแกรม Google Map เพื่อค้นหาตำแหน่งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เป็นพื้นฐานในการจำลองส่วนหนึ่งที่ตั้งบนพื้นโลก ข้อมูลสถานการณ์ต่างๆ (ดังรูปที่ 3)

Go Back



รูปที่ 4 การใช้โปรแกรม Homer จำลองสถานการณ์ของระบบ

จากรูปที่ 4 ทรอกแบบและประเมินผลทางโปรแกรมให้ระบบที่เหมาะสม คือ PV 1.8 kWp, Diesel Generator ขนาด 2 kW, Battery capacity = 18.3 kWh จากผลการ Simulation ระบบที่ออกแบบพบว่าจะระบบสามารถจ่ายโหลดที่กำหนดได้อย่างต่อเนื่องและไม่มีส่วนที่ไฟดับ จากรูปเห็นได้ว่าสามารถที่จะจ่ายโหลดได้จริง (ดังรูปที่ 5)



รูปที่ 5 ผลการ Simulation ของระบบที่ออกแบบ

จากรูปที่ 5 การจำลองการทำงานของระบบจากซอฟต์แวร์ Homer จะเห็นได้ว่า ในช่วงกลางวันเซลล์แสงอาทิตย์(ดี.พี.ดี)สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อมาจ่ายให้กับโหลดได้ และพลังงานส่วนที่เหลือจะถูกเก็บไว้ที่แบตเตอรี่(ดี.พี.ดี) ในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้เพียงพอ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ก็จะถูกดึงมาใช้ร่วมกับพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล(ดี.พี.ดี) ทำให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้นคือไม่มีช่วงเวลาที่ขาดพลังงานหรือไฟดับ

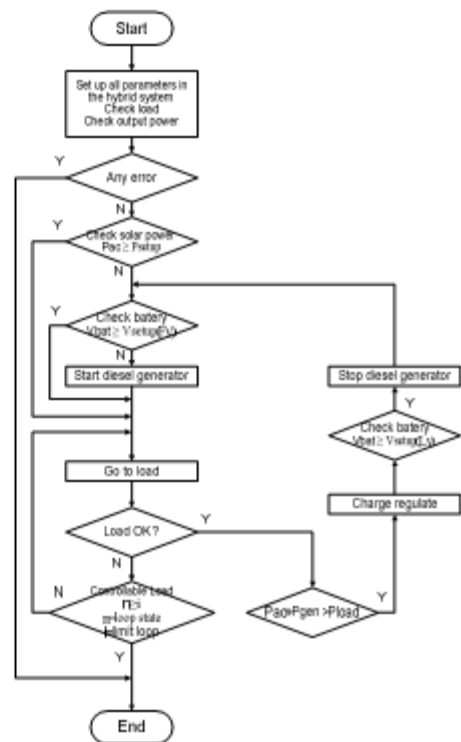
3. การออกแบบและติดตั้งชุดจัดการพลังงาน

จากแนวความคิดของโครงการวิจัยนี้ ทำให้ได้ตั้งระบบจัดการพลังงานแบบทันสมัยในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีประสิทธิภาพเพื่อการนำพลังงานไปใช้อย่างสูงสุดดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างของ Energy Management System

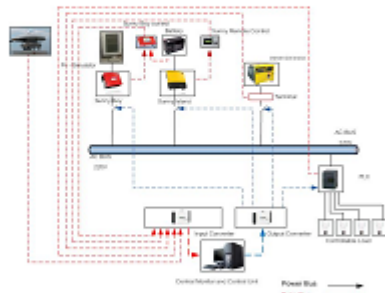
จากรูปที่ 6 ระบบจะทำการวัดบันทึกผลการใช้พลังงานแบบ real time พร้อมทั้งบริหารจัดการอย่างเป็นระบบขณะที่ผู้ใช้ไม่พบ ไม่มีการเพิ่มตัวสูงขึ้นเกินภาระการจ่ายไฟแบบปกติ ชุดการจัดการจะทำการตัดโหลดที่จำเป็นบางส่วนออกให้อยู่ภายในค่าที่กำหนดไว้โดยการจัดการความสำคัญของอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า และตั้งดีอุปกรณ์ตามลำดับความสำคัญ ทั้งยังสามารถควบคุมสั่งการและดูรายละเอียดต่างๆได้พลังงานที่เหลือจากขณะที่มากพอจะเก็บในแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

จากการออกแบบและประเมินผลทางโปรแกรม ได้ขนาดที่เหมาะสมของระบบ สำหรับต่อไปซึ่งทำการออกแบบโครงสร้าง ENERGY MANAGEMENT SYSTEM โดยการออกแบบระบบไฟฟ้าผสมผสานเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้นำเสนอ ประกอบไปด้วยการออกแบบการติดตั้งระบบการทำงานที่แยกออกเป็นสองส่วนหลัก โดยแยกเป็นชุดรับข้อมูลและชุดสั่งการทำงานโดยมีส่วนกลางเป็นชุดประมวลผล (ดังรูปที่ ๘)

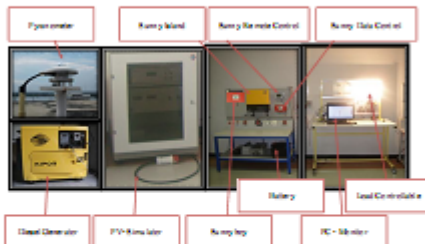
Go Back



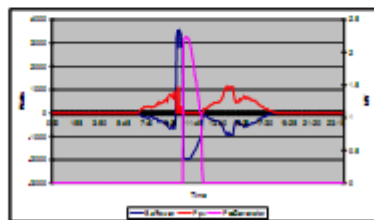
รูปที่ ๘ โครงสร้างของระบบการจัดการพลังงานไฮบริด



รูปที่ ๙ กราฟข้อมูลแสงอาทิตย์จากตัวตรวจวัดแสงอาทิตย์ในรอบ ๔ วันตัวอย่างของการเก็บข้อมูล



รูปที่ ๑๐ ระบบติดตั้งจริง



รูปที่ ๑๑ ระบบติดตั้งจริง

จากรูปที่ ๑๑ แสดงกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ เซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่า ในช่วงเวลากลางคืนจะไม่มีค่างานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงไม่มีการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่เช่นกัน ทั้งนี้ค่าเป็นศูนย์และเซลล์แสงอาทิตย์จะเริ่มผลิตไฟฟ้าเมื่อเวลา ประมาณ ๗.๐๕ น. เป็นช่วงเวลาตอนกลางวันจากกราฟจะเห็นว่า มีค่าพลังงานผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จึงถูกประจุลงในแบตเตอรี่ และเนื่องจากมีการทดสอบข้อไหลดเพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดในช่วงตอนกลางวันเป็นเวลาประมาณ ๑๐.๓๐ น. จนถึงเวลาประมาณ ๑๒.๓๐ น. เห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำมาจ่ายไหลดมาจากพลังงานแบตเตอรี่และพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ จนกระทั่งเมื่อระดับพลังงานจากแบตเตอรี่มีค่าลดลงจนถึงระดับ State of Charge ของแบตเตอรี่ที่ ๔๐% ตามค่าที่ตั้งไว้ระบบควบคุมจะสั่งการให้เครื่องกำเนิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบและประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานที่เหลือจากการจ่ายไหลด จนกระทั่งแบตเตอรี่มีประจุเพิ่มขึ้นตามค่าที่ตั้งไว้ในระบบเครื่องกำเนิดจะหยุดการทำงาน และเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายไหลดและประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานที่เหลือระบบควบคุมจะทำการตัดแหล่งจ่ายพลังงานจากส่วนอื่นๆ ออกจึงไม่มีการนำเอาแหล่งจ่ายพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาจ่ายพลังงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

4. สรุป

จากหลักการออกแบบระบบจัดการพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าส่งจ่าย และควบคุมสำหรับระบบพลังงานทดแทนโดยการคำนวณและการใช้โปรแกรม Homer เพื่อทดสอบการ Simulation ศึกษาการทำงานและประเมินสมรรถนะของระบบก่อนที่จะติดตั้งระบบจริง พบว่าระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดที่ตั้งขึ้นคือจ่ายไหลดได้อย่างต่อเนื่องซึ่งระบบที่ออกแบบมีขนาดคือ ๑. PV ขนาด 1.8 kWp, 2. Generator ขนาด 2 kW, 3. Battery capacity ขนาด 18.3 kWh ระบบบันทึกผลจะเป็นแบบ Realtime สามารถเข้าถึงได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ผ่านระบบ Local Host เพื่อการเข้าถึงข้อมูลในระยะไกล โครงสร้างของการออกแบบระบบจะจัดตั้งอยู่ในรูปชุดข้อมูลในห้องทดสอบที่รองรับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันในระบบทั้งหมด จึงพร้อมที่จะสร้างขึ้นตามแบบดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญยั้ง ปดิ่งกลาง, ๒๕๕๐, เอกสารประกอบการสอนวิชา Advance Topic in Electrical Engineering.
- [2] กฤษณา พรหมพิณ, บุญยั้ง ปดิ่งกลาง, ๒๕๕๑ "การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าผสมผสานสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, จังหวัดนครนายก, 29-31 ตุลาคม ๒๕๕๑
- [3] J. Schmid, 2002, "Photovoltaic systems Technology."

ประวัติผู้เขียนบทความ

สมพล โคศิริ สำเร็จการศึกษา วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปัจจุบันกำลังศึกษา วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความสนใจงานวิจัยเรื่องพลังงานทดแทน พลังงานหมุนเวียน การบริหารจัดการพลังงาน การพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารและการควบคุมพลังงานไฟฟ้า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย สมพล โคศรี
วัน เดือน ปี เกิด 8 พฤศจิกายน 2523
ที่อยู่ 281/1 ต.ห้วยทับมอญ อ.เขาชะเมา จ.ระยอง 21110 โทรศัพท์ 0850849245
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ไฟฟ้ากำลัง จากโรงเรียนเทคโนโลยี ทีพีไอ เมื่อ พ.ศ. 2541
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ. 2552

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน พนักงานและผู้ช่วยนักวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

สมพล โคศรี , และบุญยัง ปลั่งกลาง , “ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, ระหว่างวันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต